



**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS LOGÍSTICAS.**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ADICIÓN DE COBERTURA DE  
CHOCOLATE MEDIANTE LA ADECUACIÓN DE EQUIPOS SUBUTILIZADOS  
PARA LA MEJORA CONTINUA EN LAS LÍNEAS DE LITROS Y CUBETAS**

**PROYECTO DE TRABAJO PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL CON ÉNFASIS EN GESTION DE OPERACIONES**

**Tutora: Dra. Yuly Esteves González**

**Autor: Jhoyner Figueredo**

**Ciudad de Panamá, mayo de 2026**



**REPÚBLICA DE PANAMÁ**  
**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS LOGÍSTICAS.**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ADICIÓN DE COBERTURA DE  
CHOCOLATE MEDIANTE LA ADECUACIÓN DE EQUIPOS SUBUTILIZADOS  
PARA LA MEJORA CONTINUA EN LAS LÍNEAS DE LITROS Y CUBETAS**

**PROYECTO DE TRABAJO PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL CON ÉNFASIS EN GESTION DE OPERACIONES**

**Autor: Jhoyner Figueredo**

**Ciudad de Panamá, mayo de 2026**



Ciudad de Panamá, 02 de mayo de 2026

Profesor

Héctor Mazurkiewicz

Coordinador Comité de Titulación de Estudios de Licenciatura.

Presente.

En mi carácter de Tutor del Trabajo de Grado presentado por el Bachiller Jhoyner José Figueredo Cabrera, documento de Identidad N.º E-8-228496, para optar al grado de, Licenciado en Ingeniería Industrial con énfasis en Gestión de Operaciones. Considero que el trabajo: reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Jurado examinador que se designe.

Atentamente,

---

Dra. Yuly Esteves González  
C.I. V-11204758

Línea de investigación: Diseño y Mejora de Procesos Operativos



**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIATURA**

Nosotros, miembros del jurado, designados por el Comité de Titulación de Estudios de Licenciatura, para la evaluación del Trabajo de Grado, presentado por el Bachiller **Jhoyner José Figueredo Cabrera**, Cédula de Identidad No., **E-8-228496**, titulado **Automatización del Sistema de Adición de Cobertura de chocolate Mediante la Adecuación de Equipos Subutilizados para la Mejora Continua en las Líneas de Litros y Cubetas**, elaborado bajo la asesoría de la tutora, Profesor **Dra. Yuly Esteves González** Cédula de Identidad No., **V-11204758** para optar al grado académico de **Licenciado en Ingeniería Industrial con énfasis en Gestión de Operaciones**, estimamos que el mismo reúne los requisitos suficientes para ser considerado **APROBADO**.

**Nombre y Apellido**

**C.I. / pasaporte**

**Firma del jurado**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**En la Ciudad de Panamá,**



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS LOGÍSTICAS.**

**INFORME DE ACTIVIDADES DE TUTORÍA OPCIÓN DE TITULACIÓN II**

**Estudiante:** Jhoyner José Figueredo Cabrera, Cédula de Identidad no. E-8-228496

**Tutora:** Dra. Yuly Esteves González Cédula de identidad No., V-11204758

**Correo electrónico del participante:** [Jhoyner.figueredo@unicyt.net](mailto:Jhoyner.figueredo@unicyt.net) Celular No. 6595-8340

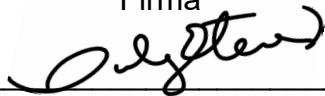
**Título tentativo del trabajo de grado (TG):** Optimización del Proceso de Envasado de Helado con Cobertura de chocolate en Presentación de 1 l Mediante la Estandarización de Métodos para la Mejora de la Productividad en la Línea de Producción de Panameña de Helados.

| SESIÓN | FECHA      | HORA REUNIÓN. | ASPECTO TRATADO                                                  | OBSERVACIÓN                                                                |
|--------|------------|---------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1.     | 26/02/2026 | 17:00         | Retroalimentación sobre 1er borrador de anteproyecto.            | Recomendación de mejoras                                                   |
| 2.     | 02/03/2026 | 21:00         | Aprobación del anteproyecto.                                     | Recomendación de ajustes menores                                           |
| 3.     | 31/03/2026 | 14:00         | Aprobación de anteproyecto II por cambio enfoque en el proyecto. | Validación de nuevo enfoque del proyecto                                   |
| 4.     | 13/04/2026 | 7:33          | Revisión general de borrador final                               | Retroalimentación sobre oportunidad de mejora en Capítulos II, III, IV y V |
| 5.     | 21/04/2026 | 8:50          | Revisión Final                                                   | Observaciones finales,<br>Firma de aprobación                              |

**Título definitivo:** Automatización del Sistema de Adición de Cobertura de chocolate Mediante la Adecuación de Equipos Subutilizados para la Mejora Continua en las Líneas de Litros y Cubetas.

**Comentarios finales acerca de la investigación:** Declaramos que las especificaciones anteriores representan el proceso de dirección del trabajo de grado arriba mencionado.

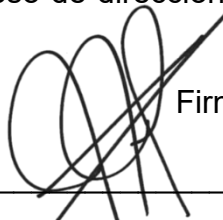
Firma



---

Dra. Yuly Esteves González  
C.I. V-11204758

Firma



---

Jhoyner Figueredo  
C.I. E-8-228496

## **DEDICATORIA**

A mi familia, quienes han sido mi mayor motivación y la luz que guía cada uno de mis esfuerzos. A mi esposa, mi principal apoyo y fortaleza; a mi hijo, la inspiración para superar cada barrera con alegría y amor. A mis padres, por enseñarme el valor del trabajo duro y por ser el cimiento sobre el cual he construido mi vida profesional. A mi madre, ejemplo de que nunca es tarde para cumplir los sueños; a mi padre, proveedor de valores que me han convertido en una persona de bien.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por su infinita providencia.

A la UNICyT por brindarme las herramientas y el conocimiento necesarios para enfrentar los retos del mundo industrial. A mis profesores y en especial a mi tutora la Dra. Yuly Esteves González, por su guía experta y por compartir su visión crítica, fundamental para el desarrollo de esta investigación.

A la empresa Panameña de Helados S.A. (GELARTI), por abrirme las puertas de sus instalaciones y permitirme aplicar los conocimientos de ingeniería en un entorno real. Un agradecimiento especial al personal de la planta y a mis compañeros del área de producción, cuya disposición y colaboración fueron piezas clave para la recolección de datos y el éxito de esta investigación.

A mi esposa, Katherine González, por su apoyo incondicional y su paciencia infinita durante todo este proceso formativo. A mi hijo, Matheo, por ser quien me mantuvo alerta, con su alegría y ocurrencias, en aquellas clases donde el cansancio más apremiaba.

A mis compañeros de clases en especial al Dr. Práxedes Torres por el apoyo y mentoría durante toda la carrera



## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| PORTADA.....                                                              | 1  |
| PORTADA.....                                                              | 2  |
| CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR .....                                       | 3  |
| ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO ACADÉMICO DE<br>LICENCIATURA..... | 4  |
| INFORME DE ACTIVIDADES DE TUTORÍA OPCIÓN DE TITULACIÓN II .....           | 5  |
| DEDICATORIA.....                                                          | 7  |
| AGRADECIMIENTOS .....                                                     | 8  |
| LISTA DE FIGURAS .....                                                    | 12 |
| LISTA DE TABLAS.....                                                      | 13 |
| RESUMEN .....                                                             | 14 |
| ABSTRACT .....                                                            | 15 |
| INTRODUCCIÓN .....                                                        | 16 |
| CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                               | 17 |
| 1.1 Antecedentes del Problema .....                                       | 17 |
| 1.2 Planteamiento del Problema .....                                      | 18 |
| 1.3 Justificación .....                                                   | 18 |
| 1.4 Pregunta de Investigación .....                                       | 19 |
| 1.5 Objetivos .....                                                       | 20 |
| 1.6 Delimitación del Problema .....                                       | 20 |
| CAPITULO II MARCO TEÓRICO .....                                           | 22 |
| 2.1 Ingeniería de Métodos y Medición del Trabajo .....                    | 22 |
| 2.2 Sistemas de Calificación de Rendimiento (Sistema Westinghouse).....   | 23 |
| 2.3 Gestión de Operaciones y Manufactura Esbelta .....                    | 24 |

|                                                                                                          |                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4                                                                                                      | Termodinámica y Reología en Ciencia de los Alimentos.....              | 26 |
| 2.5                                                                                                      | Ergonomía Física y Riesgos Biomecánicos .....                          | 28 |
| 2.6                                                                                                      | Ingeniería Económica y Viabilidad Financiera.....                      | 28 |
| 2.7                                                                                                      | Normas Regulatorias y Seguridad Industrial .....                       | 29 |
| 2.8                                                                                                      | Glosario de Términos Básicos .....                                     | 30 |
| CAPITULO III MARCO METODOLOGICO.....                                                                     |                                                                        | 32 |
| 3.1                                                                                                      | Paradigma de la Investigación .....                                    | 32 |
| 3.2                                                                                                      | Tipo de Investigación.....                                             | 32 |
| 3.3                                                                                                      | Diseño de la Investigación.....                                        | 33 |
| 3.4                                                                                                      | Población y Muestra .....                                              | 34 |
| 3.5                                                                                                      | Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....                   | 35 |
| 3.6                                                                                                      | Fases Metodológicas de la Investigación .....                          | 37 |
| CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....                                                  |                                                                        | 39 |
| 4.1                                                                                                      | Diagnóstico del Proceso Actual de Dosificación (Situación As-Is) ..... | 39 |
| 4.2                                                                                                      | FASE II: Ingeniería de Detalle Y Dimensionamiento Técnico.....         | 48 |
| 4.3                                                                                                      | FASE III: Modelado Financiero y Evaluación Económica.....              | 52 |
| 4.4                                                                                                      | FASE IV: Estructuración y Presentación de la Propuesta .....           | 57 |
| CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                                                          |                                                                        | 60 |
| 5.1                                                                                                      | Conclusiones.....                                                      | 60 |
| 5.2                                                                                                      | Recomendaciones.....                                                   | 62 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                                                                       |                                                                        | 63 |
| Anexo A. Requerimientos de confidencialidad solicitados por la gerencia de Panameña de Helados S.A. .... |                                                                        | 66 |
| Anexo B. Registro fotográfico de los 8 operarios asignados a la línea de envasado manual. ....           |                                                                        | 67 |

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo C. Registro audiovisual del proceso de dosificación y mezcla manual de cobertura de chocolate..... | 68 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> Flujograma de proceso actual para envasado para helado con cobertura de chocolate .....                      | 40 |
| <b>Figura 2</b> Percepción de fatiga muscular y entumecimiento en miembros superiores del personal operativo .....           | 45 |
| <b>Figura 3</b> <i>Percepción del esfuerzo físico percibido según la Escala de Borg en la tarea de envasado manual</i> ..... | 45 |
| <b>Figura 4</b> Sistema de inyección y mezclado dinámico. ....                                                               | 49 |
| <b>Figura 5</b> <i>Flujograma de proceso propuesto para envasado para helado con cobertura de chocolate</i> .....            | 50 |
| <b>Figura C1</b> Demostración del ciclo de adición de chocolate en la línea de litros .....                                  | 68 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Número de Ciclos Recomendados para Estudios de Tiempos (General Electric) ..... | 34 |
| <b>Tabla 2</b> Tabla comparativa de procesos de envasados de litros .....                      | 41 |
| <b>Tabla 3</b> Determinación del Factor de Fatiga por Condiciones de Trabajo .....             | 43 |
| <b>Tabla 4</b> Justificación de la Puntuación REBA en el Envasado Manual .....                 | 44 |
| <b>Tabla 5</b> Estadísticas Críticas de la Encuesta al Personal .....                          | 46 |
| <b>Tabla 6</b> Resumen de tiempos y capacidad real (Situación As-Is) .....                     | 46 |
| <b>Tabla 7</b> Indicadores de Capacidad y Control de Peso (Situación As-Is) .....              | 47 |
| <b>Tabla 8</b> Presupuesto estimado de la inversión de capital (CAPEX) .....                   | 53 |
| <b>Tabla 9</b> Determinación del ahorro neto operativo mensual .....                           | 55 |
| <b>Tabla 10</b> Matriz de Escenarios de Retorno .....                                          | 56 |



**REPÚBLICA DE PANAMÁ  
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS LOGÍSTICAS.**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE ADICIÓN DE COBERTURA  
DE CHOCOLATE MEDIANTE LA ADECUACIÓN DE EQUIPOS  
SUBUTILIZADOS PARA LA MEJORA CONTINUA EN LAS LÍNEAS  
DE LITROS Y CUBETAS**

**Autor:** Jhoyner Figueredo

**Tutor:** Dra. Yuly Esteves González

**Año:** 2026

**RESUMEN**

La presente investigación aborda la ineficiencia operativa en el proceso de envasado de helado cobertura de chocolate en la planta GELARTI, caracterizado por una alta variabilidad en el peso neto y un uso intensivo de mano de obra. El objetivo general es automatizar el sistema de adición de chocolate mediante la adecuación de equipos subutilizados para optimizar las líneas de litros y cubetas. El fundamento teórico se sustenta en autores como Nakajima (1988) para el mantenimiento productivo total, Niebel y Freivalds (2009) en ingeniería de métodos y Beckett (2017) en reología de fluidos. La metodología es de tipo no experimental transversal estructurada en tres fases: diagnóstica, de diseño y de evaluación. En la fase inicial, mediante el levantamiento de pesos y el uso de herramientas como el OEE, se determinó un estado crítico con un  $C_{pk}$  de 0.14 y una desviación estándar de 20.91 g. El procedimiento de mejora contempla la integración de un sistema de dosificación de líquidos con control térmico PID, sincronizado a una unidad dosificadora/mezcladora de ingredientes sólidos conectada a un congelador continuo vertical. Los resultados proyectados indican una estabilización del proceso hacia una desviación estándar de 3.33 g, alcanzando un  $C_{pk}$  de 1.00. Se concluye que la automatización elimina el cuello de botella manual, mejorando el cumplimiento del peso legal y la mejora continua de la productividad.

**Palabras clave:** Automatización, Capacidad de Proceso ( $C_{pk}$ ), Cobertura de chocolate, Mejora Continua, OEE.



**REPUBLIC OF PANAMA  
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
FACULTY OF LOGISTICS SCIENCES**

**AUTOMATION OF THE COBERTURA DE CHOCOLATE ADDITION  
SYSTEM BY ADAPTING UNDERUTILIZED EQUIPMENT FOR  
CONTINUOUS IMPROVEMENT IN THE LITER AND TUB  
PRODUCTION LINES**

**Author:** Jhoyner Figueredo

**Advisor:** Dra. Yuly Esteves González

**Year:** 2026

**ABSTRACT**

This research addresses operational inefficiency in the packaging process of chocolate-coated ice cream at the GELARTI plant, characterized by high variability in net weight and intensive labor. The general objective is to automate the chocolate addition system by adapting underutilized equipment to optimize the liter and tub lines. The theoretical foundation is supported by authors such as Nakajima (1988) for Total Productive Maintenance, Niebel and Freivalds (2009) in methods engineering, and Beckett (2017) in fluid rheology. The methodology is a non-experimental, cross-sectional type structured into three phases: diagnostic, design, and evaluation. In the initial phase, through weight surveying and the use of tools such as OEE, a critical state was determined with a  $C_{pk}$  of 0.14 and a standard deviation of 20.91 g. The improvement procedure involves the integration of a liquid dosing system with PID thermal control, synchronized to a solid ingredient dosing/mixing unit connected to a vertical continuous freezer. Projected results indicate a stabilization of the process toward a standard deviation of 3.33 g, reaching a  $C_{pk}$  of 1.00. It is concluded that automation eliminates the manual bottleneck, improving legal weight compliance and the continuous enhancement of productivity.

**Keywords:** Industrial Automation, Process Capability ( $C_{pk}$ ), chocolate coating, Methods Engineering, OEE.

## INTRODUCCIÓN

La competitividad en la industria de manufactura de alimentos exige la optimización continua de los procesos operativos. En el sector de helados gourmet, la eficiencia productiva se ve a menudo desafiada por la complejidad de ciertas formulaciones, como es el caso de la adición de cobertura de chocolate. El presente Trabajo de Grado se desarrolla en Panameña de Helados S.A. (GELARTI), centrándose en resolver la ineficiencia técnica y operativa generada por la dosificación y mezcla manual de este ingrediente en las líneas de litros y cubetas de helados con este agregado.

El estudio propone la automatización de este subproceso mediante la adecuación técnica de maquinaria subutilizada en planta, integrando un sistema de control térmico PID y una bomba dosificadora acoplada a un mezclador dinámico. A través de este enfoque de ingeniería de métodos y diseño sanitario, se busca eliminar el cuello de botella actual, erradicar los riesgos ergonómicos para los operadores, asegurar la calidad del producto y garantizar la estabilidad del Índice de Capacidad del Proceso (Cpk).

Estructuralmente, este documento se divide en cinco capítulos: El Capítulo I detalla el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación técnica y económica; el Capítulo II establece el marco teórico que fundamenta la propuesta desde la termodinámica, la ergonomía y la manufactura esbelta; el Capítulo III describe la metodología cuantitativa y el diseño de campo y no experimental transversal; el Capítulo IV expone el diagnóstico operativo (situación As-Is), el diseño técnico de la automatización (situación To-Be) y el análisis financiero de la inversión (ROI y Payback); finalmente, el Capítulo V presenta las conclusiones derivadas del estudio y las recomendaciones estratégicas para garantizar la mejora continua en la organización.



## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Este capítulo presenta el planteamiento del problema mediante un análisis de las condiciones operativas actuales. Se definen los objetivos y la justificación técnica que sustentan la investigación, estableciendo el alcance necesario para implementar mejoras basadas en la optimización y la automatización de procesos industriales.

#### **1.1 Antecedentes del Problema**

La industria de productos lácteos en Panamá, específicamente en el segmento de helados gourmet, ha experimentado un crecimiento sostenido que exige a las organizaciones elevar sus estándares de eficiencia operativa para mantener la competitividad. El presente proyecto se desarrollará en Panameña de Helados, S.A. (GELARTI), una empresa panameña dedicada a la manufactura y comercialización a gran escala de productos helados, la cual se ha consolidado en el mercado nacional con una infraestructura instalada que le permite procesar aproximadamente 10 toneladas diarias de producto terminado.

No obstante, la fabricación de productos con recetas complejas, como el helado con adición de chocolate fundido (cobertura de chocolate), introduce variables críticas que desafían esta capacidad instalada. Desde hace aproximadamente diez años, la adición y mezcla de la cobertura de chocolate en las líneas de envasado de litros y cubetas se ha ejecutado de forma 100% manual. Esta dependencia de la intervención humana ha generado un cuello de botella histórico y cuantificable. Mientras que la capacidad nominal de la envasadora principal permite velocidades de hasta 650 L/h, el proceso manual restringe el flujo real a un promedio de 450 L/h, disminuyendo drásticamente la Eficiencia General de los Equipos (OEE) durante estas corridas. Adicionalmente, sostener este método empírico obliga a la empresa a asignar hasta 4 operadores exclusivos por lote únicamente para la tarea de dosificación y mezcla.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

El problema central radica en la ineficiencia operativa, la elevada variabilidad en la calidad y el sobrecosto de manufactura (OPEX) derivados de este proceso manual. La adición de la cobertura de chocolate requiere un control térmico estricto; sin embargo, la carencia actual de un sistema de calefacción automatizado que mantenga el chocolate fundido a una temperatura constante (entre 30°C y 35°C) provoca su cristalización prematura antes de la inyección. Esta variabilidad térmica y mecánica se traduce directamente en una merma de materia prima estimada en un 1.03% por lote, debido a una distribución irregular (falta de homogeneidad) en la matriz del helado.

A pesar de que la planta cuenta físicamente con maquinaria subutilizada diseñada originalmente de fábrica para agregar y mezclar la cobertura de chocolate de manera automática, la falta de una adecuación técnica y de un sistema periférico de calefacción impide su puesta en marcha. Por lo tanto, resulta imperativo resolver esta limitación mecánica y térmica para integrar dichos equipos a las líneas de litros y cubetas, logrando así estabilizar el flujo de producción, asegurar el estándar de calidad del producto final y justificar financieramente la erradicación de los sobrecostos laborales y de desperdicio.

## **1.3 Justificación**

El presente Trabajo de Grado se justifica primordialmente desde la perspectiva de la rentabilidad corporativa y la excelencia operativa. En un mercado de helados gourmet en constante crecimiento, sostener procesos manuales que restrinjan la capacidad instalada de aproximadamente 10 toneladas diarias representa una pérdida de costo de oportunidad. Para Panameña de Helados S.A. (GELARTI), la principal ventaja económica de este proyecto radica en la revalorización de sus activos fijos. Al habilitar y adecuar maquinaria que actualmente se encuentra subutilizada, la empresa logrará modernizar simultáneamente sus procesos de inyección para las presentaciones de 1 litro y cubetas, requiriendo una inversión de capital (CAPEX) marginal en comparación con la adquisición de una línea de producción completamente nueva.

A nivel operativo y de calidad, la automatización del flujo, control térmico y mezcla de la cobertura de chocolate elimina un cuello de botella histórico. La implementación de asistencia mecánica se traduce en la reducción directa de la Mano de Obra Directa (MOD) requerida en la línea, permitiendo reasignar a los operadores a tareas de mayor valor agregado, lo cual disminuye el gasto operativo (OPEX). Asimismo, al estandarizar el proceso a través del control automatizado de la temperatura (mediante resistencias eléctricas) y la inyección mecánica constante, se suprimen los errores derivados de la fatiga humana, se minimiza la merma de materia prima y se garantiza una distribución homogénea irrefutable del chocolate en la matriz del producto, elevando la Eficiencia General de los Equipos (OEE).

Desde el punto de vista académico y profesional, el desarrollo de esta propuesta aporta una aplicación directa de los pilares de la Ingeniería Industrial orientados a la gestión de operaciones. Mediante el uso de herramientas de medición de tiempos y movimientos, manufactura esbelta (Lean Manufacturing) y análisis financiero de proyectos industriales, se demuestra la capacidad de resolver problemáticas de planta de larga data. El proyecto evidencia que la adecuación técnica no solo mejora las condiciones ergonómicas del área de trabajo, sino que genera un retorno de inversión (ROI) altamente atractivo, justificando de forma objetiva la viabilidad tecnológica ante la gerencia general y cumpliendo con el rigor analítico exigido por la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICyT).

#### **1.4 Pregunta de Investigación**

- ¿En qué medida la automatización del flujo y la implementación de un control térmico de lazo cerrado (PID) permiten estabilizar el Índice de Capacidad del Proceso ( $C_{pk}$ ) de producción de helados con cobertura de chocolate hacia un valor objetivo de 1.0 en las líneas de producción?
- ¿Cuál es la viabilidad económica de la propuesta, evaluada a través de la relación costo-beneficio (ROI) entre la inversión requerida (CAPEX) para la adecuación de los equipos y el ahorro proyectado en costos operativos laborales (OPEX) y desperdicio de materia prima?

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

Proponer la automatización del proceso de adición y mezcla de cobertura de chocolate en las líneas de producción de helados (presentaciones de 1 litro y cubetas) en Panameña de Helados S.A., mediante la adecuación térmica y electromecánica de maquinaria subutilizada, con el fin de optimizar la asignación de Mano de Obra Directa (MOD), erradicar la fatiga biomecánica y garantizar la calidad y homogeneidad del producto.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado mecánico actual del proceso manual y de los equipos subutilizados en planta, para establecer los requerimientos técnicos, eléctricos y térmicos exactos necesarios para su integración a las líneas de producción.
- Diseñar el nuevo modelo operativo automatizado a partir del estudio de tiempos y movimientos, para cuantificar la mejora en la velocidad del ciclo, la reducción de mermas de materia prima y el aseguramiento de la distribución homogénea del chocolate.
- Evaluar el impacto financiero de la propuesta mediante un análisis costo-beneficio (ROI), contrastando la Inversión de Capital (CAPEX) requerida frente a los ahorros proyectados en el Gasto Operativo (OPEX), para justificar la viabilidad del proyecto ante la gerencia.

## 1.6 Delimitación del Problema

Para garantizar la viabilidad y el enfoque del Trabajo de Grado, el presente proyecto de automatización se delimita bajo los siguientes criterios:

- **Delimitación Espacial:** El estudio y la propuesta técnica se desarrollarán exclusivamente en las instalaciones de la planta de producción de Panameña de Helados, S.A. (GELARTI), limitando el área de observación e intervención a las líneas de envasado correspondientes a las presentaciones de 1 litro y cubetas.
- **Delimitación Temporal:** El desarrollo del proyecto contempla un horizonte de ejecución de 12 semanas (correspondientes al período académico en curso),

tiempo durante el cual se realizará el diagnóstico técnico, el estudio de tiempos y movimientos, la cotización de la adecuación térmica y la formulación del análisis costo-beneficio.

- **Delimitación Temática:** Académicamente, la investigación se fundamenta en las áreas núcleo de la Ingeniería Industrial, circunscribiéndose a los campos de la Gestión de Operaciones, el Estudio del Trabajo, la Mejora Continua (*Lean Manufacturing*) y la Evaluación Financiera de Proyectos Industriales (análisis OPEX vs. CAPEX).
- **Alcance Operativo:** La propuesta se enfocará de manera estricta en el subproceso de adición, control térmico periférico y mezcla homogénea de la cobertura de chocolate mediante la adaptación de la maquinaria subutilizada. El proyecto no abarcará modificaciones en la formulación química o receta del helado, alteraciones en los procesos de pasteurización previos, ni la distribución logística del producto terminado. Asimismo, el entregable final consistirá en el diseño técnico, la medición de impacto y la justificación financiera (Propuesta de Mejora), quedando la ejecución física y la compra de activos sujetas a la posterior aprobación de la gerencia general.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

Este capítulo describe el marco teórico de la investigación, enfatizando la integración entre la ingeniería de métodos, la gestión de operaciones y la ciencia de los alimentos; tres pilares cruciales para la optimización efectiva de una planta de procesamiento de productos lácteos.

#### 2.1 Ingeniería de Métodos y Medición del Trabajo

El diagnóstico operativo de la línea de producción se establece según Niebel y Freivalds (2009), quienes afirman que el estudio de tiempos y movimientos es el método analítico más adecuado para verificar el tiempo que un operador capacitado y calificado necesita para realizar una función moviéndose a una velocidad normal. En la estandarización del subproceso de dosificación de cobertura de chocolate, se debe establecer la diferencia técnica entre dos métricas críticas:

- **Tiempo Normal ( $T_n$ ):** Una descripción del tiempo que toma ajustado por el factor de calificación de rendimiento del operador observado.
- **Tiempo Estándar ( $T_s$ ):** La métrica de capacidad final, definida como la suma del tiempo normal más las tolerancias o márgenes. Estas son las tolerancias reportadas por Kanawaty (1996) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT), que representan períodos de tiempo necesarios para la recuperación del cansancio, así como para cumplir con las tareas personales e inevitables de los miembros del personal en el proceso de producción.

### 2.1.1 Índices de Capacidad de Proceso (Cp y Cpk)

Según Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar (2013) el índice  $C_p$  mide la capacidad potencial de un proceso si estuviera perfectamente centrado, mientras que el  $C_{pk}$  evalúa el desempeño real considerando el descentramiento. Las fórmulas fundamentales son:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

- **USL**: Límite Superior de Especificación.
- **LSL**: Límite Inferior de Especificación.
- **$\sigma$** : Desviación estándar del proceso.

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{LSL - \bar{X}}{3\sigma}\right)$$

- **USL**: Límite Superior de Especificación.
- **LSL**: Límite Inferior de Especificación.
- **$\sigma$** : Desviación estándar del proceso.
- **$\bar{X}$** : Promedio de los datos del proceso.

En manufactura, un  $C_p < 1.00$  indica un proceso incapaz que genera producto fuera de especificación; un  $C_{pk} \geq 1.33$  se considera un proceso satisfactorio o de "clase mundial".

## 2.2 Sistemas de Calificación de Rendimiento (Sistema Westinghouse)

Durante los estudios de tiempo, el cronometrador debe enfrentar la variabilidad inherente del operador. Groover (2014) postula que el tiempo determinado experimentalmente no puede asumirse como el tiempo normal de la operación a menos que se aplique primero un factor de nivelación. Para desarrollar un sistema

estándar de dosificación manual, se debe adoptar un criterio para eliminar cualquier sesgo del evaluador. El Sistema de Calificación Westinghouse, un método que ha sido ampliamente aceptado en el sector manufacturero, se basa en cuatro principios fundamentales para calificar a un individuo trabajando en un trabajo:

- **Habilidad:** La medición estándar del rendimiento del operador a nivel de operación, que incluye la coordinación de movimientos de cómo el operador mezcla la cobertura de chocolate con la matriz láctea.
- **Esfuerzo:** Evidencia de su disposición a trabajar duro. El esfuerzo físico es enorme con fluidos que se manejan a bajas temperaturas a medida que avanza el lote.
- **Condiciones:** ambiente térmico y ergonómico del puesto de trabajo.
- **Consistencia:** Cambios de ciclo a ciclo a medida que cambian los tiempos de ciclo. Sin asistencia mecánica, un proceso manual está garantizado para perder su consistencia a medida que el chocolate comienza a cristalizar.

El Tiempo Normal ( $T_n$ ) se calcula utilizando la suma aritmética algebraica de las puntuaciones de estos cuatro factores al Tiempo Observado

$$T_n = T_o \times (1 + k)$$

(Donde k es la suma de las calificaciones del sistema Westinghouse).

## 2.3 Gestión de Operaciones y Manufactura Esbelta

Jacobs y Chase (2019) definieron la eficiencia moderna como la consistencia de calidad sin limitar o mantener constante el flujo a escala de producción. El método manual actual de producción está resultando en un cuello de botella de OEE que es inmediatamente notable. Según Nakajima (1988), creador del Mantenimiento Productivo Total (TPM), el OEE es el indicador más alto de manufactura de clase mundial, calculado a partir de la interacción de tres factores:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$



Para minimizar la variabilidad que socava este indicador, el proyecto sigue herramientas de Lean Six Sigma. Siguiendo a Ramírez et al. (2021) y (Womack & Jones 2003) los principios básicos de optimización se llevarán a cabo mediante el Mapeo de la Cadena de Valor (VSM). Esta herramienta analítica permitirá la identificación de "Mudas" (desperdicios), particularmente aquellos asociados con el movimiento del operador que no deberían ser, actividades adicionales que se pueden suprimir, y defectos (falta de homogeneidad o necesidad de limpieza) que demuestran la necesidad de la automatización de la dosificación.

Para explicar cómo el cuello de botella había afectado la línea de 1 litro y la línea de cubetas, la teoría del Mantenimiento Productivo Total (TPM) descompone la ineficiencia operativa en "Seis Grandes Pérdidas" (Nakajima, 1988). El proceso de dosificación manual afecta negativamente al menos tres:

- **Pérdidas de Rendimiento (Eficiencia):** Se restringe la velocidad de la máquina debido a la discrepancia entre la capacidad de diseño 650L/h y la velocidad real a la que el operador puede inyectar y mezclar manualmente la cobertura de chocolate 450 L/h, esto representa el 31% de la capacidad nominal del equipo que no se está aprovechando.
- **Desperdicio:** Una parte del chocolate derretido (cobertura de chocolate) se desperdicia debido al trasiego del envase original a los "teteros" de adición manual. Por otra parte, cuando se enfría se adhiere a las paredes del contenedor y ya no se puede recuperar.
- **Pérdidas de Calidad:** Se requiere un constante reproceso durante la producción de esos lotes ya que los envases de litros necesitan limpieza externa debido a desbordamientos de producto. Otro factor de calidad que se toma en cuenta es el no cumplimiento del peso estándar, debido a la omisión del pesaje para liberar el cuello de botella los litros pasan sin ser verificados ni ajustados.

Para efecto de los análisis de OEE para este proceso específico (productos con cobertura de chocolate) se considerarán unidades Buenas aquellos envases que no requieran limpieza externa y que cuyo peso se encuentre dentro de los límites de especificación ( $\pm 10$  g).

El cálculo preciso de la Tasa de Calidad (Q) se define como:

$$Q = \frac{\text{Unidades Buenas Producidas}}{\text{Total de Unidades Procesadas}}$$

## **2.4 Termodinámica y Reología en Ciencia de los Alimentos**

La calidad final del producto depende del control fisicoquímico en la inyección. Cuando la cobertura de chocolate toca la matriz láctea a -5°C, esta respuesta es crucial. Goff et al. (2025) explican el choque térmico, ya que su rendimiento varía con la velocidad de transferencia de calor. El desafío aquí, sin embargo, es el proceso previo para manejar la entrada. Beckett (2017) advierte sobre el polimorfismo de la manteca de cacao en su investigación sobre la producción industrial de chocolate. Si la temperatura del chocolate derretido cae por debajo de 30°C, comienza la cristalización prematura, lo que provoca un cambio en la viscosidad y un fluido no newtoniano muy resistente. Los principios de dispersión sólida (Orrego, 2003) pueden ofrecer la validación técnica perfecta para implementar un sistema de calefacción periférica (resistencias eléctricas) y agitación mecánica constante, un conjunto de variables diseñadas para limitar la tendencia del agregado a aglomerarse antes de la inyección.

Para comprender el comportamiento de la cobertura de chocolate (chocolate derretido). Según Beckett (2017), es una suspensión de partículas sólidas (cacao y azúcar) en una fase continua de manteca de cacao líquida. Reológicamente, se clasifica como un fluido plástico de Casson. Tiene un "esfuerzo de fluencia" ( $T_0$ ); es decir, necesita una fuerza inicial mínima para comenzar el flujo. Bajo una temperatura inferior a 30°C, la manteca de cacao inicia su cristalización polimórfica. Bajo esta condición, el esfuerzo de fluencia y la viscosidad plástica se vuelven exponencialmente más altos, resultando en cavitación de la bomba periférica o dosificación más grumosa y menos equilibrada en la matriz del helado. Las bombas centrífugas tradicionales son inoperantes al descomponer la estructura del chocolate debido a la alta tasa de cizallamiento; por lo tanto, para lograr la dosificación automatizada de fluidos no newtonianos con alta viscosidad, las bombas quedarían fuera de servicio. Mott & Untener (2015) sugiere que se deben usar Bombas de Desplazamiento Positivo (por

ejemplo, bombas de lóbulos o de engranajes) para este tipo de aplicación. Estas soluciones son impulsadas por motores trifásicos y reductores de velocidad que fuerzan un volumen fijo de fluido a fluir mecánicamente en la tubería, minimizando la posibilidad de que la presión en la boquilla de inyección altere el flujo.

Los principios de dispersión sólida (Orrego, 2003) pueden ofrecer la validación técnica perfecta para implementar un sistema de calefacción periférica (resistencias eléctricas) y agitación mecánica constante. En este contexto, el uso de calentadores de tambor de silicona se presenta como una solución óptima para tambores metálicos de hasta 200L, permitiendo una difusión del calor mediante conducción térmica directa hacia el envase original del insumo. Según los datos técnicos del fabricante, estos dispositivos permiten elevar la temperatura del contenido desde condiciones ambientales hasta un rango de control de 0°C a 120°C, lo cual es suficiente para mantener la cobertura de chocolate por encima del punto de cristalización crítica de 30°C mencionado por Beckett.

#### **2.4.1 Ingeniería de Transferencia de Calor y Control de Precisión (PID)**

Para mitigar la variabilidad en la viscosidad del chocolate, la implementación de resistencias eléctricas flexibles debe fundamentarse en los principios termodinámicos del proceso. La transferencia de calor desde la faja térmica hacia la cobertura de chocolate ocurre inicialmente por conducción a través de las paredes del recipiente y, posteriormente, por convección hacia el seno del fluido. De acuerdo con Incropera y DeWitt (1999), el control riguroso de los gradientes de temperatura es crítico en fluidos de alta viscosidad; dado que sus propiedades reológicas son altamente dependientes del calor, un descenso térmico mínimo aumenta exponencialmente la resistencia al flujo.

Debido a esta sensibilidad térmica, la gestión del calentamiento debe realizarse mediante sistemas de control avanzado. Aunque los calentadores industriales estándar suelen incorporar un termostato capilar para el control de temperatura, la literatura técnica sugiere que para procesos de alta exigencia alimentaria se requiere una transición hacia controladores de Lógica PID (Proporcional, Integral y Derivativo).

Tal como lo establecen Smith y Corripio (1991) en su teoría de control automático, un termostato convencional opera bajo una lógica binaria de encendido/apagado, lo cual genera variaciones cíclicas (oscilaciones térmicas) que en este proceso propician la cristalización prematura de la manteca de cacao. En contraste, un algoritmo de control PID calcula continuamente el error entre el valor deseado y la temperatura real, ajustando la potencia de salida de la resistencia de forma proporcional, integral y derivativa.

Esta capacidad de anticipación permite alcanzar una curva de calentamiento estable y preciso asegurando que la cobertura de chocolate mantenga un esfuerzo de fluencia constante y un flujo laminar ininterrumpido, facilitando el trabajo mecánico de las bombas de desplazamiento positivo descritas por Mott (2015) y previniendo la cavitación en las líneas de dosificación.

## **2.5 Ergonomía Física y Riesgos Biomecánicos**

Las ventajas de esta mejora técnica tienen factores humanos inherentes. Referenciando a Mondelo et al. (1999), con respecto a una evaluación de ergonomía física, el proyecto aplica las condiciones actuales de posición. La fatiga muscular derivada de las dosificaciones manuales constantes de un fluido denso mediante administración manual se evaluará utilizando la Escala de Borg. Además, el movimiento repetitivo del proceso de batido manual respalda aún más el uso de procedimientos REBA, un concepto desarrollado por Hignett y McAtamney (2000) que describe que la eliminación de la postura forzada mediante la modificación de las máquinas es una intervención preventiva importante para reducir la frecuencia de los Trastornos Musculoesqueléticos (TME) del personal

## **2.6 Ingeniería Económica y Viabilidad Financiera**

Para juzgar la adaptabilidad tecnológica de cualquier equipo, los costos necesarios para la fabricación deben separarse explícitamente. Sullivan et al. (2014), los costos del proyecto típicamente se dividen en dos categorías principales:

Gastos de Capital (CAPEX), representan los costos iniciales necesarios para comprar, mejorar o modificar recursos físicos. En lo que respecta a la automatización de la

dosificación, el CAPEX incluye la adquisición de calentadores de tambor de alta resistencia a la flexión, diseñados específicamente para entornos industriales y equipados con sistemas de fijación de muelles para una instalación óptima. Asimismo, incluye el cableado de alimentación con aislamiento de silicona resistente a químicos, controladores PID y la adaptación de la dosificadora.

Gastos Operativos (OPEX), que son para las actividades diarias de la línea de producción, son los costos requeridos para mantener la línea funcionando día a día. OPEX comprende Mano de Obra Directa (MOD), Costos Indirectos de Fabricación (CIF, por ejemplo, como el consumo de energía) y costos de no calidad (desperdicio de materia prima).

El principio financiero de la automatización dice que un aumento incremental planificado en CAPEX debería resultar en una reducción proporcional de OPEX con el tiempo.

## **2.7 Normas Regulatorias y Seguridad Industrial**

### **2.7.1 Diseño Sanitario y Seguridad Alimentaria (Grado Alimenticio)**

Cualquier modificación realizada en la línea de producción de Panameña de Helados S.A. debe estar sujeta a principios de diseño higiénico. Se utilizan bombas, tuberías y resistencias periféricas para introducir cobertura de chocolate con contacto directo con el producto de consumo humano.

De acuerdo con los lineamientos del Codex Alimentarius, las superficies de trabajo que están en contacto directo con los alimentos deben estar hechas de materiales lisos, no absorbentes e inertes a los alimentos, detergentes y desinfectantes en condiciones normales de funcionamiento (FAO y OMS, 2023). En el campo de la ingeniería alimentaria, esto también significa el uso de acero inoxidable sanitario (304 o 316L) y el uso de soldaduras sanitarias (TIG) sin porosidad es vital para evitar que las bacterias encuentren refugio en grietas microscópicas. Esto permite que no se formen biopelículas resistentes, garantizando que cualquier presencia microbiana sea fácilmente eliminada durante los procesos de limpieza y desinfección, asegurando así la inocuidad del producto. (Orrego, 2003). La propuesta también deberá adherirse a

los Reglamentos Técnicos Centroamericanos (RTCA) adoptados por los Ministerios de Salud (MINSA) y la Agencia de Alimentos y Agricultura (APA), a nivel nacional para asegurar que el nuevo sistema automatizado no infrinja el establecimiento de tales Puntos Críticos de Control (PCC) como se planificaron en HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control) en la planta, como la prevención de peligros de contaminación cruzada física (desgaste de partículas metálicas después de usar la bomba) o biológica.

### **2.7.2 Cumplimiento Legal Nacional (MITRADEL y CSS)**

En el sistema legal de la República de Panamá, el desarrollo y la implementación de esta automatización en el futuro cumplirán estrictamente con la Resolución No. 45,588-2011-J.D., del Fondo de Seguridad Social (CSS), que hace cumplir el Reglamento General de Prevención de Riesgos Laborales y Seguridad e Higiene en el Trabajo. La eliminación de la dosificación manual no solo se adhiere a un objetivo de eficiencia financiera (OPEX) sino que también cumple con una medida correctiva según lo prescrito por la legislación nacional para eliminar posturas forzadas y actividad repetitiva, que son responsables del desarrollo de enfermedades ocupacionales entre los trabajadores dentro de la rama industrial.

## **2.8 Glosario de Términos Básicos**

- **CAPEX (Capital Expenditure):** Inversión inicial de capital requerida para la adquisición, mejora o adecuación de activos físicos, como maquinaria y equipos industriales.
- **Cpk (Índice de Capacidad del Proceso):** Métrica estadística que evalúa la capacidad de un proceso real para producir resultados centrados y dentro de los límites de especificación predefinidos (tolerancias).
- **Fluido Plástico de Casson:** Tipo de fluido no newtoniano (como la cobertura de chocolate fundida) que requiere una fuerza o esfuerzo de fluencia inicial mínimo antes de comenzar a fluir.
- **Lazo PID (Proporcional, Integral, Derivativo):** Algoritmo de control de retroalimentación utilizado en sistemas industriales que calcula continuamente un

valor de error y ajusta la variable de actuación (ej. resistencias térmicas) para mantenerla estable en un set-point.

- **OEE (Eficiencia General de los Equipos):** Indicador de la filosofía de Mantenimiento Productivo Total (TPM) que mide el porcentaje de tiempo de fabricación que es verdaderamente productivo, combinando Disponibilidad, Rendimiento y Calidad.
- **OPEX (Operational Expenditure):** Gastos operativos recurrentes necesarios para mantener el funcionamiento diario de una línea de producción, incluyendo mano de obra directa y consumo energético.
- **Sistema CIP (Clean In Place):** Método de limpieza automatizado para las superficies interiores de tuberías, recipientes y equipos de proceso sin necesidad de desmontaje, crítico para la inocuidad alimentaria.
- **Tiempo Estándar:** El tiempo requerido por un operador calificado para realizar una tarea específica trabajando a un ritmo normal, incluyendo las tolerancias por fatiga y necesidades personales.

## CAPITULO III

### MARCO METODOLOGICO

Este capítulo detalla la naturaleza de la investigación, el diseño metodológico seleccionado, la delimitación de la población y muestra, así como las técnicas, instrumentos y fases operativas que se ejecutarán para diagnosticar y proponer la automatización del subproceso de dosificación de cobertura de chocolate en Panameña de Helados S.A. (GELARTI).

#### 3.1 Paradigma de la Investigación

El presente estudio se inscribe bajo un paradigma cuantitativo. De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), este paradigma se caracteriza por utilizar la recolección de datos para probar hipótesis o responder a preguntas de investigación basándose en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer patrones de comportamiento precisos.

En el contexto de este Trabajo de Grado, se asume este paradigma debido a que el diagnóstico del problema operativo (el cuello de botella en la dosificación manual) y la validación de la propuesta de mejora dependen estrictamente de variables matemáticas y objetivas. La investigación prescinde de interpretaciones subjetivas para fundamentarse en datos medibles y exactos, tales como los tiempos de ciclo en segundos (cronometraje), el volumen de mermas en gramos, el cálculo de los índices de capacidad del proceso ( $C_p$  y  $C_{pk}$ ), y la formulación del retorno de inversión (ROI) en valores monetarios para determinar la viabilidad del proyecto.

#### 3.2 Tipo de Investigación

De acuerdo con la naturaleza de los objetivos planteados y el problema a resolver en el piso de producción, el presente Trabajo de Grado se enmarca en la modalidad de Proyecto Factible, apoyado en una investigación de tipo Descriptiva y Explicativa con un enfoque Cuantitativo.

- **Enfoque Cuantitativo:** Según Hernández Sampieri et al. (2014), este enfoque utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición



numérica y el análisis estadístico. En este proyecto, variables como el tiempo de ciclo manual, la temperatura de cristalización del chocolate, el consumo eléctrico en kilovatios y los costos operativos (OPEX) serán estrictamente cuantificados.

- **Investigación Descriptiva:** Se caracterizará con precisión el estado actual de la línea de producción para las presentaciones de 1 litro y cubetas, documentando las capacidades nominales frente a las reales, la asignación de Mano de Obra Directa (MOD) y la Eficiencia General de los Equipos (OEE).
- **Investigación Explicativa:** Trasciende la simple descripción del cuello de botella, buscando establecer la relación causa-efecto entre la inestabilidad del proceso manual y la generación de mermas, reprocesos y sobre costos.
- **Proyecto Factible:** La Universidad Politécnica define esta modalidad como la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones. El entregable final de este documento es precisamente la ingeniería de detalle y la justificación económica (ROI) para la adecuación e incorporación de la maquinaria subutilizada al proceso productivo de helado con cobertura de chocolate en todas sus presentaciones.

### 3.3 Diseño de la Investigación

El estudio adopta un diseño de Campo y no Experimental Transversal.

- **De Campo:** Los datos primarios se recolectarán directamente en su contexto natural, es decir, en el área de envasado de Panameña de Helados S.A., sin intermediarios.
- **No Experimental Transversal:** Se observará el fenómeno de la dosificación manual tal y como se da en la realidad cotidiana de la planta, sin manipular deliberadamente las variables del proceso actual durante la fase diagnóstica. Los datos de tiempos y mermas se recolectarán en un momento único o período determinado (transversal) para establecer la línea base de eficiencia.

### 3.4 Población y Muestra

El rigor de todo estudio de tiempos y movimientos depende de la representatividad de los datos cronometrados.

- **Población (Universo):** Estará constituida por la totalidad de los lotes y envases de helado con agregado de cobertura de chocolate (en presentaciones de 1 litro y cubetas) programados y procesados durante el horizonte temporal del estudio en la planta.
- **Muestra (n):** Para la determinación del tamaño de la muestra, se aplicó el Criterio de la General Electric (GE). Este método es ampliamente reconocido en la ingeniería de métodos por establecer el número de ciclos a observar en función de la duración del ciclo de trabajo, garantizando un equilibrio entre la precisión del estudio y la viabilidad operativa (ver Tabla 1).

**Tabla 1**

*Número de Ciclos Recomendados para Estudios de Tiempos (General Electric)*

| Tiempo de ciclo<br>(minutos) | Número recomendado de<br>ciclos |
|------------------------------|---------------------------------|
| 0.1                          | 200                             |
| 0.25                         | 100                             |
| 0.50                         | 60                              |
| 0.75                         | 40                              |
| 1.00                         | 30                              |

*Nota:* Adaptado de Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo (12<sup>a</sup> ed., p. 341), por B. Niebel y A. Freivalds, 2009, McGraw-Hill.

#### 3.3.1. Justificación del Tamaño de la Muestra

Basado en los cronometrajes preliminares, el proceso de envasado manual presenta un tiempo de ciclo promedio de 0.59 minutos (35.85 segundos). Para este estudio, se

completaron efectivamente 60 observaciones cronometradas para la línea de litros y 60 para la de cubetas, cumpliendo estrictamente con el estándar de la General Electric

### **3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

La recolección de datos primarios en el piso de producción requiere un alto nivel de pericia técnica para no alterar el ritmo natural del operador. Por ello, el levantamiento de la información será ejecutado aplicando el rigor de siete años de experiencia en la industria de manufactura, garantizando que los datos capturados reflejen la verdadera realidad operativa de la planta en Panamá.

Las técnicas e instrumentos definidos son:

- **Observación Directa y Cronometraje Industrial:**

**Instrumentos.** Cronómetro digital, tableros de observación y un formulario digital estructurado (Microsoft Forms) para la captura de datos en tiempo real mediante dispositivos móviles. Esto permitirá registrar los tiempos de ciclo, las micro paradas y aplicar el Sistema Westinghouse de calificación del desempeño de manera objetiva.

- **Inspección Técnica:**

**Instrumentos.** Multímetro y amperímetro de gancho industrial, termómetro infrarrojo y lectura directa de placas de datos. Esta técnica se empleará para levantar los parámetros eléctricos reales de los motores trifásicos (0.75 kW y 0.37 kW) y dimensionar el requerimiento de las resistencias térmicas (500 W).

- **Revisión Documental y Estimación Financiera:**

**Instrumentos.** Matrices de cálculo y modelado en Microsoft Excel.

Por políticas estrictas de privacidad y a petición expresa de la gerencia de Panameña de Helados S.A., en el presente Trabajo de Grado no se extraerán datos del sistema ERP ni se divulgará ningún valor real o histórico asociado al costo de producción, receta o valor comercial del helado.

En consecuencia, para estructurar el análisis financiero de la propuesta, la evaluación del Gasto Operativo (OPEX) se modelará utilizando bases de dominio público. Para el

cálculo de la Mano de Obra Directa (MOD), se tomará como referencia estricta el salario mínimo legal vigente estipulado en la República de Panamá para el sector de manufactura. Asimismo, el Costo Indirecto de Fabricación (CIF) energético se estimará utilizando los pliegos tarifarios industriales nacionales, y el impacto de la merma se cuantificará volumétricamente a partir de las observaciones directas del estudio de tiempos, aislando por completo la estructura de costos del producto final.

– **Herramientas Tecnológicas y Asistencia de Inteligencia Artificial:**

***Instrumentos.*** Gemini 3.5 Flash.

Para optimizar los procesos de búsqueda de información y el procesamiento técnico de datos, se utilizó la herramienta de Inteligencia Artificial de última generación Gemini 3.5 Flash (desarrollada por Google). El uso de esta plataforma se limitó estrictamente a funciones de soporte metodológico y operativo, desglosadas de la siguiente manera:

Soporte en la Exploración Bibliográfica: Se empleó el modelo para la identificación y sugerencia de fuentes, palabras clave y referencias bibliográficas preliminares, las cuales posteriormente fueron verificadas, consultadas y convalidadas de forma manual en bases de datos académicas indexadas para garantizar su rigor científico.

Generación de Código Orientado a la Programación Operativa: Se utilizó la herramienta para la generación y optimización de líneas de código técnico. Este código sirvió como insumo de entrada para herramientas externas especializadas, con el objetivo de automatizar y estructurar de manera precisa el flujograma de procesos del sistema bajo estudio.

Cabe destacar que toda la información, análisis crítico, interpretación de resultados y conclusiones presentadas en esta investigación son de autoría exclusiva del investigador, habiendo actuado la IA únicamente como un recurso de soporte analítico y de programación.

### **3.5.1 Validez y Confiabilidad de los Instrumentos**

Dado que la recolección de datos se basó principalmente en la observación directa, el cronometraje industrial y el uso de equipos de medición física, como termómetros

infrarrojos, balanzas digitales y multímetros, no fue necesaria una validación formal, como la opinión de expertos.

La validez del estudio se logró mediante el uso de herramientas e índices estandarizados y ampliamente aceptados en ingeniería de métodos. Algunos de estos fueron:

- El sistema de calificación de Westinghouse, para evaluar el ritmo de trabajo.
- El criterio de General Electric, para determinar el tamaño de muestra adecuado.
- El método REBA, para evaluar el riesgo biomecánico.
- La métrica OEE, para medir la eficiencia.

La confiabilidad se aseguró mediante el uso de instrumentos previamente calibrados. Además, las mediciones se realizaron bajo las mismas condiciones de entorno, temperatura y flujo en las que normalmente opera la planta.

### **3.6 Fases Metodológicas de la Investigación**

Para asegurar el cumplimiento sistemático de los objetivos específicos (Sección 1.5.2), la investigación se estructurará en cuatro fases operativas consecutivas:

- **Fase I.** Diagnóstico Operativo (Auditoría del Proceso Manual). Ejecución in situ del estudio de tiempos y movimientos. Se calculará el Tiempo Normal y Estándar del proceso de inyección manual, se cuantificará la merma por choque térmico y se establecerá el OEE actual de la línea, evidenciando el impacto financiero del cuello de botella.
- **Fase II.** Ingeniería de Detalle y Dimensionamiento Técnico. Evaluación física de la maquinaria subutilizada en planta. Esta fase contempla la Configuración del Sistema de Producción Sincronizado, donde se definirá la arquitectura de integración entre el congelador continuo vertical, la unidad de dosificación de salsas y el mezclador dinámico. Se diseñará el diagrama de flujo del nuevo proceso automatizado, se calculará la carga eléctrica total del sistema consolidado y se estructurará el lazo de control PID para la calefacción periférica que evitará la cristalización de la manteca de cacao.

- **Fase III.** Modelado Financiero y Evaluación Económica. Construcción del modelo comparativo de costos operativos por lote. Se contrastará el CAPEX (inversión en adecuación) frente al nuevo OPEX (reducción de planillas operativas más el incremento marginal del CIF energético) para calcular los indicadores de viabilidad financiera.
- **Fase IV.** Estructuración y Presentación de la Propuesta. Consolidación de los hallazgos técnicos en la Propuesta de Mejora final. Se proyectará el Retorno sobre la Inversión (ROI) y el Período de Recuperación (Payback) para fundamentar la toma de decisiones por parte de la gerencia general de GELARTI.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

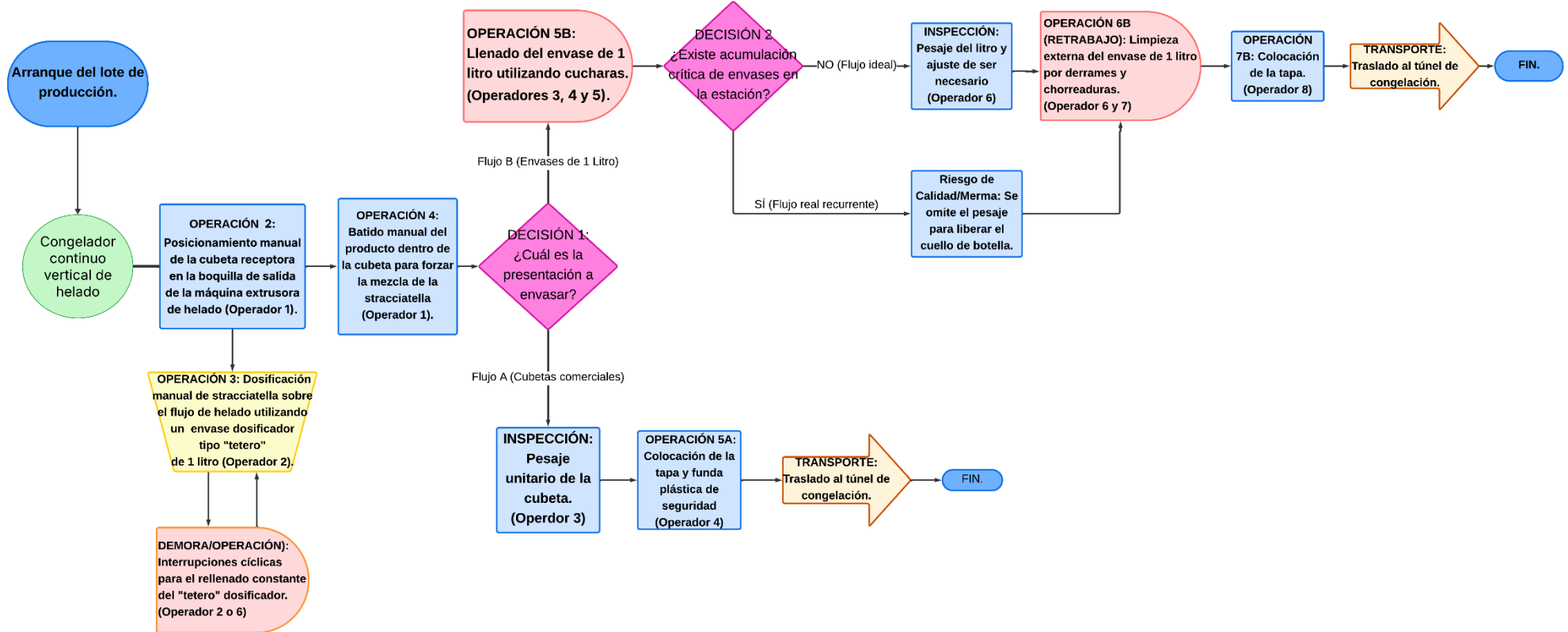
Este capítulo presenta el análisis financiero y la evaluación de resultados del proyecto, permitiendo determinar su viabilidad económica mediante indicadores de rentabilidad. Se contrastan los objetivos planteados con los logros alcanzados para validar la efectividad de la propuesta en la optimización del proceso productivo.

#### **4.1 Diagnóstico del Proceso Actual de Dosificación (Situación As-Is)**

Para comprender la magnitud de la ineficiencia operativa en las líneas de 1 litro y cubetas, se realizó un levantamiento técnico de las operaciones que componen la adición de la cobertura de chocolate. Actualmente, este subproceso carece de asistencia mecánica y de control térmico automatizado, dependiendo en su totalidad de la intervención manual del operador.

**Figura 1**

*Flujograma de proceso actual para envasado para helado con cobertura de chocolate*



*Nota:* En la Figura 1, se presenta el diagrama de flujo del proceso actual (As-Is), mapeando la secuencia de actividades, las demoras por acciones manuales y reprocesos.



#### 4.1.1. Evaluación de OEE

Para validar que el problema es el método y no la capacidad intrínseca de la planta, se realiza una comparativa entre el proceso de envasado de litros con cobertura de chocolate y litros con agregados frutales o "lisos" (sin adición de cobertura de chocolate).

Como se indica en el Marco Teórico (2.3) respecto al factor de Calidad para productos que contienen cobertura de chocolate, se calculó bajo un criterio de cumplimiento intenso en esta investigación: Las unidades buenas cumplieron con la tolerancia metrológica ( $\pm 10$  g) y no necesitaron ningún retrabajo de limpieza en fuentes externas.

Al analizar ambas líneas bajo la métrica, el impacto negativo del trabajo manual es numéricamente evidente:

**Tabla 2**

*Tabla comparativa de procesos de envasados de litros*

| Indicador      | Línea Cobertura de chocolate (manual) | Línea Estándar (Automática) | Brecha de eficiencia |
|----------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Disponibilidad | 100%                                  | 100%                        | 0%                   |
| Rendimiento    | 75%                                   | 95%                         | +20%                 |
| Calidad        | 1.9%                                  | 98%                         | +96.1%               |
| OEE Global     | 1.4%                                  | 93%                         | +91.6%               |

*Nota:* El OEE de 1.4% es duramente afectado por el factor de Calidad compuesto Right First Time. Que se obtiene mediante la probabilidad conjunta de cumplimiento: Unidades con peso correcto (9.5%) X Unidades que no requieren limpieza (20%) = 1.9%. Este OEE no representa la eficiencia general de la planta y se limita solo a la producción de estos lotes.

Al evaluar el proceso manual bajo la óptica del OEE, se identificó que la productividad se desploma drásticamente debido a dos factores:

- **Rendimiento (75%).** Dado que la capacidad nominal del extrusor es de 650 L/h, la velocidad de mezcla manual limita el volumen total a 450 L/h, lo que resulta en una pérdida del 25% de utilización de activos, por lo que el equipo debe funcionar "estrangulado" para evitar la sobrecarga del personal.
- **Calidad combinada (1.9%).** Este es el problema más preocupante. Bajo el criterio de Conformidad Total (Right First Time), la línea falla en dos aspectos. El 80% de las unidades necesitan ser limpiadas para eliminar el exceso de helado y chocolate de los bordes o paredes exteriores, y este es un trabajo que toma un promedio de 9 segundos por contenedor. Sin embargo, con una variabilidad del operador que es demasiado alta, solo el 9.5% de las unidades pueden cumplir con el peso incluso con una tolerancia flexible de  $\pm 10$  g.

Esta brecha del 91.6% con respecto a los productos sin cobertura de chocolate confirma que la mezcla y transferencia manual sofocan la eficiencia de este proceso.

#### **4.1.2. Estudio de Ergonomía y Fatiga Operativa**

Para que el estudio de tiempos refleje la realidad operativa de Panameña de Helados S.A., se ha determinado un factor de suplementos que compensa exclusivamente la fatiga generada por las condiciones de trabajo. En este análisis, se han omitido las necesidades personales para aislar los factores físicos y ambientales que el proyecto de automatización busca erradicar.

### (a) Determinación del Factor de Fatiga (k)

Bajo los criterios de la OIT, el Factor de Fatiga (k) se desglosa de la siguiente manera, alcanzando un 16% de carga técnica:

**Tabla 3**

Determinación del Factor de Fatiga por Condiciones de Trabajo

| Categoría | Factor de Evaluación | Puntos (%) | Justificación Técnica (Situación As-Is)                 |
|-----------|----------------------|------------|---------------------------------------------------------|
| Constante | Fatiga Básica        | 4%         | Energía mínima requerida para el trabajo.               |
|           | Esfuerzo Físico      | 5%         | Peso + resistencia del helado + movimiento de mezcla.   |
| Variables | Postura              | 1%         | Trabajo de pie durante toda la operación.               |
|           | Ambiente Térmico     | 2%         | Ambiente frío (10°C) y contacto con envases a -5°C.     |
|           | Tensión Visual       | 1%         | Precisión necesaria para evitar derrames en el llenado. |
|           | Tensión Mental       | 1%         | Coordinación motriz y atención al flujo del helado.     |
|           | Monotonía            | 2%         | Alta repetitividad                                      |
| TOTAL (k) | Factor Definitivo    | 16%        |                                                         |

*Nota:* Adaptado de Introducción al estudio del trabajo (OIT, 1996).

### **(b) Validación Ergonómica (Método REBA)**

Como sustento técnico a los porcentajes de "Esfuerzo Físico" y "Postura", se realizó una evaluación mediante el método REBA (Rapid Entire Body Assessment). Esta herramienta evalúa la carga biomecánica y el riesgo de lesiones musculoesqueléticas.

**Tabla 4**

*Justificación de la Puntuación REBA en el Envasado Manual*

| Componente          | Hallazgo Observado                                                                               | Impacto en el Riesgo                                               |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Tronco y Cuello     | Flexión superior a 20° para alcanzar la cubeta receptora y visualizar el llenado.                | Tensión lumbar y cervical constante.                               |
| Miembros Superiores | Movimientos de batido circular con torsión de muñeca y fuerza aplicada contra el helado viscoso. | Elevado riesgo de tendinitis y fatiga en antebrazo.                |
| Fuerza / Carga      | Resistencia mecánica de la mezcla espesa sumada al peso del producto.                            | Carga superior a los límites recomendados para tareas repetitivas. |
| Puntaje Final       | 11 puntos                                                                                        | Nivel de Riesgo: MUY ALTO (Acción Inmediata).                      |

*Nota:* Basado en los criterios de evaluación biomecánica de Hignett y McAtamney (2000). La evidencia visual de los movimientos evaluados y la postura forzada se encuentra documentada en el registro audiovisual del Anexo C.

### **(c) Resultados de la Encuesta de Percepción (Voz del Trabajador)**

Los factores de fatiga técnica (16%) y el riesgo ergonómico detectado (REBA 11) se ven corroborados por la encuesta de percepción aplicada al personal de línea. El 88% de los operarios reporta fatiga moderada a severa en el miembro superior dominante (Figura 2), calificando el esfuerzo físico bajo la Escala de Borg como "Duro" a "Esfuerzo Máximo" (Figura 3).

**Figura 2**  
*Percepción de fatiga muscular y entumecimiento en miembros superiores del personal operativo*

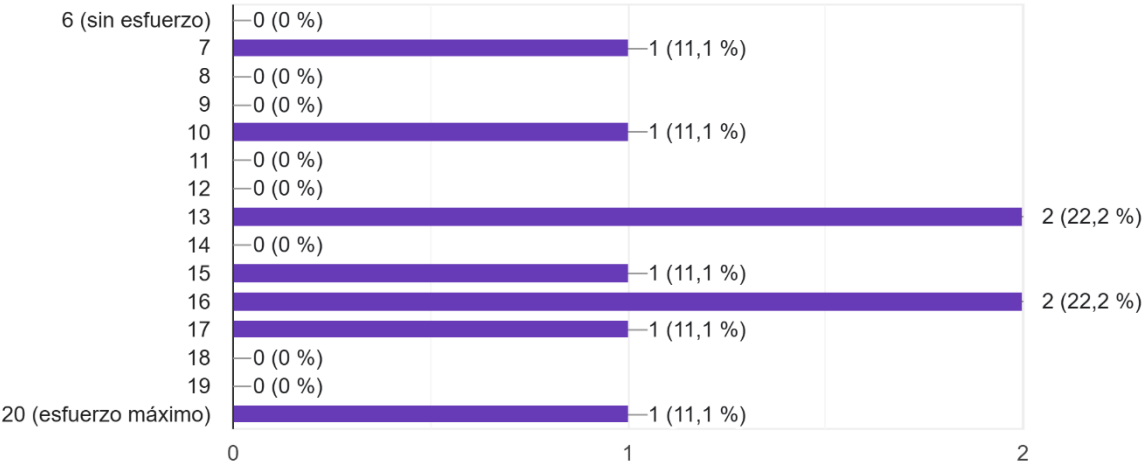
¿Siente entumecimiento o fatiga en la muñeca o antebrazo dominante debido al proceso de envasado de litros con stracciatella?  
 9 respuestas



Fuente: Elaboración propia (2026)

**Figura 3**  
*Percepción del esfuerzo físico percibido según la Escala de Borg en la tarea de envasado manual*

En una escala del 6 al 20, ¿Qué nivel de esfuerzo físico le demanda la tarea de envasado de litros con stracciatella? Referencia: 6 (Reposo), 13 (Algo duro), 17 (Muy duro), 20 (Esfuerzo máximo).  
 9 respuestas



Fuente: Elaboración propia (2026).

**Tabla 5**

Estadísticas Críticas de la Encuesta al Personal

| Indicador de Fatiga / Eficiencia | Resultado Observado                                 | Impacto en el Proceso                                                |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Nivel de Esfuerzo (Borg)         | Promedio de 15.3 (Cercano a "Muy Duro").            | Justifica el suplemento del 5% por esfuerzo físico.                  |
| Fatiga en Muñeca/Antebrazo       | 88.9% de respuestas afirmativas.                    | Valida el riesgo identificado por el REBA.                           |
| Interferencia Física             | 77.8% reporta incomodidad por espacio reducido.     | Confirma la muda de movimiento por exceso de operarios (8 personas). |
| Subutilización Técnica           | 100% considera que la tarea es mecánica/repetitiva. | Refuerza la viabilidad de la automatización para liberar             |

*Fuente:* Elaboración propia basada en la encuesta aplicada en planta (abril, 2026).

#### 4.1.3. Determinación del Tiempo Normal ( $T_n$ ) y Tiempo Estándar ( $T_s$ )

Una vez definido el factor de fatiga técnica del 16% ( $k = 0.16$ ), se procedió a calcular el tiempo estándar para las dos presentaciones críticas. El Tiempo Normal fue ajustado según la valoración del ritmo de trabajo observada en campo (100% para cubetas y un ritmo forzado de 110% en litros para intentar seguir el flujo de la extrusora).

**Tabla 6**

*Resumen de tiempos y capacidad real (Situación As-Is)*

| Presentación | Tiempo Observado ( $T_o$ ) | Ritmo de Trabajo ( $C_v$ ) | Tiempo Normal ( $T_n$ ) | Tiempo Estándar ( $T_s$ )* | Capacidad Real (Unid/Hora) |
|--------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Cubetas      | 26.83 s                    | 100%                       | 26.83 s                 | 31.12 s                    | 115                        |
| 1 litro      | 36.94 s                    | 110%                       | 40.63 s                 | 47.13 s                    | 76                         |

*Nota:* El cálculo del Tiempo Estándar se rige por la fórmula  $T_s = T_n \times (1 + k)$ . El resultado de 47.13 segundos para la presentación de 1 litro confirma matemáticamente la incapacidad del método manual para seguir el flujo nominal del congelador continuo, convirtiéndose en la restricción física del sistema.

#### 4.1.4. Análisis de Capacidad y Variabilidad (Calidad Metrológica)

Tras la recolección de datos en planta, se procedió a evaluar la capacidad del proceso de envasado bajo las condiciones actuales de adición manual de cobertura de chocolate, contrastándolas con la línea de litros lisos para establecer los objetivos de la automatización.

**Tabla 7**

*Indicadores de Capacidad y Control de Peso (Situación As-Is)*

| Parámetro Estadístico            | Línea con Cobertura de chocolate | Línea sabores "lisos" | Especificación (Meta) |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Peso Promedio ( $\bar{x}$ )      | 593.56 g                         | 609.72 g              | 605.00 g              |
| Desviación Estándar ( $\sigma$ ) | 20.91 g                          | 6.20 g                | < 3.33 g              |
| Límite Superior (USL)            | 615.00 g                         | 615.00 g              | --                    |
| Límite Inferior (LSL)            | 590.00 g                         | 590.00 g              | --                    |
| Índice $C_p$                     | 0.20                             | 0.67                  | 1.25                  |
| Índice $C_{pk}$                  | 0.14                             | 0.28                  | 1                     |

*Nota: El cálculo del índice de capacidad potencial ( $C_p$ ) para la línea de cobertura de chocolate se basa en la fórmula  $C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$ , donde el rango de especificación es de*

*25 g (615 - 590). Aplicando los valores observados:  $C_p = \frac{25}{6 \times 20.91} = 0.1992 \approx 0.20$ .*

*Fuente: Elaboración propia basada en el levantamiento de datos en planta GELARTI (2026).*

*Nota: El  $C_{pk}$  de la línea lisa es bajo (0.28) no por su desviación, sino porque el promedio (609.72 g) está muy descentrado. Si se centrara la línea lisa a 605 g con sus actuales 6.20 g de desviación, su  $C_{pk}$  subiría a 0.53.*

El análisis de los indicadores revela una brecha crítica de control:

- (a) Incapacidad del Proceso Manual:** La línea de cobertura de chocolate presenta un  $C_{pk}$  de 0.14, lo que clasifica al proceso como "No Apto". La desviación estándar de 20.91 g evidencia que la intervención manual introduce una

variabilidad inmanejable que supera los límites de tolerancia, generando tanto riesgos de faltantes de peso como excesos no controlados.

**(b) Referencia Mecánica:** La línea de litros lisos demuestra que la maquinaria dosificadora es capaz de mantener una estabilidad superior ( $\sigma = 6.2 \text{ g}$ ). Sin embargo, su  $C_{pk}$  de 0.28 indica que el proceso está severamente descentrado hacia el límite superior, incurriendo en un desperdicio de materia prima (overfill) que es controlable con ajustes menores en los parámetros de la máquina.

**(c) Establecimiento del Objetivo:** Se define como meta de este proyecto alcanzar una desviación estándar de 3.33 g. Este valor garantiza un  $C_{pk}$  de 1.0, lo que significa que el proceso estará centrado y bajo control, asegurando que el 99.73% de la producción cumpla con el estándar de calidad y peso legal.

Esta mejora representa una reducción proyectada del 84% en la variabilidad del proceso con cobertura de chocolate, justificando técnicamente la necesidad de implementar el sistema de dosificación automática mediante la dosificadora de salsas y el control PID de temperatura.

## **4.2 FASE II: Ingeniería de Detalle Y Dimensionamiento Técnico**

Después de demostrar la insostenibilidad operativa y ergonómica del método manual, esta fase desarrolla la ingeniería detallada para la automatización del proceso. La propuesta (Situación To-Be) se basa en el aprovechamiento y acoplamiento técnico de la infraestructura subutilizada de la planta.

### **4.2.1. Compatibilidad Técnica e Integración de Flujo**

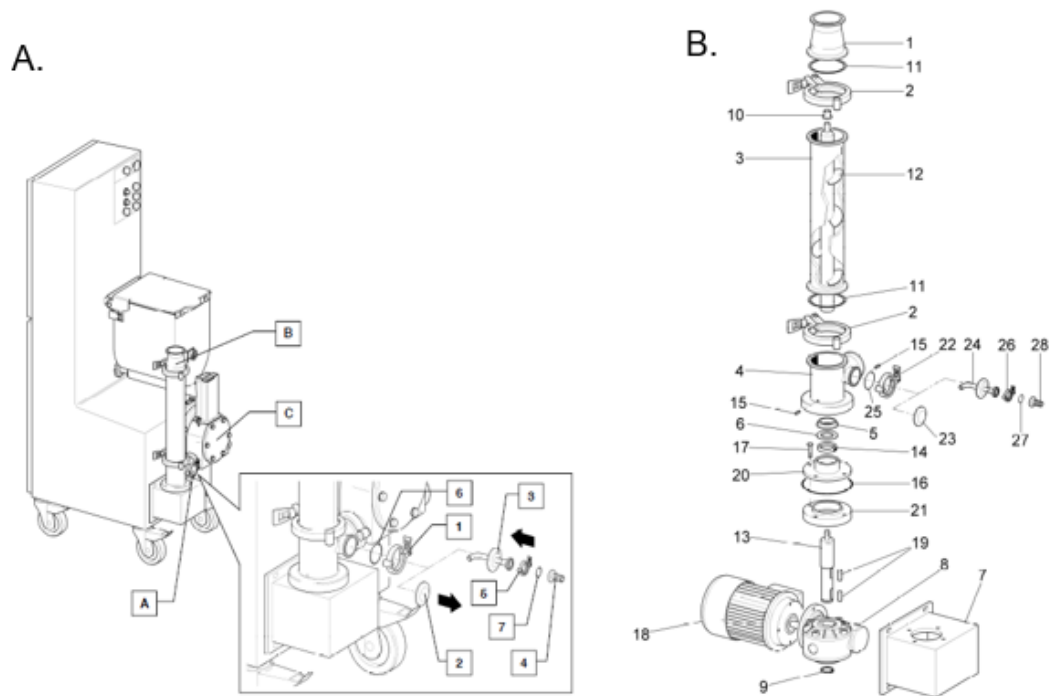
El núcleo de la propuesta consiste en integrar la unidad de la bomba de dosificación de salsas, con el mezclador dinámico y el congelador continuo vertical.

A diferencia del método actual, donde el chocolate se añade manualmente utilizando "teteros" a la salida de la máquina, creando una mezcla errática, el nuevo sistema inyectará a través de la dosificadora de salsas la cobertura de chocolate directamente en la tubería de flujo de helado proveniente del Congelador continuo vertical. Esta inyección ocurre herméticamente justo antes del mezclador dinámico integrado.



**Figura 4**

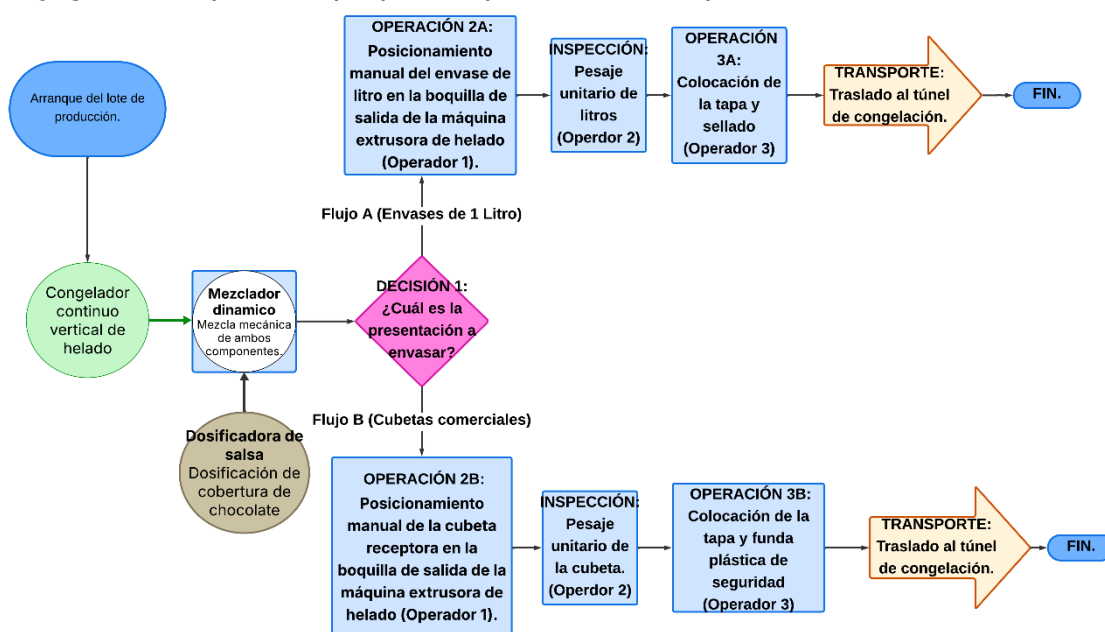
*Sistema de inyección y mezclado dinámico.*



Nota: (A) Ubicación del punto de acople hermético para la inyección de la cobertura de chocolate. (B) Detalle de las espas del mezclador dinámico responsables de la distribución uniforme y preservación del overrun. Tomado de Manual de instrucciones: Alimentador de ingredientes IF-2000 (Gram Equipment, 2008).

**Figura 5**

*Flujograma de proceso propuesto para envasado para helado con cobertura de chocolate*



Nota: En la figura 5 se muestra el flujograma final una vez se implemente la propuesta del proyecto

#### 4.2.2. Sistema de Control Térmico y Viscosidad (Lazo PID)

Para asegurar la fluidez de la cobertura de chocolate y evitar obstrucciones por cristalización de la manteca de cacao en la bomba dosificadora de salsas, se dimensionó un sistema de calefacción periférica de lazo cerrado:

- **Hardware de Actuación.** Se utilizará una faja térmica industrial diseñada para calentadores de tambor, la cual rodeará el depósito de chocolate aportando una potencia térmica constante.
- **Control de Precisión (PID).** El sistema será gobernado por un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo). Este recibirá señales en tiempo real de un sensor de temperatura ubicado en la salida de la bomba, regulando la faja térmica para mantener el chocolate a un set-point ideal de 30°C.
- **Impacto Operativo.** Según los estándares de la industria, esta temperatura garantiza una viscosidad reológica óptima para el bombeo, sin comprometer la estructura de los cristales de hielo del helado base.

#### **4.2.3. Optimización de la Calidad Metrológica**

La integración mecánica resuelve los problemas de control estadístico diagnosticados en la Fase I. Al vincular la bomba dosificadora de salsas con el mezclador dinámico, el helado con cobertura de chocolate fluirá directamente a la boquilla de salida. Esto permite un llenado volumétrico constante que elimina la transferencia manual y, por lo tanto, estabiliza el peso neto en los 600 g nominales. Liberado del trasiego manual, el operador ahora tendrá el tiempo necesario para realizar validaciones de peso en línea.

#### **4.2.4. Protocolo de Inocuidad y Diseño Sanitario**

La automatización del proceso no solo optimiza el rendimiento y la calidad, sino que eleva los estándares de inocuidad al reducir drásticamente la manipulación humana directa del producto. La integridad sanitaria de la propuesta se sustenta en tres pilares tecnológicos:

- (a) Diseño Sanitario de Origen.** Las máquinas (Dosificadora de salsas y mezclador dinámico) están construidas en acero inoxidable 304/316L. Estas superficies son inertes, no porosas y resistentes a la corrosión, evitando la adherencia de biopelículas y residuos de grasa láctea.
- (b) Sistema CIP (Clean In Place) Integrado.** La unidad de dosificación de chocolate integra de manera nativa un sistema de limpieza in situ. Esto permite la sanitización interna de la bomba y los conductos mediante la recirculación de soluciones desinfectantes y agua caliente a presión, asegurando una desinfección profunda sin necesidad de un desmontaje manual complejo.
- (c) Conexiones Sanitarias Tri-Clamp.** Todas las nuevas integraciones y tuberías añadidas están hechas de acero inoxidable de grado alimenticio con conexiones de acoplamiento rápido Tri-Clamp. Estas uniones aseguran la hermeticidad y están libres de "zonas muertas" donde el producto podría acumularse. Su diseño permite un montaje y desmontaje ágil para inspecciones visuales, sin requerir herramientas especiales

### **4.3 FASE III: Modelado Financiero y Evaluación Económica**

Las mejoras en la planta de producción deben basarse en la viabilidad económica. El propósito de esta fase es demostrar financieramente que la adaptación de equipos subutilizados no es un gasto, sino una inversión estratégica, de la cual se puede obtener un retorno mediante la eliminación de los desperdicios operativos previamente identificados y puede autofinanciarse.

Para adherirse a los requerimientos de confidencialidad de Panameña de Helados S.A. (ver anexo A), este análisis de costo-beneficio prescinde de información sensible sobre la estructura de costos directos del producto (recetas y valor comercial). En su lugar, el estudio se centra en la variación de los Gastos Operativos (OPEX) frente al Gasto de Capital (CAPEX) requerido.

Para el cálculo del OPEX, se toma como referencia el salario mínimo legal vigente en Panamá, incluyendo los recargos administrativos y prestaciones correspondientes. Asimismo, para la estimación de los Costos Indirectos de Fabricación (CIF), se utilizará el valor de la tarifa eléctrica industrial vigente.

#### **4.3.1. Estructura de Inversión (CAPEX)**

Dado que la empresa ya posee la unidad dosificadora de salsas y el mezclador dinámico el proyecto se beneficia de un CAPEX marginal. La inversión inicial se ha actualizado con cotizaciones reales, incluyendo la adición de un agitador neumático para garantizar la homogeneidad de la mezcla en la tolva de alimentación.

**Tabla 8**

*Presupuesto estimado de la inversión de capital (CAPEX)*

| Ítem / Descripción de la Adecuación                   | Cantidad | Costo Unitario<br>(B/.) | Costo Total<br>(B/.) |
|-------------------------------------------------------|----------|-------------------------|----------------------|
| Fajas térmicas industriales (500 W)                   | 1        | 750.00                  | 750.00               |
| Controlador de temperatura PID y<br>Sensores          | 1        | 1,898.31                | 1,898.31             |
| Acoples de acero inoxidable<br>(Grado sanitario 316L) | 1        | 1,365.00                | 1,365.00             |
| Mano de obra de integración y<br>calibración          | 1        | 1,199.83                | 1,199.83             |
| Agitador Neumatico                                    | 1        | 750.00                  | 750.00               |
| Total, inversión inicial (CAPEX)                      |          |                         | 5,963.14             |

#### **4.3.2. Proyección de Ahorros en Mano de Obra Directa (MOD)**

Pasar al sistema automatizado permite una profunda reingeniería de la nómina operativa. Los ahorros se calculan a través de un modelo de eficiencia por evento de proceso, contabilizando exclusivamente el tiempo de ejecución de lotes de helado con cobertura de chocolate, aplicando el costo de la hora-hombre de B/. 4.71/h.

##### **(a) Línea de 1 Litro (Lotes de 1 hora)**

El proceso manual actualmente se ejecuta con 8 operadores (ver Anexo B). Dado el sistema automatizado, el requisito se reduce a solo 3 operadores (llenado/validación visual, control de peso y tapado/apilamiento) lo que lleva a una reducción del 62.5% en las cargas laborales. Además, un aumento en el flujo de llenado en el proceso proporciona un 25% de eficiencia en el tiempo.

- Situación Actual: 8 personas x 1.0 h x 7 lotes/mes = 56.0 h-hombre/mes.
- Situación Propuesta: 3 personas x 0.75 h x 7 lotes/mes = 15.75 h-hombre/mes.
- Ahorro mensual MOD Litros: (40.25 h-hombre) x B/. 4.71 = B/. 189.58.

### **(b) Línea de Cubetas (Lotes de 1.5 horas)**

En esta línea, el ahorro se percibe al eliminar la necesidad de un cuarto operario destinado a las tareas de batido manual durante el tiempo de lote.

- Situación Actual: 4 personas x 1.5 h x 30 lotes/mes = 180.0 h-hombre/mes.
- Situación Propuesta: 3 personas x 1.5 h x 30 lotes/mes = 135.0 h-hombre/mes.
- Ahorro mensual MOD Cubetas: (45.0 h-hombre) x B/. 4.71 = B/. 211.95.

Ahorro Mensual Consolidado (MOD): B/. 401.53

### **4.3.3. Variación de los Costos Indirectos de Fabricación (CIF)**

La introducción de la unidad dosificadora de salsas y el sistema de Termorregulación PID genera un incremento marginal en el consumo energético de la planta. Este costo se calcula multiplicando la potencia instalada por el tiempo de uso y la tarifa industrial vigente en Panamá (aprox. B/. 0.18/kWh).

- Carga Eléctrica: Motores (1.12 kW; Gram Equipment, s.f.) + Resistencias (0.50 kW) = 1.62 kW. Consumo Mensual:
  - Línea 1L: (7 lotes x 0.75 h) = 5.25 h/mes.
  - Línea Cubetas: (30 lotes x 1.5 h) = 45.00 h/mes.
  - Total, uso: 50.25 h/mes.
- Incremento en CIF: (1.62 kW x 50.25 h) x B/. 0.18 = B/. 12.84 / mes.

### **4.3.4. Monetización del Ahorro por Reducción de Merma**

Como se identificó en el planteamiento del problema, el proceso manual genera una merma estimada del 1.03% de materia prima (cobertura de chocolate) por lote, debido a la cristalización en los contenedores y al trasiego ineficiente.

Dado que los costos exactos de los insumos son confidenciales, para este análisis se ha realizado una estimación conservadora basada en precios de mercado genéricos para el chocolate industrial. Se proyecta que la automatización, al inyectar el producto

directamente desde el envase original bajo control térmico, erradicará el desperdicio por adherencia y choque térmico.

- **Ahorro estimado por lote:** B/. 0.50 a B/. 0.80 (basado en volumen de merma recuperada).
- **Impacto mensual consolidado:** Se estima un ahorro adicional de entre B/. 15.00 y B/. 25.00.

Para efectos del cálculo de rentabilidad, se utilizará el valor superior de B/. 25.00 como beneficio por recuperación de materia prima.

#### 4.3.5. Determinación del Periodo de Recuperación (Payback)

Para calcular el ahorro neto mensual que justificará el proyecto, se resta el nuevo costo de energía (CIF) al ahorro generado por la optimización de la mano de obra (MOD) y mermas.

**Tabla 9**

*Determinación del ahorro neto operativo mensual*

| Concepto                                 | Monto Mensual (B/.) |
|------------------------------------------|---------------------|
| Ahorro MOD (Litros + Cubetas)            | + B/. 401.53        |
| Ahorro por recuperación de merma (1.03%) | + B/. 25.00         |
| Incremento CIF (Energía Eléctrica)       | - B/. 12.84         |
| <b>Ahorro Neto Real</b>                  | <b>B/. 413.69</b>   |

Con un flujo de caja positivo constante generado por los ahorros operativos, se procede a calcular el tiempo de retorno de la inversión mediante la fórmula estandarizada:

$$Payback = \frac{CAPEX}{Ahorro Mensual Neto}$$

$$Payback = \frac{5,963.14}{413.69} = 14.41 \text{ meses}$$

El resultado arroja un Periodo de Recuperación (Payback) de 14.41 meses. Este indicador demuestra que el proyecto es financieramente conservador y altamente rentable, ya que la maquinaria recuperará el costo de su adecuación en poco más de un año de operación ininterrumpida, generando utilidad neta a partir del mes 15.

#### 4.3.6. Análisis de Sensibilidad Financiera

Para fortalecer la solidez de la propuesta ante la gerencia general de GELARTI, se presenta un análisis de sensibilidad que evalúa el impacto de las variaciones en el volumen de producción mensual sobre los indicadores de retorno. Este análisis permite identificar el nivel de riesgo del proyecto ante posibles fluctuaciones en la demanda de helado con cobertura de chocolate.

Se han definido tres escenarios basados en la frecuencia de lotes procesados:

- **Escenario Optimista:** Supone un incremento del 15% en la producción, impulsado por temporadas altas o crecimiento de mercado.
- **Escenario Base:** Refleja la situación operativa actual documentada en el estudio de tiempos.
- **Escenario Pesimista:** Contempla una reducción drástica del 30% en la programación de lotes, evaluando la capacidad del proyecto para autofinanciarse en condiciones desfavorables.

**Tabla 10**

*Matriz de Escenarios de Retorno*

| <b>Escenario</b> | <b>Variación de Producción</b> | <b>Ahorro Neto Mensual</b> | <b>Payback (Meses)</b> |
|------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------|
| <b>Optimista</b> | +15% lotes                     | B/. 447.00                 | 12.5                   |
| <b>Base</b>      | 0% (Actual)                    | B/. 413.69                 | 14.4                   |
| <b>Pesimista</b> | -30% lotes                     | B/. 272.08                 | 20.6                   |



El análisis demuestra una alta resiliencia financiera. Incluso en el escenario pesimista, donde la producción cae un 30%, el periodo de recuperación (Payback) se mantiene por debajo de los 24 meses (20.6 meses). Para una inversión de capital (CAPEX) de B/. 5,963.14, un retorno en menos de dos años se considera altamente atractivo bajo los estándares de la industria manufacturera panameña.

En el escenario optimista, la eficiencia en el uso de la mano de obra y la reducción de mermas permiten recuperar la inversión en apenas 12.5 meses, acelerando la generación de utilidad neta para la organización. Esta estabilidad en los indicadores confirma que la automatización del sistema de adición de cobertura de chocolate es una inversión de bajo riesgo y alto impacto estratégico.

#### **4.4 FASE IV: Estructuración y Presentación de la Propuesta**

En esta etapa, todos los conocimientos técnicos, operativos y financieros se sintetizan en la propuesta final de mejora. Su objetivo es proporcionar a la gerencia general la base cuantitativa y estratégica necesaria para tomar decisiones sobre la aprobación del proyecto de automatización.

##### **4.4.1. Consolidación de Beneficios Estratégicos**

Más allá del ahorro directo en la nómina operativa, la viabilidad del proyecto se sustenta en beneficios de alto impacto que protegen la integridad de la marca y del personal. La implementación del sistema To-Be garantiza:

- **Preservación de la Textura y Calidad Gourmet.** Como parte integral de la categoría gourmet en sí, el atractivo sensorial del cliente es el activo máspreciado para Gelarti. Con el tiempo, el batido manual expone el producto a variaciones de temperatura y aumenta la pérdida de overrun (aire incorporado), lo que degrada la cremosidad y promueve la cristalización del hielo perceptibles al paladar. Al agregar chocolate en línea bajo un estricto control PID a 30 °C, un sistema automático proporciona un choque térmico uniforme e instantáneo dentro de la tubería. Esto produce hojuelas de cobertura de chocolate finas y crujientes, preservando la estructura cremosa de la base y garantizando el perfil de textura superior que exige el mercado premium.

- **Mitigación de Riesgos Legales (Metrología).** Al sustituir el llenado manual por un proceso volumétrico constante guiado por la dosificadora de salsas, se estabiliza el peso neto por encima de los 600 g. Esto eleva el Índice de Capacidad ( $C_{pk}$ ) a niveles aceptables, eliminando la exposición de la empresa a multas y sanciones por subllenado por parte de la autoridad competente (ACODECO).
- **Ergonomía y Salud Ocupacional.** La eliminación del batido manual reduce 4% de carga técnica por fatiga operativa. Al evitar posturas en flexión prolongadas y manipulación de cargas en un ambiente frío (10°C), se reduce significativamente el riesgo de lesiones musculoesqueléticas, lo que impactará positivamente en la disminución del ausentismo laboral y las primas de riesgo profesional.
- **Reducción de Producto no Conforme (PNC).** La cobertura de chocolate se inyecta directamente en el flujo interno en un sistema automatizado para evitar derrames. Esto nos permitirá suprimir el 80% de los envases manchados en la línea de 1 Litro, eliminando parte del retrabajo oculto y el tiempo dedicado a la limpieza externa y el desperdicio de material de embalaje.
- **Seguridad Alimentaria.** La integración de tuberías sanitarias de acero inoxidable 316L y el uso nativo del sistema de limpieza Clean In Place (CIP) aseguran una desinfección profunda de la línea sin desarmado complejo, blindando la inocuidad del helado.

#### 4.4.2. Proyección Financiera Consolidada (ROI y Payback)

En apoyo a la toma de decisiones gerenciales, el impacto económico del proyecto se proyecta utilizando B/. 413.69 Ahorros Netos Reales por mes, en comparación con su Inversión Inicial (CAPEX) que asciende a B/. 5,963.14.

##### (a) Período de Recuperación (Payback):

Como se calculó en la fase anterior, la maquinaria recuperará el costo de adaptación después de 14.4 meses de operación ininterrumpida. Debido a que la recuperación es de poco más de un año, el perfil de riesgo financiero de la empresa es bastante bajo

### **(b) Retorno sobre la Inversión (ROI) a 3 años:**

Considerando la vida útil prolongada de los equipos industriales, se proyecta el rendimiento de la inversión en un horizonte conservador de 36 meses.

- Ahorro Operativo Proyectado (36 meses): B/. 413.69 x 36 = B/. 14,892.84
- Cálculo del ROI:

$$ROI = \frac{\text{Beneficio Total Proyectado} - \text{Inversión Inicial}}{\text{Inversión Inicial}}$$

$$ROI = \frac{14,892.84 - 5,963.14}{5,963.14} \times 100 = 149.7\%$$

Un ROI del 149.7% a 3 años indica que por cada dólar invertido en la adecuación del sistema PID y los acoples sanitarios, la empresa recuperará su capital y generará casi B/. 1.50 adicionales en ahorros netos de eficiencia.

#### **4.4.3. Resumen Ejecutivo para la Gerencia General**

El diagnóstico operativo revela que la dosificación manual actual de cobertura de chocolate parece ser un cuello de botella operativo de la planta, con un OEE marginal de 1.4% y alto riesgo de incumplimiento metrológico. La solución práctica necesita un capital inicial de B/. 5,963.14. Para que esta ejecución sea aprobada, Panameña de Helados S.A. logrará una reducción del 62.5% en la carga de beneficios de este subproceso, recuperará el 100% de la inversión dentro de 14.41 meses y generará un retorno del 149.7% en los primeros tres años, mientras logra el cumplimiento metrológico y alta calidad premium del producto.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo sintetiza los hallazgos finales de la investigación, contrastando los resultados obtenidos con los objetivos inicialmente planteados. Se presentan las conclusiones derivadas del análisis técnico-económico y se formulan recomendaciones estratégicas para garantizar la sostenibilidad y mejora continua del sistema implementado.

#### 5.1 Conclusiones

Basado en las tareas finales de diagnóstico, diseño y evaluación económica, las conclusiones son las siguientes de acuerdo con los propósitos de la investigación:

- **Diagnóstico y Capacidad de Procesos:** Se confirma que el sistema manual actual es estadísticamente incapaz en términos de desempeño de la siguiente manera: El  $C_{pk}$  y la desviación estándar fueron  $C_{pk}$  de 0.14 y 20.91 g. Sin embargo, la varianza detectada, sumada a un OEE marginal del 1.4%, demuestra que la dependencia exclusiva de la intervención humana es la causa principal de la inestabilidad del proceso y del incumplimiento de los estándares metrologicos en la planta
- **Diseño e Ingeniería en Más Detalle:** Se demostró la compatibilidad de la infraestructura que quedó infrautilizada para la integración técnica. La Bomba dosificadora de salsas controlados con precisión por PID y un dispositivo Mezclador Dinámico que se conecta con el congelador continuo vertical. Este diseño asegura un flujo de volumen uniforme, que busca estabilizar la desviación estándar (3.33 g), estabilizándola a un  $C_{pk}$  objetivo de 1.00.
- **Impacto Ergonómico y Social:** La estimación (utilizando el método de evaluación REBA) puntuando la evaluación con una puntuación de 11 (riesgo Muy Alto), confirmada por el 88.9% del personal que reportó fatiga en las extremidades superiores. La automatización elimina posturas forzadas, dosificación y batido manual, eliminando un 4% de la carga de fatiga técnica, y mejorando en gran medida las condiciones de salud ocupacional (fatiga técnica).

- **Viabilidad financiera:** El proyecto cumple con las demandas financieras, con una inversión inicial de capital de B/. 5,963.14, lo cual es financieramente estratégico. Tanto la optimización de la mano de obra directa como la reducción de desperdicios generan un ahorro neto mensual de B/. 413.69— 14.41 meses de período de recuperación con un ROI estimado a tres años de 149.7%

## 5.2 Recomendaciones

Según los resultados, se aconseja a la Gerencia General y al departamento de Operaciones de GELARTI:

- **Ejecución de Inversiones:** Bajo el presupuesto, el proyecto se autofinancia en menos de un año y medio, por lo tanto, la adquisición de componentes electrónicos (controladores PID y sensores) y acoplamientos sanitarios 316L debe proceder según lo detallado.
- **Implementación del Control Estadístico de Procesos (SPC):** Una vez que el sistema esté automatizado, se recomienda implementar Gráficos de Control de Medias y Rangos ( $\bar{X}$ -R) en tiempo real durante la producción de los lotes. Esto permitirá aprovechar la precisión del sistema para centrar el peso en 605 g, eliminando el sobrellenado detectado en la línea de referencia
- **Mantenimiento Preventivo y Limpieza:** Integrar el nuevo lazo de control y la bomba dosificadora de salsas al plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM) de la planta, asegurando la validación periódica del sistema CIP (Clean In Place) para mantener los estándares de inocuidad alimentaria.
- **Continuidad mediante la metodología SMED:** Diseñar un procedimiento de cambio de formato y alistamiento bajo la metodología SMED para reducir el tiempo improductivo entre lotes.
- **Protección de Activos:** Establecer un protocolo de precalentamiento para el sistema (bomba dosificadora de salsas y mangueras) circulando agua caliente a 35°C antes de iniciar producción. Esto permite que la bomba no experimente un choque térmico, y que la cobertura de chocolate mantenga su viscosidad desde el primer segundo de operación, previniendo daños mecánicos
- **Capacitación Técnica:** Capacitar a los operadores en la línea de litros y al equipo de técnicos de mantenimiento en el proceso de uso de controladores digitales y en la interpretación de alarmas térmicas, transformando su rol de operadores manuales a controladores de procesos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Beckett, S. T. (2017). La Ciencia del Chocolate (2ª ed.). Acibia.  
<https://books.google.com.pa/books?id=ny9oVf4usz8C&lpg>
- Caja de Seguro Social. (2011). Resolución No. 45,588-2011-J.D., que aprueba el Reglamento General de Prevención de Riesgos Profesionales. Panamá: Gaceta Oficial No. 26,739-A. <https://w3.css.gob.pa/wp-content/wdocs>
- Creus Solé, A. (2010). Instrumentacion Industrial (8ª ed.). Barcelona: Marcombo S.A.  
<https://es.slideshare.net/slideshow/instrumentacion-industrial-creus-8th/45865419#6>
- FAO y OMS. (2023). Principios Generales de Higiene de los Alimentos. (C. 1.-1. Codex Alimentarius Códigos de Prácticas, Ed.) Roma.  
<https://doi.org/10.4060/cc6125es>
- Gram Equipment A/S. (2008). Manual de instrucción: IF 2000 400/3/50, 46-3406-9 84 085 1119 (Vol. 1). Vojens.
- Groover, M. P. (2014). Work Systems: The Methods, Measurement and Management of Work (1ª ed.). Pearson Education Limited.  
<https://es.scribd.com/document/490951465/Groover-Mikell-P-Work-systems-the-methods-measurement-and-management-of-work-Pearson-2013-2014-pdf>
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2013). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma (3ª ed.). México D.F.: McGraw-Hill.  
<https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>
- H. Goff, D., Hartel, R. W., & Rankin, S. A. (2025). Ice Cream (8th ed.). Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-77872-8>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). Metodología de la Investigación (6ª ed.). Mexico D.F.: McGraw Hill.  
[https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)

- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor (4<sup>a</sup> ed.). Prentice Hall.
- Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2019). Administracion de Operaciones Produccion y Cadena de Suministros Decimoquinta edición. Mexico: Mc Graw Hill. <https://ucmeanop.com/wp-content/uploads/2020/08/Administracion-de-Operaciones-Produccion-y-Cadena-de-Suministro-13edi-Chase.pdf>
- Kanawaty, G. (1996). Introduccion al Estudio del Trabajo. Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo. <https://www.gsconsultores.org/Kanawaty-FREELIBROS.ORG.pdf>
- Mondelo, P., Torada, G. E., & Bombardo Barrau, P. (1999). Ergonomía 1. Alfaomega Edicions UPC. <https://pdfcoffee.com/ergonomia-1-fundamentos-4-pdf-free.html>
- Mott, R. L., & Untener, J. A. (2015). Mecánica de Fluidos (7<sup>a</sup> ed.). México: Pearson Educacion. <https://es.scribd.com/document/862707152/1-Mecanica-de-Fluidos-7-Ed-Robert-Mott-Spanish#page=1>
- Nakajima, S. (1988). Introduccion TPM: Total Productive Maintenance. Oregon: Productivity Press. <https://es.scribd.com/document/535428942/Introduction-to-TPM-Total-Productive-Maintenance>
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). Ingenieria Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo (12<sup>a</sup> ed.). Mexico: Mc GrawHill. <https://fdiazca.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/06/metodos-tiempos-y-movimientos.pdf>
- Oficina Internacional del Trabajo. (1996). Introducción al estudio del trabajo. Ginebra: OIT. <https://www.gsconsultores.org/Kanawaty-FREELIBROS.ORG.pdf>
- Orrego, C. E. (2003). Procesamiento de Alimentos. Manizales: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Orrego-4/publication/288824547\\_PROCESAMIENTO\\_DE\\_ALIMENTOS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Orrego-4/publication/288824547_PROCESAMIENTO_DE_ALIMENTOS.pdf)



- Ramírez Pérez, J. F., López Torres, V. G., Hernández Castillo, S. A., & Morejón Valdés, M. (2021). Lean Six Sigma e Industria 4.0, Una Revisión Desde la Administración de Operaciones para la Mejora Continua de las Organizaciones. UNESUM-Ciencias: Revista Científica Multidisciplinaria. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v5.n4.2021.584>
- Smith, C. A., & Corripio, A. B. (1991). Control Automático de Procesos : Teoría y Práctica. México: Limusa. <https://pastranamoreno.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/02/control-automatico-de-procesos-by-vart1.pdf>
- Sullivan, W. G., Wick, E. M., & Koelling, C. P. (2015). Engineering Economy (16th ed.). London: Pearson Education. <https://elcom-team.com/Subjects/Engineering%20Economics/Engineering-Economy-16th-Edition-by-William-G-Sullivan-and-Elin-M-Wicks.pdf>
- Womack, J., & Jones, D. (2003). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation (2<sup>a</sup> ed.). New York: Free Press. [https://www.researchgate.net/publication/200657172\\_Lean\\_Thinking\\_Banish\\_Waste\\_and\\_Create\\_Wealth\\_in\\_Your\\_Corporation](https://www.researchgate.net/publication/200657172_Lean_Thinking_Banish_Waste_and_Create_Wealth_in_Your_Corporation)

## Anexo A. Requerimientos de confidencialidad solicitados por la gerencia de Panameña de Helados S.A.

14/4/26, 11:54

Correo de UNICYT - Solicitud de autorización-Trabajo de Grado.



Jhoyner Jose Figueredo Cabrera <jhoyner.figueredo@unicyt.net>

---

### Solicitud de autorización-Trabajo de Grado.

---

Silvana [REDACTED]

3 de marzo de 2026 a las 14:00

Para: jhoyner.figueredo@unicyt.net

Cc: [REDACTED]

Estimado Jhoyner,

Espero que se encuentre muy bien.

En relación con la solicitud recibida para el desarrollo del Trabajo de Grado sobre la optimización del proceso de envasado de helados de litro con stracciatella, confirmo que estamos de acuerdo en brindar el apoyo solicitado, siempre y cuando se cumplan estrictamente los siguientes lineamientos de seguridad de la información:

1. Validación de Contenidos: Toda la información, datos, fotografías o documentos que se pretendan incluir en el proyecto deberán ser revisados y validados previamente por Mariangel.
2. Restricción de Información Sensible: Bajo ninguna circunstancia se autoriza la divulgación de datos cuantitativos exactos, cifras de rentabilidad, volúmenes reales de producción o información sobre costos.
3. Protección de Propiedad Intelectual: El proyecto no deberá incluir detalles específicos sobre la formulación de nuestros productos o del proceso de stracciatella, ni descripciones técnicas que comprometan nuestro "know-how".
4. Gestión Reputacional: Se debe evitar cualquier mención a reclamos de marca o situaciones operativas críticas que puedan afectar la imagen de la compañía.

Nuestra intención es apoyar la formación profesional, asegurando que el análisis se mantenga en un marco académico de optimización de procesos mediante porcentajes o datos, sin exponer la integridad estratégica de la planta.

Quedo atenta a cualquier inquietud,

Saludos,

[REDACTED]  
**Panameña de Helados, S. A.** | Cl. 2 Llano Bonito, Juan Díaz, Local N° 10

Gelarti Helado Gourmet | Cookie Jaar Panamá | Twister

[El texto citado está oculto]

---

 Anteproyecto-OTL-Jhoyner Figueredo.pdf  
377K

**Anexo B.** Registro fotográfico de los 8 operarios asignados a la línea de envasado manual.



*Nota:* La imagen muestra la alta densidad de personal requerida en la estación de envasado para intentar mantener el ritmo de flujo del congelador continuo.

*Fuente:* Elaboración propia (2026).

**Anexo C.** Registro audiovisual del proceso de dosificación y mezcla manual de cobertura de chocolate

**Figura C1**

Demostración del ciclo de adición de chocolate en la línea de litros



*Nota:* El siguiente material audiovisual documenta la secuencia de movimientos repetitivos y la coordinación requerida para intentar mezclar el helado y la cobertura de chocolate. Se observa claramente la variabilidad en la dosificación y la fatiga biomecánica identificada en el estudio REBA. Para visualizarlo, escanee el código con la cámara de su dispositivo móvil o un lector de QR. En caso de falla, puede acceder mediante el siguiente enlace:

[https://drive.google.com/file/d/1V959rInNLODb6ZPpMFmWaVK3z2IVotLA/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1V959rInNLODb6ZPpMFmWaVK3z2IVotLA/view?usp=drive_link)

Fuente: Elaboración propia (2026)