

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Automatización del proceso de dosificación de arena para incrementar  
la eficiencia de insumos en la elaboración de moldes para fundición en  
industrias IMIM SAC.**

**Para optar el título profesional de  
Ingeniero Metalurgista**

**Autores:**

**Bach. Dany Paul ARANA CÁRDENAS**

**Bach. Pamela JACO SALCEDO**

**Asesor:**

**Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA**

**Cerro de Pasco - Perú – 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Automatización del proceso de dosificación de arena para incrementar  
la eficiencia de insumos en la elaboración de moldes para fundición en  
industrias IMIM SAC.**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCÍA

**PRESIDENTE**

---

Dr. Cayo PALACIOS ESPIRITU

**MIEMBRO**

---

Mg. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS

**MIEMBRO**



**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**

**Facultad de Ingeniería**

**Unidad de Investigación**

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 238-2024-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Automatización del proceso de dosificación de arena para incrementar la eficiencia de insumos en la elaboración de moldes para fundición en industrias**

**IMIM SAC.**

Apellidos y nombres de los tesistas:

**Bach. ARANA CÁRDENAS, Dany Paul**

**Bach. JACO SALCEDO, Pamela**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Dr. MAYORCA BALDOCEDA, Eduardo Jesús**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Metalúrgica**

Índice de Similitud

**1 %**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 13 de diciembre del 2024



Firmado digitalmente por  
MEJIA CACERES  
Reynaldo FAU  
20154605046 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento Fecha:  
13.12.2024 21:49:40 -05:00

## **DEDICATORIA**

A nuestros queridos padres y hermanos, queremos dedicarles estas palabras con un profundo sentimiento de gratitud y amor. Sin su constante apoyo, aliento y comprensión, este logro no habría sido posible. Cada uno de ustedes ha jugado un papel fundamental en nuestra trayectoria, brindándonos no solo apoyo emocional, sino también el respaldo incondicional que necesitábamos para superar los retos y mantenernos enfocados en nuestras metas.

Este proyecto y todos los logros que hemos alcanzado son el resultado de un esfuerzo colectivo y de la fortaleza que nos han transmitido. Nos sentimos profundamente agradecidos por tenerlos en nuestras vidas, y queremos que sepan que este éxito es tan suyo como nuestro.

Con todo nuestro cariño, respeto y agradecimiento.

## **AGRADECIMIENTO**

Un especial agradecimiento a los trabajadores de la Fundición industrias IMIM SAC, por habernos proporcionado las instalaciones, recursos necesarios y habernos brindado las facilidades para realizar esta tesis.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Luis Prudencio Blas por sus valiosos consejos y respaldo en el transcurso de este proceso. Su orientación y sabiduría han sido relevantes para mi desarrollo profesional y el éxito de este proyecto.

Queremos agradecer sinceramente a nuestros docentes por su guía y apoyo a lo largo de nuestra formación académica. Su sabiduría, paciencia y dedicación han sido importantes para el desarrollo de nuestra tesis.

## RESUMEN

La presente investigación estableció por objetivo automatizar el proceso de dosificación de arena para incrementar la eficiencia de insumos en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental, los instrumentos de los cuales se emplearon para la recolección de datos fueron el análisis documental y hojas de cálculo, además se hizo uso de software de programación para el desarrollo de los algoritmos de control, junto con componentes electrónicos para el óptimo funcionamiento del sistema. Como resultado se obtuvo que los indicadores de resina fenólica, catalizador y tiempo en el transcurso del mes de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2023, periodo anterior a la implementación, fueron un promedio de resina fenólica de 34.35 kg, un promedio de catalizar de 9.23 kg y un tiempo promedio de 36 minutos, a su vez los indicadores de resina fenólica, catalizador y tiempo en el transcurso del mes de enero, febrero, marzo y abril del 2024, periodo posterior a la implementación, fueron un promedio de resina fenólica de 26.9 kg, un promedio de catalizar de 7.23 kg y un tiempo promedio de 6 minutos. Finalmente se concluye que la automatización del proceso de dosificación de arena incremento la eficiencia de insumos en la elaboración de moldes.

Palabras clave: Automatización, proceso de dosificación, arena, eficiencia de insumos, fundición.

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to automate the sand dosing process to increase the efficiency of inputs in the production of foundry molds in IMIM SAC industries. The methodology used was applied, quantitative approach and experimental design, the instruments used for data collection were documentary analysis and spreadsheets, in addition, programming software was used for the development of control algorithms, along with electronic components for the optimal operation of the system. As a result it was obtained that the indicators of phenolic resin, catalyst and time during the months of September, October, November and December 2023, period prior to the implementation, were an average of phenolic resin of 34.35 kg, an average of catalyst of 9.23 kg and an average time of 36 minutes, while the indicators of phenolic resin, catalyst and time during the months of January, February, March and April 2024, the period after implementation, were an average phenolic resin of 26.9 kg, an average catalyst of 7.23 kg and an average time of 6 minutes. Finally, it is concluded that the automation of the sand dosing process increased the efficiency of inputs in the production of molds

**Keywords:** Automation, dosing process, sand, input efficiency, foundry.

## INTRODUCCIÓN

En la industria de fundición, donde la precisión y la eficiencia son esenciales, el proceso de dosificación de arena representa un componente crítico en la fabricación de moldes. Industrias IMIM SAC se enfrenta al desafío de optimizar este proceso para alcanzar mejoras en el producto final respecto a su calidad, además de reducir los costos asociados a la utilización de insumos. La implementación de una solución automatizada para la dosificación de arena se convierte en una estrategia clave para abordar estos desafíos y potenciar en el mercado la competitividad de la empresa.

La industria de fundición es un sector que demanda altos estándares de calidad y eficiencia en sus procesos. La elaboración de moldes para fundición requiere una dosificación precisa de arena, ya que esta influye directamente en la integridad y acabado de las piezas fundidas. En este contexto, la automatización de la dosificación de arena emerge como una oportunidad para mejorar la consistencia y precisión del proceso, reduciendo al mismo tiempo los errores humanos y el desperdicio de material. Industrias IMIM SAC enfrenta varios desafíos en su proceso de dosificación de arena, incluyendo la falta de precisión en las cantidades dosificadas, la inconsistencia en la calidad de los moldes producidos y el alto consumo de material. Estos desafíos impactan de manera directa sobre la empresa respecto a su eficiencia operativa y los costos de producción. La implementación de una solución automatizada tiene el potencial de mitigar estos desafíos al mejorar la precisión y consistencia en la dosificación de arena.

La metodología propuesta para que se implemente la automatización del proceso de dosificación de arena se basa en un enfoque integral que abarca desde analizar los requerimientos hasta la operación y el monitoreo del sistema. Se efectuó un análisis detallado de los procesos actuales de dosificación de arena, identificando áreas de mejora y definición de objetivos específicos. A partir de ahí, se diseñó e implementó un sistema

automatizado el cual permita controlar y monitorear el proceso de dosificación de forma precisa y eficiente. En las siguientes páginas, se exploró en detalle el contexto de la industria de fundición, las dificultades específicas que aborda Industrias IMIM SAC en su proceso de dosificación de arena, así como la metodología propuesta para la implementación de la automatización y los beneficios esperados de este proyecto.

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y planteamiento del problema .....	1
1.2. Delimitación de la investigación .....	3
1.3. Formulación del problema .....	3
1.3.1. Problema general.....	3
1.3.2. Problemas específicos .....	3
1.4. Formulación de objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Justificación de la investigación.....	5
1.5.1. Teórica .....	5
1.5.2. Práctica .....	5
1.5.3. Económica.....	5
1.5.4. Social .....	6
1.5.5. Ambiental .....	6
1.6. Limitaciones de la investigación.....	6

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de estudio .....	7
2.2. Bases teóricas – científicas .....	12
2.2.1. Sistema automatizado .....	12
2.2.2. Dosificación de arena .....	16
2.2.3. Fundición.....	19
2.3. Definición de términos básicos .....	24
2.4. Formulación de hipótesis .....	25
2.4.1. Hipótesis general.....	25
2.4.2. Hipótesis específica .....	25
2.5. Identificación de variables .....	26
2.5.1. Variable Independiente: Automatización del proceso de dosificación.....	26
2.5.2. Variable dependiente: Eficiencia de insumos .....	26
2.6. Definición operacional de variables e indicadores .....	27

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. Tipo de investigación.....	28
3.2. Nivel de investigación .....	28
3.3. Métodos de investigación.....	29
3.4. Diseño de investigación.....	29
3.5. Población y muestra.....	29
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	30
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	30

3.9. Tratamiento estadístico.....	32
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	32

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	34
4.1.1. Información de la Empresa.....	34
4.2.2. Análisis del problema.....	36
4.2.3. Resultados antes de la implementación de la mejora.....	40
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	43
4.2.1. Componentes del sistema automatizado.....	43
4.2.2. Algoritmo de programación.....	50
4.2.3. Indicadores después de la implementación.....	56
4.3. Prueba de hipótesis.....	59
4.3.1. Análisis estadístico descriptivo de la eficiencia de insumos.....	59
4.3.2. Análisis estadístico inferencial.....	61
4.3.3. Análisis del costo-beneficio.....	62
4.4. Discusión de resultados.....	66

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Tipos de moldeo en la dosificación .....	17
<b>Figura 2:</b> Proceso de fundición .....	20
<b>Figura 3:</b> Hierro fundido .....	22
<b>Figura 4:</b> Proceso de fundición del acero.....	24
<b>Figura 5:</b> Diagrama de flujo del proceso de fundición.....	35
<b>Figura 6:</b> Diagrama de Ishikawa .....	37
<b>Figura 7:</b> Resina fenólica antes de la implementación.....	40
<b>Figura 8:</b> Catalizador antes de la implementación .....	41
<b>Figura 9:</b> Insumos antes de la implementación .....	42
<b>Figura 10:</b> Establecimiento de pines de entrada y salida .....	52
<b>Figura 11:</b> Asignación de ordenes.....	53
<b>Figura 12:</b> Programación del PLC.....	54
<b>Figura 13:</b> Resina fenólica después de la implementación .....	56
<b>Figura 14:</b> Catalizador después de la implementación.....	57
<b>Figura 15:</b> Insumos después de la implementación.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Procesos en un sistema automatizado .....	13
<b>Tabla 2:</b> Características del sistema automatizado.....	14
<b>Tabla 3:</b> Operacionalización de variables .....	27
<b>Tabla 4:</b> Matriz de enfrentamiento de causas .....	38
<b>Tabla 5:</b> Frecuencia de las causas raíz.....	39
<b>Tabla 6:</b> Eficiencia de resina fenólica antes de la implementación.....	40
<b>Tabla 7:</b> Eficiencia de catalizador antes de la implementación.....	41
<b>Tabla 8:</b> Eficiencia de insumos antes de la implementación.....	42
<b>Tabla 9:</b> Eficiencia de resina fenólica después de la implementación .....	56
<b>Tabla 10:</b> Eficiencia de catalizador después de la implementación .....	57
<b>Tabla 11:</b> Eficiencia de insumos después de la implementación .....	58
<b>Tabla 12:</b> Resumen de la mejora antes y después de la implementación.....	59
<b>Tabla 13:</b> Medidas descriptivas de la eficiencia de insumos.....	59
<b>Tabla 14:</b> Prueba de normalidad de la eficiencia de insumos .....	61
<b>Tabla 15:</b> Prueba de T-Student de la eficiencia de insumos.....	62
<b>Tabla 16:</b> Inversión intangible.....	62
<b>Tabla 17:</b> Gastos extras .....	63
<b>Tabla 18:</b> Inversión tangible.....	63
<b>Tabla 19:</b> Depreciación .....	64
<b>Tabla 20:</b> Flujo de caja .....	65
<b>Tabla 21.</b> Medidas descriptivas de la eficiencia de la resina fenólica.....	85
<b>Tabla 22.</b> Medidas descriptivas de la eficiencia del catalizador.....	87
<b>Tabla 23.</b> Prueba de normalidad de la eficiencia de la resina fenólica.....	88
<b>Tabla 24.</b> Prueba de T-Student de la eficiencia de la resina fenólica.....	89
<b>Tabla 25.</b> Prueba de normalidad de la eficiencia del catalizador .....	89

<b>Tabla 26.</b> Prueba Wilcoxon de la eficiencia del catalizador.....	90
--	----

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y planteamiento del problema**

A nivel global, se proyecta que las fundiciones que adopten tecnologías de automatización experimenten un aumento promedio del 15% en la eficiencia del proceso de dosificación de arena para el año 2025 (Rana et al., 2023). Este aumento de eficiencia no solo se traduce en beneficios económicos y ambientales, sino que también fortalece la posición de estas fundiciones en los mercados internacionales, donde la sostenibilidad y la eficiencia son cada vez más valoradas por los consumidores y reguladores. La inversión en la automatización del proceso de dosificación de arena puede, por lo tanto, posicionar a la industria de fundición del país como un actor clave en la cadena de suministro global (Wang et al., 2023).

La industria de fundición a nivel mundial enfrenta desafíos significativos relacionados con la eficiencia al producir y gestionar los recursos. Al no contar sistemas automatizados dentro del proceso de dosificación de arena contribuye a un uso ineficiente de este recurso crucial, generando desperdicios que impactan

negativamente en la sostenibilidad y rentabilidad de las fundiciones. Según estudios internacionales, un porcentaje considerable de fundiciones a nivel global experimenta pérdidas de arena que oscilan entre el 8% y el 15%, lo que se traduce en una disminución de la rentabilidad y un impacto ambiental negativo (Zhu et al., 2023).

En términos cuantitativos, las pérdidas de arena en la producción de moldes para fundición representan anualmente millones de toneladas en todo el mundo. De acuerdo con los datos de la Organización Mundial de Fundición (World Foundry Organization), el 12% de la arena utilizada en este proceso se desperdicia debido a prácticas ineficientes de dosificación. Esto equivale a una pérdida económica de aproximadamente 5 mil millones de dólares anuales y contribuye a una huella ambiental significativa (Woong et al., 2023).

A nivel nacional, la falta de automatización en el proceso de dosificación de arena en las fundiciones ha llevado a un problema económico y ambiental palpable. Según estadísticas del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), las fundiciones peruanas experimentan pérdidas de arena que representan un 10% de los insumos empleados al producir los moldes (Shum & Zhong, 2023). Esto equivale a una pérdida al año de aproximadamente 120,000 toneladas de arena, equivalente a un costo económico directo en torno a los 8 millones de dólares. Bajo contextos medioambientales, estas pérdidas contribuyen a la degradación de los ecosistemas locales, afectando la calidad del suelo y del agua. De igual forma, la energía y los recursos hídricos utilizados en la extracción y procesamiento de la arena se ven malgastados.

En términos económicos, la automatización del proceso de dosificación de arena tiene el potencial de generar significativos ahorros financieros para las

fundiciones en Perú. Se estima que la implementación de sistemas automatizados puede reducir las pérdidas de arena en al menos un 50%, lo que representaría un ahorro anual de aproximadamente 4 millones de dólares para la industria peruana de fundición (Rana et al., 2023). Además, la disminución en los costos asociados con la adquisición y transporte de arena contribuiría en las empresas del sector en una mejora de su rentabilidad.

La falta de modernización en este proceso no solo impacta en la competitividad de la industria peruana de fundición, sino que también representa un desafío para alcanzar estándares internacionales de sostenibilidad y eficiencia en la producción. La automatización del proceso de dosificación de arena emerge como una solución imperativa para abordar estos desafíos, mejorando la rentabilidad, reduciendo el impacto ambiental y fortaleciendo la posición de la industria de fundición peruana en el contexto global.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

La investigación se centró exclusivamente en las instalaciones ligadas a la elaboración de moldes para fundición de Industrias IMIM SAC.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿De qué manera la automatización del proceso de dosificación incrementa la eficiencia de insumos en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es la situación actual antes de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición IMIM SAC?

- b) ¿Cuáles son los componentes de funcionamiento del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC?
- c) ¿De qué manera se puede desarrollar un algoritmo para el software empleado en la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC?
- d) ¿Cuál es el diagnóstico e indicadores de mejora después de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC?

#### **1.4. Formulación de objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Automatizar el proceso de dosificación de arena para incrementar la eficiencia de insumos en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar la situación actual antes de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC.
- b) Determinar los componentes de funcionamiento del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC.
- c) Desarrollar el algoritmo del software empleado para la implementación del sistema automatizado en el proceso de

dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC.

- d) Determinar el diagnóstico e indicadores de mejora después de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición IMIM SAC.

## **1.5. Justificación de la investigación**

### **1.5.1. Teórica**

La automatización del proceso de dosificación de arena se fundamenta en principios teóricos de ingeniería y control de procesos. La implementación de sistemas automatizados permite optimizar la precisión y la repetibilidad en la dosificación, reduciendo así la variabilidad en la calidad de los moldes. La teoría detrás de la automatización incluye conceptos de sensores, actuadores, controladores y algoritmos para garantizar una dosificación precisa y eficiente.

### **1.5.2. Práctica**

La implementación de sistemas automatizados permitiría una mayor velocidad en el proceso de dosificación, reduciendo el tiempo total de producción. Además, la eliminación o reducción de errores humanos en la dosificación mejora la calidad y consistencia de los moldes, lo que podría traducirse en una disminución de desperdicios y retrabajos.

### **1.5.3. Económica**

La automatización del proceso de dosificación de arena tiene implicaciones económicas positivas. Aunque la inversión inicial en tecnología automatizada puede ser significativa, a largo plazo, la eficiencia mejorada en el uso de insumos como la arena puede conducir a ahorros sustanciales. La

diminución de desperdicios y la mejora en la calidad de los moldes pueden resultar en ser reducidos los costos de producción, además del incremento de la competitividad en el mercado.

#### **1.5.4. Social**

La automatización puede tener impactos positivos en los trabajadores. La implementación de tecnologías avanzadas podría liberar a los empleados de tareas repetitivas y físicamente exigentes, permitiéndoles enfocarse en actividades más especializadas y creativas. Además, al alcanzar mejoras en el proceso respecto a su eficiencia y calidad, la empresa puede garantizar una mayor estabilidad laboral y potencialmente generar nuevas oportunidades de empleo en áreas más especializadas.

#### **1.5.5. Ambiental**

La automatización puede contribuir a la sostenibilidad ambiental al reducir el desperdicio de insumos. Una dosificación precisa minimiza la sobreutilización de arena, lo que no solo reduce los costos, sino que también disminuye la extracción innecesaria de recursos naturales. Además, al disminuir los errores humanos en el proceso, se reduce la probabilidad de producir moldes defectuosos, lo que podría generar residuos no deseados. La eficiencia mejorada puede contribuir así a ser reducido el impacto ambiental vinculado con la producción de moldes para fundición.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Las limitaciones presentes en la investigación que se desarrolló fue el costo de implementación que se tuvo que realizar, además de la información requerida por parte de la empresa para ser medido el impacto de la implementación del proyecto.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

Según Barreno y Lema (2018), en su investigación titulada “Diseño y construcción de una tamizadora con un sistema de vaivén para arenas de moldeo en el taller de fundición de la empresa MINABRADEC”, tuvieron por finalidad diseñar y elaborar una tamizadora mediante el sistema de vaivén para arenas de moldeo. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental, los materiales que utilizaron fueron chumacera, botonera, plancha de tol, polea de doble canal, tubo cuadrado, entre otro, además el programa de simulación que se utilizó fue el software Adams. Los hallazgos obtenidos en el estudio dinámico fueron que el torque máximo aproximado fue de 25 Nm en el eje principal, para mover una masa total de 46 Kg en el sistema de tamizaje, se logró una media de tamizaje de 112 Kg/min a carga máxima. Finalmente se concluye que se realizó el diseño y construcción de la tamizadora cumpliendo los requerimientos de la empresa mediante un sistema vaivén.

Para Rodríguez (2019), en su investigación titulada “Diseño de un sistema de dosificación de agregados para la Compañía de Ingeniería y Mantenimiento CIM SAS” tuvo como propósito diseñar un sistema dosificado para la compañía de Ingeniería y Mantenimiento. La metodología que se utilizó es de tipo aplicada, diseño experimental y enfoque cuantitativo, los instrumentos utilizados fueron cilindros neumáticos, electroválvulas, final de carrera, manguera neumática, racor, entre otros. Los resultados obtenidos fueron que tiempo del proceso se redujo entre 30 segundos y 1 minuto, además el diseño de la tolva cónica se hizo con un grosor de lámina de 6.35 mm que soporte la carga de  $3.273,5614 \text{ kgf/m}^2$ , lo que origina la arena en las paredes internas de la misma, el análisis financiero arroja que la inversión total fue de 17.840.227,16 y un tiempo de recuperación de 12 meses. Finalmente se concluye que se logró realizar el diseño del sistema de dosificación de agregados en la compañía mejorando el tiempo de proceso y la carga.

Según Bertone (2023), en su investigación titulada “Incorporación de aplicación de dosis variable de agroquímicos en empresa agrícola del departamento tercero arriba, para aumentar la eficiencia en el uso de insumos y mitigar su impacto ambiental y económico” tiene como propósito incrementar la eficiencia en el uso de insumos, reducir su impacto económico y ambiental mediante la incorporación de dosis variable de agroquímicos. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental. Los hallazgos obtenidos fueron que se tuvo un incremento interanual medio de costos totales de producción de 17.6%, un incremento interanual medio de costo de agroquímicos de 23%, una media total del peso de costos de producción en utilidad bruta del 58% y una media total del peso de costo en agroquímicos en

utilidad bruta del 26.29%. En conclusión, la incorporación de la adición de dosis variable de agroquímicos logró incrementar la eficiencia en el uso de insumos y mitigar el impacto ambiental y económico.

Para Canaviri (2023), en su investigación titulada “Diseño de una máquina automática para la Fabricación de Adoquines de Hormigón” tuvo como propósito elaborar una máquina automatizada para fabricar adoquines de hormigón. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental. Los hallazgos que se obtuvieron fueron que tras la implementación se mejoró el tiempo en la dosificación de adoquines a 480 adoquines por hora, además para el diseño de la máquina automatizada se tomó como tarjeta programable a un PLC, también se mejoró la ganancia diaria a 2839 Bs. Finalmente se concluye que tras el desarrollo de la máquina automatizada se llegó a mejorar la producción de adoquines de hormigón a partir de la dosificación del concreto, ya que esta redujo el tiempo de elaboración de la mezcla.

Según Barrada y Diosa (2023), en su investigación titulada “Automatización de las operaciones unitarias en la PTARnD de locería colombiana” tuvo como propósito realizar la automatización de las operaciones unitarias en la PTARnD. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental. Los hallazgos que se obtuvieron fueron de se llegó a identificar los puntos críticos del proceso, los cuales son el proceso de dosificación y homogeneización, se realizó el cálculo de volúmenes de los tanques con el fin de determinar su TRH. Finalmente se concluye que se logró automatizar las operaciones unitarias para una mejora en la producción.

Según De La Torre (2022), en su investigación titulada “Automatización del proceso de elaboración de almas de moldes en una fundición de la localidad

de Lima – Perú”, tuvo como propósito realizar un sistema automatizado para el proceso de fabricación de almas de moldes en una fundición. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, diseño experimental y enfoque cuantitativo, se trabajó con diferentes componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos como válvulas, actuadores rotativos, pulverizador presostato, plancha de acero, tubos cuadrados, sensores de nivel tipo flotador, sensores de nivel tipo paleta, pantalla HMI, PLC. Guardamotor, llave termomagnética, entre otros. Se encontró que el equipo estaba en buen estado de funcionamiento después de haber sido probado al 90% de su capacidad y aprobado para su uso, además, el algoritmo del PLC fue diseñado para garantizar que el dispensador de arena, el mezclador de paletas, las bombas de resina y catalizador y otros componentes del proceso de fabricación de los moldes de arena operan al unísono, respetando la secuencia de trabajo predeterminada. Se ha considerado factible el desarrollo del sistema de dosificación automática mediante la regulación de compuertas neumáticas de apertura y cierre situadas en la descarga de la tolva.

Para Céspedes (2020), en su investigación titulada “Implementación de la automatización del proceso de dosificación de concreto premezclado para mejorar la calidad y tiempo de entrega del concreto” tuvo como propósito optimizar la calidad y tiempo de entrega de concreto mediante un sistema de automatización del proceso de dosificación. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, diseño experimental y enfoque cuantitativo. Los hallazgos mostraron que el tiempo requerido para un proceso de dosificación automatizado es un 50% más corto que el inicial, lo que permite la entrega a tiempo y evitar pérdidas de material (que eran aproximadamente el 3,17% del cemento antes de la automatización, pero ahora son sólo el 0,57%), la dosificación precisa del

material en el proceso implementado también mejoró la calidad en un 12.35%. Finalmente se concluye que se logró mejorar el tiempo de entrega de concreto y su calidad con el sistema automatizado de dosificación.

Según Saldaña (2023), en su investigación titulada “Diseño e implementación de un sistema automatizado para la producción de concreto premezclado para la empresa Moviconcreto” tuvo como propósito producir concreto premezclado mediante un sistema automatizado. La metodología que empleó fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño experimental. La capacidad del sistema para permitir al operador de la planta especificar el tipo de hormigón que se fabrique en cada lote llevó a una disminución de los informes de producción pérdida de treinta a cero, que la dirección de la planta pudo monitorear de forma remota. negocio que reduce el tiempo de sincronización de la información de 24 a 0 horas. Finalmente se concluye que tras haber implementado el sistema automatizado se redujo el número de informes y el tiempo de sincronización ayudando a la producción de concreto premezclado.

Para Araujo y Villa (2020), en su tesis titulada “Propuesta de mejora en el proceso de mezclado para la reducción de mermas en la producción de cajas registro de desagüe, utilizando la ingeniería de métodos y filosofía KAIZEN en una PYME del sector construcción de Lima Metropolitana” tuvieron como finalidad reducir las mermas en la producción de cajas registro de desagüe mediante una mejora e el proceso de mezclado. La metodología que se emplea es de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental. Los resultados que se obtuvieron fueron una mejora en el procedimiento normalizado de 35%, además se tuvo una reducción en los movimientos y esfuerzos innecesarios de 20%, además de ello se redujo la utilización de materia prima en un 25%, también

se tuvo una mejora en la planta del 32.31%. Finalmente se concluye que la propuesta de mejora en el proceso de mezclado logró reducir las mermas en la producción y hacer que el proceso sea más óptimo.

Según Palomino (2021), en su tesis titulada “Automatización del proceso de espesamiento de relave final en la planta concentradora de cobre para mejorar la producción para el año 2018” tuvo como finalidad mejorar el proceso de espesamiento de relave a partir de la automatización de su dosificación. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental. Los resultados que se obtuvieron fueron se disminuyó el consumo de materiales como por ejemplo se tuvo una reducción del 4.2% de floculante, el contenido de los sólidos mejoró entre un 1.3 a 1.6%, además de ello se tuvo un incremento de recuperación de 8609.475  $m^3$ . Finalmente se concluye que mediante la automatización del proceso de espesamiento se logró mejorar la producción.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Sistema automatizado**

Un sistema automatizado se refiere a la agrupación de procesos, operaciones o tareas que son realizadas automáticamente, sin intervención humana directa. Estos sistemas utilizan hardware y software especializado a razón de efectuar diversas funciones de manera precisa y eficiente (Rana et al., 2023).

#### **2.2.1.1. Proceso de un sistema automatizado**

Los procesos de un sistema automatizado pueden variar según la aplicación y el propósito específico del sistema. Sin embargo, en

términos generales, muchos sistemas automatizados siguen una serie de pasos, siendo estos detallados en la tabla adjunta:

**Tabla 1:** *Procesos en un sistema automatizado*

<b>Proceso</b>	<b>Descripción</b>
Entrada de Datos	La primera etapa implica la entrada de datos al sistema. Estos datos pueden provenir de sensores, dispositivos de entrada manual o sistemas externos.
Procesamiento de Datos	Una vez que se recopilen los datos de entrada, el sistema los procesa de acuerdo con las instrucciones predefinidas.
Toma de Decisiones	En esta etapa, el sistema automatizado puede tomar decisiones basadas en los datos procesados.
Control de Dispositivos	Si el sistema automatizado está conectado a dispositivos físicos, como motores, válvulas, luces, o cualquier otro tipo de actuador, se logran enviar señales de control para gestionar estos dispositivos.
Salida de Datos	Después de procesar los datos y tomar decisiones, el sistema genera salidas. Estas salidas pueden ser informes o alertas.
Gestión de Errores	Los sistemas automatizados generalmente incluyen mecanismos para detectar y gestionar errores. Esto puede implicar la generación de alertas.

*Nota.* Adaptado de Finco et al. (2023)

### 2.2.1.2. Características de un sistema automatizado

Un sistema automatizado tiene varias características distintivas que le permiten realizar tareas sin intervención humana directa, estas se detallan en lo siguiente:

**Tabla 2:** *Características del sistema automatizado*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Automatización de Procesos	La característica principal es la capacidad de realizar tareas y procesos automáticamente, sin la necesidad de intervención humana constante.
Precisión	Los sistemas automatizados son conocidos por su alta precisión y consistencia en la ejecución de tareas.
Velocidad	Los sistemas automatizados pueden realizar tareas a velocidades mucho mayores que las capacidades humanas.
Repetitividad	Los sistemas automatizados son ideales para realizar tareas repetitivas y monótonas de manera continua sin perder calidad ni cometer errores.
Capacidad de Adaptación	Algunos sistemas automatizados logran adaptarse a cambios dentro del entorno o sobre los requisitos de tarea.
Integración de Sensores y Actuadores	Los sistemas automatizados a menudo incluyen sensores para recopilar información del entorno y actuadores para realizar acciones físicas.
Eficiencia Energética	En muchos casos, los sistemas automatizados pueden ser diseñados para operar de manera más eficiente desde la perspectiva energética que los procesos manuales equivalentes
Seguridad	La implementación de sistemas automatizados puede mejorar la seguridad en ciertos entornos, especialmente en situaciones peligrosas para los humanos

*Nota.* Adaptado de Shum y Zhong (2023)

### **2.2.1.3. Tipos de sistema automatizado**

Los principales tipos de sistemas automatizados incluyen aspectos relacionados a la industria, oficina, hogar, entre otros; los cuales se especifican a continuación (Kanavedee & Nazir, 2023):

- a) **Automatización Industrial:** En entornos de fabricación, se utilizan sistemas automatizados para controlar maquinaria y procesos de producción. Esto puede incluir robots industriales, sistemas de control numérico, y otras tecnologías a razón de alcanzar mejoras en la eficiencia y la calidad en la fabricación.
- b) **Automatización en la Oficina:** En entornos de oficina, la automatización se utiliza para realizar tareas repetitivas y basadas en reglas, como el procesamiento de datos, el envío de correos electrónicos programados, la gestión de documentos, entre otros.
- c) **Automatización del Hogar:** Con la proliferación de dispositivos inteligentes, la automatización del hogar permite controlar sistemas de iluminación, seguridad, climatización y otros dispositivos de manera remota o programada.
- d) **Automatización en el Software:** Al ser desarrollado el software, la automatización se utiliza para realizar pruebas, integración continua, despliegue continuo (CI/CD), y demás actividades que mejoran la eficiencia dentro del ciclo de vida del desarrollo.
- e) **Automatización del Proceso Empresarial (BPA):** Se refiere a la automatización de procesos empresariales completos, donde se integran sistemas y flujos de trabajo para alcanzar mejoras en la eficiencia y ser reducidos los errores.

- f) **Automatización en la Nube:** La gestión automatizada de recursos en la nube, como el aprovisionamiento y escalado automático de servidores, es un ejemplo de automatización en la infraestructura de tecnología de la información.

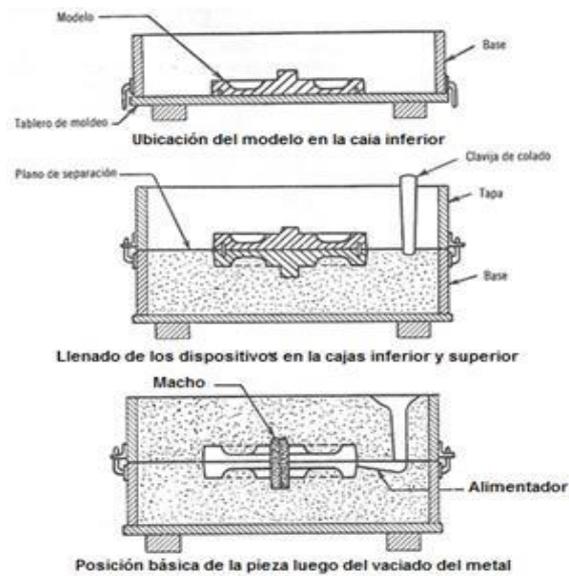
### **2.2.2. Dosificación de arena**

La dosificación de arena es la medida y mezcla adecuada de arena con otros materiales en diversas aplicaciones, como la construcción, la fabricación de concreto, la preparación de mortero, entre otros. La cantidad de arena necesaria puede variar según el propósito específico y los requisitos del proyecto (Woong et al., 2023).

#### **2.2.2.1. Dosificación de arena para moldes de fundición**

La dosificación de arena para moldes de fundición es un proceso crítico en la industria metalúrgica, ya que afecta directamente en el producto final según su calidad e integridad. La composición y la cantidad de arena utilizada en la fabricación de moldes pueden variar de acuerdo con el tipo de metal a fundir, el proceso de fundición y otros factores específicos de la aplicación (Zhu et al., 2023).

**Figura 1:** Tipos de moldeo en la dosificación



*Nota.* Obtenida de Zhu et al. (2023).

#### 2.2.2.2. Tipos de dosificación de arena para moldes

La dosificación de arena para moldes de fundición puede variar según diversos factores, como el tipo de metal a fundir, el método de fundición, la forma y tamaño de la pieza, entre otros (Ahmed & Faisal, 66).

- a) **Arena Verde:** La arena verde es la forma más común de arena utilizada en la fundición. Contiene humedad y arcilla como aglomerante. La dosificación suele variar según la proporción de arcilla y la cantidad de agua añadida para proporcionar cohesión al molde.
- b) **Arena Seca:** En este método, la arena se seca antes de mezclarla con el aglomerante. La dosificación debe ser precisa para garantizar que la cantidad adecuada de aglutinante se añada para mantener la cohesión.
- c) **Arena Sintética:** En algunos casos, se utilizan arenas sintéticas en lugar de arena natural. Estas arenas a menudo se mezclan con resinas

fenólicas u otros aglomerantes sintéticos. La dosificación dependerá de la fórmula específica de la mezcla.

- d) Arena de Sílice: La arena de sílice se utiliza comúnmente al ser fundidos los metales no ferrosos y ferrosos. La dosificación se ajusta según la cantidad de sílice necesaria para proporcionar las propiedades adecuadas al molde.
- e) Arena de Cromita: La arena de cromita se utiliza en la fundición de aleaciones de cromo y otros metales resistentes al calor. La dosificación dependerá de las proporciones específicas requeridas para estas aplicaciones de alta temperatura.
- f) Arena de Zirconio: La arena de zirconio se utiliza en fundiciones que requieren una elevada resistencia a la corrosión y al calor. La dosificación se ajusta a razón de que se garantice la estabilidad térmica y química del molde.
- g) Arena de Cerámica: En algunos procesos de fundición avanzados, se utilizan arenas cerámicas. La dosificación se personaliza para adaptarse a las características únicas de las arenas cerámicas y los aglomerantes utilizados.
- h) Arena Reciclada: La arena reciclada, proveniente de moldes antiguos, a menudo se utiliza en la fundición para reducir costos y desperdicios. La dosificación debe ajustarse para compensar cualquier cambio en las propiedades de la arena reciclada.

### **2.2.2.3. Dosificación de arena para moldes de fundición de acero**

La dosificación de arena para moldes de fundición de acero está compuesta principalmente por resina, arena y catalizador, los cuales se

surten en una mezcladora la cual se encarga de fusionar estos componentes y entregar una mezcla apta para poderla utilizar en la fundición de acero, para esto se utiliza determinados porcentajes de cada componente, ya que si se tiene un excedente de humedad tiende a que al momento de fundir el acero el molde burbujee y la fundición tengo un resultado no óptimo, por el caso contrario si la mezcla está seca no se va a realizar una buena compactación al momento de fundir (Ahmida et al., 2023).

### **2.2.3. Fundición**

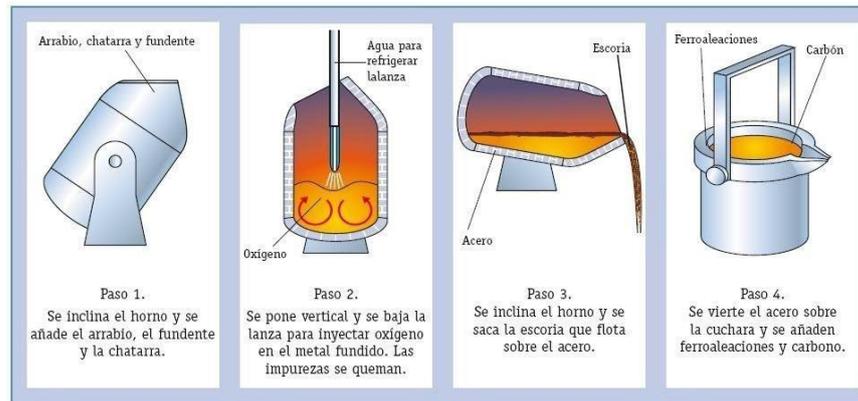
La fundición es uno de los procesos de fabricación en el cual se funden los materiales, en su mayoría metal o aleación, para luego verterlo en un molde con una cavidad específica y permitir que se enfríe y solidifique, tomando la forma del molde. Este proceso se utiliza para producir piezas con formas complejas que no son fácilmente obtenibles por otros métodos de fabricación (Wang et al., 2023). El proceso de fundición generalmente sigue estos pasos:

- a) Preparación del modelo o patrón: Se crea un modelo o patrón de la pieza que se desea fabricar. Este puede ser hecho de madera, metal o plástico, y sirve como la referencia para crear el molde.
- b) Creación del molde: Se coloca el modelo en una caja de moldeo y se cubre con un material refractario, como arena o yeso, para crear el molde. El material del molde tiene que poder soportar altas temperaturas.
- c) Fundición: El metal o aleación se calienta hasta su punto de fusión y es vertido dentro del molde. A medida que se enfría, toma la forma del molde.
- d) Enfriamiento y solidificación: El metal se enfría y solidifica dentro del molde, adoptando la forma deseada.

e) Desmoldeo: Una vez que el metal está completamente enfriado, el molde es roto o retirado a fin de que se revele la pieza que se fundió.

Este proceso se emplea en una extensa variedad de industrias para fabricar desde piezas pequeñas y detalladas hasta componentes grandes y robustos.

**Figura 2:** *Proceso de fundición*



*Nota.* Obtenido de Wang et al. (2023)

### 2.2.3.1. Tipos de materiales fundidos

La fundición puede aplicarse a una variedad de materiales, siendo los metales y las aleaciones los más comunes (Liu et al., 2023). Los principales materiales que se emplean para el proceso de fundición son los siguientes:

#### a) **Fundición de Metales Ferrosos**

**Hierro Fundido:** Se utiliza comúnmente en aplicaciones donde se requiere resistencia y durabilidad, como en piezas de automóviles, tuberías y componentes industriales.

**Acero:** Se funde principalmente para producir formas específicas de acero con propiedades mecánicas particulares.

## **b) Fundición de Metales No Ferrosos**

Aluminio: Es ligero y tiene buenas propiedades de resistencia a la corrosión. Se emplea al ser fabricadas piezas de automóviles.

Cobre: Se utiliza en aplicaciones eléctricas, tuberías y piezas decorativas debido a su conductividad eléctrica y maleabilidad.

Zinc: Se funde a temperaturas relativamente bajas y se emplea al ser fabricadas piezas pequeñas y precisas, como herrajes y componentes electrónicos.

Estaño y Plomo: Se utilizan en aleaciones para soldaduras y en la fabricación de objetos como platos y utensilios.

## **c) Fundición de Aleaciones Específicas**

Aleaciones de Aluminio: Diversas aleaciones de aluminio se utilizan en la industria aeroespacial, automotriz y de construcción debido a su resistencia y bajo peso.

Aleaciones de Cobre-Níquel: Se usan en la fabricación de componentes resistentes a la corrosión para aplicaciones marinas.

Aleaciones de Titanio: Debido a su resistencia a la corrosión y a elevadas temperaturas, se emplea en el sector aeroespacial y médica.

## **d) Fundición de Metales Preciosos**

Oro, Plata, Platino, Paladio: Estos metales se funden para crear joyería.

## **e) Fundición de Metales Bajo Punto de Fusión**

Aleaciones de Bismuto: Funden a temperaturas bajas y se emplean al ser fabricados los dispositivos de seguridad y componentes electrónicos.

Estos son solo algunos ejemplos, y la elección del material de fundición depende de las propiedades requeridas para la aplicación específica. El proceso de fundición puede variar según el tipo de material y la metodología empleada, como la fundición en arena, fundición a presión, fundición a la cera perdida, entre otros (Wu y otros, 2023).

**Figura 3:** *Hierro fundido*



*Nota.* Obtenido de Wu et al. (2023).

#### **2.2.3.2. Fundición de acero**

La fundición de acero es un proceso clave al ser fabricadas una variedad de componentes, partiendo de piezas pequeñas hasta partes complejas y grandes, es por ello que se tiene que tener en cuenta parámetros de suma importancia como:

##### **a) Composición del Acero**

La composición química del acero, incluyendo los porcentajes de carbono, manganeso, silicio, y otros elementos de aleación, afecta las propiedades mecánicas del material. La identificación de la aleación óptima depende de las particularidades específicas requeridas para la pieza fundida.

**b) Temperatura de Fusión**

La temperatura a la que se funde el acero es crítica. Demasiado caliente puede afectar la calidad del acero y las propiedades mecánicas, mientras que una temperatura insuficiente puede resultar en una fundición incompleta.

**c) Proceso de Fundición**

Hay varios métodos de fundición de acero, como fundición en arena, fundición a presión, fundición centrífuga, entre otros.

**d) Diseño del Modelo y del Molde**

La forma y el diseño de la pieza a fundir logran afectar la facilidad de la fundición y la calidad final. Se deben tener en cuenta consideraciones como esquinas filosas, cambios bruscos de grosor y otras geometrías que puedan afectar la solidificación. La selección del material del molde es crucial. Debe resistir las altas temperaturas de fusión del acero y ser capaz de proporcionar la forma y la textura deseadas a la pieza fundida.

**e) Temperatura del Metal Fundido**

Mantener la temperatura del metal fundido dentro de los parámetros específicos es esencial para garantizar una fundición adecuada y evitar problemas como inclusiones, porosidad y segregación.

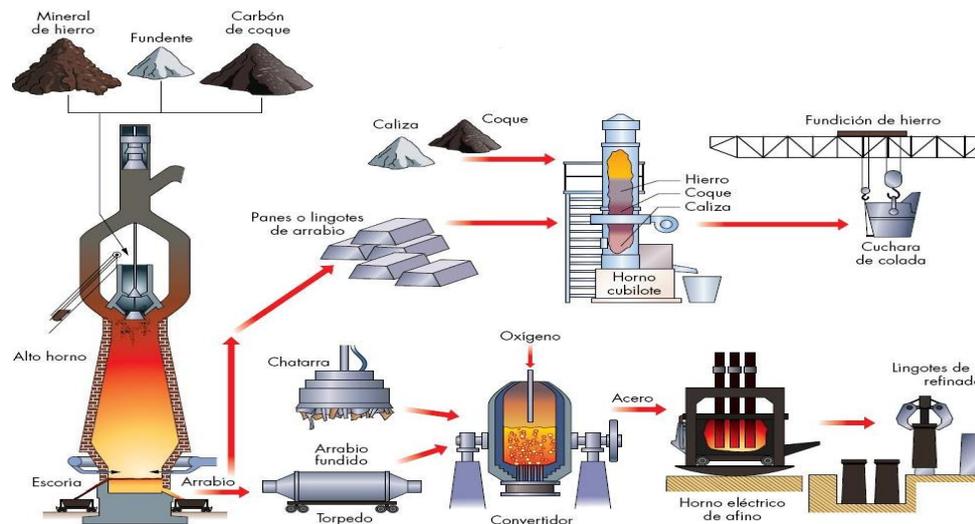
**f) Tratamientos Térmicos Posteriores**

Después de la fundición, algunas piezas de acero pueden requerir tratamientos térmicos adicionales para mejorar sus propiedades mecánicas y estructurales. El recocido y el temple son ejemplos comunes de estos procesos.

### g) Inspección y Control de Calidad

Las pruebas no destructivas, como ultrasonido y radiografía, pueden utilizarse para identificar defectos internos en la pieza fundida sin comprometer su integridad.

**Figura 4:** *Proceso de fundición del acero*



*Nota.* Obtenido de Wu et al. (2023).

### 2.3. Definición de términos básicos

- Automatización:** Proceso de introducir tecnología y control automático para realizar tareas específicas sin intervención humana directa (Finco y otros, 2023).
- Dosificación:** Medida precisa y controlada de la cantidad de un material, en este caso, arena, utilizada en un proceso específico (Liu et al., 2023).
- Desperdicios:** Materiales o recursos que no contribuyen al producto final y se descartan, en este contexto, relacionados con la fabricación de moldes para fundición (Shum & Zhong, 2023).
- Moldes para Fundición:** Estructuras que sirven como cavidades o formas para verter metal fundido, dando forma a piezas específicas en el proceso de fundición (Wu y otros, 2023).

- e) Fundición: Proceso de verter metal fundido en un molde para crear piezas con formas específicas (Nazari et al., 2023).
- f) Productividad: Medida de la eficiencia en la producción, cuantificando el vínculo sobre la producción alcanzada y los recursos empleados.
- g) Tecnología de Control: Sistemas y dispositivos que permiten regular y dirigir el comportamiento de otros dispositivos o procesos, en este caso, la dosificación de arena (Shum & Zhong, 2023).
- h) Proceso Industrial: Serie de pasos coordinados para ser transformada las materias primas en productos acabados, en el contexto de la elaboración de moldes para fundición.
- i) Optimización: Ajuste y mejora continua de un sistema o proceso para obtener el mejor rendimiento posible (Rana et al., 2023).
- j) Automatización Industrial: Implementación de tecnología para realizar tareas industriales sin intervención humana directa. (Rana et al., 2023).

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La implementación de un sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena incrementa la eficiencia de insumos en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC.

### **2.4.2. Hipótesis específica**

- a) Baja eficiencia de insumos en la situación actual antes de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición IMIM SAC.

- b) El funcionamiento se basó en sensores, actuadores y una tarjeta programable para el sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC.
- c) El desarrollo del algoritmo se basará en la tarjeta programable PLC empleado en la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC.
- d) Alta eficiencia de insumos en la situación actual antes de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición IMIM SAC.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable Independiente: Automatización del proceso de dosificación**

Es la aplicación de tecnología y sistemas automáticos para medir y controlar la cantidad precisa de un material, en este caso, arena, durante un proceso de producción (Wu et al., 2023).

### **2.5.2. Variable dependiente: Eficiencia de insumos**

Es la capacidad de una empresa o proceso para emplear óptimamente los recursos disponibles en la producción de bienes o servicios. En el contexto de la industria o la producción, los insumos logran ser recursos que se emplean en el proceso de fabricación, como capital, energía, mano de obra y materias primas (Wang et al., 2023).

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Continuando, por medio de la tabla 3 se muestra la matriz de operacionalización para la identificación de los indicadores y dimensiones con la cuales se desarrolló el presente trabajo.

**Tabla 3:** Operacionalización de variables

<b>Variab</b> les	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escalas de medición</b>
Variable Independiente: Automatización del proceso de dosificación	Es la aplicación de tecnología y sistemas automáticos para medir y controlar la cantidad precisa de un material	Se medirá a partir de la detección, programación y reacción del sistema mediante los sensores, lenguaje programable y actuadores	Detección	Sensores	De razón
			Programación	Lenguaje de Programación	
			Reacción	Actuadores	
Variable dependiente: Eficiencia de insumos	Es la capacidad de una empresa o proceso para emplear óptimamente los recursos disponibles en la producción de bienes o servicios	Se medirá a partir de la productividad por materia, desperdicio y productividad económica.	Eficiencia de resina fenólica	$\frac{\text{Consumo de resina fenólica}}{\text{Producción de arena}}$	
			Eficiencia de catalizador	$\frac{\text{Consumo de catalizador}}{\text{Producción de arena}}$	

*Nota.* Elaboración propia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Para el presente trabajo el tipo de investigación fue la aplicada, ya que se utilizaron las diferentes fórmulas y métodos ya existentes en la automatización del proceso de dosificación de arena a razón de reducir los desperdicios en la elaboración de moldes para fundición. Una investigación de tipo aplicada, se distingue por buscar la solución de situaciones o problemas específicos del mundo real a través del uso de conocimientos científicos y teóricos (Ruiz & Valenzuela, 2022).

#### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación empleado fue explicativo, dado que se buscó analizar la relación causa-efecto entre la automatización del proceso de dosificación de arena y el incremento en la eficiencia de los insumos en la elaboración de moldes para fundición. La investigación explicativa se enfoca en que se establezcan vínculos sobre las variables a razón de que se generen conocimiento que explique fenómenos de forma detallada (Rodríguez, 2019).

### **3.3. Métodos de investigación**

El método de investigación que se empleó en el estudio es el deductivo, ya que se logró analizar los datos en base a la lógica para poder probar la validez del sistema propuesto. El método deductivo es un enfoque de análisis racional del cual se basa en la aplicación de reglas generales o principios para llegar a conclusiones específicas (Arias et al., 2022).

### **3.4. Diseño de investigación**

Para la investigación el diseño que se utilizó es preexperimental, ya que se procedió a manipular la variable independiente, siendo esta el sistema de automatización de procesos y se logró observar cómo influye en la variable dependiente, la cual es reducir los desperdicios en la elaboración de moldes para fundición. Según Ruiz y Valenzuela (2022), el diseño preexperimental es un enfoque de investigación en el que se realiza una intervención o tratamiento en un grupo o individuo.

### **3.5. Población y muestra**

La población logró estar determinada por la planta de fundición IMIM S.A.C. mientras que la muestra es el área de desperdicios del sistema modelado.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Una técnica de recopilación de datos es un procedimiento específico empleado para adquirir información, observaciones o pruebas con el propósito de investigar, analizar o comprender un fenómeno particular. En la investigación se empleó la técnica de análisis documental, dicha técnica metodológica consiste en llevar a cabo un estudio sistemático y exhaustivo de documentos escritos,

registros, textos u otras fuentes de información escrita con el fin de extraer conocimiento, identificar patrones y obtener comprensión sobre el tema específico (Arias et al., 2022).

Un instrumento de recolección de datos se refiere a un tipo de herramienta o medio empleado para recopilar información, observaciones o respuestas de los participantes en la investigación. Los instrumentos utilizados en esta investigación están centrados en recopilar datos pertinentes respecto a los desperdicios en INDUSTRIAS INIM S.A.C. Para este propósito, se logró emplear una guía de análisis como instrumento de recolección de datos. La guía de análisis documental consta de directrices y pasos detallados diseñados para facilitar a los investigadores el abordaje y examen sistemático de documentos escritos, registros o fuentes textuales (Arias et al., 2022).

### **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

La obtención de datos se efectuó partiendo de los reportes que se generó a través del sistema automatizado y los registros del proceso de dosificación de arena en la industria. Para ser procesados los datos, se empleó Microsoft Excel, ya que permitió elaborar tablas y gráficos que facilitaron la interpretación de los resultados. La confiabilidad de los datos estuvo garantizada al efectuado un control periódico mensual de las mediciones generadas por el sistema, verificando su precisión por medio de pruebas comparativas con métodos aplicados en otros estudios.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para ser analizados y procesados los datos, siendo un procedimiento vital en la investigación y en muchas otras disciplinas de estudio, esto implica

recopilar, organizar, analizar y convertir datos sin procesar en información útil que puede emplearse para tomar decisiones dentro del diseño de conocimientos o la resolución de problemas (Rodríguez, 2019). Asimismo, dentro del procesamiento y estudio de los datos en la investigación se empleó el software Microsoft Excel.

### **Procedimientos**

O1: Determinar la situación actual antes de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC.

- Efectuar el diagrama de Ishikawa de las causas principales del problema
- Realizar la matriz de enfrentamiento de las posibles causas principales.
- Determinar la cantidad de arena utilizada antes de la implementación.
- Determinar la cantidad de catalizador utilizado antes de la implementación.
- Calcular el tiempo de entrega dentro del proceso de dosificación de arena antes de la implementación.

O2: Determinar los componentes de funcionamiento del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC.

- Elegir los sensores a utilizar en el sistema automatizado.
- Elegir los actuadores a utilizar en el sistema automatizado.
- Elegir la tarjeta programable para el desarrollo del software.

O3: Desarrollar el algoritmo del software empleado para la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC.

- Seleccionar el programa en donde se logre desarrollar el sistema automatizado.
- Elaborar el algoritmo a emplear para el funcionamiento del sistema automatizado.

O4: Determinar el diagnóstico e indicadores de mejora después de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición IMIM SAC.

- Determinar la cantidad de arena utilizada antes de la implementación.
- Determinar la cantidad de catalizador utilizado antes de la implementación.
- Calcular el tiempo de entrega dentro del proceso de dosificación de arena antes de la implementación.
- Realizar el cálculo de los indicadores de mejora del sistema automatizado en el proceso de dosificación.

### **3.9. Tratamiento estadístico.**

Los valores resultantes alcanzados fueron analizados bajo los criterios de la estadística descriptiva, presentándose en tablas que permitieron visualizar las tendencias y distribuciones de las variables. Para que se compruebe la normalidad de los datos, se aplicó el test de Shapiro-Wilk, de acuerdo a los resultados de esta prueba, se seleccionó el test estadístico adecuado, donde si los datos cumplen con la normalidad, se empleó el test T-Student; en caso contrario, se aplicó el test Wilcoxon.

### **3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

Los derechos de autoría correspondientes a las diferentes fuentes que fueron examinadas para el estudio se respetan mediante citas adecuadas al estilo

APA 7ma. Además, se empleó la tecnología digital TURNITIN para evitar el plagio, confirmando la unicidad del autor y de los datos. De igual forma, se siguió el Código de Ética en Investigación de la UNDAC, asegurando la autenticidad, neutralidad y transparencia en el estudio y recolección de la información.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

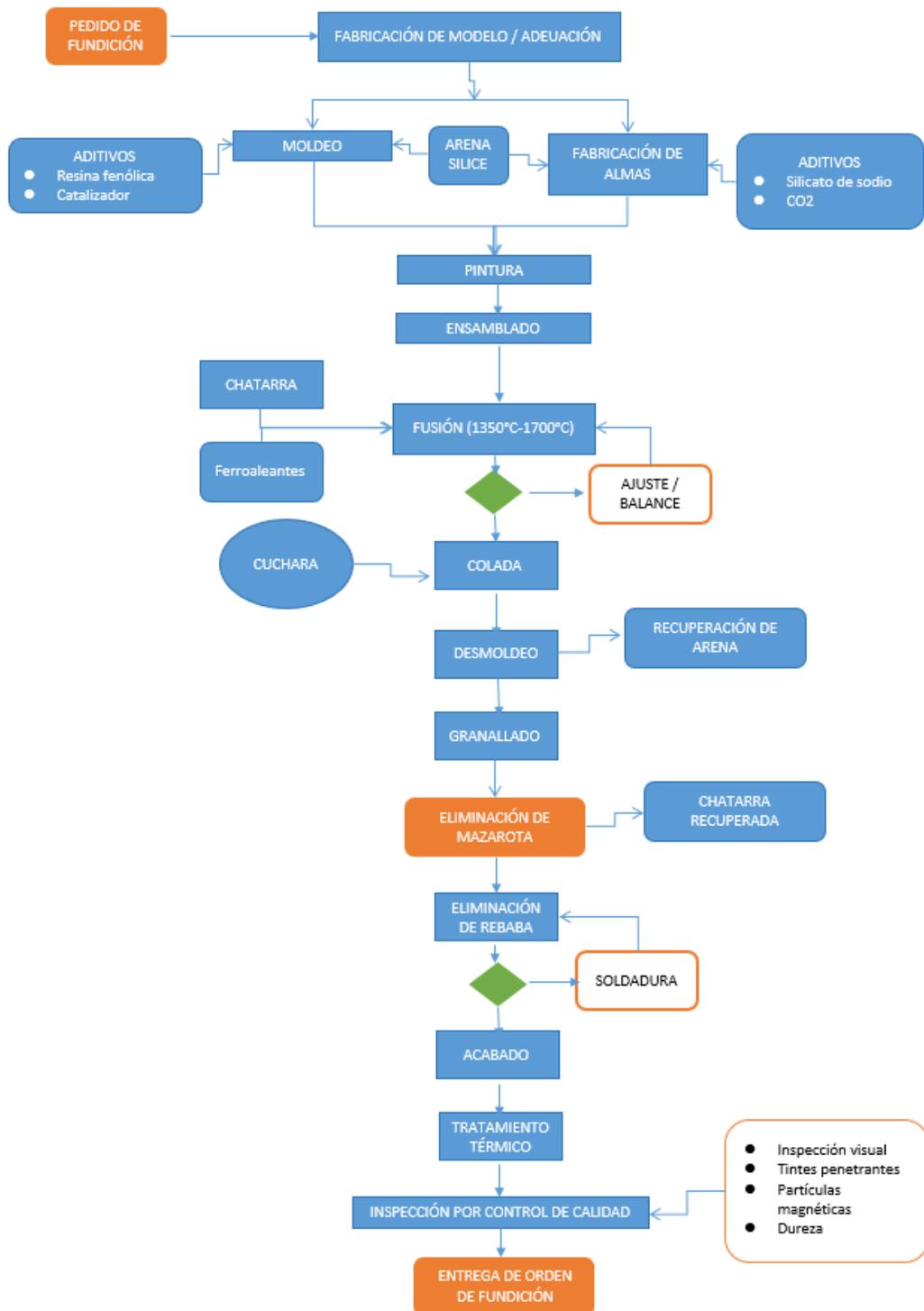
#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Información de la Empresa**

Industrias IMIM ofrece servicios de reparación parcial e integral de locomotoras mineras, palas neumáticas y componentes de ambos equipos, tanto de la marca IMIM como otras. La fortaleza de los recursos y capacidades como fabricantes de locomotoras mineras y palas neumáticas brinda a los clientes la garantía, confianza y seguridad de encargarnos mantenimientos y reparaciones permitiendo la renovación de la vida útil de sus activos, con la calidad esperada y el soporte técnico post venta que nos caracteriza. En la Planta de Fundición de aceros aleados y bronce fabricamos todo tipo de piezas como ruedas, forros, carcazas, piñones, catalinas, etc., para ello contamos con hornos de inducción con capacidad de colada para piezas de hasta 460 kilos netos, mezclador continuo de arena para el moldeo de piezas, granalladora para limpieza, horno de tratamiento térmico y poza de austenizado. Fabricamos todo tipo de piezas en Acero SAE 1020, 1030, 1045, 1060, 4140,4315, Hierro Fundido, Hierro Nodular, Hierro

Blanco, Acero Inoxidable SAE 304, 316, Acero al Manganeso, Bronce SAE 62, 64, 65, 68<sup>a</sup>, 68B, 430, Bronce al Aluminio, Bronce Amarillo, Bronce Rojo, etc.

**Figura 5:** Diagrama de flujo del proceso de fundición



Nota. Elaboración propia

#### **4.1.2. Análisis del problema**

En la empresa IMI SAC, cuenta con el rubro de fundición de metales, la cual ha sufrido pérdidas monetarias asociadas al aumento de la cantidad de catalizar y resina, además otro inconveniente es el tardado tiempo en la dosificación de la arena a causa de las siguientes ocurrencias: Falta de capacitación, rotación del personal, proceso manual, falta de estándares, falta de equipos automatizados, mantenimiento deficiente, mal almacenamiento, insumos no estandarizados, espacio de trabajo limitado, contaminación de arena, falta de seguimiento y métricas inadecuadas; tal como se observa por medio de la figura en base al diagrama de Ishikawa. De igual forma, por medio de la tabla 4 se visualiza la matriz de enfrentamiento de los orígenes del problema con el propósito de cuantificar el periodo de las ocurrencias a través de un criterio de relación:

- Si hay relación (3 puntos)
- Regular relación (1 punto)
- No hay relación (0 puntos)

Figura 6: Diagrama de Ishikawa



Nota. Elaboración propia

**Tabla 4:** *Matriz de enfrentamiento de causas*

N°	Causas	C/01	C/02	C/03	C/04	C/05	C/06	C/07	C/08	C/09	C/10	C/11	C/12	Total
C1	Falta de capacitación		1	3	0	0	1	3	0	0	1	1	0	<b>13</b>
C2	Rotación del personal	0		1	1	0	0	3	0	3	1	1	0	<b>13</b>
C3	Proceso manual	0	0		1	0	3	3	0	0	1	0	1	<b>12</b>
C4	Falta de estándares	1	0	0		0	3	1	1	0	0	1	3	<b>10</b>
C5	Falta de equipos automatizados	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3	3	<b>36</b>
C6	Mantenimiento deficiente	0	3	0	0	0		3	0	0	1	1	3	<b>11</b>
C7	Mal almacenamiento	0	0	0	0	0	0		0	3	1	1	0	<b>6</b>
C8	Insumos no estandarizados	3	1	3	0	0	3	1		1	1	0	0	<b>13</b>
C9	Espacio de trabajo limitado	1	0	1	1	0	3	0	0		1	1	1	<b>9</b>
C10	Contaminación de arena	0	0	0	3	0	0	0	0	0		1	3	<b>8</b>
C11	Falta de seguimiento	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0		1	<b>8</b>
C12	Métricas inadecuadas	3	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0		<b>12</b>
<b>Total</b>		<b>11</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>151</b>

*Nota.* Elaboración propia

Seguidamente, por medio de la tabla se exhibe el periodo de las causas raíz evidenciando que los orígenes sobre el aumento de la cantidad de catalizar, resina y el tiempo tardado en la dosificación de la arena son: en un 20.9% la inexistencia del plan de mantenimiento, carencia de algún tipo de mantenimiento y carencia de parámetros de control y seguimiento en un 17.4%, carencia de registros en un 14.5% y en un 9.3% las funciones de trabajo no definidas.

**Tabla 5:** Frecuencia de las causas raíz

<b>Causa</b>	<b>Total</b>	<b>Frecuencia Acumulada</b>	<b>%Relativa unitaria</b>	<b>%Relativa Acumulada</b>	<b>Pareto</b>
Falta de equipos automatizados	36	36	23.84%	23.84%	
Falta de capacitación	13	49	8.61%	32.45%	
Rotación del personal	13	62	8.61%	41.06%	
Insumos no estandarizados	13	75	8.61%	49.67%	80%
Proceso manual	12	87	7.95%	57.62%	
Métricas inadecuadas	12	99	7.95%	65.57%	
Mantenimiento deficiente	11	110	7.28%	72.85%	
Falta de estándares	10	120	6.62%	79.47%	
Espacio de trabajo limitado	9	129	5.96%	85.43%	
Contaminación de arena	8	137	5.30%	90.73%	20%
Falta de seguimiento	8	145	5.30%	96.03%	
Mal almacenamiento	6	151	3.97%	100%	
<b>Total</b>	<b>151</b>		<b>100.0%</b>		

*Nota.* Elaboración propia

### 4.1.3. Resultados antes de la implementación de la mejora

En las siguientes tablas se muestra los indicadores de resina fenólica, catalizador e insumos en el transcurso de los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2023. En los cuales durante los 4 meses mencionados se ha empleado 1045.5 kg de resina fenólica, 358.7 kg de catalizador y un total de insumos de 1404.2 kg.

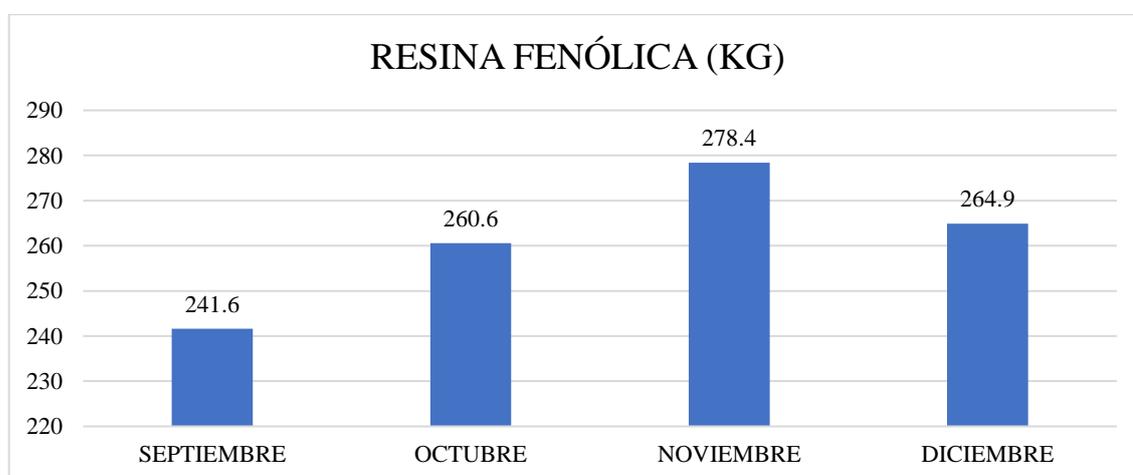
**Tabla 6:** Eficiencia de resina fenólica antes de la implementación

Mes	Peso de arena (kg)	Resina fenólica (kg)	Eficiencia de resina (1.1-1.6%)
Septiembre	10220	241.6	2.36%
Octubre	12700	260.6	2.05%
Noviembre	13443	278.4	2.07%
Diciembre	12640	264.9	2.10%
Total	49003	1045.5	2.13%

*Nota.* Elaboración propia

A partir de la tabla anterior se pudo identificar que la eficiencia de la resina fenólica en los cuatro meses fue de 2.13%, esto quiere decir que estuvo fuera de los parámetros establecidos de 1.1 a 1.6%.

**Figura 7:** Resina fenólica antes de la implementación



*Nota.* Elaboración propia

La figura reveló que entorno al mes de diciembre se tuvo el mayor consumo de resina fenólica, evidenciando un valor de 278.4 kg, y entorno al mes de septiembre se evidenció el menor consumo de resina fenólica con un valor de 241.6 kg.

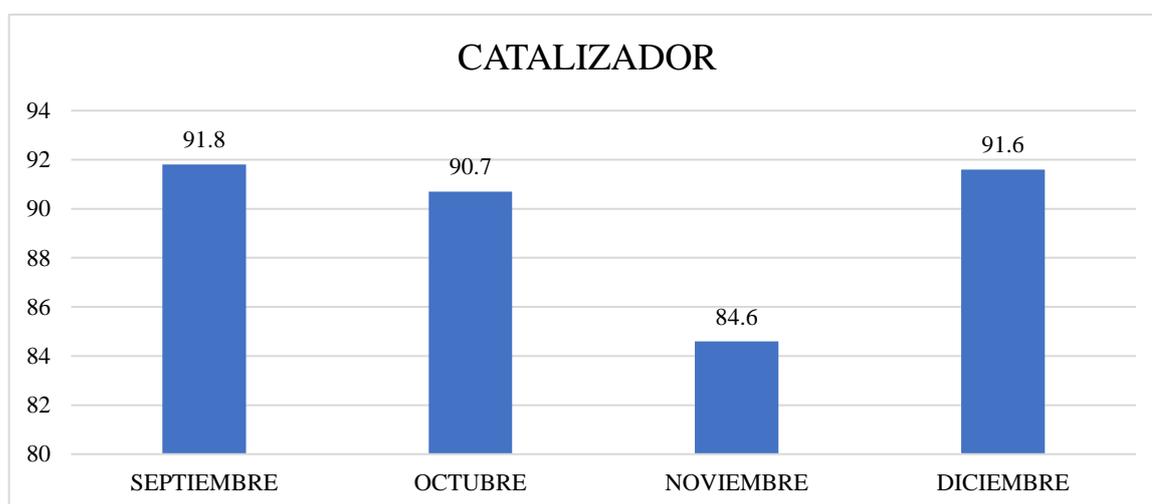
**Tabla 7:** Eficiencia de catalizador antes de la implementación

Mes	Catalizador	Eficiencia de catalizador (20-25%)
Septiembre	91.8	38.00%
Octubre	90.7	34.80%
Noviembre	84.6	30.39%
Diciembre	91.6	34.58%
Total	358.7	34.31%

*Nota.* Elaboración propia

A partir de la tabla anterior se pudo identificar que la eficiencia del catalizador en los cuatro meses fue de 34.31%, lo cual quiere decir que estuvo fuera de los parámetros establecidos de 20 a 25%.

**Figura 8:** Catalizador antes de la implementación



*Nota.* Elaboración propia

La figura reveló que entorno al mes de septiembre se tuvo el mayor consumo de catalizador, evidenciando un valor de 91.8 kg, y entorno al mes de

noviembre se evidenció el menor consumo de catalizador con un valor de 84.6 kg.

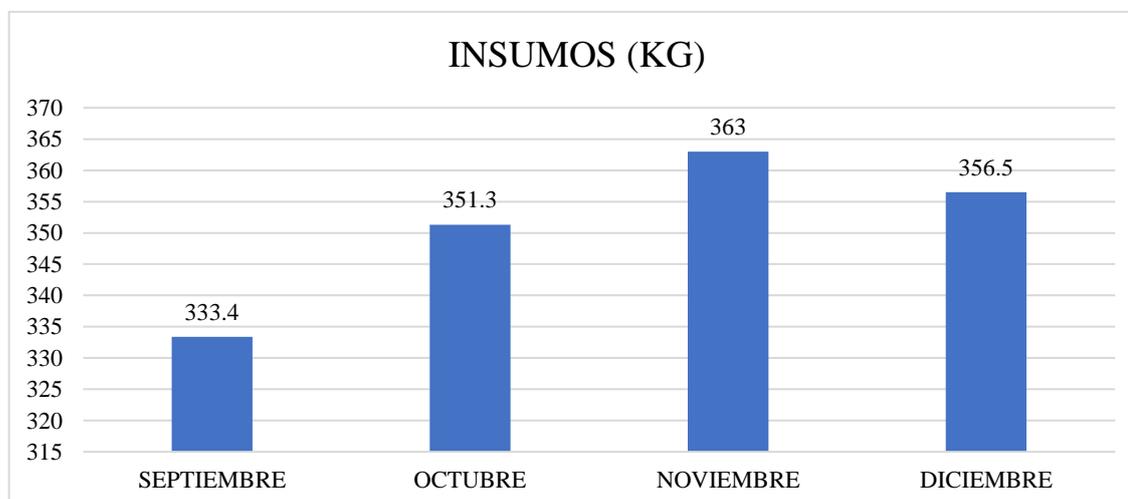
**Tabla 8:** Eficiencia de insumos antes de la implementación

Mes	Peso de arena (kg)	Insumos (kg)	Eficiencia de insumos (1.32-1.85)
Septiembre	10220	333.4	3.26%
Octubre	12700	351.3	2.77%
Noviembre	13443	363	2.70%
Diciembre	12640	356.5	2.82%
Total	49003	1404.2	2.87%

*Nota.* Elaboración propia

A partir de la tabla anterior se pudo identificar que la eficiencia de insumos en los cuatro meses fue de 2.87%, lo cual está fuera de los parámetros establecidos de 1.32 a 1.85%.

**Figura 9:** Insumos antes de la implementación



*Nota.* Elaboración propia

La figura revela que entorno al mes de noviembre se tuvo el mayor consumo de insumos, evidenciando un valor de 363 kg, y entorno al mes de septiembre se evidenció el menor consumo de insumos con un valor de 333.4 kg.

## **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

### **4.2.1. Componentes del sistema automatizado**

Para ser implementado el sistema automatizado se ha hecho uso de los siguientes componentes electrónicos:

#### **4.2.1.1. Sensor de barrera reflectiva**

Un sensor de barrera reflectiva es un dispositivo utilizado en aplicaciones industriales y de automatización para detectar la presencia, ausencia o distancia de un objeto. Funciona mediante la emisión de un haz de luz, generalmente infrarrojo, desde un emisor hacia un objeto y la recepción de la luz reflejada por el objeto en un receptor. Dicho proceso se efectúa en diversas etapas: en primera instancia, el emisor genera un haz de luz la cual se dirige hacia el objeto a detectar. Luego, el objeto refleja la luz emitida, cuya cantidad y ángulo de reflexión dependen de las características del objeto, como su color y superficie. Finalmente, el receptor capta la luz reflejada y la procesa para generar una señal eléctrica que indica si el objeto ha sido detectado.

Entre las características más destacadas de estos sensores se encuentra la distancia de detección, que puede variar desde unos pocos milímetros hasta varios metros, dependiendo del diseño del sensor, la velocidad de respuesta de estos dispositivos es generalmente rápida, convirtiéndolos en aptos para aplicaciones que exijan detección precisa y veloz. Los sensores de barrera reflectiva suelen emitir luz infrarroja, aunque algunos modelos utilizan luz visible.

#### **4.2.1.2. Bomba de 12V – 2A**

Una bomba de 12V-2A es un dispositivo electromecánico diseñado para mover líquidos o gases utilizando energía eléctrica de corriente continua. Las especificaciones de 12 voltios y 2 amperios indican que la bomba opera con 12 voltios de voltaje y consume 2 amperios de corriente. Estas bombas son comunes en aplicaciones automotrices, sistemas de riego, acuarios, fuentes decorativas y otros sistemas que requieren el transporte de fluidos con una fuente de alimentación de baja tensión. El funcionamiento de la bomba de 12V-2A se basa en un motor eléctrico que acciona un mecanismo de bombeo. Dependiendo del tipo de bomba, el mecanismo puede ser una hélice, un diafragma, un engranaje o un pistón. El motor logra convertir en energía mecánica la energía eléctrica, moviendo el fluido desde la entrada de la bomba hacia la salida a través del mecanismo de bombeo.

Entre las características más importantes de estas bombas se encuentra el voltaje de operación, que es de 12 voltios de corriente continua, un voltaje común en aplicaciones automotrices y sistemas alimentados por baterías. La corriente nominal de 2 amperios es la cantidad de corriente que la bomba consume bajo condiciones normales de operación. La bomba puede estar diseñada para líquidos como agua, combustible y aceites, o gases, dependiendo del modelo específico.

#### **4.2.1.3. Bomba de 12V-9A**

Una bomba de 12V-9A es un dispositivo electromecánico diseñado para mover líquidos o gases utilizando energía eléctrica de corriente continua bajo una tensión de 12 voltios, además de un consumo

de corriente de 9 amperios. Estas bombas son adecuadas para aplicaciones que requieren mayor potencia de bombeo, como sistemas de enfriamiento de automóviles, sistemas de riego de mayor capacidad, fuentes decorativas grandes y algunas aplicaciones industriales ligeras. El funcionamiento de la bomba de 12V-9A se basa en un motor eléctrico que acciona un mecanismo de bombeo, que puede ser una hélice, un diafragma, un engranaje o un pistón. El motor logra convertir en energía mecánica la energía eléctrica, moviendo el fluido desde la entrada de la bomba hacia la salida. Esta conversión permite el transporte eficiente de líquidos o gases a través del sistema de bombeo.

Las características principales de estas bombas incluyen un voltaje de operación de 12 voltios de corriente continua, lo que las hace compatibles con sistemas alimentados por baterías y aplicaciones automotrices. La corriente nominal de 9 amperios indica una mayor potencia en comparación con bombas de menor amperaje, lo que permite un mayor rendimiento de bombeo. Estas bombas pueden estar diseñadas para bombear una variedad de líquidos, como agua, combustibles y aceites, y en algunos casos gases, dependiendo del diseño específico.

#### **4.2.1.4. Pistones neumáticos**

Los pistones neumáticos son dispositivos que utilizan el aire comprimido para generar movimiento lineal en diversas aplicaciones industriales y mecánicas. Funcionan mediante la entrada de aire a presión en un cilindro, lo que provoca el desplazamiento de un pistón dentro de este cilindro. Este desplazamiento se traduce en movimiento mecánico

que puede ser utilizado para una variedad de tareas como empujar, tirar, levantar y bajar objetos o mecanismos.

El funcionamiento de un pistón neumático se basa en los principios de la neumática. Cuando se introduce aire comprimido en una de las cámaras del cilindro, el aumento de presión dentro de la cámara hace que el pistón se mueva hacia el extremo opuesto del cilindro. Al liberar el aire comprimido de la cámara, el pistón puede volver a su posición original, ya sea mediante un resorte interno o la aplicación de aire comprimido en la cámara opuesta. Este ciclo de compresión y descompresión permite el movimiento repetitivo del pistón.

#### **4.2.1.5. PLC**

Un PLC (Controlador Lógico Programable) es uno de los dispositivos electrónicos fundamentales en la automatización industrial, utilizado para controlar máquinas y procesos. Su principal función consiste en recibir señales de entrada de sensores y dispositivos de medición, procesar esta información según un programa predefinido, y enviar señales de salida para controlar actuadores, motores, válvulas y otros dispositivos.

El funcionamiento de un PLC se basa en un ciclo continuo de escaneo que incluye varias etapas clave. Primero, el PLC lee las señales de entrada desde los sensores y dispositivos conectados. Estas señales pueden ser digitales (encendido/apagado) o analógicas (valores variables como temperatura o presión). Luego, el PLC procesa estas señales siguiendo el programa lógico almacenado en su memoria, escrito en un lenguaje de programación específico como Ladder Logic, Diagrama de

Bloques Funcionales o Texto Estructurado. Basándose en el resultado del procesamiento, el PLC actualiza las señales de salida, activando o desactivando actuadores, motores y otros dispositivos. Finalmente, el PLC realiza tareas de autodiagnóstico y comunicación con otros dispositivos y sistemas, asegurando que el sistema funcione correctamente y enviando información de estado y datos relevantes a sistemas de monitoreo centralizados.

Los PLCs se destacan por varias características importantes. Son extremadamente fiables y robustos, diseñados para operar en entornos industriales duros con vibraciones, temperaturas extremas, humedad y ruido eléctrico. Su diseño modular y escalable permite la expansión con módulos adicionales de entradas y salidas según las necesidades específicas, haciendo que sean adaptables a diferentes tamaños y complejidades de sistemas. Los PLCs son capaces de procesar miles de instrucciones por segundo, manejando aplicaciones que requieren un control rápido y preciso. Además, soportan varios lenguajes de programación estandarizados como Ladder Logic y Diagrama de Bloques Funcionales, lo que facilita su programación y uso.

#### **4.2.1.6. Arduino Nano**

El Arduino Uno es una plataforma de desarrollo versátil y accesible, ampliamente utilizada en proyectos de electrónica y programación. Funciona como una pequeña computadora capaz de recibir señales de entrada de diversos sensores y controlar actuadores como LEDs y motores. Su funcionamiento se basa en el microcontrolador

ATmega328P, que ejecuta el código cargado en su memoria y define el comportamiento del Arduino en relación a las señales de entrada y salida.

Entre sus características principales, el Arduino Uno dispone de una amplia gama de pines de entrada/salida, tanto de medio digital como analógico, que permiten conectar una variedad de dispositivos. Opera a un voltaje de 5V y cuenta con 32 KB de memoria flash para programas, así como puertos USB y ICSP para la programación y comunicación con computadoras y otros dispositivos. Su facilidad de programación a través del entorno Arduino IDE lo hace apto para usuarios de todo nivel de experiencia. Además, es compatible con una variedad de "shields" que añaden funcionalidades adicionales, como conectividad Wi-Fi o control de motores.

#### **4.2.1.7. Fuente de conversión**

Una fuente de conversión es un dispositivo electrónico que desempeña un papel fundamental para ser transformada la forma de energía en otra, manteniendo constante la potencia total en el proceso. Su función primordial es cambiar una señal eléctrica de entrada en una señal de salida con características específicas, como voltaje, corriente, frecuencia o forma de onda, de acuerdo con las necesidades del sistema o dispositivo que la requiera. Las fuentes de conversión operan mediante una variedad de componentes electrónicos, como transformadores, rectificadores, reguladores de voltaje, osciladores y circuitos de control. Por ejemplo, una fuente de alimentación conmutada convierte en corriente continua regulada la corriente alterna de la red eléctrica mediante la conmutación de transistores a alta frecuencia.

En cuanto a sus características, se destacan por su eficiencia, estabilidad y capacidad de protección. Las fuentes modernas son altamente eficientes, minimizando las pérdidas de energía durante la conversión, y proporcionan una salida estable y confiable, incluso ante cambios en las condiciones de carga o en la red eléctrica de entrada. Además, suelen incluir protecciones contra sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones y sobrecalentamientos a razón de que se garantice la seguridad del sistema y de los dispositivos conectados.

#### **4.2.1.8. Mangones de aire**

Los mangones de aire son dispositivos neumáticos utilizados en la industria para aplicar fuerza o movimiento mediante aire comprimido. Funcionan al generar un flujo de aire a alta presión dirigido hacia un cilindro o actuador, lo que desplaza el cilindro y genera fuerza mecánica. Estos dispositivos se utilizan comúnmente para tareas de sujeción, levantamiento, empuje, manipulación y transporte de materiales. Su funcionamiento comprende a los principios de la neumática, donde un cilindro o actuador convierte la energía del aire comprimido en movimiento mecánico. Esto se logra mediante una válvula de control que regula el flujo de aire hacia el cilindro, permitiendo su activación o desactivación según sea necesario. Estos dispositivos se conectan al suministro de aire comprimido mediante mangueras y conexiones.

Entre sus características principales, destacan su capacidad para generar fuerzas significativas, su rapidez de respuesta, su facilidad de control mediante válvulas manuales o sistemas automatizados, su seguridad al no generar chispas ni requerir componentes eléctricos, su

flexibilidad para una variedad de aplicaciones industriales y su eficiencia energética al utilizar solo aire comprimido.

#### **4.2.1.9. Pulsadores**

Los pulsadores, también conocidos como botones de presión o interruptores momentáneos, son dispositivos clave en la electrónica y la automatización. Su función básica consiste en abrir o cerrar un circuito eléctrico momentáneamente al ser presionados, lo que permite activar o desactivar funciones, controlar dispositivos o enviar señales en diferentes sistemas. Cuando se presiona un pulsador, se fuerza el contacto entre sus terminales internos, lo que cierra temporalmente el circuito eléctrico y permite el paso de corriente. Al soltar el pulsador, los contactos vuelven a su posición original, abriendo el circuito y deteniendo el flujo de corriente. Esto se conoce como "contacto momentáneo" o "contacto normalmente abierto" (NO).

Estos dispositivos vienen en una variedad de configuraciones, tamaños y formas. Pueden ser de contacto momentáneo (normalmente abiertos) o de contacto normalmente cerrado (NC), activándose al soltar el botón. Además, son duraderos y fiables, diseñados para soportar un gran número de ciclos de presión.

#### **4.2.2. Algoritmo de programación**

Una parte del algoritmo de funcionamiento del sistema automatizado se ha realizado en la tarjeta Arduino Nano, la cual se logró describir a continuación el código de programación que se ha utilizado para controlar el proceso de dosificación de resina y catalizador. El código está diseñado para funcionar con dos botones de entrada y dos salidas PWM que regulan la dosificación de los

componentes químicos. Se logró analizar las etapas del código, desde la declaración de variables hasta el bucle principal de ejecución.

El código comienza con la declaración de las variables y pines que se llegó a emplear en el programa. Se definen las variables para representar los pines de los botones, las salidas de resina y catalizador, así como variables auxiliares para el estado de los botones. Estas son las variables declaradas:

- `int Button_B = 17;` Variable que representa el pin del botón B.
- `int Button_R = 16;` Variable que representa el pin del botón R.
- `int resina = 6;` Variable que representa el pin de salida para la resina.
- `int catalizador = 5;` Variable que representa el pin de salida para el catalizador.
- `int sensor = 2;` Variable que representa el pin del sensor.
- `int S = 0;` Variable para almacenar el estado del sensor.
- `int buttonState_B = 0;` Variable para almacenar el estado del botón B.
- `int buttonState_R = 0;` Variable para almacenar el estado del botón R.

Estas variables se utilizan para facilitar la lectura y escritura de datos en los pines correspondientes durante la ejecución del programa.

La siguiente etapa del código es la configuración inicial, que se realiza en el método `setup ()`. Aquí se establece el modo de funcionamiento de los pines como entrada o salida mediante la función `pinMode ()`. Los pines relacionados con los botones se configuran como entradas, mientras que los pines de resina y catalizador se configuran como salidas. El código para la configuración inicial es el siguiente:

**Figura 10:** *Establecimiento de pines de entrada y salida*

```
void setup() {  
  pinMode(sensor, INPUT);  
  pinMode(Button_B, INPUT);  
  pinMode(Button_R, INPUT);  
  pinMode(resina, OUTPUT);  
  pinMode(catalizador, OUTPUT);  
}
```

*Nota.* Elaboración propia

En este bloque de código, se asegura que los pines estén configurados correctamente antes de iniciar el bucle principal del programa. Esto garantiza que el hardware esté preparado para recibir y enviar señales según sea necesario con el transcurrir de la ejecución del programa.

El bucle principal del programa se encuentra dentro del método `loop ()`. Este bucle se ejecuta continuamente mientras el programa esté en funcionamiento y es responsable de leer el estado de los botones y controlar las salidas correspondientes según las condiciones establecidas. Analicemos este bucle en detalle:

**Figura 11:** *Asignación de ordenes*

```
void loop() {
  buttonState_B = digitalRead(Button_B);
  buttonState_R = digitalRead(Button_R);

  // Control para el botón B y el sensor S
  if (buttonState_B == HIGH & S == HIGH) {
    analogWrite(catalizador, 62);
    delay(10);
    analogWrite(resina, 142);
    delay(10);
  } else {
    analogWrite(catalizador, 0);
    analogWrite(resina, 0);
  }

  // Control para el botón R y el sensor S
  if (buttonState_R == HIGH & S == HIGH) {
    analogWrite(catalizador, 70);
    delay(10);
    analogWrite(resina, 145);
    delay(10);
  } else {
    analogWrite(catalizador, 0);
    analogWrite(resina, 0);
  }
}
```

*Nota.* Elaboración propia

En este bloque de código, se realizan las siguientes operaciones:

### **Lectura del Estado de los Botones**

Se utiliza la función `digitalRead ()` para leer el estado de los botones B y R, y se almacena en las variables `buttonState_B` y `buttonState_R`, respectivamente. Estas variables representan si los botones están presionados o no.

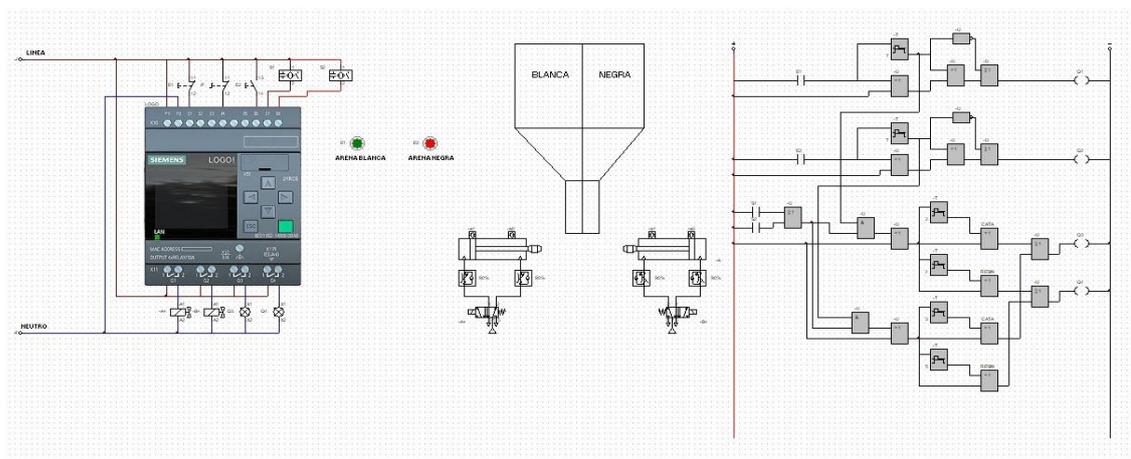
## Control de las Salidas en Función de los Botones y el Sensor

- Para el botón B: Se verifica si el estado del botón B es alto (presionado) y si el sensor S está alto. Si ambas condiciones son verdaderas, se ejecutan las instrucciones dentro del primer bloque condicional. Esto implica establecer valores de PWM en los pines de salida del catalizador y la resina, seguidos de un pequeño retraso para estabilizar la señal.
- Para el botón R: Se realiza un proceso similar al del botón B, pero para el botón R. Se verifica si está presionado y si el sensor S está alto, y se ajustan las salidas correspondientes de acuerdo con las condiciones establecidas.

El bucle loop () continúa ejecutándose de forma repetitiva, asegurándose de que se verifiquen constantemente los estados de los botones y se controlen las salidas según sea necesario.

Por otra parte, para la etapa de control se ha realizado la programación y configuración del PLC, la cual se evidencia a través de la figura a continuación.

**Figura 12:** Programación del PLC



*Nota.* Elaboración propia

Para llevar a cabo una programación efectiva en un Controlador Lógico Programable (PLC), es crucial seguir un conjunto de pasos bien definidos que

aseguren el éxito del proyecto. Estas etapas incluyen la definición de requisitos, el diseño del programa, el desarrollo del software, las pruebas y depuración, la implementación y puesta en marcha, la documentación, la capacitación y el soporte técnico.

En la fase de definición de requisitos, se establecen los objetivos y necesidades del sistema de control, identificando las entradas y salidas del PLC, los dispositivos a controlar y las secuencias de operación requeridas. Posteriormente, en el diseño del programa se elabora la estructura lógica del software, determinando cómo lograron interactuar las entradas con las salidas y cómo manejar las condiciones de emergencia.

En el desarrollo del software, se traduce el diseño del programa en código PLC utilizando el software de programación proporcionado por el fabricante. Se escriben las instrucciones y funciones necesarias, y se configuran las estructuras de datos y control. Posterior a ello, se efectuó las pruebas rigurosas para verificar el funcionamiento del software y detectar posibles errores. Esto incluye simular condiciones de operación y realizar pruebas en un entorno controlado.

Una vez probado y depurado el software, se implementa en el PLC y se procede a la puesta en marcha en el entorno de producción. Se carga el programa en el PLC, se configuran los parámetros de comunicación y se realizan las conexiones físicas necesarias. Es importante documentar todo el proceso de programación, incluyendo requisitos, diseño, código y pruebas realizadas, para tener una referencia clara y precisa. Finalmente, se brinda capacitación al personal que tienda a operar y mantener el sistema, y se proporciona soporte técnico continuo para resolver cualquier problema que pueda surgir y garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

### 4.2.3. Indicadores después de la implementación

En las siguientes tablas se evidencian los indicadores de resina fenólica, catalizador e insumos en el transcurso de los meses de marzo, abril, mayo y junio del 2024. En los cuales en el transcurso de los 4 meses mencionados se ha obtenido un total de resina fenólica de 674.2 kg, un total de catalizador de 152.7 kg y un total de insumos de 826.9 kg.

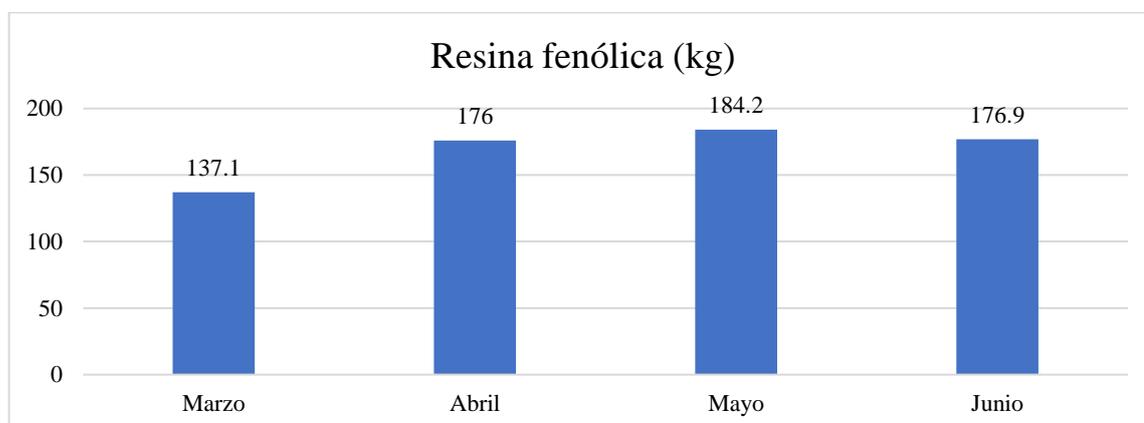
**Tabla 9:** Eficiencia de resina fenólica después de la implementación

Mes	Peso de arena (kg)	Resina fenólica (kg)	Eficiencia de resina (1.1-1.6%)
Marzo	10220	137.1	1.34%
Abril	12700	176	1.39%
Mayo	13443	184.2	1.37%
Junio	12640	176.9	1.40%
Total	49003	674.2	1.38%

*Nota.* Elaboración propia

A su vez a partir de la tabla anterior se pudo identificar que la eficiencia de la resina fenólica en los cuatro meses fue de 1.38%, esto quiere decir que estuvo dentro de los parámetros establecidos de 1.1 a 1.6%.

**Figura 13:** Resina fenólica después de la implementación



*Nota.* Elaboración propia

La figura reveló que entorno al mes de mayo se tuvo el mayor consumo de resina fenólica, evidenciando un valor de 184.2 kg, y entorno al mes de marzo se evidenció el menor consumo de resina fenólica con un valor de 137.1 kg.

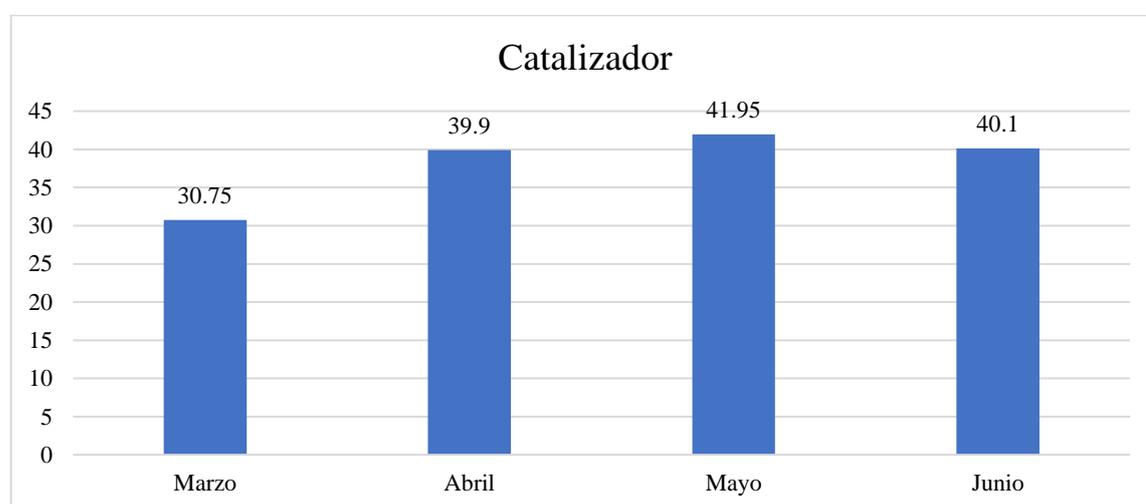
**Tabla 10:** *Eficiencia de catalizador después de la implementación*

Mes	Catalizador	Eficiencia de catalizador (20-25%)
Marzo	30.75	22.43%
Abril	39.9	22.67%
Mayo	41.95	22.77%
Junio	40.1	22.67%
Total	152.7	22.65%

*Nota.* Elaboración propia

A su vez a partir de la tabla anterior se pudo identificar que la eficiencia del catalizador en los cuatro meses fue de 22.65%, lo cual quiere decir que estuvo dentro de los parámetros establecidos de 20 a 25%.

**Figura 14:** *Catalizador después de la implementación*



*Nota.* Elaboración propia

La figura revela que entorno al mes de mayo se tuvo el mayor consumo de catalizador, evidenciando un valor de 41.95 kg, y entorno al mes de marzo se evidenció el menor consumo de catalizador con un valor de 30.75 kg.

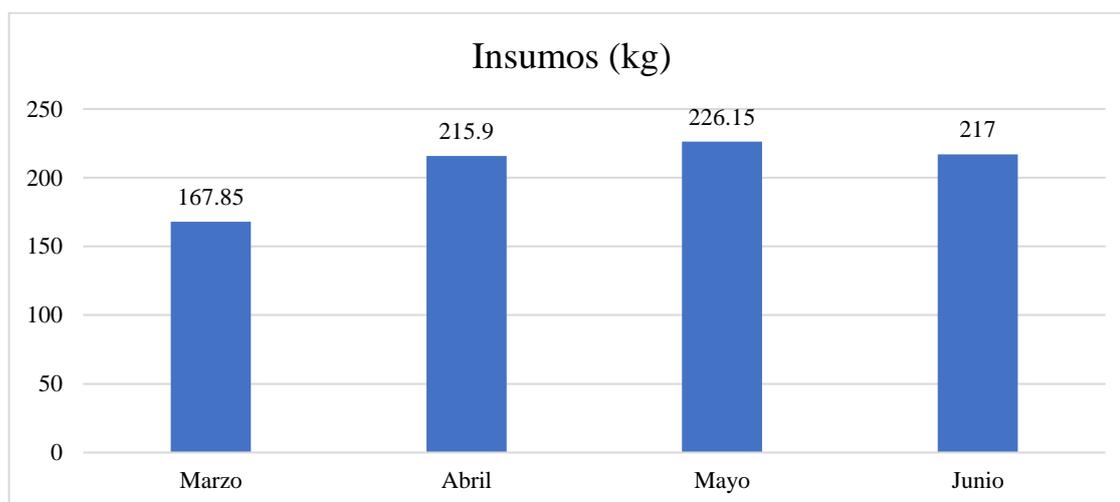
**Tabla 11:** Eficiencia de insumos después de la implementación

Mes	Peso de arena (kg)	Insumos (kg)	Eficiencia de insumos (1.32-1.85)
Marzo	10220	167.85	1.64%
Abril	12700	215.9	1.70%
Mayo	13443	226.15	1.68%
Junio	12640	217	1.72%
Total	49003	826.9	1.69%

*Nota.* Elaboración propia

A su vez a partir de la tabla anterior se pudo identificar que la eficiencia de insumos en los cuatro meses fue de 1.69%, lo cual está dentro de los parámetros establecidos de 1.32 a 1.85%.

**Figura 15:** Insumos después de la implementación



*Nota.* Elaboración propia

La figura revela que entorno al mes de mayo se tuvo el mayor consumo de insumos, evidenciando un valor de 226.15 kg, y entorno al mes de marzo se evidenció el menor consumo de insumos con un valor de 167.85 kg.

**Tabla 12:** Resumen de la mejora antes y después de la implementación

<b>Indicadores</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Mejora</b>
Resina fenólica (kg)	1045.5	674.2	35.51%
Catalizador	358.7	152.7	57.43%
Insumos (kg)	1404.2	826.9	41.11%

*Nota.* Elaboración propia

La tabla presenta un análisis comparativo de los indicadores a evaluación, evidenciando en el caso de la resina fenólica, una reducción de 1045.5 kg a 674.2 kg, representando una mejora del 35.51%. De manera similar, el catalizador disminuyó de 358.7 kg a 152.7 kg, lo que equivale a una optimización del 57.43%. A su vez, la cantidad total de insumos pasó de 1404.2 kg a 826.9 kg, reflejando una mejora del 41.11%.

#### **4.3. Prueba de hipótesis**

##### **4.3.1. Análisis estadístico descriptivo de la eficiencia de insumos**

Al estudiar las medidas descriptivas relacionadas con la eficiencia de insumo, se obtuvieron resultados significativos que entregan una visualización precisa de la mejora tras la implementación de la máquina automatizada.

**Tabla 13:** Medidas descriptivas de la eficiencia de insumos

<b>Descriptivos</b>			
		Estadístico	Error estándar
	Media	351,0500	6,35144
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	330,8369
		Límite superior	371,2631
Insumos (kg)	Mediana	353,9000	
antes	Varianza	161,363	
	Desviación estándar	12,70289	
	Mínimo	333,40	
	Máximo	363,00	

	Rango	29,60	
	Rango intercuartil	23,50	
	Asimetría	-1,181	1,014
	Curtosis	1,647	2,619
	Media	206,7250	13,16040
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	164,8427
		Límite superior	248,6073
	Mediana	216,4500	
	Varianza	692,784	
Insumos (kg)	Desviación estándar	26,32079	
después	Mínimo	167,85	
	Máximo	226,15	
	Rango	58,30	
	Rango intercuartil	44,00	
	Asimetría	-1,812	1,014
	Curtosis	3,478	2,619

*Nota.* Elaboración propia

La Tabla 13 detalla el análisis descriptivo sobre la eficiencia de insumos antes y después de la automatización del proceso de dosificación de arena, donde la media de la eficiencia evidenció una reducción positiva en este indicador en el postest, indicando una mejora del 41.112%, esta diferencia también se reflejó en la mediana, con una reducción del 38.839%. En términos de dispersión, la varianza aumenta en el postest, lo que representa un incremento del 329.33%, la desviación estándar también aumenta en el postest, evidenciando un aumento del 107.203%, esto indica que, aunque la eficiencia promedio de los insumos ha mejorado, también ha aumentado la variabilidad en los resultados post test. Por otro lado, la asimetría fue negativa en ambos casos (-1.181 pretest y -1.812 postest), evidenciando una tendencia de agrupación de datos hacia la derecha. A su vez, la curtosis fue positiva en ambos casos (1.647 pretest y 3.478 postest),

evidenciando que los datos están concentrados alrededor de la media. Estos cambios reflejan una mejora en la eficiencia de insumos a través de una reducción positiva tras la automatización del proceso de dosificación de arena.

#### 4.3.2. Análisis estadístico inferencial

Se logró aplicar el test de Shapiro-Wilk a razón de evaluar la normalidad de la relación en función de la dimensión, dado que el tamaño de la muestra no superó las 50 unidades de análisis. Para realizar la prueba se tuvo en cuenta el nivel de confiabilidad del 95 que es igual al 0.05. Los datos fueron sometidos a la prueba de Shapiro-Wilk a razón de hallar si los datos recolectados exhiben una distribución normal.

**Tabla 14:** *Prueba de normalidad de la eficiencia de insumos*

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Insumos (kg) antes	0,929	4	0,589
Insumos (kg) después	0,780	4	0,070

*Nota.* Elaboración propia

La Tabla 14 evidencia el test de normalidad Shapiro-Wilk para la eficiencia de insumos pre y post test, siendo la sig. mayor a 0.05 para ambas condiciones (0.589 respecto al pre test y 0.070 respecto al post test), destacando que los datos derivan de una distribución normal. Esto logró justificar el empleo del test T-Student a fin comparar las medias de los dos grupos y ser contrastada la hipótesis.

**Tabla 15:** Prueba de T-Student de la eficiencia de insumos

		<b>t</b>	<b>gl</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>
Par 1	Insumos (kg) antes - Insumos (kg) después	20,254	3	0,000

*Nota.* Elaboración propia

La Tabla 15 revela la prueba de muestras emparejadas empleando el test T-Student a fin de ser evaluada la diferencia en la eficiencia de insumos pre y post test, donde la sig. bilateral es 0.000, donde ello no supera a 0.05, lo que destaca la existencia de una diferencia significativa en la eficiencia de insumos pre y post test.

#### **4.3.3. Análisis del costo-beneficio**

La inversión intangible estuvo dada por una capacitación en instalación y maniobra haciendo un total de S/2600.00.

**Tabla 16:** Inversión intangible

<b>Ítem</b>	<b>Cantidad (und)</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Capacitación en instalación	2	S/800.00	S/1,600.00
Capacitación en maniobra	2	S/500.00	S/1,000.00
<b>Total</b>	<b>4</b>		<b>S/2,600.00</b>

*Nota.* Propia del autor

La presente investigación también tuvo otros gastos como hojas, lapiceros, tinta y mano de obra.

**Tabla 17: Gastos extras**

<b>Etapa</b>	<b>Ítem</b>	<b>Cantidad (und)</b>	<b>Precio</b>	<b>Sub total</b>	<b>Total</b>
	Hoja bond A4 (1/4 millar)	8	S/5.00	S/40.00	
Gastos	Lapiceros (6 und)	8	S/1.20	S/9.60	
Extras	Mano de obra	1	S/2,500.00	S/2,500.00	S/3,149.60
	Tinta	12	S/50.00	S/600.00	
<b>Total</b>					<b>S/3,149.60</b>

*Nota.* Propia del autor

Por otro lado, también se especifica una inversión tangible siendo un total de S/2311.10.

**Tabla 18: Inversión tangible**

<b>Ítem</b>	<b>Cantidad (und)</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Fuente de alimentación Switching	1	S/64.40	S/64.40
Fuente de alimentación 12.5 A	1	S/142.10	S/142.10
Arduino Nano	1	S/39.60	S/39.60
PLC	1	S/899.99	S/899.99
Bomba de transferencia	1	S/104.20	S/104.20
10-30VDC 5M IP67	1	S/252.20	S/252.20
Bomba de 12 v	1	S/460.00	S/460.00
Bomba de 6 v	1	S/249.90	S/249.90
Sensor de barra	1	S/98.90	S/98.90
<b>Total</b>	<b>9</b>		<b>S/2,311.29</b>

*Nota.* Propia del autor

Además, la depreciación de los equipos tangibles asciende a S/462.26.

**Tabla 19: Depreciación**

<b>Descripción</b>	<b>Activos Total</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor Por Depreciar</b>	<b>Años Por Depreciar</b>	<b>Depreciación anual</b>
Fuente de alimentación Switching	S/64.40	1	S/64.40	5	S/12.88
Fuente de alimentación 12.5 A	S/142.10	1	S/142.10	5	S/28.42
Arduino Nano	S/39.60	1	S/39.60	5	S/7.92
PLC	S/899.99	1	S/899.99	5	S/180.00
Bomba de transferencia 10-30VDC 5M IP67	S/104.20	1	S/104.20	5	S/20.84
Bomba de 12 v	S/252.20	1	S/252.20	5	S/50.44
Bomba de 6 v	S/460.00	1	S/460.00	5	S/92.00
Sensor de barra	S/249.90	1	S/249.90	5	S/49.98
	S/98.90	1	S/98.90	5	S/19.78
<b>Total</b>			<b>S/2,311.29</b>		<b>S/462.26</b>

*Nota.* Propia del autor

La tabla muestra el flujo de caja, dado por la inversión, los egresos e ingresos siendo así viable económicamente por un VAN positivo de S/37 342.86, un TIR de 234.69% y un B/C de 5.54.

**Tabla 20: Flujo de caja**

<b>AÑO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Inversión</b>						
Intangible	S/2,600.00					
Tangible	S/2,311.29					
<b>Total, INVERSIÓN</b>	<b>S/4,911.29</b>					
<b>Beneficios</b>						
		S/20,000.00	S/20,000.00	S/20,000.00	S/20,000.00	S/20,000.00
		S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00
		S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00
<b>Total, BENEFICIOS</b>	<b>S/ -</b>	<b>S/20,000.00</b>	<b>S/20,000.00</b>	<b>S/20,000.00</b>	<b>S/20,000.00</b>	<b>S/20,000.00</b>
<b>Egresos</b>						
Gastos Extras		S/3,149.60	S/3,149.60	S/3,149.60	S/3,149.60	S/3,149.60
Depreciación		S/462.26	S/462.26	S/462.26	S/462.26	S/462.26
<b>Total, EGRESOS</b>	<b>S/4,911.29</b>	<b>S/3,611.86</b>	<b>S/3,611.86</b>	<b>S/3,611.86</b>	<b>S/3,611.86</b>	<b>S/3,611.86</b>
<b>Utilidad antes de impuestos</b>		<b>S/16,388.14</b>	<b>S/16,388.14</b>	<b>S/16,388.14</b>	<b>S/16,388.14</b>	<b>S/16,388.14</b>
Impuestos (29.5%)		S/4,834.50	S/4,834.50	S/4,834.50	S/4,834.50	S/4,834.50
<b>Flujo de caja</b>	<b>-S/4,911.29</b>	<b>S/11,553.64</b>	<b>S/11,553.64</b>	<b>S/11,553.64</b>	<b>S/11,553.64</b>	<b>S/11,553.64</b>
<b>Utilidad acumulada</b>	<b>-S/4,911.29</b>	<b>S/6,642.35</b>	<b>S/18,195.99</b>	<b>S/29,749.63</b>	<b>S/41,303.27</b>	<b>S/52,856.91</b>
<b>Valor actual neto (VAN)</b>	<b>S/37,342.86</b>					
<b>TIR</b>	<b>234.69%</b>				12	S/11,553.64
<b>B/C</b>	<b>5.54</b>				-6.898968685	<b>-S/6,642.35</b>

*Nota. Propia del autor.*

#### **4.4. Discusión de resultados**

La automatización del proceso de dosificación de arena para la empresa mejoró la eficiencia de insumos en un 41.11% para la elaboración de moldes de fundición, analizado en 4 meses para antes y después de la implementación. En la investigación de Palomino (2021) se implementó la automatización en el espesamiento de relaves, reduciendo el consumo de floculante en 4.2% y aumentando la recuperación de sólidos, mientras que Araujo y Villa (2020) optimizaron el proceso de mezclado, reduciendo las mermas en un 25% y mejorando la eficiencia general de una planta en un 32.31%. En conjunto, estas investigaciones evidencian el impacto positivo de la automatización en diferentes industrias, ya sea mediante la optimización de recursos, la reducción de tiempos de proceso, la mejora de la eficiencia o la mitigación de impactos ambientales, resultados que encuentran correlación con el incremento de eficiencia en insumos reportado en el presente estudio.

Los indicadores de insumos, resina fenólica y catalizador en el transcurso de los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2023, periodo anterior a la implementación, fueron un promedio de insumos de 1404.2 kg, un promedio de resina fenólica de 1045.5 kg y un promedio de catalizador de 358.7 kg. Por otro lado, Bertone (2023) destacó el impacto económico y ambiental de la dosificación variable de agroquímicos, siendo incrementada la eficiencia respecto al empleo de insumos. Además, la investigación de Canaviri (2023), que mejoró la dosificación automatizada de adoquines, refleja cómo el control preciso de insumos y materiales puede elevar la productividad.

Los componentes empleados para ser implementado el sistema automatizado dentro del proceso de dosificación fueron sensores de barrera,

bombas, PLC, arduino, pistones, fuente de conversión y pulsadores, los cuales funcionaron de manera óptima en el proceso de elaboración de moldes de fundición. Rodríguez (2019) también utilizó tecnologías prácticas, como cilindros neumáticos y electroválvulas, para un sistema de dosificación que redujo tiempos y mejoró la resistencia de la tolva, la inclusión de pistones y fuentes de conversión en el sistema de moldes se relaciona con este enfoque de integración mecánica y eléctrica para lograr una operación precisa. En el caso de De La Torre (2022), la automatización del proceso de fabricación de moldes con componentes como válvulas, sensores de nivel y PLC es particularmente comparable, ambos proyectos destacan por su uso de tecnología programable (PLC, Arduino) para sincronizar procesos y garantizar una dosificación controlada, lo que resulta en mejoras operativas significativas.

El algoritmo utilizado para ser implementado el sistema automatizado dentro del proceso de dosificación se realizó por medio de dos softwares, uno vinculado al PLC y otro llamado arduino, los cuales hicieron que el proceso sea óptimo. En el estudio de Barreno y Lema (2018), se utilizó el software Adams para la simulación dinámica del sistema de vaivén en una tamizadora, aunque su aplicación se centró en la simulación mecánica más que en la automatización, comparte la idea de aprovechar herramientas digitales para optimizar diseños industriales. Rodríguez (2019) y Canaviri (2023) utilizaron PLCs en sus sistemas de dosificación y producción. En particular, Canaviri (2023) destacó el uso de un PLC como la "tarjeta programable" principal para coordinar el funcionamiento de la máquina de adoquines, este caso guarda similitudes con la implementación combinada de PLC y Arduino en el presente estudio, ya que ambos destacan el papel de los controladores programables para gestionar procesos complejos.

Los indicadores de insumos, resina fenólica y catalizador en el transcurso de los meses de marzo, abril, mayo y junio en 2024, periodo posterior a la implementación, fueron un promedio de insumos de 826.9 kg, un promedio de resina fenólica de 674.2 kg y un promedio de catalizador de 152.7 kg. En el caso de Barreno y Lema (2018), quienes diseñaron una tamizadora con un sistema de vaivén para arenas de moldeo, lograron resultados específicos como una media de tamizaje de 112 kg/min, lo que subraya la importancia de medir indicadores clave tras la implementación de sistemas automatizados.

## CONCLUSIONES

- La automatización del proceso de dosificación de arena incrementó la eficiencia de insumos en un 41.11% para la elaboración de moldes para la fundición, esta eficiencia se calculó a partir de la totalidad de insumos utilizados en kilogramos antes y después de la implementación.
- Los indicadores de insumos, resina fenólica y catalizador durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2023, periodo anterior a la implementación, fueron un promedio de insumos de 1404.2 kg, un promedio de resina fenólica de 1045.5 kg y un promedio de catalizador de 358.7 kg.
- Los componentes empleados para ser implementado el sistema automatizado dentro del proceso de dosificación fueron sensores de barrera, bombas, PLC, arduino, pistones, fuente de conversión y pulsadores, los cuales funcionaron de manera óptima en el proceso de elaboración de moldes de fundición.
- El algoritmo utilizado para ser implementado el sistema automatizado dentro del proceso de dosificación se realizó por medio de dos softwares, uno vinculado al PLC y otro llamado arduino, los cuales hicieron que el proceso sea óptimo.
- Los indicadores de insumos, resina fenólica y catalizador durante los meses de marzo, abril, mayo y junio en 2024, periodo posterior a la implementación, fueron un promedio de insumos de 826.9 kg, un promedio de resina fenólica de 674.2 kg y un promedio de catalizador de 152.7 kg.

## **RECOMENDACIONES**

- Desarrollar una interfaz de usuario intuitiva para que se monitoree y controle el sistema de dosificación, esta interfaz debe permitir ajustes y supervisión en tiempo real, facilitando la interacción del usuario con el sistema y asegurando que todas las operaciones sean claras y accesibles.
- Programar el PLC para gestionar el proceso de dosificación, la programación debe integrar algoritmos de control avanzados que aseguren la precisión y consistencia en cada ciclo de dosificación.
- Implementar un sistema de alarmas que notifique cualquier problema o desajuste en el proceso, las alarmas deben ser claras y específicas, indicando la naturaleza del problema y sugiriendo posibles soluciones.
- La capacitación del personal es un aspecto crítico para el éxito del nuevo sistema automatizado, es necesario asegurar que todos los operarios comprendan las nuevas tecnologías y procedimientos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, Z., & Faisal, A. (66). Precipitation of calcium-aluminum-cetyltrimethylammonium bromide nanoparticles on the sand to generate novel adsorbent for eliminating of amoxicillin from aquatic environment. *Alexandria Engineering Journal*, 489-503. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.11.019>
- Ahmida, F., Mohammed, G., Zineb, D., & Queneudec, M. (2023). Experimental study on the effect of lime and aluminium content on porosity, introduced porosity, compressive strength and thermal conductivity of a lightweight cellular concrete based on limestone sand. *Construction and Building Materials*, 392. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061823012655>
- Araujo, H., & Villa, A. (2020). *Propuesta de mejora en el proceso de mezclado para la reducción de mermas en la producción de cajas registro de desagüe, utilizando la ingeniería de métodos y filosofía KAIZEN en una PYME del sector construcción de Lima Metropolitana*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/660000>
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., & Vasquez, M. (2022). Metodología de la investigación. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>
- Barrada, F., & Diosa, M. (2023). *Automatización de las operaciones unitarias en la PTARnD de locería Colombiana*. Unilasallista Corporación Universitaria. <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/3523>
- Barreno, J., & Lema, D. (2018). *Diseño y construcción de una tamizadora con un sistema de vaiven para arenas de moldeo en el taller de fundición de la empresa MINABRADEC*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9663>

- Bertone, D. (2023). *Incorporación de aplicación de dosis variable de agroquímicos en empresa agrícola del departamento tercero arriba, para aumentar la eficiencia en el uso de insumos y mitigar su impacto ambiental y económico*. Universidad Siglo 21. <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/27715>
- Canaviri, A. (2023). *Diseño de una máquina automática para la Fabricación de Adoquines de Hormigón*. Universidad Mayor de San Andrés. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/32814>
- Céspedes, E. (2020). *Implementación de la automatización del proceso de dosificación de concreto premezclado para mejorar la calidad y tiempo de entrega del concreto*. Universidad Privada del Norte. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3006667>
- De La Torre, A. (2022). *Automatización del proceso de elaboración de almas de moldes en una fundición de la localidad de Lima - Perú*. Universidad Tecnológica del Perú. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6868>
- Finco, S., Ashta, G., Persona, A., & Zennaro, I. (2023). Investigating different manual picking workstations for robotized and automated warehouse systems: Trade-offs between ergonomics and productivity aspects. *Computers & Industrial Engineering*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109668>
- Kanavedee, R., & Nazir, T. (2023). Automated high-throughput extraction system of sRNA and high-resolution melting quantitative PCR (HRM-qPCR) analysis for viroid detection. *Heliyon*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023098213>
- Liu, M., Liu, E., Li, J., Sarno, L., & Xia, J. (2023). Hydration and material properties of blended cement with ground desert sand. *Construction and Building Materials*, 389. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061823013375>

- Nazari, H., Rasoulzadeh, Y., & Mohammadian, Y. (2023). DNA damage in foundry workers using non-invasive micronucleus cytome assay. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 891. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383571823001043>
- Palomino, R. (2021). *Automatización del proceso de espesamiento de relave final en la planta concentradora de cobre para mejorar la producción para el año 2018*. Universidad Señor de Sipán. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8681>
- Rana, M., Rahman, M., Hosain, M., & Miah, Y. (2023). Development and evaluation of the first automated irrigation system for alternate wetting and drying technique in rice cultivation in Bangladesh. *Smart Agricultural Technology*, 6(100348). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375523001776>
- Rodríguez, E. (2019). La hermenéutica gadameriana como síntesis entre el enfoque cuantitativo y cualitativo en la investigación social. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-50652019000100204>
- Rodríguez, N. (2019). *Diseño de un sistema de dosificación de agregados para la Compañía de Ingeniería y Mantenimiento CIM SAS*. Fundación Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7561>
- Ruiz, C., & Valenzuela, M. (2022). *Metodología de la Investigación*. Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja. <https://fondoeditorial.unat.edu.pe/index.php/EdiUnat>
- Saldaña, P. (2023). *Diseño e implementación de un sistema automatizado para la producción de concreto premezclado para la empresa Movicreto*. Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/6557>

- Shum, C., & Zhong, L. (2023). Optimizing automated shading systems for enhanced energy performance in cold climate zones: Strategies, savings, and comfort. *Energy and Buildings*, 300. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877882300868X>
- Wang, S., Cao, J., Luo, J., Ni, B., & Fang, F. (2023). Revealing the mechanism of quartz sand seeding in accelerating phosphorus recovery from anaerobic fermentation supernatant through vivianite crystallization. *Journal of Environmental Management*, 348. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119223>
- Woong, G., Oh, T., Kyun, S., Won, S., Banthia, N., Yu, E., & Yoo, D. (2023). Hybrid reinforcement of steel–polyethylene fibers in cementless ultra-high performance alkali-activated concrete with various silica sand dosages. *Construction and Building Materials*, 394. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006182301927X>
- Wu, B., Cao, H., & Wu, Q. (2023). Compressive and shrinkage behaviors of recycled aggregate concrete containing recycled sand from weathered residual soil of granite and MgO expansion agent. *Journal of Building Engineering*, 68. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710223003339>
- Zhu, W., Zhu, S., Li, W., Zhang, Y., Chen, W., Zhang, J., Liu, Y., Zhang, Y., & Xia, Y. (2023). A study on the printability of manufactured sand concrete. *Construction and Building Materials*, 409. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134153>

## ANEXOS

### Anexo 01: Instrumento de medición de indicadores.

---

#### INDICADORES ANTES

MES

---

RESINA FENÓLICA (KG)

CATALIZADOR  
(KG)

TIEMPO

---

MES 01

MES 02

MES 03

MES 04

PROMEDIO

---

**Anexo 02: Fotos de los equipos.**





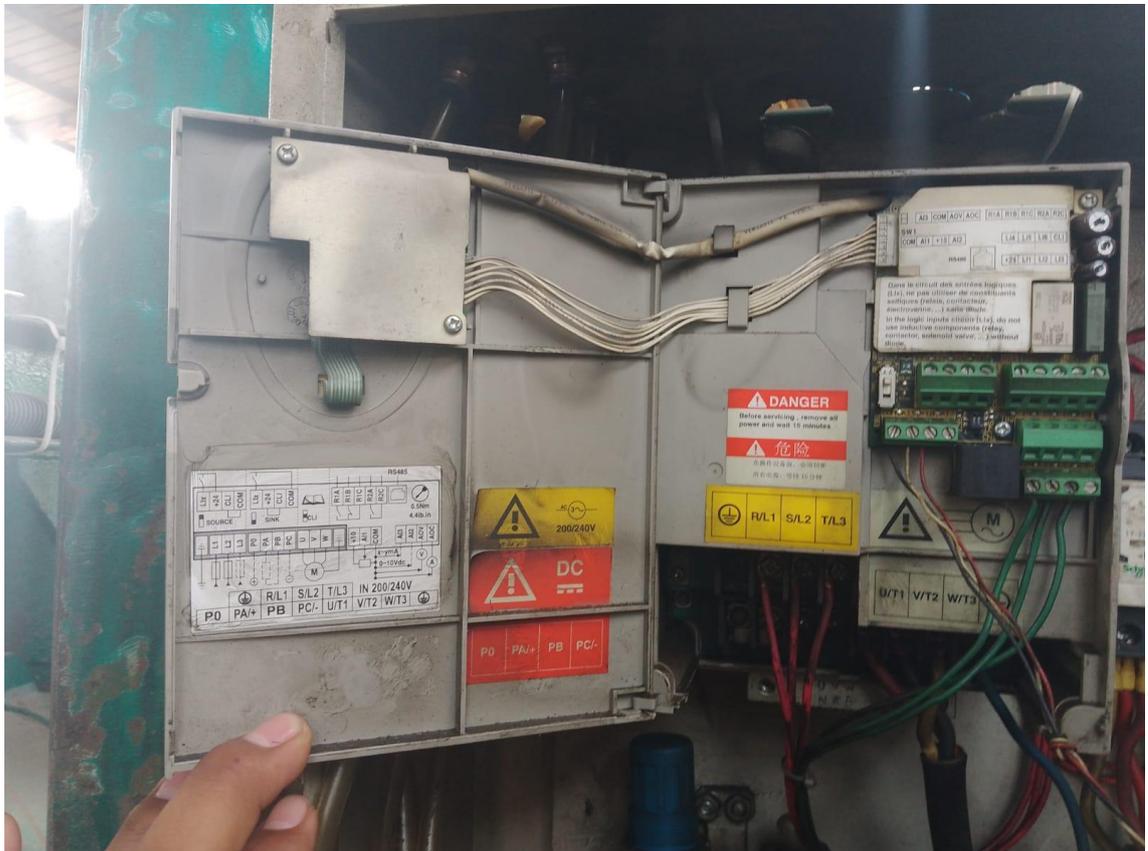
**MW** MEAN WELL  
**CEUK ECA**  
DESIGNED BY MEAN WELL ENTERPRISES CO., LTD.  
No. 28, Wuquan 3rd Rd., Wugu Dist., New Taipei City 24891, Taiwan  
Manual: [www.meanwell.com/manual.html](http://www.meanwell.com/manual.html)

**LRS-75-12** (空載) (開關電源)  
(空載) (各) (开关电源)  
INPUT (輸入) : 100-240V~ 1.52A  
ta:50°C (輸入) cos φ:0.45 50/60Hz  
OUTPUT (輸出) : 12V --- 6A  
(輸出)

IS 13252(Part 1):2010  
IEC 60950-1:2005  
R-41179035  
[www.bis.gov.in](http://www.bis.gov.in)  
MW01 (中國製造) MADE IN CHINA

Manufacturing Date(製造日期): 08(MM)2022(Y)  
Contact Info. (A/S 연락처):  
02-2107-3800  
Manufacturer (製造者):  
MEAN WELL Enterprises Co., Ltd.  
Factory(製造廠):  
MEAN WELL (GUANGZHOU) ELECTRONICS  
CO., LTD.  
Product Name: 컴퓨터용정전원공급장치  
(Power supply for computer)  
明緯企業股份有限公司  
台灣新北市五股區五股三路78號

LED K OVP  
+V  
ADJ +





**Anexo 03: Fotos de la Pre - Implementación.**

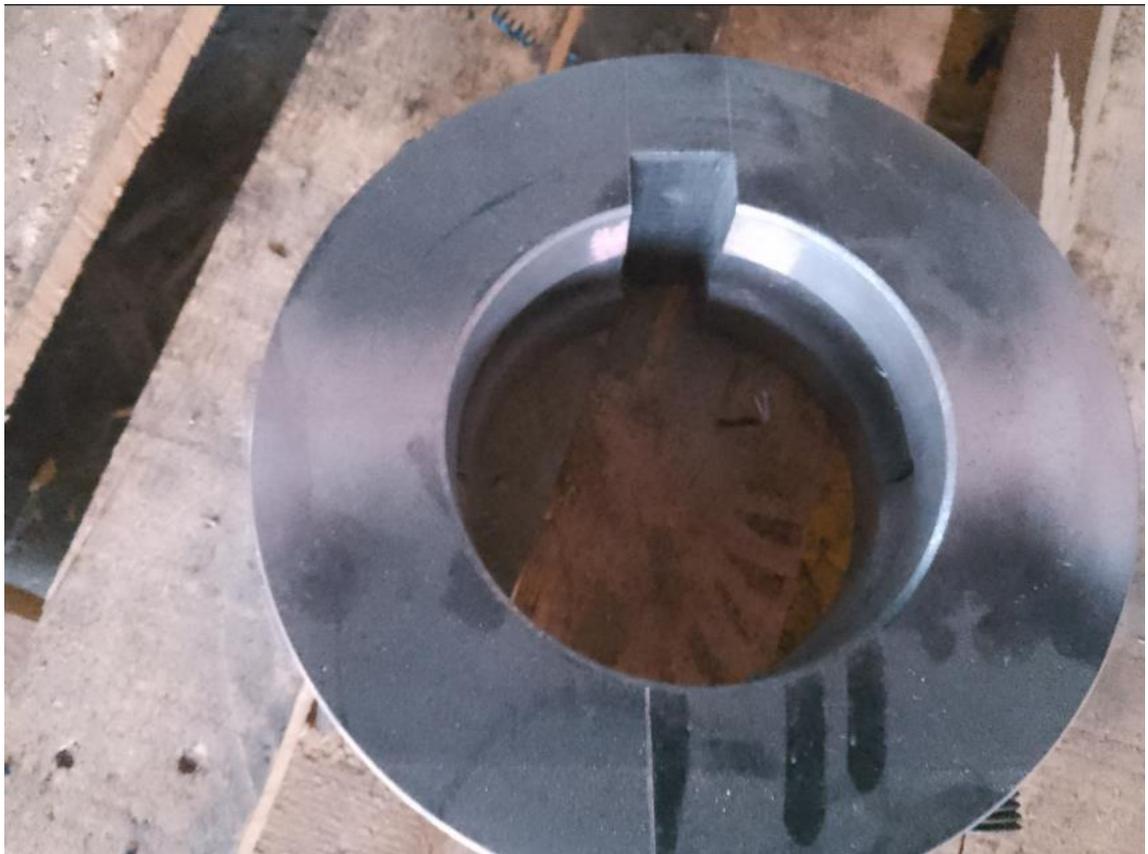




Anexo 04: Fotos de la Post - Implementación.







## Anexo 05: Prueba de hipótesis de la eficiencia de resina y catalizador

### Análisis estadístico descriptivo de la eficiencia de resina y catalizador

#### Eficiencia de resina

Al estudiar las medidas descriptivas relacionadas con la eficiencia de la resina, se obtuvieron resultados significativos que entregan una visualización precisa de la mejora tras la implementación de la máquina automatizada.

#### Tabla 21.

*Medidas descriptivas de la eficiencia de la resina fenólica*

Descriptivos				
		Estadístico	Error estándar	
Eficiencia resina fenólica (kg) antes	Media	261,3750	7,60443	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	237,1743	
		Límite superior	285,5757	
	Mediana	262,7500		
	Varianza	231,309		
	Desviación estándar	15,20885		
	Mínimo	241,60		
	Máximo	278,40		
	Rango	36,80		
	Rango intercuartil	28,67		
	Asimetría	-,522	1,014	
	Curtosis	1,271	2,619	
	Eficiencia resina fenólica (kg) después	Media	168,5500	10,64288
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	134,6796	
		Límite superior	202,4204	
Mediana		176,4500		
Varianza		453,083		
Desviación estándar		21,28575		
Mínimo		137,10		
Máximo	184,20			

Rango	47,10	
Rango intercuartil	35,55	
Asimetría	-1,817	1,014
Curtosis	3,489	2,619

*Nota.* Elaboración propia

La Tabla 21 detalla el análisis descriptivo de la eficiencia de la resina antes y después de la automatización del proceso de dosificación de arena, donde la media de la eficiencia evidenció una reducción positiva en este indicador en el postest, indicando una mejora del 35.514%, esta diferencia también se reflejó en la mediana, con una reducción del 32.845%. En términos de dispersión, la varianza aumenta en el postest, lo que representa un incremento del 95.878%, la desviación estándar también aumenta en el postest, evidenciando un aumento del 39.956%, esto indica que, aunque la eficiencia promedio de la resina ha mejorado, también ha aumentado la variabilidad en los resultados post test. Por otro lado, la asimetría fue negativa en ambos casos (-0.522 pretest y -1.817 postest), evidenciando una tendencia de agrupación de datos hacia la derecha. A su vez, la curtosis fue positiva en ambos casos (1.271 pretest y 3.484 postest), evidenciando que los datos están concentrados alrededor de la media. A partir de los hallazgos alcanzados es razonable deducir que tras la implementación del sistema automatizado se evidencia una reducción positiva en este indicador.

### **Eficiencia del catalizador**

Al estudiar las medidas descriptivas relacionadas con la eficiencia del catalizador, se obtuvieron resultados significativos que entregan una visualización precisa de la mejora tras la implementación de la máquina automatizada.

**Tabla 22.***Medidas descriptivas de la eficiencia del catalizador*

<b>Descriptivos</b>			
		Estadístico	Error estándar
Eficiencia del catalizador (kg) antes	Media	89,6750	1,70850
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	84,2378
		Límite superior	95,1122
	Mediana	91,1500	
	Varianza	11,676	
	Desviación estándar	3,41699	
	Mínimo	84,60	
	Máximo	91,80	
	Rango	7,20	
	Rango intercuartil	5,62	
	Asimetría	-1,887	1,014
	Curtosis	3,581	2,619
	Eficiencia del catalizador (kg) después	Media	38,1750
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	30,1627
		Límite superior	46,1873
Mediana		40,0000	
Varianza		25,354	
Desviación estándar		5,03529	
Mínimo		30,75	
Máximo		41,95	
Rango		11,20	
Rango intercuartil		8,45	
Asimetría		-1,793	1,014
Curtosis		3,431	2,619

*Nota.* Elaboración propia

La Tabla 22 detalla el análisis descriptivo de la eficiencia del catalizador antes y después de la automatización del proceso de dosificación de arena, donde la media de la eficiencia evidenció una reducción positiva en este indicador en el postest, indicando una

mejora del 57.430%, esta diferencia también se reflejó en la mediana, con una reducción del 56.116%. En términos de dispersión, la varianza aumenta en el postest, lo que representa un incremento del 117.146%, la desviación estándar también aumenta en el postest, evidenciando un aumento del 47.360%, esto indica que, aunque la eficiencia promedio del catalizador ha mejorado, también ha aumentado la variabilidad en los resultados post test. Por otro lado, la asimetría fue negativa en ambos casos (-1.887 pretest y -1.793 postest), evidenciando una tendencia de agrupación de datos hacia la derecha. A su vez, la curtosis fue positiva en ambos casos (3.581 pretest y 3.431 postest), evidenciando que los datos están concentrados alrededor de la media. A partir de los hallazgos alcanzados es razonable deducir que tras la implementación del sistema automatizado se evidencia una reducción positiva en este indicador.

### **Análisis estadístico inferencial de la eficiencia de resina y catalizador**

Se aplicó el test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de la relación en función de la dimensión, dado que el tamaño de la muestra no superó las 50 unidades de análisis. Para realizar la prueba se tuvo en cuenta el nivel de confiabilidad del 95 que es igual al 0.05.

### **Eficiencia de Resina Fenólica**

Los datos fueron sometidos a la prueba de Shapiro-Wilk a razón de hallar si los datos recolectados exhiben una distribución normal.

### **Tabla 23.**

*Prueba de normalidad de la eficiencia de la resina fenólica*

	<b>Shapiro-Wilk</b>		
	<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
Eficiencia resina fenólica (kg) antes	0,975	4	0,870
Eficiencia resina fenólica (kg) después	0,778	4	0,068

*Nota.* Elaboración propia

La Tabla 23 evidencia el test de normalidad Shapiro-Wilk sobre la eficiencia de la resina fenólica pre y post test, siendo la sig. mayor a 0.05 para ambas condiciones (0.870 respecto al pre test y 0.068 respecto al post test), destacando que los datos derivan de una distribución normal. Esto logró justificar el empleo del test T-Student a fin comparar las medias de los dos grupos y ser contrastada la hipótesis.

**Tabla 24.**

*Prueba de T-Student de la eficiencia de la resina fenólica*

		<b>t</b>	<b>gl</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>
Par 1	Eficiencia resina fenólica (kg) antes - Eficiencia resina fenólica (kg) después	21,243	3	0,000

*Nota.* Elaboración propia

La Tabla 24 evidencia la prueba de muestras emparejadas empleando el test T-Student a fin de ser evaluada la diferencia en la eficiencia de la resina fenólica pre y post test, donde la sig. bilateral es 0.000, lo cual no supera a 0.05, lo que destaca la existencia de una diferencia significativa sobre la eficiencia de la resina fenólica pre y post test.

**Eficiencia del Catalizador**

Los datos fueron sometidos a la prueba de Shapiro-Wilk a razón de hallar si los datos recolectados exhiben una distribución normal.

**Tabla 25.**

*Prueba de normalidad de la eficiencia del catalizador*

	<b>Shapiro-Wilk</b>		
	<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
Eficiencia del catalizador (kg) antes	0,742	4	0,032
Eficiencia del catalizador (kg) después	0,786	4	0,079

*Nota.* Elaboración propia

La Tabla 25 evidencia respecto al test Shapiro-Wilk para el pretest y post test del presente indicador fueron de 0.032 y 0.079 respectivamente, ya que uno es mayor de 0.05 y el otro menor, se logra afirmar que los datos no siguen una distribución normal, siendo requerido aplicar la prueba Wilcoxon.

**Tabla 26.**

*Prueba Wilcoxon de la eficiencia del catalizador*

	<b>Eficiencia del catalizador (kg) después - Eficiencia del catalizador (kg) antes</b>
Z	-1,826
Sig. asin. (bilateral)	0,068

*Nota.* Elaboración propia

La Tabla 26 revela la prueba de comparación de dos muestras relacionadas empleando el test Wilcoxon a fin de ser evaluada la diferencia en la eficiencia del catalizador pre y post test, donde la sig. bilateral es 0.068, superior a 0.05, lo que destaca que no existe una diferencia significativa en la eficiencia de insumos pre y post test.

**Anexo 06: Matriz de consistencia.**

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología	Población y Muestra	Técnicas e Instrumentos
<p><b>General</b></p> <p>¿De qué manera la automatización del proceso de dosificación incrementa la eficiencia de insumos en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC?</p>	<p><b>General</b></p> <p>Automatizar el proceso de dosificación de arena para incrementar la eficiencia de insumos en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC.</p>	<p><b>General</b></p> <p>La implementación de un sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena incrementa la eficiencia de insumos en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC</p>	<p>Variable Independiente: Automatización del proceso de dosificación</p>	<p>Detección Programación Reacción</p>	<p>Sensores Lenguaje de Programación Actuadores</p>			
<p><b>Específicos</b></p> <p>P1: ¿Cuál es la situación actual antes de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición IMIM SAC? P2: ¿Cuáles son los componentes de funcionamiento del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC? P3: ¿De qué manera se puede desarrollar un algoritmo para el software empleado en la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC? P4: ¿Cuál es el diagnóstico e indicadores de mejora después de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC?</p>	<p><b>Específicos</b></p> <p>O1: Determinar la situación actual antes de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC. O2: Determinar los componentes de funcionamiento del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC. O3: Desarrollar el algoritmo del software empleado para la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC. O4: Determinar el diagnóstico e indicadores de mejora después de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición IMIM SAC.</p>	<p><b>Específicos</b></p> <p>H1: Baja eficiencia de insumos en la situación actual antes de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición IMIM SAC H2: El funcionamiento se basó en sensores, actuadores y una tarjeta programable para el sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC H3: El desarrollo del algoritmo se basará en la tarjeta programable PLC empleado en la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición en industrias IMIM SAC H4: Alta eficiencia de insumos en la situación actual antes de la implementación del sistema automatizado en el proceso de dosificación de arena en la elaboración de moldes para fundición IMIM SAC</p>	<p>Variable Dependiente: Eficiencia de Insumos</p>	<p>Productividad por materia prima Desperdicio Productividad Económica</p>	<p><math display="block">\frac{\text{Producción Total}}{\text{Consumo de Materias Primas}}</math> <math display="block">\frac{\text{Mat. P. Empleada} - \text{Mat. P. Consumida}}{\text{Mat. Prima Empleada}}</math> <math display="block">\frac{\text{Número de Unidades Producidas}}{\text{Costo total de Producción}}</math></p>	<p>Tipo: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Nivel: Explicativo Diseño: Experimental</p>	<p>Población: Está compuesta por los desperdicios generados en el plazo de un año en INDUSTRIAS IMIM SAC. Muestra: Los desperdicios generados en el plazo de 3 meses antes y después de la implementación por la empresa INDUSTRIAS IMIM SAC.,.</p>	<p>Técnicas: Observación y Análisis documental Instrumentos: Guía de observación y guía de análisis documental</p>