



**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA**

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR EL PROCESO EN  
DOSIFICADORAS MANUALES POR PESO DE HELADO DE 40 A 100 GR**

**Línea de investigación:  
Sistemas eléctricos y electrónicos**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico

**Autora**

Durán Cerna, Jossybell Betsabé

**Asesor**

Solis Fonseca, Justo Pastor

ORCID: 0000-0002-0302-2753

**Jurado**

Flores Masias, Edward José

Peña Carrillo, César Serapio

Moro Pisco, José Francisco

**Lima - Perú**

**2026**

# SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR EL PROCESO EN DOSIFICADORAS MANUALES POR PESO DE HELADO DE 40 A 100 GR

## INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

|                        |                                                                         |       |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1                      | Submitted to ULACIT Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología | < 1 % |
| Trabajo del estudiante |                                                                         |       |
| 2                      | www.grupoformula.com                                                    | < 1 % |
| Fuente de Internet     |                                                                         |       |
| 3                      | uvapi.com                                                               | < 1 % |
| Fuente de Internet     |                                                                         |       |
| 4                      | www.researchgate.net                                                    | < 1 % |
| Fuente de Internet     |                                                                         |       |
| 5                      | Submitted to Corporación Universitaria del Caribe                       | < 1 % |
| Trabajo del estudiante |                                                                         |       |
| 6                      | repositorio.upla.edu.pe                                                 | < 1 % |
| Fuente de Internet     |                                                                         |       |
| 7                      | upcommons.upc.edu                                                       | < 1 % |
| Fuente de Internet     |                                                                         |       |
| 8                      | www.computing.es                                                        | < 1 % |
| Fuente de Internet     |                                                                         |       |
| 9                      | Submitted to Universidad TecMilenio                                     | < 1 % |
| Trabajo del estudiante |                                                                         |       |



**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA**

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR EL PROCESO EN  
DOSIFICADORAS MANUALES POR PESO DE HELADO DE 40 A 100 GR**

**Línea de investigación:**

Sistemas eléctricos y electrónicos

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico

**Autora:**

Durán Cerna, Jossybell Betsabé

**Asesor:**

Solis Fonseca, Justo Pastor

ORCID: 0000-0002-0302-2753

**Jurado:**

Flores Masias, Edward José

Peña Carrillo, César Serapio

Moro Pisco, José Francisco

**Lima - Perú**

### **DEDICATORIA**

Con profundo agradecimiento y cariño, dedico el presente trabajo a mis padres, Betty Cerna y Samuel Durán, quienes me han apoyado en el camino hacia mis metas, haciendo grandes esfuerzos para brindarme todo lo que necesitaba; también se lo dedico a mi hermana Rubby Durán, sus palabras de aliento y su compañía fueron de gran importancia; a mi abuelita Felicitas Varillas a quien prometí que culminaría con honores una carrera profesional; y también a las personas que me apoyaron para seguir adelante con mis objetivos profesionales.

## ÍNDICE

|                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RESUMEN .....                                                                                                  | viii      |
| ABSTRACT.....                                                                                                  | ix        |
| I. INTRODUCCIÓN.....                                                                                           | 7         |
| 1.1. Descripción y formulación del problema.....                                                               | 7         |
| <i>1.1.1. Descripción del problema.....</i>                                                                    | <i>7</i>  |
| <i>1.1.2. Formulación del problema .....</i>                                                                   | <i>8</i>  |
| 1.2. Antecedentes .....                                                                                        | 9         |
| 1.3. Objetivos .....                                                                                           | 10        |
| <i>1.3.1. Objetivo general .....</i>                                                                           | <i>10</i> |
| <i>1.3.2. Objetivos específicos .....</i>                                                                      | <i>11</i> |
| 1.4. Justificación.....                                                                                        | 11        |
| 1.5. Hipótesis.....                                                                                            | 12        |
| II. MARCO TEÓRICO .....                                                                                        | 13        |
| 2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación.....                                                        | 13        |
| <i>2.1.1. Sistemas de dosificación.....</i>                                                                    | <i>10</i> |
| <i>2.1.2. Automatización industrial.....</i>                                                                   | <i>10</i> |
| <i>2.1.3. Aplicaciones de los sistemas de dosificación por pesaje en diferentes</i><br><i>industrias .....</i> | <i>21</i> |
| <i>2.1.4. Sensores de peso .....</i>                                                                           | <i>22</i> |
| <i>2.1.5. Módulo HX711.....</i>                                                                                | <i>26</i> |
| <i>2.1.6. Interfaz hombre-máquina (HMI) .....</i>                                                              | <i>28</i> |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.7. Pantalla LCD.....                                                                                           | 29 |
| 2.1.8. Keypad.....                                                                                                 | 29 |
| 2.1.9. PCF8574.....                                                                                                | 10 |
| 2.1.10. Microcontrolador Arduino.....                                                                              | 32 |
| III. MÉTODO .....                                                                                                  | 36 |
| 3.1. Tipo de investigación .....                                                                                   | 36 |
| 3.2. Ámbito temporal y espacial.....                                                                               | 36 |
| 3.3. Variables .....                                                                                               | 37 |
| 3.4. Población y Muestra.....                                                                                      | 38 |
| 3.5. Instrumentos .....                                                                                            | 38 |
| 3.6. Procedimientos .....                                                                                          | 39 |
| 3.7. Análisis de datos.....                                                                                        | 39 |
| IV. RESULTADOS .....                                                                                               | 46 |
| 4.1. Prueba de hipótesis específica 01: indicador para la dimensión precisión .....                                | 46 |
| 4.2. Prueba de hipótesis específica 02: Indicador para la dimensión tiempo de dosificación .....                   | 49 |
| 4.3. Prueba de hipótesis específica 03: Indicador para la dimensión pérdida de material a lo largo del tiempo..... | 52 |
| 4.4. Prueba de hipótesis específica 04: Indicador para la dimensión interfaz de usuario .....                      | 55 |
| V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....                                                                                   | 62 |
| VI. CONCLUSIONES.....                                                                                              | 64 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| VII. RECOMENDACIONES ..... | 65 |
| VIII. REFERENCIAS.....     | 66 |
| IX. ANEXOS .....           | 73 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Operacionalización de variables.....                                                                                   | 37 |
| Tabla 2. Tabla con datos para dimensionar la precisión de la dosificadora automatizada con mi prototipo.....                    | 46 |
| Tabla 3. Tabla con datos para dimensionar la precisión de la dosificadora sin mi prototipo..                                    | 47 |
| Tabla 4. Tabla con datos para dimensionar el tiempo de dosificación de la dosificadora con mi prototipo.....                    | 49 |
| Tabla 5. Tabla con datos para dimensionar el tiempo de dosificación de la dosificadora sin mi prototipo.....                    | 50 |
| Tabla 6. Tabla con datos para dimensionar la pérdida de material a lo largo del tiempo de la dosificadora con mi prototipo..... | 52 |
| Tabla 7. Tabla con datos para dimensionar la pérdida de material a lo largo del tiempo de la dosificadora sin mi prototipo..... | 53 |
| Tabla 8. Tabla con datos recolectados según encuesta de satisfacción con respecto a la interfaz de usuario.....                 | 55 |
| Tabla 9. Tabla de nivel de acuerdo según rangos de puntaje.....                                                                 | 56 |
| Tabla 10. Tabla de varianzas según ítem de la encuesta de satisfacción con respecto a la interfaz de usuario.....               | 59 |
| Tabla 11. Tabla de puntaje total por operario.....                                                                              | 60 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Dosificador volumétrico de la marca Tenco.....                           | 13 |
| Figura 2. Dosificador de pistón para productos viscosos.....                       | 15 |
| Figura 3. Dosificador gravimétrico de polvo.....                                   | 16 |
| Figura 4. Galga extensiométrica.....                                               | 23 |
| Figura 5. Montaje de galgas extensiométricas.....                                  | 24 |
| Figura 6. Puente de Wheatstone - Cuarto de puente, medio puente, puente completo.. | 26 |
| Figura 7. Módulo HX711 Transmisor de celda de carga.....                           | 28 |
| Figura 8. Pantalla LCD.....                                                        | 29 |
| Figura 9. Teclado Matricial 3x4.....                                               | 30 |
| Figura 10. Pinning PCF8574.....                                                    | 31 |
| Figura 11. Pin description PCF8574.....                                            | 31 |
| Figura 12. Full Pinout ARDUINO.....                                                | 33 |
| Figura 13. Arduboard Uno R3.....                                                   | 35 |

## RESUMEN

En la industria del envasado se usan mayormente máquinas dosificadoras mecánicas no automatizadas. Esta situación presenta desventajas, el pesaje manual de productos es realizado por operarios que utilizan básculas convencionales, la inexactitud del proceso de dosificación no automático genera problemas como el desperdicio del producto dispensado; otro problema es la ineficiencia en la producción, pues al usar la máquina no automatizada cuando se desea dosificar con más exactitud, el error porcentual es más evidente cuando son productos de menor peso, el operario tendría que reducir la velocidad del actuador de la máquina, o pausar repetidas veces el proceso para obtener un peso cercano al peso deseado; esta acción del operario conlleva a una producción más lenta. La presente investigación tuvo como objetivo implementar un sistema automatizado para mejorar el proceso en dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gr. El método utilizado en el presente trabajo fue del tipo aplicada, descriptiva, con enfoque cuantitativo, y orientación experimental. Los resultados demostraron que el sistema automatizado logra una mayor exactitud en el peso del producto dosificado, reduciendo en un 11.87% el error porcentual; además logra mayor velocidad, aumentando en 0.42 g/s el valor del flujo másico; también aminora pérdidas de la cantidad del producto en 0.34 gramos por segundo en el proceso; y finalmente logra ser de fácil manejo para los operarios. De dichos resultados se concluye que el sistema automatizado propuesto, mejora el proceso en dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gr.

*Palabras clave:* envasado, dosificadoras, exactitud, sistema automatizado, velocidad.

## ABSTRACT

In the packaging industry, non-automated mechanical dosing machines are mostly used. This situation presents several disadvantages: product weighing is carried out manually by operators using conventional scales, and the inaccuracy of the non-automated dosing process leads to issues such as waste of the dispensed product, when it accumulates over hours, results in a considerable amount of loss. Another problem is inefficiency in production; for example, when using a non-automated machine and aiming for greater accuracy, especially since percentage error is more evident with lower-weight products, the operator must reduce the speed of the actuator or lever, or repeatedly pause the process to obtain a weight close to the desired value, resulting in slower production. The objective of this research was to implement an automated system to improve the process in manual dosing machines for ice cream weights ranging from 40 to 100 g. The method used in this study was applied, descriptive, with a quantitative approach and experimental orientation. The results showed that the automated system achieves greater accuracy in the weight of the dispensed product, reducing the percentage error by 11.87%. In addition, it achieves higher speed, increasing the mass flow rate in the dosing process by 0.42 g/s; it also reduces product loss by 0.34 grams per second during the process; and finally, it proves to be easy for operators to use. Based on these results, it is concluded that the proposed automated system improves the process in manual dosing machines for ice cream weights from 40 to 100 g.

*Keywords:* packaging, dosing machines, accuracy, automated system, speed.



## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1.Descripción y formulación del problema

#### 1.1.1. Descripción del problema

En la industria del envasado se suelen usar máquinas dosificadoras mecánicas que no están automatizadas; el proceso de dosificación no automático se realiza con ayuda de un operario que presionará los botones de comando de la máquina dosificadora mecánica, con estos botones, el operario estará controlando la cantidad que dispense la dosificadora mientras va pesando con ayuda de una balanza. Este hecho presenta una serie de desventajas, el pesaje manual de los productos es realizado por operarios que utilizan básculas convencionales, aunque es una práctica común en muchas industrias, este método está sujeto a imprecisiones y defectos, que resultan en: fatiga del operador, errores humanos, etc.

La inexactitud del proceso de dosificación no automático puede dar lugar a problemas como el desperdicio del producto dispensado, que sumando cada cantidad de producto desperdiciado en cada envase puede resultar en una cantidad considerable del producto; otro problema es la ineficiencia en la producción, ya que la velocidad con la que labora el operario es una variable que tiene muchos factores, como la experiencia, el estado de ánimo, etc.; incluso si un operario desea dosificar con más exactitud, tendría que bajar la velocidad de la dosificadora mecánica, y esto conlleva a una producción más lenta; un inconveniente a tener en cuenta es la insatisfacción del cliente debido a un pesaje incorrecto, este hecho acarreará un efecto negativo para las finanzas y prestigio de la empresa.

El proceso de dosificación no automatizado presenta un error porcentual

Error porcentual =  $[(\text{Valor aproximado} - \text{Valor exacto}) / \text{Valor exacto}] \times 100$ , donde el valor exacto es el peso con el que el producto debería ser dosificado, y el valor aproximado es el peso que realmente se dispensó; este error es más evidente cuando se trata de productos que

serán de menor peso, ya que en esos casos la división de la diferencia entre el valor aproximado y el valor exacto, y el valor exacto será mayor. Para poder contrarrestar este error se deberá bajar la velocidad de dispensación de la máquina, lo cual ralentizará el proceso, lo que resulta ineficiente.

El sistema mecatrónico que desarrollaré reducirá en gran medida el error porcentual ya que la diferencia entre el valor aproximado y el valor exacto tenderá a ser cero; dicho sistema también permitirá hacer la dosificación con una mayor velocidad sin repercutir en el error porcentual, además todo el proceso de dosificación se realizará de manera automática.

La inclusión de mi sistema mecatrónico propuesto hará posible que el proceso de dosificación sea automático, veloz y eficiente.

### ***1.1.2. Formulación del problema***

Problema general:

¿Cómo un sistema automatizado puede mejorar el proceso en dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gr?

problemas específicos:

¿Cómo un sistema automatizado puede lograr una mayor exactitud en el peso del producto dosificado en máquinas dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos?

¿Cómo un sistema automatizado puede lograr mayor velocidad en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos?

¿Cómo un sistema automatizado puede anular pérdidas de la cantidad del producto en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos?

¿Cómo un sistema automatizado puede ser de fácil manejo para los operarios en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos?

## **1.2. Antecedentes**

Sánchez y Solis (2024) desarrollaron un dispensador de alimentos y agua automatizado para mascotas con dosificador controlado por un sistema de balanzas con el objetivo de dispensar raciones adecuadas cuando los dueños no estén en casa, como resultado se logró desarrollar una máquina que otorga una solución a la situación en la que el dueño no está en casa y desea alimentar a sus mascotas, este prototipo brinda con precisión una ración saludable, ya que, se realizó una investigación exhaustiva de porciones saludables según el tamaño del perro, haciendo un promedio de la raciones necesarias para distintas razas pertenecientes a un tipo de tamaño , y se logró validar su funcionamiento mediante pruebas de campo realizada con un grupo de perros con diferentes pesos.

Apaza y Guerrero (2024) tuvieron como objetivo desarrollar un sistema mecatrónico inteligente para medir la masa de productos a granel como frutas y verduras; este sistema debía ser capaz de reconocerlos mediante visión computacional; pesarlos mediante la balanza desarrollada con el uso de la celda de carga, y visualizar los datos obtenidos en la pantalla haciendo uso de una interfaz con expectativa de ser usado para el autoservicio en los supermercados; como resultado se desarrolló un prototipo capaz de realizar una detección acertada del producto en el 90% de pruebas realizadas mediante visión computacional, y la balanza permite tener una división de escala menor a 5 gramos, obteniendo una balanza de exactitud media , lo cual hace que esta máquina sea óptima para implementarla como un sistema de autoservicio en los supermercados.

Remache (2022) tuvo como objetivo diseñar y construir un dosificador automático de granos de cebada por peso para la empresa Beerland Store; para medir la cantidad de producto

dosificado, el prototipo posee una celda de carga de 10 kg de capacidad colocada en la parte inferior de la estructura. El proceso de dosificación de la cebada se realiza mediante el mando local, en primera instancia se deben ingresar los valores, tanto del peso como del número de ciclos, mediante los pulsadores de Bajar y Subir para disminuir o aumentar las cantidades, respectivamente; una vez ingresado los valores consignados, se tiene un menú de confirmación de los datos, en los cuales se puede aceptar para continuar con la dosificación o Cancelar para cambiar los valores, una vez aceptada la confirmación de los valores consignados, se procede a la dosificación, en la cual se muestra los datos consignados y los valores actuales en la pantalla LCD del mando local; cuando haya finalizado un ciclo de dispensación se visualizará un mensaje en el LCD; se procede a retirar el producto y colocar nuevamente el recipiente recolector para continuar con el siguiente ciclo. Como resultado se pudo apreciar que la máquina tiene un margen de error de 15 gramos.

Muñoz y Mamani (2022) tuvieron como objetivo implementar un prototipo dosificador de alimentos para granja de truchas, este proyecto fue desarrollado tomando como base las necesidades y problemáticas de los pequeños y medianos empresarios que son propietarios de granjas de truchas en el lago Titicaca, cuya alimentación se viene desarrollando de forma artesanal; se llegó a la conclusión de que el control de alimentación para truchas usando este prototipo dosificador, satisface el proceso de la producción con más eficiencia para el mercado que llevando a cabo un proceso artesanal, y el control estadístico de la producción contribuye a dicha eficiencia.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Implementar un sistema automatizado para mejorar el proceso en dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gr.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Implementar un sistema automatizado para lograr una mayor exactitud en el peso del producto dosificado en máquinas dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos.

Implementar un sistema automatizado para lograr mayor velocidad en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos.

Implementar un sistema automatizado para anular pérdidas de la cantidad del producto en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos.

Implementar un sistema automatizado que sea de fácil manejo para los operarios en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos.

### **1.4. Justificación**

El presente proyecto es justificado tecnológicamente, ya que este proceso de automatización de máquinas dosificadoras manuales por peso de helado que tendrá presentaciones de 40 a 100 gramos, reducirá en gran medida el error porcentual del valor real con respecto al valor nominal del peso del producto dosificado; además de permitir realizar la dosificación con una mayor velocidad sin repercutir en el error porcentual, otra ventaja es que el sistema es programable y se puede especificar cuantas veces se desea dosificar la misma cantidad, por lo tanto este detalle le otorga aún más eficiencia y velocidad al proceso.

La justificación económica del presente proyecto radica en el hecho de que se podrán llevar a cabo con más velocidad actividades como el envasado o empaquetado, etc.; ya que el proceso de dosificación es crucial en estas actividades y se realizaría con mayor rapidez; este hecho generaría mayor producción lo que conlleva a mayores ganancias. Además, con este sistema de automatización no se desperdiciaría producto por errores humanos al dosificar, ya

que la suma del producto dispensado desperdiciado por imprecisiones a lo largo de tantos ciclos repetitivos de dispensación resultarían en una cantidad relevante de producto, por lo que el sistema de automatización no permitirá este desperdicio.

La justificación social se basa en que el presente proyecto contribuirá a que los clientes obtengan un producto con el peso correcto; además los operarios tendrán un rol más sencillo que se limitará a colocar y retirar el envase de la dosificadora automática, sin el esfuerzo de tantear en una balanza, y adicionalmente para un mismo peso dosificado solo será necesario especificar a la maquina una sola vez el peso que se desea dosificar y la cantidad de unidades.

### **1.5. Hipótesis**

Hipótesis general:

El sistema automatizado mejora el proceso en dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gr.

Hipótesis específicas:

El sistema automatizado logra una mayor exactitud en el peso del producto dosificado en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos.

El sistema automatizado logra mayor velocidad en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos.

El sistema automatizado anula pérdidas de la cantidad del producto en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos.

El sistema automatizado logra ser de fácil manejo para los operarios en máquinas dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1. *Sistemas de dosificación*

Los sistemas de dosificación son sistemas diseñados para administrar productos de manera controlada, ya sea en cantidad, proporción o secuencia de tiempo, conforme a los requisitos de un proceso industrial (Haosh, s.f.)

**2.1.1.1. Tipos de dosificadores.** Los dosificadores industriales se dividen en dos principales familias: los dosificadores gravimétricos y los dosificadores volumétricos. El dosificador deberá elegirse según el tipo de producto y su capacidad de flujo. El funcionamiento del dosificador no será el mismo con polvos, gránulos o líquidos más o menos viscosos.

La elección del dosificador también dependerá del caudal deseado.

**A. Dosificadores volumétricos.** Los dosificadores volumétricos miden el volumen de un producto y lo descargan. Un ejemplo es la Figura 1 (DirectIndustry, s.f.)

**Figura 1**

*Dosificador volumétrico de la marca Tenco*



Los dosificadores volumétricos pueden utilizarse para la dosificación de productos como la harina, los materiales en polvo o los frutos secos en el sector agroalimentario, o en la industria para la dosificación de gránulos, o en el procesamiento de plásticos.

Los dosificadores volumétricos suelen ser de tornillo o de pistón.

Los dosificadores volumétricos de tornillo tienen un husillo que se usa tanto para medir el volumen como para evacuar el producto con cada vuelta.

La medición se basa en cuantificar cada ciclo medido, por ejemplo, en rotaciones del husillo. Estos dosificadores se dividen en 3 categorías:

Los dosificadores monotornillo son utilizados principalmente con materiales de flujo libre.

Los dosificadores de doble tornillo son idóneos para la dosificación de materiales en polvo, granulares o en copos.

Los dosificadores de triple tornillo se suelen usar en la dosificación de materiales de muy alta viscosidad, como pigmentos o colas.

Los dosificadores de pistón son los más adecuados para líquidos viscosos y masas, en los casos en los que es necesario empujar el producto que no puede fluir por sí mismo. Son usados mayormente en la dosificación bicomponente, en las mezclas de resina y endurecedor. En la Figura 2 se observa una estructura general de este tipo de dosificadores (Tecnoembalaje, s.f.)

## **Figura 2**

*Dosificador de pistón para productos viscosos*



Existen dos tipos de dosificadores de pistón:

Los pistones neumáticos, que son relativamente económicos, aunque requieren una red de aire comprimido adaptada.

Los pistones mecánicos son accionados por leva y ofrecen una dosificación más precisa y regular que los pistones neumáticos, éstos suelen ser más robustos. (Direct Industry, s.f.)

**B. Dosificadores gravimétricos.** Según Peláez (2015), los dosificadores gravimétricos funcionan midiendo el peso (generalmente con balanzas), se puede ir ajustando el caudal en tiempo real según las necesidades del proceso industrial, lo que garantiza una dosificación más exacta y estable que los sistemas volumétricos convencionales.

Según Movacolor(s.f.), las principales ventajas para el proceso de producción son:

**Precisión:** Debido a que se basa en mediciones de masa real, la dosificación gravimétrica es muy precisa y se ve menos afectada por variaciones en la densidad del material, la temperatura u otros factores que pueden interferir en las mediciones basadas en el volumen.

**Flexibilidad:** La dosificación gravimétrica puede usarse para una amplia gama de materiales, desde polvos y gránulos hasta líquidos, siempre que puedan pesarse de forma fiable.

**Optimización de procesos:** Los sistemas de dosificación gravimétrica tienen la posibilidad de integrarse en líneas de producción automatizadas, esto permite procesos de fabricación eficientes y optimizados, con el tiempo mínimo de inactividad posible.

**Reducción de residuos:** Una dosificación precisa reduce el desperdicio de material y contribuye al ahorro de costes.

La Figura 3 representa un ejemplo de este tipo de dosificadores ( DirectIndustry, s.f.).

### **Figura 3**

*Dosificador gravimétrico de polvo*



#### ***2.1.2. Automatización industrial***

Rodríguez et al. (2014) definen la automatización como el estudio y aplicación de la automática al control de los procesos industriales, llevándose a cabo incorporando, a un determinado proceso, un conjunto de componentes y dispositivos eléctricos, electromecánicos y electrónicos interconectados entre sí capaces de brindar control y buen funcionamiento.

Mediante la automatización industrial se generan procesos cuya maquinaria y equipos son capaces de actuar de manera automática (con la mínima intervención de un operario), respondiendo a todas las situaciones posibles predefinidas de antemano.

**2.1.2.1. Clases de automatización.** Según Groover (2015), en relación con el grado de flexibilidad y el volumen de producción, tenemos a las siguientes categorías:

Automatización fija: Está diseñada para una tarea específica con secuencia de operaciones previamente determinada. Se aplica en producción masiva de productos idénticos. Requiere alta inversión inicial y es poco adaptable a cambios.

Automatización programable: permite reprogramar la secuencia de operaciones para fabricar diferentes productos o establecer nuevas configuraciones. Es ideal para producción por lotes, tiene moderada flexibilidad.

Automatización flexible: combina capacidad de reconfiguración automática con integración de múltiples estaciones de trabajo y manejo automatizado de materiales. Se adapta bien a variedad de productos con volúmenes medios de producción.

Además, enfoques contemporáneos incluyen una cuarta categoría:

Automatización inteligente, que integra tecnologías avanzadas como inteligencia artificial, gestión de procesos de negocio (BPM) y automatización robótica de procesos (RPA) para optimizar decisiones de manera autónoma.

**2.1.2.2. Ventajas de la automatización industrial.** La automatización industrial brinda una amplia gama de beneficios para las empresas. Tales beneficios contribuyen a una actividad más eficiente, rentable y sostenible. Según Tega Industrial (s.f.) la automatización tiene nueve beneficios principales:

Aumento de la productividad, al implementar sistemas automatizados, las empresas pueden operar de forma continua, sin limitar la producción por los horarios laborales de los trabajadores humanos. Esto resulta en una producción más rápida y eficiente, lo que permite a las empresas producir una mayor cantidad.

Reducción de costes, uno de los beneficios más significativos de la automatización es el ahorro, aunque es necesario efectuar una inversión inicial en tecnología de automatización industrial, a largo plazo esto brindará diversos beneficios, como la notable reducción de personal, por ende, menos gasto en salarios, además las empresas industriales que usan sistemas de automatización industrial reducen el desperdicio de materiales y minimizan el número de errores humanos que pueden derivar en sobrecostos. Esta eficiencia mejorada también conduce a una menor utilización de recursos, lo que permite más ahorro y en una mejor gestión del capital.

Mejora de la calidad del producto, la automatización garantiza una mayor consistencia y precisión en los procesos de producción, lo que se traduce en una mejora significativa en la calidad del producto. Los sistemas automatizados reducen en gran medida los errores que se pueden cometer con el trabajo manual, lo que asegura que cada producto cumpla con los estándares de calidad establecidos en cada sector.

Mejora de la seguridad en el trabajo, al delegar tareas peligrosas o repetitivas en máquinas destinadas para ello, se reduce el riesgo de accidentes laborales. Esto no solo protege a los empleados, sino que también reduce los costes relacionados con lesiones y compensaciones.

Aumento de la flexibilidad y escalabilidad, en el caso de contar con automatización programable, flexible o inteligente, el sistema puede ser rápidamente reconfigurado para adaptarse a nuevos productos o cambios en la demanda del mercado. Esta adaptabilidad es

crucial en un entorno empresarial que cambia rápidamente, permitiendo a las empresas responder con agilidad a las tendencias emergentes y a las necesidades de los clientes.

Además, la escalabilidad que ofrece la automatización facilita el crecimiento de la empresa, permitiendo una expansión de la producción sin la necesidad de incrementar proporcionalmente los recursos humanos o la inversión económica.

Mejora de la trazabilidad, la recopilación y el análisis de datos. Al contar un sistema de base de datos, los sistemas automatizados pueden rastrear y registrar cada aspecto del proceso de producción, proporcionando datos valiosos que pueden ser analizados para mejorar la eficiencia, predecir error en el mantenimiento y optimizar la cadena de suministro, e incluso realizar inteligencia de negocios. Esta recopilación de datos en tiempo real permite a las empresas tomar decisiones más acertadas de forma proactiva, mejorando continuamente sus operaciones y productos.

Reducción del impacto ambiental, un beneficio importante de la automatización industrial es la reducción del impacto de la actividad productiva en el medio ambiente, los sistemas automatizados son generalmente más eficientes en el uso de energía y recursos, lo que disminuye la huella de carbono de la producción. Además, la precisión de la automatización reduce en gran medida el desperdicio de materiales. Estas mejoras no solo son beneficiosas para el medio ambiente, sino que también son cruciales para cumplir con las regulaciones gubernamentales y las expectativas de los consumidores en cuanto a sostenibilidad.

Mejor aprovechamiento del espacio, la automatización permite un uso más eficiente y estratégico del espacio en las instalaciones de producción. Lo normal es que ocupen menos espacio que las configuraciones manuales, liberando áreas que pueden usarse para otros objetivos o para una mayor capacidad de producción. En especial, esta optimización del espacio

es beneficiosa para las empresas ubicadas en áreas urbanas, donde el espacio es limitado y costoso.

Mejora en la satisfacción del cliente, la automatización industrial tiene un impacto directo sobre la satisfacción del cliente. La mejora en la calidad del producto, la fiabilidad, y la reducción en los tiempos de entrega, contribuyen a conseguir una mejor experiencia del cliente. En un mercado cada vez más competitivo, la habilidad de satisfacer y superar las expectativas de los clientes es muy importante para conseguir y mantener el éxito a largo plazo de cualquier empresa.

Según Gutiérrez y Huamaní (2023), en su tesis “Impacto en la productividad a raíz de la automatización robótica de procesos del área de operaciones de una empresa distribuidora de maquinaria pesada, Lima Perú 2021”, realizaron un estudio sobre automatización robótica de procesos (RPA), donde se observaron los siguientes beneficios frente a los procesos manuales:

Disminución del tiempo de ejecución en un 82.75%.

Tasa de error reducida a 0%.

Cumplimiento del 100% en los procesos implementados.

**2.1.2.3. Importancia de la automatización en sistemas de dosificación.** La automatización en sistemas de dosificación tiene muchos beneficios, de los cuales, los más significativos son los siguientes:

Precisión y consistencia

Los sistemas automatizados reducen en gran medida el error humano, permitiendo que la dosificación sea casi exacta. Por ejemplo, en aplicaciones como tratamiento de aguas, producción alimentaria y farmacéutica, los errores se reducen: de  $\pm 5\%$  a  $\pm 0,5\%$ , de  $\pm 3\%$  a

$\pm 0,3 \%$ , e incluso de  $\pm 2 \%$  a  $\pm 0,1 \%$ , logrando mejoras de precisión del 90 % al 95 (Porvoo, s.f.)

#### Reducción de desperdicio de materiales

Una de las contribuciones más significativas a los equipos de dosificación es la reducción del desperdicio de materiales. Al administrar exactamente la cantidad necesaria de un material, estos dispositivos eliminan el excedente de recursos y reducen la cantidad de desechos generados y costo invertido. Esto no solo ayuda a las empresas a ser más ecológicas, sino que también mejora su rentabilidad al disminuir los costes asociados con los materiales sobrantes.

#### Eficiencia energética

Incorporando tecnologías de vanguardia, estos sistemas podrían configurarse para minimizar el consumo de energía durante su funcionamiento. (Timsa, s.f.)

#### Reducción del tiempo de proceso

El tiempo que toma llevar a cabo el proceso de dosificación del producto se va a reducir debido a varios factores, como el hecho de que los operarios no gastarán tiempo en tanteos, ya que con la automatización dosificará la cantidad exacta, y además se programará previamente la cantidad a dosificar y el número de ciclos.

Tenemos como ejemplo a la tesis ‘Implementación de la automatización del proceso de dosificación de concreto premezclado para mejorar la calidad y tiempo de entrega del concreto’ elaborada por Céspedes (2020) donde la implementación de la automatización del proceso de dosificación de concreto premezclado mostró una reducción del tiempo de dosificación en un 50 %, y disminución del desperdicio de cemento de 3,17 % a 0,57 %, y mejora de calidad.

#### ***2.1.3. Aplicaciones de los sistemas de dosificación por pesaje en diferentes industrias***

Los sistemas de dosificación por pesaje son esenciales en una amplia variedad de industrias. Según Made-in-China(s.f.) aquí tenemos algunas aplicaciones comunes:

**Productos Farmacéuticos:** En la industria farmacéutica, la dosificación precisa de materias primas es fundamental para producir medicamentos de alta calidad y asegurar el cumplimiento de las normas regulatorias. El sistema puede pesar con precisión ingredientes activos, excipientes y otros materiales requeridos en la formulación de medicamentos y otros.

**Alimentos y Bebidas:** La dosificación precisa de ingredientes es importante en la producción de alimentos para la consistencia del producto y mantener los perfiles de sabor.

**Químicos y Plásticos:** Las industrias química y plástica necesitan mediciones precisas de materiales para mantener la calidad y consistencia del producto. Los sistemas de dosificación por pesaje se utilizan para asegurar que los productos químicos, resinas y otros compuestos se mezclen en las proporciones correctas.

**Materiales Refractarios:** En la producción de materiales refractarios, donde se formulan compuestos resistentes a altas temperaturas, es necesario que se dosifique la cantidad correcta de cada ingrediente para lograr tales propiedades materiales, que son necesarias.

#### ***2.1.4. Sensores de peso***

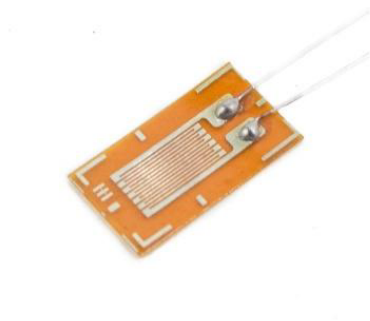
Según Pérez (2014), la celda de carga o célula de carga es un dispositivo diseñado para soportar cargas de compresión, tensión y flexión, en cuyo interior se encuentra uno o varios sensores de deformación llamados Strain Gauges que detectan los valores de deformación. Son sensores resistivos estándar en mediciones de deformación, tensión o esfuerzo físico, adaptables en dispositivos instrumentales.

**2.1.4.1. Principio básico (Strain Gauge).** Según Kamble et al. (2020), las celdas de carga están basadas en un elemento elástico que se deforma al aplicar una fuerza, las galgas

extensiométricas, adheridas a ese elemento, cambian su resistencia eléctrica de forma proporcional a la deformación. La variación de resistencia refleja directamente la magnitud de la carga aplicada. La Figura 4 muestra una galga extensiométrica ( Naylamp Mechatronics, s.f.)

**Figura 4**

*Galga extensiométrica*



Circuito de puente de Wheatstone

Este circuito usa galgas en una configuración de puente, permitiendo convertir pequeños cambios de resistencia en una señal de voltaje medible.

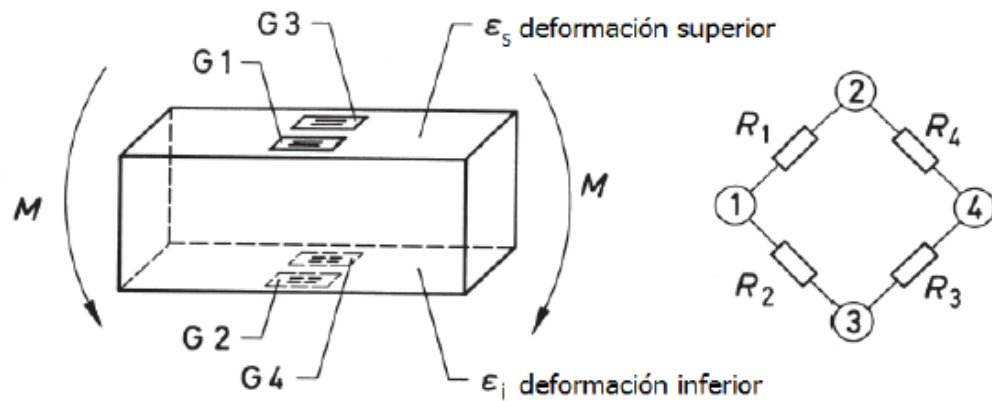
La configuración permite compensación térmica, alta sensibilidad y respuesta lineal

Cuando se aplica carga: algunas galgas sufren tensión, es decir la resistencia aumenta, otras compresión (la resistencia disminuye), desequilibrando el puente y generando una salida eléctrica proporcional a la carga.(Kamble et al., 2020)

El montaje de galgas extensiométricas se realiza de acuerdo con un sistema representado en la Figura 5 (Rodríguez et al., 2016).

**Figura 5**

*Montaje de galgas extensiométricas*



**2.1.4.2. Sensibilidad de la celda de carga.** Según FIBOS Measurement Technology (2024), la sensibilidad de la celda de carga es la relación entre la fuerza de entrada aplicada a una celda de carga y la señal de salida eléctrica que genera.

La sensibilidad de la celda de carga representa la capacidad de detectar y responder a los cambios más pequeños en la fuerza o el peso aplicado. La sensibilidad se expresa típicamente en milivoltios por voltio (MV/V).

Factores que intervienen en la sensibilidad de la celda de carga

FIBOS Measurement Technology (2024) también menciona que los efectos de la temperatura y el diseño mecánico influyen en la sensibilidad de la carga.

Efectos de temperatura

Las variaciones de temperatura ambiental pueden influir en la sensibilidad de la celda de carga. Las celdas de carga más especializadas incorporan mecanismos de compensación de temperatura con la finalidad de mantener la precisión en diferentes condiciones de funcionamiento.

Diseño mecánico

La construcción física y la selección de material de las células de carga influyen en su sensibilidad.

**2.1.4.3. Tipo de puente de Wheatstone.** Mohamad et al. (2020) describen cómo afecta cada tipo de puente de Wheatstone a la sensibilidad de la celda:

***A. Cuarto de puente (1 galga extensiométrica).***

Sólo una galga está activa.

El resto del puente usa resistencias fijas.

Baja sensibilidad.

No compensa bien efectos como temperatura.

Uso típico: aplicaciones básicas o de bajo costo.

***B. Medio puente (2 galgas extensiométricas).***

Dos galgas activas.

Mejora la señal respecto al cuarto de puente.

Sensibilidad intermedia.

Comienza a compensar mejor la temperatura y la deformación no deseada.

***C. Puente completo (4 galgas extensiométricas).***

Las 4 resistencias son galgas activas.

Dos en tracción y dos en compresión.

Máxima sensibilidad y linealidad.

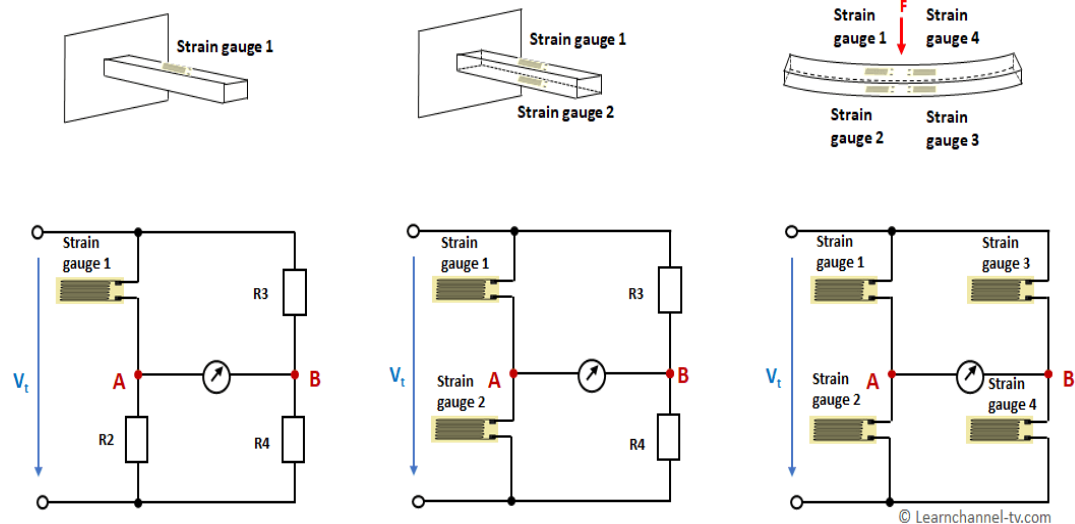
Excelente compensación térmica y de carga excéntrica

Uso industrial y profesional

Los tipos de puentes se observan en la Figura 6 (LearnChannel-TV, 2017).

**Figura 6**

*Puente de Wheatstone - Cuarto de puente, medio puente, puente completo*



La razón del aumento de la sensibilidad según el tipo de puente es porque cuanto más galgas están activas en el puente:

Mayor es la variación diferencial de voltaje (salida del puente).

Más se amplifica la señal útil generada por la deformación mecánica.

Mejor se cancela el ruido o las interferencias comunes, como los cambios de temperatura.

### 2.1.5. Módulo HX711

Según Electronic Manufacturing Service (EMS, 2024), el HX711 es un módulo amplificador, comúnmente implementado junto a celdas de carga de galgas extensométricas. Está diseñado para interactuar con microcontroladores como Arduino, Raspberry Pi y otros. El módulo HX711 ofrece alta precisión y estabilidad.

EMS (2024) también menciona que el HX711 es un convertidor analógico-digital (ADC) diseñado para básculas y aplicaciones de control industrial. Tiene la capacidad de interactuar directamente con un sensor de puente, como una celda de carga, y convertir la salida diferencial del sensor en un valor digital.

El módulo HX711 tiene las siguientes características:

Alta precisión: el HX711 tiene un ADC de 24 bits, por lo tanto, proporciona una alta resolución de hasta 16.777.216 conteos para una señal de entrada diferencial de escala completa.

Ganancia seleccionable: el módulo permite configuraciones de ganancia seleccionables de 128, 64 o 32, lo que corresponde a un voltaje de entrada diferencial de escala completa de  $\pm 20$  mV,  $\pm 40$  mV o  $\pm 80$  mV, respectivamente.

Filtro de paso bajo activo en chip: el HX711 cuenta con un filtro de paso bajo activo incorporado para reducir el ruido y mejorar la estabilidad.

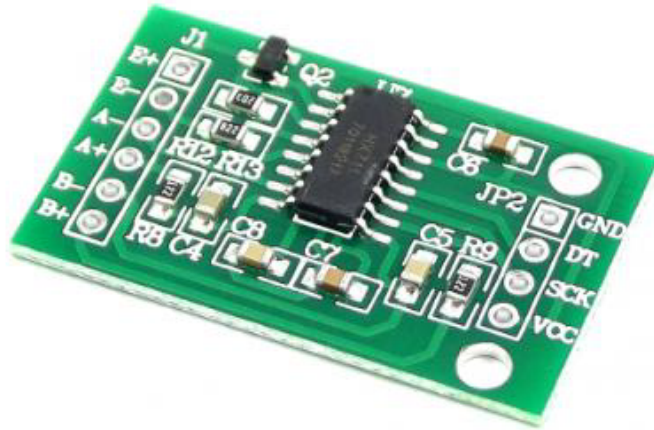
Interfaz simple: El HW711 se comunica con un microcontrolador utilizando una interfaz de dos cables (datos y reloj).

Bajo consumo de energía: el HX711 funciona con un voltaje de suministro bajo (2,6 V a 5,5 V), lo que lo hace idóneo para aplicaciones alimentadas por batería.

Un ejemplo de este tipo de dispositivos es la Figura 7 (Naylamp Mechatronics, 2025)

### **Figura 7**

*Módulo HX711 Transmisor de celda de carga*



### ***2.1.6. Interfaz hombre-máquina (HMI)***

Según Guzmán y Villegas (2015), la interfaz de usuario / interfaz hombre-máquina (HMI) es el punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina. Para que una interfaz hombre-máquina (HMI) sea útil para los usuarios, debe estar adaptada a sus requisitos y necesidades.

Las funciones de un software HMI son las siguientes:

**Monitoreo.** Un software HMI tiene la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil para interpretar datos.

**Supervisión.** Esta función permite que un software HMI tenga la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.

**Alarmas.** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales y reportarlos mediante alarmas para evitar inconvenientes.

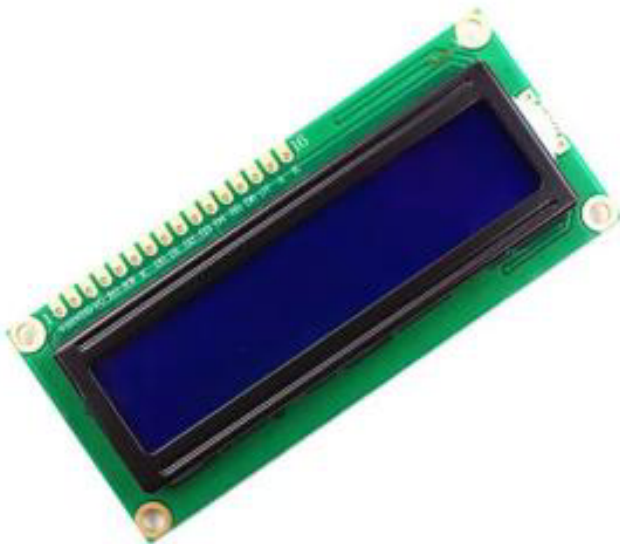
**Control de datos.** Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

### 2.1.7. Pantalla LCD

Una pantalla de cristal líquido (LCD) , como se muestra en la Figura 8 (Tesla Electronic, 2025) es una pantalla plana u otro dispositivo óptico, el cual es modulado electrónicamente, y utiliza las propiedades de modulación de la luz de los cristales líquidos combinadas con polarizadores. (Premteco, 2024)

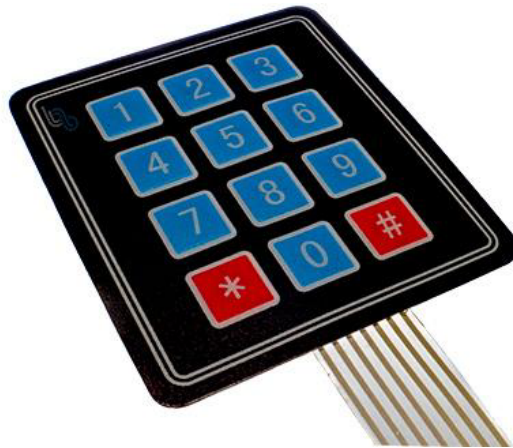
**Figura 8**

*Pantalla LCD*



### 2.1.8. Keypad

Según Rizvi (2012), un *keypad* es una interfaz de usuario formada por un conjunto de botones dispuestos en bloques o “pads” que generalmente incluyen dígitos, símbolos y, en algunos casos, el alfabeto completo. Se utiliza para ingresar datos o comandos en dispositivos electrónicos. Cuando sólo contiene números, se denomina *numeric keypad*. Este tipo de teclados se implementan en numerosos dispositivos que requieren entrada numérica, como calculadoras, teléfonos de botones, cerraduras digitales, entre otros. En la Figura 9 se muestra un teclado 3x4 general (Electrónica HI – FI, 2025).

**Figura 9***Teclado Matricial 3x4***2.1.9. PCF8574**

Según NXP Semiconductors (2013), el PCF8574 es un es un expansor de E/S compatible con la mayoría de microcontroladores, este dispositivo permite manejar 8 E/S configurables utilizando solo 2 pines I2C. Se pueden manejar hasta 8 módulos expansores PCF8574 en un mismo bus I2C y de esta forma se maneja un total de 64 E/S utilizando tan solo 2 pines.

Los pines P0-P7 pueden funcionar como entradas o salidas sin necesidad de una señal separada de dirección de datos (data-direction).

Al encender, todos los pines P0-P7 están en estado “alto” (“HIGH”) por defecto.

**Figura 10***Pinning PCF8574*

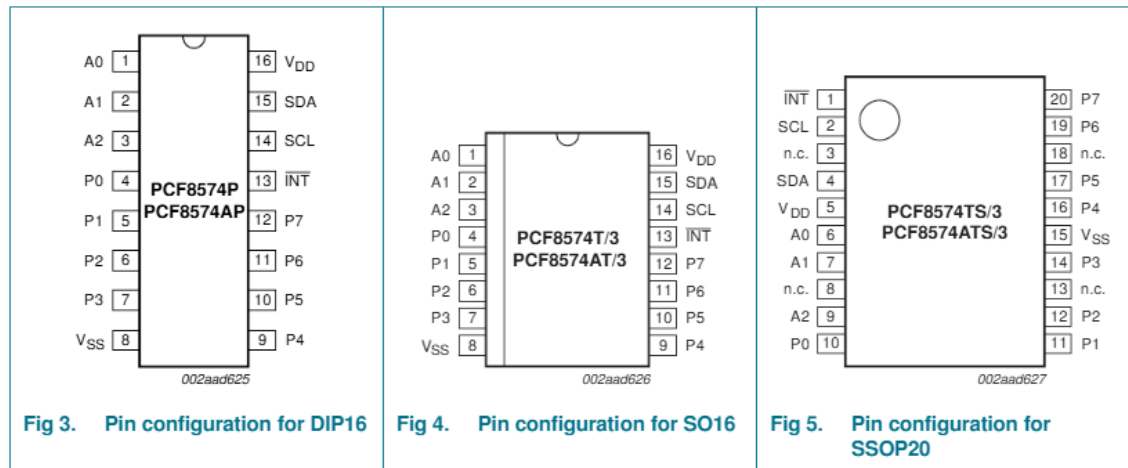


Figura 11

### Pin description PCF8574

| Symbol | Pin         |              | Description                   |
|--------|-------------|--------------|-------------------------------|
|        | DIP16, SO16 | SSOP20       |                               |
| A0     | 1           | 6            | address input 0               |
| A1     | 2           | 7            | address input 1               |
| A2     | 3           | 9            | address input 2               |
| P0     | 4           | 10           | quasi-bidirectional I/O 0     |
| P1     | 5           | 11           | quasi-bidirectional I/O 1     |
| P2     | 6           | 12           | quasi-bidirectional I/O 2     |
| P3     | 7           | 14           | quasi-bidirectional I/O 3     |
| VSS    | 8           | 15           | supply ground                 |
| P4     | 9           | 16           | quasi-bidirectional I/O 4     |
| P5     | 10          | 17           | quasi-bidirectional I/O 5     |
| P6     | 11          | 19           | quasi-bidirectional I/O 6     |
| P7     | 12          | 20           | quasi-bidirectional I/O 7     |
| INT    | 13          | 1            | interrupt output (active LOW) |
| SCL    | 14          | 2            | serial clock line             |
| SDA    | 15          | 4            | serial data line              |
| VDD    | 16          | 5            | supply voltage                |
| n.c.   | -           | 3, 8, 13, 18 | not connected                 |

Interfaz I<sup>2</sup>C: líneas SDA y SCL, posibilidad de hasta 8 dispositivos PCF8574 conectados, cada uno con dirección seleccionable mediante pines A0, A1, A2.

Salida de interrupción (INT): línea de interrupción de salida con drenador abierto (“open-drain”) que se activa cuando cambia el estado en alguna de las entradas configuradas.

Corrientes:

La capacidad de *sink* de corriente es bastante buena.

En cambio, la capacidad de *source* (dar corriente desde VCC hacia la carga) es limitada, cuando el pin está en estado HIGH este lo logra mediante una corriente débil (fuente interna débil). Por eso se pueden requerir resistencias pull-up externas si la carga lo necesita.

#### Aplicaciones

El PCF8574 tiene múltiples aplicaciones, entre ellas:

Señales LED y pantallas

Servidores (“Servers”)

Teclados (“Key pads”)

Control industrial

Equipos médicos

Controladores lógicos programables PLC

Teléfonos celulares

Dispositivos móviles

#### **2.1.10. Microcontrolador Arduino**

Según Prabowo y Irwanto (2023), Arduino es una plataforma de código abierto que combina hardware (placas programables) y software (un entorno de desarrollo integrado o IDE) para crear proyectos electrónicos e interactivos. El nombre "Arduino" debutó internacionalmente en 2005, siendo una herramienta accesible y rentable. La implementación científica de las placas Arduino en automatización, redes y adquisición de datos sigue aumentando de forma constante.

Según ArduinoDocs (2025), Arduino tiene los siguientes componentes:

Arduino está compuesto por tres elementos esenciales:

Placa de circuito impreso: como Arduino Uno, Mega, Nano, etc., que incluyen un microcontrolador (como el ATmega328P).

Entorno de Desarrollo Integrado (IDE): software que permite escribir y subir programas en lenguaje C/C++.

Librerías y comunidad: una vasta colección de librerías permite interactuar con sensores, actuadores y módulos de comunicación fácilmente.

### ARDUINO UNO R3

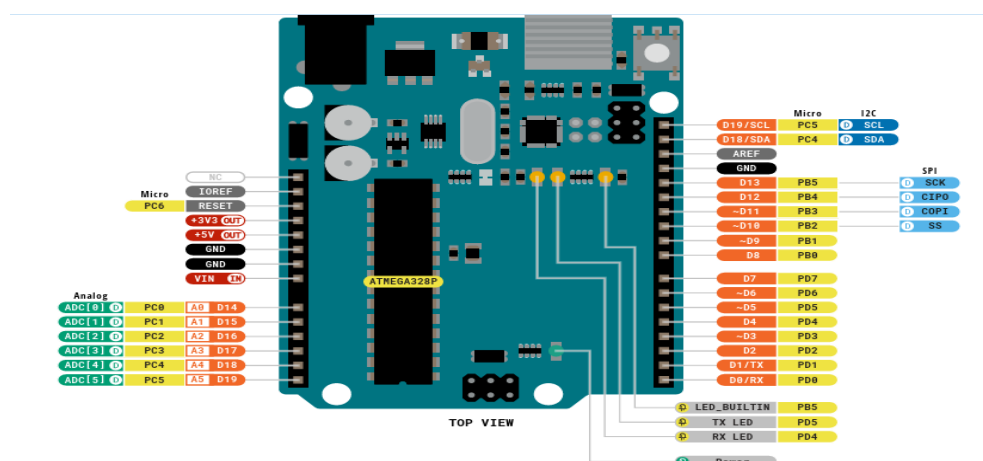
Arduino UNO es una placa de microcontrolador basada en el ATmega328P.

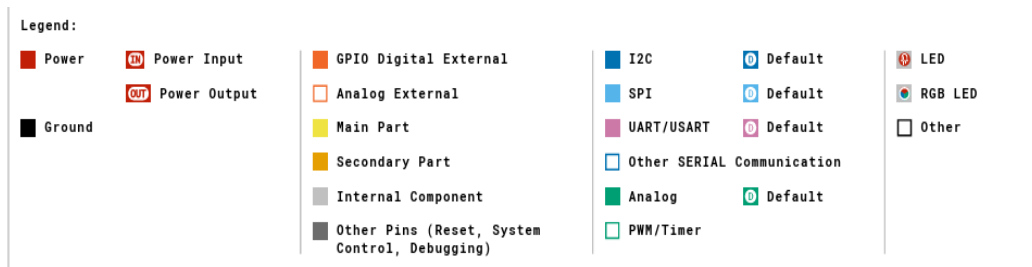
Cuenta con 14 pines de entrada/salida digitales (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un botón de reinicio.

El ATmega328P también cuenta con 1kb de EEPROM, que es una memoria que brinda el beneficio de no borrarse cuando se apaga. (ArduinoDocs, 2025)

**Figura 12**

*Full Pinout ARDUINO*





Según Prabowo y Irwanto (2023):

Las principales usos y aplicaciones son los siguientes:

En educación

Arduino es ampliamente utilizado en la enseñanza de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) desde niveles básicos hasta universitarios.

En investigación científica

Un estudio bibliométrico analizó más de 1,100 artículos entre 2008 y 2022 que usaron placas Arduino en proyectos de investigación

En IoT y automatización

Arduino es clave en el desarrollo de sistemas IoT por su capacidad de interactuar con sensores y módulos de comunicación como WiFi, Bluetooth, LoRa, etc.

Ventajas de Arduino

Bajo costo y alta disponibilidad.

Código y hardware libre.

Gran cantidad de recursos en línea.

Compatible con miles de sensores y módulos.

Ideal para prototipado e investigación.

En la Figura 13 se observa una placa Arduino Uno R3 (Naylamp Mechatronics, 2025).

**Figura 13**

*Arduboard Uno R3*



### **III. MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Según Hernández et al. (2014), la investigación aplicada es aquella cuyo propósito es dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables, la presente investigación corresponde al tipo aplicada, ya que tiene como finalidad el desarrollo e implementación de un sistema de automatización orientado a resolver una problemática específica en un contexto real. Este tipo de investigación genera una solución práctica que contribuya a mejorar procesos existentes mediante el uso de tecnologías automatizadas.

Asimismo, se trata de una investigación de nivel descriptivo, ya que se identifican los procesos actuales del sistema a automatizar, así como las necesidades técnicas y operativas del entorno en estudio.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo seguirá una orientación experimental, dado que se diseñará, desarrollará y probará un prototipo funcional del sistema de automatización en un entorno controlado o real validando su eficiencia frente a los objetivos planteados.

Hernández et al. (2014), señala que el enfoque cuantitativo aprovecha un conjunto de datos para probar a partir de las observaciones estadísticas, y evaluar teorías, por lo tanto, en cuanto a su enfoque, esta investigación es de tipo cuantitativo, ya que se usarán métricas específicas para evaluar el rendimiento del sistema antes y después de la automatización. Se recopilarán y analizarán datos que permitan medir la efectividad de la solución implementada.

#### **3.2. Ámbito temporal y espacial**

El desarrollo de las pruebas correspondientes para corroborar la eficiencia del sistema creado en la presente investigación fueron realizadas en la empresa “Romanzzi Snack Club &

Ice Cream” ubicada en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz, región Áncash, se llevó a cabo en el año 2026.

### 3. 3. Variables

Variable Independiente: Sistema automatizado.

Variable Dependiente: Proceso en dosificadoras manuales por peso de helado para presentaciones de 40 a 100 gr.

El sistema automatizado optimizará el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado que tendrá presentaciones de 40 a 100 gramos, brindando a dicho proceso mayor eficiencia.

#### OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

| Variables                                         | Dimensiones             | Indicadores                                          |
|---------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------|
| Variable Independiente:<br>Sistema automatizado   | Componentes del sistema | 1. Presencia de sensores, actuadores y controladores |
|                                                   | Interfaz de usuario     | 2. Facilidad de uso del sistema                      |
| Variable Dependiente:<br>Proceso en dosificadoras | Precisión               | 3. Porcentaje de error en la dosis                   |
|                                                   | Tiempo de dosificación  | 4. Flujo másico                                      |

|                                                                          |                     |                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------|
| manuales por peso<br>de helado para<br>presentaciones de<br>40 a 100 gr. | Pérdida de material | 5. Cantidad de material desperdiciado por<br>unidad de tiempo |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------|

### 3.4. Población y muestra

#### POBLACIÓN

La población está conformada por todos los procesos de dosificación realizados en la máquina dosificadora de helados de la empresa “Romanzzi Snack Club & Ice Cream”.

#### MUESTRA

La muestra correspondiente a esta investigación, es de tipo de muestra no probabilística con un diseño pretest-posttest (antes y después); la cual sería: Una cantidad específica de dosificaciones medidas antes y después de aplicar el sistema automatizado.

### 3.5. Instrumentos

Las herramientas utilizadas en la presente investigación serán las siguientes:

Para poder evaluar la dimensión de interfaz de usuario, se usará una encuesta con escala Likert a operadores acerca de la accesibilidad del uso del sistema, dicha encuesta se encuentra en el Anexo C.

Para poder evaluar las dimensiones: precisión, tiempo de dosificación y pérdida de material a lo largo del tiempo; se empleará la tabla de recolección de datos para procesos de evaluación con el prototipo, la cual se puede visualizar en el Anexo D, donde cada proceso representa las acciones que se llevarán a cabo obedeciendo a las instrucciones dadas por el

usuario( número de unidades a dosificar y el peso a dosificar), en cada proceso se especificó el número de unidades que debe dosificar, a esto se le denominarán ciclos. En la muestra, consideraremos 6 procesos, el primero con 2 ciclos, el segundo con 3, el tercero con 2, el cuarto con 2, el quinto con 4 y el sexto con 3. El valor exacto es el valor de dosificación programado.

También se empleará la tabla de recolección de datos para procesos de evaluación sin el prototipo, la cual se puede visualizar en el Anexo E, para realizar la evaluación en la dosificadora manual gravimétrica original, usaré la misma estructura de procesos y ciclos, ya que para que las muestras sean análogas a la evaluación de la dosificadora trabajando con mi prototipo, consideraré un proceso como un conjunto de dosificaciones con un mismo valor de peso dosificado, este detalle es importante ya que en estos indicadores estamos trabajando con el tiempo, y se debe apreciar el tiempo transcurrido desde que el operario retira el envase hasta que vuelve a poner el siguiente envase en ambos casos para que sea análogo.

### **3.6. Procedimientos**

El procedimiento a llevarse a cabo para evaluar si se cumplieron las hipótesis planteadas en la presente investigación, es la siguiente:

Se llevarán a cabo la recolección de datos que requieren cada uno de los registros y cuestionarios, deberán ser registrados tanto antes de la incorporación del prototipo de automatización, como luego de ello.

Una vez recolectados los datos, éstos serán tabulados para su respectivo procesamiento, luego se trabajará la estadística descriptiva, y posteriormente la estadística inferencial.

Posteriormente se realizarán la contrastación de las hipótesis.

### **3.7. Análisis de datos**

#### ***3.7.1. Indicador para la dimensión precisión***

En dosificadores gravimétricos, se calculará el error porcentual de dosificación para dimensionar la precisión.

El error porcentual en un sistema de dosificación gravimétrica puede determinarse mediante la relación entre el peso real obtenido y el peso objetivo programado, tal como se expresa en la ecuación  $E\% = \frac{W_r - W_t}{W_t} \times 100$  (Doebelin y Manik, 2011).

Donde:

$W_r$ : peso real obtenido

$W_t$ : peso objetivo programado

Una vez obtenido el error porcentual de cada muestra, aplicaremos la siguiente fórmula: Montgomery y Runger (2018) definen la media muestral para varias mediciones:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde:

$x_i$ = medición individual

$n$ = número de mediciones.

Esta media se usa para representar el valor promedio observado de un proceso o sistema de medición.

La aplicación de la media muestral para hallar el error porcentual en un dosificador gravimétrico sería de la siguiente manera:

$$E_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{W_i - W_t}{W_t} \times 100 \right)$$

Donde:

$E_{prom}$  = error porcentual promedio

$n$  = número de dosificaciones evaluadas

$W_i$  = peso real en la dosificación  $i$

$W_t$  = peso objetivo o teórico en la dosificación  $i$

Por lo tanto, será esta fórmula la que se aplicará a las muestras realizadas en ambas tablas para poder hallar el error porcentual general en la dosificadora manual gravimétrica original y en la dosificadora automatizada con mi prototipo.

### **3.7.2. Indicador para la dimensión tiempo de dosificación**

En dosificadores gravimétricos, se calculará el flujo másico para dimensionar la cantidad dispensada en el tiempo.

Para Himmelblau (2003), el flujo másico se calcula como la masa dosificada por unidad de tiempo para dimensionar sistemas de alimentación y dosificación.

$$\dot{m} = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

$\dot{m}$  = flujo másico (gr/s)

$\Delta m$  = masa entregada (gr)

$\Delta t$  = tiempo de dosificación (s)

Según Lipták (2016), el valor teórico programado o esperado, que en este caso sería la masa objetivo en un dosificador, es solo una referencia de diseño.

Mientras que el valor medido por el instrumento (masa real) es la que se usa para analizar calidad y precisión del proceso, ya que refleja la realidad del proceso.

Por lo tanto, es la masa dispensada real la que usaré al calcular el flujo másico.

Una vez obtenido el flujo másico de cada muestra, aplicaremos la siguiente fórmula:

Montgomery y Runger (2018) definen la media muestral para varias mediciones:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

donde

$x_i$ = medición individual

$n$ = número de mediciones.

Esta media se usa para representar el valor promedio observado de un proceso o sistema de medición.

La aplicación de la media muestral para hallar el flujo másico en un dosificador gravimétrico sería de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta m}{\Delta t} \right)$$

Donde:

$\dot{m}_{prom}$ = flujo másico promedio

$n$ = número de procesos evaluados

$\Delta m$ = masa dispensada (gr)

$\Delta t$ = tiempo de dosificación (s)

Por lo tanto, será esta fórmula la que se aplicará a las muestras realizadas en ambas tablas para poder hallar el flujo másico general en la dosificadora manual gravimétrica original y en la dosificadora automatizada con mi prototipo.

### ***3.7.3. Indicador para la dimensión pérdida de material a lo largo del tiempo***

Engisch y Muzzio (2015) concluyen que el desperdicio de material es la porción del flujo másico que excede el flujo másico teórico.

Por lo tanto, si tenemos la fórmula del caudal másico real:

$$\dot{m}r = \frac{\Delta w}{\Delta t}$$

Donde:

$\dot{m}r$ : caudal másico real

$w$ : peso del sistema, por lo tanto  $\Delta w$  sería el producto dispensado en ese tiempo

Y la fórmula del caudal másico teórico:

$$\dot{m}i = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

Donde:

$\dot{m}i$ : caudal másico teórico

$W$ : peso del sistema, por lo tanto,  $\Delta W$  sería el producto dispensado en ese tiempo, idealmente.

Concluiríamos en que la fórmula para hallar el desperdicio de material a lo largo del tiempo sería:

$$Wd = \dot{m}r - \dot{m}i$$

Donde:

$Wd$  : desperdicio de material

$\dot{m}r$ : caudal másico real

$\dot{m}i$ : caudal másico teórico

Una vez obtenido el desperdicio de material de cada muestra, aplicaremos la siguiente fórmula: Montgomery y Runger (2018) definen la media muestral para varias mediciones:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

donde

$x_i$ = medición individual

$n$ = número de mediciones.

Esta media se usa para representar el valor promedio observado de un proceso o sistema de medición.

La aplicación de la media muestral para hallar el desperdicio de material a lo largo del tiempo en un dosificador gravimétrico sería de la siguiente manera:

$$Wd_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\dot{m}r - \dot{m}i)$$

Donde:

$n$ = número de dosificaciones evaluadas

$Wd_{prom}$  : desperdicio de material promedio

$\dot{m}_r$ : caudal másico real

$\dot{m}_t$ : caudal másico teórico

Por lo tanto, será ésta fórmula la que se aplicará a las muestras realizadas en ambas tablas para poder hallar el desperdicio de material a lo largo del tiempo general en la dosificadora manual gravimétrica original y en la dosificadora automatizada con mi prototipo.

#### ***3.7.4. Indicador para la dimensión interfaz de usuario***

Se llevará a cabo una encuesta en escala Likert y se aplicará el alfa de Cronbach para determinar la confiabilidad.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Prueba de hipótesis específica 01: indicador para la dimensión precisión

En dosificadores gravimétricos, se calculará el error porcentual de dosificación para dimensionar la precisión. Emplearé las siguientes tablas donde se extraen los datos para hallar el error porcentual y su respectivo resultado:

**Tabla 2**

*Tabla con datos para dimensionar la precisión de la dosificadora automatizada con mi prototipo.*

| Nº DE PROCESO | Nº DE CICLO | VALOR EXACTO | VALOR DISPENSADO | ERROR PORCENTUAL |
|---------------|-------------|--------------|------------------|------------------|
| 1             | 1           | 90           | 92               | 2.22%            |
|               | 2           | 90           | 94               | 4.44%            |
| 2             | 1           | 80           | 83               | 3.75%            |
|               | 2           | 80           | 84               | 5.00%            |
|               | 3           | 80           | 85               | 6.25%            |
| 3             | 1           | 80           | 88               | 10.00%           |
|               | 2           | 80           | 83               | 3.75%            |
| 4             | 1           | 85           | 91               | 7.06%            |
|               | 2           | 85           | 92               | 8.24%            |
| 5             | 1           | 80           | 78               | -2.50%           |
|               | 2           | 80           | 78               | -2.50%           |
|               | 3           | 80           | 84               | 5.00%            |
|               | 4           | 80           | 79               | -1.25%           |
| 6             | 1           | 90           | 88               | -2.22%           |
|               | 2           | 90           | 92               | 2.22%            |
|               | 3           | 90           | 97               | 7.78%            |

Hallando la media muestral para varias mediciones:

$$E_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{W_i - W_t}{W_t} \times 100 \right)$$

Donde:

$E_{prom}$  = error porcentual promedio

$n$  = número de dosificaciones evaluadas

$W_i$  = peso real en la dosificación  $i$

$W_t$  = peso objetivo o teórico en la dosificación  $i$

A los valores negativos los consideraremos con su respectivo valor absoluto porque su magnitud es el valor que importa.

$$E_{prom} = \frac{1}{16} (2.22 + 4.44 + 3.75 + 5 + 6.25 + 10 + 3.75 + 7.06 + 8.24 + 2.5 + 2.5 + 5 + 1.25 + 2.22 + 2.22 + 7.78)$$

$$E_{prom} = \frac{1}{16} (74.18) = 4.64 \%$$

**Tabla 3**

*Tabla con datos para dimensionar la precisión de la dosificadora sin mi prototipo.*

| Nº DE PROCESO | Nº DE CICLO | VALOR EXACTO | VALOR DISPENSADO | ERROR PORCENTUAL |
|---------------|-------------|--------------|------------------|------------------|
| 1             | 1           | 90           | 103              | 14.44%           |
|               | 2           | 90           | 113              | 25.56%           |
| 2             | 1           | 80           | 91               | 13.75%           |
|               | 2           | 80           | 93               | 16.25%           |
|               | 3           | 80           | 84               | 5.00%            |
| 3             | 1           | 80           | 87               | 8.75%            |
|               | 2           | 80           | 92               | 15.00%           |
| 4             | 1           | 85           | 94               | 10.59%           |

|   |   |    |     |        |
|---|---|----|-----|--------|
|   | 2 | 85 | 97  | 14.12% |
| 5 | 1 | 80 | 89  | 11.25% |
|   | 2 | 80 | 99  | 23.75% |
|   | 3 | 80 | 96  | 20.00% |
|   | 4 | 80 | 97  | 21.25% |
| 6 | 1 | 90 | 105 | 16.67% |
|   | 2 | 90 | 107 | 18.89% |
|   | 3 | 90 | 116 | 28.89% |

Hallando la media muestral para varias mediciones:

$$E_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{W_i - W_t}{W_t} \times 100 \right)$$

Donde:

$E_{prom}$  = error porcentual promedio

$n$  = número de dosificaciones evaluadas

$W_i$  = peso real en la dosificación  $i$

$W_t$  = peso objetivo o teórico en la dosificación  $i$

$$E_{prom} = \frac{1}{16} (14.44 + 25.56 + 13.75 + 16.25 + 5 + 8.75 + 15 + 10.59 + 14.12 + 11.25 + 23.75 + 20 + 21.25 + 16.67 + 18.89 + 28.89)$$

$$E_{prom} = \frac{1}{16} (264.16) = 16.51 \%$$

Ahora evaluaremos la diferencia del porcentaje de error sin y con mi proyecto:

Muestreo con mi prototipo:

$$E_{prom} = 4.64 \%$$

Muestreo sin mi prototipo:

$$E_{prom} = 16.51 \%$$

La diferencia de error porcentual es de 11.87 %

Es decir, para dimensionar la precisión, el proceso de dosificación con mi prototipo presenta un 11.87% de error porcentual menor al error porcentual del proceso de dosificación llevado a cabo sin mi prototipo.

#### 4.2. Prueba de hipótesis específica 02: Indicador para la dimensión tiempo de dosificación

En dosificadores gravimétricos, se calculará el flujo másico para dimensionar la cantidad dispensada en el tiempo. Emplearé las siguientes tablas donde se extraen los datos para hallar el flujo másico y su respectivo resultado:

**Tabla 4**

*Tabla con datos para dimensionar el tiempo de dosificación de la dosificadora con mi prototipo.*

| Nº DE PROCESO | Nº DE CICLOS QUE TIENE EL PROCESO | VALOR IDEAL POR DOSIFICACIÓN (gr) | VALOR REAL DISPENSADO EN TODO EL PROCESO (gr) | SEGUNDOS DE DURACIÓN POR PROCESO (SEG) | FLUJO MÁSCO |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|-------------|
| 1             | 2                                 | 90                                | 186                                           | 60                                     | 3.1         |
| 2             | 3                                 | 80                                | 252                                           | 76                                     | 3.32        |
| 3             | 2                                 | 80                                | 171                                           | 54                                     | 3.17        |
| 4             | 2                                 | 85                                | 183                                           | 47                                     | 3.89        |
| 5             | 4                                 | 80                                | 319                                           | 69                                     | 4.62        |
| 6             | 3                                 | 90                                | 277                                           | 60                                     | 4.62        |

La aplicación de la media muestral para hallar el flujo másico en un dosificador gravimétrico sería de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta m}{\Delta t} \right)$$

Donde:

$\dot{m}_{prom}$  = flujo másico promedio

$n$  = número de procesos evaluados

$\Delta m$  = masa dispensada (gr)

$\Delta t$  = tiempo de dosificación (s)

$$\dot{m}_{prom} = \frac{1}{6} (3.10 + 3.32 + 3.17 + 3.89 + 4.62 + 4.62)$$

$$\dot{m}_{prom} = \frac{1}{6} (22.72)$$

$$\dot{m}_{prom} = 3.79 \text{ g/s}$$

**Tabla 5**

*Tabla con datos para dimensionar el tiempo de dosificación de la dosificadora sin mi prototipo.*

| N° DE PROCESO | N° DE CICLOS QUE TIENE EL PROCESO | VALOR IDEAL POR DOSIFICACIÓN (gr) | VALOR REAL DISPENSADO EN TODO EL PROCESO(gr) | SEGUNDOS DE DURACIÓN POR PROCESO | FLUJO MÁSIKO |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|--------------|
| 1             | 2                                 | 90                                | 216                                          | 70                               | 3.09         |
| 2             | 3                                 | 80                                | 268                                          | 124                              | 2.16         |
| 3             | 2                                 | 80                                | 179                                          | 59                               | 3.03         |
| 4             | 2                                 | 85                                | 191                                          | 51                               | 3.75         |
| 5             | 4                                 | 80                                | 381                                          | 119                              | 3.2          |
| 6             | 3                                 | 90                                | 328                                          | 66                               | 4.97         |

La aplicación de la media muestral para hallar el flujo másico en un dosificador gravimétrico sería de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta m}{\Delta t} \right)$$

Donde:

$\dot{m}_{prom}$  = flujo másico promedio

$n$  = número de procesos evaluados

$\Delta m$  = masa dispensada (gr)

$\Delta t$  = tiempo de dosificación (s)

$$\dot{m}_{prom} = \frac{1}{6} (3.09 + 2.16 + 3.03 + 3.75 + 3.2 + 4.97)$$

$$\dot{m}_{prom} = \frac{1}{6} (20.20)$$

$$\dot{m}_{prom} = 3.37 \text{ g/s}$$

Ahora evaluaremos la diferencia del flujo másico sin y con mi proyecto:

Muestreo con mi prototipo:

$$\dot{m}_{prom} = 3.79 \text{ g/s}$$

Muestreo sin mi prototipo:

$$\dot{m}_{prom} = 3.37 \text{ g/s}$$

La diferencia de flujo másico es de 0.42 g/s

Es decir, para dimensionar el tiempo de dosificación, podemos decir que el proceso de dosificación con mi prototipo dispensa de manera eficiente 0.42 gramos más por segundo que el proceso de dosificación sin mi prototipo, lo que en una hora sería 1,5 kg más de producto dosificado eficientemente que cuando se realiza el proceso sin mi prototipo.

#### **4.3. Prueba de hipótesis específica 03: Indicador para la dimensión pérdida de material a lo largo del tiempo**

Engisch y Muzzio (2015) concluyen que el desperdicio de material es la porción del flujo másico que excede el flujo másico teórico. Emplearé las siguientes tablas donde se extraen los datos para hallar el desperdicio de material y sus respectivos resultados:

**Tabla 6**

*Tabla con datos para dimensionar la pérdida de material a lo largo del tiempo de la dosificadora con mi prototipo.*

| N° DE PROCESO | N° DE CICLOS | VALOR DISPENSADO IDEAL POR DOSIFICACIÓN (gr) | VALOR DISPENSADO REAL (gr) | SEGUNDOS DE DURACIÓN POR PROCESO | CAUDAL MÁSICO TEÓRICO | CAUDAL MÁSICO REAL | DESPERDICIO DE MATERIAL |
|---------------|--------------|----------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|
| 1             | 2            | 90                                           | 186                        | 60                               | 3                     | 3.1                | 0.1                     |
| 2             | 3            | 80                                           | 252                        | 76                               | 3.16                  | 3.32               | 0.16                    |
| 3             | 2            | 80                                           | 171                        | 54                               | 2.96                  | 3.17               | 0.2                     |
| 4             | 2            | 85                                           | 183                        | 47                               | 3.62                  | 3.89               | 0.28                    |
| 5             | 4            | 80                                           | 319                        | 69                               | 4.64                  | 4.62               | -0.01                   |
| 6             | 3            | 90                                           | 277                        | 60                               | 4.5                   | 4.62               | 0.12                    |

La aplicación de la media muestral para hallar el desperdicio de material a lo largo del tiempo en un dosificador gravimétrico sería de la siguiente manera:

$$Wd_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\dot{m}r - \dot{m}i)$$

Donde:

$n$ = número de dosificaciones evaluadas

$Wd_{prom}$  : desperdicio de material promedio

$\dot{m}r$ : caudal másico real

$\dot{m}i$ : caudal másico teórico

$$Wd_{prom} = \frac{1}{6} (0.10 + 0.16 + 0.20 + 0.28 - 0.01 + 0.12)$$

$$Wd_{prom} = \frac{1}{6} (0.84)$$

$$Wd_{prom} = 0.14 \text{ g/s}$$

**Tabla 7**

*Tabla con datos para dimensionar la pérdida de material a lo largo del tiempo de la dosificadora sin mi prototipo.*

| Nº DE PRO-CESO | Nº DE CI-CLOS | VALOR DISPENSADO IDEAL POR DOSIFICACIÓN (gr) | VALOR DISPENSADO REAL (gr) | SEGUNDOS DE DURACIÓN POR PRO-CESO | CAUDAL MÁSIICO TEÓRICO | CAUDAL MÁSIICO REAL | DESPERDICIO DE MATERIAL |
|----------------|---------------|----------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1              | 2             | 90                                           | 216                        | 70                                | 2.57                   | 3.09                | 0.51                    |
| 2              | 3             | 80                                           | 268                        | 124                               | 1.94                   | 2.16                | 0.23                    |
| 3              | 2             | 80                                           | 179                        | 59                                | 2.71                   | 3.03                | 0.32                    |
| 4              | 2             | 85                                           | 191                        | 51                                | 3.33                   | 3.75                | 0.41                    |

|   |   |    |     |     |      |      |      |
|---|---|----|-----|-----|------|------|------|
| 5 | 4 | 80 | 381 | 119 | 2.69 | 3.2  | 0.51 |
| 6 | 3 | 90 | 328 | 66  | 4.09 | 4.97 | 0.88 |

La aplicación de la media muestral para hallar el desperdicio de material a lo largo del tiempo en un dosificador gravimétrico sería de la siguiente manera:

$$Wd_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\dot{m}r - \dot{m}i)$$

Donde:

$n$ = número de dosificaciones evaluadas

$Wd_{prom}$  : desperdicio de material promedio

$\dot{m}r$ : caudal másico real

$\dot{m}i$ : caudal másico teórico

$$Wd_{prom} = \frac{1}{6} (0.51 + 0.23 + 0.32 + 0.41 + 0.51 + 0.88)$$

$$Wd_{prom} = \frac{1}{6} (2.87)$$

$$Wd_{prom} = 0.48 \text{ g/s}$$

Ahora evaluaremos la diferencia del desperdicio del material a lo largo del tiempo sin y con mi proyecto:

Muestreo con mi prototipo:

$$Wd_{prom} = 0.14 \text{ g/s}$$

Muestreo sin mi prototipo:

$$Wd_{prom} = 0.48 \text{ g/s}$$

La diferencia del desperdicio del material a lo largo del tiempo es de 0.34 g/s

Es decir, para dimensionar la pérdida de material a lo largo del tiempo, se puede decir que en un proceso de dosificación con mi prototipo se ahorran 0.34 gramos por segundo de dosificación con respecto a un proceso de dosificación sin mi proyecto, lo cual resultaría en 1.22 kg de material ahorrado en una hora.

#### 4.4. Prueba de hipótesis específica 04: Indicador para la dimensión interfaz de usuario

Se llevó a cabo una encuesta tipo Likert, con los siguientes resultados:

**Tabla 8**

*Tabla con datos recolectados según encuesta de satisfacción con respecto a la interfaz de usuario.*

| ITEM | ASPECTOS                                 | PREGUNTA                                                                                 | N° DE OPERARIOS         |                         |                         |                         |                         |                         | PROMEDIO | PROMEDIO POR GRUPOS DE ASPECTOS |
|------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|---------------------------------|
|      |                                          |                                                                                          | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>1 | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>2 | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>3 | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>4 | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>5 | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>6 |          |                                 |
| 1    | Visibilidad y legibilidad de la pantalla | La información mostrada en la pantalla es fácil de leer.                                 | 5                       | 3                       | 4                       | 5                       | 5                       | 4                       | 4.33     | 4.58                            |
| 2    |                                          | Los íconos y símbolos utilizados son comprensibles sin necesidad de consultar el manual. | 5                       | 5                       | 4                       | 5                       | 5                       | 5                       | 4.83     |                                 |

|                 |                                         |                                                                                      |   |   |   |   |   |   |      |      |
|-----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|------|------|
| 3               | Supervisión de la dosificadora          | La interfaz muestra los datos actualizados durante el proceso de dosificación        | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5.00 | 5.00 |
| 4               | Facilidad de comprensión del contenido  | Los mensajes, etiquetas y opciones utilizan un lenguaje claro y técnico apropiado.   | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4.83 | 4.92 |
| 5               |                                         | La interfaz no genera confusión durante la operación normal de la dosificadora.      | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5.00 |      |
| 6               | Facilidad de manipulación de la máquina | Es fácil recordar los pasos necesarios para operar la máquina correctamente.         | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4.83 | 4.83 |
| 7               |                                         | Es sencillo corregir valores al momento de ingresar los datos                        | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4.83 |      |
| 8               |                                         | Es sencillo detener el proceso cuando ya se están llevando a cabo las dosificaciones | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4.83 |      |
| PROMEDIO TOTAL: |                                         |                                                                                      |   |   |   |   |   |   | 4.81 |      |

Elaboración de tabla de interpretación de rangos:

Cálculo de los rangos:

$$\frac{5 - 1}{5} = 0.8$$

Cada intervalo tiene amplitud de 0.80.

Por lo tanto la tabla sería de la siguiente manera:

**Tabla 9**

*Tabla de nivel de acuerdo según rangos de puntaje*

| Promedio    | Nivel de acuerdo               |
|-------------|--------------------------------|
| 1.00 – 1.80 | Totalmente en desacuerdo       |
| 1.81 – 2.60 | En desacuerdo                  |
| 2.61 – 3.40 | Ni de acuerdo ni en desacuerdo |
| 3.41 – 4.20 | De acuerdo                     |
| 4.21 – 5.00 | Totalmente de acuerdo          |

#### Análisis de resultados por aspectos:

##### Visibilidad y legibilidad de la pantalla

En la tabla se concluye que la información mostrada en la pantalla es fácil de leer, alcanzando una media de 4.33, lo que indica un nivel muy alto según la escala de interpretación, donde el 16.7% no está ni de acuerdo ni en desacuerdo, el 33.3% está de acuerdo y el 50% está totalmente de acuerdo.

Asimismo, los íconos y símbolos utilizados son comprensibles sin necesidad de consultar el manual, obteniendo una media de 4.83, correspondiente también a un nivel muy alto, donde el 16.7% está de acuerdo y el 83.3% está totalmente de acuerdo.

En conjunto, esta dimensión presenta un promedio de 4.58, lo que evidencia que los operarios están totalmente de acuerdo en que la interfaz posee una adecuada visibilidad y legibilidad, facilitando la interacción con el sistema.

##### Supervisión de la dosificadora

En cuanto a la supervisión de la dosificadora, se observa que el 100% de los operarios están totalmente de acuerdo en este aspecto, se obtuvo una media de 5.00, ubicándose en el nivel muy alto.

Este resultado indica que los operarios están totalmente de acuerdo en que la interfaz muestra datos actualizados durante el proceso de dosificación, permitiendo un monitoreo eficiente.

#### Facilidad de comprensión del contenido

Con respecto a la utilización de un lenguaje claro y técnico apropiado en el contenido, los mensajes, etiquetas y opciones, se observa que el 16.7% está de acuerdo y el 83.3% está totalmente de acuerdo, lo que resulta en una media de 4.83, lo que corresponde a un nivel muy alto.

Del mismo modo, la interfaz no genera confusión durante la operación normal de la dosificadora, alcanzando una media de 5.00, lo que significa que el 100% de los operarios están totalmente de acuerdo.

En conclusión, este aspecto presenta un promedio de 4.92, evidenciando que la interfaz brinda gran facilidad de comprensión del contenido.

#### Facilidad de manipulación de la máquina

En relación con la facilidad de manipulación, se observa que el 16.7% está de acuerdo y el 83.3% está totalmente de acuerdo, obteniendo una media de 4.83 en todos los indicadores evaluados, tales como recordar los pasos necesarios, corregir valores al ingresar datos y detener el proceso de dosificación.

El promedio es de 4.83, lo que corresponde a un nivel muy alto, indicando que los operarios están totalmente de acuerdo en que la interfaz permite una interacción sencilla, eficiente y segura.

Todo este análisis concluye que mi prototipo posee una eficiente interfaz de usuario, donde esta aseveración es respaldada por la encuesta realizada, donde se obtiene una media del 4.81, lo cual lo ubica en el nivel más alto en la escala de aceptación.

Confiabilidad del instrumento:

Cálculo del Alfa de Cronbach:

La confiabilidad del instrumento se evaluó mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, cuya fórmula es:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left( 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right)$$

Donde:

$k$ : representa el número de ítems

$S_i^2$ : varianza de cada ítem

$S_t^2$ : varianza total del instrumento

(Cronbach, 1951).

Hallando valores:

$K= 8$ , porque son 8 preguntas

Calculando la varianza en cada ítem:

**Tabla 10**

*Tabla de varianzas según ítem de la encuesta de satisfacción con respecto a la interfaz de usuario.*

| Ítem       | Varianza |
|------------|----------|
| Pregunta 1 | 0.67     |
| Pregunta 2 | 0.17     |
| Pregunta 3 | 0.00     |
| Pregunta 4 | 0.17     |
| Pregunta 5 | 0.00     |
| Pregunta 6 | 0.17     |
| Pregunta 7 | 0.17     |
| Pregunta 8 | 0.17     |

Entonces la sumatoria de varianzas será:

$$\sum S_i^2 = 1.52$$

Calculando el puntaje total por operario:

**Tabla 11**

*Tabla de puntaje total por operario*

| Operario | Total |
|----------|-------|
| 1        | 39    |

| Operario | Total |
|----------|-------|
| 2        | 38    |
| 3        | 38    |
| 4        | 39    |
| 5        | 39    |
| 6        | 38    |

Varianza total:

$$S_t^2 \approx 0.30$$

Aplicaremos la fórmula:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left( 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right)$$

$$\alpha = \frac{8}{8-1} \left( 1 - \frac{1.52}{0.30} \right)$$

$$\alpha = 0.78$$

En el cálculo del Alfa de Cronbach se obtuvo un valor de 0.78, lo que indica una consistencia interna aceptable del instrumento (Cronbach, 1951).

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados indican que el sistema automatizado mejora el proceso en dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gr, contando con una adecuada interfaz de usuario, aumentando la precisión y la velocidad del proceso, además de una significativa disminución de material desperdiciado, pues todos los indicadores comprobados lo corroboran. Estos resultados llegan a la misma situación que Sánchez y Solis (2024), quienes desarrollaron un dispensador de alimentos y agua automatizado para mascotas con dosificador controlado por un sistema de balanzas con el objetivo de dispensar raciones adecuadas y como resultado se obtuvo un prototipo eficiente, pues dispensó adecuadas raciones para perros según su raza y tamaño. Además Muñoz y Mamani (2022) que desarrollaron un prototipo dosificador de alimentos para granja de truchas, también obtuvieron resultados favorables.

Con respecto a la primera hipótesis se comprueba que el sistema automatizado logra una mayor exactitud en el peso del producto dosificado, ya que quedó demostrado que el proceso de dosificación con mi prototipo presenta un 11.87% de error porcentual menor al error porcentual del proceso de dosificación llevado a cabo sin mi prototipo. Remache (2022), quien tuvo como objetivo diseñar y construir un dosificador automático de granos de cebada por peso para la empresa Beerland Store, se pudo apreciar que la maquina tiene un margen de error de 15 gramos, lo cual, comparando con el muestreo en mi prototipo, donde para 80 gramos, el margen de error sería de 3.7 gramos podemos concluir que obtuvimos mejores resultados.

Con respecto a la segunda hipótesis se corrobora que el sistema automatizado logra mayor velocidad en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos, pues se comprobó que el flujo másico de la dosificadora trabajando con mi prototipo excede en 0.42 g/s a la dosificadora manual original, lo que se traduce en que el proceso de dosificación con mi prototipo dispensa de manera eficiente 0.42 gramos más por

segundo que el proceso de dosificación sin mi prototipo, lo que en una hora sería 1,5 kg más de producto dosificado eficientemente que cuando se realiza el proceso sin mi prototipo.

Asimismo, en cuanto a la tercera hipótesis se concluye que el sistema automatizado aminora pérdidas de la cantidad del producto en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos, pues se comprueba que en un proceso de dosificación con mi prototipo se ahorran 0.34 gramos por segundo de dosificación con respecto a un proceso de dosificación sin mi proyecto, lo cual resultaría en 1.22 kg de material ahorrado en una hora. Remache (2022), en su proyecto, un dosificador automático de granos de cebada por peso, se pudo observar un margen de error de 15 gramos, lo que al comparar con el muestreo en mi prototipo, vimos que el margen de error de mi prototipo es menor, y el margen de error es directamente proporcional al desperdicio de material a lo largo del tiempo, por lo tanto se concluye en que mi proyecto también supera este indicador.

Finalmente, en relación a la hipótesis 4 se comprueba que el sistema automatizado logra ser de fácil manejo para los operarios, ya que en el análisis se concluye que mi prototipo posee una eficiente interfaz de usuario, donde esta aseveración es respaldada por la encuesta realizada, donde se obtiene una media del 4.81, lo cual lo ubica en el nivel más alto en la escala de aceptación, con una consistencia interna aceptable del instrumento avalado por el alfa de Cronbach. Apaza y Guerrero (2024) desarrollaron un sistema mecatrónico inteligente para medir la masa de productos a granel como frutas y verduras, observaron en los resultados que la balanza permite tener una división de escala menor a 5 gramos, obteniendo una balanza de exactitud media; esta división de escala no sería óptima en el contexto de supervisión del proceso en mi proyecto, por lo que mi prototipo señala el pesaje en tiempo real con una división de escala de 0.01 gramos.

## VI. CONCLUSIONES

6.1. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que el sistema automatizado mejora el proceso en dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gr, debido a las siguientes conclusiones puntuales.

6.2. Se concluye que el sistema automatizado logra una mayor exactitud en el peso del producto dosificado en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos, reduciendo en un 11.87% el error porcentual.

6.3. Del mismo modo, se llega a la conclusión que el sistema automatizado logra mayor velocidad, aumentando en 0.42 g/s el valor del flujo másico al proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos.

6.4. Así mismo, el sistema automatizado aminora pérdidas de la cantidad del producto en 0.34 gramos por segundo en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos.

6.5. Finalmente, el sistema automatizado logra ser de fácil manejo para los operarios en máquinas dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos, ya que en la encuesta tipo Likert se obtiene una media del 4.81 en la escala del 1 al 5, lo cual lo ubica en el nivel más alto en la escala de aceptación, con una consistencia interna aceptable del instrumento, avalado por el alfa de Cronbach con un valor de 0.78.

## **VII. RECOMENDACIONES**

7.1. Se recomienda realizar calibraciones periódicas de la celda de carga para asegurar la precisión en el rango de 40 a 100 gramos.

7.2. Se recomienda dar uso del sistema automatizado desarrollado en la presente tesis para mejorar el proceso en dosificadoras manuales gravimétricas o volumétricas de productos cuya precisión de dosificación sea conveniente con respecto a los indicadores hallados en la sección de resultados, ya que este sistema automatizado es independiente del estilo de dosificación de la dosificadora.

7.3. Finalmente, se sugiere que se use para un mayor número de dosificaciones con el mismo peso, pues al ingresar una sola vez los datos al sistema, el peso de la dosificación y las veces a dosificar, el flujo másico será mucho mayor, pues se ahorra el tiempo del ingreso de datos, además se mecaniza el accionar de los operarios.

## VIII. REFERENCIAS

- Apaza, E. y Guerrero, E. (2024). *Diseño e implementación de balanza inteligente para autoservicio usando celda de carga y vision*. [Tesis de Título Profesional, Universidad de Ingeniería y Tecnología]. Repositorio Institucional UTEC. <https://hdl.handle.net/20.500.12815/390>
- ArduinoDocs (2025). *Documentación Arduino*. ArduinoDocs. <https://docs.arduino.cc/>
- ArduinoDocs (2025). *Full Pinout* [Imagen]. ArduinoDocs. <https://docs.arduino.cc/>
- Céspedes, E. (2020). *Implementación de la automatización del proceso de dosificación de concreto premezclado para mejorar la calidad y tiempo de entrega del concreto*. [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/26478>
- Cronbach, L. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Direct Industry (s.f.). *Qué dosificador elegir*. Direct Industry. <https://guide.directindustry.com/es/que-dosificador-elegir/>
- Direct Industry (s. f.). *Imagen de Dosificador gravimétrico de polvo* [Fotografía]. Guide DirectIndustry. <https://www.directindustry.es/prod/cavicchi-impianti/product-37285-457085.html>
- Direct Industry (s. f.). *Imagen de Dosificador volumétrico de la marca Tenco* [Fotografía]. Guide DirectIndustry. <https://guide.directindustry.com/wp-content/uploads/60499-9768611-1-240x240.jpg>
- Doebelin, E. y Manik, D. (2011). *Measurement systems: Application and design* (6ª ed.). McGraw-Hill.

Electrónica HI – FI (2025). *Teclado matricial (Keypad) de membrana de 3x4 teclas*. [Fotografía].

Electrónica HI – FI. <https://hifisac.com/shop/key-3x4-teclado-matricial-keypad-de-membrana-de-3x4-teclas-tamano-69x77mm-conexion-86mm-1566#attr=>

Electronic Manufacturing Service - EMS (2024). *Hx711- Una guía del HX711 y la celda de carga*.

Electronic Manufacturing Service. <https://electronicmanufacturingservice.org/hx711-and-load-cell-guide/>

Engisch, W. y Muzzio, F. (2015). Feedrate deviations caused by hopper refill of loss-in-weight feeders. *Powder Technology*, 283, 389–400. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.06.001>

FIBOS Measurement Technology (2024). *¿Qué es la sensibilidad de la celda de carga?*. FIBOS. <https://www.fibossensor.com/es/what-is-load-cell-sensitivity.html>

Groover, M. (2015). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. (4ª ed.). Pearson.

Gutiérrez, M. y Huamaní, D. (2023). *Impacto en la productividad a raíz de la automatización robótica de procesos del área de operaciones de una empresa distribuidora de maquinaria pesada, Lima Perú 2021*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://hdl.handle.net/11537/35387>

Guzmán, A. y Villegas, D. (2014). *Diseño e implementación de un módulo MPS mediante una mesa giratoria de indexación con supervisión SCADA utilizando componentes de neumática avanzada*. [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/3003>

Haosh (s.f.). *Sistema De Dosificación*. Haosh. <https://es.haoshpumps.com/sistema-de-dosificacion/>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ª ed.). McGraw Hill Interamericana.

Himmelblau, D. (2003). *Basic principles and calculations in chemical engineering*. (7th ed.). Prentice Hall.

Indumak (2023). *Pesaje de productos en la industria: manual x automático*. Indumak. <https://blog.indumak.com.br/es/pesaje-de-productos-en-la-industria-manual-x-automatico/>

Kamble, V., Shinde, V. y Kittur, J. (2020). Overview of load cells. *Journal of Mechanical and Mechanics Engineering*, 6(3), 22–29. [https://www.researchgate.net/publication/355370308\\_Overview\\_of\\_Load\\_Cells](https://www.researchgate.net/publication/355370308_Overview_of_Load_Cells)

LearnChannel-TV (2017). *Puente de Wheatstone: cuarto de puente, medio puente y puente completo* [Imagen]. LearnChannel-TV. <https://learnchannel-tv.com/wp-content/uploads/2020/12/Puente-de-Wheatstone-Cuarto-de-puente-medio-puente-puente-completo-768x323.png.webp>

Lipták, B. (2016). *Instrument engineers' handbook: Process measurement and análisis*. (4ª ed.). CRC Press.

Made-in-China (2025). *Comprender las características clave y los beneficios de los sistemas de pesaje y dosificación en aplicaciones industriales*. Made-in-China. [https://insights.made-in-china.com/es/Understanding-the-Key-Features-and-Benefits-of-Weighing-and-Dosing-Systems-in-Industrial-Applications\\_MartExbCjnIQ.html](https://insights.made-in-china.com/es/Understanding-the-Key-Features-and-Benefits-of-Weighing-and-Dosing-Systems-in-Industrial-Applications_MartExbCjnIQ.html)

Mohamad, M., Soin, N. y Ibrahim, F. (2020). Effect of Different Wheatstone Bridge Configurations on Sensitivity and Linearity of MEMS Piezoresistive Intracranial Pressure

- Sensors. *Journal of Electronic Voltage and Application*, 1(2), 14-19. <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/jeva/article/view/7078>
- Montgomery, D. y Runger, G. (2018). *Applied statistics and probability for engineers*. (7th ed.). John Wiley & Sons.
- MOVACOLOR(s.f.) . *Gravimetría*. Movacolor. <https://www.movacolor.com/es/tecnologia/gravimetria/>
- Muñiz, K. y Mamani, M. (2022). *Implementación de prototipo de un sistema de monitoreo dosificador de alimentos para granja de truchas en CIPBS – Chucuito UNA – Puno sede – Barco*. [Tesis profesional, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP. [https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/20.500.14082/17646/1/Mu%C3%B1iz\\_Kenny\\_Mamani\\_Marco.pdf](https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/20.500.14082/17646/1/Mu%C3%B1iz_Kenny_Mamani_Marco.pdf)
- Naylamp Mechatronics (2025). *Arduboard Uno R3*. [Fotografía]. Naylamp Mechatronics. <https://naylampmechatronics.com/ardusystem-tarjetas/8-uno-r3.html>
- Naylamp Mechatronics (2025). *Módulo HX711 Transmisor de celda de carga*. [Fotografía]. Naylamp Mechatronics. <https://naylampmechatronics.com/fuerza-peso/147-modulo-hx711-transmisor-de-celda-de-carga.html>
- Naylamp Mechatronics (s. f.). *Imagen de Galga extensiométrica*. [Fotografía]. Naylamp Mechatronics. <https://naylampmechatronics.com/sensores/372-galga-extensiometrica-bx120-3aa.html>
- NXP Semiconductors (2013). *Pin description*. [Imagen]. Digi-Key Electronics. <https://www.digikey.bg/htmldatasheets/production/3270629/0/0/1/pcf8574.html>
- NXP Semiconductors (2013). *Pinning*. [Imagen]. Digi-Key Electronics. <https://www.digikey.bg/htmldatasheets/production/3270629/0/0/1/pcf8574.html>

NXP Semiconductors (2013). *PCF8574; PCF8574A Remote 8-bit I/O expander for I<sup>2</sup>C-bus with interrupt*. Digi-Key Electronics.

<https://www.digikey.bg/htmldatasheets/production/3270629/0/0/1/pcf8574.html>

Peláez, M. (2015). *Manejo y mantenimiento de equipos de aplicación de fertilizantes*. (1<sup>a</sup> ed.). Editorial e-Learning.

[https://www.google.com.pe/books/edition/UF2017\\_Manejo\\_y\\_mantenimiento\\_deequipos/ObBWDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0](https://www.google.com.pe/books/edition/UF2017_Manejo_y_mantenimiento_deequipos/ObBWDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0)

Pérez, M. (2014). *Instrumentación electrónica*. (1<sup>a</sup> ed). Ediciones Paraninfo.

[https://www.google.com.pe/books/edition/Instrumentaci%C3%B3n\\_electr%C3%B3nica/Fb5tBQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=celdas+de+carga+principio+de+funcionamiento&pg=PR7&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/Instrumentaci%C3%B3n_electr%C3%B3nica/Fb5tBQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=celdas+de+carga+principio+de+funcionamiento&pg=PR7&printsec=frontcover)

Porvoo (2025). *Sistemas de dosificación automática de productos químicos: Guía 2025*. Porvoo.

<https://porvoo.com.cn/es/blog/guia-de-sistemas-de-dosificacion-automatica-de-productos-quimicos-2025/>

Prabowo, N. e Irwanto, I. (17 de diciembre de 2023). The Implementation of Arduino Microcontroller Boards in Science: A Bibliometric Analysis from 2008 to 2022. *Journal of Engineering Education Transformations*, 37(2). <https://export.arxiv.org/abs/2312.10840>

Premteco (2024). *¿Qué es una pantalla LCD?*. Premteco.

<https://www.ptcled.com/es/academy/what-is-a-lcd-screen.html>

Remache, J. (2022). *Diseño y Construcción de un dosificador Automático Por Peso de Granos de Cebada para la Empresa Beerland Store*. [Tesis de Título Profesional, Escuela Politécnica

- Nacional de Ecuador]. Repositorio Digital EPN.  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22883/1/CD%2012337.pdf>
- Rizvi, S. (2012). *Microcontroller programming: An introduction*. (1<sup>era</sup> ed.). CRC Press.
- Rodríguez, G., Hernández, A., López, A. y Ramírez, J. (2016). Sistema para la medición de deformación usando galgas extensiométricas metálicas. *Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 37(1), 80–93.
- Rodríguez, G., Hernandez, A., López, A. y Ramírez, J. (2016). Sistema para la medición de deformación usando galgas extensiométricas metálicas. *RIELAC*, 37(1), 80–93.
- Rodríguez, J., Cerdá, L. y Sánchez, R. (2014). *Automatismos industriales*. Editorial Paraninfo.
- Sánchez, J. y Solís, F. (2024). *Desarrollo de dispensador de alimentos y agua con sistema de dosificación automático para mascotas*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS.  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28067>
- Tecnoembalaje (s. f.). *Imagen de Dosificador de piston para productos viscosos*. [Fotografía]. Tecno embalaje. <https://tecnoembalaje.com/producto/dosificador-doble-de-piston-para-liquidos-de-alta-viscosidad/>
- Tega Industrial (s.f.). *9 beneficios de la automatización industrial*. Tega.  
<https://tegaindustrial.com/blog/beneficios-de-la-automatizacion-industrial/>
- Tesla Electronic (2025). *Pantalla LCD*. [Fotografía]. Tesla Electronic.  
[https://www.teslaelectronic.com.pe/producto/pantalla-lcd-1602/?srsltid=AfmBOopa0L77BBcwaXvDhxsxPf0pqZUZhvtCZyCWIqS\\_1\\_4S\\_BtevRtZ](https://www.teslaelectronic.com.pe/producto/pantalla-lcd-1602/?srsltid=AfmBOopa0L77BBcwaXvDhxsxPf0pqZUZhvtCZyCWIqS_1_4S_BtevRtZ)

Timsa (s.f.) . *Equipos de Dosificación: Innovación para un Desarrollo Sostenible*. Timsa.

<https://www.timsa.com/blog/equipos-de-dosificacion-innovacion-para-un-desarrollo-sostenible/>

University of Iowa (s. f.). *Percent Error Formula*. Imaging the Universe – Physics and Astronomy.

<https://itu.physics.uiowa.edu/glossary/percent-error-formula>

## IX. ANEXOS

### ANEXO A

#### MATRIZ DE CONSISTENCIA

| Variables                                                                          | Problema                                                                                                            | Objetivo                                                                                                                 | Hipótesis                                                                                              | Dimensiones             | Indicadores                                       | Método                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Variable Independiente:<br>Sistema automatizado                                    | ¿Cómo un sistema automatizado puede mejorar el proceso en dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gr? | Implementar un sistema automatizado para mejorar el proceso en dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gr. | El sistema automatizado mejora el proceso en dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gr. | Componentes del sistema | Presencia de sensores, actuadores y controladores | Tipo de Investigación:<br>Aplicada<br><br>Diseño de Investigación:<br>Experimental |
| Variable Dependiente:<br>Proceso en dosificadoras manuales por peso de helado para | Problemas específicos                                                                                               | Objetivos específicos                                                                                                    | Hipótesis específicas                                                                                  |                         |                                                   |                                                                                    |

|                                   |                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                               |           |                                       |  |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------|--|
| presentaciones<br>de 40 a 100 gr. | ¿Cómo un<br>sistema<br>automatizado<br>puede lograr<br>una mayor<br>exactitud en el<br>peso del<br>producto<br>dosificado en<br>máquinas<br>dosificadoras<br>manuales por<br>peso de helado<br>de 40 a 100<br>gramos? | Implementar un<br>sistema automatizado<br>para lograr una mayor<br>exactitud en el peso<br>del producto<br>dosificado en<br>máquinas<br>dosificadoras<br>manuales por peso de<br>helado de 40 a 100<br>gramos. | El sistema<br>automatizado logra<br>una mayor exactitud<br>en el peso del<br>producto dosificado<br>en dosificadores<br>manuales por peso<br>de helado de 40 a<br>100 gramos. | Precisión | Porcentaje de<br>error en la<br>dosis |  |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------|--|

|  |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                              |                        |              |  |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------|--|
|  | ¿Cómo un sistema automatizado puede lograr mayor velocidad en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos? | Implementar un sistema automatizado para lograr mayor velocidad en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos. | El sistema automatizado logra mayor velocidad en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos. | Tiempo de dosificación | Flujo másico |  |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------|--|

|  |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                   |                     |                                                         |  |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------|--|
|  | ¿Cómo un sistema automatizado puede anular pérdidas de la cantidad del producto en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos? | Implementar un sistema automatizado para anular pérdidas de la cantidad del producto en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos. | El sistema automatizado anula pérdidas de la cantidad del producto en el proceso de dosificación en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos. | Pérdida de material | Cantidad de material desperdiciado por unidad de tiempo |  |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------|--|

|  |                                                                                                                                             |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                |                     |                              |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--|
|  | ¿Cómo un sistema automatizado puede ser de fácil manejo para los operarios en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos? | Implementar un sistema automatizado que sea de fácil manejo para los operarios en dosificadores manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos. | El sistema automatizado logra ser de fácil manejo para los operarios en máquinas dosificadoras manuales por peso de helado de 40 a 100 gramos. | Interfaz de usuario | Facilidad de uso del sistema |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--|

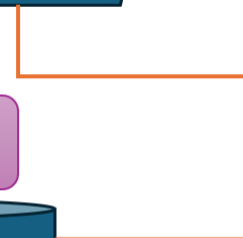
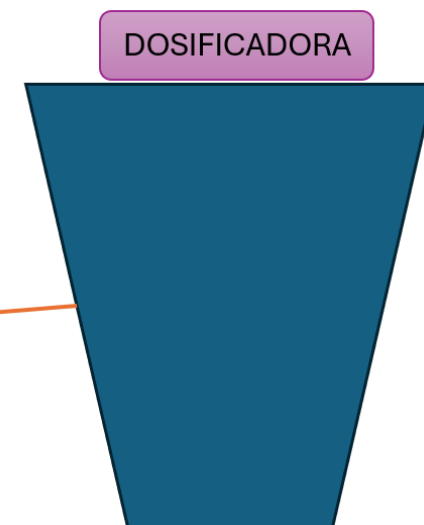
## ANEXO B

### EXPLICACIÓN DEL PROCESO

#### CON MI PROTOTIPO:

##### DATOS QUE INGRSARÉ AL TECLADO:

- Peso que debe tener el producto a dosificar en gramos
- Número de unidades que la máquina debe dosificar con ese peso expresado

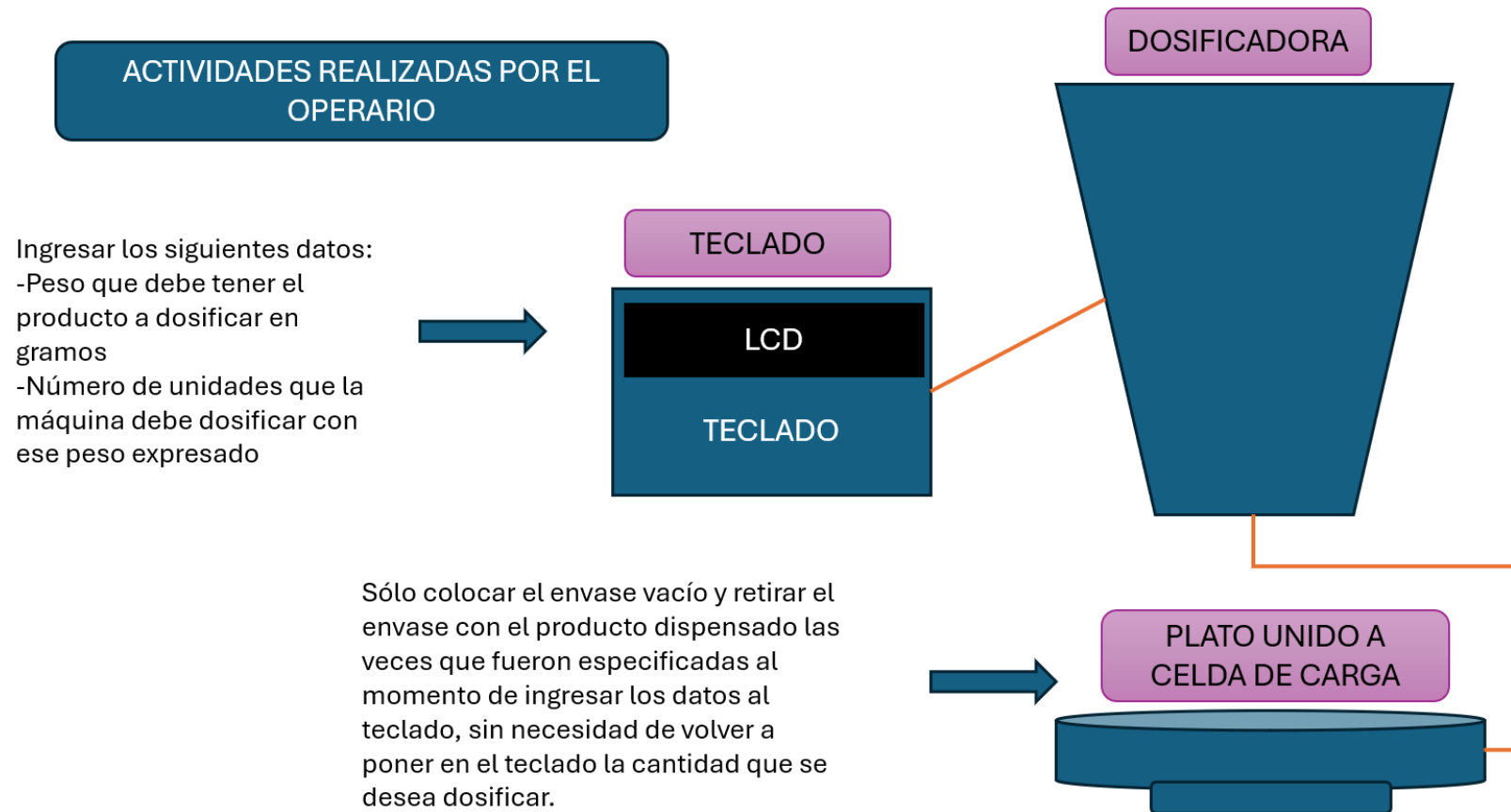


PLATO UNIDO A CELDA DE CARGA



#### PROCESO:

El operario sólo colocará el envase donde se verterá el producto y la máquina dosificadora conectada al prototipo dispensará el producto en la cantidad indicada, una vez que haya llegado a la cantidad óptima, la dosificadora se detendrá y esperará a que el operario retire el envase; y repetirá esta secuencia las veces que se especificó al momento de iniciar el proceso



## ANEXO C

## ENCUESTA CON ESCALA LIKERT

| ITEM | ASPECTOS                                 | PREGUNTA                                                                                 | N° DE OPERARIOS         |                         |                         |                         |                         |                         | PROMEDIO | PROMEDIO POR GRUPOS DE ASPECTOS |
|------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|---------------------------------|
|      |                                          |                                                                                          | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>1 | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>2 | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>3 | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>4 | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>5 | OPE-<br>RA-<br>RIO<br>6 |          |                                 |
| 1    | Visibilidad y legibilidad de la pantalla | La información mostrada en la pantalla es fácil de leer.                                 |                         |                         |                         |                         |                         |                         |          |                                 |
| 2    |                                          | Los íconos y símbolos utilizados son comprensibles sin necesidad de consultar el manual. |                         |                         |                         |                         |                         |                         |          |                                 |
| 3    | Supervisión de la dosificadora           | La interfaz muestra los datos actualizados durante el proceso de dosificación            |                         |                         |                         |                         |                         |                         |          |                                 |
| 4    | Facilidad de comprensión del contenido   | Los mensajes, etiquetas y opciones utilizan un lenguaje claro y técnico apropiado.       |                         |                         |                         |                         |                         |                         |          |                                 |
| 5    |                                          | La interfaz no genera confusión durante la operación normal de la dosificadora.          |                         |                         |                         |                         |                         |                         |          |                                 |
| 6    | Facilidad de manipulación de la máquina  | Es fácil recordar los pasos necesarios para operar la máquina correctamente.             |                         |                         |                         |                         |                         |                         |          |                                 |



## ANEXO D

TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA PROCESOS DE EVALUACIÓN CON EL PROTOTIPO

| N° DE PROCESO | N° DE CICLO | VALOR EXACTO (gr) | VALOR DISPENSADO | VALOR REAL DISPENSADO EN TODO EL PROCESO(gr) | SEGUNDOS DE DURACIÓN POR PROCESO |
|---------------|-------------|-------------------|------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|
| 1             |             |                   |                  |                                              |                                  |
|               |             |                   |                  |                                              |                                  |
| 2             |             |                   |                  |                                              |                                  |
|               |             |                   |                  |                                              |                                  |
|               |             |                   |                  |                                              |                                  |
| 3             |             |                   |                  |                                              |                                  |
|               |             |                   |                  |                                              |                                  |
| 4             |             |                   |                  |                                              |                                  |
|               |             |                   |                  |                                              |                                  |
| 5             |             |                   |                  |                                              |                                  |
|               |             |                   |                  |                                              |                                  |
|               |             |                   |                  |                                              |                                  |
|               |             |                   |                  |                                              |                                  |
| 6             |             |                   |                  |                                              |                                  |
|               |             |                   |                  |                                              |                                  |
|               |             |                   |                  |                                              |                                  |

## ANEXO E

TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA PROCESOS DE EVALUACIÓN SIN EL PROTOTIPO

| N° DE PROCESO | N° DE CICLOS QUE TIENE EL PROCESO | VALOR IDEAL POR DOSIFICACIÓN(gr ) | VALOR REAL DISPENSADO EN TODO EL PROCESO(gr) | SEGUNDOS DE DURACIÓN POR PROCESO | VALOR DISPENSADO EN UNA DE LAS DOSIFICACIONES DEL PROCESO |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1             |                                   |                                   |                                              |                                  |                                                           |
| 2             |                                   |                                   |                                              |                                  |                                                           |
| 3             |                                   |                                   |                                              |                                  |                                                           |
| 4             |                                   |                                   |                                              |                                  |                                                           |
| 5             |                                   |                                   |                                              |                                  |                                                           |
| 6             |                                   |                                   |                                              |                                  |                                                           |