

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**



**Facultad de Ingeniería**

**Escuela Profesional de Ingeniería Industrial**

**EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO EN EL  
PROCESO DE LLENADO DE TANQUES EN LA EMPRESA LACTEOS  
CHUGUR DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA – 2019.**

**Bach. Milton Durán Chávez**

**Bach. Irene del Pilar Gutiérrez Mendoza**

**Asesor:**

**Mg. Ing. Miguel Ángel Arango Llantoy**

**Cajamarca – Perú**

**Enero – 2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**



Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

**EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO EN EL  
PROCESO DE LLENADO DE TANQUES EN LA EMPRESA LACTEOS  
CHUGUR DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA – 2019.**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el título profesional  
de Ingeniero Industrial

**Bach. Milton Durán Chávez**

**Bach. Irene del Pilar Gutiérrez Mendoza**

**Asesor:**

**Mg. Ing. Miguel Ángel Arango Llantoy**

**Cajamarca - Perú**

**Enero – 2022**

COPYRIGHT © 2022 by

MILTON DURÁN CHÁVEZ

IRENE DEL PILAR GUTIÉRREZ MENDOZA

Todos los derechos reservados

***UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO***

***FACULTAD DE INGENIERÍA***

***ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL***

EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO EN EL PROCESO  
DE LLENADO DE TANQUES EN LA EMPRESA LÁCTEOS CHUGUR DE LA CIUDAD  
DE CAJAMARCA – 2019.

Presidente: \_\_\_\_\_

Dr. Persi Vera Zelada

Secretario: \_\_\_\_\_

Dra. Diana Jakelin Cruzado Vásquez

Vocal: \_\_\_\_\_

Mg. Ing. Miguel Ángel Arango Llantoy

Asesor: \_\_\_\_\_

Mg. Ing. Miguel Ángel Arango Llantoy

## **Dedicatoria**

A:

Mi madre María Antolina Chávez Villanueva, con todo mi corazón, pues sin ella no lo habría logrado. A mi Padre Segundo Víctor Durán Cueva, por confiar en mí a pesar de los tropiezos de la vida, por haber fomentado en mí el deseo de superación y triunfo. Siempre vivirán en mí ... ¡Los amo!

***Milton Durán Chávez***

A:

Mi madre María Luisa Mendoza Arias, pues su ayuda ha sido fundamental, incluso en los momentos más turbulentos estuviste ayudándome y motivándome a lograr mis metas. También por el apoyo incondicional a mis abuelitos y hermanas.

***Irene del Pilar Gutiérrez Mendoza***

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer infinitamente a Dios por la vida, por demostrarme que por más dura que sea, la vida sigue siendo bella; por los padres maravillosos que me regaló; por la estupenda familia en la que nací; por las experiencias vividas y por haberme permitido conocer y compartir con personas maravillosas durante mi formación académica universitaria.

***Milton Durán Chávez***

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mi familia por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente y todas las personas que me apoyaron en este gran paso en mi vida.

De igual forma agradecer a mi asesor de tesis y todos a los docentes que gracias a sus consejos, correcciones y conocimientos compartidos hoy puedo culminar esta importante etapa sintiéndome dichosa y contenta.

***Irene del Pilar Gutiérrez Mendoza***

## Resumen

Eficiencia de un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques en la empresa lácteos Chugur de la ciudad de Cajamarca – 2019, es una tesis motivada en conocer, estudiar y analizar la eficiencia de un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques de la empresa en mención. Tiene como objetivo principal determinar el incremento de la eficiencia de un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques en la empresa lácteos Chugur de la ciudad de Cajamarca; se plantea como hipótesis nula ( $H_0$ ): Un sistema de control automatizado incrementa la eficiencia del proceso de llenado de tanques de la empresa lácteos Chugur en menos del 25.00 %, y como hipótesis alterna ( $H_a$ ): Un sistema de control automatizado incrementa la eficiencia del proceso de llenado de tanques de la empresa lácteos Chugur en más del 25.00 %. El tipo de investigación es aplicada de carácter Descriptivo – Explicativo – Correlacional y comparativo, con un enfoque cuantitativo, cuasi experimental y de acuerdo a su dimensión temporal es longitudinal. Se tomó como muestra a los siete (07) procesos de llenado de tanques existentes en la empresa Lácteos Chugur de la ciudad de Cajamarca. Se utilizó como instrumento de medición la fórmula matemática de eficiencia. La principal conclusión es que un sistema de control automatizado incrementa la eficiencia del proceso de llenado de tanques de la empresa lácteos Chugur de la ciudad de Cajamarca, en un 30.01%. Para implementar en la empresa se recomienda usar instrumentos más precisos y con un PLC, el cual permitirá integrar óptimamente los sistemas y un control remoto con mayor seguridad del proceso.

**Palabras clave:** Sistema de control automatizado, Eficiencia, Recurso, Proceso de llenado.

## **Abstract**

Efficiency of an automated control system in the tank filling process at the Chugur dairy company in the city of Cajamarca - 2019, is a thesis motivated by knowing and comparatively studying the efficiency of a manual control system of automated control in the process of filling tanks of the company in question. Its main objective is to determine the increase in the efficiency of an automated control system in the process of filling tanks in the Chugur dairy company in the city of Cajamarca, it is proposed as a null hypothesis ( $H_0$ ): An automated control system increases the efficiency of the tank filling process of the Chugur dairy company in less than 25.00%, and as an alternative hypothesis ( $H_a$ ): An automated control system increases the efficiency of the tank filling process of the Chugur dairy company in more than 25.00% . The type of research is applied of a Descriptive - Explanatory - Correlational and comparative nature, with a quantitative, quasi-experimental approach and according to its temporal dimension is longitudinal, the seven (07) filling processes of existing tanks were taken as a sample in the dairy company Chugur in the city of Cajamarca. The mathematical formula of efficiency was used as a measurement instrument. The main conclusion is that an automated control system increases the efficiency of the tank filling process of the Chugur dairy company in the city of Cajamarca, by 30.01%. To implement in the company, it is recommended to use more precise instruments and with a PLC, which will allow optimal integration of systems and remote control with greater process safety.

**Key Words:** Automated Control System, Efficiency, Resource, Filling process.



## ÍNDICE

Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen .....	vii
Abstract.....	viii
LISTA DE TABLAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1. Planteamiento del problema .....	1
1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	1
1.2. Formulación del problema .....	2
1.2.1. General .....	2
1.2.2. Específicos .....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo General .....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación e Importancia .....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
2. Fundamentos teóricos de la investigación.....	4
2.1. Antecedentes .....	4
2.2. Bases legales .....	8
2.3. Marco Teórico.....	9
2.3.1. Orígenes de la automatización .....	9
2.3.2. El Perú y la automatización.....	10
2.3.3. La automatización industrial .....	11
2.3.4. Teoría general de control automático.....	12
2.3.5. Tipos de sistemas de control .....	13
2.3.6. Control On-Off .....	14
2.3.7. Control Proporcional .....	14
2.3.8. Control Integral.....	15
2.3.9. Control Derivativo.....	15
2.3.10. Instrumentación industrial en tanques de almacenamiento.....	15

2.3.11. Medición de nivel.....	16
2.3.12. La automatización en el ámbito lácteo .....	16
2.4. Marco Conceptual .....	17
2.5. Hipótesis .....	22
2.6. Operacionalización de Variables.....	23
2.6.1. Variable Independiente.....	23
2.6.2. Variable Dependiente.....	23
<b>CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b>3. Metodología .....</b>	<b>25</b>
3.1. Enfoque de la Investigación.....	25
3.2. Diseño de la Investigación.....	25
3.3. Dimensión Temporal.....	25
3.4. Población y Muestra.....	26
3.5. Técnicas para la recolección de datos.....	26
3.6. Instrumentos .....	28
3.7. Técnicas de Análisis de Datos.....	28
3.8. Interpretación de Datos .....	29
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>30</b>
4.1. Identificación de la instrumentación industrial para elaborar un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques. ....	30
4.2. Establecimiento del tipo de sistema de control adecuado para el proceso de llenado de tanques.....	31
4.3. Elaboración de un prototipo para simular el funcionamiento de un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques. ....	31
4.4. Análisis de la eficiencia del control actual y del control automatizado.....	36
4.4.1. Recurso Tiempo.....	37
4.4.2. Recurso Materia Prima.....	39
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>43</b>
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>46</b>
5.1. Conclusiones .....	46
5.2 Recomendaciones .....	48
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>49</b>

## **LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1. Operacionalización de variables.....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 2. Instrumentos, equipos y materiales.....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 3. Identificación de la instrumentación industrial de acuerdo a requerimiento .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 4. Comparación de los tipos de sistemas de control.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 5. Prueba de Normalidad del recurso tiempo.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 6. Estadísticos de prueba con Wilcoxon.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 7. Prueba de normalidad del recurso Materia Prima.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 8. Prueba T para muestras emparejadas.....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.Diagrama de un sistema de control en lazo abierto .....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 2.Diagrama de un control en lazo cerrado .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 3. Ecuación de la eficiencia.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 4.Diagrama de un sistema .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 5.Microcontrolador Arduino Uno .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 6.Sensor Ultrasonido hc-sr04 .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 7.Placa Protoboard .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 8. Relé.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 9.Programación en Arduino.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 10.Prototipo de simulación de un llenado de tanques (Vista 1).....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 11.Prototipo de simulación de un llenado de tanques (Vista 2).....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 12. Prototipo de un tanque con ultrasonido .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 13. Análisis del recurso Tiempo.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 14. Histograma de frecuencias.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 15. Análisis del recurso Materia Prima .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 16. Histograma de frecuencias del recurso Materia Prima .....</b>	<b>41</b>

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1. Planteamiento del problema**

#### **1.1.Descripción de la Realidad Problemática**

La empresa Lácteos Chugur es una empresa cajamarquina de productos lácteos que inició sus labores en 1974, en el distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, correspondiente al departamento de Cajamarca. Actualmente está ubicada en el distrito de Baños del Inca, en la provincia y departamento de Cajamarca.

Al iniciar la elaboración de sus productos, la empresa realiza siete (07) procesos de llenado de tanques, los cuales son controlados de forma manual por los operarios. El control consiste en activar el motor de bombeo del tanque principal hacia los tanques de proceso, mientras estos tanques se van llenando, un operario sujeta manualmente la manguera que conduce la materia prima, para finalmente dar aviso cuando el tanque alcanzó el nivel deseado y detener el llenado con la desactivación de la bomba. Es así que, dicho método de control da como resultado un desperdicio de tiempo en los operarios y por ende en el proceso, tomándole así, un tiempo mayor al establecido y en ocasiones pérdida de materia prima por rebose en los tanques, en un posible descuido de estos operarios.

De manera que en este proceso se da el desperdicio de dos recursos muy importantes: Tiempo del proceso y Materia prima.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. General**

- ¿En qué medida un SCA incrementa la eficiencia del proceso de llenado de tanques de la empresa lácteos Chugur de la ciudad de Cajamarca?

### **1.2.2. Específicos**

- ¿Qué instrumentación industrial es necesaria para elaborar el prototipo de un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques en la empresa Lácteos Chugur?
- ¿Cuál es el Sistema de Control Automatizado adecuado para el proceso de llenado de tanques en la empresa Lácteos Chugur?
- ¿Cómo podemos simular el funcionamiento de un Sistema de Control Automatizado en el llenado de tanques en la empresa Lácteos Chugur?
- ¿En cuánto incrementa la eficiencia de los recursos tiempo y materia prima con un sistema de control automatizado?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

- Determinar el incremento de la eficiencia de un SCA en el proceso de llenado de tanques en la empresa lácteos Chugur de la ciudad de Cajamarca.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar la instrumentación industrial necesaria para elaborar el prototipo de un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques en la empresa Lácteos Chugur.
- Establecer el tipo de sistema de Control Automatizado adecuado para el proceso de llenado de tanques en la empresa Lácteos Chugur.
- Elaborar un prototipo a escala para simular el funcionamiento de un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques.
- Precisar el incremento de la eficiencia de los recursos tiempo y materia prima con un sistema de control automatizado.

### **1.4. Justificación e Importancia**

“Los sistemas de control surgen como la necesidad del hombre de liberarse del control manual y de los grandes errores que se presentan en todo tipo de proceso manual; asimismo, que la necesidad del aprovechamiento al máximo de los procesos recae en la automatización de éstos, al tener involucrada algunas variables como temperatura, presión, caudal, porcentaje de llenado de algún tipo de fluido en tanques, etc., y al tener que mantener estas variables dentro de rangos pre establecidos, para garantizar la estabilidad del proceso industrial”. (Rivera, 2017).

Por lo expuesto anteriormente, el presente estudio se justifica en que busca proporcionar una solución eficiente para el proceso de llenado de tanques en la empresa Lácteos Chugur; liberando al operario de la responsabilidad de

mantener el proceso bajo control, dejando esta responsabilidad a un sistema de control automatizado. Este sistema busca mejorar la eficiencia del proceso, evitando desperdicios de recursos como el tiempo de llenado y la pérdida de materia prima ocasionado por los reboses de los tanques.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2. Fundamentos teóricos de la investigación**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **Internacionales**

(Estrella, 2007), en su tesis titulada “Diseño e implementación del sistema para el control y supervisión de tanques de almacenamiento de aceite palmiste”, tuvo como objetivo medir en tiempo real el volumen disponible y despacho automático de aceite del tanque de almacenamiento. Dado esto, como primera conclusión obtiene que, logró medir en tiempo real el volumen en los tanques. En segunda instancia, que la instrumentación virtual es un intérprete visual de las condiciones del proceso, es una herramienta muy importante para centralizar el control del proceso. Finalmente concluye que, los microcontroladores si son convenientes para las aplicaciones de control industrial, porque todo PLC actúa de manera similar a la forma en la que la realiza el mismo.

(Robayo, Silva, & Mosquera, 2015), en su artículo denominado “Sistema de control automatizado en planta de cargue de agua potable para camiones cisterna”, tuvo como objetivo medir el nivel del tanque en tiempo real y el



accionamiento on/off automático de las válvulas del tanque de almacenamiento. Obtuvieron una planta completamente automatizada, capaz de suministrar de forma automática los volúmenes de agua requeridos. Concluyen también que, con el sistema de control de nivel implementado, garantiza que en el tanque de la planta La Esmeralda nunca habrá pérdidas de galones de agua por rebose, avalando así su correcto funcionamiento.

(Herrera, Leiva, & Noguera, 2017), en su artículo científico titulado “Control de nivel de Tanque elevado”, tuvieron como objetivo elaborar un sistema capaz de medir el nivel de agua en un recipiente cualquiera y cerrarlo de manera automática cuando haya alcanzado el nivel deseado. Obtuvieron como resultado que su sistema pudo medir el nivel de agua en un recipiente y asimismo controlarlo, cerrando las válvulas de manera automática.

(Moposita & Serra, 2018), en su artículo científico “Sistema de control y alerta para el tanque purificador de agua en la planta purificadora Ecoagua”, su objetivo era la optimización de recursos del proceso como tiempo y agua desperdiciada. Concluye que la implementación del sistema de control y alerta automático permitió contar con un adecuado método de control para el llenado de tanques, para ello se instaló un sistema de control basado en una tarjeta electrónica diseñada en Proteus y programada en el IDE de

Arduino, la cual controla la activación de electroválvulas y motores conforme a la secuencia de control.

### **Nacionales**

(Belupú, 2017), en su tesis titulada “Implementación de un sistema de monitoreo y control para automatizar la manipulación de las variables de proceso en tanques de almacenamiento”, presenta como uno de sus objetivos específicos: Identificar la instrumentación industrial para medir variables de proceso en tanques de almacenamiento. Uno de los principales resultados es que, uno de los instrumentos más importantes para medir las variables en tanques de almacenamiento son los sensores ultrasónicos.

(Cano, 2020), en su tesis titulada “Desarrollo e implementación de un sistema automático para mejorar la eficiencia en la dosificación de goma en envases de quinua en la empresa Danper SAC”, tuvo como objetivo principal implementar un sistema automático para mejorar la eficiencia del proceso de dosificación de goma. En cuanto a su principal resultado, consiguió que con el sistema de control automático se alcance un aumento de la eficiencia de un 33.07 % en el proceso.

(Rengifo & Torres, 2014), en su tesis titulada “Diseño de control automático para mejorar la eficiencia en el proceso de trasiego del área de despacho de oxígeno líquido en la empresa Messer gases del Perú S.A.”, tuvo como uno de sus principales objetivos específicos diseñar un sistema de control automático seguro, amigable y confiable en donde el operador pueda

realizar las distintas operaciones de manera fácil. Por consiguiente, obtuvo como resultado que el sistema de control diseñado es seguro, amigable y confiable, en donde el operador realiza las distintas operaciones de manera fácil desde un centro de control.

(Benítez, 2018), en su tesis denominada “Propuesta de implementación de un sistema de control automático para el proceso de secado de pastas en la empresa Agroindustria y Comercio S.A. Para mejorar la Productividad”, su objetivo principal es mejorar la productividad de la empresa Agroindustria y Comercio S.A. Así concluye que con la propuesta se mejoró la eficiencia, pilar fundamental de la productividad, en la cual ya no es necesario la participación activa del operario, aprovechando el tiempo para poder envasar.

### **Locales**

(Torres, 2016), en su tesis titulada “Diseño y propuesta del sistema automatizado *Clean in Place* (CIP) en el área de producción de una empresa láctea de Cajamarca, para mejorar la eficiencia de los ciclos de lavado”, tiene como uno de sus objetivos específicos eliminar los controles manuales en el lavado. De esta manera, los resultados son: ciclos de lavado con tiempos exactos (...), ahorros de insumos, ahorro de tiempos y operaciones sin riesgo.

## 2.2. Bases legales

### **Ley N° 29783 – Ley de seguridad y salud en el trabajo**

Esta ley establece:

#### ***Artículo 49. Obligaciones del Empleador***

a) Garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores en el desempeño de todos los aspectos relacionados con su labor, en el centro de trabajo o con ocasión del mismo.

#### ***Artículo 50. Medidas de prevención facultadas al empleador***

b) Eliminar las situaciones y agentes peligrosos en el centro de trabajo o con ocasión del mismo y, si no fuera posible, sustituirlas por otras que entrañen menor peligro.

### **Ley N° 30968 – Ley que promueve la ciencia, tecnología e innovación tecnológica a través de los gobiernos locales**

#### ***Artículo 82. Educación, ciencia, tecnología, cultura, deportes y recreación***

Esta ley indica que las Municipalidades tienen las siguientes competencias y funciones específicas:

21. Promover, desarrollar e implementar proyectos y actividades, a nivel piloto, sobre la base de los resultados de la investigación científica, tecnológica e innovación tecnológica, realizada por estudiantes de educación básica regular, educación superior no universitaria o educación universitaria, garantizando su

posterior difusión para incentivar la creatividad, la competitividad y la producción de nuevos bienes y servicios.

22. Promover y participar activamente en la generación de alianzas estratégicas y mecanismos de cooperación con entidades públicas y privadas, y organismos internacionales especializados en ciencia, tecnología e innovación tecnológica, con la finalidad de desarrollar y poner en valor los diseños, inventos, adaptaciones tecnológicas, a nivel piloto, desarrollados por los estudiantes de educación básica regular, educación superior no universitaria o educación universitaria.

23. Promover e impulsar proyectos y actividades de innovación tecnológica e introducción de nuevas tecnologías en el proceso productivo de bienes y servicios de la micro y pequeña empresa para contribuir con el desarrollo local sostenible.

## **2.3.Marco Teórico**

### **2.3.1. Orígenes de la automatización**

“Los orígenes de la automatización se encuentran en la prehistoria, con el desarrollo de las máquinas simples que minimizaban la fuerza que debían hacer las personas”. (Agudelo, Tano, & Vargas, 2017).

“A través de la historia, el hombre ha recurrido a diferentes técnicas con las cuales reducir los tiempos y mejorar la calidad de los procesos, pero es desde principios del siglo XX en donde se comienzan a implementar la automatización para procesos complejos utilizando elementos mecánicos y

electromecánicos (motores, relés, temporizadores, contadores, etc.), desde entonces se ha generado una carrera por la mejora de la automatización en todo el mundo, de lo cual en la actualidad se cuenta con tecnologías avanzadas de control y comunicación con redes de producción autómatas de gran variedad, e inclusive la implantación de estos fuera de la industria, como aplicaciones domésticas, quirúrgicas, de exploración, sociales, de vigilancia, etc.” (Agudelo, Tano, & Vargas, 2017).

### **2.3.2. El Perú y la automatización**

La revista (Channel News Perú, 2017) Señala que el Perú recién se está iniciando en este camino de la automatización. Pero nuestro país está aún muy lejos si lo comparamos con otros países de Sudamérica. Según la IFR Statistical Department, el parque de robots en el año 2013 en América Central y del Sur era de 9.600 unidades, de estos el Perú solo contaba con unos 20, que fueron instalados usando recursos tecnológicos extranjeros, ya que nuestro país no estaba preparado para proveer el personal técnico adecuado para las labores de implementación y mantenimiento.

En estos últimos años, se ha iniciado un real interés por automatizar el sector productivo en el Perú. Muchas empresas han comenzado a introducir la automatización y los robots industriales en sus procesos de producción, por ejemplo, empresas de fabricación en el sector alimenticio, de estructuras metálicas (soldadura), de cemento, de la industria pesquera y en la manipulación y empaque en todos los rubros de producción.

Debido a la globalización, las empresas peruanas han comprendido que compiten con otras de todo el mundo y que la única forma de hacerlo es automatizando, es decir mejorando su productividad, calidad y confiabilidad.

Los beneficios de la automatización en todas las industrias son muchos: reducción de ciclos de producción, aumento de productividad, mejoras en la calidad y confiabilidad, reducción de desperdicios, mejor uso de los espacios, reducción de costos, reducción de accidentes, etc. Por estas razones en estos tiempos tan competitivos es vital para toda empresa automatizar sus operaciones, sistemas y maquinarias.

### **2.3.3. La automatización industrial**

La automatización industrial hace referencia al uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos y lo hacen de una manera autónoma. (Proaño, 2012).

La automatización abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales. (Proaño, 2012).

#### **2.3.4. Teoría general de control automático**

El sistema de control puede definirse como aquel que compara el valor de la variable, o condición a controlar, con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto. (Creus, 2010).

(Mejía & Espinoza, 2016) Afirman que “los controles automáticos tienen una intervención cada vez más importante en la vida cotidiana para la ingeniería y la ciencia, estos sistemas dinámicos aportan una base en la solución de problemas industriales, sistemas de pilotaje de aviones y hasta un simple tostador”.

Asimismo, (Cano, 2020) sostiene que “los sistemas de control tienen como fin disminuir o reducir costos en producción, a través de controladores programados con rutinas de tareas manuales optimizando los procesos en los cuales se utilice mano de obra”.

“Un sistema de control es el conjunto de elementos o partes organizadas que interactúan entre sí, valorizando el cumplimiento de sus objetivos mediante parámetros de control estipulados y aplicando medidas correctivas en el caso de desviarse de los objetivos para satisfacer una función deseada”. (Proaño, 2012).

Finalmente, (Mejía & Espinoza, 2016) afirman que “el objeto de un sistema de control automático es mantener bajo control (de allí que se denominan variables controladas) una o más salidas del proceso. Se utiliza la palabra



proceso en un sentido muy general, entendiendo que el mismo es el conjunto de fenómenos físicos que determinan la producción de las variables controladas”.

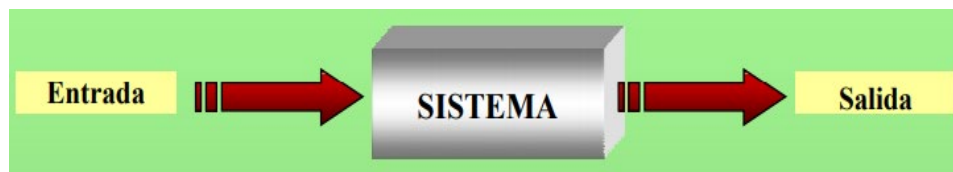
### 2.3.5. Tipos de sistemas de control

#### Sistema de control en lazo abierto

(Mejía & Espinoza, 2016) Encontraron que “los sistemas de control de lazo abierto especifican que la salida no tiene un efecto de control, es decir que la variable de salida no se mide ni se realimenta para compararla con la de entrada”.

“Martínez (2001) encontró que un sistema de control en lazo o bucle abierto es aquél en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada”. Citado por (Proaño, 2012). Estos sistemas no requieren de ningún tipo de sensor para cumplir con su tarea.

*Figura 1. Diagrama de un sistema de control en lazo abierto*



Fuente: (Ramírez, s/f).

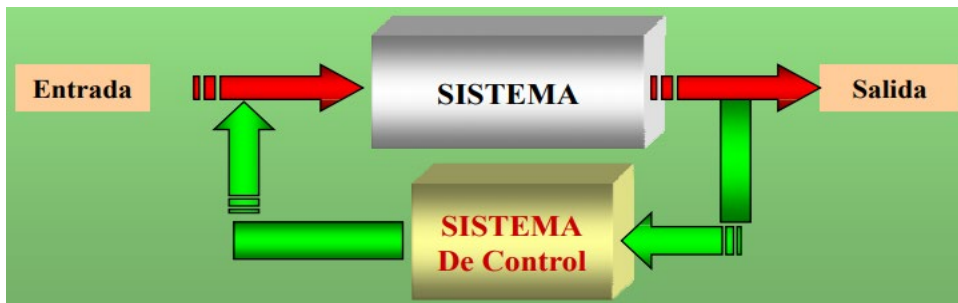
#### Sistema de control en lazo cerrado

“En los sistemas de lazo cerrado las señales controladas deberán ser retroalimentadas para así compararlas con los valores de entrada, misma

que envía una señal actuante para disminuir los errores y corregir la salida final.” (Mejía & Espinoza, 2016).

Son sistemas que vigilan permanentemente la variable controlada y actúan en función de un posible cambio en dicha variable. Requieren obligatoriamente de un sensor para poder controlar la variable. Modifican su funcionamiento en función de la información recogida por los sensores. (Tipos de sistemas de control, 2016).

*Figura 2. Diagrama de un control en lazo cerrado*



Fuente: (Ramírez, s/f).

### 2.3.6. Control On-Off

**Bolton (2010)** afirma que “Es en esencia un interruptor por la señal de error y proporciona solo una señal correctora tipo encendido y apagado”. Citado por (Proaño, 2012).

### 2.3.7. Control Proporcional

**Bolton (2010)** señala que produce una acción de control que es proporcional al error, la señal de corrección aumentará en la medida que lo haga el error. Si el error disminuye, también disminuye la magnitud de la corrección y el proceso de corrección es más lento. Citado por (Proaño, 2012).

### 2.3.8. Control Integral

**Bolton (2010, p. 312)** expresa que el control integral produce una acción de control que es proporcional a la integral del error en el tiempo. Entonces una señal de error constante producirá una señal de corrección creciente. La señal de corrección crecerá aumentando mientras el error persista. Se puede considerar que el control integral “mira hacia atrás”, suma todos los errores y responde a los cambios que ocurren. Citado por (Proaño, 2012).

### 2.3.9. Control Derivativo

**Bolton (2010)**, expresa que el control derivativo produce una acción de control que es proporcional a la rapidez con la que cambia el error. Cuando hay un cambio súbito en la señal de error, el controlador produce una señal de corrección de gran magnitud; cuando el cambio es gradual, sólo se produce una pequeña señal de corrección. Citado por (Proaño, 2012).

### 2.3.10. Instrumentación industrial en tanques de almacenamiento

(Belupú, 2017) Señala que para alcanzar los objetivos de una planta industrial se necesita un conjunto de equipos, máquinas, controladores, que interactúen entre sí e indiquen los valores de las variables del proceso y después enviar información a la sala de control.

Asimismo, otro punto importante en la instrumentación industrial son los elementos de control, que se encargan de la regulación y control de las variables que se están monitoreando en el proceso industrial. En el presente estudio los procesos a controlar son:

- Control de nivel

#### **2.3.11. Medición de nivel**

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales. (Belupú, 2017).

De la misma manera (Belupú, 2017) sostiene que “la medida de nivel se refiere a la profundidad de un material sólido o líquido dentro de un contenedor”.

#### **2.3.12. La automatización en el ámbito lácteo**

“Actualmente los sistemas automáticos ya se encuentran estandarizados en procesos industriales tales como alimenticios, automotrices, químicos, etc. Por este motivo se deben analizar los métodos generalizados que están siendo empleados a nivel mundial utilizando tecnología de vanguardia y que además cumplen con las normas y requerimientos de productos alimenticios para el caso de la industria láctea.” (Caraballo, Puente, & Restrepo, 2003).

El presente proyecto está orientado a una empresa de derivados lácteos, por esto, se tomarán todas las consideraciones necesarias para seleccionar los instrumentos más idóneos en este rubro, porque la materia prima (leche en este caso) es muy susceptible a dañarse si entran en contacto con agentes, instrumentos o materiales capaces de alterar su composición.

## 2.4.Marco Conceptual

### Eficiencia

La eficiencia es la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado. (Real Academia Española, 2019).

La eficiencia en Administración se refiere a la utilización correcta y con la menor cantidad de recursos para conseguir un objetivo o cuando se alcanza más objetivos con los mismos o menos recursos. (Qué es eficiencia, 2019).

Por otro lado (Lugo, 2015), docente con el grado de Doctor de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, sostiene que “Un sistema de gestión es eficiente cuando se logran los resultados requeridos a través de una utilización óptima de los recursos”.

*Figura 3. Ecuación de la eficiencia*

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Recursos Utilizados}}{\text{Recursos Presupuestados}}$$

**Fuente:** (Lugo, 2015).

Tenemos entonces que la eficiencia es un indicador numérico el cual se obtiene como resultado de la relación del recurso programado o estándar y el recurso utilizado (o aprovechado). Teniendo en cuenta siempre si la relación es inversamente proporcional o directamente proporcional para una aplicación correcta de la fórmula y consecuentemente de su interpretación. Así para nuestros fines tenemos:

**R: Recurso**

Ecuación 1. Ecuación de la eficiencia relacionada a recursos.

$$Ef(R) = \frac{Cantidad\ de\ (R)\ aprovechado}{Cantidad\ de\ (R)\ Programado}$$

Fuente: (Edenred, s.f.)

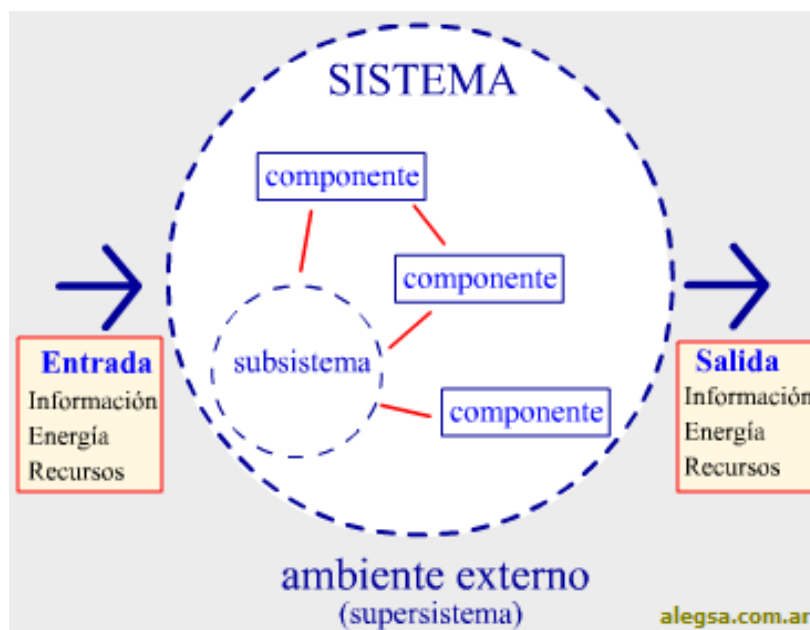
**Proceso de llenado de recipiente**

(Mejía & Espinoza, 2016) Afirman que, “en su función más literal, el proceso de llenado es la función de transportar el agua al recipiente, la exactitud dependerá de una tecnología de llenado para determinar el nivel correcto del líquido”.

El presente estudio es realizado en una empresa de derivados lácteos, por lo cual, el líquido que se transporta es leche.

**Sistema**

La (Real Academia Española, 2019) dice que, “Un sistema es un conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto”. Los sistemas reciben elementos de entrada y proporcionan elementos de salida.

*Figura 4. Diagrama de un sistema*

Fuente: (Vélaz, 2012)

## Control

(Fayol, 2012), sostiene que “El control consiste en verificar si todo ocurre de conformidad con el Plan adoptado, con las instrucciones emitidas y con los principios establecidos. Tiene como fin señalar las debilidades y errores a fin de rectificarlos e impedir que se produzcan nuevamente”.

## Instrumentación Industrial

“Se trata de un conjunto de factores que ayudan a asegurar y mejorar los procesos industriales y cómo manejan sus recursos. La instrumentación industrial considera variables, y mide, convierte y registra las mismas para asegurar procesos”. (Autycom, 2020).

### **Optimización**

La (Real Academia Española, 2019) nos dice que “Optimización es la acción y efecto de optimizar. Este verbo hace referencia a buscar la mejor manera de realizar una actividad”.

La optimización, entre otras cosas permite lograr el objetivo de minimizar los desperdicios de los recursos que intervienen en los procesos.

### **Sensores**

“Son artefactos que permiten determinar valores de una magnitud determinada, es decir que detectan indicadores externos e internos o también variables de instrumentación, ya sea intensidad de la luz, sonido, temperatura del ambiente, presencia de personas, nivel de agua, fuerza, torsión, pH, etc.”. (Sensores, 2016).

### **Actuador**

“Un actuador es un dispositivo capaz de transformar una energía en activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ello genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula”. (Actuadores, 2016).



### **Controlador**

“Para la informática, un controlador o driver es un programa informático que posibilita la interacción entre el sistema operativo de una computadora y un periférico o hardware. El controlador ofrece una interfaz que permite el uso del periférico. Lo que hace el controlador es indicarle al sistema operativo cómo debe controlar el periférico y cómo comunicarse con él”. (Definición de controlador, 2020).

### **HMI (Interface Humano – Máquina)**

“HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces piloto, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso (...)”. (Cobo, 2008).

### **Software HMI**

“Estos softwares permiten entre otras cosas las siguientes funciones: Interface gráfica, de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas (...). Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el PC un software de ejecución (Run Time)”. (Cobo, 2008).

### **Test Shapiro-Wilk**

El test de Shapiro-Wilk se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos. Se plantea como hipótesis nula que una muestra  $X_1 \dots X_n$ , proviene de una distribución normalmente distribuida. Fue publicado en 1965 por Samuel Shapiro y Martin Wilk. Se considera como uno de los test más potentes para el contraste de normalidad. (Wikipedia, la enciclopedia libre, 2021).

### **Test Kolmogorov–Smirnov**

(Vivaelsoftwarelibre, 2016), menciona que, al igual que Shapiro-Wilk, este test se utiliza para ver si un conjunto de datos se ajusta o no a una distribución normal, pero la principal diferencia con éste radica en el número de muestras. Mientras que el test de Shapiro-Wilk se puede utilizar con hasta 50 datos, el test de Kolmogórov-Smirnov es recomendable usarlo con más de 50 observaciones. Antes de realizar ambos test es necesario conocer cuál es el contraste de hipótesis que se va a realizar.

- **Contraste de hipótesis para determinar el tipo de distribución de los datos**

**H<sub>0</sub>:** Los datos proceden de una distribución normal

**H<sub>a</sub>:** Los datos no proceden de una distribución normal

### **2.5.Hipótesis**

**H<sub>0</sub>:** Un SCA incrementa la eficiencia del proceso de llenado de tanques de la empresa lácteos Chugur en menos del 25.00 %.

**Ha:** Un SCA incrementa la eficiencia del proceso de llenado de tanques de la empresa lácteos Chugur en más del 25.00 %.

## **2.6.Operacionalización de Variables**

### **2.6.1. Variable Independiente**

- Sistema de control

### **2.6.2. Variable Dependiente**

- Proceso de llenado de tanques

*Tabla 1. Operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>
<b>Variable Independiente</b>				
<b>Sistema de Control Automático</b>	El sistema de control puede definirse como aquel que compara el valor de la variable, o condición a controlar, con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto. (Creus, 2010).	Valor deseado	Nivel de líquido en el recipiente	Observación  - Interfaz de Arduino
		Acción de control	Interrupción del proceso de llenado	Observación  - Prototipo
<b>Variable Dependiente</b>				
<b>Proceso de llenado de tanques</b>	(Mejía & Espinoza, 2016) Afirman que “en su función más literal, el proceso de llenado es la función de transportar el agua al recipiente, la exactitud dependerá de una tecnología de llenado para determinar el nivel correcto del líquido”.	Tiempo del proceso	Minutos	Observación  - Cronómetro
		Transporte de Materia prima	Litros	Medición  - Regleta graduada

Fuente: Elaborado por los Autores.

## **CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

### **3. Metodología**

#### **3.1. Enfoque de la Investigación**

El presente estudio tiene un enfoque cuantitativo. Este método “usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamientos y probar teorías”. (Sampieri R, 2010).

En relación a este enfoque, registramos datos para realizar cálculos y así determinar la eficiencia de los recursos que intervienen en el proceso de llenado de tanques.

#### **3.2. Diseño de la Investigación**

El presente estudio fue cuasi experimental. Según (Malaga, 2006), el método Cuasi Experimental es “En la que no se realiza una selección aleatoria de los sujetos de los grupos, se realiza un post prueba incluso una pre prueba”; el grupo de estudio estará establecido previamente y serán los procesos de llenado de tanques existentes en la empresa.

#### **3.3. Dimensión Temporal**

##### **Longitudinal**

(González, 2016) Considera que los diseños longitudinales, son los que representan datos a través del tiempo, en puntos o periodos, para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencia.

En el presente estudio se realizaron medidas de la eficiencia en dos momentos distintos: la eficiencia del sistema con el control manual y posteriormente la eficiencia del sistema con el control automatizado.

### **3.4. Población y Muestra**

“La población objeto de estudio es aquella sobre la cual se pretende que recaigan los resultados o conclusiones de la investigación; y la muestra es la parte de esta población que se observa directamente”. (Jimenez, 1998).

#### **Población**

La población de estudio del presente proyecto son los 7 procesos de llenado de tanques que se llevan a cabo en la empresa Lácteos Chugur.

#### **Muestra**

Dado que la población es un número pequeño, en el presente estudio será igual a la muestra. Estudiaremos a los siete (07) procesos de llenado de tanques de la empresa Lácteos Chugur.

### **3.5. Técnicas para la recolección de datos**

#### **a. Registro de datos**

Estos datos se tomaron directamente en la empresa de estudio, específicamente en los procesos de llenado de tanques. Para el estudio se consideró y registró el tiempo que invierten los operarios para mantener bajo control este proceso y los desperdicios de materia prima que se dan en un eventual descuido por parte del operario que controla el llenado.

**b. Identificación de las variables involucradas en el proceso**

Conocer las variables presentes en el proceso es muy importante para seleccionar los instrumentos que van a manipular y medir estas variables.

Las variables involucradas en el proceso de llenado de tanques son:

- Nivel de llenado
- Accionamiento On/Off de equipos eléctricos

**c. Diseño del sistema de control automatizado**

En el presente estudio, dada la naturaleza y la necesidad de usar un sensor para medir las variables involucradas en el proceso sin tener contacto, diseñaremos un sistema de control en lazo cerrado, dado que se controlará el nivel de llenado en los tanques con un sensor ultrasónico, de manera que, una vez alcanzado el nivel máximo de llenado, enviará alertas a la tarjeta de control Arduino y posteriormente esta responderá con una señal a las electroválvulas para que se desactiven.

**d. Indicadores de Eficiencia**

Con los datos registrados, se aplicó la ecuación de la eficiencia para calcular el indicador del método de control manual y subsiguientemente compararla con el indicador de eficiencia del sistema de control automatizado. Teniendo en cuenta en ambos casos si la relación es directa o inversamente proporcional para la aplicación correcta de la fórmula matemática.

### e. Funcionamiento del sistema de control

Para verificar el funcionamiento de un sistema de control automatizado, diseñamos y construimos una maqueta a escala con los instrumentos y materiales necesarios, que nos permita simular y controlar automáticamente el proceso de llenado de tanques.

### 3.6.Instrumentos

*Tabla 2. Instrumentos, equipos y materiales*

Instrumentos y Equipos	Materiales
- Tarjeta de control Arduino	- Mascarilla KN 95
- Sensor ultrasónico HC - SR04	- Guantes dieléctricos
- Protoboard	- Mandil guardapolvo
- Motor de agua	- Zapatos dieléctricos
- 2 mangueras	- Cofia
- Cronómetro	- Guantes quirúrgicos
- Regleta graduada	- Lentes de seguridad
- Cámara fotográfica	- Papel toalla
	- Materiales de escritorio

**Fuente:** Elaborada por los autores

### 3.7.Técnicas de Análisis de Datos

Para el análisis de datos del presente proyecto se aplicará el método T de Wilcoxon. Debe su nombre a Frank Wilcoxon, que la publicó en 1945. Según (Wikipedia, la enciclopedia libre, 2020), la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon es una prueba no paramétrica para comparar el rango medio de dos



muestras relacionadas y determinar si existen diferencias entre ellas. Así mismo, se utiliza como alternativa a la prueba t de Student cuando no se puede suponer la normalidad de dichas muestras.

### **3.8.Interpretación de Datos**

#### **Software SPSS:**

Es un formato que ofrece IBM para un análisis completo. Es el acrónimo de Producto de Estadística y Solución de Servicio. Es un software utilizado para realizar la captura y análisis de datos para crear tablas y gráficas con data compleja; además es conocido por su capacidad de gestionar grandes volúmenes de datos y es capaz de llevar a cabo análisis de texto entre otros formatos más. (QuestionPro, 2020).

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

#### 4.1. Identificación de la instrumentación industrial para elaborar un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques.

*Tabla 3. Identificación de la instrumentación industrial de acuerdo a requerimiento*

Requerimiento	Instrumentación	Cantidad
Energía eléctrica monofásica y/o trifásica.	Sistema eléctrico	01 (General)
Suministrar la materia prima desde un tanque de almacenamiento a otro tanque de depósito.	Bomba Centrífuga	01 (General)
Medir el nivel del líquido en el tanque de depósito.	Sensor ultrasónico	01 (Por cada tanque de depósito)
Monitorear el nivel en el tanque de depósito	Sala de control/Interfaz Arduino	01 (General)
Autómata programable	PLC/Microcontrolador	01 (General)

**Fuente:** Elaborada por los autores

#### 4.2. Establecimiento del tipo de sistema de control adecuado para el proceso de llenado de tanques.

El sistema propuesto para el proceso necesita cumplir una principal característica:

- Requiere de un sensor, el cual sea capaz de regular el mecanismo de control en función de la salida del sistema.

*Tabla 4. Comparación de los tipos de sistemas de control*

	Sistema de control en lazo abierto	Sistema de control en lazo cerrado
¿Usa un sensor?	No	Si
¿Existe una relación entre la salida y la entrada de referencia?	No	Si
DECISIÓN: Sistema de control adecuado para el llenado de tanques:	Sistema de control en lazo cerrado	
Fuente: Elaborada por los autores		

#### 4.3. Elaboración de un prototipo para simular el funcionamiento de un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques.

Para el desarrollo de un prototipo que simule el funcionamiento de un sistema de control automatizado, principalmente, hemos considerado los siguientes elementos:

- Arduino UNO, una placa de microcontrolador que funciona con código abierto, la cual se comunica con un ordenador a través de la comunicación serial para ejecutar una función específica de la programación.

*Figura 5. Microcontrolador Arduino Uno*



Fuente: Elaborado por los autores

- Sensor ultrasonido hc-sr04, un sensor de distancia que utiliza transductores de ultrasonido para detectar objetos a cierta distancia.

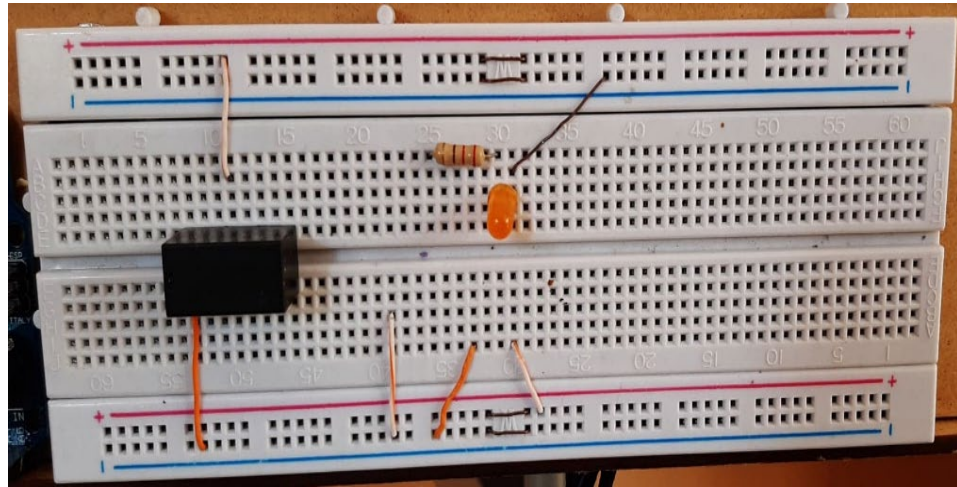
*Figura 6. Sensor Ultrasonido hc-sr04*



Fuente: Elaborado por los autores

- Protoboard, una placa con orificios conectados eléctricamente que sigue patrones de líneas, ideal para el armado y prototipado de circuitos.

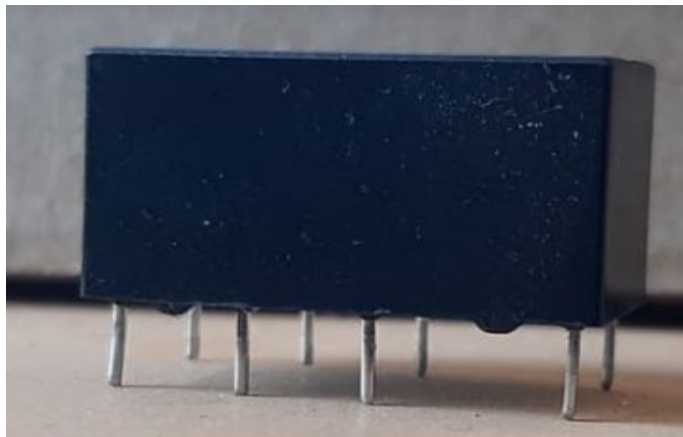
**Figura 7. Placa Protoboard**



**Fuente:** Elaborado por los autores

- Relé o relay, un dispositivo electromagnético que funciona como interruptor en un circuito eléctrico, en el que por medio de una bobina, se accionan contactos para abrir y cerrar circuitos.


**Figura 8. Relé**



**Fuente:** Elaborado por los autores

- Programación en Arduino, la programación automática se realizó con el lenguaje C++. De esta manera controlamos el prototipo del sistema automático.

**Figura 9. Programación en Arduino**



```
Control_de_llenado Arduino 1.8.6
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Control_de_llenado $
int TRIG = 10;
int ECO = 9;
int BOMB = 3;
int DUR;
int DIST;

void setup() {
  pinMode (TRIG, OUTPUT);
  pinMode (ECO, INPUT);
  pinMode (BOMB, OUTPUT);
  Serial.begin (9600);
}

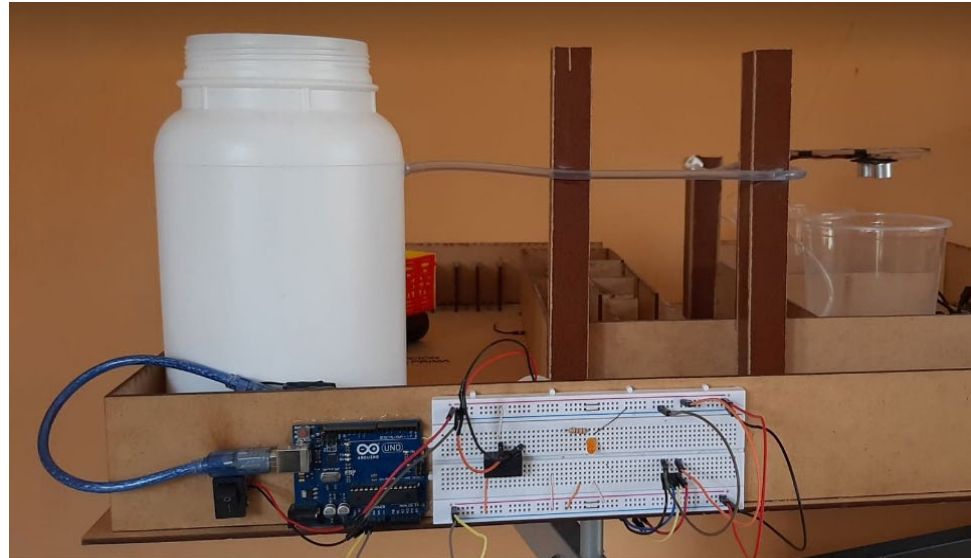
void loop() {
  digitalWrite(TRIG, HIGH);
  delay(0);
  digitalWrite(TRIG, LOW);
  DUR = pulseIn(ECO, HIGH);
  DIST = DUR / 58.2;
  Serial.println(DIST);
  delay(200);
  if (DIST <=7) {
    digitalWrite(BOMB,HIGH);
  }
  if (DIST >7) {
    digitalWrite(BOMB,HIGH);
  }
}
```

**Fuente:** Elaborado por los autores

- Elaboración del prototipo, al juntar los componentes anteriores sistemáticamente, obtenemos una simulación de un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques.

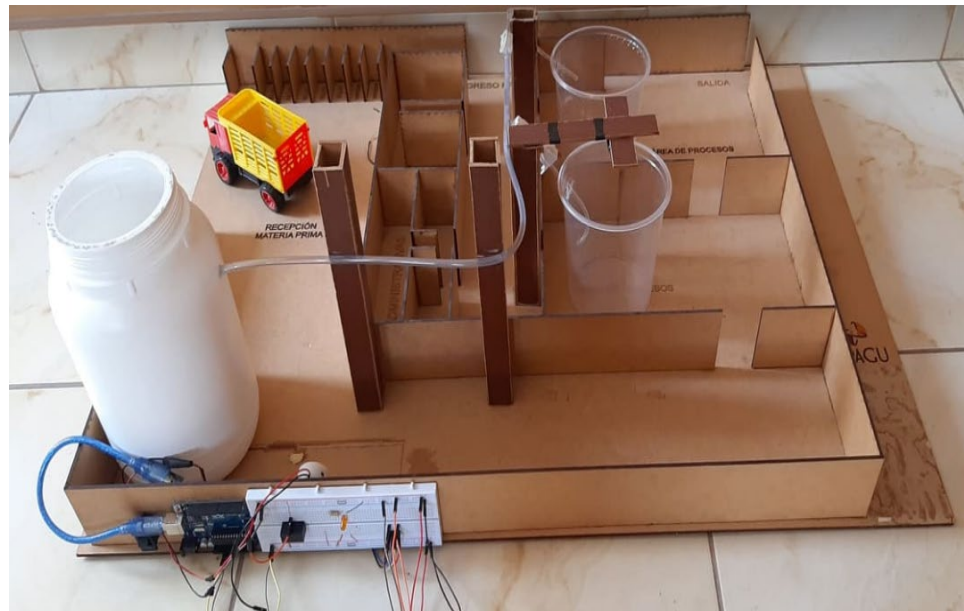


*Figura 10. Prototipo de simulación de un llenado de tanques (Vista 1)*



**Fuente:** Elaborado por los autores.

*Figura 11. Prototipo de simulación de un llenado de tanques (Vista 2)*



**Fuente:** Elaborado por los autores.

*Figura 12. Prototipo de un tanque con ultrasonido*



Fuente: Elaborado por los autores

#### **4.4. Análisis de la eficiencia del control actual y del control automatizado.**

Consideraciones previas:

- Alfa (Porcentaje de error) =  $0.05 = 5\%$
- Análisis de Normalidad
  - Kolmogórov-Smirnov: para muestras  $N > 30$
  - Shapiro-Wilk: para muestras  $N < 30$
- Criterio para determinar Normalidad

P-valor  $\Rightarrow$  Alfa, aceptar  $H_0$ : Los datos provienen de una distribución normal.



P-valor < Alfa, aceptar  $H_a$ : Los datos no provienen de una distribución normal.

- Decisión estadística

Criterios para decidir:

- Si P-valor  $\leq$  Alfa, rechace  $H_0$  (Se acepta  $H_1$ )
- Si P-valor > Alfa, no rechace  $H_0$ , (Se acepta  $H_0$ )

#### 4.4.1. Recurso Tiempo

*Figura 13. Análisis del recurso Tiempo*

Proceso	Capacidad	Tiempo_Estimado	Tiempo_Empleado_SCM	Ef_SCM	Tiempo_Empleado_SCA	Ef_SCA	Diferencia
1	5000	20	25	80,00	20	100,00	-20,00
2	4000	16	20	80,00	16	100,00	-20,00
3	5000	20	25	80,00	20	100,00	-20,00
4	3000	12	15	80,00	12	100,00	-20,00
5	2500	10	13	76,92	10	100,00	-23,08
6	1000	4	6	66,67	4	100,00	-33,33
7	1000	4	6	66,67	4	100,00	-33,33

Fuente: Elaborado por los autores

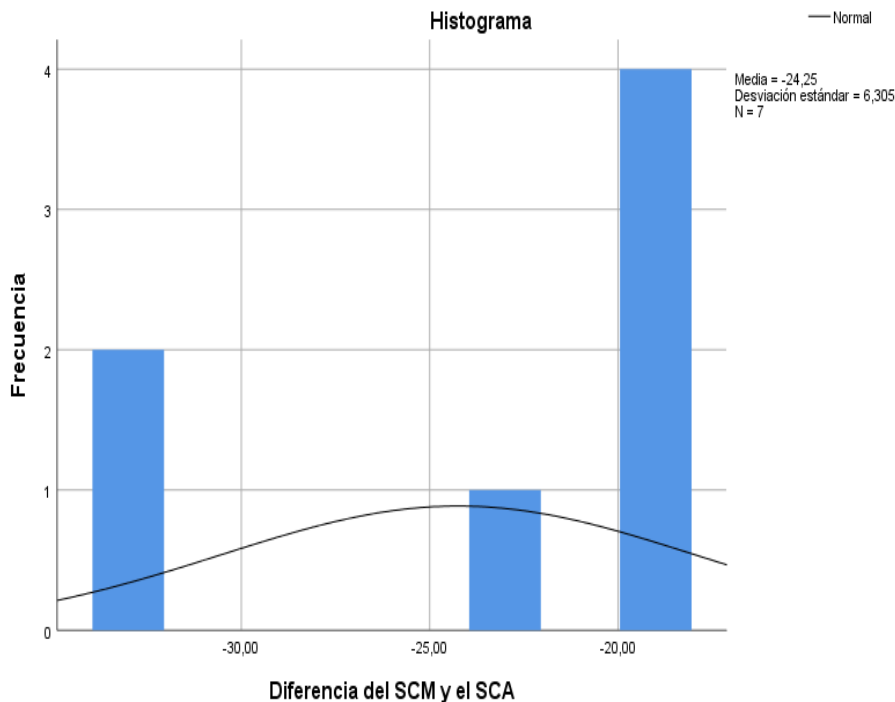
*Tabla 5. Prueba de Normalidad del recurso tiempo*

#### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia del SCM y el SCA	,321	7	,028	,685	7	,003

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaborado por los autores en SPSS

**Figura 14. Histograma de frecuencias**

**Fuente:** Elaborado por los autores en SPSS

Como resultado del análisis de normalidad aplicado, tenemos que el p - valor de la prueba Shapiro-Wilk (0.003) está por debajo del error permitido (0.05), de esta manera, concluimos que los datos de la diferencia de eficiencia del recurso tiempo NO provienen de una distribución normal, podemos verificarlo también en el histograma de frecuencias (Fig. 14). Concluimos entonces, debido a que los datos no tienen una distribución normal, debemos usar una prueba estadística no paramétrica, y la que más se ajusta a nuestro estudio es la prueba T de Wilcoxon para muestras relacionadas.

**Tabla 6. Estadísticos de prueba con Wilcoxon**

### Estadísticos de prueba

Eficiencia de sistema de control automatizado - Eficiencia del sistema de control manual	
Z	-2,414 <sup>a</sup>
Sig.	,016
asintótica(bilateral)	

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

**Fuente:** Elaborado por los autores en SPSS

### Decisión estadística

Al observar la tabla 6, cálculo realizado con el software SPSS, verificamos que p – valor (0,016) está por debajo del error permitido (0,05). Descartamos así  $H_0$  y admitimos  $H_a$ , por lo que podemos afirmar a un nivel de 95 % de nivel de confianza, que hay una mejora significativa en la eficiencia del tiempo de llenado en los procesos.

#### 4.4.2. Recurso Materia Prima

Otro recurso que interviene y será analizado en el proceso de llenado de tanques es el uso eficiente del recurso materia prima. Con el control manual actual se observó eventuales desperdicios cuando el operario no está pendiente del proceso de llenado, y con el sistema de control automatizado buscamos que se aproveche el total del volumen designado.

**Figura 15. Análisis del recurso Materia Prima**

PROCESO	Capacidad	Volumen Recibido SCM	Eficiencia _SCM	Volumen Recibido SCA	Eficiencia _SCA	Diferencia
1	5000	4800	96,00	4800	100,00	-4,00
2	4000	3800	95,00	4000	100,00	-5,00
3	5000	4850	97,00	5000	100,00	-3,00
4	3000	2900	96,67	3000	100,00	-3,33
5	2500	2300	92,00	2500	100,00	-8,00
6	1000	920	92,00	1000	100,00	-8,00
7	1000	910	91,00	1000	100,00	-9,00

Fuente: Elaborado por los autores

- Análisis de Normalidad

**Tabla 7. Prueba de normalidad del recurso Materia Prima**

**Pruebas de normalidad**

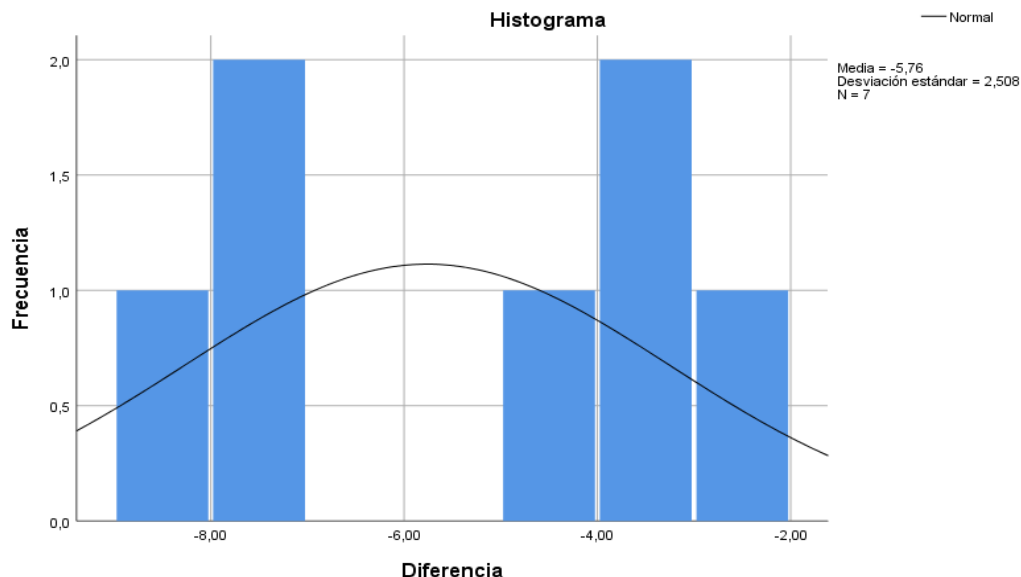
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Diferencia	,243	7	,200 <sup>*</sup>	,867	7	,173

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaborado por los autores en SPSS

**Figura 16. Histograma de frecuencias del recurso Materia Prima**



**Fuente: Elaborado por los autores en SPSS**

De acuerdo a lo observado, tenemos que el nivel de significancia de la prueba Shapiro-Wilk (0.173), está por encima del porcentaje de error (0.05), con este indicador podríamos afirmar que los datos de la diferencia de eficiencia del recurso materia prima corresponden a una distribución normal, sin embargo, se observa en la (figura 16) que la forma de la campana debería ser bimodal, esto sumado a que la cantidad de datos es muy pequeña para concluir que corresponden a una distribución normal. Por lo verificado, concluimos entonces que para su análisis estadístico usaremos una prueba no paramétrica, hacemos referencia a la prueba T – Wilcoxon para muestras relacionadas.

**Tabla 8. Prueba T para muestras emparejadas****Estadísticos de prueba<sup>a</sup>**

	Eficiencia del SCA - Eficiencia del SCM
Z	-2,371 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	,018

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos negativos.

**Fuente: Elaborado por los autores en SPSS**

- Decisión estadística

De acuerdo a la tabla 8, el nivel de significancia (0.018) está por debajo del error permitido (0.05), por lo que afirmamos que hay una mejora en la eficiencia del recurso materia prima en el proceso de llenado de tanques.

Concluimos entonces que a un 95 % de nivel de confianza, un sistema de control automatizado incrementa la eficiencia de la Materia Prima en el proceso de llenado de tanques en la empresa Lácteos Chugur de la ciudad de Cajamarca.

## DISCUSIÓN

- Se midió la eficiencia en dos momentos diferentes, uno con el método de control actual, y el otro con el sistema de control automatizado, luego mediante el software SPSS demostramos estadísticamente que un sistema de control automatizado incrementa la eficiencia del proceso de llenado de tanques en más del 25%.
- Para medir la eficiencia del proceso con un sistema de control automatizado se elaboró un prototipo a escala, en el que se utilizó diversos instrumentos electrónicos industriales para simular el funcionamiento de dicho proceso y ejercer el control necesario.
- Para elaborar el prototipo a escala de un sistema de control automatizado, fue necesario un microcontrolador Arduino Uno, el cual funciona con código abierto y se comunica con un ordenador a través de la comunicación serial. De esta manera logramos leer en tiempo real el volumen de líquido en los tanques. Este resultado guarda relación con la investigación de (Estrella, 2007), quien demostró que con su sistema de control automático también logró medir en tiempo real el volumen en los tanques. Concluye además que los microcontroladores si son convenientes para las aplicaciones de control industrial.
- En cuanto a (Robayo, Silva, & Mosquera, 2015), demostraron que, gracias al sistema de control automático, obtuvieron una planta capaz de suministrar los volúmenes de agua requeridos, aseguraron así que, en la planta La

Esmeralda nunca habrá pérdidas de galones de agua por rebose. De igual modo, desarrollamos un sistema de control automático capaz de controlar el nivel requerido en el tanque para luego detenerse, asegurando igualmente que no se darán pérdidas de materia prima ocasionada por reboses.

- (Herrera, Leiva, & Noguera, 2017), concluyeron que su sistema de control automático fue capaz de medir el nivel de agua en un recipiente y asimismo controlarlo; cerrando las válvulas de manera automática. Este resultado guarda similitud a nuestro sistema de control, pues gracias al sensor ultrasónico se detecta el nivel requerido y se envía la señal para desactivar la bomba centrífuga y detener el proceso de manera automática.
- (Moposita & Serra, 2018) instalaron un sistema de control basado en una tarjeta de control electrónica programada en Arduino, y concluyeron que controla la activación de electroválvulas y motores. Muy parecido a nuestro trabajo, puesto que, de acuerdo a la programación de Arduino, ejecuta el control necesario.
- De acuerdo a (Belupú, 2017), quien determinó que uno de los principales instrumentos para medir las variables en tanques de almacenamiento es el sensor ultrasónico, de igual modo coincidimos que el componente principal en nuestro estudio es el sensor ultrasónico HC - SR04, pues el sistema depende de su lectura.
- Con el sistema de control automatizado propuesto, se logró incrementar la eficiencia del proceso de llenado de tanques en un 30,01%. Un resultado



semejante a (Cano, 2020), quien sostiene que con su control automático logró un aumento en la eficiencia de un 33,07% en el proceso.

- (Rengifo & Torres, 2014) obtuvieron un control seguro, amigable y confiable, ya que el operador realiza las distintas actividades de manera fácil desde un centro de control. Así mismo, nuestro sistema propuesto fue controlado desde un ordenador, interactuando en la interfase de Arduino, haciendo esta tarea mucho más eficiente.
- En cuanto a (Benítes, 2018), fundamenta que su propuesta de control automático mejoró la eficiencia; en la cual ya no es necesaria la participación activa del operario. Acorde a lo antes mencionado, logramos liberar al operario de su responsabilidad de control y evitamos el desperdicio de tiempo en el proceso. Esto nos mostró que mejoró la eficiencia respecto al método de control manual.
- Finalmente (Torres, 2016), concluyó que un control automatizado brinda ahorro de tiempos y operaciones sin riesgo. Con nuestro sistema de control automatizado logramos igualmente disminuir el tiempo de llenado de un tanque, esto se ve reflejado en el incremento de la eficiencia del recurso tiempo analizado anteriormente. Además, al prescindir de la interacción humana con las máquinas, el riesgo que recae en ellos, disminuye.

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

- Las pruebas demuestran que un SCA incrementa la eficiencia del proceso de llenado de tanques en la empresa lácteos Chugur de la ciudad de Cajamarca – 2019, en un 30.01%.
- Dado el estudio realizado; concluimos que, dentro de la instrumentación industrial necesaria para elaborar un prototipo, es fundamental un sistema eléctrico, una bomba centrífuga, un sensor ultrasónico, una sala de control o interfaz para monitorear el nivel de líquido en el recipiente y finalmente, el cerebro del sistema de control: Un PLC, o como en nuestro caso a nivel de prototipo, usamos un microcontrolador Arduino UNO.
- Concluimos que el tipo de sistema de control adecuado para el proceso de llenado de tanques en la empresa lácteos Chugur, es un sistema de control en lazo cerrado; debido a la necesidad de usar un sensor ultrasónico, el cual fue programado en el microcontrolador Arduino UNO. En síntesis, este sensor medirá los valores de la variable controlada; además, actuará de acuerdo a lo requerido y programado para mantener el proceso bajo control.
- Elaboramos un prototipo a escala y logramos simular el funcionamiento de un sistema de control automatizado en el proceso de llenado de tanques en la empresa Lácteos Chugur. Este prototipo nos dejó observar un funcionamiento correcto, donde verificamos la acción de control de manera automática.

- El incremento de la eficiencia fue de un 24.25% respecto al recurso tiempo y de un 5.76% con respecto al recurso materia prima.
- En verificación con los resultados obtenidos, aceptamos la hipótesis alterna ( $H_a$ ) planteada: Un sistema de control automatizado incrementa la eficiencia del proceso de llenado de tanques de la empresa Lácteos Chugur en más del 25.00 %.

## 5.2 Recomendaciones

- El presente trabajo de investigación se realizó a nivel electrónico en una maqueta, con un máximo de energía de 5V. Para su implementación en una fábrica se recomienda que el encargado cuente con amplio conocimiento en electricidad doméstica y correcto uso de EPP's.
- Para la selección de los instrumentos a utilizar, se debe tener en cuenta el material del que están hechos, puesto que el material debe cumplir los requisitos de inocuidad durante su uso en una industria alimenticia.
- Para el uso en ambientes industriales agresivos con respecto a la temperatura, se recomienda usar sensores con recubrimientos más robustos, para asegurar un mejor y correcto funcionamiento.
- Se deberá respaldar este sistema con un generador de energía, ante un eventual corte eléctrico. Por otro lado, el sistema deberá estar energizado siempre para garantizar su correcto funcionamiento.
- Para la ejecución de este sistema en una empresa, es recomendable efectuarlo con un PLC (controlador lógico programable), por lo que es más versátil y nos puede permitir la integración de muchos otros sistemas de control en los demás procesos de producción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*Actuadores*. (2016). Obtenido de Tecnología de control:

<https://sites.google.com/site/tecnologiadecontrol2016/actuadores>

Agudelo, N., Tano, G., & Vargas, C. A. (2017). *Historia de la Automatización*.

Artículo, Universidad ECCI, Bogotá. Recuperado el 10 de Enero de 2021, de  
<http://ingenierovizcaino.com/ecci/aut1/corte1/articulos/Historia%20de%20la%20Automatizacion.pdf>

Autycom. (07 de Junio de 2020). *¿Qué es la instrumentación industrial?* Obtenido de

<https://www.autycom.com/que-es-la-instrumentacion-industrial/>

Belupú, C. I. (2017). *Implementación de un Sistema de Monitoreo y Control para*

*Automatizar la Manipulación de las Variables de Proceso en Tanques de Almacenamiento*. Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Piura.

Recuperado el 10 de Octubre de 2020, de

<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/16798>

Benítes, R. J. (2018). *Propuesta de implementación de un sistema de control*

*automático para el proceso de secado de pastas en la empresa Agroindustria y Comercio S.A. Para mejorar la Productividad*. Tesis de Pregrado,

Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo. Recuperado el 10 de Octubre de 2020, de

[http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1542/1/TL\\_BenitesCasta%  
%b1edaRony.pdf](http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1542/1/TL_BenitesCasta%c3%b1edaRony.pdf)

- Cano, R. A. (2020). *Desarrollo e implementación de un sistema automático para mejorar la eficiencia en la dosificación de goma en envases de quinua en la empresa Danper SAC*. Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de [http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/6509/1/REP\\_RUBEN.CANO\\_SISTEMA.AUTOMATICO.pdf](http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/6509/1/REP_RUBEN.CANO_SISTEMA.AUTOMATICO.pdf)
- Caraballo, A. L., Puente, J. E., & Restrepo, L. E. (2003). *Diseño de automatización de la zona de recibo y almacenamiento de leche cruda para la cooperativa de ganaderos de cartagena codegan LTDA*. Tesis de pregrado, Cartagena de Indias. Recuperado el Agosto de 12 de 2020
- Castro , E., & Tristán , A. (2018). *SISTEMA SCADA CON GEORREFERENCIACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN RESERVORIOS DE AGUA EN EL VALLE DE PAMPAS - TAYACAJA (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- Channel News Perú. (06 de Febrero de 2017). Automatizaión y robótica en el Perú ¿Cómo impactan en el desarrollo del país? *Channel News Perú*. Recuperado el 22 de Diciembre de 2021, de <https://channelnewsperu.com/index.php/2017/02/06/automatizacion-y-robotica-en-el-peru-como-impactan-en-el-desarrollo-del-pais/>

Cobo, R. (2008). *EL ABC de la automatización*. Recuperado el 20 de Julio de 2020, de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>

Corrales, R., & Suatunce, O. (2005). *Automatización del proceso de producción de queso para la microempresa "Quesera San José de Chanchalo" (Tesis de Pregrado)*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

Creus, A. (2010). *Instrumentación industrial* (8va ed.). México, México: Alfa Omega Grupo Editor S.A. Recuperado el 10 de Enero de 2021, de [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-02-11\\_11-19-12139942.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-02-11_11-19-12139942.pdf)

Da Silva, R. (2002). *Teorías de la Administración*. Brasil: International Thomson Editores. Obtenido de Promonegocios.net.

*Definición de controlador*. (2020). Obtenido de Definición.DE: <https://definicion.de/controlador/#:~:text=Para%20la%20inform%C3%A1tica%2C%20un%20controlador,permite%20el%20uso%20del%20perif%C3%A9rico.&text=Por%20eso%20existen%20tantos%20controladores%20como%20perif%C3%A9ricos>.

Edenred. (s.f.). *Eficiencia, eficacia y efectividad*. Obtenido de <https://blog.edenred.es/eficiencia-eficacia-y-efectividad-diferencias-y-calculo/>

Estrella, A. F. (2007). *Diseño e Implementación del sistema para el control y supervisión de tanques de almacenamiento de aceite palmiste*. Tesis de

Pregrado, Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga. Recuperado el Octubre de 10 de 2020

Fayol, H. (20 de Junio de 2012). *Definición de control*. Obtenido de Descuadrando:  
<http://descuadrando.com/Control>

Gómez, E. (30 de Enero de 2014). *Rincón Ingenieril*. Obtenido de Introducción a Arduino: <https://www.rinconingenieril.es/introduccion-arduino/>

González, M. L. (2016). ENFOQUE TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL .  
*Revista Actualidades Investigativas en Comunicación*.

Hernandez. (2003). *Metodologia de la investigacion* . Interceramic.

Hernández, C., & Cedillo, J. (2016). *Teelecontrol de un sistema de conservación de tanque de leche*. Proyecto, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Recuperado el 20 de Julio de 2020, de  
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31220/TELECONTROL%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20CONSERVACION%20DE%20TANQUE%20DE%20LECHE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Herrera, G., Leiva, D., & Noguera, D. (2017). *Control de nivel de tanque elevado*. Trabajo Monográfico, Universidad Ricardo Palma, Lima. Recuperado el 20 de Julio de 2020, de <http://v-beta.urp.edu.pe/pdf/id/20446/n/control-de-nivel-de-tanque-elevado>

Jimenez, R. (1998). *Metdologia de la investigacion*. Habana: Ciencias Médicas.



- Lugo, J. (2015). *Gestión por procesos e indicadores de gestión*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/juanlugomarin/jl-curso-gestin-por-procesos-e-indicadores-de-gestion?fbclid=IwAR2mcwUglPErNrzqwNIPXiSZQP2ZMSsunXg1XIY-TTOSPGzfUmiTkalEs4k>
- Malaga, J. T. (2006). Tipos, Metodos y Estrategias de Investigación Científica. *Revista de la Escuela de Post Grado*, 149-151.
- Mejía, H., & Espinoza, C. (2016). *Sistema de automatización para el llenado de un tanque de agua por bombas con la ayuda de sensores (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua.
- Metal Stampes services JOM. (12 de Mayo de 2016). *Importancia de la automatización Industrial*. Obtenido de <https://www.jom.es/importancia-de-la-automatizacion-industrial/>
- Montagud, N. (2020). *Psicología y Mente*. Recuperado el 02 de Noviembre de 2020, de Los 12 tipos de técnicas de investigación: Características y Funciones: <https://psicologiymente.com/cultura/tipos-tecnicas-investigacion>
- Moposita, J., & Serra, C. (2018). *SISTEMA DE CONTROL Y ALERTA PARA EL TANQUE PURIFICADOR DE AGUA EN LA PLANTA PURIFICADORA ECOAGUA*. Artículo Científico, Ambato. Recuperado el 10 de Octubre de 2020, de

<http://192.188.46.193/bitstream/123456789/62289/1/MOPOSITA%20MOPOSITA%20JESSICA%20FABIOLA-2018.pdf>

Naylamp Mechatronics. (2021). *Sensores* . Obtenido de Sensor Ultrasonido HC-SR04: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>

Proaño, P. (2012). *Control Automático Centralizado para optimizar el proceso de producción de leche, yogurt y queso en la planta de lácteos Marco's (Tesis de pregrado)*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

*Proceso*. (28 de Febrero de 2017). Recuperado el 23 de Julio de 2020, de Que significado: <https://www.significados.com/proceso-de-produccion/>

*Prueba T de Student para dos muestras relacionadas*. (2019). Obtenido de XLSTAT by Addinsoft: <https://help.xlstat.com/s/article/prueba-de-student-dos-muestras-relacionadas?language=es#:~:text=La%20prueba%20t%20de%20Student,el%20d%C3%ADa%3A%20ma%C3%B1ana%20y%20tarde>.

*Qué es eficiencia*. (13 de Diciembre de 2019). Recuperado el 23 de Julio de 2020, de Significados: <https://www.significados.com/eficiencia/>

*QuestionPro*. (2020). Obtenido de <https://www.questionpro.com/es/que-es-spss.html>

- Ramírez, M. (s.f.). *Instrumentación Industrial*. Recuperado el 22 de Diciembre de 2020, de [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-02-11\\_11-28-17139953.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-02-11_11-28-17139953.pdf)
- Real Academia Española. (2019). *Eficiencia*. Diccionario de la Lengua Española 23.<sup>a</sup> ed. Recuperado el 23 de Julio de 2020, de Diccionario de la lengua española, 23.<sup>a</sup> ed.,: <https://dle.rae.es/eficiencia?m=form>
- Real Academia Española. (2019). *Optimización*. Obtenido de Diccionario de la lengua española (Edición del Tricentenario): <https://dle.rae.es/optimizaci%C3%B3n?m=form>
- Real Academia Española. (2019). *Sistema*. Recuperado el 23 de Julio de 2020, de Diccionario de la lengua española, 23.<sup>a</sup> ed.: <https://dle.rae.es/sistema?m=form>
- Rengifo, E., & Torres, J. (2014). *Diseño de control automático para mejorar la eficiencia en el porceso de trasiego del área de despacho de oxígeno líquido en la empresa Messer gases del Perú S.A.* Tesis de pregrado, Trujillo. Recuperado el 09 de Octubre de 2020, de [http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/650/1/RENGIFO\\_ERICK\\_MEJORAR\\_PROCESO\\_TRASIEGO.pdf](http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/650/1/RENGIFO_ERICK_MEJORAR_PROCESO_TRASIEGO.pdf)
- Rivera, M. (2017). *Control PID aplicado a un sistema de tanques en cascada como alternativa de solución para el control de nivel de lenado, en una empresa de tintes (Tesis de Pregrado)*. Universidad Ncional Tecnológica de Lima Sur, Lima.

- Robayo, F. I., Silva, D. M., & Mosquera, D. J. (2015). *Sistema de control automatizado en planta de cargue de agua potable para camiones cisterna*. Artículo, Universidad Colombiana, Neiva. Recuperado el 10 de Octubre de 2020, de <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/718/1374>
- Salgado, G., & Yanez, M. (2008). *Diseño e implementación de un medidor de líquidos en tanques a través de un instrumento virtual y un sensor ultrasonido para el laboratorio de máquinas eléctricas de la carrera de ciencias de la ingeniería y aplicadas de la universidad técnica de Cotopaxi*. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga.
- Sampieri R, H. (2010). *Slideshare*. Obtenido de slideshare:  
<https://es.slideshare.net/carmenrosa1/resumen-de-metodologia-de-la-investigacin-segn-sampieri-h>
- Sensores*. (2016). Obtenido de Tecnología de control:  
<https://sites.google.com/site/tecnologiadecontrol2016/sensores>
- Tecnología de control*. (2016). Obtenido de Mediafire:  
<https://sites.google.com/site/tecnologiadecontrol2016/control-manual>
- TECSUP. (02 de Julio de 2019). *Estrategias de aplicación de Industria 4.0 en las empresas peruanas*. Obtenido de  
[https://www.tecsup.edu.pe/sites/default/files/Estrategias%20de%20aplicaci%C3%B3n%20de%20industria%204.0\\_Revista%20Tecsups%20V13\\_2019.pdf](https://www.tecsup.edu.pe/sites/default/files/Estrategias%20de%20aplicaci%C3%B3n%20de%20industria%204.0_Revista%20Tecsups%20V13_2019.pdf)

*Tipos de sistemas de control.* (12 de Abril de 2016). Recuperado el 24 de Julio de 2020, de Tecnología:  
<http://tecnologiagama2000seda.blogspot.com/2016/04/tipos-de-sistemas-de-control.html>

Torres, F. (2016). *Diseño y propuesta del sistema automatizado Clean and Place (CIP) en el área de producción de una empresa láctea de Cajamarca, para mejorar la eficiencia de los ciclos de lavado (Tesis de Pregrado)*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca.

Universidad Continental. (09 de Octubre de 2018). *La combinación ideal en la cuarta revolución industrial y la necesidad del talento humano*. Obtenido de El Comercio: <https://elcomercio.pe/publireportaje/combinacion-ideal-cuarta-revolucion-industrial-necesidad-talento-humano-noticia-549248-noticia/?ref=ecr>

Vélaz, I. (29 de Octubre de 2012). *Concepto de sistema en la organización*. Recuperado el 23 de Julio de 2020, de ASSENTIRE:  
<https://s3a2.me/2012/10/29/concepto-de-sistema-en-la-organizacion/>

Vivaelsoftwarelibre. (04 de Mayo de 2016). Obtenido de Kolmogorov-Smirnov para testear la normalidad: <https://vivaelsoftwarelibre.com/test-de-kolmogorov-smirnov-en-r/>

Wikipedia, la enciclopedia libre. (03 de Febrero de 2020). *Prueba de los rangos con signos de Wilcoxon*. Obtenido de

[https://es.wikipedia.org/wiki/Prueba\\_de\\_los\\_rangos\\_con\\_signo\\_de\\_Wilcoxon](https://es.wikipedia.org/wiki/Prueba_de_los_rangos_con_signo_de_Wilcoxon)

Wikipedia, la enciclopedia libre. (15 de Julio de 2021). *Test de Shapiro-Wilk*.

Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Test\\_de\\_Shapiro%E2%80%93Wilk](https://es.wikipedia.org/wiki/Test_de_Shapiro%E2%80%93Wilk)