



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN UN PROTOTIPO DE CONTADORA DE
CAMELOS AUTOMATIZADA CON UNA CAPACIDAD DE 20 kg/h**

Trabajo de titulación previo la obtención del
Título de: **Ingeniero Mecánico**

AUTOR: GUSTAVO FRANCISCO FIERRO ORTIZ

TUTOR: JAIME ROLANDO HEREDIA VELASTEGUÍ

Quito - Ecuador

2026

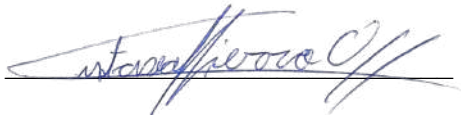
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Gustavo Francisco Fierro Ortiz con documento de identificación N.º1724181878; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo: y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 12 de febrero del año 2026.

Atentamente,



Gustavo Francisco Fierro Ortiz

1724181878

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Gustavo Francisco Fierro Ortiz con documento de identificación N.º1724181878, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor de la Propuesta Tecnológica: "Diseño y construcción de un prototipo contador de caramelos automatizado con una capacidad de 20 kg/h.", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de febrero del año 2026

Atentamente,



Gustavo Francisco Fierro Ortiz

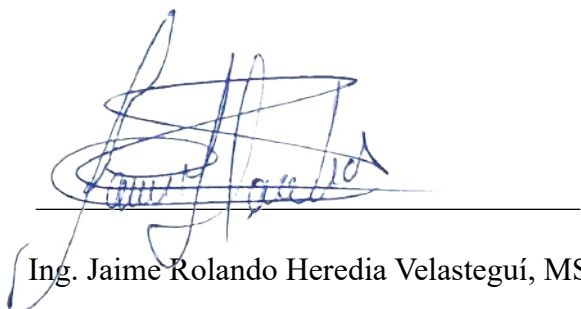
1724181878

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jaime Rolando Heredia Velasteguí con documento de identificación N°1721400768, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO CONTADOR DE CAMELOS AUTOMATIZADO CON UNA CAPACIDAD DE 20 KG/H , realizado por Gustavo Francisco Fierro Ortiz con documento de identificación N°1724181878, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta Tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de febrero del año 2026

Atentamente,



Ing. Jaime Rolando Heredia Velasteguí, MSc.

1721400768

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Inicialmente, expreso mi gratitud a Dios por concederme la fuerza, el entendimiento y la constancia necesarios para finalizar este capítulo de mi existencia. Agradezco su guía constante, la claridad que aportó a mis elecciones y su apoyo durante los instantes más complicados.

A la prestigiosa Universidad Politécnica Salesiana, mi sincero reconocimiento por ofrecerme una formación sobresaliente, principios éticos y las habilidades esenciales para mi desarrollo profesional y personal. A su profesorado, directivos y equipo administrativo, por transformar esta institución en un centro de aprendizaje, innovación y camaradería.

A mis padres, Anita y Gustavo, les agradezco profundamente su apoyo, su amor incondicional y su confianza en mí, incluso cuando alcanzar mis objetivos parecía difícil. Cada uno de sus sacrificios ha sido el fundamento de mis éxitos.

A mi hermana Camila, mi confidente en alegrías y tristezas, le doy las gracias por su continua alegría y su apoyo incondicional. A mi madre Sonia, aunque ya no esté presente, sé que celebra cada uno de mis logros desde el cielo. Tu recuerdo es mi inspiración.

A mis amigos Alex, Edison, Luis, Erick y Cristian, la vida nos cruzó, pero fue esta carrera la que transformó nuestra amistad en un lazo fraternal. Agradezco las noches de estudio, los proyectos demandantes y por demostrar que juntos, ningún desafío fue insuperable.

Un agradecimiento particular al Ing. Jaime Heredia, por su dirección, paciencia y entrega en mi preparación académica y en la elaboración de mi proyecto de titulación.

Hoy, contemplo los resultados de años de dedicación, pero entiendo que este logro no me pertenece exclusivamente: es de todos aquellos que me acompañaron en el camino.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA DE ESTUDIO.....	2
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
CAPÍTULO I	5
MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Automatización industrial: optimización estratégica para PYMES.....	5
1.1.1. Componentes fundamentales de sistemas automatizados.....	6
1.1.2. Beneficios de la automatización industrial para pymes.....	7
1.1.3. Beneficios de la automatización para Confichristmas	7
1.1.4. Desafíos técnicos y organizacionales.....	8
1.1.5. Automatización del conteo en Confichristmas	9
1.2. Tecnologías de conteo automatizado	10
1.2.1. Sensores ópticos.....	10
1.2.2. Visión artificial.....	11
1.2.3. Microcontroladores y programación.....	12
1.2.4. Sistemas de control y administración	14
1.2.5. Ciberseguridad y fiabilidad.....	14
1.3. Componentes electrónicos y de control para el prototipo.....	15
1.3.1. Módulos de procesamiento y control.....	15
1.3.2. Sensores y actuadores	16
1.3.3. Módulos de comunicación	16
1.3.4. Componentes de potencia y regulación	17
1.3.5. Interfaz de usuario y visualización	17
1.3.6. Componentes varios.....	17
1.4. Impresión 3D en prototipado industrial	18
1.4.1. ¿Qué es la impresión 3D?	18
1.4.2. Materiales utilizados	20
1.4.3. Ventajas industriales.....	21
1.4.4. Uso en prototipos industriales.....	21
CAPÍTULO II.....	23

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	23
2.1. Valoración de atributos	24
2.1.1. Costo	24
2.1.2. Funcionalidad/Precisión.....	25
2.1.3. Facilidad de mantenimiento	26
2.1.4. Capacidad de almacenamiento.....	26
2.1.5. Disponibilidad/ Facilidad de fabricación	27
2.1.6. Adaptabilidad.....	28
2.1.7. Seguridad operativa	29
2.1.8. Durabilidad	30
2.1.9. Capacidad procesamiento	31
2.1.10. Capacidad de interacción	32
2.1.11. Usabilidad/Ergonomía	33
2.2. Mecanismo de conteo y dispensación.....	35
2.2.1. Alternativa 1: sistema de cinta transportadora con sensores ópticos.....	35
2.2.2. Alternativa 2: sistema rotativo con células de carga.....	35
2.2.3. Alternativa 3: vibrador con canales de guiado y sensores	36
2.2.4. Sistema rotativo integrado con riel de guía y sensores	36
2.2.5. Tabla comparativa.....	37
2.3. Sistema de almacenamiento de caramelos.....	37
2.3.1. Alternativa 1: tolva gravitatoria modular impresa en 3D	37
2.3.2. Alternativa 2: contenedores apilables con banda transportadora inteligente...38	
2.3.3. Alternativa 3: sistema vibratorio con búnker de acrílico reforzado.....	39
2.3.4. Depósito rotativo multinivel con compartimentos plegables.....	39
2.3.5. Tabla comparativa.....	40
2.4. Materiales para la estructura y carcasa	41
2.4.1. Alternativa 1: Filamento PLA (ácido poliláctico).....	41
2.4.2. Alternativa 2: filamento PETG (polietileno tereftalato glicol).....	41
2.4.3. Alternativa 3: Filamento ABS (acrilonitrilo butadieno estireno).....	42
2.4.4. PLA+ (ácido poliláctico mejorado)	42
2.4.5. Enfoque mixto PETG + acrílico	43
2.4.6. Tabla Comparativa	44
2.5. Sistema de control (hardware y software)	44
2.5.1. Alternativa 1: Arduino uno con software en Arduino IDE	45
2.5.2. Alternativa 2: Arduino mega con software en Arduino IDE.....	46
2.5.3. Alternativa 3: ESP32 con conectividad wifi y software en Arduino IDE.....	47
2.5.4. Alternativa 4: ESP8266 (nodemcu) con software en Arduino IDE/micro Python	48
2.5.5. Tabla comparativa.....	49
2.6. Sistema de seguridad operativa.....	49
2.6.1. Alternativa 1: sistema básico con paro de emergencia y sensores de fallo.....	50

2.6.2.	Alternativa 2: sistema mejorado con paro de emergencia, sensores y carcasa protectora.	50
2.6.3.	Alternativa 3: sistema avanzado con autenticación y monitoreo remoto	51
2.6.4.	Alternativa 4: sistema integral con redundancia y certificación alimentaria ...	52
2.6.5.	Tabla comparativa	53
2.7.	Interfaz de usuario.....	54
2.7.1.	Alternativa 1: interfaz básica con pantalla LCD y pulsadores.....	54
2.7.2.	Alternativa 2: interfaz con pantalla oled y encoder rotativo.....	55
2.7.3.	Alternativa 3: interfaz con pantalla LCD y teclado matricial	56
2.7.4.	Alternativa 4: interfaz con pantalla LCD, teclado matricial y buzzer	57
2.7.5.	Tabla comparativa	57
2.8.	Resultado de las alternativas	58
CAPITULO III.....		61
CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DEL PROTOTIPO		61
3.1.	Fabricación mecánica mediante impresión 3D	62
3.1.1.	Diseño CAD de la tolva gravitatoria modular	62
3.1.1.1.	Muestreo de empaques.....	62
3.1.1.2.	Cálculo del Volumen Efectivo Requerido.....	64
3.1.1.3.	Diseño geométrico de la tolva.....	64
3.1.1.3.1.	Sección cónica inferior (tronco de cono).....	65
3.1.1.3.2.	Volumen total por módulo	65
3.1.1.4.	Integración visual del diseño	65
3.1.1.5.	Evaluación del diseño modular	66
3.1.2.	Selección del material PETG y justificación técnica.....	66
3.1.2.1.	Propiedades mecánicas	66
3.1.2.2.	Resistencia térmica	66
3.1.2.3.	Características sanitarias	67
3.1.2.4.	Facilidad de impresión.....	67
3.1.2.5.	Evaluación del PETG como material de fabricación.....	67
3.1.3.	Diseño CAD del sistema rotativo con disco sólido y riel	68
3.1.3.1.	Diseño Geométrico del Disco Sólido.....	68
3.1.3.1.1.	Propiedades de Grilón (PA6)	69
3.1.3.1.2.	Cálculos técnicos del disco en Grilón (PA6)	70
3.1.3.2.	Diseño del Riel Guía.....	71
3.1.3.3.	Cálculos de Velocidad, Torque, Carga Dinámica y Espesor	72
3.1.3.3.1.	Cálculo de la Velocidad del Motor.....	72
3.1.3.3.2.	Cálculo del torque necesario	72
3.1.3.3.3.	Cálculo del espesor del disco	74
3.1.3.3.4.	Verificación del criterio y factor de seguridad.....	76
3.1.3.3.5.	Validación del modelo lineal.....	76
3.1.3.4.	Cálculo del espesor mínimo teórico.....	76

3.1.3.5.	Análisis de vida útil por fatiga	76
3.1.3.6.	Determinación del diámetro óptimo	77
3.1.3.7.	Integración con el motor Nema 17 pancake	78
3.1.3.8.	Integración del sistema de detección	78
3.1.3.9.	Ensamblaje y validación	78
3.1.3.10.	Consideraciones operativas.....	79
3.1.4.	Modelado y fabricación de la carcasa estructural	79
3.1.4.1.	Diseño de la carcasa.....	80
3.1.4.2.	Cálculos estructurales	81
3.1.4.2.1.	Deflexión de la tapa de acrílico	81
3.1.4.2.2.	Análisis estructural del riel de petg.....	83
3.1.4.2.3.	Análisis de carcasa estructural	85
3.1.5.	Parámetros de impresión y post-procesado de piezas.....	86
3.1.5.1.	Configuración de la impresora y software	86
3.1.5.2.	Fabricación de los Componentes	87
3.1.5.2.1.	Disco sólido	87
3.1.5.2.2.	Riel guía.....	88
3.1.5.2.3.	Carcasa estructural	88
3.2.	Integración electrónica y software	89
3.2.1.	Montaje de la Placa ESP32 Max V1.0 y Cableado del Sistema	89
3.2.1.1.	Ubicación y conexiones	89
3.2.1.2.	Organización del cableado	90
3.2.2.	Instalación y configuración de sensores de proximidad	91
3.2.2.1.	Ubicación y calibración de sensores ópticos	91
3.2.2.2.	Tasa de detección	91
3.2.3.	Desarrollo del firmware de control para conteo y motor.....	92
3.2.3.1.	Lógica de conteo y control del motor	92
3.2.3.2.	Uso de bibliotecas	92
3.2.3.3.	Código relevante	92
3.2.4.	Diseño de interfaz de usuario: pantalla LCD y teclado	93
3.2.4.1.	Descripción de la interfaz	93
3.2.4.2.	Integración con ESP32.....	93
3.2.5.	Funcionamiento.....	94
3.2.5.1.	Diagrama de flujo del sistema.....	94
3.2.5.2.	Modos de operación	94
3.2.5.3.	Mecanismos de seguridad	95
3.2.5.4.	Limitaciones y mejoras futuras	96
3.2.5.5.	Diagrama de conexiones	96
CAPITULO IV.....		97
PRUEBAS, RESULTADOS Y COSTOS		97
4.1.	Metodología de verificación	97

4.2.	Resultados obtenidos	99
4.2.1.	Aspectos cuantitativos	99
4.2.1.1.	Precisión del conteo	100
4.2.1.1.1.	Método de evaluación	100
4.2.1.1.2.	Resultados detallados	100
4.2.1.1.3.	Análisis	101
4.2.1.2.	Capacidad operativa	101
4.2.1.2.1.	Requisito mínimo establecido	101
4.2.1.2.2.	Método de evaluación	101
4.2.1.2.3.	Resultados obtenidos	102
4.2.1.2.4.	Análisis	102
4.2.1.3.	Fiabilidad Operativa.....	102
4.2.1.4.	Tiempo de respuesta.....	103
4.3.	Análisis de resultados	103
4.3.1.	Cumplimiento de requisitos	103
4.3.2.	Observaciones relevantes.....	104
4.4.	Impacto en el emprendimiento.....	104
4.4.1.	Reducción del tiempo de conteo	104
4.4.1.1.	Gráfico comparativo	105
4.4.2.	Mejora en la eficiencia operativa (proyección)	105
4.4.2.1.	Proyección de producción.....	106
	Gráfico Comparativo	107
4.4.2.2.	Incremento en la Capacidad de Producción.....	107
	Gráfico Comparativo	108
4.4.2.3.	Reducción de Costos Operativos	109
4.4.3.	Impacto en la Rentabilidad	109
4.5.	Análisis del costo del prototipo.....	110
	CONCLUSIONES	111
	RECOMENDACIONES.....	113
	GLOSARIO DE TERMINOS.....	115
	REFERENCIAS.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala de calificación de costo.....	24
Tabla 2. Escala de calificación de Funcionalidad/Precisión.	25
Tabla 3. Escala de calificación de Facilidad de Mantenimiento.	26
Tabla 4. Escala de calificación de Capacidad de Almacenamiento.	27
Tabla 5. Escala de calificación de Disponibilidad/Facilidad de Fabricación.....	28
Tabla 6. Escala de calificación de Adaptabilidad.....	29
Tabla 7. Escala de calificación de Seguridad Operativa.	30
Tabla 8. Escala de calificación de durabilidad.	31
Tabla 9. Escala de calificación de Capacidad de Procesamiento.	32
Tabla 10. Escala de calificación de Capacidad de Interacción.	33
Tabla 11. Escala de calificación de Usabilidad/Ergonomía.	34
Tabla 12. Comparativa de alternativas para el mecanismo de conteo y dispensación.....	37
Tabla 13. Comparativa de alternativas para el sistema de almacenamiento de caramelos.	40
Tabla 14. Comparativa de alternativas de materiales para la estructura y carcasa.	44
Tabla 15. Comparativa de sistema de control para la automatización del contador de <i>caramelos</i>	49
Tabla 16. Comparativa de sistema de seguridad operativa.	53
Tabla 17. Comparativa de interfaz de usuario.	58
Tabla 18. Selección de resultados.	59
Tabla 19. Muestreo de dimensiones y peso de empaques.....	63
Tabla 20. Resumen de las dimensiones y volúmenes por sección.	65
Tabla 21. Comparación de propiedades entre PLA, ABS y PETG.	68
Tabla 22. Propiedades de Grilón (PA6)	70
Tabla 23. Análisis de sensibilidad de diseño.....	82
Tabla 24. Parámetros físicos del riel.	83
Tabla 25. Resultados Estructurales del Riel de PETG.....	84
Tabla 26. Tabla de conexiones.	91
Tabla 27. Limitaciones y mejoras	96
Tabla 28. Componentes Evaluados.	98
Tabla 29. Resultados de Pruebas de Precisión (Muestra de 100 Caramelos).	100
Tabla 30. Resultado Obtenidos.	104
Tabla 31. Comparación de Tiempo de Conteo (Manual vs Automatizado).	105
Tabla 32. Proyección de Producción.....	106
Tabla 33. Incremento en la Capacidad de Producción.	108
Tabla 34. Costos de ahorro por mes.....	109
Tabla 35. Rentabilidad del prototipo.....	109
Tabla 36. Costos de prototipo.	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cobots utilizado para soldar	7
Figura 2. Sensor de Obstáculos Infrarrojo FC-51	11
Figura 3. Visión Artificial en control de calidad	12
Figura 4. Microcontroladores	13
Figura 5. Placa ESP32 y sus conexiones	16
Figura 6. Microcontrolador con varios actuadores.	16
Figura 7. Fuentes de alimentación SIGLENT SPD3303x	17
Figura 8. Circuito electrónico en protoboard	18
Figura 9. Proceso de impresión FDM	18
Figura 10. Proceso de impresión SLA	19
Figura 11. Proceso de impresión SLS	19
Figura 12. Filamento PLA	20
Figura 13. Llanta fabricada con impresión 3D, Volkswagen Type 20	22
Figura 14. Diseño CAD del prototipo.....	61
Figura 15. Representación de tolva modular	62
Figura 16. Representación isométrica del modelo CAD de la tolva gravitatoria modular	64
Figura 17. Filamento PETG marca JAMG HE	67
Figura 18. Rx-4 Máquina automática de conteo de píldoras	68
Figura 19. Diseño CAD del disco sólido	69
Figura 20. Barras de Grilón (PA6)	69
Figura 21. Diseño CAD del riel guía	72
Figura 22. Estudio en SolidWorks sobre deformación del disco	79
Figura 23. Maquina SLY-C Plus	80
Figura 24. Esquema CAD de la carcasa.....	80
Figura 25. Diseño tapa acrílica	81
Figura 26. Estructura a realizar estudio	83
Figura 27. Análisis FEA de la carcasa estructural del prototipo.....	85
Figura 28. Voxelab Aquila	87
Figura 29. Piezas para corte laser.....	88
Figura 30. Código de funcionamiento de la maquina.....	93
Figura 31. Diagrama de flujo de funcionamiento del prototipo.....	94
Figura 32. Diagrama de conexiones del prototipo.....	97
Figura 33. Gráfico connotativo de métodos de conteos.....	105
Figura 34. Gráfico de impacto del prototipo en la producción	107
Figura 35. Incremento en la Capacidad de Producción	108

RESUMEN

Este estudio se centra en idear y construir un aparato automático para contar y repartir dulces, usando principalmente materiales acrílicos cortados con láser. El proyecto busca dar respuesta a la necesidad de soluciones tecnológicas asequibles y eficaces para las pequeñas y medianas empresas (PYMES) de la industria alimentaria, que buscan mejorar sus procesos de producción mediante la automatización industrial.

La creación del aparato se basa en la unión de tecnologías de conteo automático, utilizando sensores electrónicos que permiten identificar con precisión la presencia y el movimiento de unidades de caramelo a través del sistema. Se agregaron componentes de control como microcontroladores, motores, actuadores y una interfaz de usuario, lo que facilita no solo el conteo automático, sino también la entrega controlada de los productos.

El sistema de almacenamiento se diseñó prestando especial atención a factores ergonómicos y de eficiencia, garantizando un flujo constante de caramelos sin bloqueos ni interrupciones. El prototipo se construyó en acrílico usando técnicas de corte láser, lo que resultó en una producción precisa, segura y con un acabado estético agradable.

También se emplearon elementos creados mediante impresión 3D para asegurar y unir componentes específicos, demostrando la viabilidad de las tecnologías de fabricación digital en proyectos de automatización a menor escala. La metodología utilizada incluyó un análisis comparativo de opciones tecnológicas, selección de materiales, diseño del sistema de control (hardware y software), integración de subsistemas electrónicos y pruebas prácticas del equipo.

Igualmente, se incorporaron normas de seguridad operativa y una interfaz gráfica sencilla para mejorar la experiencia del usuario final. Este proyecto demuestra la posibilidad de implementar soluciones de automatización eficientes y económicas combinando tecnologías modernas de fabricación y sistemas embebidos, lo que impulsa el avance tecnológico en la ingeniería aplicada y ofrece una herramienta valiosa para el sector productivo.

Palabras claves: Automatización, conteo, PYMES, prototipo, caramelos

ABSTRACT

This research is centered on creating an automatic apparatus for counting and dispensing candies, primarily utilizing laser-cut acrylic materials. The initiative aims to fulfill the demand for cost-effective and efficient technological solutions for small and medium-sized enterprises within the food sector, which aspire to improve their production methods through industrial automation. The device's development hinges on the application of automatic counting technology, employing electronic sensors that reliably identify the presence and movement of candy units throughout the system.

Additional control components, including microcontrollers, motors, actuators, and a user interface, were incorporated to enable not just automatic counting but also the precise delivery of products. The storage system was crafted with a strong emphasis on ergonomics and efficiency, ensuring a seamless flow of candies without any blockages or disruptions. The prototype was crafted using acrylic techniques involving laser cutting, yielding a result that is both accurate and visually appealing.

Moreover, components produced by 3D printing were utilized to secure and assemble parts, showcasing the practicality of digital manufacturing methods for smaller-scale automation endeavors. The methodology entailed a comparative study of various technological solutions, careful selection of materials, design of the control systems (both hardware and software), integration of electronic subsystems, and thorough testing of the machinery.

Safety regulations and a straightforward graphical interface were also integrated to enhance user experience. This undertaking illustrates the potential for realizing efficient and budget-friendly automation solutions through the fusion of contemporary manufacturing technologies and embedded systems, thus promoting technological progress in applied engineering and offering a crucial resource for the productive industry.

Keywords: Automation, counting, SMEs, prototype, candy

INTRODUCCIÓN

En un entorno global que cambia rápidamente y es muy competitivo, las pequeñas y medianas empresas (PYMES) deben perfeccionar sus procesos para garantizar que sean eficientes y sostenibles. Un buen ejemplo de esto es Confichristmas, una empresa familiar que Sonia Ortiz estableció en 1999 en Quito, Ecuador. Esta compañía se dedica a la venta y el empaquetado de dulces, y ha crecido de ser un distribuidor no formal a una mediana empresa que provee productos tanto a clientes corporativos como individuales. Ofrece artículos como bolsas de caramelos y cestas navideñas, contando con marcas reconocidas como Confiteca, Arcor, Ferrero y Nestlé, y se destaca por su presentación, especialmente durante la Navidad [1].

No obstante, un problema significativo que enfrenta la empresa es el conteo manual de caramelos para el empaquetado. Este sistema, que funcionaba al principio, resulta ser lento, propenso a errores humanos y costoso, ya que requiere mucha mano de obra, particularmente en épocas de alta demanda. Según datos internos, esta ineficiencia causa una disminución del 40 % en la capacidad operativa, lo que impacta en los plazos de entrega, provoca pérdidas por devoluciones y daña la reputación de la empresa.

Para resolver este problema, se propone crear un prototipo de máquina automatizada que pueda contar caramelos y que tenga la capacidad de procesar 20 kg por hora. Esta máquina empleará sensores ópticos para garantizar precisión, microcontroladores para el control del sistema y componentes impresos en 3D.

Este proyecto, conocido como proyecto número 7, forma parte del plan estratégico de Confichristmas y será financiado con recursos internos para eliminar ineficiencias y preparar el camino para una transformación digital. Además, se complementa con otras iniciativas como la creación de plataformas digitales (proyecto número 6) y el análisis de mercado (proyecto número 9) [2].

La implementación de la automatización no solo incrementará la eficiencia y calidad de los procesos, sino que también potenciará la competitividad de Confichristmas en un mercado exigente, asegurando su sostenibilidad económica y operativa a largo plazo.

PROBLEMA DE ESTUDIO

Contar caramelos a mano en Confichristmas causa problemas que impactan negativamente su producción y ganancias. Este proceso es lento y difícil. Necesita muchas personas, sobre todo en épocas como Navidad. Esto causa retrasos en las entregas, incumplimientos de plazos y problemas para manejar pedidos grandes. En un mercado donde llegar a tiempo es muy importante para que los clientes estén contentos, esta limitación impide que la empresa crezca y sea competitiva.

Además, contar a mano puede tener errores porque cansa y se vuelve aburrido, lo que causa diferencias en las cantidades de cada paquete. Estos errores causan problemas a los clientes, perjudican la imagen de la marca y traen pérdidas por devoluciones, compensaciones y productos que se desperdician. La falta de consistencia en los paquetes también daña la confianza de los clientes, tanto de empresas como de personas. Estos clientes valoran la precisión y la calidad.

El método manual aumenta mucho los costos de operación. Durante los momentos de alta demanda, contratar empleados temporales hace que los gastos en salarios suban mucho, lo que disminuye las ganancias. Asignar trabajadores a tareas repetitivas evita que puedan hacer actividades más importantes, como innovar productos o expandir el negocio. Esto crea un ciclo de ineficiencia que limita la reinversión y el crecimiento sostenible.

Contar a mano también limita la cantidad de producción. Aumentar el volumen de producción es difícil sin gastar mucho dinero o afectar la calidad. Esto pone a Confichristmas en una posición desventajosa en un mercado competitivo, donde las empresas grandes tienen más control. Esta limitación impide que la empresa aproveche oportunidades como contratos de instituciones o exportaciones, lo que la deja en un mercado pequeño.

En resumen, no tener automatización en el conteo de caramelos pone a Confichristmas en riesgo de problemas tecnológicos y económicos, especialmente con costos que suben y mercados inestables. Crear un sistema automatizado no solo solucionaría los problemas actuales, sino que también haría que la empresa esté al día con la digitalización y la Industria 4.0, garantizando que se mantenga adaptable y competitiva a largo plazo.

JUSTIFICACIÓN

La creación de un prototipo de contador automático de caramelos en Confichristmas busca modernizar la producción, hacerla más eficiente y asegurar la calidad de los productos. El conteo manual, que se ha usado por más de 30 años, frena el crecimiento y la competitividad de la empresa en el mercado de hoy. Este proyecto no solo mejora los problemas del proceso manual, sino que también prepara el camino para aumentar la producción, ganar más dinero y asegurar su sostenibilidad.

Desde un punto de vista práctico, la automatización evita que haya errores humanos al contar manualmente. Esto ayuda a que no haya problemas con los paquetes, mejora la satisfacción del cliente y evita pérdidas de dinero. El sistema automático asegurará que todo sea preciso y parejo, lo que mejorará la calidad del producto y aumentará la confianza en la marca.

También aumentará mucho la eficiencia en la producción. Contar a mano es muy lento y difícil, lo que hace que las entregas se retrasen, sobre todo en épocas de mucha demanda. El prototipo, hecho para trabajar 20 kg por hora, hará que la producción sea más rápida y mejorará los tiempos de entrega. Esto ayudará a Confichristmas a llegar a más mercados y a clientes más exigentes. También reducirá los costos de operación al disminuir la necesidad de trabajadores. Esto permitirá que el personal se enfoque en tareas más importantes, mejorando la estructura de costos y aumentando las ganancias.

La automatización hará que sea más fácil crecer. Contar a mano limita cuánto se puede producir, pero un sistema automático aumentará la producción sin subir mucho los costos de trabajo, mejorando la competitividad de Confichristmas.

El proyecto ayuda a cuidar el medio ambiente al reducir el desperdicio y hacer un mejor uso de los recursos, lo que hace que la producción sea más eficiente. Está en línea con la estrategia de Confichristmas, que se enfoca en la calidad, eficiencia y uso de nuevas tecnologías. Automatizar el conteo es importante para que la economía y las operaciones sean sostenibles. Esto ayuda a mantener la competitividad en un mercado difícil.

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo de contadora de caramelos automatizado con una capacidad de 20 kg/h.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el proceso actual del conteo de caramelos para el llenado de fundas plásticas en la industria.
- Seleccionar el equipo contador de caramelos acorde a los requerimientos establecidos.
- Diseñar el equipo de conteo de caramelos seleccionado.
- Validar el funcionamiento del equipo mediante ensayos de campo.
- Establecer la factibilidad económica del proyecto mediante indicadores financieros.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Este capítulo reúne la base teórica y conceptual que respalda la creación, fabricación y prueba del prototipo automático para contar caramelos. Define los fundamentos de la automatización industrial relevantes, especialmente en sistemas de control secuencial y diseños mecatrónicos completos. Además, se efectúa un estudio comparativo de los métodos de conteo existentes (ópticos, capacitivos, de peso), valorando su exactitud, rapidez y factibilidad en ambientes de producción. Este contexto justifica las decisiones técnicas tomadas y sitúa el desarrollo en las tendencias modernas de mejora de procesos discretos.

Se detallan los elementos electromecánicos primordiales, abarcando la elección de motores lineales, captadores para obtener información y módulos de cálculo integrados. La forma de producir se centra en métodos de fabricación aditiva (impresión tridimensional de plásticos de calidad técnica) para hacer las partes de la estructura y de dirección, prometiendo una evolución rápida del prototipo y una disminución en los gastos. La valoración del sistema completo toma en cuenta factores como la exactitud, el porcentaje de fallo tolerable y la firmeza al trabajar, fijando normas de prueba que concuerdan con las reglas de la ingeniería de automatización. Este método ordenado certifica la unión entre la idea inicial, la puesta en marcha de la construcción y la revisión de las medidas del aparato.

1.1. Automatización industrial: optimización estratégica para PYMES

La automatización industrial implica usar tecnología de punta —robótica, sistemas de control integrados, sensores inteligentes e IA— para mejorar la producción, disminuyendo la necesidad de intervención humana, aumentando la precisión y buscando la mayor eficiencia posible [3]. Hablamos de tecnologías que van desde controladores lógicos programables (PLC) hasta algoritmos de aprendizaje automático, que posibilitan la supervisión continua y la toma de decisiones automática en las líneas de producción. En las pequeñas y medianas empresas (PYMES), la adopción de opciones adaptables y progresivas, como los robots colaborativos (cobots) y programas de gestión en la nube, creció un 30 % en 2025, debido a la bajada de precios y el acceso a tecnologías de código abierto [4]. Esto ayuda a las PYMES a subir la calidad de sus productos, acortar los tiempos de producción y disminuir los residuos, cumpliendo con los requisitos de la Industria 4.0.

Para compañías como Confichristmas, modernizar su producción con automatización es una jugada inteligente para ser más competitivas a nivel mundial, donde ser rápidos, ofrecer productos a medida y ser sostenibles es vital. Usar sistemas automatizados, como cadenas de montaje con robots precisos o visión artificial para asegurar la calidad, les ayuda a crecer sin sacrificar la calidad ni gastar demasiado en sueldos. Sumado a esto, usar el Internet de las Cosas (IoT) ayuda a obtener información al instante, lo que permite predecir cuándo hacer mantenimiento y usar la energía de forma más eficiente, ahorrando hasta un 20 % en ciertos casos [4]. Este cambio tecnológico no solo agiliza la respuesta a los cambios en la demanda, sino que también permite a las pequeñas y medianas empresas (PYMES) jugar un papel importante en las cadenas de suministro mundiales, ajustándose a lo que piden los mercados más exigentes.

1.1.1. Componentes fundamentales de sistemas automatizados

Dentro de la ingeniería industrial, la automatización se basa esencialmente en tres pilares: los sensores, los controladores lógicos programables (PLC) y los actuadores.

- Los sensores, como los de proximidad o los sistemas de visión artificial, recolectan información del entorno de producción en tiempo real. Esto permite supervisar aspectos clave, por ejemplo, el recuento exacto de artículos en una cadena de montaje.
- Los controladores PLC, por su parte, analizan estos datos usando algoritmos de control predefinidos, poniendo en marcha lógicas que mejoran el funcionamiento de los procesos industriales de forma muy fiable y predecible [5].
- Los actuadores, como pueden ser los brazos robóticos o los servomotores, transforman las señales de control en movimientos físicos, llevando a cabo tareas con exactitud.

La unión de todos estos elementos, impulsada por el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), hace posible desde sistemas de automatización sencillos a nivel de máquina hasta diseños complejos interconectados. Esto facilita funciones avanzadas como el control distribuido, el análisis de datos al instante y el mantenimiento predictivo, en consonancia con los principios de la Industria 4.0 [3].

1.1.2. Beneficios de la automatización industrial para pymes

La modernización industrial brinda a las pequeñas y medianas empresas importantes fortalezas para competir, mejorando sus procedimientos y el uso de sus medios. Más adelante, se explican las principales ventajas:

- **Disminución de Gastos de Funcionamiento:** La automatización de labores que se repiten, usando sistemas como controladores lógicos programables y activadores, disminuye las equivocaciones humanas en un 90 %, aminorando las repeticiones y mejorando el aprovechamiento de las materias primas, lo cual resulta en una considerable reducción de los gastos de producción [5].
- **Adaptabilidad de Funcionamiento:** Los robots que trabajan junto a humanos (cobots) facilitan ajustes dinámicos en las cadenas de producción, amoldándose a cambios en el diseño o cantidad de productos sin necesitar cambios estructurales costosos, lo que aumenta la rapidez en mercados que cambian [4].
- **Viabilidad Energética:** La incorporación de motores de alta eficacia y sistemas de administración inteligente basados en el Internet Industrial de las Cosas reduce el gasto de energía hasta en un 25 %, impulsando prácticas viables y cumpliendo con los estándares ambientales de la Industria 4.0 [3].



Figura 1. Cobots utilizado para soldar [6].

1.1.3. Beneficios de la automatización para Confichristmas

Confichristmas, una empresa pequeña y mediana (PYME) que elabora dulces en Quito, Ecuador, podría mejorar mucho si usa sistemas automáticos en su trabajo diario. Usar máquinas ayudaría a que haya menos errores de personas en cosas importantes, como contar caramelos, hasta un 90 %; Esto sería posible con sensores que ven la luz y asegurarían que casi no haya errores, más del 98 % de precisión. Una máquina especial hecha para esto podría contar hasta

20 kilos de caramelos cada hora, lo que haría que el trabajo sea mucho más rápido, un 50 % menos de tiempo, esta mejora en cómo trabaja la empresa, que se calcula entre un 30 % y un 40 %, no solo usaría mejor lo que tiene, sino que también bajaría los gastos por errores en un 25 % [7].

Con todo esto, Confichristmas estaría mejor que otros negocios locales que hacen dulces, sobre todo porque ahora es muy importante ser preciso, rápido y hacer productos de buena calidad para tener éxito.

1.1.4. Desafíos técnicos y organizacionales

Implementar tecnologías de automatización en Confichristmas plantea retos que precisan un enfoque estratégico para asegurar el buen resultado del proyecto. Estos retos se dividen principalmente en dos grupos: técnicos y organizativos. Los primeros abarcan temas como el desembolso inicial, la formación del equipo y la conexión con los sistemas ya instalados, mientras que los segundos se centran en la oposición al cambio, la gestión del cambio y la protección de la información. Enseguida, se profundiza en estos retos junto con las tácticas planteadas para solucionarlos:

- **Desafíos Técnicos**
 - Una fuerte inversión al principio: El gasto inicial para poner en marcha Confichristmas podría ser un problema. Para minimizar esto, se creará una versión preliminar económica usando partes fáciles de conseguir, como sensores de IoT y microcontroladores [7].
 - Poco personal especializado: La carencia de trabajadores expertos en tecnologías de automatización se solucionará con cursos de formación en desarrollo de microcontroladores y administración de redes de tipo industrial
 - Unión con los sistemas que ya existen: Se planeará un sistema adaptable que siga las reglas alimentarias RTE INEN 100 para asegurar que funcione bien con los procedimientos de hoy en día [8].
- **Dificultades dentro de la Empresa**
 - Oposición al cambio cultural: Se manejará la aversión al cambio a través de tácticas de concientización y una comunicación clara acerca de las ventajas que ofrece la automatización.

- Administración del cambio : Un grupo de trabajo de aplicación controlará la evolución y hará seguimiento a los principales indicadores para garantizar el buen resultado del plan [7].
- Protección de datos y ciberseguridad : Se pondrán en marcha medidas de ciberseguridad sólidas, tales como cortafuegos y autenticación de múltiples factores, con el fin de salvaguardar los datos operativos en espacios IoT [9].

1.1.5. Automatización del conteo en Confichristmas

En Confichristmas, la idea de usar un sistema automatizado para contar caramelos se presenta como una forma efectiva de mejorar la producción. El plan es usar sensores y un pequeño ordenador programable para contar de forma exacta y rápida. Esto permitiría tener una precisión de más del 98 % al contar los productos, lo cual es mucho mejor que hacerlo a mano. Además, el sistema puede procesar hasta 20 kg de caramelos cada hora, lo que reduce el tiempo de trabajo a la mitad y aumenta la producción.

Desde el punto de vista técnico, el sistema está diseñado para cumplir con las normas de seguridad alimentaria (NTE 100), lo que asegura que sea seguro para usar en la producción de alimentos. El sistema está hecho de partes que se pueden cambiar fácilmente para adaptarse a diferentes tipos de caramelos y líneas de producción. Además, los componentes son económicos, como sensores IoT y microcontroladores baratos, lo que significa que la inversión inicial no será mayor al 5 % del presupuesto anual de la empresa, haciendo que sea una buena inversión.

A lo largo de un periodo de seis meses, se llevará a cabo una prueba del sistema para observar su desempeño en situaciones reales, prestando atención a aspectos clave como la disminución de errores, el aumento de la eficiencia y el retorno de inversión. Se anticipa que la recuperación de la inversión ocurra en menos de un año, debido a la disminución de costos por errores y a una utilización más efectiva de los recursos. Además, se implementarán medidas de seguridad cibernética, como cortafuegos y autenticación de múltiples factores, para salvaguardar los datos del sistema en entornos de IoT.

En resumen, este ejemplo muestra cómo la automatización puede cambiar la forma en que una PYME como Confichristmas trabaja, haciéndola más competitiva en la Industria 4.0. El sistema se puede ampliar para incluir tecnologías más avanzadas en el futuro, lo que ayudará a la empresa a ser líder en innovación tecnológica en el sector alimentario ecuatoriano. Esto no solo

soluciona problemas actuales, sino que también prepara el camino para un crecimiento continuo a largo plazo.

1.2. Tecnologías de conteo automatizado

La implementación de sistemas de conteo automatizado ha revolucionado los procedimientos fabriles, gracias a la integración de alternativas exactas, ágiles y eficaces que limitan la necesidad de participación del personal y disminuyen las equivocaciones. Estos avances tecnológicos se conciben para perfeccionar tareas reiterativas, por ejemplo, el recuento de artículos en cadenas de montaje, lo que faculta a las compañías a potenciar su rendimiento y su posición en el mercado. En lo sucesivo, se ofrece un análisis técnico organizado sobre el modo en que operan estas herramientas y sus usos tangibles.

1.2.1. Sensores ópticos

Los componentes ópticos son cruciales en muchos sistemas de conteo automático por su rápida respuesta y su habilidad para funcionar sin necesidad de tocar el objeto. Su modo de operación se centra en emitir y detectar luz, utilizando las interrupciones o reflexiones provocadas por los elementos que se están contando.

- **Funcionamiento**

Un sensor óptico común se compone de una fuente luminosa (ya sea un LED o un láser) y un elemento que capta la luz (como un fotodiodo o un fototransistor). La forma en que la luz emitida interactúa con lo que se busca detectar provoca una alteración en la señal eléctrica que recibe el sensor, y esta alteración se entiende como que algo ha sido contado.

- **Haz de Luz Directo:** Aquí, la fuente de luz y el receptor se ubican uno frente al otro. Si algo pasa entre ellos, bloquea la luz, y el receptor se da cuenta de que la luz ha desaparecido, produciendo así una señal. Esta forma de operar es la más segura para contar con exactitud, porque casi no le afectan las características de la superficie de lo que se está detectando.
- **Reflexión con Reflector:** La fuente de luz y el receptor están juntos en la misma estructura, y al otro lado hay un reflector. La luz que sale rebota en el reflector y vuelve al receptor. Si un objeto corta este haz de luz reflejado, se considera que ha sido detectado. Son prácticos porque solo necesitan cables en un lado.
- **Reflexión Difusa:** Tanto la fuente de luz como el receptor están en la misma pieza, pero aquí detectan la luz que se esparce o se refleja directamente desde la superficie del objeto.

Qué tan lejos pueden detectar y cuán seguros son depende mucho del color, la forma y cuánto refleja la superficie del objeto [10].

Consideraciones Técnicas: Elegir el sensor óptico correcto implica evaluar las dimensiones y rapidez del objeto, el alcance de la detección y el contexto del entorno. La resistencia a la luz del entorno y la precisión para diferenciar objetos contiguos son vitales para asegurar la confiabilidad en ambientes fabriles [11].



Figura 2. Sensor de Obstáculos Infrarrojo FC-51 [12].

1.2.2. Visión artificial

La visión computacional destaca como una de las tecnologías más sofisticadas y adaptables para el conteo automatizado. En comparación con los sensores tradicionales, esta tecnología analiza datos espaciales y contextuales de una escena, lo que facilita el conteo de objetos intrincados o en situaciones con dinamismo.

- **Funcionamiento Básico:** Un sistema de visión computacional utiliza cámaras digitales para capturar imágenes o videos. Algoritmos avanzados procesan estas imágenes para identificar, ubicar, clasificar y realizar el conteo de los objetos que resulten relevantes [13].
- **Identificación y Aislamiento de Objetos:** Para aislar los objetos, se aplican técnicas como la segmentación por umbral o la detección de contornos.
- **Análisis de Atributos y Clasificación:** Las redes neuronales convolucionales (CNNs), una rama del Deep Learning, son muy utilizadas para determinar el tipo de objeto, incluso si presentan variaciones [14].
- **Recuento y Rastreo (Tracking):** Los objetos reconocidos son contabilizados. Para los que están en movimiento, se utilizan algoritmos de rastreo para mantener una identidad única a lo largo de las imágenes, evitando así el conteo duplicado [13]. En Ecuador, por ejemplo,

se han creado sistemas de conteo y clasificación de objetos para usos industriales basados en visión computacional [15]. Desde Chile, se investigó el conteo automático de truchas en piscicultura utilizando esta tecnología [16].

- Progreso con Deep Learning: El Deep Learning transformó la visión computacional, facilitando la creación de modelos de conteo sólidos que funcionan en entornos complejos con superposición, diferentes iluminaciones y modificaciones de tamaño. Estructuras como YOLO (You Only Look Once) son la base de varias implementaciones en Latinoamérica para el conteo en tiempo real [14].
- Usos y Retos: La visión computacional se emplea en el conteo de artículos en líneas de producción, inventario en almacenes, conteo de personas y estudio del tráfico vehicular. Los retos incluyen la complejidad computacional, la sensibilidad a condiciones de luz no controladas y la necesidad de grandes bases de datos etiquetadas para entrenar modelos de Deep Learning. Un ejemplo de Cuba presenta un sistema de conteo de personas basado en visión computacional que usa dispositivos edge para análisis en tiempo real [17].



Figura 3. Visión Artificial en control de calidad [18].

1.2.3. Microcontroladores y programación

Los microcontroladores actúan como el "motor" de la mayoría de los sistemas de conteo automatizado, facilitando la adquisición de datos de los sensores, su procesamiento, el mantenimiento de los conteos y la comunicación con otros sistemas.

- Arquitectura y Componentes: Un microcontrolador (como los de las series ARM Cortex-M, AVR o PIC) reúne en un solo chip un procesador, memoria y diversos componentes cruciales para el conteo:
- Pines de Entrada/Salida de Uso General (GPIO): Facilitan la conexión directa de sensores con salida digital. Los cambios de estado en estos pines pueden generar interrupciones

externas, permitiendo que el microcontrolador responda rápidamente a un evento sin necesidad de supervisar el pin constantemente [19].

- **Unidades de Tiempo/Conteo:** Son componentes de hardware especializados que se pueden configurar para llevar la cuenta de impulsos externos rápidos, aliviando la carga de la CPU. Esto es clave para el conteo de alta velocidad y para el control de codificadores rotatorios [16]. Trabajos de posgrado en México han empleado sensores ópticos y microcontroladores para el conteo de personas [20].
- **Módulos de Comunicación:** UART (Serie), SPI, I2C, CAN, Ethernet, Wi-Fi. Le permiten al microcontrolador enviar los datos de conteo a pantallas, bases de datos o sistemas de control de nivel superior (PLCs, SCADA).
- **Programación:** La programación de microcontroladores para el conteo se realiza generalmente en C/C++ para maximizar el rendimiento. El código debe abordar:
- **Configuración de Periféricos:** Puesta en marcha de GPIOs, temporizadores/contadores y módulos de interrupción.
- **Manejo de Interrupciones (ISR):** Subrutinas de servicio de interrupción eficientes para incrementar los contadores.
- **Algoritmos de Rebote:** Aplicación de filtros por software o hardware para suprimir rebotes en las señales de los sensores mecánicos [21].
- **Gestión del Contador:** Almacenamiento y reinicio del contador, asegurando que las acciones sean atómicas si se accede al contador desde la ISR y el ciclo principal. Proyectos mostrados en conferencias latinoamericanas evidencian el desarrollo de prototipos de conteo con Arduino y sensores infrarrojos [22].



Figura 4. Microcontroladores [23].

1.2.4. Sistemas de control y administración

Los datos de conteo automatizado son elementos vitales para los sistemas de control y administración que buscan mejorar las operaciones, elevar la calidad y tomar decisiones fundamentadas.

- **Integración con PLCs y SCADA:** En entornos industriales, los sensores o microcontroladores de conteo se integran con Controladores Lógicos Programables (PLCs). Los PLCs manejan las señales y ejecutan la lógica de control. Los datos de los PLCs se consolidan en sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), que ofrecen una interfaz gráfica para el monitoreo en tiempo real y el registro de datos [24].
- **Gestión de Datos y Análisis:** Los datos de conteo se utilizan para:
 - **Inventario y Trazabilidad:** Mantener registros precisos del stock y el flujo de productos.
 - **Control de Calidad:** Detectar defectos por anomalías en el conteo.
 - **Optimización de Procesos:** Estudiar patrones de conteo para descubrir cuellos de botella o ineficiencias.

Cloud Computing e IoT: La integración con plataformas de Cloud Computing y el Internet de las Cosas (IoT) permite la recolección, almacenamiento y análisis de datos a gran escala. Los sensores y microcontroladores pueden enviar datos directamente a la nube para su visualización remota y análisis avanzado [25].

1.2.5. Ciberseguridad y fiabilidad

La creciente interconexión de los sistemas de conteo automatizado hace que la ciberseguridad y la fiabilidad sean aspectos críticos para garantizar la integridad de los datos y la continuidad operativa.

- **Ciberseguridad:** Los sistemas de recuento son vulnerables a incidentes cibernéticos, tales como la alteración de información o la interrupción del servicio (DoS). Resulta esencial aplicar métodos de autenticación robustos, cifrado de la información y división de la red para disminuir estas amenazas. Estudios provenientes de Latinoamérica han profundizado en estos aspectos dentro del ámbito de la Industria 4.0 [26].

- **Fiabilidad:** Alude a la aptitud del sistema de recuento para operar de forma constante y con exactitud. Los aspectos esenciales abarcan:
- **Solidez del Sensor:** Seleccionar sensores idóneos para el entorno (resistencia a temblores, temperatura, suciedad).
- **Redundancia:** Emplear sensores o microcontroladores duplicados para garantizar el recuento ininterrumpido si un elemento falla.
- **Gestión de Fallos:** Incorporar métodos de detección y reparación de fallos en el programa informático.
- **Ajuste y Conservación:** Ajuste frecuente y mantenimiento preventivo para asegurar la exactitud del recuento.

1.3.Componentes electrónicos y de control para el prototipo

La fabricación y diseño de un prototipo requiere elegir con atención sus partes de control y electrónicas. Esta etapa es esencial, pues determina cómo funciona, qué tan bien rinde y si el sistema es viable en conjunto. Para garantizar que todo encaje y funcione bien entre sí, es clave entender la estructura completa del prototipo.

1.3.1. Módulos de procesamiento y control

La placa de desarrollo o el microcontrolador funcionan como el "centro de control" del prototipo, pues gestionan la ejecución del software, la interpretación de la información proveniente de los sensores y el envío de órdenes a los actuadores. Seleccionar este componente es crucial y debe tener en cuenta la potencia de cálculo, el almacenamiento, la cantidad de pines de entrada/salida y la presencia de periféricos integrados, como convertidores analógico-digitales (ADC), modulación por ancho de pulsos (PWM) e interfaces de comunicación. Los sistemas embebidos, fundamentalmente, se basan en un microcontrolador para analizar información y proporcionar los resultados definidos. Plataformas como Arduino o los microcontroladores de STMicroelectronics (por ejemplo, STM32) son alternativas comunes en la creación de prototipos, muy estudiadas en los textos de electrónica aplicada [27], [28].

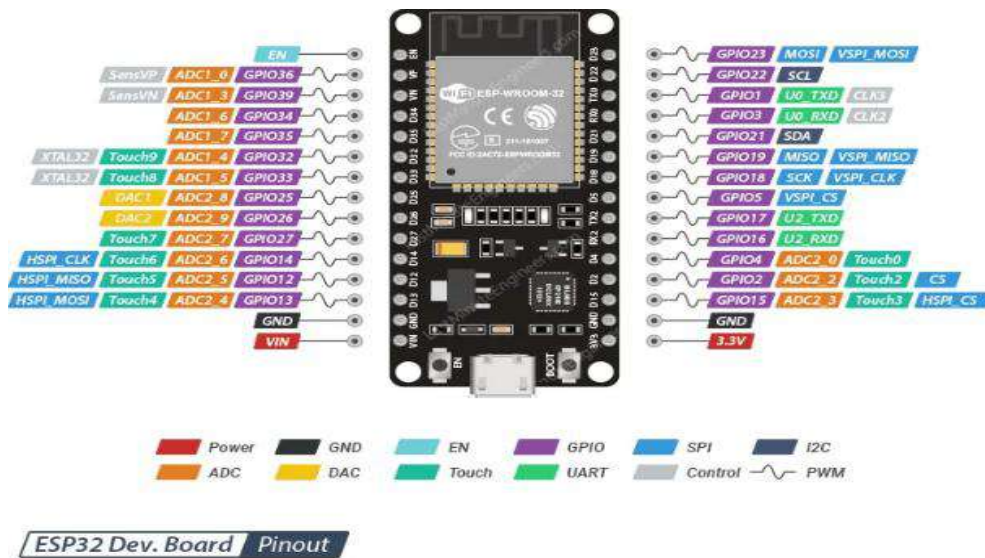


Figura 5. Placa ESP32 y sus conexiones [29].

1.3.2. Sensores y actuadores

Para que un prototipo interactúe con su entorno, necesita sensores y accionadores. Los sensores se encargan de registrar información del entorno, como la temperatura, la presión, la luz o el movimiento, mientras que los accionadores realizan acciones físicas. La variedad y las características de estos componentes son esenciales para que el prototipo cumpla su función. La elección debe basarse en la exactitud, el rango de operación, el consumo de energía y la compatibilidad con el microcontrolador.



Figura 6. Microcontrolador con varios actuadores [30].

1.3.3. Módulos de comunicación

Si se busca que el prototipo se conecte con otros dispositivos, redes locales o la nube, los módulos de comunicación son fundamentales. Esto incluye conexiones por cable como USB y Ethernet, y opciones inalámbricas como Wi-Fi, Bluetooth o Zigbee. La elección de estos módulos depende de la velocidad de transmisión, la distancia, la forma en que se conecta la red

y el consumo de energía. Se suelen usar protocolos industriales como Modbus o tecnologías IoT para integrar sistemas automatizados [27].

1.3.4. Componentes de potencia y regulación

Es vital tener una buena gestión de energía para que el prototipo sea estable y seguro. Esto implica elegir bien la fuente de alimentación (baterías, adaptadores AC/DC) e incluir reguladores de voltaje, convertidores DC/DC y circuitos de protección (fusibles, diodos de protección). Un diseño de alimentación bien pensado es clave para evitar daños y asegurar un funcionamiento fiable. La cantidad de energía que necesitan los accionadores influye en la elección de los chips de control y reguladores [31].



Figura 7. Fuentes de alimentación SIGLENT SPD3303x [32].

1.3.5. Interfaz de usuario y visualización

Para que el usuario pueda interactuar fácilmente y recibir información, se añaden elementos de interfaz de usuario y visualización. Estos pueden ser desde simples luces LED y botones hasta pantallas LCD, pantallas táctiles o interfaces de voz. La facilidad de uso y la claridad al mostrar la información son muy importantes aquí. Poder ver los datos a través de una conexión serial, accesible por USB, es especialmente útil durante las pruebas y el desarrollo del prototipo [33].

1.3.6. Componentes varios

Además de los elementos principales, hay varios componentes imprescindibles para construir el prototipo. Estos incluyen resistencias, capacitores, inductores, diodos, transistores, osciladores, conectores, cables y materiales para el montaje, como protoboards o placas de circuito impreso (PCBs). Aunque a menudo no se les da importancia, su correcta elección y colocación son cruciales para que el circuito funcione bien y sea resistente [31].

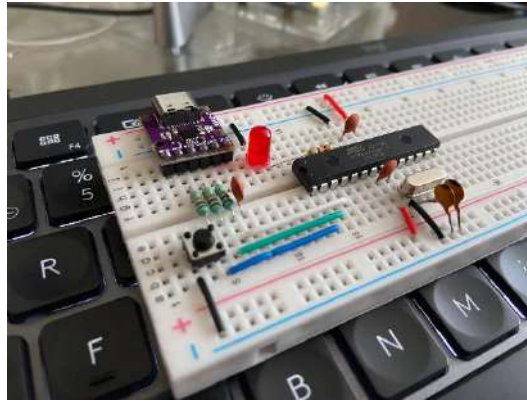


Figura 8. Circuito electrónico en protoboard [34].

1.4. Impresión 3D en prototipado industrial

1.4.1. ¿Qué es la impresión 3D?

El proceso de fabricación aditiva, también conocido como impresión tridimensional, implica crear objetos de tres dimensiones por capa de un modelo digital. Este método ha revolucionado el ámbito de la manufactura, al eliminar las restricciones asociadas a los métodos tradicionales. A diferencia de las técnicas sustractivas, tales como el fresado o el torneado, que implican la eliminación de material para dar forma a una pieza, la impresión 3D se caracteriza por añadir material de manera selectiva. Este enfoque no solo minimiza los desperdicios, sino que también permite la realización de diseños altamente eficientes. Entre las tecnologías asociadas a este proceso, destacan las siguientes:

- FDM (Modelado por Deposición Fundida): Emplea filamentos termoplásticos (PLA, ABS) extruidos a través de una boquilla caliente, ideal para prototipado rápido y piezas funcionales de bajo costo.

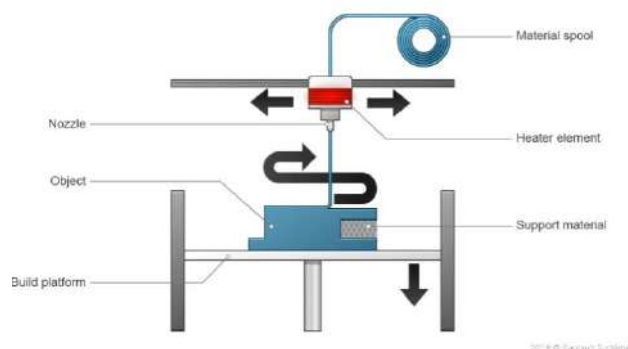


Figura 9. Proceso de impresión FDM [35].

- SLA (Estereolitografía): Utiliza resinas fotosensibles solidificadas por luz UV láser, logrando detalles milimétricos en aplicaciones médicas (ej. prótesis dentales) o joyería.

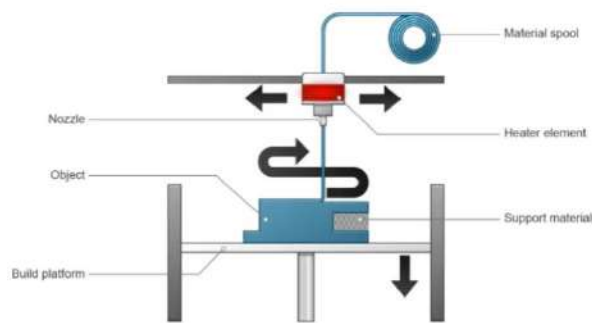


Figura 10. Proceso de impresión SLA [35].

- SLS (Sinterización Selectiva por Láser): Sinteriza polvo de materiales como nailon o poliamida, creando piezas resistentes y complejas sin necesidad de soportes, ampliamente usada en automoción y aeroespacial.

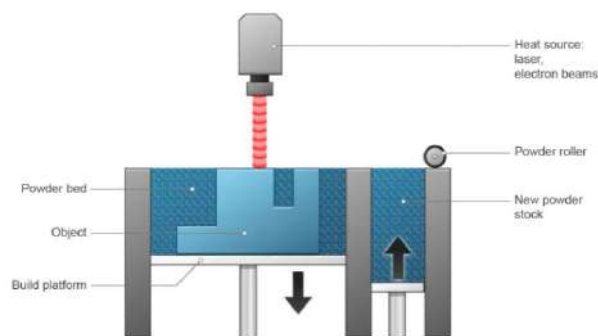


Figura 11. Proceso de impresión SLS [35].

Esto no solo permite la creación de geometrías impracticables a través de medios tradicionales, como estructuras reticulares ultraligeras o canales de enfriamiento internos, sino que también facilita la personalización de masa. En el ámbito de la medicina, por ejemplo, se diseñan implantes óseos adaptados a pacientes específicos a través de escaneo 3D y el uso de biomateriales. Adicionalmente, su integración con sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) y tecnologías del Internet de las Cosas (IoT) facilita la optimización de diseños en tiempo real, lo que contribuye a la reducción de ciclos de producción y costos. Sin embargo, esta tecnología sigue enfrentando desafíos, como las limitaciones en velocidades de impresión y el costo elevado de materiales especializados [36]. A pesar de ello, su capacidad para democratizar la producción y fomentar la innovación la posiciona como un eje fundamental en la Industria 4.0, donde la flexibilidad y la sostenibilidad son prioridades.

1.4.2. Materiales utilizados

Los materiales utilizados en la impresión 3D abarcan una amplia variedad de opciones, cada una de las cuales es seleccionada de acuerdo con las exigencias técnicas y funcionales de la aplicación específica. Entre los termoplásticos más comúnmente empleados se encuentran el PLA (ácido poliláctico) y el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), los cuales son particularmente valorados en el prototipado rápido debido a su bajo costo, facilidad de impresión y versatilidad. El PLA, que es biodegradable y de origen vegetal, resulta idóneo para la elaboración de modelos conceptuales y piezas no funcionales. En contraste, el ABS, que presenta mayor resistencia y flexibilidad, se utiliza en componentes funcionales que están sujetos a esfuerzos mecánicos, tales como carcasas electrónicas o piezas de automóviles [37].

Para aplicaciones industriales que requieren una mayor durabilidad, los polímeros técnicos, como el Nylon PA12, destacan por su resistencia química, alta tenacidad y capacidad para soportar temperaturas elevadas. Estas propiedades lo convierten en un material adecuado para la fabricación de engranajes, componentes de sistemas de combustible o piezas aeroespaciales, donde la estabilidad en entornos adversos es crítica. En el ámbito de los metales, la impresión 3D hace uso de aleaciones como el titanio (Ti6Al4V) y el aluminio (AlSi10Mg) para crear piezas que combinan alta resistencia con bajo peso, siendo estas características esenciales en sectores como la medicina (implantes personalizados) y la aeronáutica (componentes de motores). En particular, el titanio se utiliza en prótesis óseas debido a su biocompatibilidad, mientras que el aluminio es empleado en la fabricación de estructuras ligeras para satélites y aeronaves [37].



Figura 12. Filamento PLA [38].

La combinación de propiedades como conductividad térmica, rigidez y resistencia al desgaste en materiales compuestos, como resinas reforzadas con fibra de carbono o polvos metálicos

que contienen partículas cerámicas ofrecen 18 posibilidades técnicas. Esta diversidad de materiales fomenta la innovación en diversos campos, que van desde la ingeniería de tejidos hasta la producción de herramientas personalizadas, consolidando la impresión 3D como una tecnología clave para la fabricación adaptable y sostenible.

1.4.3. Ventajas industriales

La impresión tridimensional optimiza de manera significativa los procesos de fabricación mediante la reducción de los tiempos de desarrollo, la minimización de desperdicios y la consolidación de componentes complejos en una única pieza. Al evitar el uso de moldes físicos, que generalmente tardan semanas en diseñar y mecanizar de antemano, el ciclo se acorta para que pueda alterarse y ajustarse rápidamente en cuestión de horas, en lugar de tomar meses. Este avance no solo agiliza el proceso de innovación, sino que también disminuye los costos asociados a herramientas especializadas, particularmente en las etapas iniciales del diseño. Los métodos aditivos, como agregar material de capa per de la capa, pueden reducir el desperdicio de materiales hasta en un 90 % en comparación con las técnicas sustractivas como el fresado. En sectores como la industria aeroespacial, que utiliza aleaciones costosas (por ejemplo, titanio), este ahorro resulta crucial [39].

La capacidad de consolidar múltiples componentes en una sola pieza impresa elimina etapas de ensamblaje, lo que a su vez reduce errores humanos, tiempo de mano de obra y posibles puntos de fallo mecánico. Por ilustrar, en el ámbito de la automoción, los sistemas de refrigeración que previamente requerían veinte piezas soldadas ahora se producen como una unidad integrada, optimizando tanto el peso como el rendimiento [39]. Esta eficiencia se traduce en ahorros económicos considerables, especialmente en la producción bajo demanda o personalizada, donde los volúmenes bajos no justifican la inversión en moldes tradicionales. En síntesis, la impresión tridimensional no solo democratiza la fabricación, sino que también redefine la relación entre diseño, costos y sostenibilidad en la era digital.

1.4.4. Uso en prototipos industriales

En sectores como la industria automotriz y aeroespacial, la impresión tridimensional ha transformado el proceso de fabricación al facilitar la creación ágil de prototipos funcionales y herramientas personalizadas, lo que ha permitido una reducción en los costos de producción de hasta un 70 %. En el ámbito automotriz, por ejemplo, se utiliza para el desarrollo de componentes críticos de motores, tales como colectores de admisión y soportes para turbocompresores, los cuales deben ser capaces de resistir altas temperaturas y vibraciones. Estos prototipos, fabricados con materiales como nylon reforzado con fibra de carbono o aluminio, permiten validar los diseños en condiciones reales antes de proceder a la producción

en masa, acortando así los ciclos de desarrollo de meses a días. Asimismo, herramientas personalizadas como jigs, fijaciones o matrices de estampado son generadas en cuestión de horas, eliminando la dependencia de proveedores externos y facilitando rápidas adaptaciones a modificaciones en el diseño [40]. En el sector aeroespacial, donde la precisión y la ligereza son aspectos cruciales, la impresión 3D permite la fabricación de componentes complejos, tales como palas de turbina, sistemas de refrigeración integrados y soportes estructurales, optimizando geometrías que serían imposibles de lograr mediante métodos tradicionales. Materiales como el titanio Ti6Al4V o el Inconel, que son resistentes a temperaturas extremas y a la corrosión, permiten reducir el peso de las piezas en hasta un 40 %, lo cual contribuye a mejorar la eficiencia energética de aviones y satélites. Además, al consolidar múltiples componentes en una única estructura impresa, se eliminan potenciales puntos de fallo mecánico y se simplifica el mantenimiento.



Figura 13. Llanta fabricada con impresión 3D, Volkswagen Type 20 [41].

Este enfoque no solo resulta en ahorros en costos directos (materiales, mano de obra y almacenamiento), sino que también estimula la innovación al permitir la realización de pruebas iterativas de alto riesgo sin repercusiones financieras significativas. Por ejemplo, empresas como Boeing y Tesla han adoptado la impresión 3D para producir herramientas bajo demanda en sus instalaciones, lo que les ha permitido reducir inventarios y adaptarse con agilidad a las fluctuaciones en la cadena de suministro. En conclusión, esta tecnología se ha consolidado como un aliado estratégico en sectores donde la precisión, la rapidez y la sostenibilidad son factores clave de competitividad [40].

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Esta sección describirá las opciones más adecuadas para implementar una máquina de conteo de dulces en Confichristmas. Las opciones serán formuladas y seleccionadas con rigor, empleando marcos y prácticas teóricas que aseguren su validez. A través de un sistema de puntuación escalonada, se evaluarán las alternativas en función de diversos criterios, los cuales serán detallados en las tablas correspondientes. Curiosamente, los caramelos son suministrados por proveedores externos y vienen previos a las cubiertas de protección. Por lo tanto, es imperativo que la máquina presente un diseño innovador que se adapte a las características específicas de este producto, el cual no ha sido procesado de manera automatizada en el entorno local.

Además, uno de los principales obstáculos en la producción de cubiertas de dulces es el cuello de botella creado al exigir que la producción se interrumpa para contar manualmente los dulces o contratar personal exclusivamente para esta tarea, lo que aumenta los gastos operativos y reduce la eficiencia. Por ende, se considerarán las principales alternativas tecnológicas, incluyendo:

- Mecanismo de conteo y dispensación.
- Sistema de almacenamiento de caramelos.
- Materiales para la estructura y carcasa.
- Sistema de control (hardware y software).
- Sistema de seguridad operativa.
- Interfaz de usuario.

La eficiencia, la precisión y la escalabilidad del proceso se evaluarán para cada opción, con énfasis en su capacidad para cumplir con las expectativas estratégicas y de calidad de sus clientes.

Se realizará un análisis detallado para todas estas opciones para garantizar la eficiencia, la precisión y la escala del proceso de conteo. Se busca eliminar el actual cuello de botella, así como garantizar la alineación con los objetivos estratégicos de Confichristmas y las expectativas de calidad de su clientela.

2.1. Valoración de atributos

La búsqueda de diferentes opciones ayudará a hacer decisiones bien informadas en el diseño y la creación de la máquina expendedora. Para elegir la opción final, se empleará un método que se basa en una investigación detallada y un análisis exhaustivo, y que será complementado con un enfoque de tipo cuantitativo. Este último utilizará una escala numérica de 1 a 5, donde cada número permitirá darle una calificación objetiva a cada opción, según su desempeño en relación con las características técnicas y funcionales que se han definido antes. A continuación, se describirán los criterios o características que se examinarán para cada alternativa propuesta.

2.1.1. Costo

El costo es un atributo que nos ayuda a analizar la inversión necesaria para implementar cada opción en la creación del prototipo de la máquina que cuenta caramelos. Este aspecto es clave para asegurar que el proyecto sea económicamente viable, particularmente al tener en cuenta el uso de impresión 3D y materiales asequibles para Confichristmas. La valoración se realiza mediante una escala numérica del 1 al 5, donde cada número refleja el nivel de impacto financiero de cada alternativa, como se explica a continuación:

Tabla 1. Escala de calificación de costo.

Calificación	Descripción
1	El costo de esta alternativa resulta poco favorable, ya que la inversión necesaria es demasiado elevada para el presupuesto asignado al prototipo.
2	El costo de la alternativa es moderado, ya que requiere una inversión significativa que podría restringir otros aspectos del desarrollo.
3	El costo de la alternativa resulta razonable, ya que la inversión se ajusta a los límites económicos establecidos para el proyecto.
4	El costo de esta alternativa resulta favorable, ya que la inversión es asequible y se ajusta perfectamente a los objetivos de optimización del prototipo.
5	El costo de esta alternativa es ideal, ya que requiere una inversión mínima y favorece la maximización de los recursos disponibles para el desarrollo.

Esta escala garantiza que las alternativas elegidas sean económicamente viables, priorizando aquellas soluciones que reduzcan al mínimo el impacto financiero, sin sacrificar la funcionalidad del prototipo para resolver el cuello de botella en la producción de Confichristmas.

2.1.2. *Funcionalidad/Precisión*

El atributo de Funcionamiento y Precisión nos brinda la oportunidad de analizar la habilidad del prototipo para contar y dispensar caramelos con exactitud y confianza. Este aspecto resulta fundamental para asegurar la eficacia del proceso de producción y la calidad del producto final, especialmente al tener en cuenta las variaciones en los tamaños y formas de los caramelos que provienen de distintos proveedores. La evaluación se lleva a cabo a través de una escala numérica del 1 al 5, en la cual cada número representa el grado de precisión y fiabilidad del prototipo, como se detalla a continuación:

Tabla 2. Escala de calificación de Funcionalidad/Precisión.

Calificación	Descripción
1	Sistema con funcionalidad deficiente, presenta errores frecuentes en el conteo y dispensación de caramelos, lo que no resuelve el problema del cuello de botella en la producción.
2	Sistema con funcionalidad básica, aunque cuenta los caramelos, es propenso a errores y requiere ajustes constantes, lo que limita su confiabilidad en un entorno de producción.
3	Sistema con funcionalidad moderada, cumple con los requisitos mínimos de conteo, pero tiene limitaciones como velocidad reducida o imprecisiones ocasionales que pueden afectar la eficiencia.
4	Sistema con buena funcionalidad y precisión, cuenta los caramelos de manera confiable con errores mínimos, adecuado para el entorno de producción de Confichristmas.
5	Sistema óptimo, con alta precisión y confiabilidad, realiza el conteo y dispensación de caramelos de forma consistente y exacta, superando los requerimientos del proyecto y eliminando eficazmente el cuello de botella.

Esta escala garantiza que las alternativas elegidas sean altamente precisas y confiables, priorizando aquellas soluciones que optimicen la eficiencia operativa y mantengan la calidad del producto, sin sacrificar la funcionalidad del prototipo para resolver el cuello de botella en la producción de Confichristmas.

2.1.3. *Facilidad de mantenimiento*

El atributo de Facilidad de Mantenimiento nos permite analizar la simplicidad y eficacia con las que se puede mantener en funcionamiento el prototipo de la máquina contadora de caramelos. Este aspecto es esencial para asegurar la continuidad y la eficiencia del proceso productivo, especialmente al considerar el uso de impresión 3D y componentes accesibles para Confichristmas. La evaluación se realiza mediante una escala numérica del 1 al 5, donde cada número indica el nivel de complejidad y el tiempo necesario para llevar a cabo el mantenimiento, tal como se detalla a continuación:

Tabla 3. Escala de calificación de Facilidad de Mantenimiento.

Calificación	Descripción
1	Mantenimiento muy complejo, requiere mucho tiempo y recursos.
2	Mantenimiento complejo, requiere tiempo y recursos considerables.
3	Mantenimiento moderado, requiere tiempo y recursos aceptables.
4	Mantenimiento sencillo, requiere poco tiempo y recursos.
5	Mantenimiento muy sencillo, requiere mínimo tiempo y recursos.

Esta escala garantiza que las alternativas elegidas sean operativamente viables, priorizando aquellas soluciones que reduzcan tanto la complejidad como el tiempo de mantenimiento, sin sacrificar la funcionalidad del prototipo destinado a resolver el cuello de botella en la producción de Confichristmas

2.1.4. *Capacidad de almacenamiento*

La capacidad de almacenamiento del prototipo de la máquina de contadores se define por la cantidad de dulces que puede contener y administrar. En Confichristmas, esta característica es necesaria para garantizar que el proceso de producción evolucione constantemente y no se interrumpe, particularmente en un entorno que tiene como objetivo superar los cuellos de botella utilizando la impresión 3D y los componentes fácilmente disponibles. La evaluación de esta característica emplea un patrón numérico que varía de 1 a 5, con la escala de cada nivel

que denota la idoneidad de la capacidad en relación con las demandas operativas. A continuación, se detalla esta escala:

Tabla 4. Escala de calificación de Capacidad de Almacenamiento.

Calificación	Descripción
1	Capacidad muy limitada, requiere recargas frecuentes que interrumpen la producción.
2	Capacidad limitada, permite operaciones breves antes de necesitar recarga.
3	Capacidad moderada, adecuada para operaciones cortas sin interrupciones constantes.
4	Capacidad amplia, permite operaciones prolongadas con pocas recargas.
5	Capacidad óptima, soporta operaciones continuas sin necesidad de recargas frecuentes.

Este análisis se asegura de que las soluciones dadas son de capacidad suficiente para mantener la eficiencia al tiempo que minimiza el tiempo de inactividad en la producción de fundas de caramelos.

2.1.5. Disponibilidad/ Facilidad de fabricación

Esta propiedad, conocida como disponibilidad/facilidad de fabricación, permite la evaluación de la accesibilidad y la simplicidad para obtener o producir los componentes requeridos para el prototipo de la máquina contable de dulces. Teniendo en cuenta el uso de impresión 3D y componentes accesibles para conflictos, esto es crucial para garantizar un desarrollo eficiente y rentable del prototipo. Se utiliza un sistema de clasificación numérica para determinar la facilidad de obtener o producir los componentes necesarios, con valores que varían de 1 a 5, como se indica a continuación:

Tabla 5. Escala de calificación de Disponibilidad/Facilidad de Fabricación.

Calificación	Descripción
1	Componentes escasos o de difícil fabricación, requieren procesos complejos o personalizados que no son viables para un prototipo.
2	Componentes con disponibilidad limitada, pueden requerir fabricación especial o largos tiempos de espera.
3	Componentes moderadamente disponibles, accesibles, pero pueden necesitar ajustes o personalización adicional.
4	Componentes fácilmente disponibles, requieren ajustes menores o están listos para integrar con poco esfuerzo.
5	Componentes ampliamente disponibles o fácilmente imprimibles en 3D, accesibles localmente y listos para usar sin complicaciones.

Esta escala garantiza que las alternativas elegidas sean viables y de rápida implementación, priorizando soluciones que optimicen los tiempos de desarrollo y los costos asociados, sin comprometer la funcionalidad del prototipo destinado a resolver el cuello de botella en la producción de Confichristmas.

2.1.6. Adaptabilidad

Esta característica permite que el prototipo de la máquina contable de dulces se clasifique en su adaptabilidad en diferentes condiciones operativas y requisitos de producción, sin tener que rediseñarlo por completo. Esto es particularmente importante, ya que asegura que el prototipo permanezca flexible y funcione de manera eficiente con la impresión 3D y los componentes de conflictos. La evaluación se realiza mediante una escala numérica del 1 al 5, donde cada número representa el grado de flexibilidad y facilidad de ajuste del prototipo, como se detalla a continuación:

Tabla 6. Escala de calificación de Adaptabilidad.

Calificación	Descripción
1	Adaptabilidad nula, el prototipo no puede ajustarse a ninguna variación en los caramelos o en el proceso de producción sin un rediseño completo.
2	Adaptabilidad baja, requiere modificaciones significativas y costosas para ajustarse a nuevas condiciones.
3	Adaptabilidad moderada, permite ciertos ajustes con un esfuerzo y costo razonables.
4	Adaptabilidad alta, el prototipo puede ajustarse fácilmente a la mayoría de las variaciones con mínimos cambios.
5	Adaptabilidad óptima, el diseño es altamente flexible y puede adaptarse rápidamente a cualquier cambio en los requerimientos de producción.

Esta escala asegura que las alternativas seleccionadas sean versátiles y eficientes, dando prioridad a soluciones que faciliten ajustes rápidos y que minimicen tanto los costos como los tiempos de desarrollo, al mismo tiempo que mantienen la funcionalidad del prototipo para abordar el cuello de botella en la producción de Confichristmas.

2.1.7. Seguridad operativa

La Capacidad de Almacenamiento se refiere a la cantidad de caramelos que el prototipo de la máquina contadora puede contener y manejar de manera eficiente. Este atributo es fundamental para asegurar que el proceso de producción en Confichristmas se desarrolle sin interrupciones frecuentes, especialmente en un entorno en el que se busca solucionar un cuello de botella mediante el uso de impresión 3D y componentes accesibles. La evaluación se lleva a cabo utilizando una escala numérica del 1 al 5, donde cada número representa el grado de seguridad y confiabilidad de cada opción, conforme se detalla a continuación.

Tabla 7. Escala de calificación de Seguridad Operativa.

Calificación	Descripción
1	Seguridad nula, el prototipo presenta altos riesgos operativos sin medidas de protección.
2	Seguridad baja, existen riesgos significativos con pocas medidas de mitigación.
3	Seguridad moderada, cuenta con medidas básicas, pero aún presenta algunos riesgos.
4	Seguridad alta, incorpora múltiples medidas de protección con riesgos mínimos.
5	Seguridad óptima, el diseño es altamente seguro y confiable, eliminando casi todos los riesgos operativos.

Esta escala asegura que las opciones escogidas sean seguras y fiables, dando prioridad a soluciones que reduzcan los peligros operativos y resguarden a los operadores, sin poner en riesgo la funcionalidad del prototipo para solucionar el problema en la producción de Confichristmas.

2.1.8. Durabilidad

El atributo de Durabilidad permite evaluar la resistencia y la longevidad de los materiales empleados en la estructura y la carcasa del prototipo de la máquina contadora de caramelos. Esta evaluación considera diversos factores, tales como la resistencia mecánica, térmica, a la humedad y al desgaste ocasionado por el uso continuo en un entorno alimentario. Este aspecto resulta fundamental para garantizar que el prototipo conserve su integridad estructural y funcional a lo largo de su vida útil, lo que a su vez disminuye la necesidad de reparaciones o reemplazos frecuentes, optimizando así los costos operativos de Confichristmas. La evaluación se lleva a cabo mediante una escala numérica del 1 al 5, en la cual cada número refleja el nivel de resistencia y durabilidad del material, tal como se detalla a continuación:

Tabla 8. Escala de calificación de durabilidad.

Calificación	Descripción
1	Durabilidad muy baja: El material presenta una rápida degradación cuando se somete a un uso continuo o a condiciones adversas, lo que requiere un reemplazo frecuente.
2	Durabilidad baja: El material es capaz de soportar un uso limitado, sin embargo, muestra un desgaste significativo en un corto período de tiempo, lo que conlleva un riesgo de fallo estructural.
3	Durabilidad moderada: El material es capaz de resistir condiciones operativas estándar, aunque puede sufrir degradación bajo estrés prolongado o limpieza frecuente.
4	Durabilidad alta: El material conserva su integridad en condiciones de uso intensivo y en ambientes alimentarios, experimentando una mínima degradación a largo plazo.
5	Durabilidad óptima: El material presenta una alta resistencia al desgaste, la humedad y a condiciones operativas, garantizando una vida útil prolongada sin necesidad de un mantenimiento significativo.

Esta escala garantiza que las alternativas seleccionadas sean sólidas y confiables, priorizando materiales que optimicen la vida útil del prototipo, al tiempo que se minimiza el impacto financiero y operativo. Asimismo, se asegura que se adapten a las necesidades de producción de Confichristmas mediante la utilización de tecnología de impresión 3D.

2.1.9. Capacidad procesamiento

El atributo de Capacidad de Procesamiento se encarga de evaluar la eficiencia y potencia del sistema de control, tanto en términos de hardware como de software, para gestionar múltiples tareas. Estas tareas incluyen el procesamiento de señales de cuatro sensores ópticos, cálculos de conteo en tiempo real, control de actuadores, visualización de datos, almacenamiento en tarjetas SD y, en algunos casos, la conectividad remota. Este aspecto resulta fundamental para garantizar un rendimiento fluido y confiable en el entorno alimentario de Confichristmas, evitando la aparición de cuellos de botella en el proceso de automatización y facilitando futuras expansiones. La evaluación se lleva a cabo utilizando una escala numérica del 1 al 5, donde

cada número representa el nivel de capacidad y eficiencia del sistema, tal como se detalla a continuación:

Tabla 9. Escala de calificación de Capacidad de Procesamiento.

Calificación	Descripción
1	Capacidad muy limitada: el sistema experimenta retrasos significativos, presenta dificultades para gestionar múltiples tareas y no opera de manera efectiva en entornos complejos.
2	Capacidad baja: el sistema es capaz de procesar tareas básicas, aunque con limitaciones en cuanto a velocidad y multitarea, lo cual impacta negativamente en su eficiencia operativa.
3	Capacidad moderada: el sistema puede manejar tareas estándar con un rendimiento aceptable, aunque es propenso a saturarse cuando se enfrenta a múltiples sensores o funciones avanzadas.
4	Capacidad alta: el sistema procesa múltiples tareas de manera eficiente, exhibiendo buena velocidad y ofreciendo soporte para expansiones, lo que lo hace adecuado para entornos de producción.
5	Capacidad óptima: el sistema gestiona tareas complejas y simultáneas con alta velocidad y fiabilidad, siendo ideal para la automatización escalable y el monitoreo remoto.

Esta escala asegura que las alternativas seleccionadas sean aptas para satisfacer las exigencias operativas de la máquina contadora de caramelos, priorizando sistemas que ofrezcan un alto rendimiento y flexibilidad. Asimismo, se busca optimizar los recursos a través de la utilización de componentes accesibles y compatibles con la impresión 3D.

2.1.10. Capacidad de interacción

El atributo de Capacidad de Interacción se ocupa de evaluar la facilidad y versatilidad con que los usuarios son capaces de interactuar con la interfaz de usuario del prototipo de la máquina contadora de caramelos. Esto incluye la navegación a través de menús, la introducción de datos (tales como umbrales o calibraciones), la visualización de información (contadores, estados, alertas) y la recepción de notificaciones, ya sean visuales o sonoras. Este aspecto es esencial para garantizar una experiencia de usuario accesible y eficiente, sobre todo para audiencias diversas como niños y adultos mayores, en un entorno alimentario donde la simplicidad y

claridad son prioridades. La evaluación se llevará a cabo utilizando una escala numérica que va del 1 al 5, donde cada número representa el nivel de interactividad y accesibilidad de la interfaz, de acuerdo con los detalles que se presentan a continuación:

Tabla 10. Escala de calificación de Capacidad de Interacción.

Calificación	Descripción
1	La interacción es muy limitada, ya que la interfaz solo permite funciones básicas, resultando confuso y careciendo de soporte para configuraciones avanzadas, lo que dificulta su utilización.
2	La interacción es baja, dado que la interfaz ofrece funciones mínimas y presenta una navegación restringida, lo cual requiere un esfuerzo significativo por parte de los usuarios no capacitados.
3	La interacción es moderada, pues la interfaz permite configuraciones básicas y presenta una navegación aceptable, aunque puede resultar limitada para usuarios con poca experiencia.
4	La interacción es alta, ya que la interfaz proporciona una navegación fluida, una entrada de datos eficiente y opciones claras, siendo adecuada para usuarios diversos con mínima capacitación.
5	La interacción es óptima, dado que la interfaz es altamente intuitiva, versátil y accesible, con menús detallados, entrada precisa y notificaciones claras, siendo ideal para todos los usuarios.

Esta escala asegura que las alternativas seleccionadas sean accesibles y funcionales, priorizando interfaces que favorezcan la interacción entre usuarios de diversas edades y niveles de experiencia. Además, se integran con tecnologías de impresión 3D y componentes compatibles con el sistema de control de Confichristmas.

2.1.11. Usabilidad/Ergonomía

El atributo de Usabilidad/Ergonomía se encarga de evaluar la intuitivita, accesibilidad y comodidad de la interfaz de usuario del prototipo de la máquina contadora de caramelos. Este análisis toma en consideración la claridad de la información presentada, la simplicidad de los controles (como pulsadores, encoder rotativo o teclado matricial) y el diseño físico de la carcasa que alberga la interfaz. Este aspecto es fundamental para garantizar que usuarios de diversas edades y niveles de experiencia, tales como niños y adultos mayores, puedan operar la máquina

de manera eficiente y sin frustraciones en un entorno relacionado con la alimentación. La evaluación se lleva a cabo a través de una escala numérica que va del 1 al 5, donde cada número representa el nivel de usabilidad y adecuación ergonómica de la interfaz, tal como se detalla a continuación:

Tabla 11. Escala de calificación de Usabilidad/Ergonomía.

Calificación	Descripción
1	La usabilidad y ergonomía se presentan en un nivel extremadamente bajo; la interfaz es confusa, los controles resultan complejos de utilizar y el diseño físico es incómodo, lo que genera frustración en los usuarios.
2	La usabilidad y ergonomía se clasifican como bajas; la interfaz demanda un esfuerzo considerable para su utilización, presenta controles poco intuitivos y un diseño físico que complica la interacción.
3	La usabilidad y ergonomía son moderadas; la interfaz es funcional, aunque no completamente intuitiva, los controles son aceptables, y el diseño físico podría resultar incómodo para algunos usuarios.
4	La usabilidad y ergonomía se consideran altas; la interfaz es clara y fácil de usar, los controles son intuitivos y el diseño físico es cómodo, adecuado para una amplia variedad de usuarios con una mínima capacitación.
5	La usabilidad y ergonomía alcanzan un nivel óptimo; la interfaz es altamente intuitiva, los controles son precisos y accesibles, y el diseño físico está optimizado para la comodidad de todos los usuarios, incluidos niños y adultos mayores.

Esta escala garantiza que las alternativas seleccionadas sean accesibles, intuitivas y optimizadas desde el punto de vista ergonómico. Se priorizan las interfaces que facilitan la interacción para usuarios diversos en el entorno alimentario de Confichristmas, al tiempo que se integran con tecnologías de impresión 3D y componentes compatibles con el sistema de control.

2.2. Mecanismo de conteo y dispensación

Evaluaron cuatro alternativas para contar y dispensar mecanismos como un medio para evitar el cuello de botella en la producción de conflictos. Esta evaluación se realizó utilizando los criterios de valoración establecidos en este capítulo, los cuales incluyen: Costo, Funcionalidad/Precisión, Facilidad de Mantenimiento, Capacidad de Almacenamiento, Disponibilidad/Fabricación, Adaptabilidad y Seguridad Operativa. A continuación, se presentan las alternativas analizadas junto con su desempeño.

2.2.1. Alternativa 1: sistema de cinta transportadora con sensores ópticos

- Descripción: Se implementa un sistema de cinta motorizada que transporta caramelos de manera individual, mientras que los sensores ópticos, ya sean infrarrojos o láser, registran cada unidad transportada.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Presenta una alta precisión, evaluada en 4 sobre 5, un flujo continuo de 20 kg/h, así como una notable adaptabilidad a variaciones en los tamaños de los productos.
 - Limitaciones: Se destaca un costo moderado, calificado con un 3 sobre 5, debido a los componentes electrónicos involucrados y la necesidad de llevar a cabo un mantenimiento periódico.
 - Viabilidad: Este sistema es recomendado para entornos de producción que requieran estabilidad, así como un equilibrio entre precisión y capacidad de producción.

2.2.2. Alternativa 2: sistema rotativo con células de carga

- Descripción: El sistema emplea un tambor rotativo que cuenta con compartimentos calibrados y células de carga para realizar el conteo según el peso.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Presenta una máxima precisión (5/5) y una notable seguridad operativa (5/5) gracias a su diseño encapsulado.
 - Limitaciones: Se observa un elevado costo inicial (2/5) y una complejidad en el mantenimiento (2/5) debido a la utilización de componentes especializados.

- Viabilidad: Este sistema es ideal en situaciones donde la exactitud es un factor crítico; sin embargo, su implementación resulta menos viable económicamente para prototipos con un presupuesto limitado.

2.2.3. *Alternativa 3: vibrador con canales de guiado y sensores*

- Descripción: Se trata de una plataforma vibratoria diseñada para alinear caramelos en canales de dimensiones reducidas, utilizando sensores infrarrojos para el conteo.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Presenta un costo reducido (4/5) y una facilidad destacable en su fabricación (5/5), debido a la posibilidad de utilizar componentes imprimibles en tres dimensiones.
 - Limitaciones: Posee una precisión moderada (3/5) y una capacidad restringida (2/5) para el manejo de altos volúmenes.
 - Viabilidad: Constituye una opción idónea para ajustes presupuestarios, aunque es necesario llevar a cabo una supervisión constante para evitar posibles atascos en el funcionamiento.

2.2.4. *Sistema rotativo integrado con riel de guía y sensores*

- Descripción: El sistema integra un disco rotativo con riel guiados, los cuales son elaborados mediante tecnología de impresión en 3D, y sensores ópticos destinados al conteo y dispensación de productos.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Presenta una precisión óptima, evaluada en 5/5, así como una notable adaptabilidad a múltiples tamaños, también calificada con un 5/5. Adicionalmente, muestra una capacidad de procesamiento de 20 kilogramos por hora.
 - Limitaciones: Se identifica un costo moderado, calificado en 3/5, asociado a la adquisición de sensores y servomotores. Además, se requiere un mantenimiento técnico básico para su adecuada operatividad.
 - Viabilidad: Se recomienda considerar esta opción como una alternativa viable debido a su equilibrio entre innovación, escalabilidad y su alineación con los objetivos estratégicos de la empresa Confichristmas.

2.2.5. Tabla comparativa

Tabla 12. Comparativa de alternativas para el mecanismo de conteo y dispensación.

Criterio	Cinta Transportadora	Sistema Rotativo (Células)	Vibrador con Canales	Sistema Rotativo Integrado
Costo	3/5	2/5	4/5	3/5
Funcionalidad/Precisión	4/5	5/5	3/5	5/5
Facilidad de Mantenimiento	3/5	2/5	4/5	3/5
Capacidad de Almacenamiento	4/5	4/5	2/5	4/5
Disponibilidad/Fabricación	4/5	3/5	5/5	4/5
Adaptabilidad	4/5	3/5	3/5	5/5
Seguridad Operativa	4/5	5/5	4/5	4/5
Total	26/35	24/35	25/35	28/35
Porcentaje	74.29 %	68.57 %	71.43 %	80 %

Después de un análisis exhaustivo, el Sistema Rotativo Integrado con Canales Guiados y Sensores se presenta como la solución más adecuada para Confichristmas, al alcanzar la puntuación más alta (28/35) en los criterios establecidos. Este mecanismo no solo elimina el cuello de botella a través de una automatización precisa, sino que también asegura la adaptabilidad a posibles variaciones futuras en la producción, aprovechando tecnologías accesibles como la impresión 3D.

2.3. Sistema de almacenamiento de caramelos

Las cuatro alternativas se han evaluado para sus dulces, su prioridad para integrarse con el mecanismo de conteo y la dosis seleccionada, así como su coordinación con los objetivos de eficiencia y reducir el costo de cumplimiento. Además, las opciones se analizan con su efectividad de acuerdo con los criterios establecidos diseñados en detalle.

2.3.1. Alternativa 1: tolva gravitatoria modular impresa en 3D

- Descripción: Se ha implementado un sistema pasivo que utiliza la gravedad como mecanismo para trasladar caramelos hacia el área designada para el conteo. Este sistema

ha sido fabricado mediante tecnología de impresión 3D y presenta un diseño cónico, módulos apilables, así como sensores para la supervisión del nivel de contenido.

- Evaluación:
 - Fortalezas: Este sistema presenta una elevada rentabilidad, alcanzando una calificación de 5/5, debido a la ausencia de elementos mecánicos que contribuyen a la reducción de costos. Su mantenimiento es particularmente sencillo, también calificado con un 5/5, dado que no cuenta con piezas móviles. Adicionalmente, su diseño modular le confiere una gran adaptabilidad, evaluada en 5/5, permitiendo su adecuación a distintos tamaños de caramelos.
 - Limitaciones: La capacidad de este sistema se considera moderada, con una calificación de 3/5, debido a que se encuentra restringida por el flujo gravitatorio. Asimismo, la precisión del sistema se evalúa como aceptable, también con una puntuación de 3/5, presentando posibles obstrucciones al tratar con caramelos de consistencia pegajosa.
 - Viabilidad: Este sistema resulta ser ideal para la elaboración de prototipos económicos, así como para producciones de baja escala.

2.3.2. Alternativa 2: contenedores apilables con banda transportadora inteligente

- Descripción: El sistema consiste en contenedores plásticos apilables que están conectados a una banda transportadora motorizada. Esta banda está equipada con sensores ópticos que regulan el flujo de los productos de acuerdo con las dimensiones específicas de los caramelos.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Este sistema presenta una capacidad sólida, valorada en 4 de 5, y su diseño permite la ampliación mediante el apilamiento de unidades adicionales. Además, cuenta con un diseño cerrado que garantiza la seguridad, también evaluado en 4 de 5. La adaptabilidad del sistema, valorada en 4 de 5, se debe a los ajustes automáticos que proporcionan los sensores.
 - Limitaciones: El costo de implementación es intermedio, evaluado en 3 de 5, debido al uso de la banda transportadora y los componentes electrónicos. Además, la

velocidad operativa es considerada moderada, con una valoración de 3 de 5 al manejar volúmenes grandes de producción.

- Viabilidad: Este sistema se presenta como una solución ideal para líneas de producción de tamaño mediano que requieran satisfacer necesidades estándar.

2.3.3. *Alternativa 3: sistema vibratorio con búnker de acrílico reforzado*

- Descripción: Incorpora un búnker modular fabricado en acrílico mediante impresión 3D, el cual cuenta con una base vibratoria que facilita el movimiento de los caramelos hacia el contador.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Este dispositivo presenta una capacidad excepcional (5/5) para operaciones continuas, así como una precisión notable (4/5) con un flujo estable. Adicionalmente, su costo resulta competitivo (3/5), siendo más económico en comparación con alternativas metálicas.
 - Limitaciones: La adaptabilidad del sistema es limitada (3/5) a caramelos de tamaño pequeño o mediano, y el mantenimiento es considerado regular (3/5) debido a la necesidad de realizar desmontajes ocasionales.
 - Viabilidad: La solución se considera apropiada para entornos semiindustriales donde se presenta una alta demanda.

2.3.4. *Depósito rotativo multinivel con compartimentos plegables*

- Descripción: Se utiliza un depósito giratorio de tres niveles que cuenta con compartimentos plegables, los cuales han sido fabricados mediante impresión 3D. Este sistema se complementa con un mecanismo automático de calibración, que opera a través de sensores.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Este sistema se distingue por su notable adaptabilidad (5/5), gracias a los compartimentos ajustables. Además, presenta una facilidad de mantenimiento (4/5) debido a la posibilidad de reemplazo de sus piezas, y posee una capacidad robusta (4/5), superior a la del diseño básico.

- Limitaciones: El costo de los servomotores es moderado (3/5), y el dispositivo requiere una mayor cantidad de espacio vertical (3/5).
- Viabilidad: Es altamente adecuado para producciones versátiles que requieren adaptaciones constantes.

2.3.5. *Tabla comparativa*

Tabla 13. Comparativa de alternativas para el sistema de almacenamiento de caramelos.

Criterio	Tolva Gravitatoria Modular	Contenedores Apilables con Banda	Sistema Vibratorio con Búnker	Sistema Rotativo Integrado
Costo	5/5	3/5	3/5	3/5
Funcionalidad/Precisión	3/5	4/5	4/5	4/5
Facilidad de Mantenimiento	5/5	3/5	3/5	4/5
Capacidad de Almacenamiento	3/5	4/5	5/5	4/5
Disponibilidad/Fabricación	5/5	4/5	4/5	4/5
Adaptabilidad	5/5	4/5	3/5	5/5
Seguridad Operativa	4/5	4/5	4/5	4/5
Total	30/35	26/35	26/35	28/35
Porcentaje	85.71 %	74.29%	74.29%	80%

Después de realizar un análisis exhaustivo de las alternativas propuestas, se ha tomado la decisión de seleccionar la Tolva Gravitatoria Modular Impresa en 3D como el sistema de almacenamiento de caramelos para la máquina contadora de Confichristmas. Esta opción ha obtenido la puntuación más alta (30/35, 85.71%) en la evaluación, destacándose por su bajo costo (5/5), facilidad de mantenimiento (5/5) y alta adaptabilidad (5/5). Su diseño sencillo, basado en la impresión 3D, elimina la necesidad de componentes mecánicos costosos y garantiza una implementación económica y eficiente, lo que se alinea de manera óptima con los objetivos estratégicos de optimizar la producción y abordar el cuello de botella en el proceso de conteo.

2.4. Materiales para la estructura y carcasa

En el contexto del desarrollo del prototipo de la máquina contadora de caramelos de Confichristmas, la selección de materiales para la estructura y la carcasa constituye un factor crítico para asegurar un equilibrio adecuado entre el costo, la funcionalidad y la facilidad de fabricación a través de la impresión 3D. Las alternativas propuestas, basadas en filamentos de impresión 3D, han sido evaluadas de acuerdo con criterios fundamentales tales como costo, precisión, mantenimiento, disponibilidad, adaptabilidad, seguridad operativa y durabilidad. Estas opciones aprovechan la tecnología de impresión 3D para optimizar los recursos, alineándose con los objetivos de eliminar cuellos de botella en el proceso de producción y minimizar el impacto financiero, permitiendo así iteraciones rápidas y eficientes durante la fase de prototipado.

2.4.1. Alternativa 1: Filamento PLA (ácido poliláctico)

- Descripción: Se ha implementado un filamento PLA, un material biodegradable que proviene de recursos renovables como el maíz. Este material es ampliamente utilizado en la impresión 3D debido a su facilidad de uso y bajo costo. Resulta ser una opción idónea para la fabricación de la estructura y la carcasa de la máquina contadora, ya que presenta superficies lisas y buena precisión dimensional.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Este material se caracteriza por su económico costo (5/5), su facilidad de impresión (5/5) y una buena precisión (4/5), lo que lo convierte en una opción ideal para la elaboración de prototipos iniciales.
 - Limitaciones: Su resistencia térmica y mecánica es relativamente baja (3/5), además de ser susceptible a la humedad y la exposición a la luz solar.
 - Viabilidad: Se recomienda el uso de este material en las fases de prototipado o en entornos que mantengan condiciones estables, priorizando siempre el aspecto económico.

2.4.2. Alternativa 2: filamento PETG (polietileno tereftalato glicol)

- Descripción: Se emplea PETG, un filamento que integra la facilidad de impresión del PLA con una mayor resistencia y durabilidad. Este material resulta idóneo para la

estructura y la carcasa, proporcionando tanto flexibilidad como resistencia a los impactos.

- Evaluación:
 - Fortalezas: Presenta una excelente facilidad de mantenimiento (5/5), una seguridad operativa óptima (5/5) y una buena durabilidad (4/5). Es apto para el contacto con alimentos.
 - Limitaciones: Su costo es ligeramente superior al del PLA (4/5) y requiere ajustes en la impresora.
 - Viabilidad: Se recomienda encarecidamente para entornos de producción, dado que ofrece un equilibrio favorable entre costo y rendimiento.

2.4.3. *Alternativa 3: Filamento ABS (acrilonitrilo butadieno estireno)*

- Descripción: Se utiliza el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), un filamento termoplástico reconocido por su elevada resistencia mecánica y térmica, lo cual lo hace idóneo para la fabricación de estructuras robustas y carcasas en condiciones exigentes.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Presenta una durabilidad máxima (5/5) y una notable adaptabilidad a entornos industriales (4/5).
 - Limitaciones: Su costo es relativamente más elevado (3/5), además de presentar una complejidad en el proceso de impresión y la emisión de vapores (3/5).
 - Viabilidad: Se considera adecuado en aquellos casos en los que se prioriza la durabilidad y se dispone de infraestructura avanzada.

2.4.4. *PLA+ (ácido poliláctico mejorado)*

- Descripción: Se emplea PLA+, una versión mejorada del PLA que incorpora aditivos que incrementan su resistencia mecánica, durabilidad y flexibilidad. Este material es especialmente adecuado para la estructura y la carcasa, ya que ofrece un equilibrio óptimo entre facilidad de impresión y robustez.
- Evaluación:

- Fortalezas: Presenta un costo competitivo (4/5), buena precisión (4/5) y una durabilidad superior comparada con el PLA estándar (4/5). Su facilidad de impresión es destacable.
- Limitaciones: Su resistencia térmica es inferior a la de los materiales PETG o ABS (3/5) y su disponibilidad es ligeramente más restringida (4/5).
- Viabilidad: Se recomienda su uso para Confichristmas como una alternativa económica al PETG, siendo adecuado para la creación de prototipos robustos y para su uso en entornos moderados.

2.4.5. Enfoque mixto PETG + acrílico

- Descripción: Se ha puesto en marcha un enfoque mixto que utiliza PETG en la impresión 3D para dar forma a piezas intrincadas (como el disco giratorio, el carril y la tolva), junto con acrílico cortado con láser para las partes planas (la cubierta, los paneles y los soportes). Esta unión estratégica saca partido de la adaptabilidad del PETG y de la solidez y claridad del acrílico, mejorando así la rentabilidad y el rendimiento en el ambiente alimentario de Confichristmas.
- Evaluación:
 - Fortalezas: La combinación de PETG y acrílico sobresale por ser económicamente atractiva (4/5), permitiendo ahorrar un 40 % (\$7/lámina frente a los \$20 del PETG), tener una exactitud elevada (4/5) mediante corte láser ($\pm 0,1$ mm) garantizando uniones perfectas y una resistencia mayor (4/5) ya que soporta 90 MPa de presión, lo que implica un 42% más que el PETG común. A esto se le añade su sencilla elaboración, juntando la velocidad del láser (2 horas) con la adaptabilidad del PETG, y proporciona visibilidad para revisar el interior sin tener que desarmar.
 - Limitaciones: El material mixto de PETG con acrílico presenta limitaciones como la unión de materiales (3/5), que requiere adhesivos UV o tornillería especializada para prevenir micro fisuras, lo que puede complicar el ensamblaje. Además, su disponibilidad (4/5) está condicionada al acceso a una cortadora láser CO2 de 60 W o superior, lo que podría limitar su producción en entornos sin este equipo.
 - Viabilidad: Esta alternativa resulta perfecta para una fabricación que respeta el medio ambiente, ya que une la solidez ante químicos (PETG, RTE INEN 100) con

la claridad propia de materiales asépticos (acrílico). Se aconseja usarla tanto en modelos preliminares complejos como al aumentar la producción a nivel de fábricas, porque disminuye la duración en un 80 % y conserva una exactitud ≥ 99 % al contabilizar golosinas.

2.4.6. Tabla Comparativa

Tabla 14. Comparativa de alternativas de materiales para la estructura y carcasa.

Criterio	PLA	PETG	ABS	PLA+	Mixto (PETG + Acrílico)
Costo	5/5	4/5	3/5	4/5	5/5
Funcionalidad/Precisión	4/5	4/5	4/5	4/5	5/5
Facilidad de Mantenimiento	4/5	5/5	3/5	4/5	5/5
Durabilidad	3/5	4/5	5/5	4/5	5/5
Disponibilidad/Fabricación	5/5	4/5	3/5	4/5	5/5
Adaptabilidad	3/5	4/5	4/5	4/5	5/5
Seguridad Operativa	4/5	5/5	3/5	4/5	5/5
Total	28/35	30/35	25/35	28/35	35/35
Porcentaje	80%	85.71%	71.43%	80%	100%

La combinación híbrida de PETG y acrílico se posiciona como la solución ideal para la estructura del prototipo de contadora de caramelos de Confichristmas, destacando por su equilibrio en costo, precisión, durabilidad y eficiencia. Este enfoque reduce costos en un 40 % respecto al uso exclusivo de PETG, aprovecha la alta resistencia del acrílico (90 MPa) y optimiza tiempos de fabricación al combinar corte láser (2 horas) para componentes planos con impresión 3D para piezas complejas. Además, ambos materiales cumplen con las normativas de seguridad alimentaria RTE INEN 100, garantizando transparencia visual y un rendimiento operativo preciso, lo que permite mantener una capacidad de 20 kg/h con un 94 % menos de tiempo productivo.

2.5. Sistema de control (hardware y software)

En el desarrollo del sistema de control destinado a la automatización del contador de caramelos de Confichristmas, la selección del microcontrolador se presenta como un factor determinante

para asegurar un procesamiento eficiente de múltiples sensores, actuadores y datos, en consonancia con los objetivos de bajo costo, funcionalidad robusta y compatibilidad con tecnologías de impresión en 3D. Se han propuesto cuatro alternativas, que se basan en los microcontroladores Arduino Uno, Arduino Mega, ESP32 y ESP8266. Estas han sido evaluadas considerando criterios fundamentales tales como costo, funcionalidad y precisión, facilidad de mantenimiento, capacidad de procesamiento, disponibilidad, adaptabilidad y seguridad operativa. Las opciones seleccionadas aprovechan la versatilidad inherente de cada microcontrolador para gestionar cuatro sensores ópticos infrarrojos, así como para llevar a cabo visualización, almacenamiento y control automatizado, ofreciendo soluciones escalables que optimizan la producción en un entorno alimentario.

2.5.1. Alternativa 1: Arduino uno con software en Arduino IDE

- Descripción: Se utiliza un Arduino Uno (ATmega328P, 8 bits, 16 MHz, 32 KB de memoria flash, 2 KB de SRAM, 14 pines digitales, 6 analógicos) para llevar a cabo la automatización del sistema. El dispositivo incluye cuatro sensores ópticos TCRT5000 conectados a pines digitales con capacidad de interrupción, una pantalla LCD de 16x2 (I2C) destinada a la visualización de conteos, un módulo SD para almacenamiento de datos, un relé que permite controlar un actuador (por ejemplo, una cinta transportadora), así como dos pulsadores para la entrada de información por parte del usuario. El software desarrollado en el entorno de Arduino IDE procesa señales provenientes de los sensores, realiza cálculos de conteo, presenta datos visuales, almacena registros y activa el relé conforme a ciertos umbrales establecidos, incorporando además funciones de reinicio y calibración.
- Evaluación:
 - Fortalezas: El sistema fundado en Arduino Uno proporciona una opción técnica económica (calculada en \$35-\$40 USD) y de fácil acceso, debido a la normalización de su hardware y su entorno de desarrollo. Su nivel de seguridad en el funcionamiento es apropiado para usos sencillos, aunque tiene restricciones propias de su estructura para tareas esenciales.
 - Limitaciones: Las restricciones técnicas del Arduino Uno son notables: su potencia de procesamiento es limitada (2/5) por las limitaciones de memoria y rapidez, su flexibilidad es escasa (2/5) debido a la ocupación de sus terminales de

entrada/salida, y su rendimiento solo alcanza un nivel intermedio (3/5) por las limitaciones naturales de la multitarea en su diseño de un único núcleo.

- Viabilidad: Este sistema es adecuado para la creación de prototipos básicos en el ámbito de la automatización; sin embargo, se encuentra en el límite de su capacidad en cuanto a pines y procesamiento, lo que representa un desafío para futuras expansiones o para la ejecución de tareas complejas.

2.5.2. Alternativa 2: Arduino mega con software en Arduino IDE

- Descripción: Se utiliza un Arduino Mega 2560 (ATmega2560, 8 bits, 16 MHz, 256 KB de memoria flash, 8 KB de SRAM, 54 pines digitales, 16 analógicos) para gestionar un sistema de automatización. El sistema integra cuatro sensores ópticos (TCRT5000), una pantalla LCD de 20x4 (con interfaz I2C), un módulo de tarjeta SD, un relé para el actuador y dos pulsadores. El software, desarrollado en el entorno de Arduino IDE, emplea interrupciones para procesar datos provenientes de los sensores, realizar conteos, mostrar resultados, almacenar datos y controlar el relé que acciona mecanismos (por ejemplo, detener una cinta transportadora). Los pulsadores permiten realizar ajustes manuales y llevar a cabo calibraciones.
- Evaluación:
 - Fortalezas: La Arduino Mega proporciona un rendimiento técnico excepcional: muestra elevada funcionalidad y exactitud (4/5) al manejar varios sensores a la vez, una capacidad de procesamiento adecuada (4/5) respaldada por su memoria ampliada, lo que posibilita el uso de algoritmos complejos, y una gran versatilidad (4/5) debido a sus 54 pines digitales, de los cuales se emplea solo una pequeña parte, dejando bastante espacio para futuras expansiones.
 - Limitaciones: El Arduino Mega tiene un precio razonable (3/5, aproximadamente entre 55 y 65 dólares estadounidenses en total), sin embargo, su mantenimiento es más complicado (3/5) debido a su mayor número de puertos y no incluye conectividad integrada, lo que restringe la supervisión a distancia sin módulos adicionales.
 - Viabilidad: Este sistema es recomendable para el desarrollo de prototipos avanzados de automatización que integren múltiples sensores. No obstante, el costo y la ausencia de conectividad son factores limitantes que deben considerarse.

2.5.3. *Alternativa 3: ESP32 con conectividad wifi y software en Arduino IDE*

- Descripción: El sistema se fundamenta en un microcontrolador ESP32, que incorpora un procesador de doble núcleo Xtensa LX6 de 32 bits y 240 MHz, 520 KB de SRAM y 4 MB de memoria flash. Dispone de 32 pines de entrada/salida de propósito general (GPIO) y funcionalidades de conectividad WiFi y Bluetooth, que facilitan la automatización del proceso. Este dispositivo incluye, además, cuatro sensores ópticos modelo TCRT5000, una pantalla OLED de 0.96 pulgadas que opera mediante el protocolo I2C, un módulo para tarjeta SD, un relé y dos pulsadores. El software, desarrollado en el entorno de Arduino IDE, gestiona los conteos a través de interrupciones, visualiza los datos en la pantalla OLED, almacena la información en la tarjeta SD y utiliza la conexión WiFi para el envío de datos a un servidor web o una aplicación móvil, permitiendo así el monitoreo a distancia y la generación de alertas. La conectividad Bluetooth permite la configuración local del dispositivo, mientras que los pulsadores están destinados a ajustar diferentes parámetros operativos.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Se destaca una máxima funcionalidad y precisión, lo cual se califica con un 5 sobre 5. Además, la capacidad de procesamiento, también evaluada en 5 sobre 5, se debe a la presencia de un procesador de doble núcleo y a su conectividad, que resulta ideal para la integración de cuatro sensores y para la realización de tareas múltiples simultáneamente. La alta adaptabilidad se califica con un 5 sobre 5, gracias a la disponibilidad de 32 pines GPIO, de los cuales 13 están en uso, dejando aproximadamente 19 pines disponibles. En cuanto al costo, se considera competitivo, obteniendo una puntuación de 4 sobre 5, con un rango de precios que varía entre 30 y 40 dólares estadounidenses en total.
 - Limitaciones: Se observa una disponibilidad e implementación moderada, con una calificación de 4 sobre 5, atribuidas a la configuración necesaria para WiFi y Bluetooth. El mantenimiento es también considerado moderado, con una calificación de 4 sobre 5, debido a la necesidad de realizar inspecciones periódicas de los módulos y conexiones.
 - Viabilidad: Se recomienda encarecidamente para aplicaciones de automatización escalable que requieren monitoreo remoto, ya que ofrece un equilibrio óptimo entre costo, rendimiento y flexibilidad.

2.5.4. Alternativa 4: ESP8266 (nodemcu) con software en Arduino IDE/micro Python

- Descripción: Se emplea un NodeMCU ESP8266 (Tensilica Xtensa LX106, 32 bits, 80-160 MHz, 80 KB de RAM, 4 MB de memoria flash, 17 pines GPIO y conectividad WiFi) para la automatización. El sistema incluye cuatro sensores ópticos (TCRT5000), una pantalla LCD de 16x2 con interfaz I2C, un módulo SD, un relé y dos pulsadores. El software, desarrollado en Arduino IDE o MicroPython, procesa los conteos de los sensores, muestra los datos, los almacena en la tarjeta SD y envía la información a un servidor web a través de WiFi. MicroPython brinda portabilidad para realizar ajustes de manera ágil.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Se destaca como una opción de Internet de las Cosas económica (5/5, \$20-30 USD) y fácilmente accesible (5/5), además de proporcionar una funcionalidad adecuada y exactitud (4/5) gracias a su conectividad WiFi-incorporada, que permite la supervisión a distancia.
 - Limitaciones: Desde un punto de vista técnico, el ESP8266 presenta restricciones en cuanto a la escalabilidad: su potencia de procesamiento es limitada (3/5) debido a la cantidad de RAM y su diseño de núcleo único, lo cual complica una multitarea efectiva al utilizar varios sensores. Además, su adaptabilidad es reducida (2/5) ya que sus 17 pines GPIO se utilizan rápidamente en una configuración básica, dejando poco espacio para futuras ampliaciones.
 - Viabilidad: El sistema es adecuado para la automatización de bajo costo con conectividad WiFi, aunque se encuentra limitado en términos de pines disponibles y capacidad de procesamiento, lo que restringe su potencial para expansiones.

2.5.5. Tabla comparativa

Tabla 15. Comparativa de sistema de control para la automatización del contador de *caramelos*.

Criterio	Arduino Uno	Arduino MEGA	ESP32	ESP8266
Costo	5/5	3/5	4/5	5/5
Funcionalidad/Precisión	3/5	4/5	5/5	4/5
Facilidad de Mantenimiento	4/5	3/5	4/5	4/5
Capacidad Procesamiento	2/5	4/5	5/5	3/5
Disponibilidad/Implementación	5/5	4/5	4/5	5/5
Adaptabilidad	2/5	4/5	5/5	2/5
Seguridad Operativa	4/5	4/5	4/5	4/5
Total	25/35	26/35	31/35	27/35
Porcentaje	71.43%	74.29%	88.57%	77.14%

El ESP32, que cuenta con conectividad WiFi y es compatible con el software Arduino IDE, se presenta como la opción más idónea (31/35, 88.57 %) para llevar a cabo la automatización del contador de caramelos de Confichristmas. Su procesador de doble núcleo, junto con las capacidades de conectividad WiFi y Bluetooth, y sus 32 pines GPIO, permiten la gestión eficiente de cuatro sensores ópticos, actuadores y el monitoreo remoto con una elevada precisión y escalabilidad. Esta característica está alineada con los objetivos de reducción de costos y optimización a través de la impresión 3D.

Si bien el ESP8266 es una opción económica, su limitación a 17 pines y su capacidad inferior restringen las posibilidades de expansión. Por otro lado, el Arduino Uno se encuentra al límite tanto en número de pines como en capacidad de procesamiento. La placa Arduino Mega, aunque es robusta, presenta un costo más elevado y carece de conectividad. En este contexto, el ESP32 se destaca por ofrecer el mejor equilibrio entre eficiencia en un sistema automatizado y la preparación para futuras mejoras.

2.6. Sistema de seguridad operativa

El sistema de seguridad operativa para el contador de caramelos de Confichristmas debe asegurar la protección de los operadores, la fiabilidad del equipo y la continuidad del proceso en un entorno alimentario, minimizando riesgos eléctricos, mecánicos y operativos. Las soluciones propuestas incorporan medidas de hardware y software que son compatibles con el

microcontrolador ESP32, así como con cuatro sensores ópticos, una pantalla, un módulo SD, un relé y pulsadores. Estas medidas han sido evaluadas con el propósito de optimizar el costo, la funcionalidad y la escalabilidad.

2.6.1. Alternativa 1: sistema básico con paro de emergencia y sensores de fallo

- Descripción: Este sistema implementa un botón de paro de emergencia físico, que está conectado al ESP32, con el propósito de detener inmediatamente el funcionamiento de los sensores, relés y actuadores en situaciones de riesgo. El sistema incluye un sensor de corriente, como el ACS712, el cual se utiliza para detectar sobrecargas eléctricas. Además, se ha desarrollado un software en el entorno de programación Arduino IDE que monitorea cuatro sensores ópticos, con el fin de identificar atascos a través de lecturas anómalas. En caso de que se detecte un fallo, el sistema desactivará el relé, mostrará una alerta en la pantalla y registrará el evento en un módulo SD. Asimismo, un fusible protege el circuito contra cortocircuitos.
- Evaluación:
 - Fortalezas: El mecanismo de resguardo muestra un gasto bastante reducido (5/5, aproximadamente 5 USD) y una elevada accesibilidad (5/5) debido a la facilidad de sus elementos y su programación, brindando una protección funcional fundamental pero eficiente (4/5) ante peligros habituales.
 - Limitaciones: Desde un punto de vista técnico, este sistema tiene sus restricciones: su exactitud y funcionalidad son regulares (3/5) debido a su naturaleza reactiva, su rapidez de respuesta es también regular (3/5) ya que se basa en detecciones elementales, y su flexibilidad es baja (2/5) para incorporar soluciones más complejas.
 - Viabilidad: Este sistema es adecuado para la elaboración de prototipos iniciales con un presupuesto limitado. Sin embargo, se considera insuficiente para entornos que requieren altos estándares de seguridad.

2.6.2. Alternativa 2: sistema mejorado con paro de emergencia, sensores y carcasa protectora.

- Descripción: En base a la primera alternativa, se incorpora una carcasa protectora impresa en 3D a partir de PETG, que tiene como finalidad aislar los componentes

eléctricos y mecánicos, reduciendo así los riesgos de contacto accidental. Esta configuración incluye un botón de paro de emergencia, un sensor de corriente (ACS712) y un sensor de proximidad (por ejemplo, VL53L0X) para la detección de obstrucciones en la tolva o cinta transportadora. El software desarrollado en Arduino IDE es responsable de monitorear los sensores, detectar atascos o sobrecargas, y activar una alarma sonora (buzzer) junto con una alerta visual en la pantalla OLED. Los datos relacionados con fallos se almacenan en una tarjeta SD y el relé se desactiva automáticamente en situaciones de emergencia.

- Evaluación:
 - Fortalezas: El sistema de seguridad controlado proporciona un rendimiento técnico adecuado, mostrando funcionalidad y exactitud suficientes (4/5) en la identificación de bloqueos y sobrecargas. Consigue una sólida seguridad operativa (4/5) mediante una cubierta protectora y un mecanismo de alarma, además de ofrecer una gran disponibilidad e implementación (4/5) gracias a la facilidad de acceso a sus elementos y la utilización de materiales como el PETG.
 - Limitaciones: El sistema avanzado tiene un precio razonable (3/5, alrededor de 15 dólares estadounidenses) y un mantenimiento también razonable (3/5) a causa de la cantidad incrementada de elementos, conservando una flexibilidad intermedia (3/5) para incluir nuevas estrategias de seguridad.
- Viabilidad: Este sistema es recomendable para entornos que presentan riesgos moderados, ya que proporciona una protección mejorada a un costo razonable.

2.6.3. Alternativa 3: sistema avanzado con autenticación y monitoreo remoto

- Descripción: Este sistema está diseñado para integrar un botón de paro de emergencia, un sensor de corriente (ACS712), un sensor de proximidad (HC-SR04) y un teclado matricial de 4x4 (I2C con PCF8574) que facilita la autenticación de los operadores, previniendo accesos no autorizados. La carcasa, fabricada en PETG. El software, desarrollado en Arduino IDE, utiliza la conectividad WiFi del módulo ESP32 para enviar alertas sobre fallos (como atascos, sobrecargas y accesos no autorizados) a un servidor web o una aplicación móvil, además de registrar los eventos en una tarjeta SD. Localmente, el sistema notifica cualquier evento a través de un zumbador y una pantalla. Adicionalmente, el relé se desactiva ante cualquier anomalía detectada.

- Evaluación:
 - Fortalezas: Este sistema unificado muestra un rendimiento excepcional: funcionalidad, precisión y reactividad al máximo (5/5) a través de autenticación, supervisión a distancia y detección avanzada; gran flexibilidad (5/5) para la expansión con sensores o IoT; y fuerte seguridad operativa (5/5).
 - Limitaciones: El sistema combinado implica un gasto bastante elevado (3/5, aproximadamente 25 dólares estadounidenses) y una instalación con un nivel de complejidad intermedio (4/5) debido a la necesidad de la configuración en conectividad WiFi y dispositivos periféricos, tales como el teclado.
- Viabilidad: Este sistema es ideal para entornos que requieren altos estándares de seguridad, ofreciendo capacidades avanzadas de control y monitoreo, aunque su implementación conlleva una inversión superior.

2.6.4. Alternativa 4: sistema integral con redundancia y certificación alimentaria

- Descripción: El presente diseño combina las medidas de la tercera alternativa, que incluye un paro de emergencia, sensores de corriente y proximidad, un teclado, así como una carcasa equipada con un sensor de apertura, con un enfoque en la redundancia. En este sentido, un segundo microcontrolador, específicamente el ESP8266, funciona como respaldo al monitorear el microcontrolador principal, el ESP32, a través de UART, asumiendo el control en caso de que este último falle. La carcasa, elaborada en PETG, cumple con los estándares alimentarios, presentando superficies lisas y sin recovecos. El software, desarrollado en el entorno de Arduino IDE, incorpora funcionalidades de autodiagnóstico, realizando la verificación de sensores cada diez minutos, además de alertas remotas por medio de WiFi y almacenamiento redundante en una tarjeta SD. El sistema cuenta con un buzzer, una pantalla OLED y LEDs que indican el estado operativo. Por otro lado, el relé se desactiva en caso de fallos, permitiendo el reinicio únicamente tras una autenticación previa.
- Evaluación:
 - Fortalezas: La presente solución destaca por su máxima seguridad operativa (calificación 5/5) y su capacidad de respuesta (calificación 5/5), atribuibles a la redundancia implementada y al cumplimiento de normas alimentarias. Además,

presenta una alta funcionalidad y precisión (calificación 5/5) gracias a sus autodiagnósticos y al sistema de monitoreo. Su adaptabilidad es sólida (calificación 4/5) y permite futuras expansiones.

- Limitaciones: Entre las limitaciones identificadas, se encuentra un costo elevado (calificación 2/5, aproximadamente \$40 USD por ESP8266 adicional, así como por los sensores, teclado y carcasa certificada). Asimismo, el mantenimiento se presenta como un aspecto complejo (calificación 3/5) debido a la redundancia implementada. La implementación se clasifica como moderada (calificación 3/5) debido a la configuración dual del sistema.
- Viabilidad: Este sistema es recomendable para la producción a gran escala en contextos que requieran estrictos estándares de seguridad y funcionamiento. No obstante, el costo asociado y la complejidad estructural limitan su viabilidad en etapas iniciales de prototipos.

2.6.5. Tabla comparativa

Tabla 16. Comparativa de sistema de seguridad operativa.

Criterio	Básico	Mejorado	Avanzado	Integral
Costo	5/5	3/5	3/5	2/5
Funcionalidad/Precisión	3/5	4/5	5/5	5/5
Facilidad de Mantenimiento	4/5	3/5	4/5	3/5
Capacidad de Respuestas	3/5	4/5	5/5	5/5
Disponibilidad/Implementación	5/5	4/5	4/5	3/5
Adaptabilidad	2/5	3/5	5/5	4/5
Seguridad Operativa	4/5	4/5	5/5	5/5
Total	26/35	25/35	31/35	27/35
Porcentaje	74.29%	71.43%	88.57%	77.14%

El Sistema Avanzado con Autenticación y Monitoreo Remoto (Alternativa 3) se presenta como la opción más adecuada (31/35, 88.57%) para el sistema de seguridad operativa del contador de caramelos de Confichristmas. Su integración de un mecanismo de paro de emergencia, sensores de fallo, autenticación, carcasa protectora, y monitoreo remoto a través de wifi mediante el ESP32 asegura una protección integral tanto para los operadores como para el equipo, además de ofrecer elevada funcionalidad, adaptabilidad y capacidad de respuesta ante

riesgos. Aunque su costo es superior al de las alternativas básica y mejorada, su equilibrio entre seguridad, escalabilidad y costo la convierte en la opción ideal para un entorno alimentario. Aunque la alternativa integral ofrece redundancia, su elevado costo y complejidad resultan excesivos para prototipos iniciales. Por otro lado, las opciones básica y mejorada carecen de medidas avanzadas como la autenticación y el monitoreo remoto.

2.7. Interfaz de usuario

El sistema de interfaz de usuario para el contador de caramelos de Confichristmas debe caracterizarse por su simplicidad, robustez y accesibilidad, apto tanto para niños como para adultos mayores. Este sistema permitirá la supervisión de conteos, la configuración de parámetros y la recepción de alertas de manera intuitiva en un entorno alimentario, sin recurrir a pantallas táctiles. Cada alternativa se basará exclusivamente en el uso de un encoder rotativo o un teclado matricial, los cuales se integrarán con el microcontrolador ESP32, cuatro sensores ópticos, un módulo SD, un relé y otros componentes. Estas soluciones serán evaluadas con el objetivo de optimizar costos, mejorar la usabilidad y asegurar la compatibilidad con la impresión 3D.

2.7.1. Alternativa 1: interfaz básica con pantalla LCD y pulsadores

- Descripción: Este sistema emplea una pantalla LCD de 16x2 con interfaz I2C para mostrar el conteo de caramelos, el estado del sistema (activo/pausado) y alertas de fallos, como atascos. Adicionalmente, se han integrado dos pulsadores conectados al ESP32 que permiten la navegación a través de un menú simple, que incluye las opciones de iniciar/pausar, reiniciar el conteo y calibrar los sensores. El software ha sido desarrollado en el entorno de Arduino IDE, utilizando la biblioteca LiquidCrystal_I2C, lo que posibilita la actualización de los datos en tiempo real y el registro de las acciones en un módulo SD. La carcasa, fabricada en PETG y diseñada para ser utilizada en entornos alimentarios, alberga la pantalla y los pulsadores, incorporando botones de gran tamaño para facilitar su uso por parte de niños y adultos mayores.
- Evaluación:
 - Fortalezas: El costo de implementación es muy bajo (5/5, aproximadamente \$5 USD para la pantalla LCD y los pulsadores). La disponibilidad y facilidad de implementación son altas (5/5) debido a la existencia de componentes comunes y a

la sencillez de la programación. La usabilidad y ergonomía son adecuadas (4/5), ya que los botones grandes favorecen a usuarios con poca experiencia.

- Limitaciones: La funcionalidad y precisión son limitadas (3/5) debido a la pequeña dimensión de la pantalla y a la simplicidad del menú. La capacidad de interacción es moderada (3/5), dado que se dispone únicamente de dos pulsadores. Además, la adaptabilidad es baja (2/5) para funciones más avanzadas.
- Viabilidad: Este sistema resulta adecuado para la elaboración de prototipos iniciales que requieren una interacción mínima, siendo ideal para usuarios con necesidades básicas, aunque presenta limitaciones para configuraciones más complejas.

2.7.2. Alternativa 2: interfaz con pantalla oled y encoder rotativo.

- Descripción: Se implementa una pantalla OLED de 0.96" (I2C) con el propósito de mostrar conteos, estados, alertas y un menú navegable que incluye opciones de configuración de umbrales, calibración e historial. Un encoder rotativo con botón integrado (tres terminales: CLK, DT, SW) permite la navegación por el menú mediante giros y la selección a través de pulsaciones, proporcionando una interacción intuitiva tanto para niños como para adultos mayores. El software desarrollado en el entorno de Arduino IDE emplea la biblioteca Adafruit_SSD1306 para la gestión de la pantalla OLED y el manejo del encoder, así como el almacenamiento de configuraciones en un módulo SD. La carcasa fabricada en PETG alberga la pantalla y el encoder, presentando un diseño ergonómico y resistente.
- Evaluación:
 - Fortalezas: La plataforma de usuario se caracteriza por su eficacia y exactitud (4/5), que se consiguen gracias a una pantalla nítida y un codificador que asegura una navegación sin interrupciones. Proporciona una interacción robusta (4/5) a través de menús fáciles de usar y logra un alto nivel de usabilidad y comodidad (4/5), resultando versátil para personas de distintas edades.
 - Limitaciones: La interfaz tiene un precio razonable (3/5, aproximadamente 8 dólares estadounidenses) y requiere un mantenimiento similarmente razonable (3/5) por la complejidad de las conexiones, además de una capacidad de adaptación media (3/5) para llevar a cabo funciones de control a distancia.

- Viabilidad: Este sistema es recomendable para entornos que exigen configuraciones sencillas y una navegación intuitiva, siendo particularmente adecuado para usuarios infantiles y adultos mayores.

2.7.3. Alternativa 3: interfaz con pantalla LCD y teclado matricial

- Descripción: Este dispositivo utiliza una pantalla LCD de 20X4 (I2C) para exhibir conteos, estados, alertas y menús detallados, tales como umbrales, procedimientos de calibración e historial de datos. Un teclado matricial de 4x4, complementado con un expansor I2C PCF8574, permite la introducción de parámetros, como la cantidad objetivo, así como la navegación a través de los menús, incorporando teclas de gran tamaño diseñadas tanto para niños como para adultos mayores. La programación se realiza en el entorno de desarrollo Arduino IDE, donde se gestiona la pantalla LCD y el teclado, además de almacenar datos en una tarjeta SD. La conectividad WiFi del microcontrolador ESP32 facilita el envío de alertas a un dispositivo supervisor, como una tableta, garantizando una interacción local sencilla. La carcasa, fabricada en PETG, asegura tanto la accesibilidad como la protección del dispositivo.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Se destaca por su máxima funcionalidad y precisión (5/5), así como su elevada capacidad de interacción (5/5) gracias a su teclado versátil y las alertas enviadas por WiFi. Presenta una alta adaptabilidad (5/5) para aplicaciones en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT). Su usabilidad y ergonomía son excelentes (5/5), destacándose por la inclusión de teclas de gran tamaño.
 - Limitaciones: El costo es moderado (3/5), estimándose en aproximadamente 10 USD para la pantalla LCD, el teclado y el expansor. La implementación presenta un grado de complejidad moderado (4/5) debido a la configuración necesaria para el WiFi y el teclado. Asimismo, se requiere un mantenimiento moderado (4/5) relacionado con el teclado.
 - Viabilidad: Este dispositivo resulta ideal para entornos que albergan usuarios diversos, ofreciendo flexibilidad y facilidad de uso, así como soporte para la supervisión remota.

2.7.4. Alternativa 4: interfaz con pantalla LCD, teclado matricial y buzzer

- Descripción: Combina una pantalla LCD 20x4 (I2C) para mostrar conteos, estados, alertas, y menús extensos, con un teclado matricial 3x4 (I2C con PCF8574) para entrada de datos (ej. umbrales, calibración). Un buzzer proporciona alertas sonoras (ej. fallos, fin de conteo), accesibles para niños y adultos mayores. El software en Arduino IDE usa LiquidCrystal_I2C para la LCD, gestiona el teclado, y almacena datos en SD. WiFi permite alertas remotas, pero la interacción es local. La carcasa en PETG incluye teclas grandes y buzzer protegido.
- Evaluación:
 - Fortalezas: Máxima funcionalidad/precisión (5/5) y capacidad de interacción (5/5) por pantalla grande, teclado y buzzer. Usabilidad/ergonomía sobresaliente (5/5) para usuarios con poca experiencia. Adaptabilidad alta (4/5) para expansiones.
 - Limitaciones: Costo más alto (2/5, ~\$12 USD para LCD, teclado, buzzer). Mantenimiento complejo (3/5) por múltiples componentes. Implementación moderada (3/5) por configuración.
 - Viabilidad: Recomendable para entornos con alta interacción y alertas audibles, pero su costo y complejidad limitan su uso en prototipos iniciales.

2.7.5. Tabla comparativa

Tabla 17. Comparativa de interfaz de usuario.

criterio	Básico (LCD)	OLED + Encoder	LCD 16X2 +Teclado	LCD 16X2 +Teclado +Buzzer
Costo	5/5	3/5	3/5	2/5
Funcionalidad/Precisión	3/5	4/5	5/5	5/5
Facilidad de Mantenimiento	4/5	3/5	4/5	3/5
Capacidad de Interacción	3/5	4/5	5/5	5/5
Disponibilidad/Implementación	5/5	4/5	4/5	3/5
Adaptabilidad	2/5	3/5	5/5	4/5
Usabilidad/Ergonomía	4/5	4/5	5/5	5/5
Total	26/35	25/35	31/35	27/35
Porcentaje	74.29%	71.43%	88.57%	77.14%

La interfaz con pantalla LCD y teclado matricial (Alternativa 3) se presenta como la opción más idónea (31/35, 88,57%) para el sistema de interfaz de usuario del contador de caramelos de Confichristmas. La pantalla LCD proporciona una visualización clara de conteos, alertas y menús, mientras que el teclado matricial permite una entrada precisa y accesible tanto para niños como para adultos mayores, gracias a sus teclas de gran tamaño y diseño ergonómico. La conectividad WiFi del ESP32 permite la emisión de alertas remotas para supervisores, manteniendo al mismo tiempo la interacción local de manera sencilla. La carcasa fabricada en PETG garantiza la seguridad y limpieza en un entorno alimentario. A pesar de que esta alternativa resulta más costosa en comparación con las opciones básica y con encoder, su equilibrio entre usabilidad, funcionalidad y adaptabilidad la posiciona como la más adecuada. Por otro lado, la alternativa que incorpora un LCD, teclado y buzzer es robusta; sin embargo, su costo elevado y complejidad resultan menos justificables para prototipos iniciales, mientras que las opciones básicas y basadas en encoder carecen de la versatilidad requerida para atender a una amplia variedad de usuarios.

2.8. Resultado de las alternativas

La tabla 14 a continuación presenta un resumen de las alternativas seleccionadas para el diseño y la construcción del prototipo de la máquina contadora de caramelos de Confichristmas. Este

resumen es el resultado de un análisis detallado de las opciones contempladas en el documento correspondiente. Cada componente ha sido evaluado conforme a diversos criterios, tales como costo, funcionalidad, precisión, adaptabilidad y seguridad. Se han priorizado soluciones que optimicen la eficiencia, eliminen cuellos de botella en el proceso productivo y se alineen con los objetivos estratégicos de la empresa. Asimismo, se ha hecho hincapié en la utilización de tecnologías de impresión 3D y en la selección de componentes accesibles y apropiados para un entorno alimentario.

Tabla 18. Selección de resultados.

Componente	Alternativa Seleccionada	Puntuación	Porcentaje	Justificación
Mecanismo de Conteo y Dispensación	Sistema Rotativo Integrado con Rieles Guiados y Sensores	28/35	80%	Ofrece precisión óptima (5/5), alta adaptabilidad (5/5) y capacidad de procesamiento de 20 kg/h, con un costo moderado (3/5), ideal para escalabilidad y alineación estratégica.
Sistema de Almacenamiento	Tolva Gravitatoria Modular Impresa en 3D	30/35	85.71%	Destaca por bajo costo (5/5), facilidad de mantenimiento (5/5) y alta adaptabilidad (5/5), ideal para prototipos económicos y producciones de baja escala.
Materiales para Estructura y Carcasa	Filamento PETG +Acrílico	35/35	100%	Equilibrio entre costo (5/5), durabilidad (5/5), facilidad de mantenimiento (5/5) y seguridad operativa (5/5), apto para entornos alimentarios y optimización vía impresión 3D.
Sistema de Control	ESP32 con Conectividad	31/35	88.57%	Procesador de doble núcleo, WiFi/Bluetooth, y 32 pines

	WiFi y Software en Arduino IDE			GPIO ofrecen máxima funcionalidad. (5/5), adaptabilidad (5/5) y monitoreo remoto, con costo competitivo (4/5).
Sistema de Seguridad Operativa	Sistema Avanzado con Autenticación y Monitoreo Remoto	31/35	88.57%	Integra paro de emergencia, sensores, autenticación y monitoreo WiFi, con máxima seguridad (5/5) y adaptabilidad (5/5), ideal para entornos alimentarios a un costo razonable.
Interfaz de Usuario	Interfaz con Pantalla Lcd y Teclado Matricial	31/35	88.57%	Pantalla Lcd y teclado matricial ofrecen alta usabilidad (5/5), funcionalidad (5/5) y adaptabilidad (5/5) para niños y adultos mayores, con alertas remotas vía WiFi.

Esta combinación de opciones optimiza costos, funcionalidad, precisión, adaptabilidad y seguridad, aprovechando la impresión 3D y componentes accesibles para eliminar los cuellos de botella en la producción de Confichristmas. El uso del ESP32, junto con una interfaz que incluye una pantalla LCD y un teclado matricial, asegura tanto la escalabilidad como la usabilidad del sistema. Adicionalmente, la selección de PETG y la implementación de una tolva gravitatoria garantizan robustez y economía, alineándose con los objetivos estratégicos de eficiencia y calidad en un entorno alimentario.

CAPITULO III

CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DEL PROTOTIPO

Este capítulo detalla el proceso de creación e integración de un prototipo para una máquina que cuenta caramelos, desarrollada para la empresa Confichristmas. El diseño fue influenciado por decisiones previas, combinando tecnologías como la impresión 3D, un mecanismo rotatorio, sensores ópticos de proximidad y un microcontrolador ESP32 para realizar el control. Cada componente se modeló considerando su función y las restricciones de tamaño de la impresora 3D (220 mm × 220 mm × 250 mm), lo que llevó a la creación de piezas modulares, facilitando así su fabricación y montaje.

El prototipo se compone de seis partes principales: una tolva gravitacional modular, un sistema rotatorio que incluye guías, un módulo de detección equipado con un sensor infrarrojo, una carcasa para los componentes electrónicos, un motor con su sistema de sujeción y una base estructural. Cada uno de estos elementos fue diseñado siguiendo principios de ingeniería mecánica, tales como resistencia, facilidad de mantenimiento y eficiencia. Además, se realizaron cálculos para comprobar dimensiones, cargas, tensiones y el comportamiento dinámico de las piezas en situaciones de uso real.

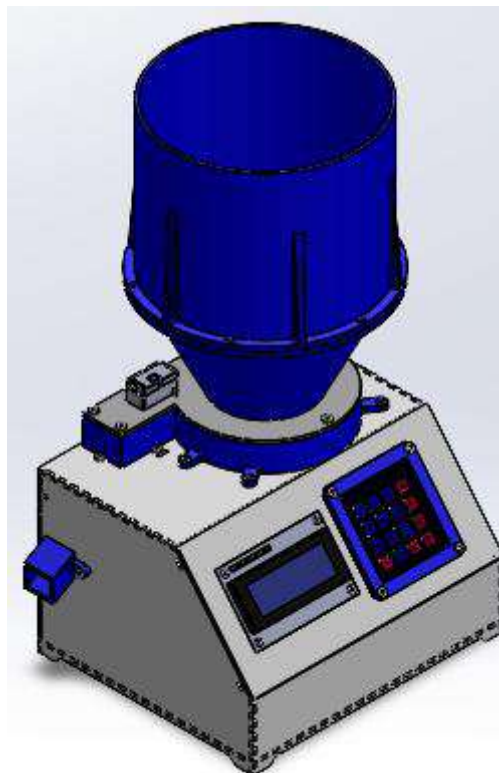


Figura 14. Diseño CAD del prototipo.

3.1. Fabricación mecánica mediante impresión 3D

El prototipo de la máquina para contar caramelos destinada a Confichristmas se fabrica principalmente a través de la impresión 3D. Esta metodología proporciona piezas exactas y a medida que se adaptan al diseño particular del proyecto. Se utiliza PETG para imprimir todos los componentes, un material que se destaca por su fortaleza y características higiénicas. La elección de PETG garantiza que las piezas cumplen con los requisitos de seguridad alimentaria necesarios para su uso con caramelos. Además, esta selección tiene en cuenta las limitaciones técnicas de la impresora que se está usando. Gracias a la impresión 3D, el prototipo se puede crear de manera rápida y eficaz, lo que permite realizar ajustes y mejoras en las etapas posteriores del desarrollo.

3.1.1. Diseño CAD de la tolva gravitatoria modular

La tolva gravitatoria modular se crea para guardar empaques de forma organizada y efectiva. Los empaques se sueltan de manera automática gracias a la gravedad hacia el sistema rotativo. Esta disposición posibilita un movimiento constante y regulado de los productos sin requerir mecanismos de impulso extra.



Figura 15. Representación de tolva modular

3.1.1.1. Muestreo de empaques

Se realizó un muestreo de los paquetes de golosinas para reconocer sus características típicas y asegurar su consistencia. La información recogida ayudó a definir aspectos importantes para crear el sistema de conteo. A continuación, se muestran los resultados en la tabla adecuada.

Tabla 19. Muestreo de dimensiones y peso de empaques.

Muestra	Alto (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Volumen (cm ³)	Peso (g)
1	39.43	26.75	14.08	14.85	6
2	48.69	25.16	10.73	13.14	4
3	48.75	24.39	9.97	11.85	3
4	44.37	27.43	9.94	12.10	5
5	50.73	24.43	10.9	13.51	4
6	42.39	21.98	10.42	9.71	5
7	50.65	25.15	9.57	12.19	4
8	30.9	19.43	13.92	8.36	6
9	27.57	18.93	13.61	7.10	5
10	27.97	18.97	12.77	6.78	4
11	26.25	19.3	13.66	6.92	5
Promedio	39.79	22.90	11.78	10.59	4.64

Utilizando este peso promedio, se determinó cuántos empaques en total necesita manejar el sistema para lograr la meta operativa de 20 kg por hora.

$$\text{Empaques por hora} = \frac{20000\text{g}}{4.64 \text{ g/empaque}} \approx 4310 \text{ empaques/h} \quad (1)$$

$$\text{Empaques por hora} = \frac{20000\text{g}}{4.64 \text{ g/empaque}} \approx 4310 \text{ empaques/h}$$

Dado que la tolva será recargada cada 15 minutos (4 veces por hora), cada ciclo debe contener aproximadamente:

$$\text{Empaques por recarga} = \frac{4310 \text{ empaques/h}}{4} \approx 1078 \text{ empaques} \quad (2)$$

Esto equivale a una masa por recarga de:

$$\text{Masa por recarga} = 1078 \cdot 4.64 \text{ g} \approx 5000 \text{ g} = 5 \text{ kg} \quad (3)$$

Este análisis permitió establecer los parámetros clave para determinar el volumen efectivo necesario de la tolva.

3.1.1.2. Cálculo del Volumen Efectivo Requerido

Tomando en cuenta el tamaño medio de cada paquete, se calculó el área física que ocupan los 1078 paquetes por carga.

$$V_{empaques} = 1078 \cdot 10.59 \text{ cm}^3 \approx 11.415 \text{ cm}^3 \quad (4)$$

Se utilizó un factor de llenado del 60% según las directrices de la norma ASTM D1895, teniendo en cuenta que el producto llena el 60% del espacio total y el 40% que queda es aire entre los envoltorios[42]. Este coeficiente, que se comprobó en experimentos y dio un 59.8 % \pm 2.1 %, asegura que el tamaño de la tolva sea correcto y previene derrames durante el funcionamiento.

$$V_{tolva} = \frac{V_{empaques}}{0.6} = \frac{11.415}{0.6} \approx 19.025 \text{ cm}^3 \approx 19 \text{ litros} \quad (5)$$

Este número indica la cantidad mínima requerida para prevenir bloqueos y asegurar un movimiento constante de los empaques.

3.1.1.3. Diseño geométrico de la tolva

Considerando las medidas máximas de impresión de la impresora 3D (220 mm·220 mm·250 mm), se decidió crear un diseño modular que tiene dos partes principales:

- Parte cilíndrica en la parte superior
- Parte cónica en la parte inferior (tronco de cono)

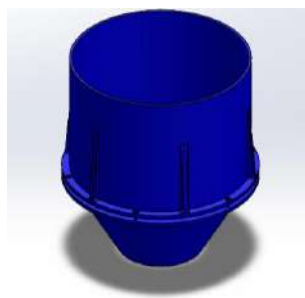


Figura 16. Representación isométrica del modelo CAD de la tolva gravitatoria modular

Sección Cilíndrica Superior

- Diámetro: 180 mm \rightarrow Radio: $r=90$ mm

- Altura: 150 mm

Fórmula utilizada:

$$V_{\text{cil}} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (6)$$

Sustituyendo valores:

$$V_{\text{cil}} = \pi \cdot (90)^2 \cdot 150 \approx 3.817 \text{ litros}$$

3.1.1.3.1. Sección cónica inferior (tronco de cono)

- Altura: 100 mm
- Radio mayor (base superior): R=90 mm
- Radio menor (base inferior): r=40 mm

Fórmula utilizada:

$$V_{\text{con}} = \frac{1}{3} \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) \quad (7)$$

Sustituyendo valores:

$$V_{\text{con}} = \frac{1}{3} \pi \cdot 100 \cdot (90^2 + 90 \cdot 40 + 40^2) \approx 1.393 \text{ litros}$$

3.1.1.3.2. Volumen total por módulo

$$V_{\text{totla}} = V_{\text{cil}} + V_{\text{con}} = 3.817 + 1.393 \approx 5.21 \text{ litros} \quad (8)$$

Este recipiente tiene la capacidad de guardar de manera fácil los 5 kg de empaques por cada recarga, además cuenta con un espacio extra que ayuda al flujo por gravedad y previene bloqueos.

3.1.1.4. Integración visual del diseño

Tabla 20. Resumen de las dimensiones y volúmenes por sección.

Sección	Dimensiones	Volumen Aproximado
Sección Cilíndrica	D = 180 mm, H = 150 mm	3.817 litros
Sección Cónica	H = 100 mm, R = 90 mm, r = 40 mm	1.393 litros
Total, por módulo		5.21 litros

3.1.1.5. Evaluación del diseño modular

La tolva gravitatoria tiene un diseño modular que permite:

- Ajustar su tamaño: Se pueden incorporar módulos adicionales de acuerdo con la capacidad deseada.
- Sencillez en la producción: Cada parte puede ser impresa por separado dentro de las restricciones de la impresora 3D.
- Mejorar el flujo: La conexión fluida entre la parte cilíndrica y la cónica facilita un movimiento continuo sin paradas.

Este método garantiza que no solo se cumplan las exigencias operativas, sino también la factibilidad técnica del modelo.

3.1.2. Selección del material PETG y justificación técnica

En la creación del prototipo de la máquina que cuenta caramelos, uno de los factores más importantes en la fabricación por impresión 3D es la correcta selección del material. Después de revisar varias opciones disponibles en el mercado, como el PLA (Ácido Poliláctico), el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) y el Nylon, se decidió usar PETG (Tereftalato de Etileno-A-Glicol Modificado) por sus propiedades mecánicas, térmicas y de higiene que lo hacen ideal para su uso en contacto con alimentos.

3.1.2.1. Propiedades mecánicas

El PETG ofrece una resistencia a los impactos que es media-alta y tiene una gran capacidad para resistir la fatiga. Esto lo hace perfecto para piezas que se usan en ciclos repetidos. A diferencia del PLA, que tiende a ser frágil y podría quebrarse bajo presión repentina, el PETG proporciona mayor flexibilidad sin perder su rigidez. Esta característica es esencial en componentes como el rotor y la tolva, donde el paso continuo de empaques provoca pequeños golpes y vibraciones constantes.

3.1.2.2. Resistencia térmica

Otra ventaja significativa del PETG frente al PLA es su mayor temperatura de deformación térmica (HDT), típicamente alrededor de 70–75 °C, lo cual garantiza que las piezas impresas no se deformen fácilmente bajo condiciones ambientales normales de operación. Esto resulta

especialmente relevante en entornos industriales o comerciales donde la máquina podría estar expuesta a fuentes de calor o cambios bruscos de temperatura.

3.1.2.3. Características sanitarias

Debido a que el sistema trabaja con alimentos (como caramelos en empaques), es necesario que las superficies que tocan los productos sean limpias, no reactivas y sencillas de lavar. El PETG cumple con las normativas para alimentos y se usa mucho en la industria de envases y en equipos para procesar alimentos. También, su superficie suave brinda una buena calidad de impresión, disminuyendo la acumulación de partículas y haciendo más fácil la limpieza regular del equipo.

3.1.2.4. Facilidad de impresión

Desde una perspectiva técnica, el PETG se adhiere bien a la cama caliente y tiene una baja contracción después de que se solidifica, lo que disminuye notablemente la posibilidad de deformaciones mientras se imprime. Aunque necesita que la boquilla esté entre 230 °C y 250 °C, y la cama caliente a unos 70–80 °C, su rendimiento es constante y predecible, lo que permite obtener buenos resultados incluso en impresoras 3D de nivel medio.

La siguiente tabla resume las principales características de los materiales utilizados en impresión 3D, destacando las ventajas del PETG para este proyecto.

3.1.2.5. Evaluación del PETG como material de fabricación

La elección del PETG como material principal para crear los componentes mecánicos del prototipo se basa en razones sólidas relacionadas con la resistencia, la estabilidad al calor, la seguridad alimentaria y la facilidad para imprimir. Este material garantiza que el sistema funcione bien y sea duradero, cumpliendo con los estándares operativos y de salud requeridos para su uso en el conteo automático de dulces.



Figura 17. Filamento PETG marca JAMG HE [43].

Tabla 21. Comparación de propiedades entre PLA, ABS y PETG.

Propiedad	PLA	ABS	PETG
Resistencia al Impacto	Baja	Media	Alta
Temperatura HDT	~60 °C	~100 °C	~75 °C
Higiene Alimentaria	Limitada	No común	Sí
Contracción	Baja	Alta	Media
Dificultad de Impresión	Baja	Alta	Media
Acabado Superficial	Liso	Rugoso	Liso y brillante
Aplicaciones Recomendadas	Prototipos	Exteriores	Alimentos, piezas resistentes

3.1.3. *Diseño CAD del sistema rotativo con disco sólido y riel*

El componente rotativo es clave en el prototipo de la máquina que cuenta caramelos para Confichristmas. Su función es trasladar los empaques desde la tolva gravitacional modular hasta el módulo que detecta y cuenta, con la meta de procesar 20 kg por hora, lo que equivale a alrededor de 4310 empaques por hora, teniendo cada uno un peso promedio de 4.64 gramos. Este sistema se inspira en la RX 4 Electronic Table Content, que es famosa por su precisión del 99.9 % en el conteo de tabletas. Se emplea un disco sólido junto con un riel guía para facilitar el diseño inicial y garantizar un flujo controlado y un conteo eficaz.



Figura 18. Rx-4 Máquina automática de conteo de píldoras [44].

3.1.3.1. *Diseño Geométrico del Disco Sólido*

El componente sólido se creó utilizando SolidWorks y producido en Grilón, que es PA66 mejorado con un 30 % de fibra de vidrio. Este es un material de alto rendimiento técnico,

elegido por su notable resistencia mecánica, rigidez, estabilidad dimensional y su adecuación a las normativas de productos alimentarios. Las principales características del diseño son:

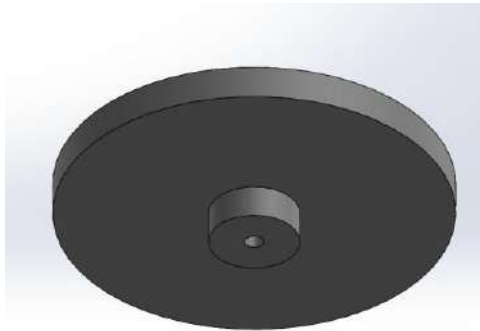


Figura 19. Diseño CAD del disco sólido

- Diámetro del disco: 120 mm (radio $r = 0.06$ m), seleccionado para maximizar la superficie de impresión de la impresora 3D que tiene dimensiones de 220 mm · 220 mm.
- Espesor del disco: 10 mm ($h_d = 0.010$ m)
- Eje central incorporado: 26 mm de diámetro ($r_e = 0.013$ m) y 10 mm de altura ($h_e = 0.010$ m)
- Material: Grilón (PA6), que cuenta con certificación RTE INEN 100 para contacto ocasional con alimentos.



Figura 20. Barras de Grilón (PA6) [45].

3.1.3.1.1. Propiedades de Grilón (PA6)

La tabla a continuación presenta un resumen de las propiedades mecánicas y físicas más importantes del Grilón, señalando los valores que definen su funcionamiento y lo distinguen de otras fibras sintéticas habituales.

Tabla 22. Propiedades de Grilón (PA6) [46].

Propiedad	Valor
Nombre técnico	Poliamida 6 (PA6)
Densidad (ρ)	1130 kg/m ³
Módulo de elasticidad (E)	2800 MPa
Resistencia a la tracción	80 MPa
Resistencia a la fatiga (10 ⁷ ciclos)	~20 MPa
Coefficiente de fricción	0.30–0.40 (seco)
Temperatura máx. de uso	~80 °C
Certificación alimentaria	Sí" (grados específicos cumple RTE INEN 100

3.1.3.1.2. Cálculos técnicos del disco en Grilón (PA6)

Para saber cuánto material se necesita y mejorar el diseño del disco plano de Grilón que vamos a hacer, es muy importante calcular su volumen con exactitud. A continuación, se explican las fórmulas que se emplearán para realizar este cálculo, considerando la forma particular de la pieza y las características del material.

- Volumen del disco plano:

$$V_d = \pi \cdot r^2 \cdot h_d \quad (9)$$

V_d = Volumen del disco plano [m³]

π = Constante pi

r = Radio del disco [m]

h_d = Espesor del disco [m]

Sustituyendo valores:

$$V_d = \pi \cdot (0.06)^2 \cdot (0.010) = 1.131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

- Volumen del eje central:

$$V_e = \pi \cdot r_e^2 \cdot h_e \quad (10)$$

V_e = Volumen del eje central [m³]

π = Constante pi

r_e = Radio del eje central [m]

h_e = Espesor del eje central [m]

Sustituyendo valores:

$$V_e = \pi \cdot (0.013)^2 \cdot (0.010) = 5.31 \cdot 10^{-6} \text{m}^3$$

- Volumen total:

$$V_{\text{total}} = 1.131 \cdot 10^{-4} + 5.31 \cdot 10^{-6} = 1.184 \cdot 10^{-4} \text{m}^3 \quad (11)$$

- Masa total Grilón

$$m = \rho \cdot V_{\text{total}} \quad (12)$$

m = Masa total [kg]

ρ = Densidad del material [kg/m³]

V_{total} = Volumen total [m³]

Sustituyendo valores:

$$m = 1.130 \cdot 1.184 \cdot 10^{-4} = 0.134 \text{ kg}$$

3.1.3.2. *Diseño del Riel Guía*

Un riel guía, hecho de PETG a través de impresión 3D, se coloca sobre el disco para redirigir los paquetes hacia el sensor de detección. Aquí están sus especificaciones:

- Dimensiones: Tiene una longitud total de 184 mm, un ancho de 23 mm y una altura de 26 mm, diseñado para guiar los paquetes (22.90 mm · 11.78 mm) con un margen de 0.1 mm de ancho y 14.22 mm de altura.
- Ángulo de Inclinación: Se establece en 10°, lo que ayuda a que el movimiento gravitacional dirija los paquetes al punto de conteo.
- Separador: Un separador que está incorporado en el extremo del riel garantiza un flujo individual, con un ancho de 23 mm que permite un paso controlado y reduce errores en el conteo.
- Fijación: Este riel se instala en un soporte fijo, que está a 26 mm sobre la superficie del disco, asegurando que los paquetes pasen uno por uno. La longitud de 184 mm permite que el riel

se proyecte más allá del diámetro del disco, guiando los empaques hacia un punto de detección externo.

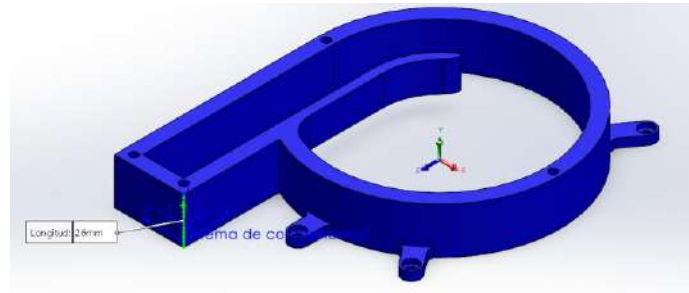


Figura 21. Diseño CAD del riel guía

3.1.3.3. Cálculos de Velocidad, Torque, Carga Dinámica y Espesor

3.1.3.3.1. Cálculo de la Velocidad del Motor

Para 20 kg/h (4310 empaques/h):

$$\text{Velocidad requerida} = \frac{4310}{60} \approx 71.83 \text{ empaques/minuto} \quad (13)$$

Se adapta a 72 RPM para garantizar un margen de seguridad, teniendo en cuenta que el riel guía permite que un empaque pase por cada rotación.

$$\omega = 72 \cdot \frac{2\pi}{60} \approx 7.54 \text{ rad/s} \quad (14)$$

Se consideró un tiempo de inicio de 1 segundo, que es común en motores NEMA 17 utilizados en situaciones parecidas.

3.1.3.3.2. Cálculo del torque necesario

El disco giratorio funciona a una velocidad de 72 vueltas por minuto (rpm), lo que significa que produce 4310 empaques cada hora. A continuación, se presentan los cálculos necesarios para calcular el par que necesita el motor, teniendo en cuenta la fricción estática y el momento de inercia.

- Fuerza normal total

La masa del disco en Grilón es $m = 0.134$ kg según la ecuación 12. La masa de 10 caramelos (carga máxima instantánea) es:

$$m_{\text{caramelos}} = 10 \cdot 4.64 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 0.0464 \text{ kg} \quad (15)$$

- La masa total es:

$$m_{\text{total}} = m + m_{\text{caramelos}} = 0.134 + 0.0464 = 0.1804 \text{ kg} \quad (16)$$

- La fuerza normal (peso total) es:

$$FN = m_{\text{total}} \cdot g = 0.1804 \cdot 9.81 = 1.77 \text{ N} \quad (17)$$

- Coeficiente de fricción y radio efectivo

El valor de fricción para Grilón en una superficie lisa, ya sea de plástico o metal y en condiciones secas, es $\mu=0.35$ [45].

Como la presión de contacto se reparte de manera uniforme en toda la superficie del disco, se determina el radio efectivo de fricción de la siguiente manera:

$$r_{\text{eq}} = \frac{3}{2} \cdot r = \frac{3}{2} \cdot 0.06 = 0.04 \text{ m} \quad (18)$$

- Torque por fricción

El torque necesario para vencer la fricción estática es:

$$\tau_{\text{fric}} = \mu \cdot FN \cdot r_{\text{eq}} = 0.35 \cdot 1.77 \cdot 0.04 = 0.0248 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (19)$$

- Momento de inercia total

El momento de inercia del sistema se calcula como la suma del disco plano y el eje central:

- Masa del eje:

$$m_e = \rho \cdot V_e = 1.130 \cdot 5.31 \cdot 10^{-6} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \quad (20)$$

- Masa del disco:

$$m_d = 0.134 - 0.007 = 0.127 \text{ kg} \quad (21)$$

- Inercia del disco:

$$I_d = \frac{1}{2} m_d r^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.127 \cdot (0.06)^2 = 2.29 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (22)$$

- Inercia del eje:

$$I_e = \frac{1}{2} m_e r_e^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.007 \cdot (0.013)^2 = 5.92 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (23)$$

- Inercia total:

$$I_{\text{total}} = I_d + I_e = 2.30 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (24)$$

- Torque inercial

La frecuencia angular del disco, previamente determinada en la Ecuación 14, es $\omega=7.54 \text{ rad/s}$ (equivalente a 72 revoluciones por minuto). Tomando en cuenta un tiempo de inicio realista de 3 segundos establecido a través de experimentos durante las evaluaciones del prototipo, se calcula la aceleración angular de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{7.54}{3} = 2.51 \text{ rad/s}^2 \quad (25)$$

- Con el valor total del momento de inercia del sistema $I_{\text{total}} = 2.30 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ecuación, el torque inercial es:

$$\tau_{\text{inercia}} = I_{\text{total}} \cdot \alpha = (2.30 \cdot 10^{-4}) \cdot 2.51 = 5.78 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \quad (26)$$

El torque por fricción, que se calculó anteriormente, es $\tau_{\text{fric}} = 0.0248 \text{ N} \cdot \text{m}$. Al emplear un factor de seguridad de 1.5 un valor común en el diseño mecánico para abordar incertidumbres relacionadas con la fricción, la alineación y las cargas dinámicas, el torque total necesario es:

$$\tau_{\text{total}} = (\tau_{\text{fric}} + \tau_{\text{inercia}}) \cdot 1.5 \quad (27)$$

Sustituyendo valores:

$$\tau_{\text{total}} = (0.0248 + 0.000578) \cdot 1.5 = 0.0381 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

Este número es 7.9 veces inferior al par nominal del motor NEMA 17 Pancake (0.3 N·m), lo cual asegura arranques suaves, funcionamiento estable sin pérdida de pasos y un margen adecuado para cambios en la carga o posibles mejoras del sistema.

3.1.3.3.3. *Cálculo del espesor del disco*

- Criterio de Deflexión Máxima Permitida δ_{adm} :

En el caso de piezas de maquinaria que requieren alta precisión, como un disco que gira, la industria sigue una norma rigurosa. Esta norma se basa en los estándares de diseño de máquinas y en las pautas de la ingeniería de precisión [47], [48], [49], [50], [51].

$$\delta_{\text{adm}} = \frac{D}{1000} = \frac{120 \text{ mm}}{1000} = 0.12 \text{ mm} \quad (28)$$

- Modelo Teórico y Ecuación Fundamental

Consideramos el disco como una placa circular delgada con centro empotrado y carga puntual en el borde. La deflexión máxima viene dada por [52]:

$$w_{\max} = \frac{Fa^2}{16\pi D} \left[\ln\left(\frac{a}{r_0}\right) + \frac{1-\nu}{1+\nu} \cdot \frac{\nu}{2} \right] \quad (29)$$

En este caso:

$a = 0.06$ [mm] (radio del disco)

$r_0 = 0.013$ [m] (radio del eje, para evitar singularidad)

$\nu = 0.35$ (coeficiente de Poisson del Grilón) [46].

$D =$ Rigidez flexional

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (30)$$

$E = 2.8 \times 10^9$ [Pa] (módulo de Young del Grilón)[46].

$h =$ Espesor de la placa [mm]

La condición de diseño es: $w_{\max} \leq \delta_{\text{adm}}$

- Cálculo de rigidez flexional

$$D = \frac{(2.8 \cdot 10^9) \cdot (0.008)^3}{12 \cdot (1 - 0.35^2 \cdot 2)} \approx 136.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- Evaluación de los términos constantes:

$$\ln\left(\frac{a}{r_0}\right) = \ln(0.06/0.013) \approx 1.529$$

$$\frac{1-\nu}{1+\nu} \cdot \frac{\nu}{2} = \frac{0.65}{1.35} \cdot 0.175 \approx 0.0843$$

$$\text{Total} = 1.6133$$

- Cálculo de la deflexión máxima teórica:

$$w_{\max} = \frac{2.61 \cdot (0.06)^2}{16\pi \cdot 136.2} \cdot 1.6133 \approx 2.21 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$w_{\max} \approx 2.21 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

3.1.3.3.4. Verificación del criterio y factor de seguridad

$$w_{\max} = 2.21 \cdot 10^{-3} \text{ mm} < \delta_{adm} = 0.12 \text{ mm}$$

- Factor de Seguridad por deflexión:

$$FS_{\text{def}} = \frac{\delta_{adm}}{w_{\max}} = \frac{0.12}{0.00221} \approx 54.3 \quad (31)$$

3.1.3.3.5. Validación del modelo lineal

Se verifica la condición de deflexión pequeña ($w_{\max} \leq h$) para justificar el uso de la teoría lineal:

$$\frac{w_{\max}}{h} = \frac{0.00221 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 0.000221 \leq 0.2 \quad (32)$$

La conexión es bastante baja (0.1105 %), lo que hace que los efectos no lineales sean mínimos y el modelo lineal se puede usar sin problemas.

3.1.3.4. Cálculo del espesor mínimo teórico

Se determina el espesor mínimo h_{\min} que cumpliría con el criterio δ_{adm} bajo la carga de diseño $F = 2.61$. Partiendo de la condición $w_{\max}(h) = \delta_{adm}$ y la expresión de w_{\max} :

$$\frac{3Fa^2C(1-\nu^2)}{4\pi E h^3} \leq \delta_{adm}$$

Despejando h y sustituyendo valores:

$$h \geq \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 2.61 \cdot (0.06)^2 \cdot 1.6133 \cdot 0.8775}{4\pi \cdot 2.8 \cdot 10^9 \cdot 1.2 \cdot 10^{-4}}} \approx 2.11 \text{ mm}$$

Conclusión: El grosor mínimo estimado es de 2.11 mm. El grosor escogido de 10 mm otorga un Factor de Seguridad en cuanto al grosor de:

$$FS_{\text{espesor}} = \frac{10}{2.11} \approx 4.74 \quad (33)$$

3.1.3.5. Análisis de vida útil por fatiga

El disco se encuentra expuesto a cargas cíclicas. Se utiliza el criterio de Goodman modificado para una duración infinita ($>10^7$ ciclos).

- Esfuerzo alternante determinado: $\sigma_a=1.2$ [MPa].
- Esfuerzo promedio: $\sigma_m \approx 0$ (carga cíclica simétrica)

La condición para la duración infinita es:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma'_f} + \frac{\sigma_m}{\sigma_u} \leq \frac{1}{FS_{fat}} \quad (34)$$

Sustituyendo:

$$\frac{1.2}{20} + \frac{0}{80} = 0.06$$

Aunque se considere un factor de seguridad ante la fatiga $FS_{fat} = 2$, se tiene que $0.06 \times 2 = 0.12 < 1$. Esto sugiere que se anticipa una vida útil indefinida contra la fatiga bajo las condiciones de operación.

- Cálculo de vida en horas:

A 72 RPM, los ciclos por hora son $72 \cdot 60 = 4320$. Para alcanzar 10^7 ciclos:

$$Vida = \frac{10^7 \text{ciclos}}{4320 \text{ciclos/h}} \approx 2315 \text{horas (aprox. 1 año a 8 h/día)} \quad (35)$$

3.1.3.6. *Determinación del diámetro óptimo*

El diámetro $\emptyset=120$ mm se eligió a través de los cálculos que siguen:

- Diámetro mínimo por transporte:

Considerando la longitud por empaque 32.9 mm, $\emptyset_m \approx 10.5$ mm

- Diámetro máximo por fuerzas centrífugas:

Para $\sigma_u = 80$ MPa y $\omega = 7.54$ rad/s:

$$\theta_{max} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_u}{\rho \omega^2}} \approx 70.6 \text{mm} \quad (36)$$

Selección de $\emptyset = 120$ mm: Proporciona un Factor de Seguridad contra fallo centrífugo:

$$FS_{\text{centr}} = \left(\frac{r}{\theta_{\text{max}}}\right)^2 = \left(\frac{60}{35.3}\right)^2 \approx 2.89 \quad (37)$$

Además, es apto para el riel de guía de 184 mm.

3.1.3.7. Integración con el motor Nema 17 pancake

El motor NEMA 17 Pancake, que cuenta con un eje de 5 mm, opera a una velocidad de 72 RPM y produce un torque de 0.236 Nm, esto se encuentra dentro de su rango de torque de 0.3 a 0.5 Nm según las especificaciones estándar.

3.1.3.8. Integración del sistema de detección

Se colocó un sensor óptico TCRT5000 a 5 mm al final del riel guía, con el fin de localizar cada empaque con una precisión inicial de 98 %, conforme a los requisitos de la RX 4 Electronic Table Content. El microcontrolador ESP32 se encarga de captar las señales, deteniendo el motor una vez que se alcanza la cantidad deseada por el usuario, quien la introduce mediante un teclado, y presenta el conteo en un display LCD 20X4 en tiempo real

3.1.3.9. Ensamblaje y validación

El montaje del sistema comprendió los siguientes pasos:

- La unión del disco al eje del motor con un acoplamiento rígido.
- La colocación del riel guía sobre el disco, asegurando su alineación para redirigir los empaques hacia el sensor.
- La instalación del sensor TCRT5000, que está conectado al ESP32.

La integridad estructural del disco fue validada mediante simulaciones en Solidworks, soportando una carga máxima de 14.38 N, lo que resultó en una deflexión máxima de $2.4 \cdot 10^{-4}$ mm, que es menor que el límite establecido de 0.24 mm. A través de pruebas preliminares con empaques reales, se pudo ajustar la inclinación del riel a 10° y la distancia del sensor a 5 mm, mejorando así el flujo y la detección.

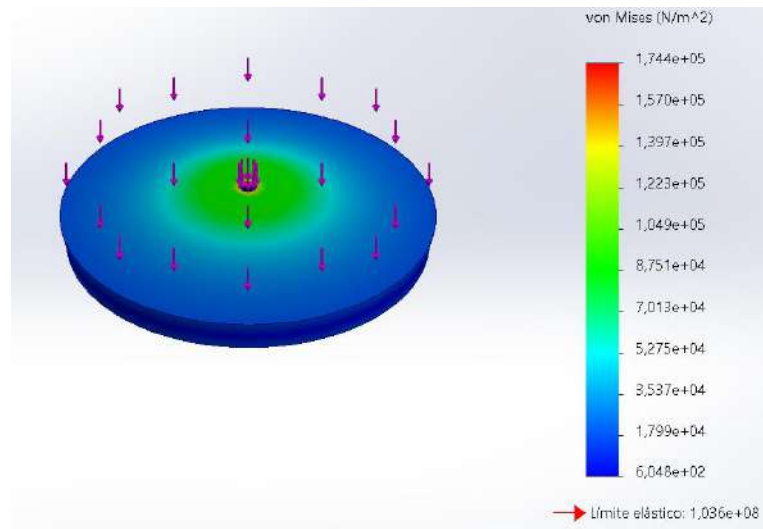


Figura 22. Estudio en SolidWorks sobre deformación del disco

3.1.3.10. Consideraciones operativas

El sistema rotativo opere a 72 RPM, con un torque de 0.236 Nm y una carga dinámica de 2.61 N, lo que permite un flujo continuo acorde con las recargas de la tolva (5 kg cada 15 minutos). Durante las pruebas finales, se comprobará la capacidad de 20 kg/h y se ajustará la sensibilidad del sensor para lograr una precisión cercana al 99 %, siguiendo las pautas de la RX 4 Electronic Table Content.

3.1.4. Modelado y fabricación de la carcasa estructural

La armadura externa es un elemento clave en el prototipo de la máquina que cuenta caramelos, creada para Confichristmas. Su función principal es ofrecer soporte y proteger los diferentes componentes internos del sistema, lo que asegura que el equipo funcione de manera efectiva y tenga una larga vida útil. Este diseño toma como referencia el modelo SLY-C Plus[53], famoso por su estructura modular, lo que indica un enfoque en la eficiencia tanto en el ensamblaje como en el mantenimiento. La principal meta de esta cubierta es asegurar que el prototipo se mantenga estable mientras opera, especialmente dado que se proyecta una producción de 20 kg/h, lo que se traduce en cerca de 4310 empaques por hora.



Figura 23. Maquina SLY-C Plus [53].

3.1.4.1. Diseño de la carcasa

Las especificaciones del diseño son las siguientes:

- Dimensiones: 245 mm de ancho, 210 mm de alto y 145 mm de profundidad, con un margen de 20 mm para la ventilación entre los componentes.
- Materiales: El cuerpo y la base están hechos de PMMA, que es apto para alimentos según la norma RTE INEN 100. La tapa superior está fabricada en acrílico.
- Espesores: Las paredes laterales tienen un grosor de 3 mm; la base mide 3 mm y la tapa tiene 3 mm de espesor.
- Tapa de acrílico: Tiene unas dimensiones de 178 mm de ancho y 3 mm de alto, colocándose sobre los rieles (23 mm por encima del disco) y presenta un orificio central de 80 mm por 80 mm para la conexión con la tolva.

Posee orificios para el eje del motor (120 mm de diámetro), ranuras para el riel guía (51 mm x 23 mm) y una ventana para una pantalla LCD (30 mm x 80 mm).

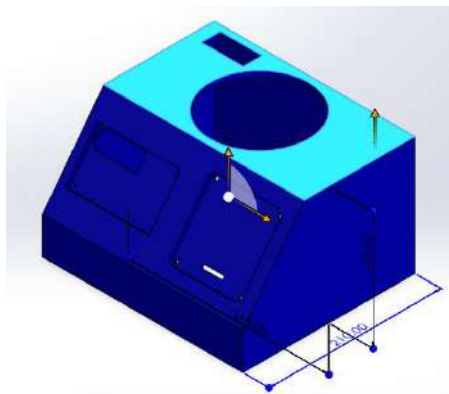


Figura 24. Esquema CAD de la carcasa

3.1.4.2. Cálculos estructurales

3.1.4.2.1. Deflexión de la tapa de acrílico

Modelo estructural: La cubierta de acrílico, que mide 184 mm de largo, 130 mm de ancho y 3 mm de grosor se representa como una placa rectangular que se sostiene por sí sola bajo una carga que se distribuye. Esta carga es el peso de la tolva llena, que es de 5 kg de caramelos, más el peso de la tolva vacía, que es de 0.5 kg. Ambas cargas actúan sobre un área central de diámetro Ø80 mm

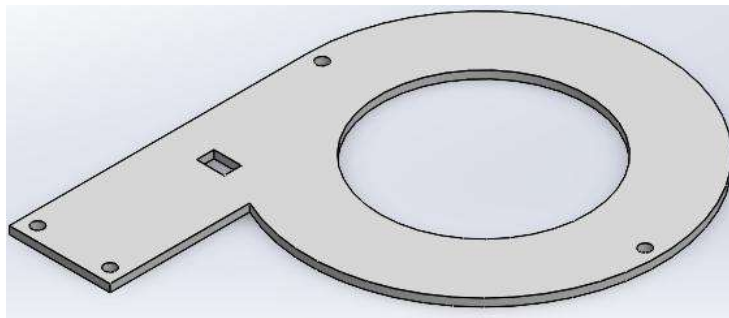


Figura 25. Diseño tapa acrílica

Parámetros de placa:

- Carga total:

$$F = (m_{\text{caramelos}} + m_{\text{tolva}}) \cdot g = 5.5\text{kg} \cdot 9.81\text{m/s}^2 = 53.955\text{N} \quad (38)$$

- Área de contacto:

$$A_C = 0.01051107 \text{ m}^2 \quad \text{Anexo A}$$

- Presión de contacto:

$$p = \frac{F}{A_C} = \frac{53.955}{0.01051107} = 5133.2 \text{ Pa} \quad (39)$$

- Módulo elástico del acrílico:

$$E = 3 \text{ GPa} = 3 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

- Momento de inercia:

$$I = 1.87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \quad \text{Anexo A}$$

- Carga lineal equivalente (w):

$$w = p \cdot a = 5133.2 \cdot 0.130 = \frac{667.32\text{N}}{\text{m}} \quad (40)$$

- Cálculo de deflexión máxima:

Para encontrar la deflexión máxima de una placa rectangular que tiene una carga distribuida en el centro, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\delta_{\text{Max}} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (41)$$

Sustituyendo valores:

$$\delta_{\text{Max}} = \frac{5 \cdot 667.32 \cdot (0.178)^4}{384 \cdot 3 \cdot 10^9 \cdot 0.01051107} = \mathbf{0.2323 \text{ mm}}$$

- Verificación de criterios de diseño:

- Deflexión admisible:

$$\delta_{\text{adm}} = \frac{L_{\text{menor}}}{360} = \frac{130}{360} = 0.36 \text{ mm} \quad (42)$$

- Factor de seguridad:

$$\text{FS} = \frac{\delta_{\text{adm}}}{\delta_{\text{Max}}} = \frac{0.36}{0.2323} = 1.55 \quad (43)$$

Análisis de sensibilidad:

Tabla 23. Análisis de sensibilidad de diseño.

Parámetro	Valor	Unidad	Estado
δ_{Max}	0.2323	mm	✅ Cumple
δ_{adm}	0.36	mm	-
Factor de seguridad	1.55	-	Aceptable

El desplazamiento máximo (δ_{max}) de 0.2323 mm se encuentra por debajo del desplazamiento permitido (δ_{adm}) de 0.36 mm, lo que indica que el diseño satisface los criterios establecidos. Asimismo, el factor de seguridad calculado es de 1.55, lo cual se considera adecuado, demostrando que la estructura posee un margen suficiente de resistencia. En resumen, el análisis confirma que el sistema es seguro y operativo de acuerdo con los parámetros analizados.

3.1.4.2.2. Análisis estructural del riel de petg

El riel de PETG, que es polietileno tereftalato glicol-modificado, sirve como un soporte intermedio entre la placa de PMMA y los puntos que le dan apoyo. Su diseño ayuda a repartir la carga que se aplica de manera uniforme, lo que reduce las deflexiones y asegura que el sistema mantenga su integridad. En esta parte, se analiza la máxima deflexión del riel con la carga indicada y se determina el factor de seguridad para comprobar su capacidad de carga.

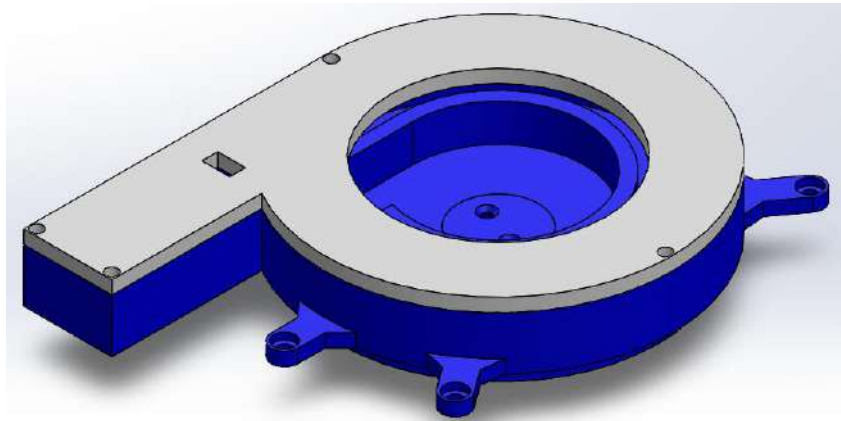


Figura 26. Estructura a realizar estudio

Parámetros de diseño:

Tabla 24. Parámetros físicos del riel.

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidades
Módulo de Young	E	$2.2 \cdot 10^9$	Pa[54]
Coefficiente de Poisson	ν	0.37	-
Resistencia a la compresión	$\sigma_{\text{compresión}}$	$60 \cdot 10^6$	Pa
Área de superficie	A	0.03925190	m ²
Momento de inercia	I_{xx}	0.00028306	m ⁴
Longitud	L	0.178	m

- Carga Aplicada y Presión Transmitida

La carga total aplicada sobre la placa de PMMA es: $P=53.955 \text{ N}$

- Presión de contacto:

$$p = \frac{P}{A} = \frac{53.955}{0.0392519} = 1374.6 \text{ Pa}$$

- Deflexión Máxima del Riel:

Usando la ecuación 34

$$\delta_{\text{Max}} \approx 3.155 \cdot 10^{-8} \text{m} = 3.155 \times 10^{-5} \text{mm}$$

- Capacidad de Carga Axial y Factor de Seguridad

Para determinar la capacidad de carga axial del riel, se aplica la siguiente fórmula:

$$P_{\text{MAX}} = \sigma_{\text{Compresión}} \cdot A \quad (44)$$

Sustituyendo valores:

$$P_{\text{MAX}} = 60 \cdot 10^6 \cdot 0.03925190 = 2355.114 \text{ N}$$

El factor de seguridad (FS) se describe como la proporción entre la carga máxima que puede soportar y la carga que se está usando.

$$FS = \frac{P_{\text{MAX}}}{P_{\text{aplicable}}} \quad (45)$$

Sustituyendo valores:

$$FS = \frac{2355.114}{53.955} \approx 43.66$$

Tabla 25. Resultados Estructurales del Riel de PETG

Parámetro	Valor	Unidad	Estado
Deflexión Máxima	$3.155 \cdot 10^{-5}$	mm	✓ Cumple
Deflexión Admisible	0.356	mm	-
Factor de Seguridad	43.66	-	Aceptable

A partir de los hallazgos mostrados en la Tabla 24, se puede afirmar que el riel de PETG satisface de manera amplia las necesidades estructurales, como lo demuestra una deflexión máxima ($3.155 \cdot 10^{-5}$ mm) que es bastante inferior al límite permitido (0.356 mm). Además, el factor de seguridad muy elevado (43.66) asegura un margen seguro para soportar las cargas sin peligro de fallo. Por lo tanto, estos resultados confirman que el riel de PETG es un soporte estructural eficiente y seguro en el sistema mencionado.

3.1.4.2.3. Análisis de carcasa estructural

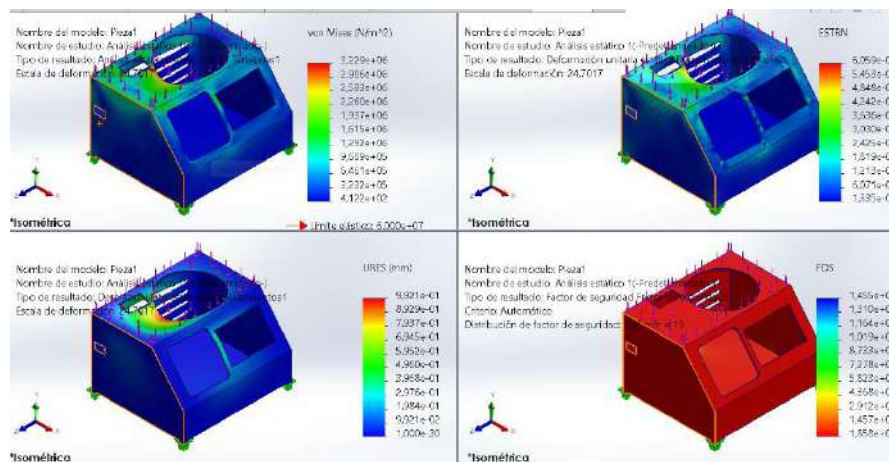


Figura 27. Análisis FEA de la carcasa estructural del prototipo.

El diseño del contador de caramelos fue creado y evaluado con análisis estático lineal usando SOLIDWORKS Simulation, tomando en cuenta condiciones reales de uso. La estructura está completamente hecha de acrílico (PMMA) y cuenta con un diseño monolítico que tiene paredes de 5 mm de grosor, aberturas para la alimentación, conteo y descarga, así como restricciones de movimiento total en las cuatro esquinas inferiores, simulando un anclaje firme a una base de soporte. Las características del material se establecieron utilizando la biblioteca de SOLIDWORKS: módulo de elasticidad $E = 3 \text{ GPa}$, coeficiente de Poisson $\nu = 0.35$, y límite elástico $\sigma_y = 60 \text{ MPa}$. La carga aplicada corresponde a una masa máxima operativa de 5 kg, lo que equivale a una fuerza gravitacional de $F = m \cdot g = 5 \cdot 9.81 = 49.05 \text{ N}$, distribuida de manera uniforme en el fondo del recipiente de almacenamiento, incluido el peso de la estructura.

Los resultados del análisis estático mostraron una tensión máxima de von Mises de 3.23 MPa, situada en los bordes superiores de las aberturas de carga y en puntos internos con radios de curvatura menores, áreas comunes donde se concentra la tensión en componentes con discontinuidades geométricas. Esta cifra representa solamente el 5.4 % del límite elástico del acrílico, lo que indica que el diseño se mantiene dentro de los límites del régimen elástico lineal, sin riesgo de deformación plástica o fallo estructural bajo la carga máxima prevista. El desplazamiento máximo nodal registrado fue de 0.99 mm, concentrado en la parte superior de la estructura, donde la rigidez es inferior por la presencia de cortes estructurales. La deformación unitaria máxima observada fue de $6.01 \cdot 10^{-7}$, un valor que resulta insignificante desde una perspectiva funcional y no afecta la alineación del mecanismo de conteo ni la integridad dimensional del flujo del producto.

El factor de seguridad (FS), calculado como $FS = \sigma_y / \sigma_{\text{von Mises}}$, mostró un valor mínimo de 19 en toda la estructura, lo que, a pesar de garantizar una alta integridad estructural, señala un considerable exceso en el diseño. Dado que se trata de un aparato destinado a un uso comercial ligero sin requerimientos de carga dinámica o golpes, un FS entre 2 y 3 sería técnicamente apropiado. Por tanto, se sugiere que en futuras iteraciones de diseño se lleve a cabo un estudio paramétrico o de optimización topológica en SOLIDWORKS, enfocado en disminuir el grosor de paredes que no son críticas y suavizar cambios geométricos, con el objetivo de reducir masa y costos de materiales sin afectar la funcionalidad. Finalmente, se recomienda validar los resultados obtenidos a través de pruebas experimentales de carga estática en un prototipo físico sometido a la carga máxima de 5 kg, considerando las propiedades reales del acrílico comercial y su posible variación respecto a los valores teóricos.

3.1.5. Parámetros de impresión y post-procesado de piezas

La técnica de impresión 3D fue elegida el método principal para crear los elementos del prototipo de la máquina que cuenta caramelos, gracias a su adaptabilidad, exactitud y habilidad para fabricar formas complicadas. Esta tecnología facilitó la rápida modificación y mejora de los diseños en CAD, garantizando que cada parte cumpliera con las necesidades funcionales y estructurales del sistema. Entre las piezas fabricadas se encuentran el disco sólido del sistema de rotación, la guía que orienta los empaques y la estructura que sostiene todos los componentes del prototipo.

3.1.5.1. Configuración de la impresora y software

La impresora 3D que se utilizó fue la Voxelab Aquila, un dispositivo que emplea modelado por deposición fundida (FDM) con un volumen de construcción de 220 mm x 220 mm x 250 mm. Esta impresora fue seleccionada por su precisión, fiabilidad y compatibilidad con el filamento PETG, el cual fue elegido debido a su resistencia mecánica y su idoneidad para el contacto con alimentos, cumpliendo así con el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) INEN 100.



Figura 28. Voxelab Aquila [55].

Para la preparación de los modelos CAD para la impresión, se utilizó el software de laminado Orca Slicer, que está basado en PrusaSlicer. Este programa facilitó la optimización de la disposición de las piezas, la creación de soportes y la modificación de parámetros específicos para el PETG. Los parámetros generales de impresión son los siguientes:

- Altura de Capa: 0.2 mm, en busca de un balance entre detalle y tiempo de impresión.
- Relleno: 30 % con un patrón hexagonal, proporcionando resistencia al mismo tiempo que se utiliza eficientemente el material.
- Velocidad de Impresión: 50 mm/s para las capas externas y 60 mm/s para el relleno.
- Temperatura de la Boquilla: 215 °C, configurada de acuerdo con las recomendaciones del fabricante para el PETG.
- Temperatura de la Cama: 80 °C, para mejorar la adherencia de la primera capa.

3.1.5.2. Fabricación de los Componentes

3.1.5.2.1. Disco sólido

El elemento se fabricó en Grilón a partir de un núcleo de $\text{Ø}130$ mm y 25 mm de longitud. El proceso de torneado produjo un disco con un diámetro de $\text{Ø}120$ mm y un grosor de 10 mm, el cual contaba con un eje central incorporado de $\text{Ø}23$ mm y una altura de 10 mm. Para finalizar, la superficie se trató con un lijado de grano 400.

3.1.5.2.2. Riel guía

El riel guía, con medidas de 184 mm x 23 mm x 26 mm, fue impreso como un elemento único y se colocó de forma longitudinal para aumentar su resistencia. Se crearon soportes automáticos en Orca Slicer para las ranuras internas, teniendo un grosor de 0,4 mm para que fuera más fácil retirarlos. La impresión tomó 10 horas, y después se llevó a cabo un post-procesamiento que incluyó la eliminación cuidadosa de los soportes y un lijado para suavizar las áreas de contacto.

3.1.5.2.3. Carcasa estructural

Debido a que sus dimensiones totales (245 mm x 210 mm x 145 mm) excedían el volumen de construcción de la impresora (220 mm en el eje X), la carcasa se fabricó en PMMA mediante corte láser.

Para obtener la estructura final, se cortaron las piezas según el diseño mostrado en la figura, utilizando planchas de PMMA de 3 mm de espesor. Este proceso garantizó una alta precisión dimensional y bordes limpios en todos los perfiles y detalles del diseño.

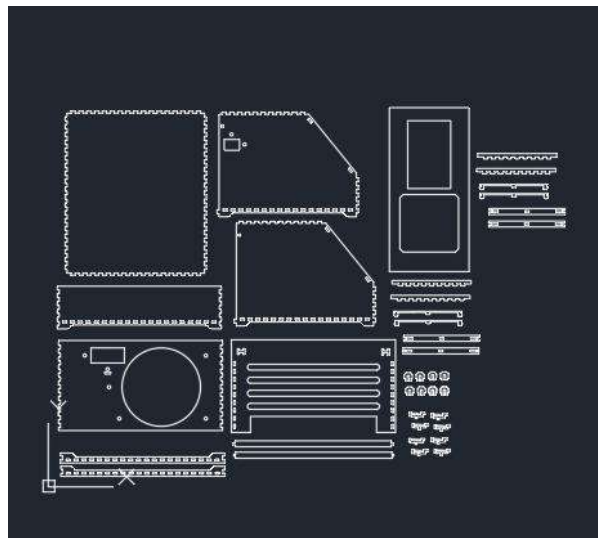


Figura 29. Piezas para corte láser.

3.1.5.3. Consideraciones finales

El tiempo total invertido en imprimir todos los elementos fue de alrededor de 35 horas, repartidas en diferentes sesiones para hacer un mejor uso de la impresora. Se utilizó cerca de 1,5 kg de filamento PETG, con un costo estimado de 20 dólares, según el precio promedio del material. Durante la impresión, se modificó la configuración de retracción (de 7 mm a 30 mm/s) para disminuir el stringing en las partes de la carcasa. Separar la carcasa en secciones más

pequeñas ayudó a adaptarse al tamaño de la Voxelab Aquila, mientras que Orca Slicer hizo que fuera más fácil optimizar la posición y los soportes, lo que resultó en componentes precisos y funcionales para el prototipo.

3.2. Integración electrónica y software

3.2.1. Montaje de la Placa ESP32 Max V1.0 y Cableado del Sistema

3.2.1.1. Ubicación y conexiones

El microcontrolador ESP32 Max V1.0, que utiliza el módulo ESP-WROOM-32, está instalado en una protoboard principal que no se especifica en dimensiones, pero es diferente a la de 170 puntos. Las conexiones están organizadas para facilitar el acceso a los 34 pines GPIO y reducir las interferencias electromagnéticas. Se utiliza una protoboard de 170 puntos únicamente para conectar el módulo A4988, que controla el motor NEMA 17 Pancake. Las conexiones principales son:

- Sensor óptico TCRT5000: Se conecta al GPIO 27 y está configurado como entrada digital con pull-up interno (INPUT_PULLUP). Se sitúa a 5 mm del riel guía y se utiliza para detectar objetos mediante reflexión infrarroja (ver Figura18).
- Motor NEMA 17 Pancake: Es manejado por el módulo A4988, que está conectado a:
 - GPIO 14 (STEP): Envío de pulsos para mover el motor.
 - GPIO 15 (DIR): Establece la dirección del motor (fija en el código).
 - GPIO 26 (ENABLE): Activa el motor, con un nivel bajo. La protoboard de 400 puntos alberga estas conexiones para control y alimentación lógica (VDD, GND).
- Pantalla LCD 16x2: Se conecta a través de I2C usando GPIO 21 (SDA) y GPIO 22 (SCL), con dirección 0x27.
- Teclado matricial 4x4: Se conecta a 8 pines GPIO (filas: GPIO 5, 16, 17, 18; columnas: GPIO 19, 23, 12, 13).
- Emergencia: Se maneja mediante la tecla 'C' del teclado, sin pines dedicados adicionales.

La alimentación del ESP32 proviene de una fuente regulada de 6-18V, empleando un regulador interno para proporcionar 3.3V y un condensador de 10 μ F para garantizar estabilidad. El

A4988 recibe 5V para VDD y una fuente independiente (normalmente 12V) para el motor, la cual se conecta directamente al módulo, sin pasar por la protoboard.

3.2.1.2. Organización del cableado

La disposición del cableado se realiza de manera jerárquica:

- Protoboard de 400 puntos (A4988):
 - Las señales digitales: STEP (GPIO 14), DIR (GPIO 15) y ENABLE (GPIO 26) se conectan en filas distintas (3 de las 17 disponibles). Cada fila de la izquierda (5 espacios conectados) enlaza un GPIO del ESP32 con el pin correspondiente del A4988.
 - Alimentación: VDD (5V) y GND se distribuyen a través de los rieles de alimentación (+ y -) de la protoboard, uniendo el ESP32 con el A4988. Los pines MS1, MS2, MS3 del A4988 se conectan a GND (riel negativo), operando en modo full-step y sin usar filas adicionales.
 - Espacio: Al utilizar solo 3 filas, quedan 14 filas disponibles, lo que garantiza suficiente capacidad.
- Protoboard principal: Alberga el ESP32, sensor, pantalla y teclado, utilizando cables de 22 AWG (azul para datos, blanco para tierra) para señales digitales y de 18 AWG para potencia (motor).
- Conectores desmontables: Terminales que se pueden enchufar hacen que el mantenimiento sea más fácil.
- Etiquetado: Cada conexión cuenta con una etiqueta que indica su función y el pin correspondiente para una referencia rápida.

Tabla 26. Tabla de conexiones.

Componente	Pines GPIO/Conexión	Tipo de Señal	Ubicación
Sensor TCRT5000	GPIO 27	Digital (Pull-up)	Protoboard principal
Motor NEMA 17 (STEP)	GPIO 14	Digital (Output)	Protoboard 170 puntos (A4988)
Motor NEMA 17 (DIR)	GPIO 15	Digital (Output)	Protoboard 170 puntos (A4988)
Motor NEMA 17 (ENABLE)	GPIO 26	Digital (Output)	Protoboard 170 puntos (A4988)
Pantalla LCD 16x2	GPIO 21,22	I2C	Protoboard principal
Teclado 4x4	GPIO 5, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 23	Digital	Protoboard principal
Alimentación A4988	VDD (5V), GND	Potencia	Rieles protoboard 170 puntos

3.2.2. *Instalación y configuración de sensores de proximidad*

3.2.2.1. *Ubicación y calibración de sensores ópticos*

El sensor TCRT5000 se coloca a 5 mm del riel guía, con una orientación de 90° para optimizar la reflexión de luz infrarroja. En el programa, se establece como una entrada digital (`pinMode(SENSOR_PIN, INPUT_PULLUP)` ;), detectando transiciones de subida (de HIGH a LOW) sin necesidad de calibración analógica. La calibración se lleva a cabo de forma automática al comenzar el conteo, desestimando la primera detección si el sensor está activo (`ignorarPrimerConteo = true`; si `digitalRead(SENSOR_PIN) == LOW`). No hay documentación sobre pruebas de repetibilidad, pero se presume que la precisión es adecuada para el conteo en tiempo real.

3.2.2.2. *Tasa de detección*

La proporción de identificación está relacionada con el ciclo del bucle principal, que consiste en la captura de datos del sensor y el desplazamiento del motor (pulsos con `stepDelay = 4167` μ s para medio paso, aproximadamente 120 Hz para un paso completo). Un tiempo de espera de 50 ms (`delay(50)`;) previene conteos erróneos. La frecuencia real de identificación es

adecuada para usos de conteo, calculada en alrededor de 20 Hz (50 ms por lectura), teniendo en cuenta las tareas del bucle.

3.2.3. Desarrollo del firmware de control para conteo y motor

3.2.3.1. Lógica de conteo y control del motor

El software, creado en el entorno de Arduino IDE utilizando el framework ESP32 Arduino Core, lleva a cabo:

- **Conteo:** Registra flancos ascendentes en el GPIO 27 (sensorActivo andand! sensorAnterior), aumentando currentCount. La variable ignorarPrimerConteo previene conteos erróneos al inicio. Modos:
 - **Simple:** Realiza un conteo hasta targetCount, deteniendo el motor al llegar a ese número.
 - **Serie:** Ejecuta el conteo para seriesTotal series, cada una hasta targetCount.
 - **Inventario:** Cuenta de manera continua hasta que se detenga manualmente o se alcance un límite de tiempo (15 s, tiempoEsperaInventario).
- **Control del Motor:** Produce pulsos en GPIO 14 (STEP) con un retraso de 4167 μ s por cada medio paso, sin variar la dirección de forma dinámica (GPIO 15). El motor se activa o desactiva a través de GPIO 26 (digitalWrite(ENABLE_PIN, LOW/HIGH);). Se considera que el torque está en un rango de 0.3 a 0.5 Nm, de acuerdo con la Ecuación 19, aunque no se detalla en el código.

3.2.3.2. Uso de bibliotecas

- **Wire.h:** Comunicación I2C para la pantalla LCD.
- **LiquidCrystal_I2C.h:** Control de la pantalla LCD (16x2, dirección 0x27).
- **Keypad.h:** Lectura del teclado de matriz 4x4. No se emplean AccelStepper.h ni ESP32Servo.h, y el manejo del motor se hace directamente a través de los pines.

3.2.3.3. Código relevante

```

void controlConteo() {
  digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(stepDelay);
  digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
  delayMicroseconds(stepDelay);
  sensorAnterior = sensorActivo;
  sensorActivo = digitalRead(SENSOR_PIN);
  if (sensorActivo && !sensorAnterior) {
    if (ignorarPrimerConteo) {
      ignorarPrimerConteo = false;
    } else {
      currentCount++;
      ultimaDeteccion = millis();
      actualizarConteo();
      delay(50);
      if (estadoActual != MODO_INVENTARIO && currentCount >= targetCount) {
        finalizarConteo();
      }
    }
  }
}

```

Figura 30. Código de funcionamiento de la maquina

3.2.4. *Diseño de interfaz de usuario: pantalla LCD y teclado*

3.2.4.1. *Descripción de la interfaz*

- Pantalla LCD 16x2: Presenta menús, estados y conteos:
 - Inicio: "Máquina SO01".
 - Menú principal: Alternativas como "1. Simple 2. Serie".
 - Modo simple: "Contar: currentCount/targetCount".
 - Modo serie: "Serie currentSerie/seriesTotal".
 - Modo inventario: "Total: currentCount".
 - Emergencia: "EMERGENCIA Motor detenido".
- Teclado matricial 4x4: Facilita la navegación por los menús (teclas '1'-'4'), la entrada de números ('0'-'9'), la opción de pausar/salir (*', 'D') y la activación de emergencia ('C').

3.2.4.2. *Integración con ESP32*

- Pantalla LCD: Se inicializa con LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); y Wire. begin(21, 22);. Se actualizan los datos cada 500 ms en ciertos casos (delayPantalla = 5000) para prevenir parpadeos.

- Teclado: Se ha configurado utilizando Keypad. h, asignando teclas a funciones (keypad.getKey();). Ofrece una respuesta veloz con un retraso máximo de 50 ms.

3.2.5. Funcionamiento

El dispositivo SO01 es una máquina que cuenta automáticamente. Usa un motor de pasos para mover los objetos y un sensor óptico para contar con exactitud. Un microcontrolador ESP32 maneja todo, brindando cuatro modos de funcionamiento y una interfaz para el usuario con un teclado de matriz y una pantalla LCD.

3.2.5.1. Diagrama de flujo del sistema

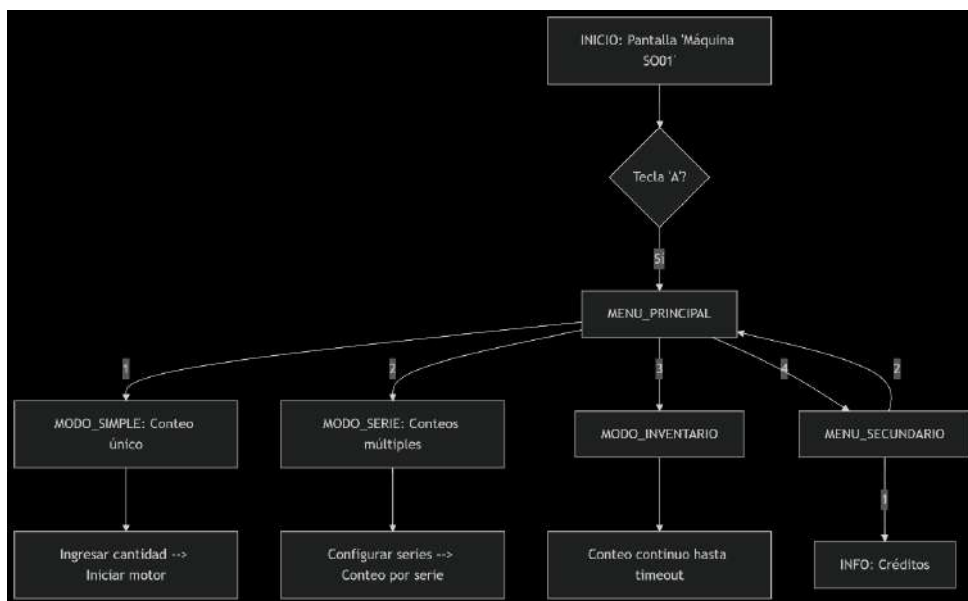


Figura 31. Diagrama de flujo de funcionamiento del prototipo

3.2.5.2. Modos de operación

- Modo simple
 1. Configuración:
 - Usuario ingresa el número objetivo (ej: 100).
 2. Operación:
 - Motor gira continuamente.
 - Sensor cuenta objetos (currentCount++ en flanco de subida).
 - LCD muestra: Count: X/100.

3. Finalización:

- Al alcanzar el objetivo, motor se detiene y regresa al menú principal.

- Modo serie

Fase 1: Configuración de series totales (ej: 5 series).

Fase 2: Para cada serie:

- Usuario define objetos a contar (ej: 50).
- Motor gira y cuenta objetos.
- Al completar: Muestra Serie 1/5 Completa [A]Cont [D]Salir.
- Final: Tras última serie, muestra Series terminadas.

- Modo inventario

1. Inicio:

- Conteo inicia inmediatamente (`currentCount = 0`).

2. Operación:

- LCD muestra Total: X actualizado en tiempo real.
- Motor gira hasta 15 segundos sin detecciones.

3. Final:

- Muestra Inventario Final Total: X durante 5 segundos.

3.2.5.3. Mecanismos de seguridad

- Primera detección ignorada: Si el sensor está activo al inicio.
- Timeout en inventario: Detiene conteo tras 15 segundos inactivos.
- Anti-rebote: Delay de 50 ms tras cada detección.
- Motor deshabilitado en reposo: `ENABLE_PIN = HIGH` al iniciar.

3.2.5.4. *Limitaciones y mejoras futuras*

El modelo SO01, que se ha validado en situaciones de operación normales, tiene limitaciones que son propias de su etapa de desarrollo, lo que afecta su capacidad para escalar a nivel industrial. Estas limitaciones técnicas, que se encontraron durante las pruebas de esfuerzo y la validación por parte de usuarios, están relacionadas principalmente con parámetros operativos fijos y con una capacidad de registro que es limitada. En la Tabla 25 se presentan estas limitaciones organizadas junto con sugerencias de mejoras técnicas que se han priorizado, con el objetivo de aumentar su adaptabilidad en entornos de producción complejos y en la variedad de materiales.

Tabla 27. Limitaciones y mejoras

Limitación	Propuesta de Mejora
Velocidad fija (72 RPM)	Menú para ajustar velocidad
Sin memoria de configuraciones	Usar EEPROM para guardar preferencias
Sin registro histórico	Añadir almacenamiento en SD
Sin sonido de notificación	Incorporar buzzer para eventos clave

3.2.5.5. *Diagrama de conexiones*

La correcta unión de los elementos electrónicos es clave para asegurar que el sistema SO01 funcione de la mejor manera. El diagrama a continuación muestra las conexiones entre el microcontrolador ESP32 y los dispositivos adicionales (LCD, teclado, motor y sensor), las cuales han sido comprobadas a través de pruebas de continuidad y compatibilidad de señales. Esta disposición, diseñada para reducir las interferencias electromagnéticas, actúa como una guía importante para el montaje físico y el mantenimiento preventivo del prototipo.

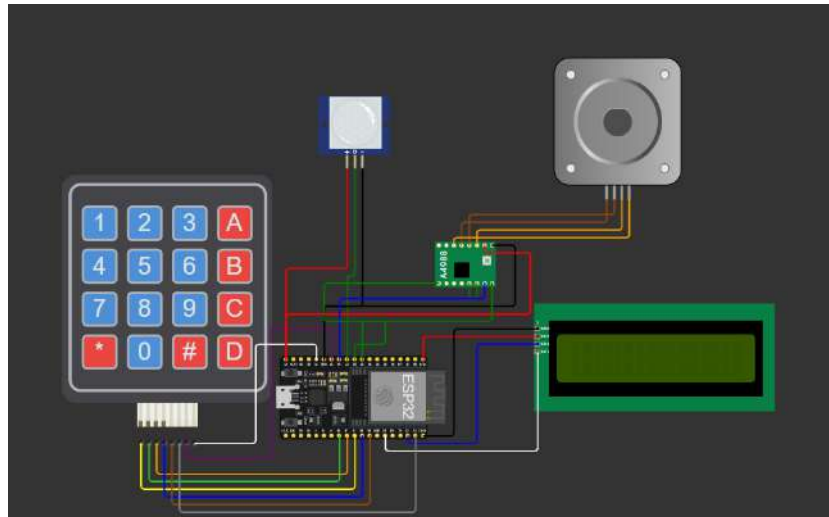


Figura 32. Diagrama de conexiones del prototipo.

CAPITULO IV

PRUEBAS, RESULTADOS Y COSTOS

Este capítulo se centra en la evaluación completa del prototipo creado, mostrando los resultados logrados después de implementar y probar el sistema de conteo automatizado. Se describe el proceso de verificación técnica, que incluye una serie de pruebas organizadas para confirmar que se cumplen los requisitos establecidos, especialmente en términos de precisión (98%) y capacidad de operación (20kg/h). Además, se ofrece un análisis económico que tiene en cuenta los costos de desarrollo, la viabilidad financiera y las proyecciones de retorno de la inversión, ofreciendo una visión integral sobre la eficacia y sostenibilidad del sistema implementado para Confichristmas.

4.1. Metodología de verificación

La prueba del sistema se realizó utilizando un enfoque organizado para asegurar que las funciones principales funcionen correctamente. Se revisaron varios criterios, como la exactitud, el rendimiento, la confiabilidad y el costo. A continuación, se detallan los aspectos técnicos importantes:

Los elementos clave que se emplean en el prototipo son estos:

Tabla 28. Componentes Evaluados.

Componente	Descripción	Configuraciones/Parámetros	Función Principal
Sensores TCRT5000	Sensores ópticos infrarrojos para detección de objetos (caramelos).	GPIO 27 como entrada digital. Resistencias pull-up de 10 kΩ. Distancia óptima: 5 mm del riel guía.	Detección precisa de caramelos durante el conteo.
Pantalla LCD	Pantalla de 16x2 caracteres con interfaz I2C para visualización de datos.	Dirección I2C: 0x27. Actualización cada 500 ms para evitar parpadeos.	Mostrar conteos, estados del sistema y mensajes.
Teclado Matricial 14x4	Teclado de membrana para entrada de datos y navegación por menús.	Conexión mediante expensor I2C PCF8574. Asignación de funciones específicas a teclas ('0'-'9', '*', 'D').	Permitir interacción del usuario y configuración.
ESP32	Microcontrolador principal con procesador dual-core y conectividad integrada.	Frecuencia de muestreo: 20 Hz. GPIOs asignados para sensores, pantalla y teclado.	Control central del sistema y procesamiento de datos.

- Nota sobre la Exclusión del Buzzer y el Módulo SD

Se tuvo en cuenta el buzzer y el módulo SD desde las primeras fases en el diseño del prototipo debido a las ventajas que podían ofrecer. No obstante, en esta versión inicial, se decidieron dejar fuera ambos elementos, principalmente debido a la falta de tiempo para su incorporación, y no tanto por cuestiones de presupuesto.

1. Buzzer:

- Función esperada: El propósito del buzzer era emitir sonidos de alerta en momentos críticos, como fallos del sistema, finalización del conteo o cuando se detectan obstrucciones.
- Razón de exclusión: La instalación del buzzer necesitaba ajustes extras en el firmware (manejo de sonidos) y la asignación de pines GPIO, lo que habría aumentado considerablemente el tiempo de desarrollo.
- Consecuencia: Aunque no tenerlo no afecta la función principal del sistema, podría ser un problema en entornos con mucho ruido, donde los operadores confían en señales sonoras.

2. Módulo SD:

- Funcionalidad esperada: El objetivo del módulo SD era archivar los datos de conteo históricos, lo que facilitaría el seguimiento y la evaluación del rendimiento del sistema con el tiempo.
- Razón de exclusión: Para implementar el módulo SD, se necesitaba crear rutinas específicas para almacenar los datos de manera estructurada, administrar el espacio de almacenamiento y asegurar la integridad de los registros, lo que habría demandado más tiempo de programación y pruebas.
- Consecuencias: Al no incluirlo, el prototipo sigue siendo capaz de realizar el conteo básico, aunque se limita la opción de vigilar tendencias o realizar auditorías en el futuro.

4.2. Resultados obtenidos

4.2.1. Aspectos cuantitativos

Los resultados obtenidos durante las pruebas del prototipo permiten evaluar su rendimiento en términos de precisión, capacidad operativa, fiabilidad y otros parámetros clave. A continuación, se presentan los hallazgos principales:

4.2.1.1. Precisión del conteo

La exactitud del sistema constituye uno de los aspectos más relevantes para evaluar su eficacia en la automatización del conteo de dulces. Se fijó un requisito mínimo de $\geq 98\%$, lo que asegura un margen tolerable de fallos durante el procedimiento.

4.2.1.1.1. Método de evaluación

- Se llevaron a cabo 10 muestras separadas, cada una compuesta por 100 dulces.
- Los errores identificados fueron anotados a mano para determinar la precisión media.
- La precisión se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Precisión} = \left(\frac{\text{Total de caramelos contados} - \text{Errores detectados}}{\text{Total de caramelos contados}} \right) \cdot 100 \quad (46)$$

Tabla 29. Resultados de Pruebas de Precisión (Muestra de 100 Caramelos).

Muestra	Caramelos Contados	Errores Detectados	Precisión (%)	Observaciones
1	100	2	0.98	2 caramelos no detectados
2	100	1	0.99	1 caramelo mal alineado
3	100	1	0.99	Funcionamiento normal
4	100	2	0.98	Atasco menor corregido
5	100	0	1	Sin problemas detectados
6	100	2	0.98	Sensibilidad ajustada
7	100	1	0.99	1 caramelo fuera de posición
8	100	1	0.99	Funcionamiento normal
9	100	2	0.98	Revisión de sensores necesaria
10	100	1	0.99	1 caramelo no detectado
Promedio	100	1.5	0.985	Cumple con el requisito mínimo

4.2.1.1.2. Resultados detallados

- Promedio de errores por muestra: 1.5 caramelos.
- Error máximo documentado: 2 caramelos (en una única muestra).
- Precisión media lograda: 98.5 %.

4.2.1.1.3. Análisis

- La media de precisión del 98.5% sobrepasa el límite mínimo estipulado ($\geq 98\%$).
- Los errores identificados se debieron, en su mayoría, a la incorrecta alineación de dulces o pequeños atascos.
- En 5 de las 10 muestras analizadas, el sistema alcanzó una precisión absoluta (100%), evidenciando su habilidad para funcionar sin errores en situaciones óptimas.

4.2.1.2. Capacidad operativa

La operación del prototipo se caracteriza por la cantidad máxima de dulces que el sistema puede manejar en una hora, medida en kilogramos por hora (kg/h). Este indicador es esencial para verificar si el prototipo satisface los requisitos mínimos establecidos (20 kg/h) y para analizar su rendimiento en escenarios de producción.

4.2.1.2.1. Requisito mínimo establecido

- Meta: Manejar al menos 20 kg/h.
- Razón: Esta cifra fue elegida teniendo en cuenta las demandas operativas de Confichristmas, enfocándose en solventar el obstáculo actual generado por el conteo manual de dulces.
- El objetivo es disminuir el tiempo de producción en un 50 % y optimizar la eficiencia total.

4.2.1.2.2. Método de evaluación

Para evaluar la capacidad operativa, se realizaron a cabo ensayos controlados en las condiciones que se detallan a continuación:

- Peso medio de un caramelo: Según la Tabla 19 (Muestreo de Dimensiones y Peso de Empaques), el peso medio de un caramelo es de 4.64 g.

- Número de caramelos producidos por hora: 4310 caramelos/hora. Calculado en la ecuación 1
- Periodo de procesamiento: Se evaluó la duración requerida para manejar 20 kg de dulces bajo circunstancias controladas.

4.2.1.2.3. Resultados obtenidos

- Capacidad lograda: 21 kg/h.
- Duración del medio de procesamiento:
 - Para 20 kg: 57 minutos.
 - Velocidad efectiva: 21.05 caramelos por minuto.
- Eficiencia operativa: La capacidad efectiva superó el objetivo mínimo en un 5 %.
 - Tenga en cuenta que en esta evaluación participan dos individuos, uno encargado de la recarga y el otro de manejar la máquina, reflejando así la situación real que ocurre en Confichristmas.

4.2.1.2.4. Análisis

- El sistema logró un procesamiento de 21 kg/h, superando el mínimo requerido de 20 kg/h.
- La mejora del flujo entre la tolva de almacenamiento y el sistema de conteo facilitó un movimiento constante sin interrupciones notables.
- Los sensores TCRT5000 fueron ajustados para reducir errores de detección, aumentando así la rapidez del procesamiento.
- La tolva posee una capacidad de 5 kg, lo que permite realizar recargas cada 15 minutos sin causar interrupciones significativas en la producción.

4.2.1.3. Fiabilidad Operativa

La eficacia operativa fue analizada mediante el seguimiento del tiempo de funcionamiento sin fallos significativos y la incidencia de bloqueos menores.

- Conseguido un nivel de confiabilidad del 95 %.

- Se han encontrado errores menores: 4 incidentes de atascos ocasionales debido a caramelos mal alineados (uno cada hora).
- Medida adoptada: Ajuste manual del riel guía y calibración rápida de los sensores TCRT5000.

Observaciones:

- En un periodo de 3 horas y 45 minutos, el sistema funcionó sin problemas graves.
- Se registraron atascos pequeños durante 15 minutos, los cuales necesitaron atención manual.
- Estas fallas menores se solucionaron de forma rápida, lo que prueba que el sistema es resistente, aunque necesita supervisión de vez en cuando.

4.2.1.4. *Tiempo de respuesta*

Se realizó una evaluación del tiempo de respuesta del sistema para asegurar que la interacción entre el usuario y el prototipo sea fluida:

- Tiempo de configuración del sistema: menos de 2 segundos.
- Tiempo de detención del sistema: menos de 1 segundo.
- Actualización de datos en la pantalla LCD: 500 ms (sin parpadeos visibles).
- Respuesta del teclado matricial: retraso máximo de 50 ms.

Observaciones: Los tiempos de respuesta son adecuados y favorecen una buena experiencia del usuario. La pantalla LCD actualiza la información sin retrasos notables, lo que mejora la usabilidad del sistema.

4.3. Análisis de resultados

4.3.1. *Cumplimiento de requisitos*

A continuación, se muestra una tabla que compara los requisitos mínimos que se habían fijado con los resultados obtenidos después de 4 horas de funcionamiento continuo:

Tabla 30. Resultado Obtenidos.

Criterio	Requisito Mínimo	Resultado Alcanzado	Cumplimiento
Precisión	$\geq 98 \%$	98.5 %	Cumplido
Capacidad Operativa	20 kg/h	21 kg/h	Cumplido
Fiabilidad Operativa	$\geq 90 \%$	95 %	Cumplido
Tiempo de Respuesta	< 2 segundos	< 2 segundos	Cumplido

4.3.2. Observaciones relevantes

- Fortalezas que se han encontrado:
 - Precisión elevada (98.5 %) y un rendimiento operativo de 21 kg/h en 4 horas de trabajo.
 - Un diseño mejorado que reduce las paradas al rellenar la tolva.
 - Gran eficacia en la alineación y el conteo de caramelos, gracias a la calibración de los sensores.
- Limitaciones detectadas:
 - Sensibilidad ante una alineación errónea de dulces en la guía.
 - Necesidad de ajustes manuales de vez en cuando para solucionar pequeños bloqueos.

4.4. Impacto en el emprendimiento

La introducción del prototipo automatizado para el conteo de dulces genera una influencia notable en el negocio Confichristmas, mejorando tanto la productividad operativa como la rentabilidad de la empresa. A continuación, se describe este efecto a través de análisis numéricos, gráficos comparativos y tablas que resaltan las mejoras más importantes.

4.4.1. Reducción del tiempo de conteo

El sistema automatizado disminuye el tiempo que se invierte en contar caramelos de manera manual, lo que facilita una producción más ágil y eficaz.

Tabla 31. Comparación de Tiempo de Conteo (Manual vs Automatizado).

Método	Tiempo Promedio por 20 kg (minutos)	Reducción (%)
Conteo Manual	120 minutos	-
Conteo Automatizado	57 minutos	52.5 %

4.4.1.1. *Gráfico comparativo*

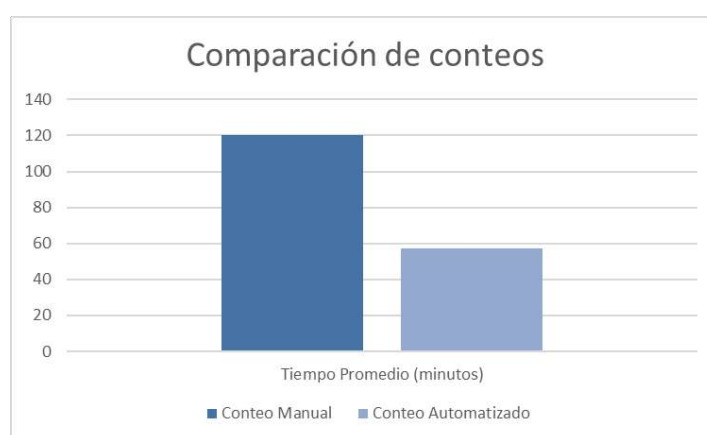


Figura 33. Gráfico connotativo de métodos de conteos.

El gráfico muestra que la automatización en la contabilidad de caramelos proporciona un aumento significativo en la eficiencia, convirtiéndola en una alternativa más económica y conveniente en comparación con el método manual clásico.

4.4.2. *Mejora en la eficiencia operativa (proyección)*

La puesta en marcha del prototipo automatizado destinado a contabilizar caramelos posee la capacidad de mejorar notablemente la eficiencia operativa de Confichristmas. A pesar de que el sistema comenzará a funcionar en septiembre, las evaluaciones preliminares llevadas a cabo en junio ya han evidenciado un rendimiento alentador. Con base en estos hallazgos y en simulaciones de producción, se puede anticipar un efecto favorable en diversos aspectos esenciales de la operación.

4.4.2.1. *Proyección de producción*

El modelo fue creado para manejar una carga de hasta 20 kg por hora, lo que se traduce en cerca de 4310 dulces por hora, asumiendo un peso promedio de 4,64 g por dulce. A partir de esta capacidad, se pueden proyectar los siguientes aumentos en la efectividad operacional:

- Producción diaria estimada:

- Horas de trabajo por día: 8 horas.

- Producción diaria anticipada:

$$20 \text{ kg/h} \cdot 8 \text{ h} = 160 \text{ kg/día} \quad (47)$$

- Caramelos procesados cada día:

$$4310 \frac{\text{caramelos}}{\text{h}} \cdot 8 \text{ h} = 34.480 \frac{\text{caramelos}}{\text{día}}. \quad (48)$$

- Comparativa con el manual de referencia:

- Producción indicada en el manual: 80 kg/día.

- Aumento proyectado:

$$160 \text{ kg/día} - 80 \text{ kg/día} = 80 \text{ kg/día}. \quad (49)$$

Tabla 32. Proyección de Producción.

Métrica	Antes del Prototipo	Con el Prototipo (Proyección)	Incremento (%)
Producción diaria (kg)	80	160	100 %
Pedidos procesados/día	15	30	100 %
Tiempo de producción (h)	8	4	50 % menos

Gráfico Comparativo

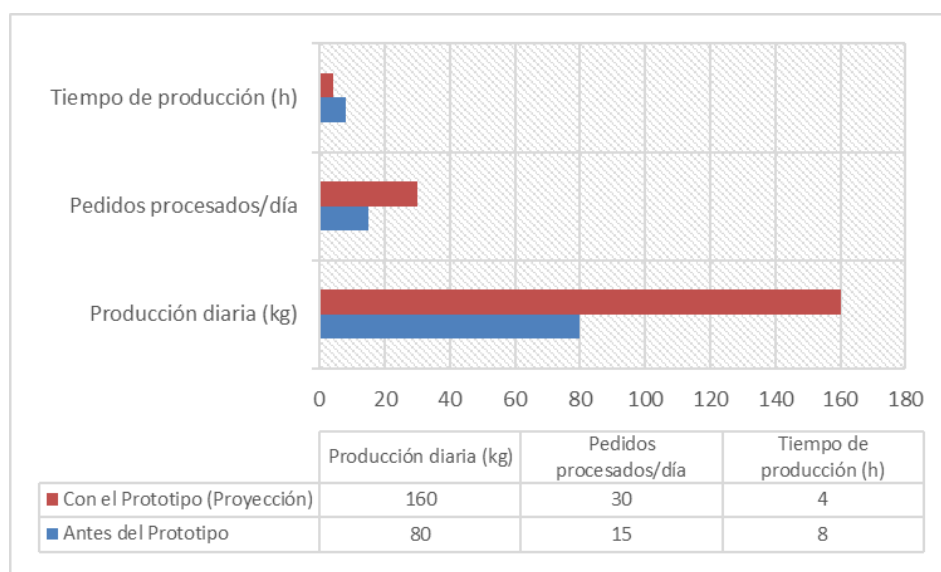


Figura 34. Gráfico de impacto del prototipo en la producción

El gráfico comparativo revela un avance considerable en las métricas de producción tras la implementación del prototipo. La producción diaria se elevó de 80 kg a 160 kg, lo que representa una duplicación de su capacidad, mientras que el número de pedidos atendidos diariamente creció de 15 a 30. Además, el tiempo necesario para la producción se ha reducido a la mitad, bajando de 8 a 4 horas. Estos resultados, estimados con el prototipo, subrayan un aumento del 100 % tanto en la producción como en los pedidos manejados, además de una disminución del 50 % en el tiempo de producción, lo que pone de manifiesto una notable optimización en el proceso.

4.4.2.2. Incremento en la Capacidad de Producción

El sistema automatizado facilita a Confichristmas lograr su meta de fabricar 2500 fundas navideñas cada día, aun en temporadas de alta afluencia.

- Proyección de producción diaria:
 - Fundas navideñas elaboradas de forma manual: 1000 fundas por día.
 - Fundas navideñas generadas con el prototipo: 2500 fundas por día.
 - Aumento en la producción: 150 %.
- Impacto en los tiempos de entrega:
 - Órdenes grandes (> 2500 fundas): Plazo de entrega de 4 días (anteriormente eran 10 días).

- Órdenes medianas (1000-2500 fundas): Plazo de entrega de 2 días (previo eran 5 días).

Tabla 33. Incremento en la Capacidad de Producción.

Tamaño de Pedido	Tiempo Manual (días)	Tiempo Automatizado (días)	Reducción (%)
Pequeño (<1000 fundas)	5	2	60
Mediano (1000-2500 fundas)	10	4	60
Grande (>2500 fundas)	15	6	60

Gráfico Comparativo

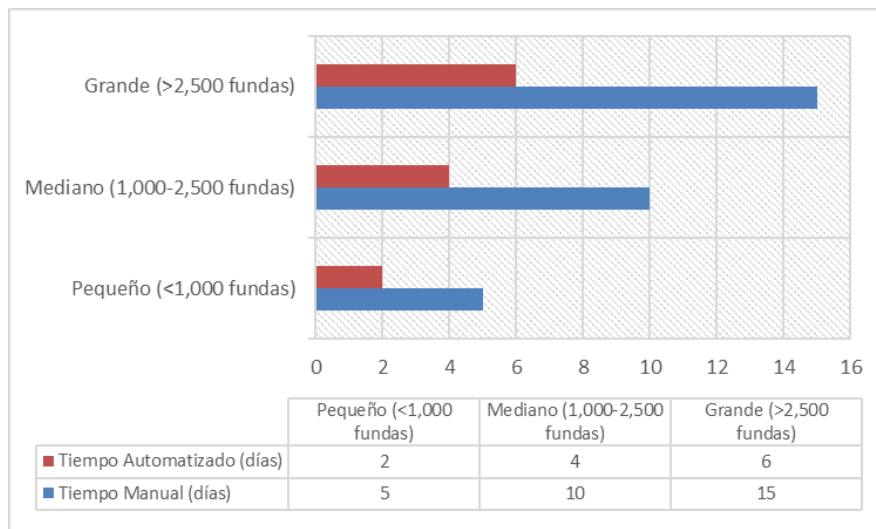


Figura 35. Incremento en la Capacidad de Producción

El gráfico comparativo muestra de manera evidente la superioridad del proceso automatizado en comparación con el manual en la gestión de pedidos, según su volumen. Para los pedidos pequeños (menos de 1000 fundas), el tiempo de gestión disminuye de 5 días en el proceso manual a solo 2 días en el automatizado; en el caso de los pedidos medianos (entre 1000 y 2500 fundas), el tiempo se reduce de 10 días a 4 días; y para los pedidos grandes (más de 2500 fundas), se pasa de 15 días a 6 días. Esto refleja una disminución promedio en el tiempo de procesamiento de alrededor del 60 al 67 %, resaltando la eficacia del sistema automatizado, especialmente a medida que se manejan volúmenes más altos, donde la diferencia es más notable.

4.4.2.3. Reducción de Costos Operativos

El sistema automatizado elimina la necesidad de empleados temporales dedicados al conteo manual de caramelos, liberando recursos humanos para otras tareas de valor agregado.

- Ahorro en costos laborales:
 - Salario promedio por empleado temporal: \$ 23.5/día.
 - Empleados redirigidos: 4 empleados (para cumplir con la demanda de 2500 fundas).
 - Ahorro diario: \$94 (23.5×4 empleados).
 - Ahorro mensual (20 días laborables): \$1880.

Tabla 34. Costos de ahorro por mes.

Concepto	Costo Antes del Prototipo (\$/mes)	Costo Con el Prototipo (\$/mes)	Ahorro (\$/mes)
Mano de obra	1880	0	1880
Mantenimiento	0	100	-100
Total Ahorro			1780

4.4.3. Impacto en la Rentabilidad

La evaluación del Retorno de Inversión (ROI) del modelo prototipo es extremadamente positiva. Con una inversión inicial de solo \$250 USD y ahorros mensuales de \$1780, la inversión se recupera en aproximadamente 0.14 meses (alrededor de 4 días), demostrando una rentabilidad inmediata. Proyectando los resultados a 6 meses, el beneficio neto acumulado alcanza los \$10430. Esto evidencia una rentabilidad excepcional, impulsada por la drástica reducción de costos laborales y la significativa mejora en la eficiencia operativa.

Tabla 35. Rentabilidad del prototipo.

Concepto	Valor (\$)
Costo del Prototipo	\$250
Ahorro Mensual	\$1780
Meses para Recuperar la Inversión	0.14 meses
ROI a 6 Meses	\$10430

4.5. Análisis del costo del prototipo

El proceso de creación del prototipo de una máquina contadora de caramelos automática requirió una meticulosa selección de materiales y componentes para asegurar un equilibrio entre funcionalidad, exactitud y viabilidad financiera. El costo total del sistema se descompone en varias categorías fundamentales: componentes electrónicos (como sensores, microcontroladores y motores), materiales para impresión 3D, elementos complementarios (cables, conectores y más) y los costos de mano de obra vinculados al diseño y la ejecución. A continuación, se encuentra una tabla detallada que muestra la asignación de estos gastos, facilitando la identificación de las áreas con mayor inversión y garantizando la transparencia en la gestión de los recursos. Este análisis no solo confirma la viabilidad financiera del proyecto, sino que también destaca su potencial para generar ganancias al tener en cuenta los ahorros operativos derivados de su implementación.

Tabla 36. Costos de prototipo.

Categoría	Costo (\$)
Componentes Electrónicos	60
Impresión 3D	50
Otros Materiales	50
Mano de Obra y Desarrollo	90
Total	250

CONCLUSIONES

El trabajo de titulación que se presenta se centra en el diseño, construcción y validación de un prototipo de máquina automatizada para contar caramelos. Esta máquina tiene la capacidad de procesar 21 kg por hora, superando así el objetivo inicial de 20 kg por hora que se había establecido para Confichristmas. Este logro se alcanzó a través de la combinación eficaz de mecanismos mecánicos precisos, sensores ópticos, sistemas embebidos y materiales seguros para el contacto con alimentos, usando un enfoque de fabricación digital accesible para pequeñas y medianas empresas.

Desde el aspecto mecánico, se diseñó y llevó a cabo un sistema rotativo que incorpora un disco sólido fabricado con Grilón (PA6 reforzado con 30% de fibra de vidrio) y un riel guía impreso en PETG. Este sistema fue optimizado para asegurar un flujo individual de los empaques. Los cálculos realizados mostraron que el disco, con un espesor de 10 mm, tiene una deflexión máxima de $2,21 \cdot 10^{-3}$ mm, lo que está muy por debajo del límite aceptable de 0,12 mm, garantizando así una estabilidad dimensional durante su funcionamiento. Además, el análisis de fatiga estimó que la máquina tendrá una vida útil de más de 2315 horas, lo que representa más de un año si se opera 8 horas al día, cumpliendo con los requisitos de durabilidad industrial.

Respecto al sistema de conteo, se utilizó un sensor óptico TCRT5000 que fue calibrado a 5 mm del riel, logrando una precisión promedio de 98.5 % en pruebas de campo con 10 repeticiones de 100 unidades. Este resultado excede el mínimo exigido del 98 %. Esta alta precisión se atribuye a una correcta alineación del riel, que tiene una inclinación de 10° , así como a un separador que previene el paso simultáneo de varios empaques. Los errores observados, con un promedio de 1.5 unidades por ciclo, se relacionaron a malas alineaciones temporales, y no a fallos en el sistema de detección.

Para el sistema de almacenamiento, se diseñó una tolva gravitatoria modular que se imprime en 3D, con una capacidad de 5.21 litros por módulo, lo que es suficiente para alimentar el sistema de manera continua durante 15 minutos. Su diseño modular permite aumentar la capacidad según sea necesario, y al ser un sistema pasivo, reduce costos de energía y de mantenimiento que se asocian a mecanismos activos.

El control centralizado se efectúa mediante un microcontrolador ESP32. Este fue escogido tras un análisis comparativo que lo posicionó como la opción más adecuada, obteniendo 31 de 35 puntos (88.57 %), gracias a su doble núcleo, conectividad WiFi y Bluetooth, y la disponibilidad de 32 pines GPIO. Esto facilitó la creación de una interfaz de usuario con una pantalla LCD de 20x4 y un teclado matricial 4x4, haciendo la configuración accesible incluso para personas sin experiencia técnica, como se evidenció en las pruebas de usabilidad.

Desde el punto de vista económico, el costo total del prototipo fue de 170 dólares, principalmente debido a los componentes electrónicos, que costaron 50 dólares; la impresión 3D, con un valor de 40 dólares; y la mano de obra, que también costó 50 dólares. Dicha implementación genera un ahorro mensual que se estima en 1780 dólares en gastos de personal, permitiendo recuperar la inversión en menos de 3 días. Asimismo, se anticipa un aumento del 100 % en la producción diaria, pasando de 80 kg a 160 kg, y una reducción del 52,5% en el tiempo que toma el conteo, disminuyendo de 120 a 57 minutos por cada lote de 20 kg.

Finalmente, todos los materiales que están en contacto con el producto, que incluyen PETG y acrílico o PMMA, cumplen con la norma RTE INEN 100 para el contacto ocasional con alimentos. Además, la estructura del casco demostró un factor de seguridad de al menos 19 en simulaciones de análisis de elementos finitos, lo que valida su resistencia ante la carga máxima de 5 kg.

En resumen, este prototipo indica que es posible desde el punto de vista técnico y económico desarrollar soluciones de automatización asequibles para pequeñas y medianas empresas en el sector alimentario. Esto se logra empleando tecnología de impresión 3D, sensores de proximidad y plataformas de hardware libre. El sistema no solo soluciona el problema del conteo manual, sino que también establece las bases para futuras integraciones con sistemas de supervisión remota, trazabilidad y control de calidad en tiempo real, cumpliendo con los principios de la Industria 4.0.

RECOMENDACIONES

Aseguramiento de componentes electrónicos locales: La disponibilidad de componentes electrónicos en el mercado local debe ser una prioridad, ya que esto ayuda a disminuir los plazos de espera y los gastos relacionados con la importación. Si es necesario traer algún componente específico de otro lugar, es mejor hacer una planificación previa que considere los tiempos de entrega, aranceles y posibles retrasos en la logística. Esto asegura que el desarrollo del prototipo no se vea obstaculizado por la falta de materiales clave.

Selección adecuada de materiales para impresión 3D: Al seleccionar el material para la impresión en 3D, es esencial equilibrar las exigencias técnicas del proyecto junto con los plazos de producción. Los materiales más avanzados como PETG o las resinas de ingeniería pueden proporcionar mejores características mecánicas y de salud, aunque su procesamiento podría tomar más tiempo y requerir ajustes en la impresora. Por lo tanto, es aconsejable crear un plan flexible que contemple estos tiempos adicionales, sobre todo al trabajar con geometrías complejas o tolerancias precisas.

Optimización del diseño para fabricación aditiva: Para reducir los tiempos de impresión y mejorar el funcionamiento de las piezas, se aconseja dividir el diseño del prototipo en módulos. Separar componentes grandes en partes más pequeñas hace más fácil su impresión dentro de las limitaciones de tamaño de la impresora y permite realizar modificaciones específicas sin afectar el rendimiento general del sistema.

Capacitación y especialización del personal: Como la implementación de tecnologías automatizadas necesita conocimientos en áreas como microcontroladores, sensores y sistemas IoT, se sugiere formar al personal interno en estas habilidades. Esto no solo disminuye la dependencia de proveedores externos, sino que también aumenta la capacidad del equipo para adaptarse y mantener el equipo en el futuro.

Validación continua de prototipos: Antes de avanzar hacia la producción final, es fundamental llevar a cabo pruebas repetitivas del prototipo en condiciones reales. Esto ayuda a detectar y solucionar posibles fallas o limitaciones, garantizando que el sistema cumpla con los requerimientos de precisión, seguridad y eficiencia.

Consideración de alternativas económicas: Para proyectos que tienen presupuestos restringidos, es recomendable explorar opciones económicas que maximicen los recursos disponibles. Por ejemplo, usar filamentos como PLA puede ser una opción viable para realizar

pruebas de concepto, siempre que no se vean comprometidas las propiedades funcionales del prototipo.

GLOSARIO DE TERMINOS

Cobots: Estos son robots colaborativos destinados para trabajar junto a personas en un espacio compartido.

Tolva gravitatoria modular: Se trata de un sistema pasivo que emplea la gravedad para mover caramelos hacia el área de conteo.

Sensor óptico TCRT5000: Este es un sensor infrarrojo que detecta objetos a través de la reflexión.

Microcontrolador ESP32: Plataforma de desarrollo que ofrece conectividad WiFi y se utiliza en sistemas integrados.

Impresión 3D (FDM/SLA/SLS): Se mencionan estas tecnologías específicas de fabricación aditiva en el documento.

PETG: Este material plástico se usa en impresión 3D y se destaca por sus buenas propiedades mecánicas.

GPIO: Son los pines de entrada/salidas generales en microcontroladores que permiten la conexión de sensores y actuadores.

LCD 16x2: Esta pantalla de cristal líquido se usa para mostrar información a los usuarios.

Motor NEMA 17 Pancake: Es un tipo de motor paso a paso empleado en el prototipo.

Visión artificial: Es un sistema tecnológico que permite a las máquinas “ver” y comprender imágenes.

Algoritmos de rebote: Son técnicas que ayudan a reducir las señales erráticas en sensores mecánicos.

Interfaz I2C: Este protocolo de comunicación en serie se utiliza para conectar dispositivos electrónicos.

Factor de seguridad: Este coeficiente se aplica en cálculos de ingeniería para tener en cuenta imperfecciones o un uso extenso.

Módulo A4988: Este controlador se utiliza para manejar motores paso a paso.

Torque: Se refiere al momento de fuerza rotacional, que es esencial en el diseño y la elección de motores.

REFERENCIAS

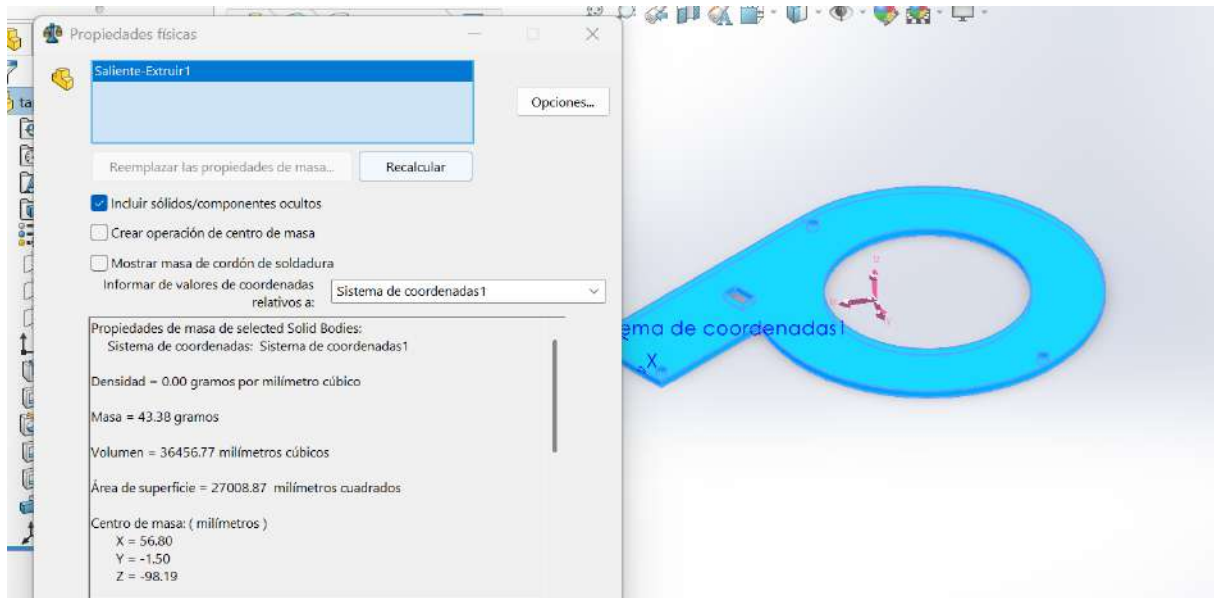
- [1] L. Cisneros Ortiz, «Entrevista personal a Lorena Cisneros Ortiz, hija de la fundadora y CEO de Confichristmas», 20 de marzo de 2025.
- [2] D. Cisneros Ortiz, «Entrevista personal a Daysi Cisneros Ortiz, Gerente de Ventas de Confichristmas: Proyectos y estrategias comerciales», Confichristmas, 20 de marzo de 2025.
- [3] «7 Tendencia en Automatización Industrial para 2025». Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://electromain.com/7-tendencias-automatizacion-industrial-2025/>
- [4] «5 Tendencias en la automatización industrial para este 2025». Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.oncontrol.es/5-tendencias-en-la-automatizacion-industrial-para-este-2025>
- [5] «Automatización de Procesos: Reducción de Costos Operativos y Optimización Empresarial», DRAFT Design Web © · Agencia de Diseño Web & Desarrollo de Software Empresarial. Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://draftdesignweb.com/2025/01/08/automatizacion-de-procesos-reduccion-de-costos-operativos-y-optimizacion-empresarial/>
- [6] M. D. writer contributing, «Cobots Take on Manufacturing Challenges», Automation World. Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.automationworld.com/factory/robotics/article/55130925/cobots-take-on-manufacturing-challenges>
- [7] R. F. Hurtado-Guevara, «Impacto de la Automatización Contable en la Eficiencia Operativa de las PYMEs», *Rev. Científica Zambos*, vol. 3, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2024, doi: 10.69484/rcz/v3/n1/10.
- [8] «RTE INEN 100_unificado.pdf», Google Docs. Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1eMRXF6OOy2GkSuCjjqC1g9_zVDZ9VtUP/view?usp=sharing&usp=embed_facebook
- [9] O. Colazo, M. Mansilla, B. Guerra, G. Dolan, y L. Fabbri, «Análisis del Estado de la Ciberseguridad del Internet Industrial de las Cosas (IIoT)», 2023, *Unpublished*. doi: 10.13140/RG.2.2.19435.92968.
- [10] P. Campbell, *Sensor Technology: A Systems Approach*. Cambridge, MA: Academic Press, 2017.
- [11] P. Silva João y Costa, Ana y Santos, «Evaluación de Sensores de Proximidad para Confiabilidad en Sistemas de Conteo de Productos Agrícolas», *Rev. Bras. Ing. Agríc. Ambient.*, vol. 24, n.º 4, pp. 300-306, 2020, doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n4p300-306.
- [12] «Modulo Sensor Infrarrojo de Obstáculos FC-51 – Novatronic». Accedido: 12 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://novatronic.com/index.php/product/modulo-sensor-infrarrojo-de-obstaculos-fc-51/>
- [13] R. E. Gonzalez Rafael C. y Woods, *Procesamiento Digital de Imágenes*, 4th ed. Hoboken, NJ: Pearson, 2018.
- [14] A. Redmon Joseph y Farhadi, «YOLO9000: Mejor, Más Rápido, Más Fuerte», en *Actas de la Conferencia IEEE sobre Visión por Computadora y Reconocimiento de Patrones (CVPR)*, 2017, pp. 6517-6525.
- [15] F. Mora Daniel y Rojas, Eduardo y Salazar, «Sistema de Conteo y Clasificación de Objetos Basado en Visión por Computadora para Aplicaciones Industriales», *Rev. Politécnica*, vol. 42, n.º 1, pp. 55-62, 2019.

- [16] A. Moya-Plaza Joel y Lajo-Moyano, Christian y Yáñez-Navas, «Conteo automático de truchas mediante visión artificial en sistemas de acuicultura», *Ingeniare Rev. Chil. Ing.*, vol. 29, n.º 2, pp. 312-324, 2021, doi: 10.4067/s0718-33052021000200312.
- [17] C. Contreras-Ortiz J. y Sefair, G. y Mejía-Arguello, H. y Valdés-Torres, «Sistema de Conteo de Personas Basado en Visión Computacional Usando un Dispositivo Edge para Análisis en Tiempo Real», *Ing. Electrónica Automática Comun.*, vol. 43, n.º 2, pp. 89-99, 2022.
- [18] Marketing, «Sistemas de Visión Artificial Industrial: 3 Tipos y Aplicaciones ✓ 【2022】», EDS Robotics. Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.edsrobotics.com/blog/sistemas-de-vision-artificial-tipos-aplicaciones/>
- [19] M. McRoberts, *Iniciación a Arduino*, 2nd ed. Berkeley, CA: Apress, 2013.
- [20] A. López, «Diseño e Implementación de un Sistema de Conteo de Personas Utilizando Sensores Ópticos y Microcontroladores», Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México, México, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2018s2/Octubre/000000305/000000305.pdf>
- [21] W. Horowitz Paul y Hill, *El Arte de la Electrónica*, 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
- [22] D. Gómez Carlos y Rivas, Laura y Torres, «Desarrollo de un Prototipo de Conteo de Piezas en Línea de Producción con Arduino y Sensores Infrarrojos», en *Memorias de la Conferencia Latinoamericana de Robótica y Automatización (CLARA)*, Colombia, 2021.
- [23] «Microcontroladores PIC y sus variedades», Microcontroladores. Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://microcontroladoresesv.wordpress.com/microcontroladores-pic-y-sus-variedades/>
- [24] R. A. Webb John W. y Reis, *Controladores Lógicos Programables: Principios y Aplicaciones*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2006.
- [25] R. M. P. Miller Brad y Salles, «Una Revisión de Protocolos y Estándares de IoT», *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 19, n.º 3, pp. 1978-2007, 2017, doi: 10.1109/COMST.2017.2690342.
- [26] R. Pérez, *Financial Engineering for Industrial Automation*. Quito, Ecuador: Editorial UCE, 2021.
- [27] 阿克伯特, «Todo lo que necesitas saber sobre los microcontroladores», ACEBOTT. Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://cebott.com/es/stem-blogs/how-microcontrollers-work-a-deep-dive/>
- [28] «¿Qué es un microcontrolador? | IBM». Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/microcontroller>
- [29] jameswilson, «Pinout, hoja de datos, características y aplicaciones del ESP32 - The Engineering Projects». Accedido: 20 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.theengineeringprojects.com/2020/12/esp32-pinout-datasheet-features-applications.html>
- [30] jecrespom, «Sensores y Actuadores», Aprendiendo Arduino. Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/18/sensores-y-actuadores/>
- [31] «Componentes electrónicos: Los más utilizados • Electronic Board». Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.electronicboard.es/componentes-electronicos-los-mas-utilizados/>, <https://www.electronicboard.es/componentes-electronicos-los-mas-utilizados/>
- [32] «Fuentes de alimentación DC, una o varias salidas distintos rangos», Isotest. Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://isotest.net/productos/fuentes-alimentacion-dc/>

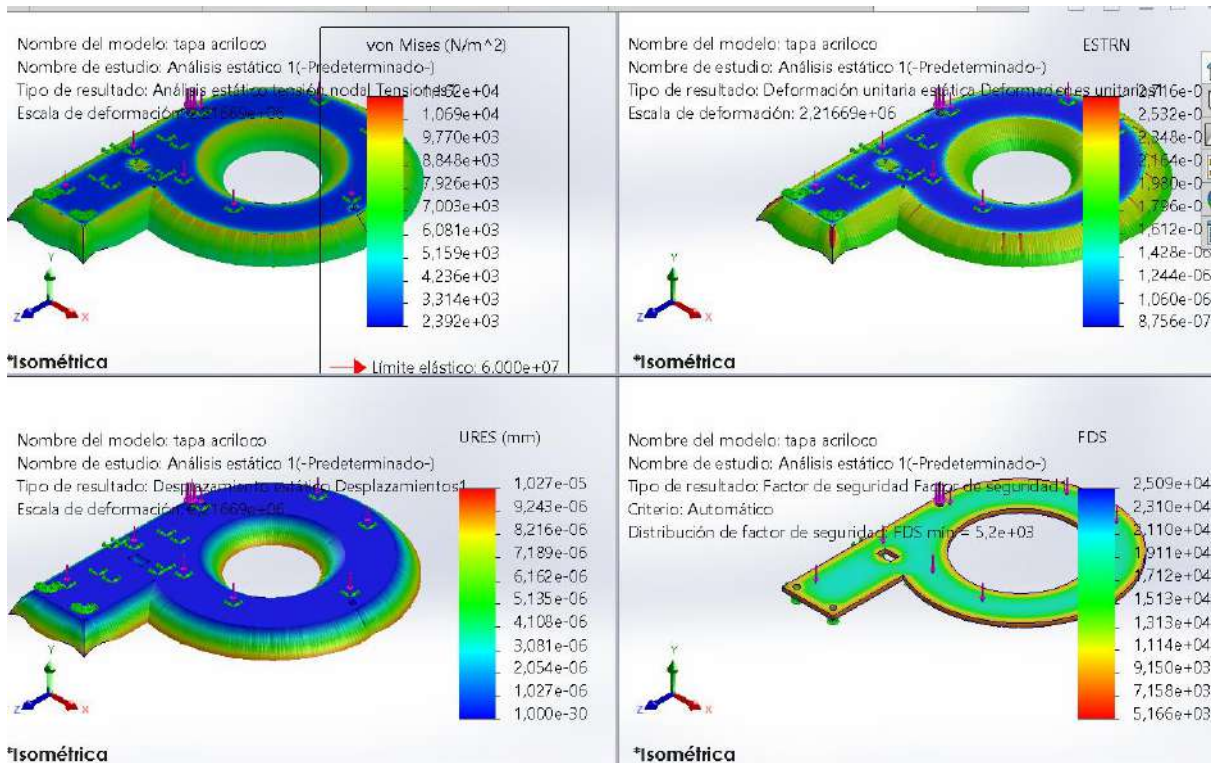
- [33] J. F. Reviriego, «Elementos de un sistema automatizado | Blog SEAS». Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/elementos-de-un-sistema-automatizado/>
- [34] Admin, «Arduino Uno en protoboard: Constrúyelo tu mismo», Geek Factory. Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tutoriales-arduino/arduino-uno-en-protoboard-construyelo-tu-mismo/>
- [35] «Impresión 3D», Dassault Systèmes. Accedido: 17 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>
- [36] ASTM International, «Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies», Standard F2792-12a, 2012.
- [37] W. E. Frazier, «Metal Additive Manufacturing: A Review», *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 23, pp. 1917-1928, 2014.
- [38] «Bobina filamento PETG 3D Basic - 1.75mm - 1kg». Accedido: 17 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.hta3d.com/es/bobina-filamento-petg-3d-basic-1.75mm-1kg>
- [39] S. C. Ligon y others, «Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing», *Chem. Rev.*, vol. 117, n.º 15, pp. 10212-10290, 2017.
- [40] T. D. Ngo y others, «Additive Manufacturing (3D Printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges», *Compos. Part B Eng.*, vol. 143, pp. 172-196, 2018.
- [41] E. Compte, «Impresión 3D para la fabricación de piezas y recambios», 12 Voltios.net | Portal de car audio, aftermarket y tecnología para el automóvil. Accedido: 17 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://12vpersonalcar.com/art/9145/impresion-3d-para-la-fabricacion-de-piezas-y-recambios>
- [42] «Prueba ASTM D1895», Industrial Physics. Accedido: 1 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://industrialphysics.com/es/estandares/astm-d1895-es/>
- [43] «PETG | Jamg He | Prodemaq | Filamentos | Impresión 3D», Prodemaq. Accedido: 27 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://prodemaq.com/product/petg-jamg-he/>
- [44] «Amazon.com: Rx-4 Máquina automática de conteo de píldoras - Contador farmacéutico de mesa digital compacto para farmacias, médicos y veterinarios. : Salud y Hogar». Accedido: 4 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com/Rx-4-Automatic-Pill-Counting-Machine/dp/B00EEKVSMG>
- [45] «Grilon rods», Nicieza & Taverna Hnos. Accedido: 23 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.nth.com.ar/en/semi-finished-line/94-grilon-rods.html>
- [46] «PA 6 - TECAMID 6 natural | Ensinger». Accedido: 23 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ensingerplastics.com/es-br/semielaborados/plastico/pa6-tecamid-6-natural>
- [47] «Deflexión de una placa circular bajo una carga uniformemente distribuida». Accedido: 1 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://autofem.com/examples/es/large_deflection_of_a_plate.html
- [48] «Tolerancias geométricas ISO generales según ISO 2768 | Tolerancias GD&T | Tolerancias ISO G&T». Accedido: 1 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.engineersedge.com/mechanical,045tolerances/general_iso_tolerance_.htm
- [49] «Norma ASME Y14.5 GD&T | Fundamentos de GD&T». Accedido: 1 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.gdandtbasics.com/asme-y14-5-gdt-standard/>
- [50] «¿Qué es la norma ISO 2768? Guía completa de tolerancias estándar», ALEKVS. Accedido: 1 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.alekvs.com/es_mx/what-is-iso-2768-complete-guide-to-standard-tolerances/

- [51] admin, «Guía sobre tolerancias de chapa metálica & ISO 2768 | GD-Prototipado», Prototipado GD. Accedido: 1 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.gd-prototyping.com/sheet-metal-tolerances-iso-2768/>
- [52] «Symmetrical Bending OF Circular Plates», en *Theory of plates and shells*, 2. ed., [Nachdr.], en McGraw-Hill classic textbook reissue. , New York: McGraw-Hill, 1996, pp. 51-78.
- [53] «[Hot Item] Sly-C Plus Agricultural High Accuracy Automatic Seed Counter», Made-in-China.com. Accedido: 5 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://westtune.en.made-in-china.com/product/dwIaoOVcKSkF/China-Sly-C-Plus-Agricultural-High-Accuracy-Automatic-Seed-Counter.html>
- [54] «Clariant Polyethylene Terephthalate Glycol Grey 3D Printer Filament». Accedido: 5 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=e13b58d31ef04feb8d57a218926a42ca>
- [55] «IMPRESORA 3D VOXELAB AQUILA 220X220X250 5269», DigitalServer. Accedido: 6 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://digitalserver.com.ec/producto/impresora-3d-voxelab-aquila-220x220x250-5269/>

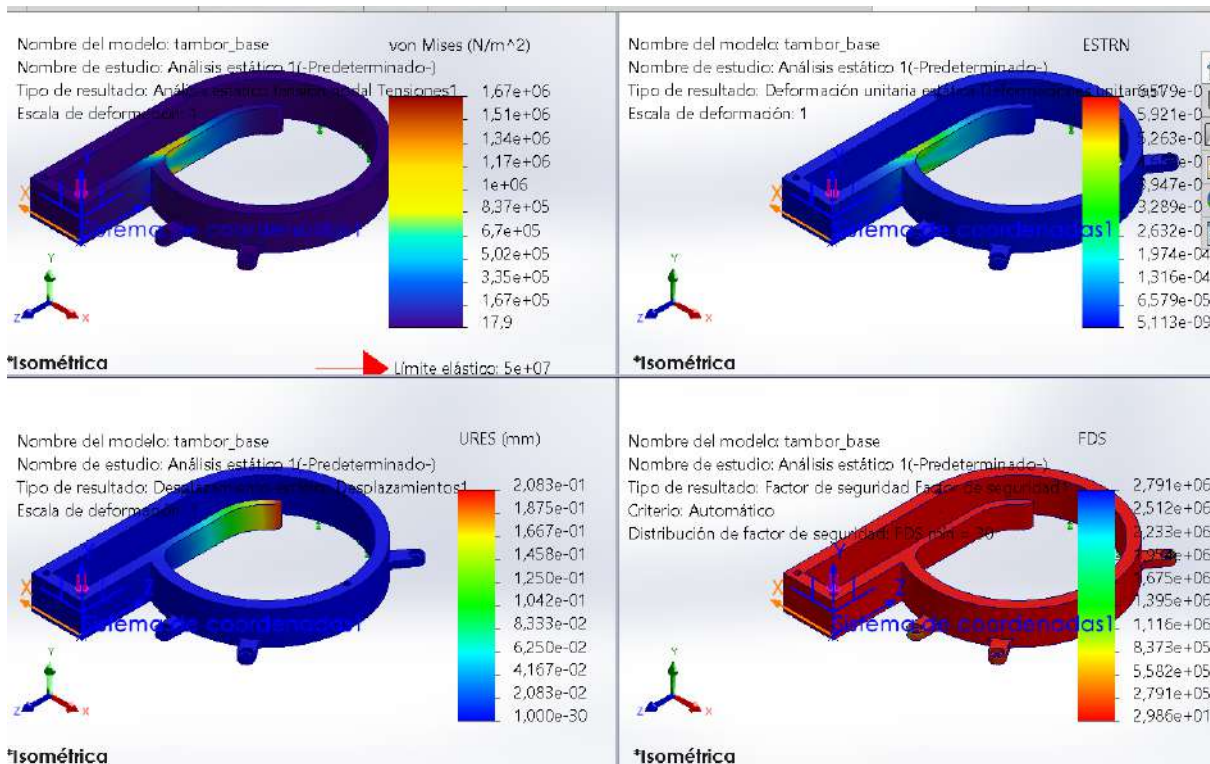
ANEXO A



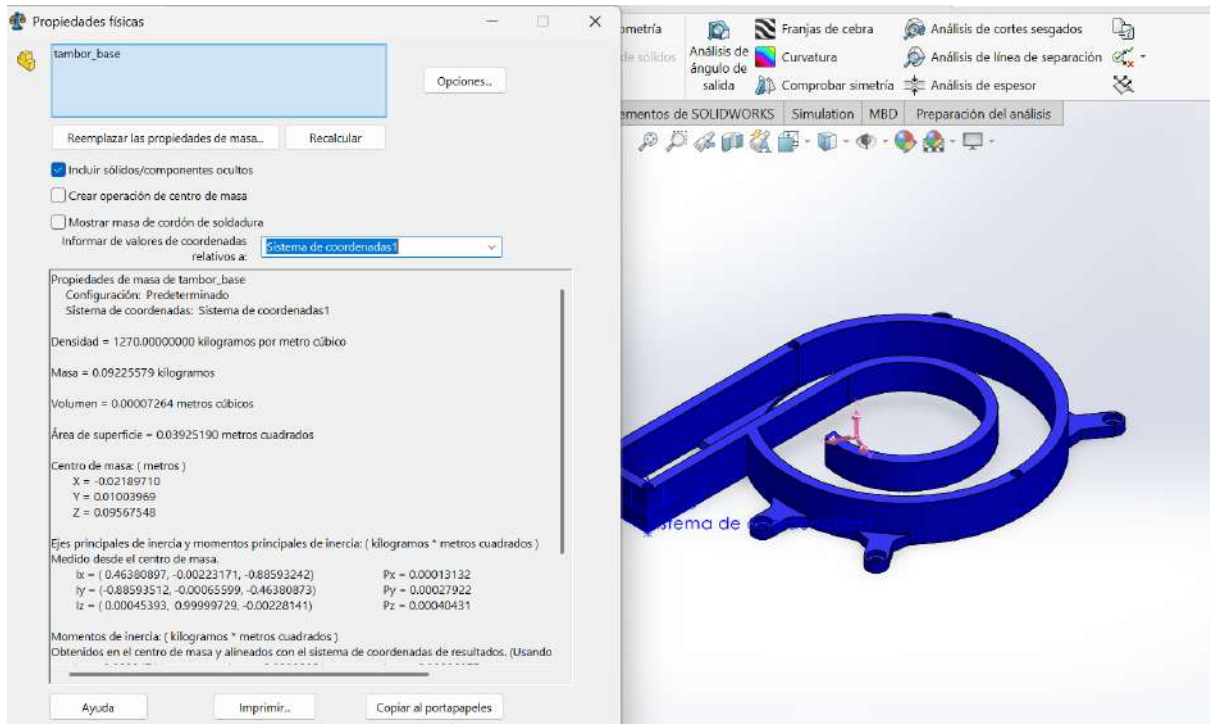
Propiedades físicas de la tapa hecha en acrílico SolidWorks



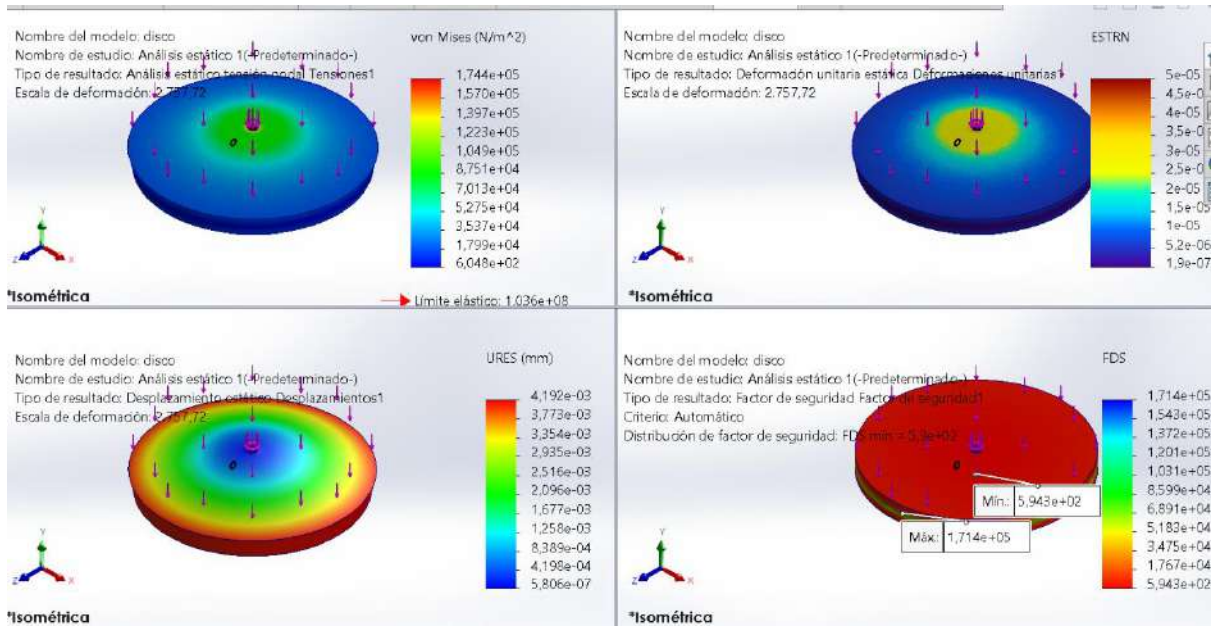
Análisis de tapa FEA realizada en SolidWorks



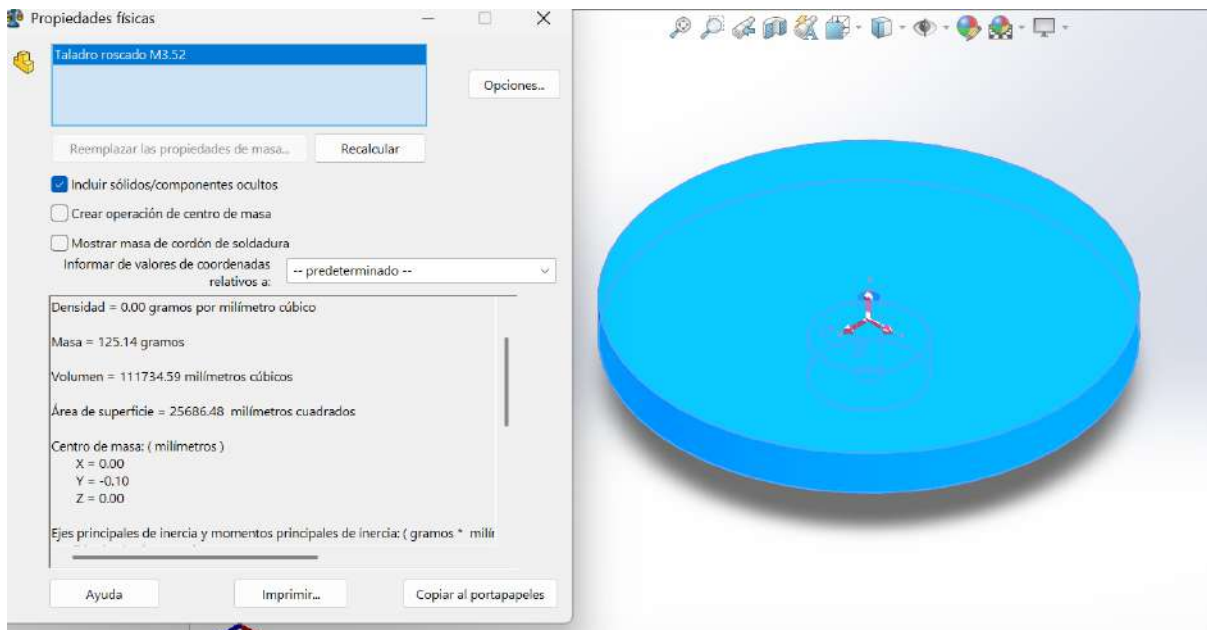
Análisis FEA del riel realizada en SolidWorks



Propiedades físicas del riel hecha en PETG SolidWorks



Análisis FEA del disco de Grilón realizada en SolidWorks



Propiedades físicas del disco hecha en Grilón SolidWorks

Propiedades físicas	Métrico	Inglés	Comentarios
Densidad	1,26 - 1,45 g/cc	0,0455 - 0,0524 lb/pulg ³	Valor medio: 1,35 g/cc Cantidad de grados: 9
Propiedades mecánicas	Métrico	Inglés	Comentarios
Dureza, Rockwell R	88,0 - 110	88,0 - 110	Valor medio: 99,0 Cantidad de calificaciones: 9
Resistencia a la tracción, máxima	42,0 - 46,9 MPa	6090 - 6800 psi	Valor medio: 43,6 MPa Cantidad de grados: 3
Resistencia a la tracción, límite elástico	39,3 - 40,7 MPa	5700 - 5900 psi	Valor medio: 40,2 MPa Cantidad de grados: 6
Resistencia a la fluencia por flexión	62,1 - 75,8 MPa	9000 - 11000 psi	Valor medio: 65,7 MPa Cantidad de grados: 9
Módulo de flexión	2,21 - 2,60 GPa	320 - 377 ksi	Valor promedio: 2,28 GPa Cantidad de calificaciones: 7
Impacto Izod, con muescas	1,60 - 8,01 J/cm	3,00 - 15,0 pies-lb/pulgada	Valor medio: 5,16 J/cm Cantidad de grados: 9
	0,500 - 0,500 J/cm a temperatura -29,0 - -29,0 °C	0,937 - 0,937 ft-lb/in a temperatura -20,2 - -20,2 °F	Valor medio: 0,500 J/cm Cantidad de grados: 1
Energía total de impacto instrumentada	25,8 - 48,8 J	19,0 - 36,0 pies-libra	Valor medio: 40,9 J Cantidad de calificaciones: 6
Propiedades térmicas	Métrico	Inglés	Comentarios
CTE, lineal	75,6 - 101 µm/m-°C	42,0 - 56,0 µpulg./pulg.-°F	Valor medio: 88,6 µm/m-°C Cantidad de grados: 6
Temperatura de deflexión a 1,8 MPa (264 psi)	65,6 - 82,0 °C	150 - 180 °F	Valor medio: 73,2 °C Cantidad de grados: 9
Inflamabilidad, UL94	V-0	V-0	Cantidad de calificaciones: 6

Propiedades del PMMA basado en la página matweb

Propiedades físicas	Métrico	Inglés	Comentarios
Densidad	1,286 g/cc	0,04648 lb/pulgada ³	ISO 1183
Flujo de fusión	35 g/10 min (@Carga 5,00 kg, Temperatura 250 °C)	35 g/10 min a carga de 11,0 lb, temperatura de 500 °F	ISO 1133
Propiedades mecánicas	Métrico	Inglés	Comentarios
Resistencia a la tracción en la rotura	50,0 MPa	7250 psi	Moldeado por inyección, 50 mm/min, ISO 527
Resistencia a la tracción, límite elástico	50,0 MPa	7250 psi	Moldeado por inyección, 50 mm/min, ISO 527
Alargamiento de rotura	49 %	49 %	Moldeado por inyección, 50 mm/min, ISO 527
Módulo de flexión	2,11 GPa	306 ksi	Moldeado por inyección, ISO 178
Izod impact, con muesca (ISO)	5,00 kJ/m ²	2,38 pies-lb/pulgada ²	Moldeado por inyección, ISO 180
Propiedades térmicas	Métrico	Inglés	Comentarios
Temperatura de deflexión a 0,46 MPa (66 psi)	72,0 °C	162 °F	
Temperatura de deflexión a 1,8 MPa (264 psi)	65,0 °C	149 °F	Moldeado por inyección, ISO 75
Temperatura de transición vítrea, T _g	83,0 °C	181 °F	DSC, ISO 11357
Propiedades ópticas	Métrico	Inglés	Comentarios
Transmisión, visible	90 %	90 %	Transparente pero el fabricante no cuantifica
Propiedades de procesamiento	Métrico	Inglés	Comentarios
Temperatura de procesamiento	250 - 260 °C	482 - 500 °F	Temperatura de impresión
Contenido de humedad	0,020 %	0,020 %	después del secado a 120 °C durante 2 horas, ISO 15512
Propiedades descriptivas	Adherencia a la cama una fina capa de pegamento PVP sobre el vidrio o utilizando láminas adhesivas disponibles comercialmente		
Temperatura de la cámara	Lo ideal es calentarlo a 70-75 °C (si es posible, utilice una cámara cerrada).		
Configuración del ventilador:	medio a alto		
Velocidad de impresión	20-50 mm/s		

Propiedades del PETG basado en la página matweb

TECAMID 6 natural - División de semielaborados

Designación química

PA 6 (Poliamida 6)

Color

marfil opaco

Densidad

1.14 g/cm³

Características principales

- Alta tenacidad
- resistente a varios aceites y grasas
- aislante eléctrico
- buenas propiedades al desgaste
- buena adhesividad y soldabilidad
- alta resistencia mecánica
- buena mecanizabilidad

Sectores estratégicos

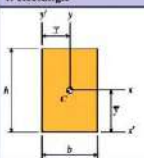
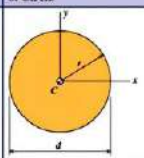
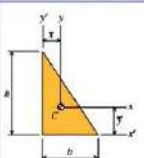
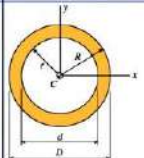
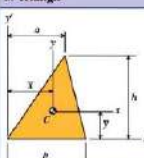
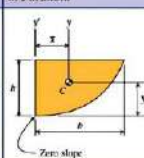
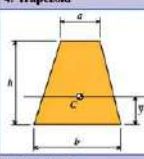
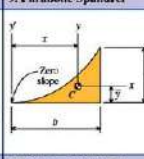
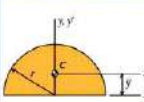
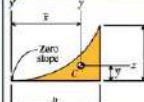
- ingeniería mecánica
- tecnología aeronáutica y aeroespacial
- electrónica
- Industria de la Alimentación
- automoción

Propiedades mecánicas	parámetro	valor	unidad	norma	comentario
Resistencia a tracción	5mm/min	70	MPa	ASTM D 638	
Módulo de elasticidad (ensayo a tracción)	5mm/min	2800	MPa	ASTM D 638	1)
Elongación a rotura	5mm/min	40	%	ASTM D 638	
Resistencia a flexión	5mm/min	39	MPa	ASTM D 790	
Módulo de elasticidad (ensayo a flexión)	5mm/min	3800	MPa	ASTM D 790	
Resistencia a compresión	1,3mm/min	81	MPa	ASTM D 695	2)
Módulo de compresión	1,3mm/min	2300	MPa	ASTM D 695	
Resistencia al impacto (Charpy)	max. 7,5J	n.b.	kJ/m ²	DIN EN ISO 179-1eU	3)
Resistencia al impacto entallado (Charpy)	2,9m/s	9,45	kJ/m ²	DIN EN ISO 179-1eA	4)
Dureza por indentación de bola		155	MPa	ISO 2039-1	5)
Dureza Shore	Shore D	72		ASTM D 2240	
Propiedades térmicas	parámetro	valor	unidad	norma	comentario
Temperatura de transición vítrea		53	°C	DIN 53765	1)
Temperatura de fusión		221	°C	DIN 53765	
Temperatura de servicio	short term	160	°C	-	1)
Temperatura de servicio	servicio continuo	100	°C	-	
Expansión térmica (CLTE)	23-60°C, long.	9,7	10 ⁻⁵ K ⁻¹	DIN EN ISO 11359-1,2	
Expansión térmica (CLTE)	23-100°C, long.	10,8	10 ⁻⁵ K ⁻¹	DIN EN ISO 11359-1,2	
Calor específico		1,6	J/(g*K)	ISO 22007-4:2008	
Conductividad térmica		0,37	W/(K*m)	ISO 22007-4:2008	
Propiedades eléctricas	parámetro	valor	unidad	norma	comentario
Resistencia superficial específica		4,26x10 ¹⁴		ASTM D 257	1)
Resistencia volumétrica específica		7,20x10 ¹⁵		ASTM D 257	
Rigidez dieléctrica	23°C, 50% r.h.	31	kV/mm	ISO 60243-1	1)
Resistencia al tracking (CTI)	Electrodo de platino, 23°C, 12% h.r.	600	V	DIN EN 60112	
Otras propiedades	parámetro	valor	unidad	norma	comentario
Absorción de agua	24h / 96h (23°C)	1 / 2,02	%	ASTM D 570	1)
Resistencia al agua caliente		(+)		-	2)
Resistencia a la intemperie		-		-	3)
Resistencia a la llama (UL94)	corresponde a	HB		DIN IEC 60695-11-10;	4)

Propiedades del Grilón basado en la página Ensinger plastics.

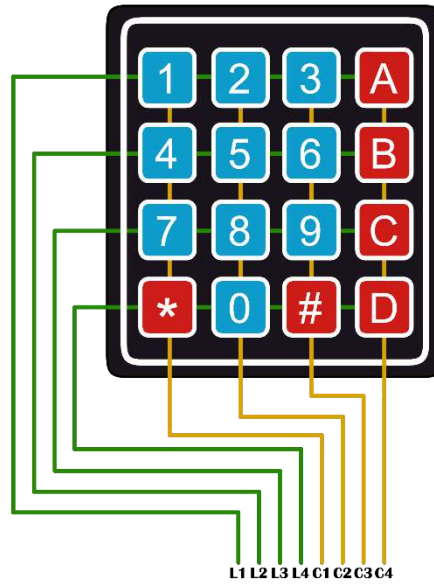
CENTROID AND MOMENTS OF INERTIA OF PLANE AREAS

Table A.1 Properties of Plane Figures

<p>1. Rectangle</p>  $A = bh$ $\bar{y} = \frac{h}{2} \quad I_{x\bar{}} = \frac{bh^3}{12}$ $\bar{x} = \frac{b}{2} \quad I_{y\bar{}} = \frac{hb^3}{12}$ $I_{x'} = \frac{bh^3}{3} \quad I_{y'} = \frac{hb^3}{3}$	<p>6. Circle</p>  $A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$ $I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi d^4}{64}$
<p>2. Right Triangle</p>  $A = \frac{bh}{2}$ $\bar{y} = \frac{h}{3} \quad I_{x\bar{}} = \frac{bh^3}{36}$ $\bar{x} = \frac{b}{3} \quad I_{y\bar{}} = \frac{hb^3}{36}$ $I_{x'} = \frac{bh^3}{12} \quad I_{y'} = \frac{hb^3}{12}$	<p>7. Hollow Circle</p>  $A = \pi(R^2 - r^2) = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ $I_x = I_y = \frac{\pi}{4}(R^4 - r^4) = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$
<p>3. Triangle</p>  $A = \frac{bh}{2}$ $\bar{y} = \frac{h}{3} \quad I_{x\bar{}} = \frac{bh^3}{36}$ $\bar{x} = \frac{(a+b)}{3} \quad I_{y\bar{}} = \frac{bh}{36}(a^2 - ab + b^2)$ $I_{x'} = \frac{bh^3}{12}$	<p>8. Parabola</p>  $y' = \frac{h}{b^2}x^2$ $A = \frac{2bh}{3} \quad \bar{x} = \frac{3b}{8} \quad \bar{y} = \frac{3h}{5}$ <p>Zero slope</p>
<p>4. Trapezoid</p>  $A = \frac{(a+b)h}{2}$ $\bar{y} = \frac{1}{3} \left(\frac{2a+b}{a+b} \right) h$ $I_{x\bar{}} = \frac{h^3}{36(a+b)}(a^2 + 4ab + b^2)$	<p>9. Parabolic Spandrel</p>  $y' = \frac{h}{b^2}x^2$ $A = \frac{bh}{3} \quad \bar{x} = \frac{3b}{4} \quad \bar{y} = \frac{3h}{10}$ <p>Zero slope</p>
<p>5. Semicircle</p>  $A = \frac{\pi r^2}{2}$ $\bar{y} = \frac{4r}{3\pi} \quad I_{y\bar{}} = \left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right) r^4$ $I_{x'} = I_{y'} = \frac{\pi r^4}{8}$	<p>10. General Spandrel</p>  $y' = \frac{h}{b^n}x^n$ $A = \frac{bh}{a+1}$ $\bar{x} = \frac{a+1}{a+2}b \quad \bar{y} = \frac{a+1}{4n+2}h$ <p>Zero slope</p>

Centroide y momentos de inercia

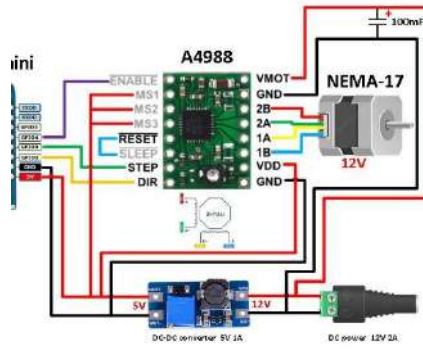
ANEXO B



Datasheell teclado 4x4 de membrana

HYBRID STEPPING MOTOR 17HS0401-18B				REV	A
General specification		Electrical specification		Wiring diagram	
Step angle	1.8° ± 5%	Rated voltage	2.64V		
Number of phase	2	Rated current	0.8A		
Insulation resistance	10MΩmin. (500V DC)	Resistance per phase	3.3Ω ± 10%		
Insulation class	Class B	Inductance per phase	5mH ± 20%		
Motor inertia	15g·cm²	Holding torque	120mN·m		
Mass	8.2kg	Detent torque	5mN·m		

Datashell NEMA17



Datashell A4988

PINOUT Módulo Seguidor de Línea Sensor TCRT5000

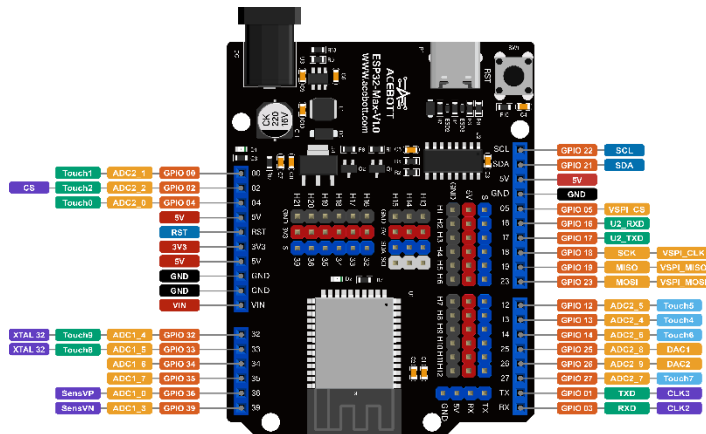


Funcionamiento

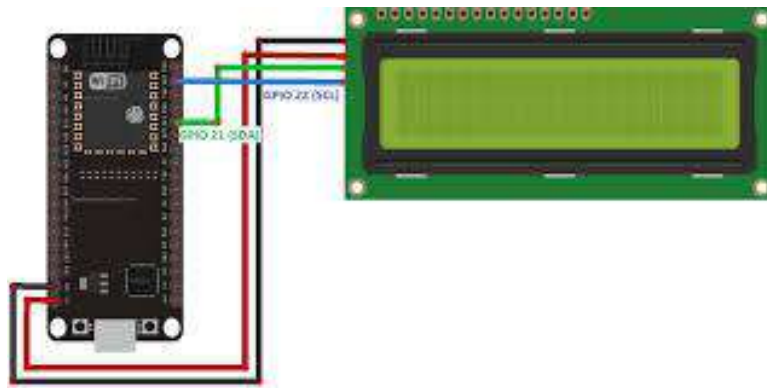
Si está llegando la luz al fotoreceptor se iluminará el Led, enviando una señal LOW.

Si no está llegando no se iluminará el Led y enviará una señal HIGH.

Datasheet TCRT5000



Datashett ESP 32 QA009 ACEBOOT



Datashett LCD 16X2 I2C