



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“DISEÑO DE PROTOTIPO DE ENSAYO PARA LA
CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE BOTELLONES PLÁSTICOS EN LA
UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES UPSE”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR ES:

PAULINA NICOLE RODRIGUEZ ROSALES

STEVEN ADOLFO TIGRERO SUÁREZ

TUTOR:

ING. EDISON NOE BUENAÑO BUENAÑO, MGTR.

La Libertad, Ecuador

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAL

TEMA:

**“DISEÑO DE PROTOTIPO DE ENSAYO PARA LA
CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE BOTELLONES PLÁSTICOS EN
LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES UPSE”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

PAULINA NICOLE RODRIGUEZ ROSALES

STEVEN ADOLFO TIGRERO SUÁREZ

TUTOR:

ING. EDISON NOE BUENAÑO BUENAÑO, MGTR.

LA LIBERTAD – ECUADOR

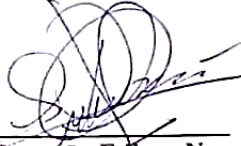
2025

UPSE

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Rodríguez Rosales Paulina Nicole** y **Tigrero Suárez Steven Adolfo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

TUTOR



f. _____

Ing. Buenaño Buenaño Edison Noe, Mgtr.

DIRECTOR DE LA CARRERA



f. _____

Ing. Balón Ramos Isabel del Rocio, MSc

La Libertad, 8 de diciembre del 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “**DISEÑO DE PROTOTIPO DE ENSAYO PARA LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE BOTELLONES PLÁSTICOS EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES UPSE**”, elaborado por la Srta. **RODRÍGUEZ ROSALES PAULINA NICOLE** y el Sr. **TIGRERO SUÁREZ STEVEN ADOLFO**, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

f. 

Ing. Buenano Buenano Edison Noe, Mgtr.

La Libertad, 8 de diciembre del 2025

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Rodríguez Rosales Paulina Nicole** y **Tigrero Suárez Steven Adolfo**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación “**Diseño de prototipo de ensayo para la caracterización mecánica de botellones plásticos en la Unidad de Prácticas Industriales UPSE**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi/nuestra total autoría.

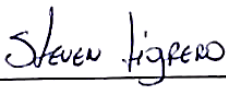
En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, 8 de diciembre del 2025

LA AUTORA

f. 
Rodríguez Rosales Paulina Nicole

EL AUTOR

f. 
Tigrero Suárez Steven Adolfo

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Rodríguez Rosales Paulina Nicole** y **Tigrero Suárez Steven Adolfo**

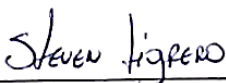
Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, **Diseño de prototipo de ensayo para la caracterización mecánica de botellones plásticos en la Unidad de Prácticas Industriales UPSE**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, 8 de diciembre del 2025

LA AUTORA

f. 
Rodríguez Rosales Paulina Nicole

EL AUTOR

f. 
Tigrero Suárez Steven Adolfo

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “DISEÑO DE PROTOTIPO DE ENSAYO PARA LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE BOTELLONES PLÁSTICOS EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES UPSE” elaborado por la Srta. **RODRÍGUEZ ROSALES PAULINA NICOLE** y el Sr. **TIGRERO SUÁREZ STEVEN ADOLFO**, egresados de la carrera de Ingeniería de Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 3% de la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,



FIRMA DEL TUTOR

f. 
Ing. Buenano Buenano Edison Noe, Mgtr.

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

VALIDACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

CERTIFICO

Que, he realizado la revisión y corrección del Trabajo de Integración Curricular para la obtención del título de Ingeniero Industrial, con el tema: **“DISEÑO DE PROTOTIPO DE ENSAYO PARA LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE BOTELLONES PLÁSTICOS EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES UPSE”**. Ha sido desarrollado por los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Industrial: **PAULINA NICOLE RODRÍGUEZ ROSALES** y **STEVEN ADOLFO TIGRERO SUÁREZ** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Que, el trabajo presenta un dominio formal del lenguaje, con expresión clara, coherencia discursiva y solidez interpretativa. Asimismo, garantizando su adecuación a los estándares académicos y formales requeridos.

Por lo expuesto, se expide el presente certificado para que los interesados lo utilicen ante las instancias que correspondan.

Atentamente,



Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.
Magister en Educación Básica
Correo: misabelp1017@gmail.com
C.C: 0605353143
Celular: 0969917044

AGRADECIMIENTOS

Agradezco que cada paso fue posible por la bendición Dios quien me brinda salud y cuida siempre de mí y de mi familia, también por darme la sabiduría y fortaleza para cumplir con cada uno de mis objetivos.

A mis padres y hermanos, por ser mi inspiración de seguir adelante y por estar presentes en los momentos más importantes. A mi enamorado, quien estuvo conmigo desde el inicio de esta etapa de formación académica universitaria, brindándome ese apoyo incondicional y motivación para superar esos momentos difíciles juntos.

A mis amigos y compañeros, quienes mutuamente nos brindamos amistad y apoyo en esos días difíciles y también de felicidad.

A nuestro tutor Ing. Edison Buenaño, por orientarnos, guiarnos y confiar en nosotros durante este proceso de trabajo de integración curricular de la mano con la Ing. Isabel Balón que con paciencia y experiencia fomentaba en nosotros la confianza para fortalecer la seguridad en las exposiciones.

Paulina Nicole Rodríguez Rosales

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por brindarme salud y vida para seguir cumpliendo cada uno de los objetivos y poder vivir este momento. A mis padres por cada consejo brindado, por todo el apoyo que me ofrecieron en todo el camino de formación como Ingeniero Industrial y su sacrificio que hicieron para que esto sea posible.

A mis hermanos por tu apoyo incondicional y consejos, a mis compañeros que desde el primer semestre tuve su apoyo incondicional que motivaban al grupo para que ninguno abandonara la carrera o se diera por vencido y a cada uno de ellos que contribuyeron con sus explicaciones, y esas tardes de estudio, a mi enamorada que me explicaba con paciencia todo lo que no podía entender, por no dejarme solo en este camino y apoyarnos mutuamente.

A nuestro tutor que sin su apoyo y conocimientos y sobre todo la paciencia que nos tenía pudimos lograr este objetivo y a cada uno de los ingenieros que con sus enseñanzas en este largo camino nos motivaban, gracias a todos los que contribuyeron con su granito de arena para que esto sea posible.

Steven Tigrero Suarez

DEDICATORIA

Este proyecto le dedico a mis padres, porque son mis pilares fundamentales en la vida y en esta etapa de mi carrera tan importante.

A mi papá Jimmy Rodríguez, por su apoyo constante, por brindarme siempre de su tiempo y conocimiento para lograr esta meta.

A mi mamá Mónica Rosales, por su amor incondicional, paciencia y por recordarme que todo esfuerzo vale la pena.

A mi compañero de trabajo y enamorado Steven Tigrero, por su esfuerzo, ánimos y compromiso durante toda nuestra formación académica juntos, también por esas alegrías que hicieron de este logro aún más especial.

A mis hermanos, por acompañarme y motivarme a seguir adelante durante toda esta etapa.

Culmino esta etapa con orgullo que no solo es mío, sino también de todos ustedes por la confianza y porque gran parte de ella la construimos todos juntos.

Finalmente, a mis grandes guardianes de cuatro patas, porque sin sus travesuras, compañías y amor puro, este camino habría sido más difícil, ya que ellos son esos motorcitos que alimentan mi corazón de pura alegría y ternura, este trabajo también va con unas cuantas huellitas de amor.

Paulina Nicole Rodríguez Rosales

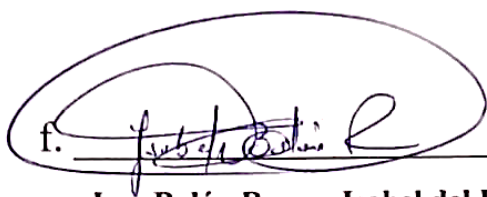
DEDICATORIA

Incondicionalmente a mis padres, por todo el sacrificio que hicieron para que todo esto sea posible por cada consejo, todos los ánimos que me daban y no me dejaron solo en este camino, a mis compañeros, amigos, a mis primos, hermanos por todo el apoyo y motivación que me brindaban en el día a día.

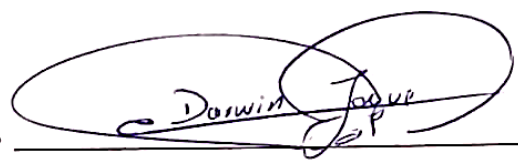
A mi enamorada que estuvo ahí desde el principio, apoyándome, dándome consejos por superar cada obstáculo y seguir luchando por mis sueños y poder crecer juntos y aprender de muchas situaciones a lo largo de este camino, a su papá que hizo que todo esto sea posible por ayudarnos en cada proyecto que teníamos. Gracias a todos que brindaron su apoyo incondicional y dedico este logro a cada uno de ellos que no me dejaron solo.

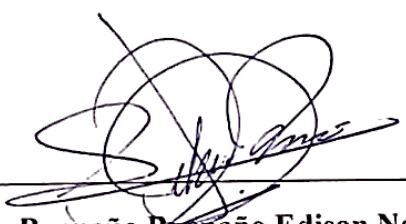
Steven Tigrero Suarez

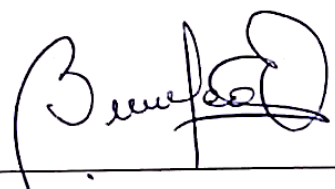
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Balón Ramos Isabel del Rocío, MSc

DIRECTOR DE CARRERA

f. 
Ing. Jaque Puca Darwin Gustavo, Mgtr
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Buenaño Buenaño Edison Noe, Mgtr
DOCENTE TUTOR

f. 
Ing. Bermeo García Marco Vinicio, Mgtr
DOCENTE GUIA DE LA UIC

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	4
MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes de la investigación	4
1.2. Revisión literaria	5
1.3. Estado conceptual.....	7
1.4. Descripción del sistema productivo actual.....	12
CAPÍTULO II	14
DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	14
2.1. Enfoque de investigación	14
2.2. Tipo de investigación	14
2.3. Diseño de investigación	14
2.4. Procedimiento metodológico.....	14
2.5. Población y muestra	15
2.5.1. Población.....	15
2.5.2. Muestra.....	16
2.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos.....	17
2.6.1. Métodos de recolección de los datos.....	17
2.6.2. Técnicas de recolección de los datos.....	18
2.6.3. Procedimiento de validación de la encuesta.....	18
2.6.4. Operacionalización de las variables	19

2.6.5.	Confiabilidad y validez del instrumento por método de Delphi	19
2.6.6.	Fiabilidad alfa de Cronbach	22
2.7.	Diagnóstico de la situación problemática.....	22
CAPÍTULO III		25
PROPUESTA.....		25
3.1.	Alternativas de soluciones.....	25
3.2.	Implementación de la propuesta.....	25
3.2.1.	Fase 0: Requerimiento del prototipo	25
3.2.2.	Fase 1: Diseño de la estructura.....	27
3.2.2.1.	Boceto final del prototipo de ensayo.....	27
3.2.2.2.	Plano estructural en AutoCAD.....	27
3.2.2.3.	Diseño de prototipo en SolidWorks	28
3.2.2.4.	Análisis de estructuras en SolidWorks.....	33
3.2.2.5.	Selección de materiales	34
3.2.3.	Fase 2: Construcción del prototipo.....	35
3.2.4.	Fase 3: Circuito de lectura.....	40
3.2.5.	Fase 4: Pruebas de funcionamiento.....	41
3.3.	Justificación económica	54
3.4.	Marco de discusión.....	56
3.5.	Justificación ambiental.....	58
3.6.	Justificación social	58
3.7.	Análisis comparativo.....	58
3.8.	Plan de mantenimiento	59
3.9.	Formato de seguimiento de ensayo	60
CONCLUSIONES		62
RECOMENDACIONES		63
REFERENCIAS		64
ANEXOS		68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre normativas de ensayos.	13
Tabla 2. Población objeto de estudio.....	16
Tabla 3. Muestra representativa.	16
Tabla 4. Datos requeridos para muestra.	17
Tabla 5. Datos de expertos.	20
Tabla 6. Ronda de preguntas.	20
Tabla 7. Requerimiento del prototipo.....	26
Tabla 8. Ensamble de prototipo.....	30
Tabla 9. Propiedades de material.	31
Tabla 10. Fuerzas de reacción.	32
Tabla 11. Fuerzas de cuerpo libre.....	32
Tabla 12. Análisis de tipos de ensayos de la estructura.	33
Tabla 13. Lista de materiales.....	34
Tabla 14. Procedimiento de ensamble del prototipo de ensayo.	37
Tabla 15. Armado de panel de control.	40
Tabla 16. Especificaciones del PET y PP.....	41
Tabla 17. Propiedades físicas polipropileno (PP).	42
Tabla 18. Etapas del funcionamiento del prototipo de ensayo.	44
Tabla 19. Altura promedio de ensayo.	47
Tabla 20. Resultado de los tratamientos.....	48
Tabla 21. Cálculo ANOVA de los tratamientos.....	50
Tabla 22. Muestra de subconjunto homogéneos	51
Tabla 23. Presupuesto del estudio.	54
Tabla 24. Resultados financieros.....	56
Tabla 25. Análisis comparativo de ensayos a materiales PP y PET.....	59
Tabla 26. Plan de mantenimiento de prototipo de ensayos.	60

ÍNDICE DE FIGURAS


Figura 1. Pasos de análisis bibliométrico.....	5
Figura 2. Diagrama de bloque de artículos.	6
Figura 3. Protocolo de investigación.....	7
Figura 4. Guía de diseño de investigación.	14
Figura 5. Procedimiento metodológico.	15
Figura 6. Plan de análisis.	18
Figura 7. Pasos de método de Delphi.....	19
Figura 8. Grado de satisfacción de encuesta.	22
Figura 9. Causa del problema.....	23
Figura 10. Causa raíz del problema.....	24
Figura 11. Boceto de prototipo en 3D.....	27
Figura 12. Diseño de estructura de prototipo.	28
Figura 13. Diseño tridimensional del prototipo.	29
Figura 14. Calidad de malla.	32
Figura 15. Diagrama de operaciones del proceso.	36
Figura 16. Proceso de fabricación del prototipo de ensayo.....	37
Figura 17. Circuito de control del prototipo.....	39
Figura 18. Elaboración de circuito de lectura.	41
Figura 19. Propiedades físicas politereftalato de etileno (PET).....	43
Figura 20. Cursograma sinóptico del proceso.....	45
Figura 21. Cursograma analítico del proceso de funcionamiento del prototipo.	46
Figura 22. Codificación y calibración del prototipo de ensayo en Arduino.	52
Figura 23. Resultado de impacto.....	53
Figura 24. Rendimiento de ensayos a material PET y PP.....	53


ÍNDICE DE ANEXOS


Anexo 1. Criterios de inclusión y exclusión de la información.	68
Anexo 2. Revistas más relevantes.	68
Anexo 3. Relación entre países.	69
Anexo 4. Red de coocurrencia de palabras.	70
Anexo 5. Matriz de resultados de artículos analizados.	70
Anexo 6. Metodologías empleadas.	73
Anexo 7. Operacionalización de variables.	74
Anexo 8. Validación por expertos.	76
Anexo 9. Resultado de fiabilidad.	79
Anexo 10. Resultado de la encuesta.	79
Anexo 11. Análisis de la encuesta.	80
Anexo 12. Ficha técnica del prototipo.	82
Anexo 13. Ficha técnica del electroimán.	82
Anexo 14. Ficha técnica de celda de carga.	82
Anexo 15. Resultado de análisis ANOVA.	83
Anexo 16. Formulario de seguimiento de ensayo.	1

LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS

ET: estudio de tiempos.

Operación: 

Almacenamiento: 

Inspección: 

DOP: diagrama de operaciones de procesos.

CAP: cursograma analítico del proceso.

DAP: diagrama analítico del proceso.

VF: velocidad final.

CC: celda de carga.

HX711: módulo amplificador.

“DISEÑO DE PROTOTIPO DE ENSAYO PARA LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE BOTELLONES PLÁSTICOS EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES UPSE”

Autores: Rodríguez Rosales Paulina Nicole

Tigero Suárez Steven Adolfo

Tutor: Ing. Buenaño Edison Noe, Mgtr

RESUMEN

Este estudio de investigación se centró en el desarrollo de un prototipo de ensayo de caída libre en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Industrial de la UPSE, con el objetivo de analizar la resistencia mecánica de los botellones plásticos. A través de un análisis bibliométrico que permitió estructurar el protocolo de investigación de forma estructurada con base en la revisión de la literatura existente. Utilizando la herramienta Ishikawa de 6M, se identificó por medio del primer Ishikawa se priorizaron los problemas adyacentes, posteriormente se procedió a desarrollar el segundo Ishikawa que demuestra la causa raíz del problema y se diseñaron soluciones específicas para eliminarlas. La implementación de la construcción del prototipo de ensayo, combinada con el análisis ANOVA que permitió validar el funcionamiento del mismo, donde se realizaron dos pruebas funcionales. Los resultados obtenidos durante el impacto de 0.6 hasta 1.80 metros de altura muestran diferentes lecturas, una de ellas es de 0.115 Kg, una fuerza de 1.130 N y por último la lectura del sensor fue de 965594 kgf.

Palabras claves: análisis ANOVA, prototipo, norma ASTM D2463, ISO 17025, Ishikawa.

“DESIGN OF A TEST PROTOTYPE FOR THE MECHANICAL CHARACTERIZATION OF PLASTIC BOTTLES IN THE UPSE INDUSTRIAL PRACTICES UNIT”

Authors: Rodríguez Rosales Paulina Nicole

Tigero Suárez Steven Adolfo

Tutor: Ing. Buenaño Edison Noe, Mgtr

ABSTRACT

This research study focused on the development of a free-fall test prototype in the industrial engineering laboratory at UPSE, with the objective of analyzing the mechanical resistance of plastic bottles. A bibliometric analysis allowed for the structuring of the research protocol based on a review of existing literature. Using the 6M Ishikawa diagram, the first Ishikawa diagram prioritized adjacent problems. Subsequently, the second Ishikawa diagram was developed to demonstrate the root cause of the problem, and specific solutions were designed to eliminate it. The implementation of the test prototype, combined with a time study that validated its operation, involved two functional tests. The results obtained during the impact test from 0.60 to 1.80 meters high show different readings, one of them is 0.115 kg, a force of 1.130 N, and a final sensor reading of 965594.

Keywords: ANOVA analysis, prototype, ASTM D2463, ISO 17025, Ishikawa.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de prototipos a nivel global para medir la resistencia mecánica de los materiales PET por medio de ensayos no solo ofrece una adecuada evaluación del comportamiento y durabilidad de los plásticos basado en diversas especificaciones sometidas a tensión generando estrés, dado que alega la percepción de valiosa de la información de los parámetros físicos, químicos y biológicos del diseño, contribuyendo a una mejor gestión de los recursos sostenibles de estos envases (Fernandes et al., 2022). Por esta razón, las organizaciones, laboratorios entre otros fabricantes de estos materiales a base de polímeros radican en la innovación de sus terminologías, permitiendo reducir las fallas mecánicas, optimizar la calidad del producto que tienden a ser devueltos cerca del 8% debido a falencias operativas anuales. Por lo tanto, es necesario adaptar enfoques combinados bajo análisis del ciclo de vida incluyendo simulaciones por elementos finitos para entender el comportamiento y rendimiento estructural de los botellones fabricados, fortaleciendo su resistencia ante caídas de alturas o impactos de materiales pesados.

En su investigación Santos et al. (2023), caracterizo el contenido de adhesivo en botellas plásticas, por la finalidad de evaluar el impacto de resistencia del material donde este componente o contenido varía entre 200 a 2800 ppm en botellones de PET posconsumo, dependiendo del contenido envasado. Por lo tanto, se ejecutó el análisis FTIR, el cual determinó que los adhesivos para el etiquetado de botellas están compuestos por polietileno-co-acetato de vinilo (EVA). Los resultados de esta evaluación de los materiales PET sometido a tracción indican que 200 ppm de adhesivo disminuyeron su resistencia en un 15 %, para esto es esencial que el material de botellas se reduzca bajo la utilización del etiquetado para que no supere las 200 ppm, si se espera un PET de alta calidad.

Basado en el entorno académico, el excesivo consumo de agua embotellada enfrenta un gran impacto crítico sobre la población estudiantil en las carreras de ingeniería, en especial se encuentra la facultad de ciencias de la ingeniería dado que son estos quienes bajo su formación en el ámbito técnico y práctico comprende entender la relación de las propiedades mecánicas, durabilidad y sobre todo el diseño estructural de productos. Por tal motivo, el estudio se enfatiza en la carrera de ingeniería industrial de la Unidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), se evidenció la necesidad de fortalecer la educación de manera práctica elocuentes en áreas de producción y diseño de experimentos que promuevan la reutilización de estos materiales a través del aprendizaje y formación de habilidad tácticas. Bajo estos contextos, en el laboratorio

de la institución no cuenta actualmente con un dispositivo que mida el grado de resistencia sobre impacto de dardos o masas esféricas para determinar la elongación pertinente bajo la deformación de estos botellones plásticos por falta de pruebas de ensayo.

Planteamiento del problema

En la UPSE, las prácticas y ensayos acerca de los materiales plásticos son esenciales para formar técnicos y así caracterizar la calidad de los envases elaborados a base de material PET como son los botellones dúctiles. Por esta razón, la disponibilidad de equipos específicos para realizar ensayos mecánicos (tracción, impacto, compresión y deformación permanente) ya que es limitada, lo cual es costosa por ende obliga a recurrir a equipos externos o a basarse en métodos empíricos sin estandarizar los procesos de calidad de los botellones plásticos. Sin embargo, actualmente no se dispone de un sistema de ensayo que permita caracterizar de manera precisa sus propiedades mecánicas, tales como resistencia a la compresión, deformación bajo carga, módulo de elasticidad y comportamiento estructural frente a esfuerzos operativos.

La ausencia de un prototipo especializado limita la capacidad de formación de los estudiantes para evaluar el desempeño real de los botellones, analizar la conformidad bajo normas técnicas para comprender los fallos mecánicos asociados al uso frecuente de los mismos. Por esta razón, se genera una brecha que estipula la relación entre la práctica y teoría, ya que verificación de los parámetros mecánicos se esgrimen bajo estimaciones relacionadas a datos relevantes de fabricación, sin evidencia experimental propia.

Formulación de pregunta de investigación

¿El prototipo de ensayo incide en la correcta medición de la resistencia mecánica de botellones plásticos sometidos a impactos por caída libre en la Unidad de Práctica de la carrera de Ingeniería Industrial de UPSE?

Objetivo general

Diseñar un prototipo de ensayo para medir la resistencia de impacto de botellones plásticos bajo la normativa ASTM D2463 en la Unidad de Prácticas Industriales de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería UPSE.

Objetivos específicos

- ❖ Ejecutar la revisión de la literatura bajo un análisis bibliométrico sobre las bases de datos científicas a cerca de la caracterización mecánica de botellones plásticos.
- ❖ Evaluar la problemática actual, empleando métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos que validen la creación de prototipos de ensayo.
- ❖ Desarrollar un prototipo de ensayo para la caracterización mecánica de botellones plásticos por medio de caída libre de masa.

Justificación de la investigación

Abarcando la importancia del estudio se origina bajo la necesidad de tener un respaldo institucional del proyecto estudiantil denominado “Evaluación técnicas de las características mecánicas de los polímeros para el control de la salubridad del agua embotellada dentro de la provincia de Santa Elena, Ecuador, por tal motivo fue aceptado y registrado bajo el código 91870000.0000.390387. De tal manera, se visualiza que en la Unidad de prácticas industriales dentro de la facultad de ciencias de la ingeniería en la UPSE no cuenta con un equipo especializado para medir las condiciones físicas, químicas y biológicas de los botellones plásticos sometidos a condiciones de ensayo de impacto para medir la resistencia mecánica de los polímeros bajo su fabricación.

Bajo el ámbito metodológico, la investigación radica en el diseño de un prototipo para medir la caracterización mecánica de los componentes de los productos elaborados a base de polímeros, por ende, se someten a análisis enfatizados en normas reglamentadas de ensayos empleando criterios de funcionalidad. El proyecto comienza en etapas de planificación, selección de materiales y normativas de construcción de prototipos ligados al análisis de materiales, empleando un diseño asistido por software que brinden la viabilidad técnica del dispositivo radicado en la validación experimental del mismo.

Para ello, es necesario medir la durabilidad de los plásticos depende de los factores numéricos bajo el uso en determinados ciclos bajo condiciones de radicación y almacenamiento, abarcando el deterioro de las propiedades estructurales mecánicas de los polímeros. En base, a lo expuesto se muestran que alrededor entre 18 meses el uso continuo de los materiales plásticos causa el desgaste, desprendimiento de partículas en su manipulación recurrente. Por otro lado, esto ocasiona la degradación permanente frente al reemplazo, lo que incrementa la generación de residuos que son vertidos a ríos, playas y vertederos causando un impacto ambiental significativo por los materiales PET.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

Un mundo globalizado en la industria del envasado de agua y productos líquidos ha experimentado un aumento acelerado, impulsado por la creciente preocupación por la salud, la higiene y el acceso a agua potable segura esto ha generado la necesidad de abordar el desarrollo de botellones plásticos más resistentes y duraderos, que pueden soportar condiciones de distribución y almacenamiento de existencias, reduciendo el impacto ambiental asociado a su ruptura y desecho prematuro (Atik-Fayshal, 2024). En su última revisión, ONU et al. (2023), destaca que en total, el 46 % de los residuos plásticos se deposita en vertederos municipales, mientras que el 22 % se gestiona de manera inadecuada y se convierte en basura. A diferencia de otros materiales, el plástico no se biodegrada, puede tardar cientos de años en descomponerse, por lo que, cuando se desecha, se acumula en el medio ambiente hasta alcanzar un punto crítico. Esta contaminación asfixia a la fauna marina, deteriora el suelo, envenena las aguas subterráneas y puede causar graves consecuencias para la salud humana.

En su estudio Anhele et al., (2021), abarca que el diseño de una máquina de tracción se elaboró bajo la norma ASTM E8, certificando efectos confidenciales y similares con equipos industriales. Posteriormente, el proceso abarco un enfoque secuencial y tecnológico, partiendo con el análisis del estado del arte y los componentes y recursos disponibles para adaptar exigencias técnicas. Consecuentemente, se formularon soluciones neutrales basadas en principios de diseño mediante funciones mecánicas, se elaboraron planos de ensamble y diagramas eléctricos correspondientes. En última instancia se obtuvo el bosquejo de una máquina estándar de 300 KN, acoplada con componentes hidráulicos Rexroth y orientada a fines académicos y experimentales.

Durante su investigación Largo & Ramírez et al., (2022), especifica que la norma ASTM D2463 describe el método de ensayo estándar para medir la resistencia al impacto por caída de envases plásticos moldeados por soplado, empleando procedimientos para determinar la altura media de fallo y la desviación típica de la distribución. Los resultados de los elementos finitos se verificaron utilizando resultados experimentales obtenidos con el método de ensayo prescrito en la norma ASTM D2463. Se encontró que la simulación de elementos finitos obtuvo resultados precisos. Las alturas de fallo para las botellas de PET y HDPE fueron de $4,53 \pm 0,41$ m y $4,65 \pm 0,81$ m, respectivamente. Los errores en la altura de fallo obtenidos a partir de la

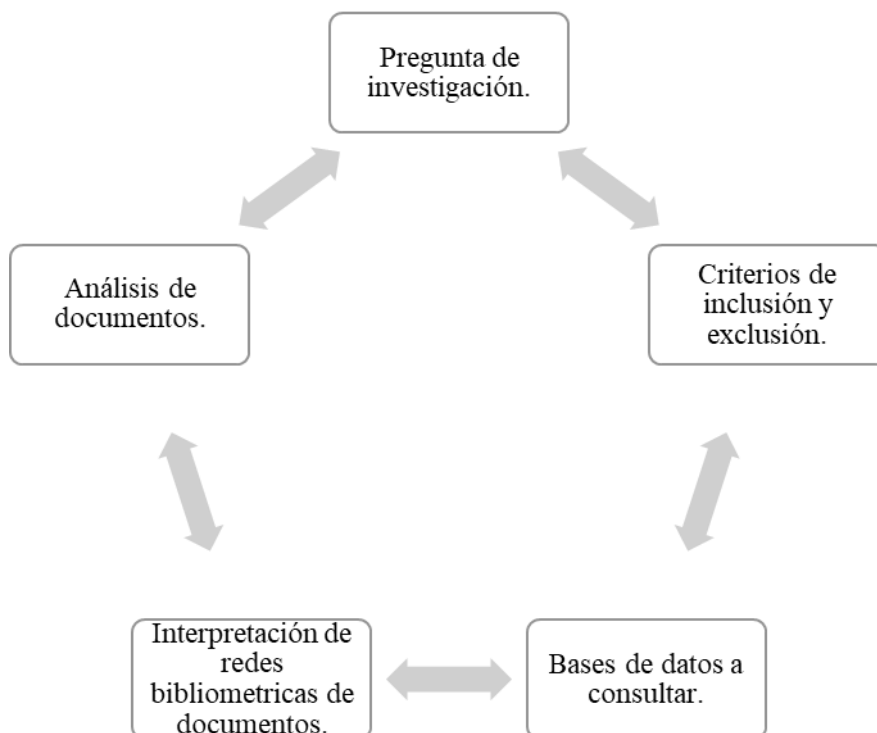
simulación de elementos finitos fueron inferiores al 9,27 % para la botella de PET y al 5,59 % para la botella de HDPE.

Para García-Gómez et al. (2023) desarrolló el diseño del prototipo tomando en cuenta la información obtenida de fuentes técnicos-académicos y la designación de la norma ASTM D638-14. Se realizó el análisis de tensiones, en este caso, la de Von Misses, se muestran los valores máximo y mínimo de las tensiones en *NNNN2/PPPP*, teniendo un máximo de 4.63 MPa y un mínimo de 1.02 KPa, de tal manera que, el límite elástico para un acero estructural ASTM A-36 es igual a 250 MPa, esto quiere decir que, con estas cargas aplicadas, el material no llega a su límite elástico, por lo que la estructura es ideal para soportar elevadas cargas.

1.2. Revisión literaria

En la Figura 1 se puede apreciar los pasos que se adaptaron al proceso de revisión documental utilizando el análisis bibliométrico. Se presenta también las cinco etapas esenciales: preguntas de investigación, criterios de inclusión y exclusión, búsqueda de información, análisis bibliométrico de los hallazgos y discusión de documentos seleccionados (ver Anexo 1, 2, 3 y 4).

Figura 1. *Pasos de análisis bibliométrico.*



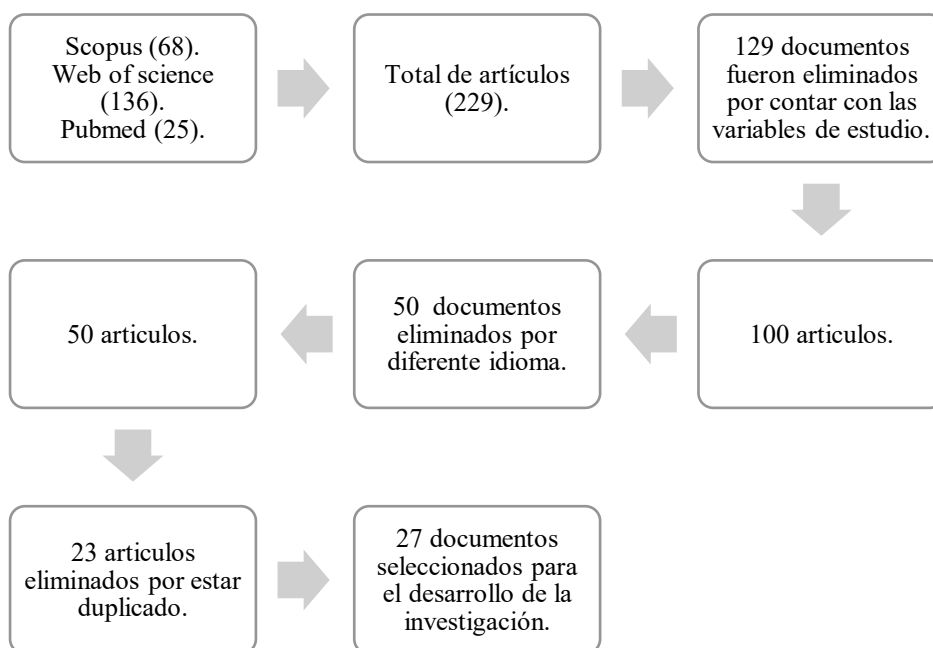
Fuente: Etapas de revisión bibliométrica de la literatura.

Asimismo, la revisión de la literatura se expresa como una metodología de análisis sobre la adaptación de prototipos de ensayos para laboratorios que estudian las características de deformación y resistencia por impacto de los botellones plásticos, se analizó una búsqueda de documentos indexados en periodos de 2020 hasta 2025, los hallazgos obtenidos en las bases de datos Scopus, Web of Science, PubMed, por medio de estos motores de información se obtuvo la confiabilidad y validez de las revistas científicas, brindando un apoyo esencial al investigador para recopilar información exacta de las variables de estudio.

De la misma forma, se empleó una búsqueda minuciosa aplicando diversos filtros para disminuir la información obtenida. Se inicia eligiendo artículos en forma de documentos, seguido del segundo filtro se evaluaron artículos en periodos de 2020 al 2025, consecuentemente se seleccionaron documentos basados en prototipos de ensayos y características mecánicas de botellones plásticos, luego de aplicar los operadores booleanos AND y OR se disminuyó la cantidad de información referente a las variables de estudios adaptadas en áreas temáticas de ingeniería mecánica, simulación de experimentos y en última instancia ligadas a la ingeniería industrial.

Como se evidencia en la Figura 2, de forma detallada la cantidad total de artículos obtenidos durante la búsqueda de información pertinente relacionada a las variables de estudio, a través de criterios de inclusión y exclusión se redujo la cantidad de artículos dando como resultado un total de 27 documentos seleccionados para ejecutar el estudio.

Figura 2. Diagrama de bloque de artículos.

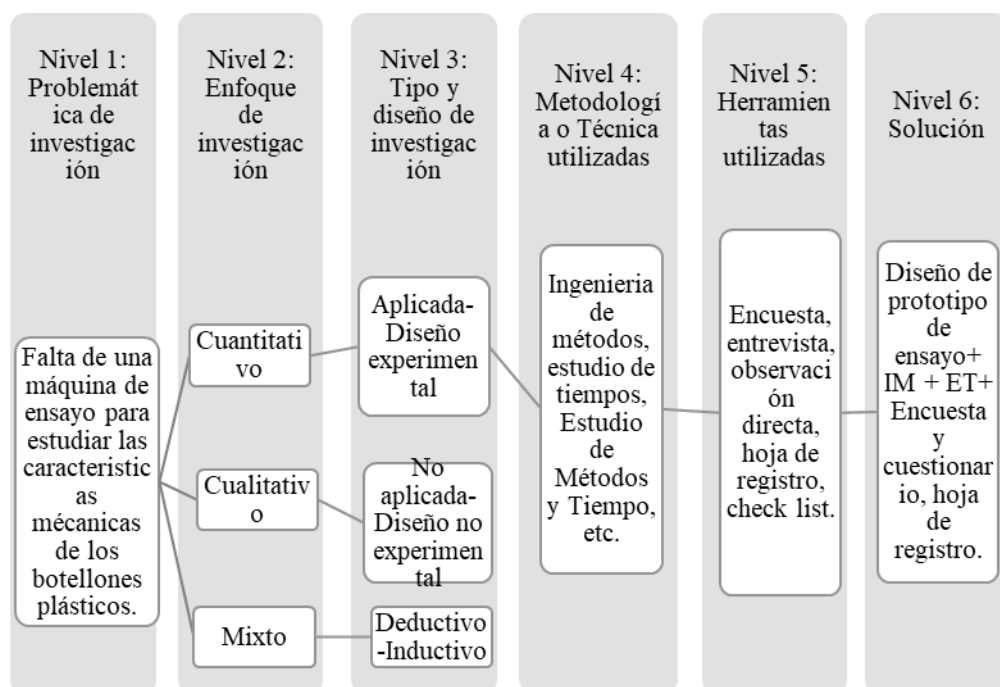


Nota. Cantidad de artículos seleccionados mediante el análisis bibliométrico.

También, se muestra el Anexo 5 la matriz de resultados referente a los documentos analizados durante la ejecución del análisis bibliográfico de la literatura existente acerca del diseño de prototipos de ensayo por caída libre y caracterización mecánica de materiales plásticos. Posteriormente, se identificó por medio del autor, tipo y diseño de investigación, metodología y técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La Figura 3 ilustra seis niveles resultantes mediante la aplicación del estado del arte (punto 1.2), en el cual se tiene al primer nivel que muestra el problema adyacente del estudio, posteriormente se detallan los enfoques aplicados en los documentos seleccionados que se dividen en tres etapas cuantitativas, cualitativo y mixto. Por otro lado, se emplea el tipo y diseño de la investigación aplicada y experimental, además el cuarto nivel presenta la metodología sobresaliente en el estudio, de la misma forma se enfatizan las herramientas desarrolladas por los investigadores para obtener la información relevante que permita descifrar la situación actual de la empresa buscando oportunidades de mejora.

Figura 3. *Protocolo de investigación.*



Nota. Esquema metodológico.

1.3. Estado conceptual

Normativa ISO 17025:2017

La normativa ISO/INEC 17025:2017, es fundamental para los laboratorios dedicados a la ejecución de ensayos de todo índole y calibración de los mismos, es un requisito necesario

que debe cumplir y tener aplicado para que puedan funcionar sin ningún inconveniente (Saucedo et al., 2023).

Norma ASTM D2463

La normativa ASTM D2463 describe el método de ensayo estándar para medir la resistencia al impacto por caída en envases termoplásticos moldeados por soplado, basado en procedimientos para determinar la altura media de rotura y la desviación estándar de la distribución (Suvanjumrat & Puttapitukpron et al., 2011).

Norma ASTM D1709

Esta normativa alega los métodos de ensayos para crear un prototipo que permita medir la resistencia mecánica bajo el impacto por caída libre de dardos efectuados a materiales construido de polímeros, los cuales siguen un proceso secuencial, midiendo la energía de impacto a cargas dinámicas para estimar el rendimiento del uso, transporte y manejo de los materiales PET. De tal manera, la norma implica los tamaños de la muestra, las alturas, el tipo de dardo y los criterios de aceptación brindando la comparabilidad y producción de los resultados efectuados durante los ensayos.

La norma ASTM D1709 establece el método de ensayo para determinar la resistencia al impacto por caída libre de películas y láminas plásticas, permitiendo cuantificar la energía necesaria para provocar su ruptura bajo condiciones controladas. Mediante este procedimiento, se evalúa la respuesta del material frente a cargas dinámicas, lo cual es esencial para estimar su desempeño durante el manejo, transporte y uso final. Asimismo, la norma especifica los tamaños de muestra, el tipo de dardo, las alturas de caída y los criterios de aceptación, garantizando así la reproducibilidad y comparabilidad de los resultados.

Tipos de ensayos de impacto

- Ensayo de impacto de Charpy: se trata de un ensayo por carga dinámica de impacto, en el cual una probeta entallada específicamente en “V” o “U” donde se apoya como una viga en conjunto con dos puntos y es golpeada por un péndulo que permite medir la energía absorbida hasta el punto de fractura, ya que esta energía es un régimen de la resistencia al choque material (Satyendra et al, 2025).
- Ensayo de impacto de Izod: es semejante en finalidad del Charpy, pero se configura de otra manera, la probeta se encuentra montada como cantiléver que

es una extremidad fija, y la otra libre, dado que se entalla particularmente ubicada cerca del extremo fijo, por tal motivo el péndulo golpea el extremo opuesto al soporte, además se compara la energía absorbida a través de criterios de aceptación, o más comúnmente se utiliza para comparar los materiales (Satyendra et al, 2025).

- Ensayo de impacto tipo Drop Weight Impact test (peso que cae): este ensayo reside en dejar un peso desde una altura específica para impactar una probeta diferenciado del tamaño, grosor u otros componentes, con la finalidad de simular cargas de impacto severas. Posteriormente, mide la energía absorbida en recipientes a presión, aceros para tuberías, placas de blindaje, entre otros (Qualitest et al., 2025).

Softwares

El software analítico Cade Simu permite simular la conexión eléctrica y neumática bajo el análisis de cómo se realizan los circuitos mecánicos automatizados, permite analizar de forma gráfica los esquemas para controlar el funcionamiento de los equipos eléctricos, hidráulicos que posibilitan simular en tiempo real la interfaz de estudios académicos para optimizar los procesos de diseño, mantenimiento y montaje de los sistemas de los planos técnicos.

Asimismo, el software asistido por computadora denominado SolidWorks (CAD 3D) efectuado para moldear piezas, ejecución de ensamble y planos aplicando análisis de ensayos bajo un modelo 3d a través de módulos de simulación estructural, termina y mecánica de los componentes. Por ende, el programa ofrece herramientas de movimiento y gestión de productos, dado que es el software más utilizado para crear productos, máquinas e instrumentos dentro del campo industrial.

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora (CAD 2D y 3D) desarrollado por Autodesk, orientado al dibujo técnico y modelado de estructuras, componentes y planos arquitectónicos o industriales. A diferencia de otros programas, AutoCAD combina herramientas vectoriales precisas con entornos de modelado tridimensional, lo que permite representar con exactitud piezas, instalaciones y sistemas constructivos. Además, cuenta con extensiones especializadas como AutoCAD Electrical, Civil 3D o Mechanical, que amplían sus funcionalidades según el campo de aplicación. En consecuencia, se utiliza ampliamente en ingeniería civil, arquitectura, diseño mecánico y topografía, ya que facilita la documentación técnica, la visualización realista y la compatibilidad con estándares internacionales de dibujo.

Arduino Uno es una placa de desarrollo para microcontroladores por medio de códigos abiertos basada en el chip ATmega328P, el cual consta de 14 pines de entrada y salidas digitales donde 6 pueden utilizarse como salida PWM y los otros 6 para entradas analógicas. También cuenta con un resonador cerámico de 16 MHz, conector USB, conector de alimentación tipo Jack, ICSP header y por último un botón de reinicio (Carrillo, 2021).

Módulo HX711 es un circuito integrado que sirve como transmisor de señales regularmente para celdas de carga, traspassando la señal de manera analógica y se caracteriza por tener un voltaje bajo que producen en una señal digital de 24 bits. Además, su función primordial es permitir que por medio de microcontroladores como Arduino calculen el peso o fuerza de manera exacta, convirtiendo las celdas de carga en una herramienta para básculas digitales y sistemas de medición de alta precisión (Hernández, 2020).

Láser calibrador

Es un instrumento que sirve para medir si los componentes de una máquina, equipos y estructuras se encuentran directamente planos bajo sus condiciones de uso, distancia o variaciones con alta precisión sobre superficies de lectura utilizado en procesos de control de calidad y ajuste de medidas para minimizar errores que los humanos no ven.

Flexómetro

Es un instrumento que sirve para medir bajo una cinta métrica hecha de metal graduada con unidades de medidas expresadas en metros y milímetros, por lo cual permite medir superficies donde el ser humano no llega por espacios reducidos o alturas muy elevadas ya que ofrece estabilidad en el registro de lectura de columnas y vigas, también posee un mecanismo de bloque para evitar errores en las distancias.

Celda de carga

Las celdas de cargas es un transductor que transforma una fuerza ya sea peso o presión mediante una señal eléctrica, por ende, se repercute en el principio de deformación de un elemento que posee propiedades elásticas, generalmente son utilizadas como galgas extensiométricas, que varían su resistencia eléctrica al deformarse (Kamble et al., 2021). De tal manera, estas variaciones se calculan y se aumenta para obtener una lectura proporcional a la fuerza aplicada.

Electroimán

Un electroimán es un imán temporal desarrollado por el flujo de una corriente eléctrica a través de una bobina de alambre, particularmente cubierta alrededor de un núcleo de material ferromagnético como el hierro. Su superioridad frente al imán permanente reside en que la intensidad del campo generado depende de la cantidad de corriente que circule por medio de este, y por ende es posible controlar su comportamiento (Harrie et al., 2025).

Seguridad de operación

La seguridad es esencial al momento de efectuar una operación determinada, lo que la vuelve más efectiva garantizando que los equipos, máquinas, procesos y actividades sin causar ninguna anomalía al operario en la ejecución de sus actividades,

Exactitud

Es la medida de la capacidad de diversos instrumentos utilizados en los procesos de medición de forma elocuente y precisa que consiste en el registro del valor real basado en la magnitud o escala de medida expresada en milímetros, metros o yardas para optimizar el desempeño de la medición sistemática de componentes.

Cronómetro

El cronómetro es un instrumento de medición diseñado para registrar intervalos de tiempo con alta precisión durante la ejecución de actividades o procesos. Su funcionamiento se basa en mecanismos digitales o analógicos que permiten iniciar, detener y reiniciar la medición de manera controlada. En ingeniería y estudios de tiempos, se utiliza para determinar duraciones estándar, analizar ciclos operativos y evaluar la eficiencia de tareas. Además, su uso adecuado garantiza la obtención de datos confiables para la optimización de procesos productivos.

Onda de medición de control

Es una gráfica representativa señalada bajo el control estandarizado para el correcto funcionamiento y calibración de componentes que son sometidos a pruebas de ensayos esta curva mide se puede expresar en forma de onda midiendo la frecuencia de los instrumentos respecto a las características mecánicas de los procesos bajo un diagnóstico técnico.

Polipropileno

Es un material hecho a base de polímeros producido por la caracterización versátil que posee, dado que es ampliamente utilizado para la fabricación de envases plásticos en diversas empresas industriales dedicadas a esta índole (Chen, 2024).

Tereftalato de polietileno

El PET es un polímero termoplástico de tipo poliéster, producido por la poliesterificación entre ácido tereftalato y etilenglicol (o mediante transesterificación con dimetil tereftalato). Se caracteriza por su transparencia, buena resistencia al impacto, barrera contra gases y humedad, y capacidad de reciclaje. Es ampliamente utilizado en envases, botellas de bebidas, fibras textiles y películas (Chen, 2024).

1.4. Descripción del sistema productivo actual

La construcción del prototipo de ensayo por caída libre en la Unidad de Práctica de Ingeniería Industrial se justifica técnicamente porque permite reproducir condiciones controladas de impacto para analizar el comportamiento mecánico de materiales y envases. Este tipo de ensayo es esencial para evaluar la resistencia estructural frente a cargas dinámicas, garantizando que los productos cumplan con normativas de calidad y seguridad.

Además, desarrollar el prototipo dentro del taller académico proporciona una herramienta didáctica para el aprendizaje práctico de los estudiantes, fortaleciendo sus competencias en diseño, manufactura y análisis de ensayos mecánicos. De esta manera, se fomenta la investigación aplicada y la optimización de procesos industriales en un entorno real de experimentación.

A continuación, se presentan las diferentes normativas aplicables la cual hace referencia a las especificaciones técnicas del componente para la elaboración de la máquina de ensayo para medir las características mecánicas de los botellones plásticos, a continuación, en la tabla 1 se muestran las comparaciones específicas de las normativas aplicables.

Tabla 1. Comparación entre normativas de ensayos.

Norma de referencia	Aplicación principal	Superficie de impacto	Altura de caída	Sujeción y liberación
ASTM D2463 – Drop Impact Resistance of Blow-Molded Thermoplastic Containers.	Ensayos en botellas y envases plásticos sopladados (botellones, bidones, etc.).	Placa de acero laminado cromado de 1000 × 1000 × 13 mm, firmemente anclada a losa de concreto.	0,3 – 2,0 m ajustable.	Plataforma elevable o mecanismo de sujeción que libere instantáneamente sin interferir la caída.
ASTM D5276 – Drop Test of Loaded Containers by Free Fall.	Ensayo en bultos, cajas y contenedores de hasta 50 kg.	Concreto, piedra o acero (≥ 13 mm), superficie rígida y plana, masa $\geq 50 \times$ el espécimen.	Hasta 2,0 m (ajustable).	Dispositivo de liberación instantáneo, sin fuerzas parásitas.
ISO 2248 – Vertical Impact Test by Dropping.	Ensayo de bultos completos, embalajes y empaques.	Superficie rígida (acero o concreto, similar a ASTM D5276).	0,3 – 1,5 m (según masa).	Liberación controlada, sin generar rotación.
ISTA 1A – Non-Simulation Integrity Performance Test.	Programas de transporte y logística (productos ≤ 68 kg).	Similar a ASTM D5276 (acero o concreto rígido).	Según protocolo de prueba.	Basado en equipos D5276 o equivalentes.

Nota. Comparación entre normativas similares.

El diseño del prototipo de ensayo para botellones plásticos se basa en la norma ASTM D2463, que establece los criterios para evaluar la resistencia al impacto por caída libre en envases plásticos sopladados. La norma exige una plataforma de liberación que no deforme el envase, un rango de altura ajustable entre 0,3 y 2,0 m y una superficie de impacto rígida de acero laminado cromado de al menos 13 mm, anclada a concreto para evitar deformaciones. Además, requiere precisión en la orientación y repetibilidad en las pruebas, garantizando resultados confiables en contextos académicos e industriales.

CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

2.1. Enfoque de investigación

En la presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, dado que considera calcular y examinar variables explicativas conexas para medir la resistencia al impacto de caída libre de pesos sobre botellones plásticos (Medina et al., 2023). Este enfoque facilita la recopilación de datos de manera numérica, ya que se ejecuta la necesidad de estudiar las características mecánicas de los envases de plásticos.

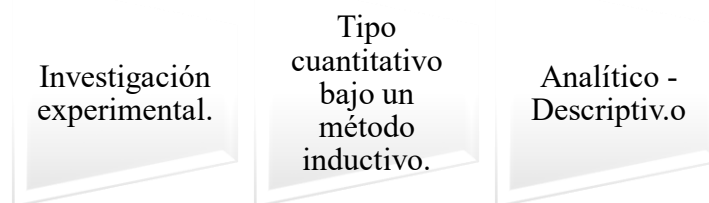
2.2. Tipo de investigación

Se desarrolló una investigación de tipo aplicada, ya que se fundamenta en el uso del conocimiento teórico y científico de los paradigmas de estudio con un enfoque práctico, orientado a generar soluciones concretas y mejoras en las condiciones actuales de las variables analizadas (Medina et al., 2023).

2.3. Diseño de investigación

El diseño empleado en el estudio es de tipo experimental, dado que se construye y analiza un prototipo de ensayo para medir las características técnicas de los botellones de plásticos. Para Del Cid et al. (2011), aplicar este diseño brinda al investigador identificar, analizar y resolver el problema planteado, como se visualiza en la Figura 4.

Figura 4. *Guía de diseño de investigación.*



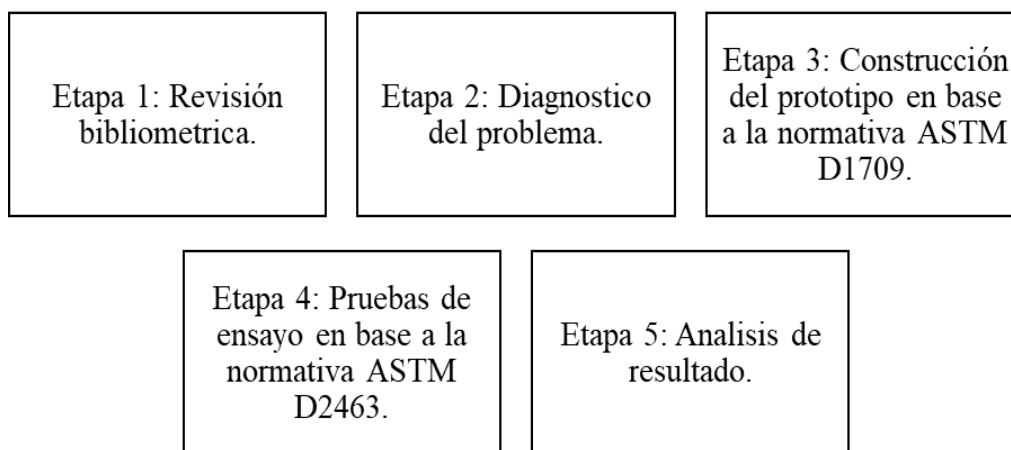
Nota. Elaborado por autores en base a Hernández et al. (2018).

2.4. Procedimiento metodológico

En la Figura 5 se ilustra la secuencia metodológica del proyecto mediante un esquema estructurado en cinco etapas interrelacionadas. La etapa 1, correspondiente a la revisión bibliométrica, establece la fundamentación teórica a través del análisis de literatura científica especializada. La etapa 2 abarca el diagnóstico del problema, donde se identifican las

limitaciones técnicas que justifican la intervención. Posteriormente, en la etapa 3 se desarrolla la construcción del prototipo siguiendo los lineamientos de la normativa ASTM D1709, garantizando que el dispositivo cumpla con los requisitos estandarizados de ensayo por impacto. La etapa 4 comprende la ejecución de pruebas experimentales basadas en la normativa ASTM D2463, permitiendo evaluar el desempeño del prototipo y la resistencia del material bajo condiciones controladas. Finalmente, el bloque denominado “análisis de resultado” integra la interpretación de los datos obtenidos, orientando la validación técnica del sistema y su contribución al cumplimiento de los objetivos del estudio.

Figura 5. *Procedimiento metodológico.*



Nota. Elaborado por los autores.

2.5. Población y muestra

2.5.1. Población

Se realizó un análisis detallado de la población objeto de estudio en la cual se consideró el total de estudiantes matriculados entre el séptimo y octavo semestre, los docentes y el encargado del laboratorio de calidad de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, correspondiente al periodo académico 2025-2, con la finalidad de emplear una encuesta semiestructurada acentuada al ámbito académico y de formación personal.

Tabla 2. Población objeto de estudio.

Docentes y estudiantes	N. de personas
Estudiantes de séptimo semestre.	80
Estudiantes de octavo semestre.	46
Docentes de Ingeniería Industrial.	10
Encargado del laboratorio de calidad.	1
Total de docentes y estudiantes	137

Nota. Elaborado por los autores.

2.5.2. Muestra

La muestra constituye un segmento representativo del universo de estudio, elegido con criterios específicos para permitir la generalización de los resultados obtenidos debido a que su propósito fundamental es facilitar la observación y evaluación de fenómenos sin la necesidad de escoger a todo el conjunto, minimizando recursos y tiempos (Hernández et al., 2018).

Como se aprecia en la Tabla 3, los cursos que fueron tomados en cuenta dado que son los que mayormente asisten a realizar prácticas al laboratorio de calidad donde se tomó a consideración a los estudiantes, obteniendo un total de 126 personas que fueron reducidas al aplicar el cálculo de muestra para poblaciones finitas.

Tabla 3. Muestra representativa.

Curso/ Paralelo	Femenino	Masculino	Total
Octavo	18	28	46
Séptimo 1/1	13	19	32
Séptimo 1/2	20	28	48
Total	51	75	126

Nota. Elaborado por los autores.

Para calcular el tamaño de la muestra, se efectuó la fórmula de muestreo para poblaciones finitas, considerando un nivel de confianza del 95 %, nivel de error permisible del 5 %, seguido de la población con un total de 126 estudiantes, bajo la probabilidad de que ocurra

con el 50 % y con la probabilidad que no pase del 50 %, tal cual como se muestra a continuación en la Tabla 4:

Tabla 4. *Datos requeridos para muestra.*

Datos para el cálculo	
Nivel de confianza solicitado.	95%
Nivel de error permitido.	5%
Tamaño de la población.	126
p: Probabilidad de que ocurra.	50%
q: Probabilidad que no suceda.	50%

Nota. Elaborado por los autores.

Mediante los resultados obtenidos de este cálculo que se muestran en la ec1, se estableció una muestra definida por 95 estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, por esta razón solo a este segmento se les aplicó un cuestionario bajo un muestreo aleatorio, brindando confiabilidad a la investigación.

$$Ec1: n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

$$n = \frac{126 * (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}{(126 - 1)(0.05)^2 + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{121.5072}{1.2729} \approx 95.07$$

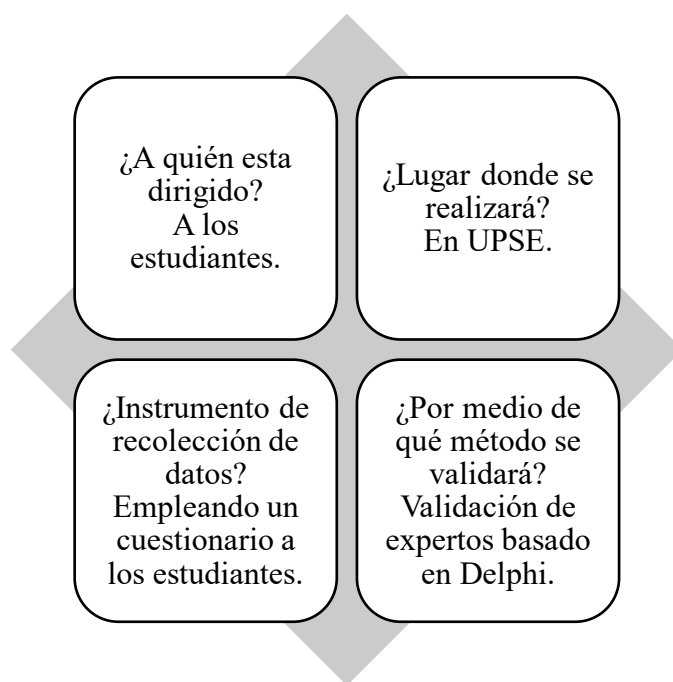
$$n = 95 \text{ personas}$$

2.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos

2.6.1. Métodos de recolección de los datos

El método de investigación aplicado en este estudio es el inductivo, Del Cid et al. (2011) lo describe como un proceso que utiliza el razonamiento ya que los investigadores pueden analizar y comprender los fenómenos naturales del caso estudiado, y utilizar esta información para validar diseños.

Figura 6. Plan de análisis.



Nota. Elaborado por los autores en base a Del Cid et al. (2011).

La recopilación de datos abarca desarrollar una organización lógica que mencione las generalidades del caso, Hernández et al. (2018) propone la planificación basada en una estructura definida, donde se enfatizan los individuos encuestados, el lugar, tipo de cuestionario y técnica de recolección, como se evidencia en la Figura 6.

2.6.2. Técnicas de recolección de los datos

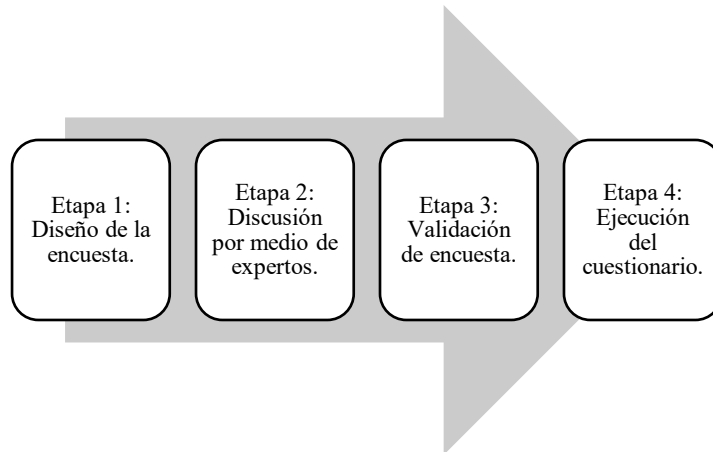
El diseño de la encuesta ayuda a identificar las percepciones de los individuos sometidos al estudio. Posteriormente, se establece un segmento focal que brinda criterios relevantes del caso, de esta manera, la ejecución de este método posibilita medir la fiabilidad del contenido en relación al cumplimiento de los objetivos, para garantizar la seguridad de los mecanismos empleados (Hernández et al., 2018). Asimismo, se realizó una encuesta a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de 7 y 8 semestre, mediante una ronda de preguntas de un total de 20 ítems de los cuales 10 estarán destinadas a la variable independiente y las otras diez para la dependiente las cuales pasarán un proceso de validación por medio de expertos.

2.6.3. Procedimiento de validación de la encuesta

Es esencial efectuar un modelo de validación que verifique la idoneidad de las estrategias planteadas. En este sentido, uno de los métodos más aplicados para medir la seguridad y propósito de los datos recopilados es el método de Delphi, para Hernández et al. (2018), se utiliza como una herramienta de confiabilidad de cuestionarios. En cuanto a este

enfoque establece criterios de calidad orientados a optimizar el contenido de una base de datos, tal como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. *Pasos de método de Delphi.*



Nota. Elaborado por los autores en base a Hernández et al. (2018).

2.6.4. Operacionalización de las variables

Por otro lado, en el Anexo 7 se detalla la operacionalización de las variables aplicada a los prototipos de ensayos y botellones plásticos, dado que facilita la descripción de dimensiones, indicadores e instrumentos, garantizando coherencia entre los objetivos planteados y la recopilación de datos. Asimismo, se brinda un enfoque sistemático para analizar las características mecánicas y el desempeño de los botellones, proporcionando información confiable y precisa para la validación del estudio.

2.6.5. Confiabilidad y validez del instrumento por método de Delphi

Fase 1: Diseño del cuestionario

Con el objetivo de comprender en profundidad las características mecánicas de los botellones plásticos, se elaboró un cuestionario de preguntas cerradas conformado por 20 ítems, por consiguiente, este instrumento de recopilación de datos se validó por medio de juicios de expertos en el ámbito de investigación.

Fase 2: Criterios de expertos

El grupo seleccionado fue elegido deliberadamente basándose en su grado de experticia en el tema, por ende, se estableció mediante el cargo que desempeña y su sapiencia dentro del área de estudio. Posteriormente, se consideraron los puntos durante la validación del instrumento con la escala de Likert, el mismo que consistió de criterios específicos que brinden

la correcta participación del proceso de validación del instrumento. A continuación, se describen los criterios establecidos:

- Grado de experiencia entre 15 a 35 años.
- Título de tercer nivel.
- Disposición de participación.

Bajo estos fundamentos, se conformó por un grupo de cinco profesionales en el tema, como se detalla en la Tabla 5, relacionando a cada uno de acuerdo con sus años de experiencia y perfiles, los cuales cumplían los estándares y aclaraciones antes mencionadas (ver Anexo 8).

Tabla 5. Datos de expertos.

N.º	Perfil profesional	Años de experiencia
1	Ingeniero Industrial	22 años
2	Ingeniero Mecánico	30 años
3	Ingeniero Industrial	15 años
4	Ingeniero Industrial	20 años
5	Ingeniero Industrial	35 años

Nota. Elaborado por los autores.

Fase 3: Validación del instrumento

Para la validez del cuestionario en la investigación se desarrolló una revisión durante el transcurso de dos rondas de preguntas con la finalidad de alcanzar un horizonte de conformidad y análisis adecuado con la programación determina, como se aprecia en la Tabla 6.

Tabla 6. Ronda de preguntas.

Revisión por expertos		
Expertos	Validez	
	Ronda I	Ronda II
1	x	
2	x	
3		x
4	x	

5	x	
Total	4	1

Nota. Elaborado por los autores.

Fase 4: Ejecución del cuestionario

El desarrollo del cuestionario se efectuó de forma estructurada y organizada, cumpliendo con lo planificado para garantizar la recopilación de datos, asimismo se seleccionó una muestra que constó de 95 estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de la UPSE. Posteriormente, se realizó una breve descripción acerca del objetivo del cuestionario, brindando seguridad y confidencialidad de las respuestas obtenidas en Google Forms.

Resultados y análisis de la encuesta

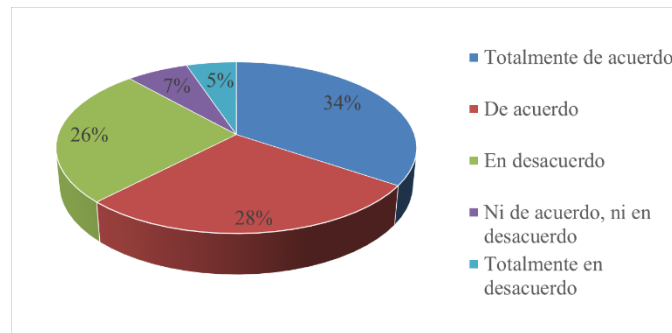
Los resultados de la encuesta se encuentran en el Anexo 10 de tal manera se expresa mediante la tabla 7 las 20 preguntas realizadas a los 95 estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial que fueron un gran aporte para considerar la creación del prototipo de ensayo para medir la resistencia mecánica de los botellones y ver si cumplen a cabalidad con sus especificaciones técnicas (ver Anexo 11).

La mayoría de los encuestados (43.2 %) afirma que los botellones plásticos no soportan caídas y golpes sin deformarse. Esto, junto con el 33.7 % que tiene dudas, deja en claro que la resistencia a los impactos es una de las principales preocupaciones de los consumidores. Solo un 23.2 % considera que sí resisten.

Casi la mitad de los encuestados (35.8 %) considera que las propiedades mecánicas de los botellones no se mantienen con el paso del tiempo. Este hallazgo, combinado con el 32.6 % que tiene dudas, sugiere una percepción de que el material se degrada con el uso, afectando su resistencia.

La Figura 8 demuestra el grado de aceptación con el 62 % de los estudiantes encuestados respaldan la necesidad de crear un prototipo para medir las características mecánicas de los botellones plásticos, mientras que el 31 % menciona que no están de acuerdo con la ejecución de este estudio y un 7 % se manifiesta un descontento, lo que evidencia la necesidad de fortalecer la información y sustentar el aspecto técnico y económico del estudio. Finalmente, el prototipo es necesario para mejorar la confiabilidad y calidad del producto, partiendo de un amplio respaldo para su desarrollo.

Figura 8. Grado de satisfacción de encuesta.



Nota. Elaborado por los autores.

2.6.6. Fiabilidad alfa de Cronbach

El alfa de Cronbach se calculó a través del software SPSS, teniendo un análisis estadístico esencial para medir la consistencia que existe de los datos, asegurando la fiabilidad y confianza de las mediciones y respaldando las conclusiones del estudio.

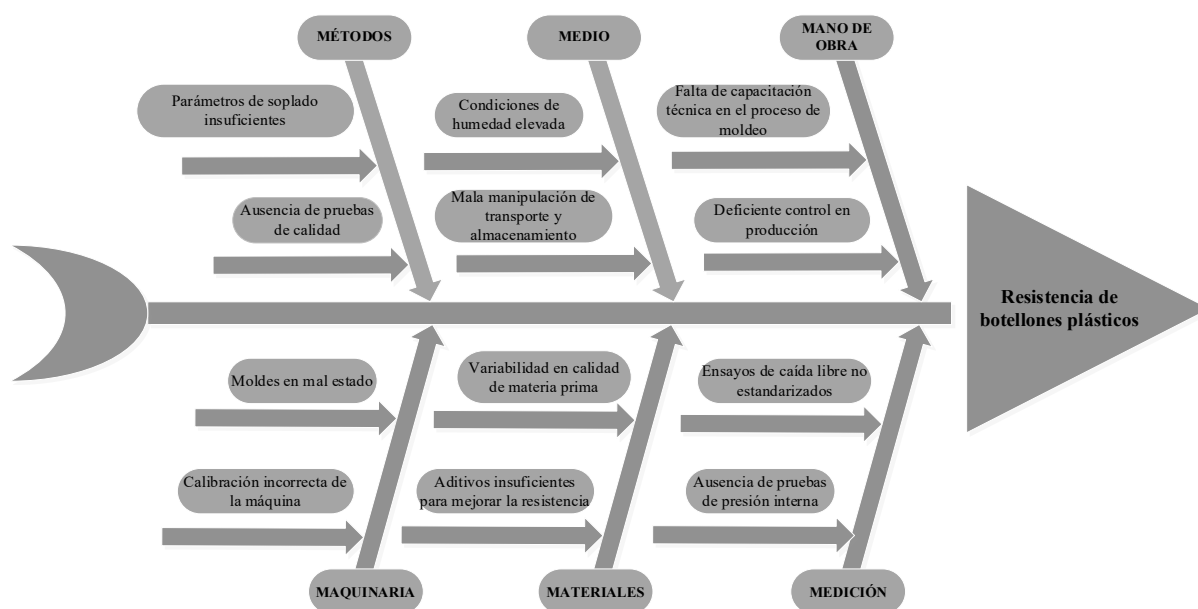
- Coeficiente $0.8 < k < 0.9$ es excelente.
- Coeficiente $0.5 < k < 0.8$ es aceptable.
- Coeficiente $k < 0.5$ es deficiente.

Como se aprecia en el Anexo 9, la calificación del instrumento donde se eligió por medio del cálculo una muestra finita dando como resultado solo 95 personas inmersas en el proceso de estudio, quienes proporcionaron la información solicitada para este cuestionario, los hallazgos fueron analizados mediante el coeficiente de alfa de Cronbach, que dio como resultado un valor de 0.76 que, relacionado con los criterios mencionados anteriormente, garantizan que los datos son confiables.

2.7. Diagnóstico de la situación problemática

Se desarrolló un diagnóstico encaminado a determinar las posibles causas que están afectando la resistencia de los botellones plásticos utilizados en empresas dedicadas a la producción y distribución de agua embotellada. Por esta razón, se aplicó la herramienta Ishikawa, ya que nos permitió identificar y dividir las principales causas que están ocasionando que estos materiales no cumplan con los estándares adecuados, considerando factores como métodos de fabricación, materiales, mano de obra, maquinaria y por último medio ambiente y medición o control de calidad como se evidencia en la Figura 9.

Figura 9. Causa del problema.

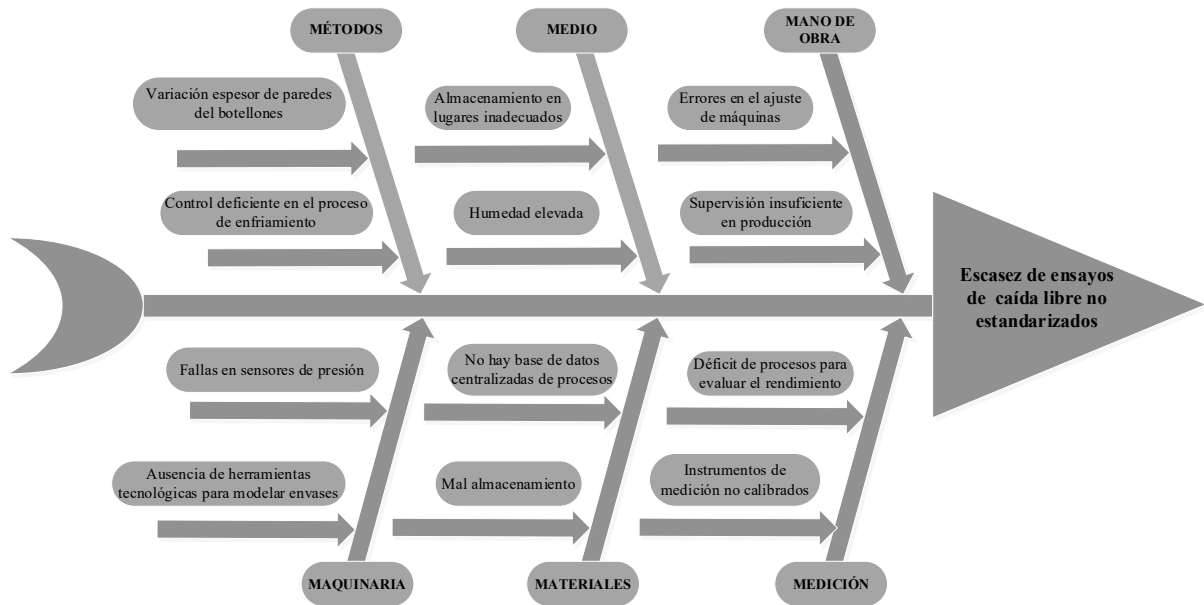


Nota. Elaborado por los autores.

El problema identificado se centra en la baja resistencia de los botellones plásticos utilizados por las industrias de agua embotellada, lo que acentúa la seguridad y durabilidad en su uso y transporte. A través de la Figura 9 se evidencian múltiples factores causales, entre ellos la variabilidad de calidad de materia prima, la falta de aditivos que mejoren la resistencia estructural y los parámetros inadecuados dentro del proceso de soplado. De la misma forma, influyen deficiencias en el mantenimiento y calibración de equipos, ausencia de pruebas de control de calidad, por ende, estos aspectos forjan fallas en la integridad de los envases, maximizando el riesgo ruptura, deformaciones y pérdidas durante la cadena logística.

La Figura 10 refleja la falta de ensayos de caída libre estandarizados para envases de material PET, lo que atribuye una limitante crítica al momento de evaluar de forma precisa la resistencia mecánica de los botellones plásticos. Consecuentemente, alega factores como la variación en las dimensiones y espesor de las paredes de los recipientes, errores de ajuste de máquinas, la ausencia de procesos sistemáticos para medir el rendimiento y la carencia de herramientas de medición calibrados generan resultados poco precisos en el análisis de la calidad.

Figura 10. Causa raíz del problema.



Nota. Elaborado por los autores.

El segundo diagrama presentado en la figura 10 muestra la causa raíz del problema radica en la escasez de ensayos de caída libre no estandarizados que impiden medir las características mecánicas de los envases plásticos ya que no se evidencia información viable acerca del tema. Es por esta razón, que surge la necesidad de crear un prototipo de ensayo por medio de caída libre de una masa esférica para estudiar las características técnicas y mecánicas de los productos plásticos.

CAPÍTULO III

PROPUESTA

3.1. Alternativas de soluciones

Se analizaron diferentes alternativas para evaluar la caracterización mecánica de los botellones plásticos establecidos en el Anexo 6 que engloba el procedimiento metodológico donde se por medio del análisis bibliométrico ejecutado en la sección 1.2 nos dio como resultado que se aplicaran tres metodologías la primera que resalto fue el diseño de prototipo de ensayo con el 45 % , consiguientemente la aplicación de ingeniería de métodos con un aporte del 35 % y finalmente para ver detalladamente cuanto duro el tiempo de ejecución del prototipo de ensayo se utilizó el estudio de tiempos.

3.2. Implementación de la propuesta

3.2.1. Fase 0: Requerimiento del prototipo

Bajo estos fundamentos se sigue la línea de acción requerida para la prueba de ensayo de caída de dardos hacia una superficie basándonos en las normativas encontradas para la creación del prototipo, que fueron la ASTM D2463 se utilizó para la construcción del prototipo, ASTM D1709 esta engloba las especificaciones técnica en la ejecución de los ensayo y por último la ISO 17025: 2017 que nos permitió validar la ejecución del mismo baso en ensayos de laboratorios tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Requerimiento del prototipo.

Especificaciones técnicas	
Estructura de soporte.	Caída vertical libre, sin desviaciones laterales; altura estándar de 660 mm (26 in) desde la base del dardo hasta la superficie de la muestra.
Dardo Tipo A.	Cabeza semiesférica, diámetro 38 mm (1.5 in), masa total variable mediante pesas calibradas.
Dardo Tipo B.	Cabeza semiesférica, diámetro 50.8 mm (2 in), masa total variable mediante pesas calibrada.
Anillo de sujeción.	Diámetro interno de 127 mm (5 in) ; fijación firme, sin arrugas en la película.
Espesor recomendado de muestras.	Hasta 1mm dependiendo de las características del material.
Acondicionamiento de muestras.	Temperatura de 23 ± 2 °C ; humedad relativa: 50 ± 5 % ; mínimo 40 h antes del ensayo.
Superficie de impacto.	Base plana, rígida; material duro (acero endurecido o aluminio rígido); sin absorción significativa de energía.
Altura de caída y liberación.	660 mm; liberación instantánea y sin fricción, sin vibraciones ni inclinaciones.
Criterio de fallo.	Perforación, rasgado, ruptura visible o desprendimiento en el punto de impacto.
Método de ensayo.	Método estadístico “up-and-down” (<u>Bruceton</u>) para determinar la masa crítica de ruptura.
Condiciones ambientales del ensayo.	23 ± 2 °C, 50 ± 5 % de humedad relativa.
Datos a registrar.	Tipo de dardo, masa total del dardo, número de muestras, porcentaje de fallas, masa crítica de impacto, observaciones de ruptura.

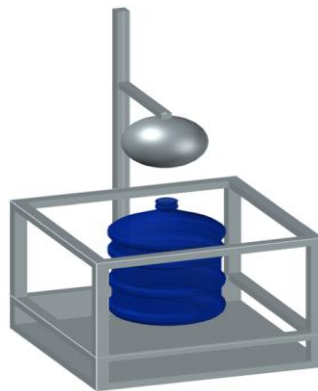
Nota. Elaborado por los autores.

3.2.2. Fase 1: Diseño de la estructura

3.2.2.1. Boceto final del prototipo de ensayo

La Figura 11 presentada corresponde a un prototipo de ensayo de caída libre, diseñado para evaluar la resistencia mecánica de botellones plásticos. El sistema está compuesto por una estructura metálica de soporte en forma de cubo, elaborada en perfiles rectangulares, que asegura estabilidad y rigidez durante el impacto. En el interior se ubica un botellón de agua de 20 litros (color azul) colocado en posición vertical como elemento de prueba, por otro lado, anclado a la estructura se dispone una esfera metálica de impacto, sostenida por un brazo guía acoplado a un perfil rectangular vertical. Finalmente, este diseño garantiza la repetibilidad del ensayo y permite analizar la resistencia al impacto y la deformación del material.

Figura 11. Boceto de prototipo en 3D.

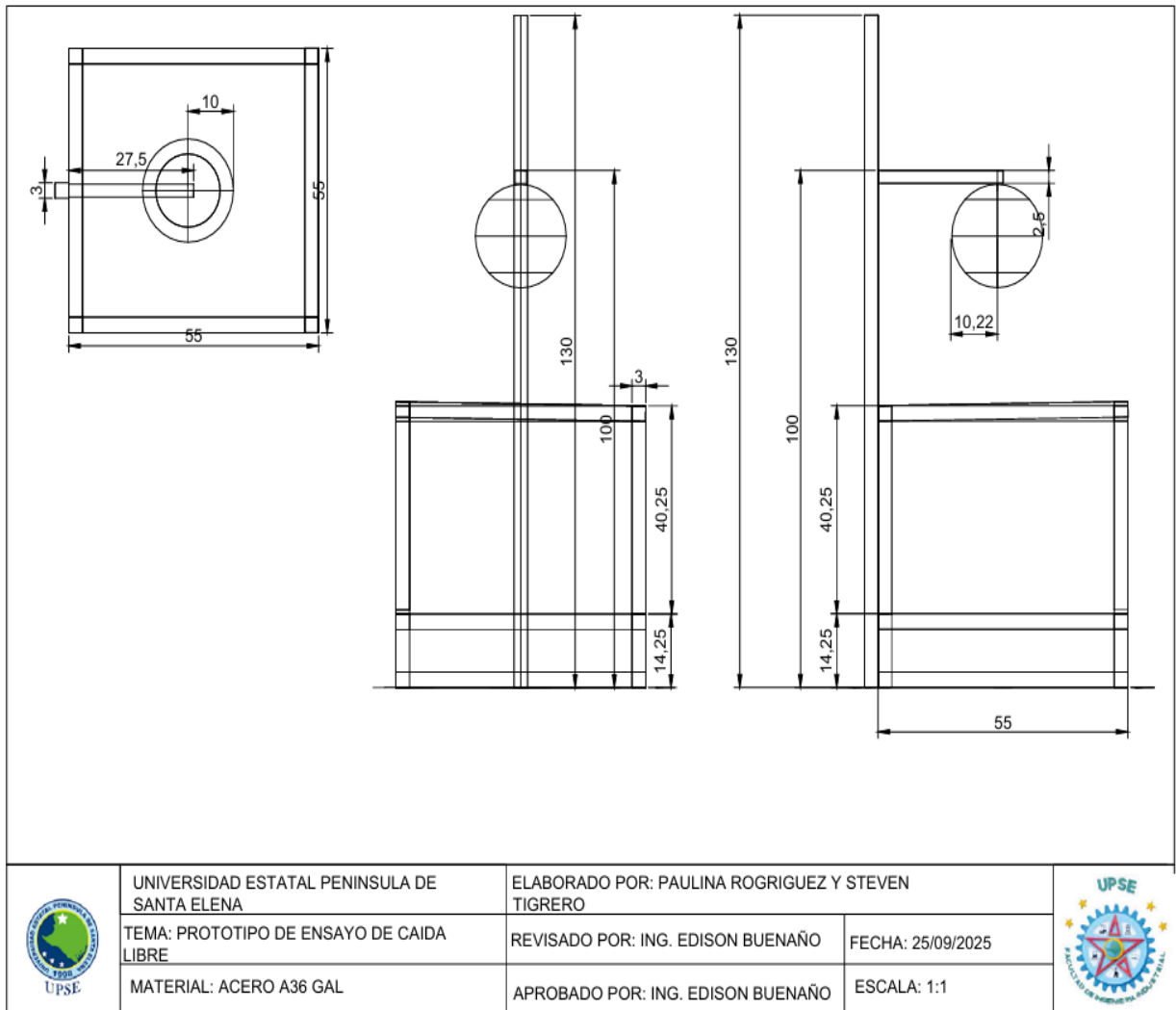


Nota. Elaborado por los autores.

3.2.2.2. Plano estructural en AutoCAD

En este apartado se muestra mediante la Figura 12, el diseño estructural del prototipo cumple con los criterios básicos de resistencia y estabilidad requeridos para un prototipo de ensayo de caída libre. El uso de acero galvanizado resulta adecuado, ya que combina propiedades mecánicas favorables con una protección superficial que incrementa la durabilidad frente a la corrosión. Las dimensiones de la base son de (55x55) cm con un espesor de 3 mm, y en la parte frontal tiene una ventana de (14.25x55) cm, y el restante de la parte frontal superior de la caja es de (40.25x55) cm. Además, esta soldado un tubo cuadrado de (2.5x1.5) cm de 100cm de altura y otro tubo cuadrado de (3x1.5) cm de 80 cm de altura, por otro lado, se sujeta un tubo cuadrado de (2.5x2.5) cm de 30cm de largo que soporta un peso una masa esférica.

Figura 12. *Diseño de estructura de prototipo.*

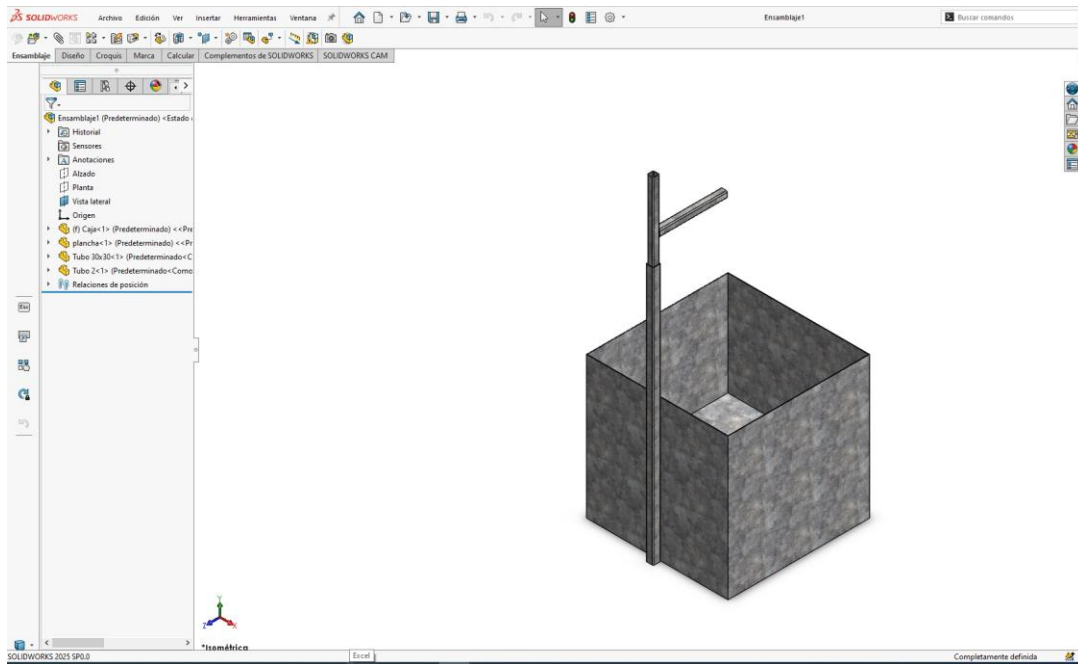


Nota. Elaborado por los autores.

3.2.2.3. Diseño de prototipo en SolidWorks

Por medio del software SolidWorks se realizó el modelo tridimensional del prototipo basados en sus características principales y las dimensiones precisas, por ende, permitió visualizar los componentes idóneos para el ensamble de las estructuras, tal como se aprecia en la Figura 13.

Figura 13. *Diseño tridimensional del prototipo.*

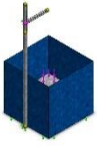
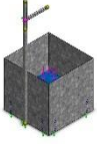
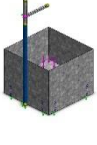
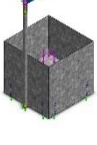
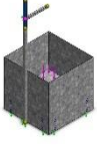


Nota. Elaborado por los autores.

Como se aprecia en la tabla 8 las propiedades físicas y volumétricas del prototipo de ensayo modelado en su totalidad en el software SolidWorks por medio de este se diagnosticaron dos elementos esenciales expresados en masas de 23.67kg y 7.04 kg, que conforman volúmenes hasta 0.000894348 m^3 , conjuntamente bajo una densidad constante de 7.870 kg/m^3 que fueron diseñados específicamente en un solo material de acero galvanizado alegando un peso total del 68.98N.

Adicionalmente, se incluyen piezas definidas por área de sección y longitud, lo que permite calcular sus volúmenes y propiedades derivadas. Una sección de $0,000213699 \text{ m}^2$ con longitud de 1.000 mm presenta un volumen de $0,000213699 \text{ m}^3$, mientras que otra sección de $0,000173699 \text{ m}^2$ con longitud de 262,5 mm alcanza un volumen de $4,56 \times 10^{-5} \text{ m}^3$, generando una masa de 0,36 kg y un peso de 3,52 N y un último componente con la misma área de sección de $0,000173699 \text{ m}^2$ y longitud de 1.300 mm reporta un volumen de $0,000225809 \text{ m}^3$, equivalente a una masa de 1,78 kg y un peso de 17,42 N.

Tabla 8. Ensamble de prototipo.

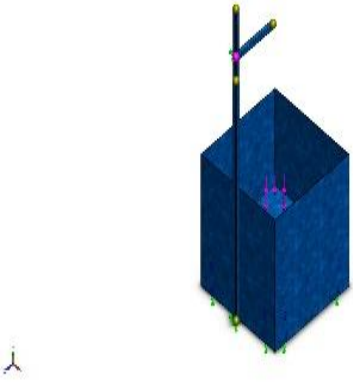
Referencia del modelo	Propiedades volumétricas
	<p>Masa: 23,6685 kg. Volumen: 0,00300743 m³. Densidad: 7,870 kg/m³. Peso: 231,951 N.</p>
	<p>Masa: 7,03852 kg. Volumen: 0,000894348 m³. Densidad: 7,870 kg/m³. Peso: 68,9775 N.</p>
	<p>Área de sección: 0,000213699m². Longitud: 1.000 mm. Volumen: 0,000213699 m³.</p>
	<p>Área de sección: 0,000173699 m². Longitud: 262,5 mm. Volumen: 4,5596e-05m³. Densidad: 7.870kg/m³. Masa: 0,358841kg. Peso: 3,51664 N.</p>
	<p>Área de sección: 0,000173699 m². Longitud: 1.300 mm. Volumen: 0,000225809 m³. Densidad: 7.870 kg/m³. Masa: 1,77712 kg. Peso: 17,4157 N.</p>

Nota. Elaborado por los autores.

Mediante la tabla 9 se presenta las propiedades del material elegido para la construcción del prototipo especialmente hecho en acero galvanizado que alega un modelo isotrópico con un límite elástico lineal, ya que permite utilizarse bajo condiciones de uso en diversas direcciones empleando esfuerzos dinámicos, englobando un análisis estructural mediante el cálculo de la tensión máxima de Von Mises efectuado en la simulación de elementos en el campo de la ingeniería mecánica e industrial.

Consecuentemente, las propiedades calculadas en el material alegan un límite elástico de 10^8 N/m², ya que soporta una tensión sin deformación plástica, también se aprecia una tracción del material de $3,57 \times 10^8$ N/m², brindando una resistencia uniforme al prototipo creado en el software de simulación. También se obtuvo el resultado del modulo de elasticidad de $2,0 \times 10^{11}$ N/m², y última instancia presenta una densidad de 7.870 kg/m³ respectivamente.

Tabla 9. *Propiedades de material.*

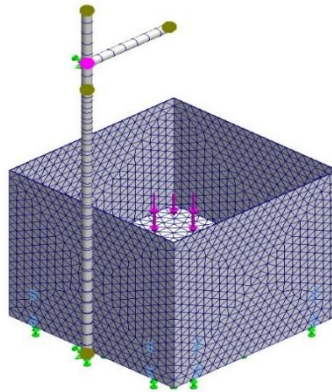
Referencia del modelo	Propiedades	
	Nombre:	Acero galvanizado.
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal.
	Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx..
	Límite elástico:	2,03943e+08 N/m ² .
	Límite de tracción:	3,56901e+08 N/m ² .
	Módulo elástico:	2e+11 N/m ² .
	Coefficiente de Poisson:	0,29.
	Densidad:	7.870 kg/m ³ .

Nota. Elaborado por los autores.

La Figura 14 muestra la generación de la malla aplicada en el análisis por elementos finitos, donde se emplearon elementos sólidos tetraédricos para la estructura cúbica y elementos de viga para los componentes cilíndricos. La discretización presenta una distribución homogénea, lo que garantiza un adecuado nivel de precisión en el cálculo de tensiones, desplazamientos y deformaciones. Asimismo, se evidencian las condiciones de frontera con

apoyos fijos en la base y cargas aplicadas en la parte superior, lo que valida el modelo numérico y asegura resultados confiables en la simulación estructural del prototipo.

Figura 14. *Calidad de malla.*



Nota. Elaborado por los autores.

A continuación, la tabla 10 muestra las fuerzas de reacción, conjunto de selecciones bajo unidades expresadas en coordenada de x, y e z, lo que indica un punto de equilibrio alegando una correcta aplicación de las fronteras, teniendo como resultado una fuerza resultante de 9.81 N.

Tabla 10. *Fuerzas de reacción.*

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo.	N	-7,3814e-06	9,80999	-1,59503e-05	9,81

Nota. Elaborado por los autores.

La Tabla 11 representa los resultados totales del modelo expresado en unidades de medidas expresa en Newton, donde la fuerza resultante es de 0.475957 se afirma que las condiciones de la carga se concentran bajo una dirección vertical, transversal garantizando la adaptación del comportamiento de la estructura

Tabla 11. *Fuerzas de cuerpo libre.*

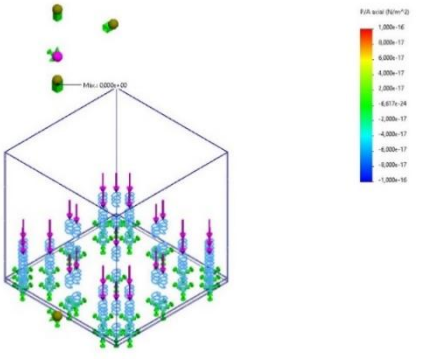
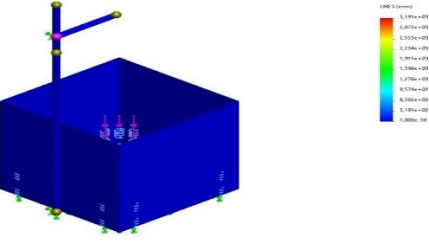
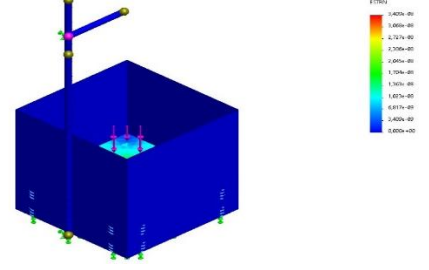
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo.	N	-0,0209824	0,475279	-0,0142848	0,475957

Nota. Elaborado por los autores.

3.2.2.4. Análisis de estructuras en SolidWorks

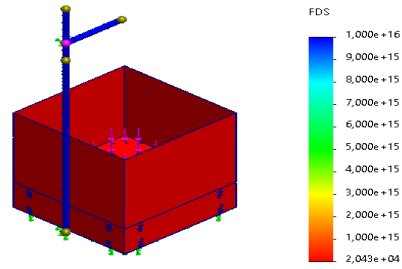
Como se evidencia en la tabla 12, donde se expresan los resultados de ensayos de la estructura basado en cuatro experimentos que son: ensayo de tensión, de desplazamiento, deformación unitaria y finalmente el factor de seguridad de los componentes efectuados dentro del análisis de la simulación en el software SolidWorks.

Tabla 12. Análisis de tipos de ensayos de la estructura.

Tipos de ensayos	Interpretación	Resultado
<p>Ensayo de tensión.</p>	<p>La gráfica muestra los resultados del ensayo efectuado bajo la tensión máxima de resultante del $1,00 \times 10^{-16}$ N/m² (color rojo) y una mínima de $1,00 \times 10^{-16}$ N/m² (color azul oscuro) que se ilustran por las flejas.</p>	
<p>Ensayo de desplazamiento.</p>	<p>En la figura se visualiza la muestra expresa en milímetros con una variación del $1,00 \times 10^{-30}$ mm (mínimo) hasta $3,917 \times 10^3$ mm (máximo).</p>	
<p>Ensayo de deformaciones unitarias.</p>	<p>La imagen muestra los resultados por medio de las flejas de color verde de máxima por cargas de deformación resultante del $3,496 \times 10^{-8}$, mecánica aplicada.</p>	

Ensayo de factor de seguridad.

La imagen demuestra la escala por medio de tonalidad color rojo dando respuesta al límite crítico de $2,043 \times 10^4$ hasta $1,000 \times 10^{16}$ resultantes de los esfuerzos aplicados a la caja.



Nota. Datos obtenidos de SolidWorks.

3.2.2.5. Selección de materiales

Asimismo, la Tabla 13 presentada detalla de manera técnica los materiales y componentes empleados en la construcción del prototipo de ensayo de caída libre, agrupando tanto elementos estructurales como accesorios y dispositivos electrónicos.

Tabla 13. *Lista de materiales.*

N.º	Materiales
1	Angulo NOVA 1 x 2 mm (25x2)mm.
2	Tubo cuadrado galvanizado NOVA 1x1.5 mm (25x1.5) mm.
3	Plancha galvanizada 1/16' 140mm 122x244 cm.
4	Plancha galvanizada 1/40' 0.45 mm 122x244 cm.
5	Remaches de brida grande 1/8" x 1/4".
6	Broca de taladro para remaches.
7	Bisagras de 2".
8	Resortes de 3cm de diámetro y 10 cm de largo.
9	Pintura blanca.
10	Diluyente.
11	Spray negro.
12	Grapa doble tipo U 1".
13	Grapa doble tipo U 1-1/4".

14	Regatones cuadrado interior 1".
15	Regatones cuadrado interior 1-1/4".
16	Electroimán de succión 55kg .
17	Bola de lanzamiento de 1kg.
18	Electrodos AGA 6011.
19	Electrodos E 7018.

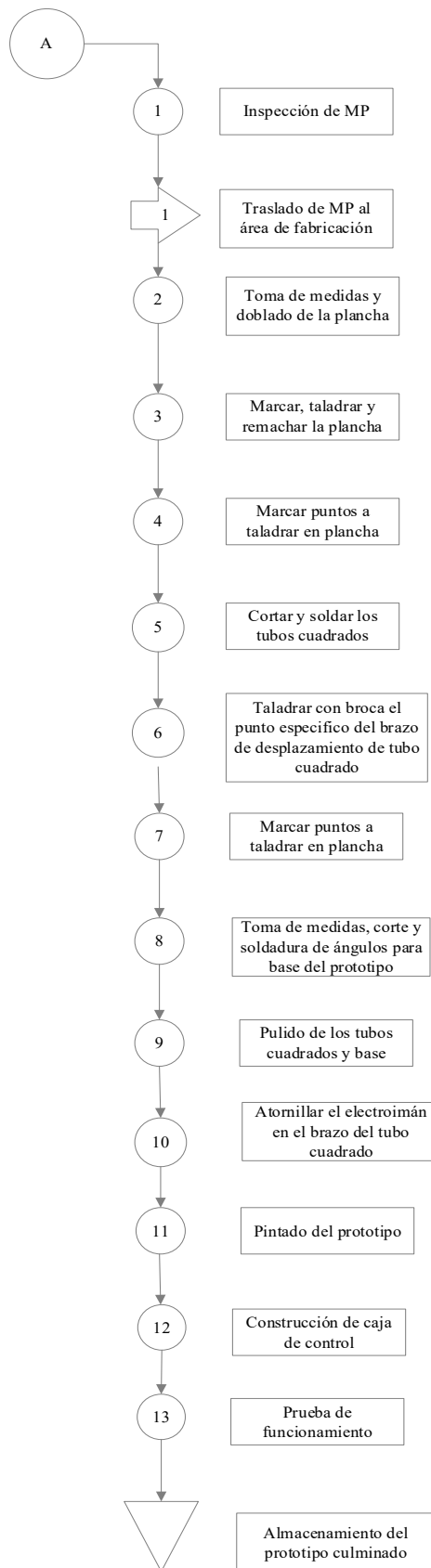
Nota. Elaborado por los autores.

3.2.3. Fase 2: Construcción del prototipo

3.2.3.1. DOP del proceso de elaboración del prototipo

Para la construcción de la estructura del prototipo de ensayo, se elaboró un mapa de operaciones del proceso, mediante el cual se visualiza de manera detallada cada una de las etapas que intervienen en su fabricación. Este esquema permite identificar la secuencia lógica de las actividades, los recursos requeridos y los puntos de control necesarios para garantizar la precisión y calidad del ensamblaje como se aprecia en la Figura 15.

Figura 15. Diagrama de operaciones del proceso.

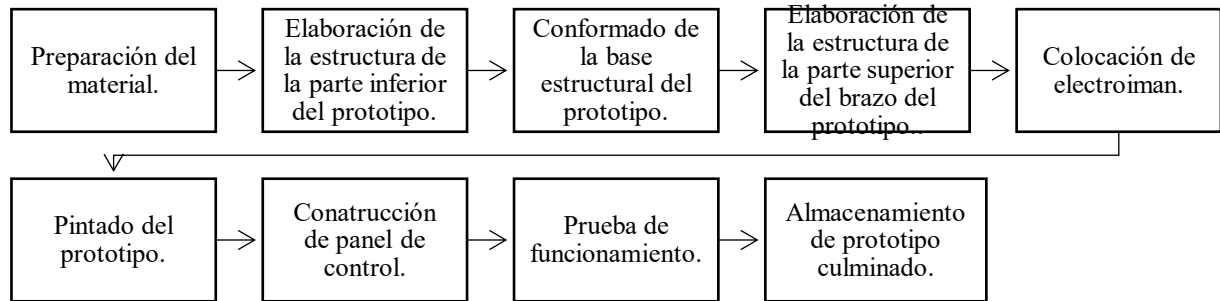


Nota. Elaborado por los autores.

3.2.3.2. Proceso de fabricación de prototipo de ensayo de caída libre

Mediante la Figura 16, se visualiza de forma secuencial la elaboración del prototipo de ensayo de caída libre, por ende, su secuencia del montaje de la estructura comienza con la preparación del material hasta tener el prototipo culminado, esto brinda un proceso organizado y eficaz, de tal manera que permite la construcción del prototipo funcional.


Figura 16. Proceso de fabricación del prototipo de ensayo.



Nota. Elaborado por los autores.

En la Tabla 14 se presenta el proceso de ensamble de la estructura del prototipo de ensayo desde se detalla por cada ítem, descripción y una ilustración como evidencia del proceso de construcción de la base estructural hasta la finalización del montaje de todos sus componentes para luego pasar a realizar el circuito de lectura por el cual se toman los datos para proceder a empezar las pruebas de funcionamiento mediante el estudio tiempos y movimientos.

Tabla 14. Procedimiento de ensamble del prototipo de ensayo.

Proceso descriptivo del ensamble del prototipo de ensayo		
Ítems	Descripción	Ilustración gráfica
1	Se seleccionaron perfiles estructurales de acero galvanizado tipo A36, debido a su alta resistencia mecánica y excelente comportamiento frente a la corrosión. Entre los materiales empleados se incluyen tubos cuadrados de 25 mm y 30 mm de espesor, con longitudes de 2 metros entre los dos, los cuales conforman la base y el armazón principal del prototipo.	

-
- 2 En este proceso se marcan los puntos de perforación en la plancha galvanizada, una vez completadas las operaciones de trazado, corte y doblado, hasta conformar un cubo de $55,5 \times 55,5$ cm. Posteriormente, los puntos definidos se remachan para asegurar las uniones estructurales, dejando en la parte frontal una abertura de 15 cm que funciona como ventana de acceso, articulada mediante dos bisagras remachadas. En el interior, a la misma altura, se instala una bandeja metálica galvanizada sostenida por cuatro resortes de 10 cm de longitud, los cuales se fijan mediante dos soportes angulares en forma de “L”.



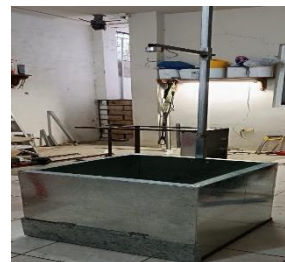
- 3 En esta parte se toma las medidas correctas de los ángulos de (25x2) mm de espesor y platina de (25x6) mm de espesor, para realizar el corte y ensamble que conformarán la base del prototipo para sostener la caja y los tubos cuadrado.



- 4 En esta parte se toma las medidas correctas de los tubos cuadrados para su respectivo corte, tenemos un tubo cuadrado (3x1.5)mm de 80cm que se suelda a lo largo con un tubo cuadrado de (2.5x1.5)mm de 100cm , éste se estabilizará con la base ya realizada y una abrazadera cuadrada con remaches a mi cubo de las planchas galvanizadas y lo que me permitirá deslizar mi brazo del electroimán con el peso será el proceso de taladrar con broca un punto de otro tubo cuadrado (3x1.5)mm de 10 cm de largo para soldar la tuerca en el orificio del centro de este tubo cuadrado, soldamos también en la parte central de frente del tubo cuadrado (3x1.5)mm, un tubo cuadrado de (2.5x1.5)mm de 30 cm de largo para atornillar el electroimán al final de este tubo para que sostenga los diferentes pesos propuestos.



- 5 En última instancia se coloca y ajusta el electroimán que se encargara de soportar el peso de la masa esférica de 1 kg que se deja caer de distintas alturas para poder medir la resistencia al impacto de caída libre de un peso hacia un botellón de plástico de 20 litros.



-
- 6 Se procede a pintar toda la estructura del prototipo utilizando pintura anticorrosiva color blanco y pintura spray color negro, también se ubicó desoxidante al cuadro base de platinas y ángulos.

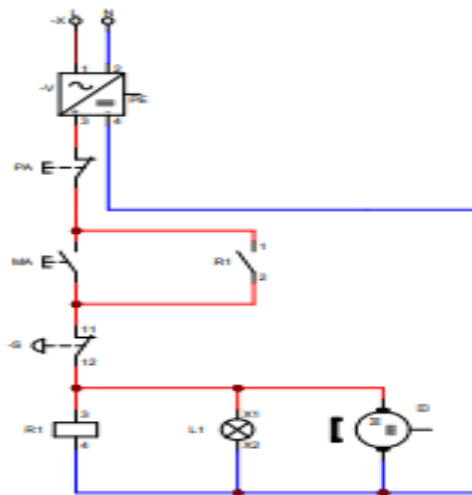


Nota. Elaborado por los autores.

3.2.3.3. Desarrollo del circuito de panel de control y armado de la caja

Como se aprecia en la Figura 17 donde se representa por medio de simbologías los componentes que se utilizaron para armar el circuito de lectura del prototipo que tiene una conexión a eficaz para medir la resistencia del impacto que genera la ruptura de los botellones plásticos.

Figura 17. *Circuito de control del prototipo.*



Nota. Elaborado por los autores en Cade Simu.

A continuación, en la Tabla 15 se muestra el proceso detallado de la construcción del panel de control que estará ligado a la estructura con la finalidad de procesar los datos generados por los sensores que indicaran a que altura el botellón de plástico tiende a partirse bajo el análisis de resistencia a la caída de masa de bola de acero.

Tabla 15. Armado de panel de control.

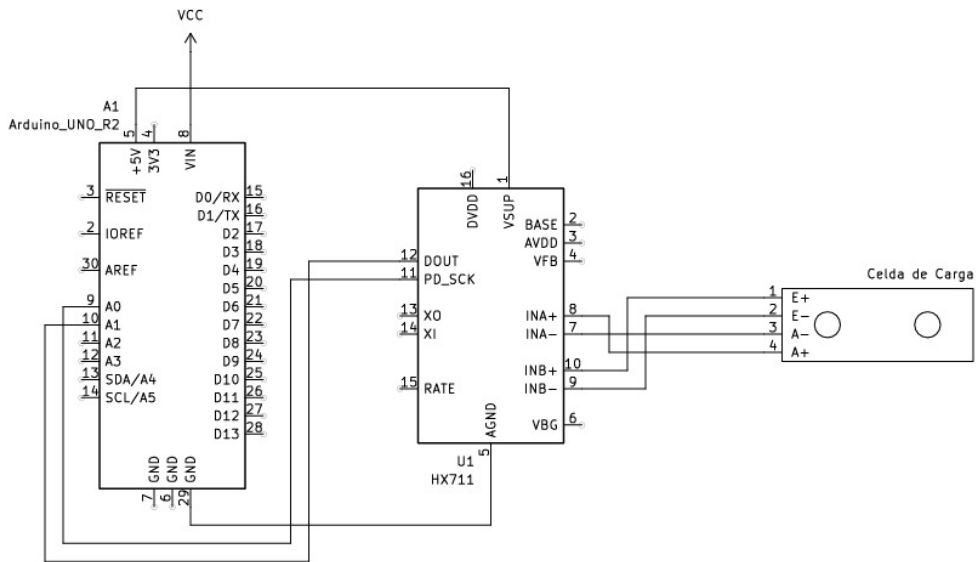
Descripción	Herramientas	Ilustración gráfica
<p>Se ubicó las respectivas conexiones eléctricas dentro de la caja de control de 25x15x10cm. Esta caja contiene: Relé 25A 24 VDC/24-480 VAC, pulsadores, paro de emergencia, luz piloto que me permite comprobar que el electroimán está energizado y puedo ubicar el peso hasta 55kg y cargador de 24v 1. 5a.</p>	<p>Taladro con broca cónica, playo, cortador, estilete, destornillador estrella.</p>  	  

Nota. Elaborado por los autores.

3.2.4. Fase 3: Circuito de lectura

Como siguiente etapa se desarrolló en el software Cade Simu, donde se colocaron los siguientes componentes célula de lectura, HX711 y Arduino para obtener datos fidedignos que demuestren que los botellones cumplen con su resistencia mecánica al momento de ser impactada desde dos alturas en específico con una masa esférica de 1 kg. Tal como se aprecia en la Figura 18.

Figura 18. *Elaboración de circuito de lectura.*



Nota. Elaborado por los autores en Cade Simu.

3.2.5. Fase 4: Pruebas de funcionamiento

Para las pruebas finales y funcionamiento del prototipo, fue necesario la elección de materiales a utilizar, en este caso polietileno de tereftalato (PET) y polipropileno (PP), el cual fue adquirido de empresas dedicadas a la producción de envases de plásticos, tomando como punto de referencia 3 clases de botellones seleccionados. Se identificó el material debido a sus especificaciones como se aprecia en la siguiente Tabla 16.

Tabla 16. *Especificaciones del PET y PP.*

Material	Resistencia	Maleabilidad	Indicadores de retorno
PET	Media	Media	Alto
PP	Alta	Alta	Alta

Nota. Elaborado por los autores.

A continuación, se muestra mediante la Tabla 17 las propiedades térmicas y mecánicas de los botellones elaborados por medio de soplado los cuales hacen énfasis en los parámetros indexados en los tratamientos.

Tabla 17. Propiedades físicas polipropileno (PP).

PROPIEDADES	MÉTODOS DE ENSAYO ISSO/(IEC)	UNIDADES	VALORES
Color.	-	-	
Densidad.	DIN 53479	g/cm ³	0,91
PROPIEDADES TÉRMICAS			
Temperatura de fusión .	Din 53736	°C	165
Conductividad térmica (23°C).	-	W/(k-m)	0,22
Temperatura de transición vítrea.	-	10 ⁵ * (1k)	-18
Capacidad calórica específica (23°C).	-	5 (g.k)	1,7
Temperatura máxima de servicio:	-	-	-
En periodos cortos.	-	°C	130
En periodos largos.	-	°C	100
Coefficiente de dilatación lineal.	-	10,1k	11
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Ensayo de tracción .	-	-	-
Esfuerzo en el punto de fluencia.	DIN53455	MPa	35
Elongación a la rotura.	DIN53455	%	650
Módulo de elasticidad a la tensión.	DIN53457	-	1
Resistencia al impacto.	DIN53457	KJ/m ²	No rompe
Coefficiente dinámico de fricción.	-	N/mm ²	0,3
Dureza a la bola (30s).	DIN53457	Mpa	80

Nota. Elaborado por los autores.

De la misma forma se presenta la Figura 19 con las propiedades de los materiales del polietileno tereftalato (PET) donde distribuye cada uno de sus parámetros de medición o resistencia tal como se detalla a continuación:

Figura 19. Propiedades físicas politereftalato de etileno (PET).

PROPIEDADES	Metodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color		Natural	BL/Ne
Densidad	1183	g/cm ³	1,39
Absorcion de agua:			
despues de estar 24/96 h sumergido en agua a 23°C	62	mg	6-13
hasta la saturacion en aire a 23°C / 50% HR	62	%	0,07/0,16
hasta la saturacion en aire a 23°C		%	0,25
		%	0,5
PROPIEDADES TERMICAS			
Temperatura de Fusion		°C	255
Conductividad termica a 23°C		W/(K-m)	0,29
Coefficiente de dilatacion termica lineal:			
-Valor medio entre 23 y 60 °C		m/(m-K)	60-10 ⁻⁶
-Valor medio entre 23 y 100°C		m/(m-K)	80-10 ⁻⁶
Temperatura por deformacion por carga:			
-por metodo A: 1,8MPa	75	°C	75
Temperatura maxima de servicio en aire:			
-en periodos cortos		°C	160
-en continuo: durante 5.000/20.000 h		°C	115/100
Temperatura minima de servicio			-20
Inflamabilidad			
-Indice de oxigeno	4589	%	25
-con respecto a la clasificacion UL 94 (para 3/6 mm de espeso)			HB/HB
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C			
Ensayo de tracción			
-esfuerzo de tension para fluencia	527	MPa	90
-elongacion a la rotura			15
-modulo de elasticidad			3.700
Ensayo de compresion			
-esfuerzo al 1/2/5% de deformación	604	MPa	26/51/103
Ensayo de fluencia a traccion			
-esfuerzo necesario para producir un 1% de deformación las 1.000h	899	Mpa	26
Resistencia al impacto Charpy-sin entalla	179/1eU	kJ/m2	≥50
Resistencia al impacto Charpy-con entalla	179/1eU	kJ/m2	2
Resistencia al impacto Izod- con entalla	180/2A	kJ/m2	2
Dureza con bola	2039-1	N/mm2	170
Dureza Rockwell	2039-2		M96
PROPIEDADES ELECTRICAS A 23°C			
Resistencia dielectrica	60243	KV/mm	22
Resistividad volumetrica	60093	Ω-cm	>10 ¹⁵
Resistividad superficial		Ω	>10 ¹⁵
Permeabilidad relativa			
-a 100 Hz	60250		3,4
-a 1 Hz	60250		3,2
Factor de perdidas dielectricas a			
-a 100 Hz	60250		0,001
-a 1 MHz	60250		0,014
Indice comparativo de la resistencia a la descarga superficial (CTI)	60112		600

Nota. Tomado de la página oficial de Elaplas.

3.2.5.1. Levantamiento de procesos en función del funcionamiento del prototipo de ensayo de caída libre

Levantamiento de procesos en función de las pruebas secuenciales involucradas en el estudio de resistencia mecánica de los botellones plásticos donde este inicia con el encendido del sistema de control hasta el análisis de datos. Consecuentemente, se planifica la secuencia

de los tiempos y movimientos del botellón al momento de desarrollar las pruebas. Como se visualiza en la Tabla 18.

Tabla 18. *Etapas del funcionamiento del prototipo de ensayo.*

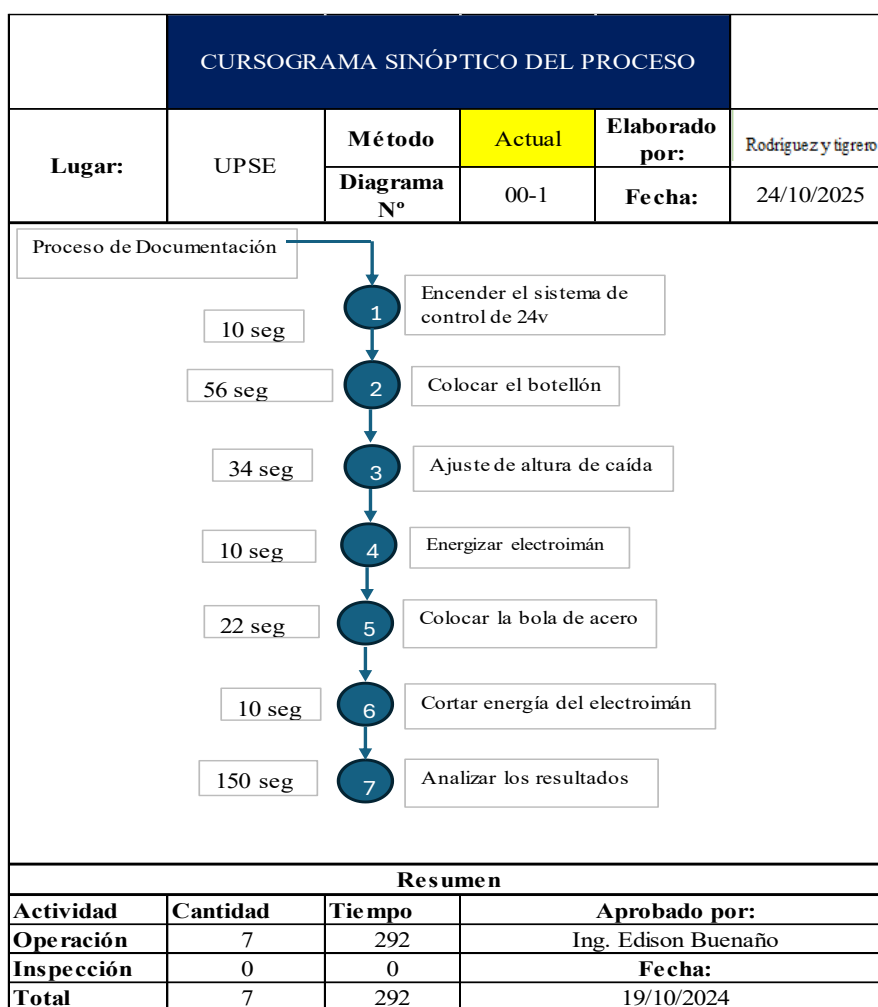
N°.	Descripción de las operaciones
1	Encender el sistema de control.
2	Colocar el botellón.
3	Ajustar la altura de caída.
4	Energizar electroimán.
5	Colocar la bola de acero.
6	Cortar energía del electroimán.
7	Análisis de datos.

Nota. Elaborado por los autores.

3.2.5.2. Cursograma sinóptico del proceso

El cursograma sinóptico es una herramienta que muestra de qué manera se realizan los procesos de funcionamiento del prototipo paso a paso, por ende, en la Figura 20 muestra que el proceso consta de siete etapas, por tal motivo detalla el inicio y fin del funcionamiento del prototipo que consta de un ciclo de 4.58 minutos.

Figura 20. Cursograma sinóptico del proceso.













Nota. Elaborado por los autores.

3.2.5.3. Cursograma analítico del proceso

Se realizó un cursograma analítico del proceso de funcionamiento del prototipo de ensayo el cual se caracteriza por contar de 10 actividades donde se dividen en almacenamiento, operación, transporte, inspección y demora. Asimismo, este proceso tiene 7 operaciones y un transporte y almacenamiento, además se tiene una distancia de 2 metros y el proceso tiene un tiempo de ciclo de 5.9 minutos como se ilustra en la Figura 21.

Figura 21. *Cursograma analítico del proceso de funcionamiento del prototipo.*

CURSOGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO										
Hoja N° <u> 1 </u> De: <u> 1 </u> Diagrama N°: <u> 1 </u>			Operar X	Mater.	Maqui.					
Proceso: Pruebas de ensayo		RESUMEN								
Fecha: 24-10-2025		SÍMBOLO	ACTIVIDAD	Act.	Pro.	Econ.				
El estudio Inicia: Análisis de resistencia mecánica de botellones plásticos			Operación	7						
Método: Actual			Transporte	1						
Producto: Botellones de 20 litros			Inspección	1						
Elaborado por: Paulina Rodríguez y Steven Tigrero			Espera	0						
Tamaño del Lote:			Almacenaje	1						
		Total de actividades realizadas		10,0						
		Distancia total en metros		2,0						
		Tiempo min/hombre		5,9						
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Cantidad	Distancia metros	Tiempo Segundos	SÍMBOLOS PROCESOS					
										
1	Almacenamiento			0,0						
2	Traslado de materia prima al área de operación		2,0	25,0						
3	Encender el sistema de control			10,0						
4	Inspección de ajuste de celda de carga			36,0						
5	Colocar el botellón en la base de la estructura			56,0						
6	Ajustar altura de caída			34,0						
7	Energizar el electroiman			10,0						
8	Colocar el peso en el electroiman			22,0						
9	Cortar energía de electroiman			10,0						
10	Análisis de resultados			150,0						
Tiempo Minutos: 5,9		m	2,0	353,0	s					

Nota. Elaborado por los autores.

Funcionamiento

Para el funcionamiento del prototipo y el análisis de ensayos de caída libre hacia los botellones plásticos de 20 litros se tomaron como referencia la normativa de ensayo de laboratorio 17025:2017 que se detalla de manera específica en el punto 3.8.

Tiempo promedio de ensayo

Se realizaron dieciséis tratamientos experimentales, variando de manera sistemática tres factores principales: la altura de caída, el tipo de material del envase y la orientación en el momento del impacto. Cada combinación fue ejecutada con el fin de evaluar el comportamiento estructural del envase bajo condiciones controladas de ensayo. Tal como se presenta en la Tabla 19, la altura de caída utilizada en las pruebas abarca un rango desde 0,60 m, correspondiente al mínimo nivel de energía de impacto, hasta 1,80 m, representando el máximo nivel solicitado para el estudio. Esta variación permitió analizar cómo el incremento de altura influye directamente en la fuerza de impacto y en la presencia de daños superficiales o estructurales en

los envases. Asimismo, los tratamientos contemplaron diferentes orientaciones (vertical y horizontal), con el objetivo de simular las posibles condiciones reales de manipulación durante su uso o transporte. De esta manera, el diseño experimental permitió obtener resultados comparativos para determinar la resistencia mecánica del material frente a impactos.

Tabla 19. *Altura promedio de ensayo.*

N.º	Tratamiento	Material (A)	Altura (B)	Orientación (C)
1	T1	PET	1,50	Vertical
2	T2	PET	1,80	Horizontal
3	T3	PET	0,60	Vertical
4	T4	PET	0,80	Horizontal
5	T5	PET	1,80	Vertical
6	T6	PET	1,50	Horizontal
7	T7	PET	0,80	Vertical
8	T8	PET	0,60	Horizontal
9	T9	PP	1,50	Vertical
10	T10	PP	1,80	Horizontal
11	T11	PP	0,60	Vertical
12	T12	PP	0,80	Horizontal
13	T13	PP	1,80	Vertical
14	T14	PP	1,50	Horizontal
15	T15	PP	0,80	Vertical
16	T16	PP	0,60	Horizontal

Nota. Elaborado por los autores.

Como se aprecia en la Tabla 20, el número de tratamientos ejecutados al prototipo de ensayo por medio de caída libre de un peso de 1 kg constante a dos tipos de materiales; son PET y PP, los cuales se realizaron en orientaciones tanto vertical como horizontal, donde se evidencia como resultado de rotura, observaciones hechas en cada ensayo, dando como resultado la velocidad final de impacto, tiempo en detención y por último, la fuerza de impacto con la que cae la masa esférica hacia al botellón.

Tabla 20. Resultado de los tratamientos.

Nº	Tratamiento	Material	Altura (metros)	Orientación	Resultado: Rotura (Si/No)	Masa de caída libre (kg)	Vf de impacto(m/s)	Tiempo en detención	Peso de impacto (Kg)	Fuerza de impacto (N)	Lectura del sensor
1	T1	PET	1.50	Vertical	No	1	5.425	0.015	0.142	1.393	120601
2	T1	PET	1.50	Vertical	No	1	5.425	0.015	0.143	1.403	120602
3	T1	PET	1.50	Vertical	No	1	5.425	0.015	0.143	1.403	120602
4	T2	PET	1.80	Horizontal	No	1	5.943	0.018	0.158	1.550	121320
5	T2	PET	1.80	Horizontal	No	1	5.943	0.018	0.159	1.560	121321
6	T2	PET	1.80	Horizontal	No	1	5.943	0.018	0.159	1.560	121321
7	T3	PET	0.60	Vertical	No	1	3.431	0.010	0.115	1.128	965594
8	T3	PET	0.60	Vertical	No	1	3.431	0.010	0.116	1.138	965595
9	T3	PET	0.60	Vertical	No	1	3.431	0.010	0.115	1.128	965594
10	T4	PET	0.80	Horizontal	No	1	3.962	0.013	0.123	1.207	965603
11	T4	PET	0.80	Horizontal	No	1	3.962	0.013	0.123	1.207	965603
12	T4	PET	0.80	Horizontal	No	1	3.962	0.013	0.123	1.207	965603
13	T5	PET	1.80	Vertical	No	1	5.943	0.018	0.149	1.462	120713
14	T5	PET	1.80	Vertical	No	1	5.943	0.018	0.148	1.452	120712
15	T5	PET	1.80	Vertical	No	1	5.943	0.018	0.149	1.462	120713
16	T6	PET	1.50	Horizontal	No	1	5.425	0.015	0.152	1.491	120716
17	T6	PET	1.50	Horizontal	No	1	5.425	0.015	0.153	1.501	120717
18	T6	PET	1.50	Horizontal	No	1	5.425	0.015	0.153	1.501	120717
19	T7	PET	0.80	Vertical	No	1	3.962	0.013	0.122	1.197	965601
20	T7	PET	0.80	Vertical	No	1	3.962	0.013	0.122	1.197	965601
21	T7	PET	0.80	Vertical	No	1	3.962	0.125	0.121	1.187	965600
22	T8	PET	0.60	Horizontal	No	1	3.431	0.010	0.117	1.148	965596

23	T8	PET	0.60	Horizontal	No	1	3.431	0.010	0.118	1.158	965597
24	T8	PET	0.60	Horizontal	No	1	3.431	0.010	0.118	1.158	965597
25	T9	PP	1.50	Vertical	No	1	5.425	0.015	0.138	1.354	120558
26	T9	PP	1.50	Vertical	No	1	5.425	0.015	0.139	1.364	120559
27	T9	PP	1.50	Vertical	No	1	5.425	0.015	0.139	1.364	120559
28	T10	PP	1.80	Horizontal	No	1	5.943	0.018	0.156	1.530	121318
29	T10	PP	1.80	Horizontal	No	1	5.943	0.018	0.157	1.540	121319
30	T10	PP	1.80	Horizontal	No	1	5.943	0.018	0.157	1.540	121319
31	T11	PP	0.60	Vertical	No	1	3.431	0.010	0.113	1.109	965592
32	T11	PP	0.60	Vertical	No	1	3.431	0.010	0.114	1.118	965593
33	T11	PP	0.60	Vertical	No	1	3.431	0.010	0.114	1.118	965593
34	T12	PP	0.80	Horizontal	No	1	3.962	0.013	0.120	1.177	965599
35	T12	PP	0.80	Horizontal	No	1	3.962	0.013	0.121	1.187	956600
36	T12	PP	0.80	Horizontal	No	1	3.962	0.013	0.121	1.187	965600
37	T13	PP	1.80	Vertical	No	1	5.943	0.018	0.148	1.452	120712
38	T13	PP	1.80	Vertical	No	1	5.943	0.018	0.147	1.442	120711
39	T13	PP	1.80	Vertical	No	1	5.943	0.018	0.147	1.442	120711
40	T14	PP	1.50	Horizontal	No	1	5.425	0.015	0.150	1.472	120714
41	T14	PP	1.50	Horizontal	No	1	5.425	0.015	0.150	1.472	120714
42	T14	PP	1.50	Horizontal	No	1	5.425	0.015	0.151	1.481	120715
43	T15	PP	0.80	Vertical	No	1	3.962	0.013	0.121	1.187	965600
44	T15	PP	0.80	Vertical	No	1	3.962	0.013	0.120	1.177	965599
45	T15	PP	0.80	Vertical	No	1	3.962	0.125	0.121	1.187	965600
46	T16	PP	0.60	Horizontal	No	1	3.431	0.010	0.114	1.118	965593
47	T16	PP	0.60	Horizontal	No	1	3.431	0.010	0.115	1.128	965594
48	T16	PP	0.60	Horizontal	No	1	3.431	0.010	0.115	1.128	965594

Nota. Realizado por los autores.

Análisis de varianza ANOVA en el software SPSS

Para este análisis se consideraron solo dos parámetros que fueron la lectura del sensor y la distancia a la que cae la bola de hierro que fueron parámetros fundamentales para la validar por medio de hipótesis tanto alternativa como también puede ser nula es decir no existe similitud entre estos (ver Anexo 14).

Tabla 21. Cálculo ANOVA de los tratamientos.

ANOVA					
Lectura	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8555952149877,063	3	2,852E+12	1663646,361	,000
Dentro de grupos	75429070,250	44	1714297,05		
Total	8556027578947,313	47	1		

Nota. Elaborado por los autores.

Verificación de la hipótesis o fundamentación de los tratamientos.

Mediante el análisis del análisis ANOVA se describen las variables y formulan las hipótesis de investigación:

Hipótesis nula:

El desarrollo de ensayos de caída libre no influye significativamente en el estudio sobre las características mecánicas de los botellones plásticos.

Hipótesis alternativa:

El desarrollo de ensayos de caída libre influye significativamente en el estudio sobre las características mecánicas de los botellones plásticos.

Los resultados mostrados en la Tabla 21 en el cual se ejecutó el cálculo de ANOVA a los diversos tratamientos o ensayos que se ejecutaron dando como respuesta 47 tratamientos en total. Posteriormente, al calcular el estadístico $F= 1663646,631$ que es la relación entre las medias cuadráticas, se obtuvo un valor muy elevado, por lo tanto, esto indica que existe variabilidad en los tratamientos. Finalmente, el valor de significancia es igual a 0.000, lo que implica que $p < 0.06$, por ende, se rechaza la hipótesis nula y se atribuye que existe divergencias

estadísticamente significativas entre al menos uno de los resultados evaluados basado en la resistencia de los botellones plásticos.

La Tabla 22 presenta dos valores con altura de 0.60 hasta 1.80 metros donde la prueba de Tukey organiza los tratamientos en dos subgrupos homogéneos, lo que demuestra que dentro de cada subconjunto los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí. Los resultados especifican que el primer conjunto de tratamientos en el rango de 1.50 m presenta valores más bajo de resistencia, por lo tanto, el segundo subconjunto proporciona los valores más alto donde la boca del botellón sufre rayaduras y fisuras, se confirma que el tratamiento aplicado influye indefinidamente en la resistencia del botellón plástico.

Tabla 22. Muestra de subconjunto homogéneos

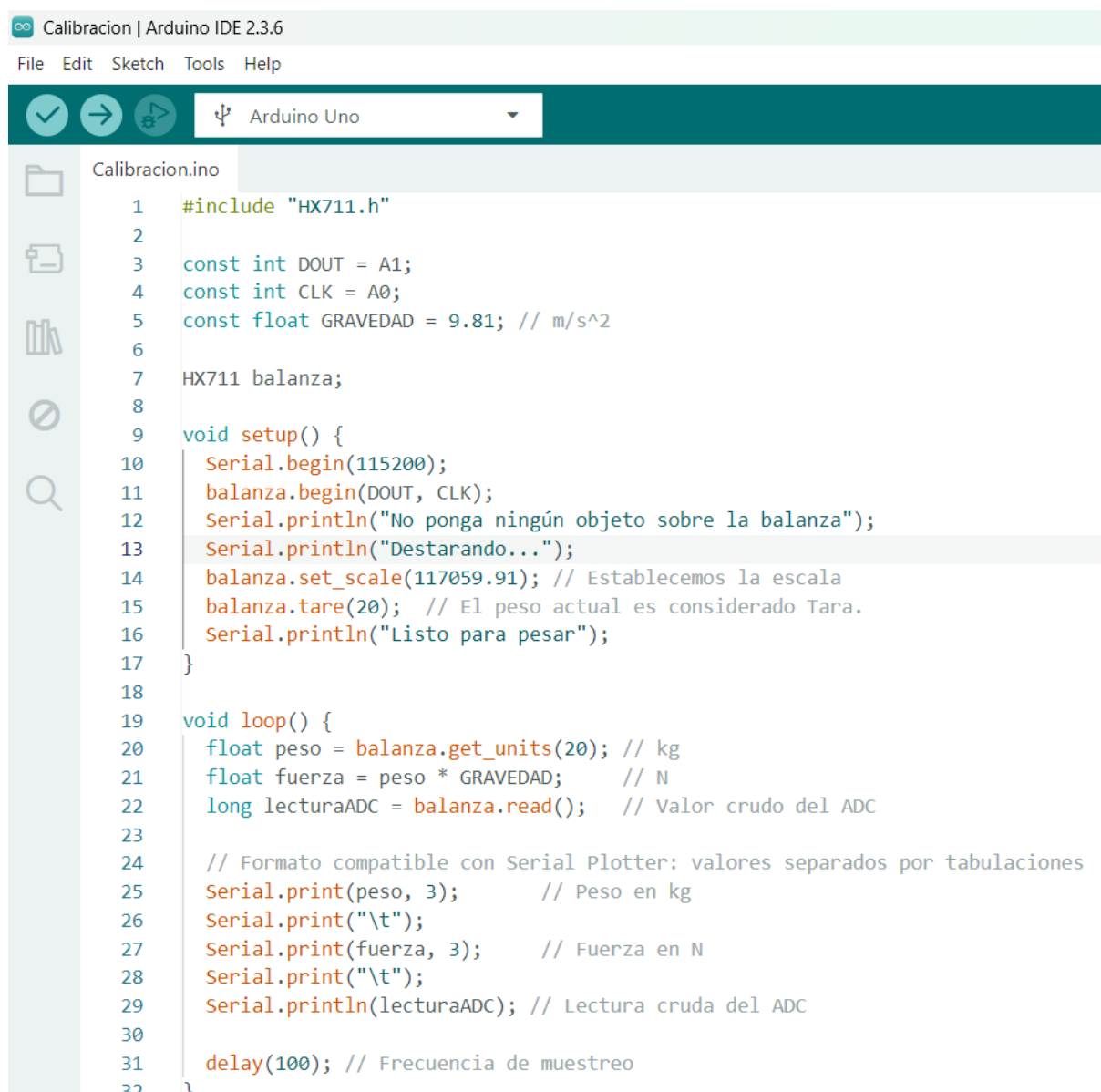
Lectura			
HSD Tukey ^a			
Altur	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
a		1	2
1	12	120647,83	
2	12	121015,83	
1	12		964850,75
0	12		965594,33
Sig.		,901	,512

Nota. Obtenido del software SPSS.

Análisis de datos mediante el software Arduino IDE 2.36

Para la toma de lectura de la gráfica serial plotter y serial monitor se compilan los siguientes parámetros donde se realiza la calibración del prototipo o la base que se encargara de absorber el impacto que genera la caída de la bola esférica, asimismo los datos compilados se muestran en la Figura 22.

Figura 22. Codificación y calibración del prototipo de ensayo en Arduino.



```
Calibracion.ino
1  #include "HX711.h"
2
3  const int DOUT = A1;
4  const int CLK = A0;
5  const float GRAVEDAD = 9.81; // m/s^2
6
7  HX711 balanza;
8
9  void setup() {
10   Serial.begin(115200);
11   balanza.begin(DOUT, CLK);
12   Serial.println("No ponga ningún objeto sobre la balanza");
13   Serial.println("Destarando...");
14   balanza.set_scale(117059.91); // Establecemos la escala
15   balanza.tare(20); // El peso actual es considerado Tara.
16   Serial.println("Listo para pesar");
17 }
18
19 void loop() {
20   float peso = balanza.get_units(20); // kg
21   float fuerza = peso * GRAVEDAD; // N
22   long lecturaADC = balanza.read(); // Valor crudo del ADC
23
24   // Formato compatible con Serial Plotter: valores separados por tabulaciones
25   Serial.print(peso, 3); // Peso en kg
26   Serial.print("\t");
27   Serial.print(fuerza, 3); // Fuerza en N
28   Serial.print("\t");
29   Serial.println(lecturaADC); // Lectura cruda del ADC
30
31   delay(100); // Frecuencia de muestreo
32 }
```

Nota. Datos obtenidos del software Arduino.

Este script nos permitió calibrar la celda de carga que tienen un soporte de máximo hasta 5 kg acoplado con el módulo amplificador HX711, por lo tanto, con estos dos componentes ajustamos el factor de escala de 117059.91 para que las lecturas de peso sean precisas y concisas, el valor de la tara es de 20 es donde se ubica el botellón para obtener el valor de 0.00 como peso inicial.

Los resultados obtenidos durante el impacto de 0.60 hasta 1.80 metros de altura, muestran diferentes lecturas, una de ella es de 0.115 Kg de peso, una fuerza de 1.130 N y por último la lectura del sensor fue de 965594, como se visualiza en la Figura 23.

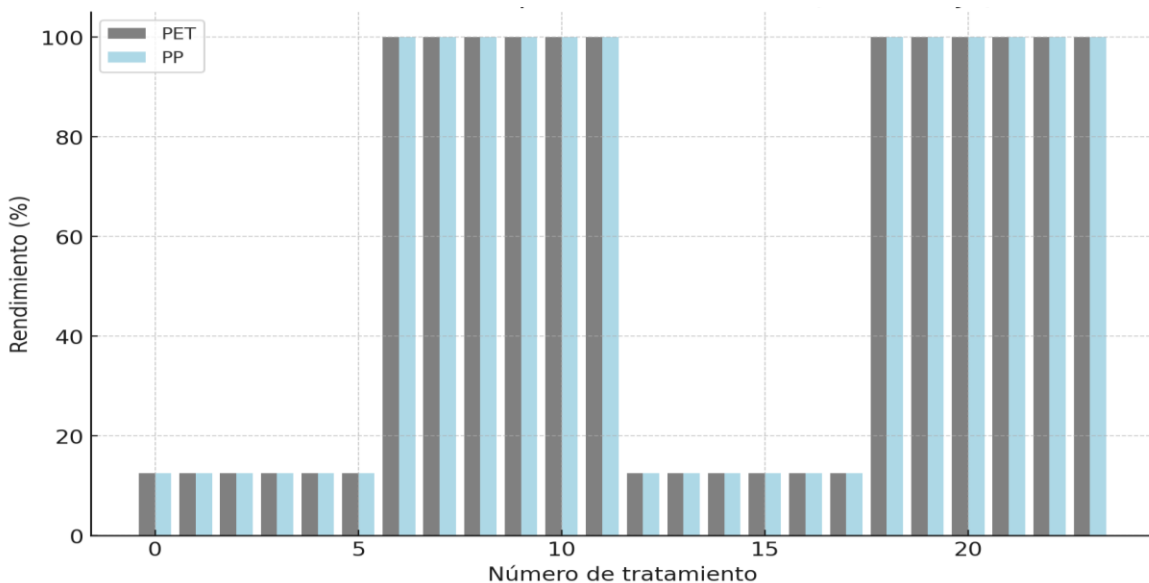
Figura 23. Resultado de impacto.



Nota. Datos obtenidos del software Arduino.

De tal manera, se presenta la Figura 24 con el rendimiento en base al material elegido para los tratamientos que en total fueron 48, es decir, (24 para material PET) y (24 para PP) que se diferencian por las tonalidades de las barras para el material PET (gris) y otra para PP (azul claro). Esto aprueba contrastar visualmente el proceder del prototipo frente a uno y otro material bajo condiciones equivalentes.

Figura 24. Rendimiento de ensayos a material PET y PP.



Nota. Elaborado por los autores.

Se observa que los porcentajes correspondientes a PET y PP enfatizan un comportamiento prácticamente paralelo en cada fase del eje de tratamientos. Esto radica que, para un mismo número de tratamiento, el prototipo obtiene rendimientos semejantes sin importar el tipo de material procesado. Por otro lado, aquellos tratamientos donde el rendimiento alcanza los valores cercanos al 100 %, el sistema operó en condiciones idóneas, demostrando estabilidad en el desempeño del equipo. De tal manera, que el rendimiento se sitúa alrededor del 12 – 13 %, se ilustra que el proceso aún no alcanzaba el nivel de operación óptimo, debido a ajustes iniciales en las condiciones de operación. En conclusión, los valores porcentuales entre PET y PP indica una mínima variabilidad en la respuesta del prototipo frente al cambio de material, lo que sugiere que el material no influye significativamente en el desempeño del equipo. Además, se muestran las fichas técnicas del prototipo realizado y sus sensores más importantes (ver Anexos 11,12 y 13).

3.3. Justificación económica

La Tabla 23 muestra de manera detallada los costos relacionados con materiales, adquisición de componentes, mecanismos necesarios para la elaboración del prototipo de ensayo por caída libre de botellones plásticos. Esta incluye una lista de elementos fundamentales como son: maquina, materiales e insumos, estructura, entre otros, de la misma manera cada componente o ítems está acompañado de la cantidad, costo unitario y costo total de la inversión.

Tabla 23. *Presupuesto del estudio.*

Ítem	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
a. Gastos de transporte.			
Gastos de movilización.	1	\$ 75,00	\$ 75,00
d. Materiales e insumos.			
Angulo NOVA 1x 1/8MM (25X4) mm.	1	\$ 13,00	\$ 13,00
Platina 1x1/4 (25 x 6) mm.	1	\$ 20,40	\$ 20,40
Tubo cuadrado galvanizado nova 1x1.5 mm (25x1.5) mm.	2	\$ 12,58	\$ 25,16
Tubo cuadrado galvanizado nova 1 1/4 x1.5 mm (30X1.5) mm.	2	\$ 15,21	\$ 30,42
Plancha galvanizada 1/16' 1.40 mm 1220 x 2440.	2	\$ 43,52	\$ 87,04
Plancha galvanizada 1/40' 0.45 mm 1220 x 2440.	4	\$ 13,90	\$ 55,60
Remaches de brida grande – 1/8" x 1/4".	52	\$ 0,24	\$ 12,48
Brocas de taladro para remaches.	2	\$ 4,00	\$ 8,00
Bisagras 2".	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Resortes de 3cm de diámetro y 10 cm de largo.	4	\$ 5,00	\$ 20,00
Pintura sintética blanca.	1	\$ 20,00	\$ 20,00

Diluyente.	1	\$	12,00	\$	12,00
Spray negro.	1	\$	4,00	\$	4,00
Grapa doble tipo U 1-1/4".	3	\$	0,50	\$	1,50
Regatones cuadrado interior 1-1/4".	1	\$	0,40	\$	0,40
Regatones cuadrado interior 1".	1	\$	0,30	\$	0,30
Electroimán de succión P50/27 24VDC 55Kg.	1	\$	38,00	\$	38,00
Bola de lanzamiento de 1 kg.	1	\$	33,00	\$	33,00
Electrodos AGA 6011.	1	\$	22,00	\$	22,00
Electrodos E 7018.	1	\$	30,00	\$	30,00
Disco de corte.	5	\$	3,00	\$	15,00
Disco de desbaste.	4	\$	2,00	\$	8,00
Perno hexagonal grado 8 unc y tuerca.	1	\$	4,00	\$	4,00
Perno con cabeza redonda #5(1/8) x 1. 1/4.	1	\$	0,40	\$	0,40
Tablero H-B gris 20x15x10cm+plafon econ.	1	\$	24,00	\$	24,00
Pulsador 22mm Verde (marcha).	1	\$	2,50	\$	2,50
Pulsador 22mm Rojo (paro).	1	\$	2,50	\$	2,50
Pulsador 40mm (Paro de emergencia).	1	\$	3,50	\$	3,50
Cable GPT flexible 18 AWG C/negro.	10	\$	0,30	\$	3,00
Cable GPT flexible 18 AWG C/blanco.	10	\$	0,30	\$	3,00
Tubo termocomp. p/cable #18 c/negro 3mm 1/8".	1	\$	0,30	\$	0,30
Soporte angular en forma de L.	8	\$	1,00	\$	8,00
Terminal T/abierto p/cable 16-14 azul.	24	\$	0,10	\$	2,40
Canaleta 25 x 25 mm ranurada p/tablero.	1	\$	4,45	\$	4,45
Cinta espiral 8 mm c/blanco.	3	\$	0,35	\$	1,05
Relé estado sólido 25A 3-32 VDC/24-480 VAC.	1	\$	19,00	\$	19,00
Rollo de cable UTP categoría 6.	3	\$	0,35	\$	1,05
Cargador adaptador 24v 1. 5 ^a .	1	\$	15,00	\$	15,00
Luz piloto.	1	\$	3,00	\$	3,00
amarras plásticas de 15 cm c/negro.	25	\$	0,03	\$	0,75
Broca cónica.	1	\$	9,00	\$	9,00
Celda de carga de 5 kg.	1	\$	6,75	\$	6,75
Modulo HX711.	1	\$	3,75	\$	3,75
Arduino UNO + cable USB.	1	\$	20,00	\$	20,00
Botellón plástico de 20 litros.	3	\$	4,50	\$	13,50
Desoxidante.	1	\$	11,20	\$	11,20
Regla cinta métrica adhesiva 2m Acero Inox.	1	\$	28,00	\$	28,00
			Subtotal	\$	722,40
			Imprevistos 10%	\$	72,24
			Ajuste 15%	\$	108,36
			Total	\$	903,00

Nota. Elaborado por los autores.

Con todos los datos mencionados que se pueden apreciar dentro de la Tabla 23, se destaca un análisis meticuloso en la obtención de los componentes para la ejecución del proyecto, con un valor que asciende hasta los \$722.40 a su vez le adjunta un imprevisto del 0.10 y de ajuste del 0.15 para calcular el valor total de la inversión de \$903,00 refleja la inversión necesaria es los materiales para su largo funcionamiento.

La Tabla 24 muestra indicadores financieros que reflejan una inversión altamente rentable, donde se visualiza un costo total de inversión de \$903.00 y un valor actual neto de \$1.611,12 se evidencia una ganancia significativa en relación con el desembolso, asimismo se tiene una tasa interna de retorno del 78 %, ya que indica una rentabilidad superior, mientras que el periodo de recuperación es de solo un año y el costo beneficio es de 1.20 lo que afirma la viabilidad y ejecución del proyecto.

Tabla 24. *Resultados financieros.*

VAN	\$1.611,12
TIR	78%
PR	1,20
CB	3,1

Nota. Elaborado por los autores.

3.4. Marco de discusión

Los resultados muestran que los términos “prototipo de ensayo” y “botellones plásticos” son los más sobresalientes, surgiendo un enfoque en el estudio de las propiedades mecánicas de los plásticos. Utilizamos el análisis bibliométrico de la literatura, por el cual se evaluó de manera estructurada la gama información acerca del desarrollo de prototipos de ensayos para analizar las propiedades de los botellones plásticos. Los resultados indican que el estudio de tiempos es la herramienta más adecuada para validar el prototipo en base a su funcionamiento.

Para nuestro estudio, se utilizó un enfoque cuantitativo, lo que resalta la adecuación de datos numéricos para recopilar y analizar información. Con esto, los resultados confiables y se reduce la posibilidad de inconsistencia, mediante el uso del software estadístico SPSS. Se realizó un estudio experimental y transversal para evaluar el impacto del estudio de tiempos en la resistencia del botellón de 20 litros, consecuentemente, en la población objeto de estudio se aplicó el cálculo de una muestra finita que dio como resultado un total de 95 personas inmersas al estudio.

Para la recopilación de información, se adoptó el método deductivo, lo que facilitó la comprobación y validación de que la situación actual se alineara con lo planteado en los fundamentos teóricos, permitiendo además la confirmación de hipótesis propuesta. Para procesar los datos, se diseñó un plan detallado que incluyó la definición de la población a estudiar, el lugar donde se realizó la investigación y las técnicas a emplear. La encuesta, validada por medio de expertos, fue el instrumento esencial, además los datos obtenidos fueron analizados con el software SPSS 25, utilizando el coeficiente de alfa de Cronbach para brindar confiabilidad de los resultados.

Por otro lado, los instrumentos de medición empleados evidenciaron ser altamente confiables, con un coeficiente alfa de Cronbach de 0.76. A través del análisis ANOVA se respalda que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la nula, ya que el resultado de un nivel de significancia es menor al 0.05 entre los tratamientos ejecutados. Por lo tanto, se especifica que existe una homogeneidad entre los datos analizados, además se concluye que percute estadísticamente diferencias significativas entre al menos uno de estas lecturas proporcionadas por el software Arduino

3.5. Justificación ambiental

El desarrollo del prototipo contribuye positivamente al cuidado ambiental, ya que promueve el aprovechamiento y la reutilización de materiales plásticos, específicamente los botellones, reduciendo así la cantidad de residuos que llegan a los vertederos. Al realizar pruebas sobre sus características mecánicas, se busca determinar su resistencia y viabilidad para nuevos usos, fomentando una economía circular y sostenible. Este enfoque disminuye la demanda de materia prima virgen y el impacto ambiental derivado de su producción. Además, el proyecto sensibiliza a la comunidad sobre la importancia de la gestión responsable de los residuos plásticos y su potencial para ser reincorporados en procesos productivos ecológicamente eficientes.



3.6. Justificación social

Desde el punto de vista social, el prototipo genera un impacto positivo al incentivar la participación comunitaria en actividades de reciclaje y reutilización de materiales. Este tipo de iniciativas fortalece la conciencia ambiental y promueve la educación sobre prácticas sostenibles. Asimismo, se relaciona con el **ODS 12: Producción y Consumo Responsables**, ya que conocer el comportamiento mecánico real de los botellones facilita evaluar su vida útil, determinar criterios de reutilización y reducir la generación innecesaria de residuos plásticos. La caracterización permite identificar fallas estructurales antes de su uso crítico, prolongando el aprovechamiento del material y fortaleciendo prácticas de economía circular basadas en evidencia técnica.

3.7. Análisis comparativo

Bajo los resultados expresados en la sección 3.2.5. en las cuales están los datos de los tratamientos o ensayos realizados a una altura pico de 1.80 m donde se ejecutó tres pruebas al material PP, donde solo el impacto de la bola de acero rebota en los lados del botellón ya que no se visualiza ningún cambio, pero al momento de ejercer el mismo análisis a materiales PET a una altura de 0.60 y 0.80 al instante que la bola de acero cae causa una leve deformación en el pico de la botella y unas leves rayas lo que respalda que los ensayos a menor altura influyen más para analizar las características mecánicas de los botellones de plástico de 20 litros. En la siguiente tabla 25, se evidencian los resultados.

Tabla 25. Análisis comparativo de ensayos a materiales PP y PET.

Material	Resultado de ensayo
<p>PP no sufre ningún cambio por tener mayor resistencia al impacto de caída de un peso de 1kg en una altura de 1.80, 1.50, 0.80 y 0.60.</p>	
<p>PET este material sufre unos leves rayones en la boca del botellón, pero solo a una altura mínima de 0.60 y 0.80 en su tercer tratamiento.</p>	

Nota. Elaborado por los autores.

3.8. Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento presentado garantiza la operatividad y prolonga la vida útil del prototipo mediante una programación periódica de revisiones y ajustes en sus principales componentes. Las actividades establecidas, como la limpieza, lubricación, calibración y verificación eléctrica, permiten prevenir fallos y asegurar un funcionamiento estable y seguro del sistema. La inclusión de herramientas específicas facilita la ejecución técnica de cada tarea, optimizando el tiempo de mantenimiento. Además, la frecuencia de inspección semanal, mensual y trimestral está correctamente determinada según el nivel de exigencia y desgaste de cada elemento. Las observaciones enfatizan medidas preventivas que reducen riesgos operativos, como evitar golpes, sobrecalentamientos o uso de productos corrosivos. En conjunto, este plan fomenta la sostenibilidad del equipo, minimiza costos por reparaciones

correctivas y asegura la confiabilidad del prototipo durante su aplicación experimental y práctica.

Tabla 26. *Plan de mantenimiento de prototipo de ensayos.*

Componente	Frecuencia	Actividad/tarea de mantenimiento	Herramientas necesarias	Observaciones
Sistema de ajuste de altura (regla o mecanismo de bloqueo).	Mensual.	- Comprobar que el sistema de ajuste deslice libremente. - Apretar tornillo de bloqueo.	Destornillador estrella, lubricante.	Evitar golpear el sistema de regulación. Marcar alturas de referencia para calibración.
Sistema eléctrico y de control (botonera y cables).	Trimestral.	- Comprobar el funcionamiento de pulsadores y conectores internos. - Asegurar aislamiento adecuado de cables.	Multímetro, cinta aislante, destornillador, brochas.	Desconectar la fuente antes de revisar. Mantener el cableado ordenado y sin tensión.
Celda de carga.	Mensual.	Verificar lecturas con peso patrón, revisar cables y conectores al módulo HX711 y Arduino.	Peso patrón, multímetro, destornillador.	Evitar golpes directos o sobrecarga.
Base o caja de impacto (lámina galvanizada).	Semanal.	- Limpiar residuos metálicos, polvo o fragmentos del impacto. - Revisar soldaduras, uniones y rigidez de la caja. - Verificar que no haya oxidación o deformaciones.	Cepillo metálico, trapo húmedo, nivel.	No usar productos corrosivos. Secar bien tras la limpieza para evitar óxido.
Tornillería y uniones estructurales.	Trimestral.	- Revisión general de tornillos y pernos. - Sustituir piezas corroídas o flojas. - Aplicar grasa o lubricante anti agarre.	Juego de llaves combinadas, grasa multiuso.	Verificar con más frecuencia si se detectan vibraciones o impactos repetitivos.

Nota. Elaborado por los autores.

3.9. Formato de seguimiento de ensayo

A continuación, se presenta los pasos que deben tomarse en cuenta para realizar ensayos de caída libre de pesos bajo las normativas de laboratorios y especificaciones técnicas en las que se documenta o respaldan los datos obtenidos durante cada análisis o tratamiento efectuado dentro de los límites y estándares permitidos por el laboratorio de la carrera de Ingeniería Industrial de la UPSE.

Como se ilustra en el Anexo 15 el formulario guía para llevar a cabo el análisis de los ensayos efectuados al prototipo elaborado en el laboratorio. Este formulario permite registrar de manera ordenada cada una de las variables asociadas al ensayo, facilitando la evaluación de los resultados obtenidos. Además, funciona como un soporte documental que asegura la trazabilidad del procedimiento experimental, evitando errores en la recopilación de datos.

De tal manera, estos ensayos permiten analizar las condiciones biológicas, térmicas y composiciones del material como son los polímeros pet y pp, registrando los hallazgos mediante hojas de cálculos para medir la eficiencia mecánica de los botellones plásticos. Finalmente, este formulario se tomó evidencia bajo un registro histórico para realizar evaluaciones periódicas al material utilizado.

CONCLUSIONES

En el primer capítulo se optó por ejecutar una revisión de la literatura, empleando el análisis bibliométrico el cual permitió recolectar información acerca de las variables de estudio “características mecánicas de botellones y prototipo de ensayo”, ejecutados en 4 motores de búsqueda durante los últimos 5 periodos, donde se analizaron 27 artículos que dedujeron los enfoques, metodologías, tipo de investigación, métodos, técnicas e instrumentos de recopilación de datos dando como resultado el artículo más idóneo que resalta las características mecánicas de los botellones plásticos 20 litros.

El estudio empleó un enfoque cuantitativo, con una investigación aplicada mediante un diseño experimental, además, que abarca un procedimiento metodológico el cual consta de 5 etapas. Se aplicó como técnica de estudio de tiempo complementada con la observación directa y encuesta, una hoja de registro, además, se ejecutó el método de Delphi con una calificación basada en escala de Likert de 1 hasta el 5 para validación de los expertos, para comprobar validez y fiabilidad de los datos y se analizó mediante el alfa de Cronbach obtenidos en el software estadístico IBM SPSS 25, dando como resultado 0.76 calificándolo como aceptable.

Como resultado, con la elaboración del prototipo de ensayo direccionado bajo las normas ASTM D1709, ASTM D2463 Y ISO 17025:2015 representa una inversión fija para mejorar la resistencia técnica de los botellones plásticos de 20 litros. Se realizó el cálculo ANOVA a los diversos tratamientos o ensayos que se ejecutaron dando como respuesta que al realizar 47 tratamiento en total. Los resultados obtenidos durante el impacto de 0.60 hasta 1.80 metros de altura y con una masa de 1 kg, muestran diferentes datos de lectura del sensor indicando que, con la bola de acero de 1 kg no existe rotura total de la muestra evaluada. El proyecto de investigación toma una inversión de \$903 este proyecto abre puertas a nuevas oportunidades de mejora en el estudio técnico de los botellones plásticos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda fomentar estudios que acoplen metodologías experimentales rigurosas y herramientas de simulación para de esta forma evaluar las características y el comportamiento estructural de materiales plásticos conforme a la normativa de laboratorios de ensayo nacionales e internacionales. Además, estos estudios permitirán optimizar el diseño de componentes reutilizados, promoviendo alternativas sostenibles en la ingeniería de materiales.

Con respecto al prototipo, se recomienda implementar pesos de caída libre mayores de 1 kg para determinar cuál es el peso máximo que resiste el botellón plástico antes de su completa rotura, sabiendo que nuestra celda de carga soporta un peso máximo de 5kg. Al momento de incorporar un peso de caída libre mayor de 5kg se recomienda ubicar una celda de carga de mayor fuerza para obtener el análisis correcto de datos en tiempo real, facilitando la validación técnica del equipo.

En conclusión, se recomienda que sigan impulsando a los estudiantes y empresas a fomentar la construcción de estos prototipos que brindan un análisis detallado del rendimiento, la eficiencia y durabilidad de los materiales al ser reutilizados, por consiguiente, contribuyen a la mitigación del impacto ambiental que generan estas partículas a nivel global

REFERENCIAS

- Anhelo, T., Córdor, B., Yourk, L., & Quispe Ramírez, L. (2021). *Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Diseño de una máquina de ensayos a tracción standard bajo la Norma ASTM E8 para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental.*
- Atik-Fayshal. (2024). *Prácticas actuales de gestión de residuos plásticos, impactos ambientales y posibles alternativas para reducir la contaminación y mejorar la gestión.*
- Betancourt-Enamorado, Jennifer. L., Castaño-Berrio, Juan. D., Hamburguer-Arroyo, W., Niño-Betancourt, Juan. C., Tanus-Fernández, C., & Huyke-Taboada, A. (2022). Aplicación del Estudio de Métodos y Tiempos a la Mejora de Procesos: Caso Fábrica La Milagrosa (imágenes religiosas en yeso). *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 4(1). <https://doi.org/10.17981/bilo.4.1.2022.10>
- Carrillo & Pilicita et al. (2020). *Diseño y Fabricación de una máquina para ensayos de compresión en madera con capacidad de quince toneladas.*
- Cruzado-Bazán, H. J., Gil-Aguirre, A. P., Cruz-Salinas, L. E., & Flores-Sánchez, C. M. (2023). Effect of the application of work study on the productivity of a manufacturing company-Peru. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023)*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.543>
- Cuevas Arteaga, C., González Montenegro, Y. Á., Torres Salazar, M. del C., & Valladares Cisneros, M. G. (2020). Importancia de un estudio de tiempos y movimientos. *Inventio*, 16(39). <https://doi.org/10.30973/inventio/2020.16.39/7>
- Del Cid, A., Méndez, R., & Sandoval, F. (2011). *Investigación. Fundamentos y metodología Segunda edición.*
- Díaz-Pérez, S. V., David, A., & Toscano, R. (2019). *Informe ensayo de Tracción.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25762.07368>
- Do Yeop et al. (2024). *Evaluación de la reciclabilidad del PET y caracterización del PET reprocesado modificado para su aplicación industrial.*

- Durango & Herrera et al. (2019). *Diseño, construcción y validación del prototipo de una máquina para ensayos de resistencia de materiales.*
- Estrada-Pérez, M. G., & Alcalá-Adrianzén, M. E. (2023). Post-press management proposal through theory of engineering methods to increase the productivity of the box line, Trujillo 2022. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023)*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.938>
- Fernandes, A. N., Bertoldi, C., Lara, L. Z., Stival, J., Alves, N. M., Cabrera, P. M., & Grassi, M. T. (2022). Microplastics in Latin America Ecosystems: A Critical Review of the Current Stage and Research Needs. In *Journal of the Brazilian Chemical Society* (Vol. 33, Issue 4, pp. 303–326). Sociedade Brasileira de Quimica. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20220018>
- Figueroa-Hernández, C., Carvajal de la Osa, J., Garcés Silveira, L., William Sandino del Busto, J., & Fumero Pérez, A. (2023). *Design and manufacture of a machine for tensile tests on materials used in tissue engineering.*
- García-Gómez et al. (2023). *Diseño virtual de un prototipo para ensayos a tensión de materiales polímeros en base a la norma ASTM D638-14. Virtual design of a prototype for tensile testing of polymer materials based on the ASTM D638-14 standard.* www.revistatecnologiadigital.com
- Handoyo, S., Suharman, H., Ghani, E. K., & Soedarsono, S. (2023). A business strategy, operational efficiency, ownership structure, and manufacturing performance: The moderating role of market uncertainty and competition intensity and its implication on open innovation. In *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* (Vol. 9, Issue 2). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100039>
- Hanifa, R., Adam, M., Isnurhadi, & Andriana, I. (2023). Does competitive advantage, operating efficiency and intellectual capital effect sustainable competitive advantage (sca)? *Journal of Law and Sustainable Development*, 11(3). <https://doi.org/10.55908/sdgs.v11i3.463>
- Hernández et al. (2018). *Metodología de la Investigación - Roberto Hernández - 6ta Edición.*
- Largo & Ramirez et al. (2022). *Diseño de un protocolo y guía de ensayo de tracción.*

- Llacctas-Espinoza, S. J., Quezada-Albino, N., Jauregui-Nongrados, N., & Rondon Jara, E. (2023). Application of the Lean Manufacturing methodology to increase production in the manufacturing company INDEMUG SAC. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023)*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.145>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. In *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Montenegro, V., Gil, A., Campos, J., Frago, J., & Marín, N. (2024). Diseño y construcción de prototipo de bajo coste para ensayo de tracción de polímeros. *Revista de Iniciación Científica*, 10(1), 10–15. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v10.1.3997>
- Ochoa-Cuzcano, H. B., Santos-Del Rosario, D. A., & Díaz-Díaz, M. A. (2023). Time Study Method Implementation to Increase the Labor Productivity of the Picking Process in a Logistics Operator. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023)*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.989>
- ONU et al. (2023). *Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos*.
- Parra, D. B., Murrieta Domínguez, F., & Cortes Herrera, C. A. (2020). *Análisis de tiempos y movimientos en el proceso de producción de vapor de una empresa generadora de energías limpias (Analysis of times and motions in the steam production process from a company that generates clean energy)*. <https://orcid.org/0000-0001-5245-909X>
- Parreño-Álvarez et al. (2021). *Estandarización del proceso productivo de fabricación de envases plásticos en la empresa Induplaes ubicada en la Ciudad de Latacunga*. <https://doi.org/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22531/1/MSQ343.pdf>
- Pinchemel, A., Caetano, M., Rossi, R. M., & Antonio Silva, M. (2022). Indicadores de desempenho de companhias aéreas e seus impactos na eficiência operacional. *Brazilian Business Review*, 19(6), 642–665. <https://doi.org/10.15728/bbr.2022.19.6.4.pt>

- Ramírez-Navas, J. S., Rojas-Renjifo, K., Cardenas-Nieto, J. D., & Sánchez Mejía, M. (2019). Estructuración de una definición para un prototipo de Ingredientes Naturales. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 10–19. <https://doi.org/10.23850/24220582.2711>
- Ramos, V. M. V., Ampudia Ramírez, F., Ramírez Valdés, F. J., Rosas González, A., & García Banda, S. (2019). *Diseño de un prototipo de dispositivo portátil para pruebas mecánicas en polímeros*.
- Rodríguez-Gallego, M. R., Domene-Martos, S., De-Cecilia-Rodríguez, C., & Ordóñez-Sierra, R. (2024). Booktuber systematic as review literary practice in Secondary Education: *OCNOS*, 23(1). https://doi.org/10.18239/ocnos_2024.23.1.405
- Santos et al. (2023). Caracterización del contenido de adhesivo en botellas de poli(tereftalato de etileno) postconsumo y evaluación de su impacto en la reciclabilidad del poli(tereftalato de etileno). *Web of Science*.
- Suvanjumrat & Puttapitukpron et al. (2011). Determinación de la resistencia a la caída-impacto de botellas de plástico mediante ingeniería asistida por computadora. *Revista Kasetsart-Ciencias Naturales*.
- Wang, S., Huang, W., Ge, C., Zheng, Z., Wei, L., Li, M., Niu, Z., Du, D., & Sun, C. (2023). Design and Test Analysis of 1GYF-240 Sugarcane Straw Crushing and Returning Machine. *E3S Web of Conferences*, 441. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344102018>

ANEXOS

La adversidad de los documentos que existen dentro de las diferentes bases de datos relacionadas a un tema determinado en cuanto a; temática, desarrollo de objetivos, preguntas de investigación e hipótesis, ayuda al investigador a ejecutar criterios de elegibilidad durante la revisión bibliométrica de la literatura con la finalidad de encontrar y elegir información fidedigna que respalde el estudio (Rodríguez-Gallego et al., 2024).

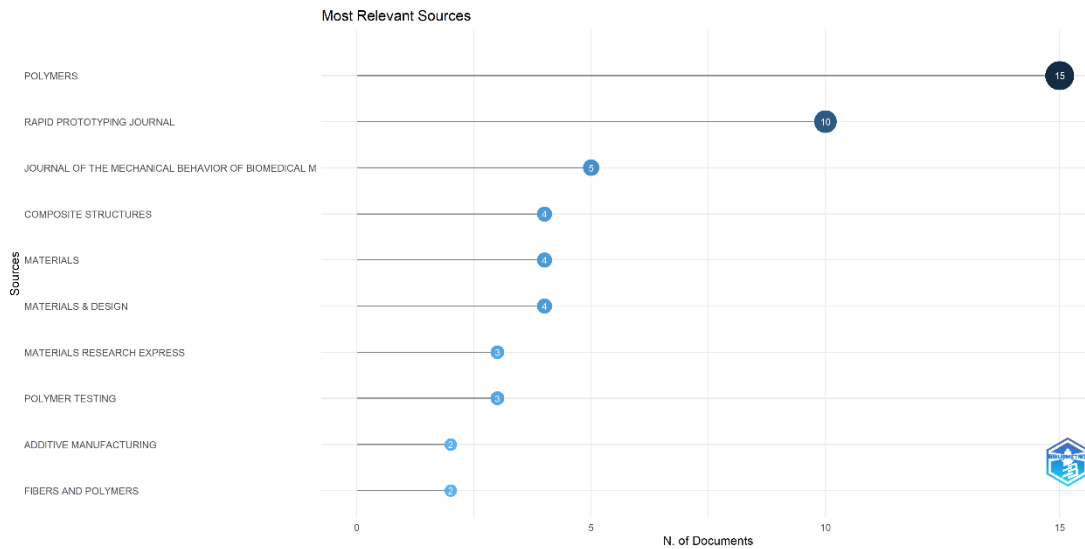
Anexo 1. Criterios de inclusión y exclusión de la información.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Documentos vigentes dentro el lapso de tiempo de cinco años (2020-2025).	Documentos antes del año 2020.
Artículos científicos basado en ingeniería.	Artículos de otro ámbito de estudio.
Investigaciones con acceso gratuito.	Investigaciones que se pueda obtener el documento digital.
Investigaciones en idioma inglés y español.	Publicaciones diferentes a español e inglés.

Nota. Pasos de ejecución de análisis bibliométrico.

El Anexo 2 muestra las fuentes más relevantes en función del número de documentos publicados sobre un tema específico. La revista "Polymers" lidera con 15 publicaciones, seguida por "Rapid Prototyping Journal" con 10 y "Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials" con 5. Revistas como "Composite Structures", "Materials" y "Materials & Design" presentan 4 documento cada una. Este patrón evidencia una alta concentración de publicaciones en revistas especializadas en materiales poliméricos y manufactura avanzada.

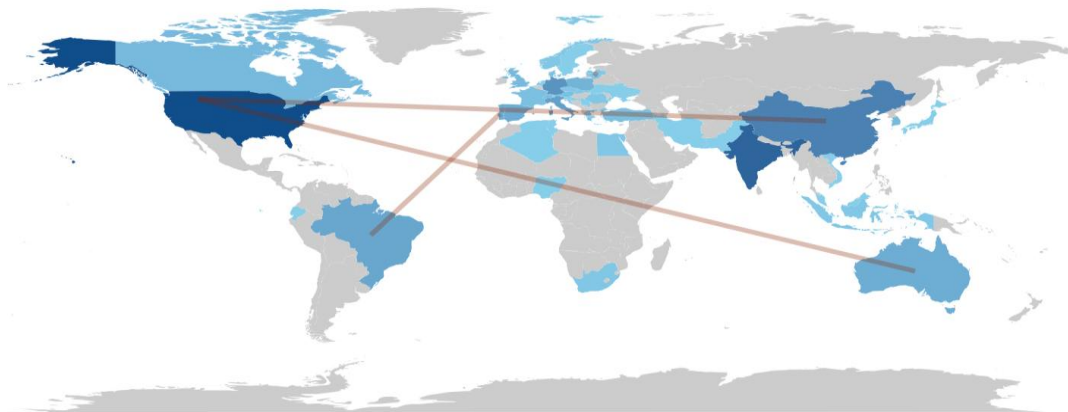
Anexo 2. Revistas más relevantes.



Nota. Elaborado por los autores.

Tal como se evidencia en el Anexo 3 los países con mayor producción científica vinculada al estudio de materiales o tecnologías relacionadas. Se destacan con colores más oscuros países como Estados Unidos, India, China, Alemania y Australia, lo que indica un mayor número de publicaciones o colaboraciones internacionales. Las líneas conectan estos territorios, sugiriendo redes de cooperación académica entre continentes clave. América del Norte, Europa y Asia lideran la generación de conocimiento en este campo

Anexo 3. *Relación entre países.*



Nota. Mapa obtenido de países con mayor publicación acerca del tema.

La ilustración representa el Anexo 4 una red de coocurrencia de palabras clave en investigaciones científicas, organizada en comunidades temáticas diferenciadas por color. Las conexiones entre nodos reflejan la relación y frecuencia conjunta de aparición en los mismos documentos. La distribución por colores sugiere clústeres de investigación especializados, como materiales, simulación, procesos y caracterización. Este mapeo permite visualizar las áreas de mayor densidad temática y posibles líneas emergentes de investigación.

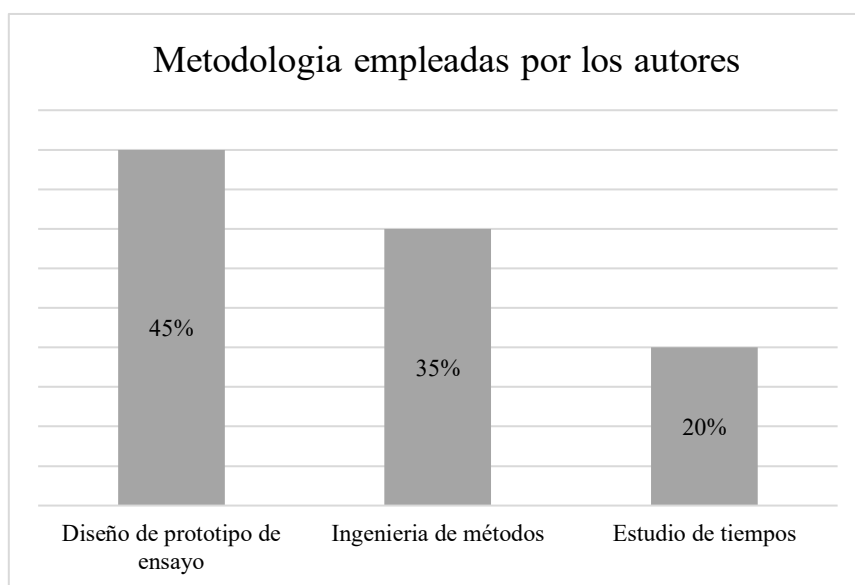
5	(Ramos et al., 2019)	Aplicado – descriptivo y correlacional.	Diseño de prototipo de ensayo.	N/A
6	(Largo & Ramírez et al., 2022)	Diseño experimental	Diseño y construcción de máquina de ensayo	Hoja de registro.
7	(Durango & Herrera et al., 2019)	Diseño experimental	Diseño y construcción de máquina de ensayo	Observación directa.
8	(Díaz-Pérez et al., 2019)	Investigación aplicada	Diseño de prototipo de ensayo.	Encuesta y cuestionario.
9	(García-Gómez et al., 2023)	Investigación aplicada	Diseño de prototipo de ensayo.	Check list y Cuestionario.
10	(Santos et al., 2023)	Investigación aplicada	Caracterización de botellas plásticas.	Análisis de datos.
11	(Do Yeop et al., 2024)	Investigación aplicada	Caracterización de botellas plásticas.	Encuesta y cuestionario.
12	(Parreño-Álvarez et al., 2021)	Descriptivo y correlacional.	Estudio de tiempos	Entrevista y guía de entrevista.
13	(Cuevas Arteaga et al., 2020)	Diseño no experimental, alcance descriptivo y correlacional	Estudio de tiempos	Encuesta
14	(Betancourt-Enamorado et al., 2022)	Alcance descriptivo y correlacional	Estudio de Métodos y Tiempo	Encuesta
15	(Parra et al., 2020)	Alcance descriptivo y correlacional	Tiempos y movimientos	Entrevista y encuesta
16	(Handoyo et al., 2023)	Diseño no experimental, alcance descriptivo y correlacional	Eficiencia operativa	Observación directa

17	(Hanifa et al., 2023)	Diseño no experimental, alcance descriptivo y correlacional	Efecto de la eficiencia operativa	Encuesta
18	(Pinchemel et al., 2022)	N/A	Gestión y eficiencia operativa	Observación
19	(Cruzado-Bazán et al., 2023)	N/A	Ingeniería de métodos	Hoja de registro
20	(Ochoa-Cuzcano et al., 2023)	N/A	Ingeniería de métodos	Hoja de registro
21	(Estrada-Pérez & Alcalá-Adrianzén, 2023)	N/A	Ingeniería de métodos	Hoja de registro
22	(Llacctas-Espinoza et al., 2023)	N/A	Ingeniería de métodos	Hoja de registro
23	(Cuevas Arteaga et al., 2020)	N/A	Estudio de tiempos	Encuesta
24	(Betancourt-Enamorado et al., 2022)	Alcance descriptivo y correlacional	Estudio de Métodos y Tiempo	Encuesta
25	(Parra et al., 2020)	Alcance descriptivo y correlacional	Tiempos y movimientos	Entrevista y encuesta
26	(Handoyo et al., 2023)	Alcance descriptivo y correlacional	Eficiencia operativa	Observación directa
27	(Wang et al., 2023)	N/A	Estudio de tiempos	Check list y Hoja de control

Nota. Documentos analizados de la revisión bibliométrica.

El Anexo 6 presenta el resumen de las metodologías obtenidas en la matriz de artículos relacionados a las variables de estudio, con su respectiva ponderación, orden descendente, con la finalidad de analizar y definir el método a emplear en la investigación.

Anexo 6. Metodologías empleadas.





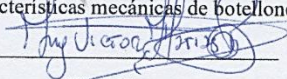
Nota. Metodologías obtenidas del análisis bibliométrico.

Anexo 7. Operacionalización de variables.

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Técnica e instrumentos
VI: Prototipo de ensayo.	Dispositivo y procedimiento experimentales diseñados para someter una muestra o subconjunto de la máquina/prototipo a impactos controlados mediante caída libre, con el fin de evaluar su comportamiento mecánico y su resistencia ante condiciones de choque.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y montaje del prototipo. • Sistema de liberación del impacto. • Condiciones de simulación del ensayo. • Seguridad operativa del prototipo. • Capacidad de evaluación mecánica. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nivel de cumplimiento de estándares de calidad del botellón. 2. Grado de aceptación de una normativa de estandarización del botellón. 3. Frecuencia de identificación de fallas como fugas o fragilidad. 4. Nivel de cumplimiento de prácticas adecuadas de producción y transporte. 5. Percepción de seguridad en el diseño para la manipulación del botellón. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ ¿Considera usted que los botellones de agua que consume en su comunidad cumplen con los estándares de calidad y conservación del producto? ❖ ¿Le gustaría que los botellones de agua sean estandarizados bajo una normativa vigente en cuanto a calidad, inocuidad y resistencia del envase? ❖ ¿Ha identificado problemas en los botellones de agua, como fugas o fragilidad del material? ❖ ¿Cree que los botellones de agua cumplen con prácticas adecuadas de producción y transporte? ❖ ¿El diseño de los botellones permite una manipulación segura sin riesgo de ruptura? 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Encuesta y cuestionario. ❖ Pruebas de ensayo. ❖ Sensor de lectura.

<p>VI: Características de mecánicas de botellones plásticos</p>	<p>Conjunto de propiedades físicas que describen el comportamiento estructural y funcional del botellón frente a esfuerzos mecánicos, determinando su resistencia, deformabilidad y desempeño en condiciones de servicio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia estructural del botellón. • Deformabilidad y comportamiento ante impacto. • Durabilidad y envejecimiento del material. • Propiedades físicas y térmicas del material. • Sostenibilidad y manejo del material. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Necesidad percibida de evaluar las propiedades mecánicas del botellón. 2. Percepción del desempeño del botellón frente a caídas y golpes. 3. Nivel de conservación de las propiedades mecánicas con el tiempo. 4. Estado físico general del botellón (grietas, roturas, abolladuras). 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ ¿Considera que el material del botellón es resistente y duradero? ❖ ¿Los botellones plásticos soportan cambios de temperatura sin afectar su resistencia? ❖ ¿El material del botellón es biodegradable o reciclable, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental? ❖ ¿El material de los botellones no se deteriora cuando son sometidos a limpiezas internas? ❖ ¿Cree que la carrera de Ingeniería Industrial debería involucrarse en la evaluación de la calidad de los botellones de agua?
---	---	---	---	--

Anexo 8. Validación por expertos.

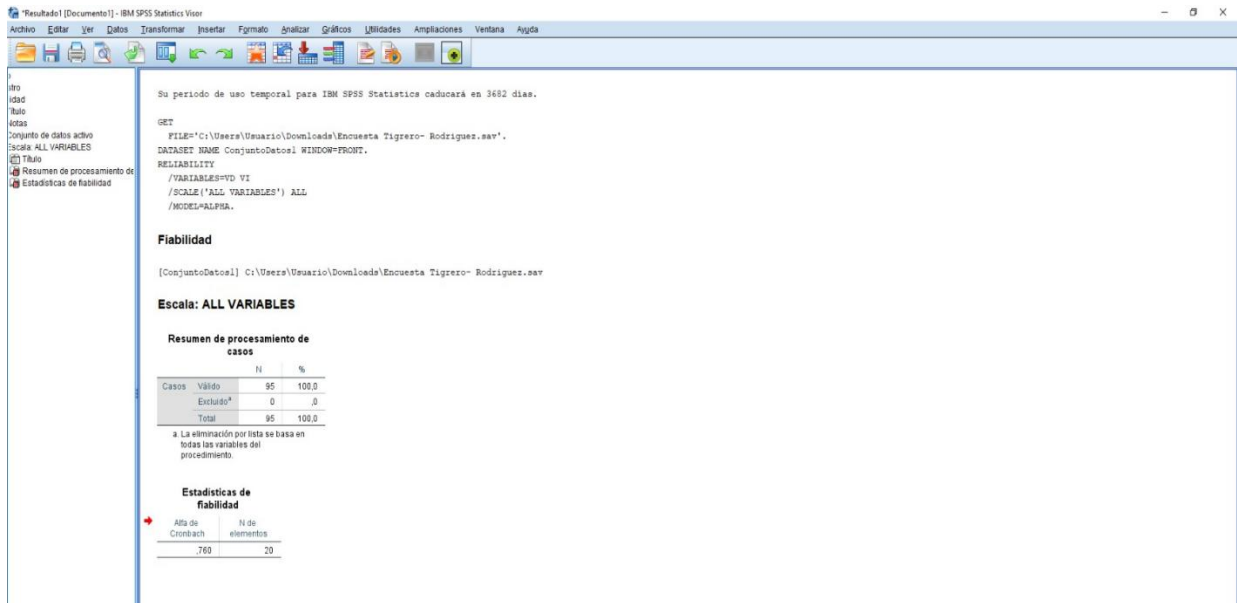
 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL 							
ASUNTO: VALIDACIÓN DE ENCUESTA POR EXPERTOS							
Opinión: Yo <u>VICTOR MANUEL MARTÍNEZ PULSAGUA</u> , con CI: <u>0912164043</u> , requerido por los estudiantes de Ingeniería Industrial, RODRIGUEZ ROSALES PAULINA NICOLE con CI: 2450276080, TIGRERO SUAREZ STEVEN ADOLFO con CI: 2450718354 para evaluar mediante el método Delphi la pertinencia de las preguntas contenidas en un cuestionario dirigido a los estudiantes de la carrera de ingeniería industrial si es factible medir la calidad y características mecánicas de botellones de agua, señalo lo siguiente: <div style="text-align: center;">  FIRMA </div>							
TEMA: DISEÑO DE PROTOTIPO DE ENSAYO PARA LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE BOTELLONES PLÁSTICOS EN LA UNIDAD DE PRÁCTICAS INDUSTRIALES UPSE							
No.	PREGUNTAS	RESPUESTA DECLARADA POR ESCALA DE LIKERT					
1	¿Considera usted que los botellones de agua que consume en su comunidad cumplen con los estándares de calidad y conservación del producto?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
2	¿Le gustaría que los botellones de agua sean estandarizados bajo una normativa vigente en cuanto a calidad, inocuidad y resistencia del envase?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
3	¿Ha identificado problemas en los botellones de agua, como fugas o fragilidad del material?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
4	¿Cree que los botellones de agua cumplen con prácticas adecuadas de producción y transporte?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
5	¿El diseño de los botellones permite una manipulación segura sin riesgo de ruptura?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
6	¿Es necesario evaluar las propiedades mecánicas del botellón para garantizar su resistencia?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
7	¿Los botellones plásticos soportan caídas y golpes sin deformarse?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
8	¿Considera usted que se mantienen las propiedades mecánicas de los botellones con el paso del tiempo?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
9	¿El botellón de agua se encuentra en buen estado físico (sin grietas ni roturas)?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
10	¿Las tapas y zonas de agarre del botellón resisten la manipulación frecuente en su traslado?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
11	¿Considera que el material del botellón es resistente y duradero?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
12	¿Ha notado deformaciones o daños en los botellones que usted compra?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
13	¿Los botellones plásticos soportan cambios de temperatura sin afectar su resistencia?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			
14	¿Considera necesario estudiar las características del botellón para asegurar su durabilidad y confiabilidad?	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">3</td> <td style="width: 20%;">4</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5			

15	¿El material del botellón es biodegradable o reciclable, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental?	1	2	3	4	5
16	¿Existe control sobre el manejo de residuos generados en la fabricación de botellones?	1	2	3	4	5
17	¿El material de los botellones no se deteriora cuando son sometidos a limpiezas internas?	1	2	3	4	5
18	¿Es importante estudiar la resistencia mecánica de los botellones para prevenir fallas?	1	2	3	4	5
19	¿Cree que la carrera de Ingeniería Industrial debería involucrarse en la evaluación de la calidad de los botellones de agua?	1	2	3	4	5
20	¿Le gustaría que los estudiantes de Ingeniería Industrial participen en proyectos de control y mejora de la calidad de los botellones de agua en la institución?	1	2	3	4	5

Escala de Likert	
5	Muy de acuerdo
4	De acuerdo
3	En desacuerdo
2	En desacuerdo más que en acuerdo
1	Muy en desacuerdo

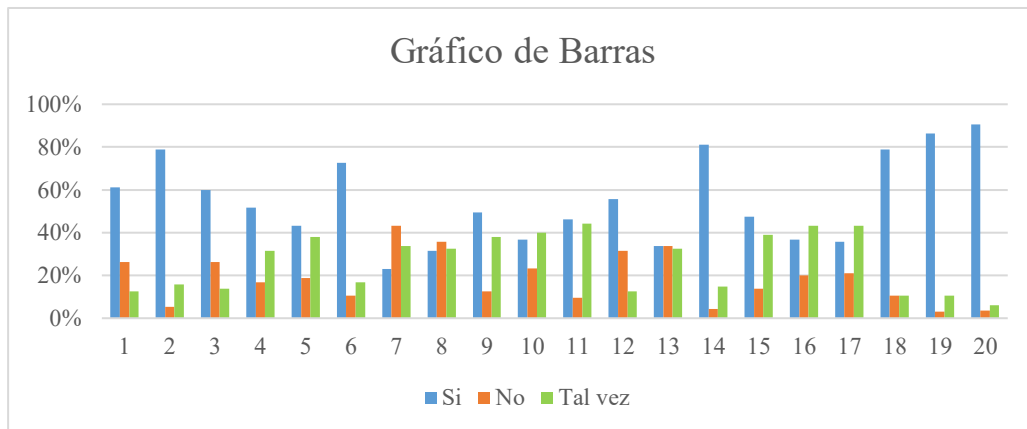
DATOS DEL EXPERTO:	
NOMBRE:	VICTOR MANUEL MATIAS PILLASABUA
PROFESIÓN:	Ing. Industrial
AÑOS DE EXPERIENCIA:	22
TELÉFONO:	0949820204
CORREO:	vmatias@upse.edu.ec
FECHA DE VALIDACION:	8-sept-2025

Anexo 9. Resultado de fiabilidad.



Nota: Obtenido del software SPSS

Anexo 10. Resultado de la encuesta.



Nota. Elaborado por autores.


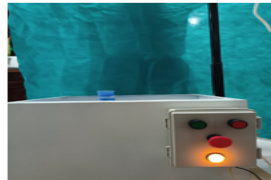
Anexo 11. Análisis de la encuesta.

Preguntas	Análisis de preguntas
Pregunta 1.	La mayoría de los encuestados con un 61.1%, considera que los botellones de agua en su comunidad cumplen con los estándares de calidad y conservación del producto; sin embargo, un 26.3% manifiesta dudas al responder "tal vez", lo que evidencia cierta incertidumbre sobre el tema. Además, un 12.6% de los participantes indica que no se cumplen dichos estándares, lo que, aunque minoritario, señala un aspecto a atender.
Pregunta 2.	La gráfica evidencia que el 78.9% de los encuestados desea que los botellones de agua sean estandarizados bajo una normativa vigente en cuanto a calidad, inocuidad y resistencia del envase, lo que refleja una clara tendencia hacia la necesidad de regulación formal.
Pregunta 3.	Basándose en los datos obtenidos, la figura indica que preocupación proporcional de los usuarios que un 60% de los encuestados aluden que, si existe problemas directos con los envases, como la fragilidad y fugas del material. Por el contrario, solo un 26.3% percibió ningún inconveniente, y un 13.7% presenta dudas, esta información sugiere que las fallas en el material es una actividad común entre los usuarios.
Pregunta 4.	La percepción sobre las prácticas de producción y transporte es variada. El 51.6% de los encuestados cree que son adecuadas, mientras que un 31.6% no está seguro y un 16.8% cree que no lo son. Esto apunta a una falta de transparencia o a fallas percibidas en la cadena de suministro, generando incertidumbre entre los consumidores.
Pregunta 5.	Menos de la mitad de los encuestados (43.2%) considera que el diseño de los botellones permite una manipulación segura sin riesgo de ruptura. Por otro lado, un 37.9% tiene dudas y un 18.9% cree que no son seguros. Esto indica que el diseño actual no inspira total confianza en los usuarios, lo que podría estar relacionado con la fragilidad del material mencionada anteriormente
Pregunta 6.	Hay un consenso muy fuerte sobre la necesidad de evaluar las propiedades mecánicas de los botellones para garantizar su resistencia, con un 72.6% de los encuestados respondiendo afirmativamente. Este resultado subraya la importancia que los consumidores le dan a la durabilidad y seguridad de los envases.
Pregunta 7.	La mayoría de los encuestados (43.2%) afirma que los botellones plásticos no soportan caídas y golpes sin deformarse. Esto, junto con el 33.7% que tiene dudas, deja en claro que la resistencia a los impactos es una de las principales preocupaciones de los consumidores. Solo un 23.2% considera que sí resisten.
Pregunta 8.	Casi la mitad de los encuestados (35.8%) considera que las propiedades mecánicas de los botellones no se mantienen con el paso del tiempo. Este hallazgo, combinado con el 32.6% que tiene dudas, sugiere una percepción de que el material se degrada con el uso, afectando su resistencia.
Pregunta 9.	El 49.5% de los encuestados considera que el botellón de agua que utiliza está en buen estado físico (sin grietas ni roturas). No obstante, el otro 50% se divide entre quienes no lo están (12.6%) y quienes no están seguros (37.9%). Estos resultados reflejan una disparidad en la calidad del producto entregado, con una parte significativa de los usuarios recibiendo envases defectuosos
Pregunta 10.	Una mayoría divida de los encuestados (40%) cree que las tapas y zonas de agarre resisten la manipulación frecuente, quienes dudan (36.8%) y quienes creen que no resisten (23.2%) sugiere que estas partes del botellón son un punto débil, causando inseguridad en el traslado del producto.
Pregunta 11.	La mayoría de los encuestados (46.3%) tiene dudas sobre si el material del botellón es resistente y duradero. Solo el 44.2% cree que sí lo es, y

Pregunta 12.	El 55.8% de los encuestados ha notado deformaciones o daños en los botellones que compra. Este dato confirma las preocupaciones planteadas en preguntas anteriores sobre la fragilidad y el mal estado físico de los envases.
Pregunta 13.	La resistencia a los cambios de temperatura es un punto de incertidumbre. Los resultados están divididos casi por igual entre quienes creen que sí resisten (37.7%), quienes creen que no (33.7%) y quienes tienen dudas (32.6%). Esto sugiere que no hay una percepción clara sobre la capacidad del material para soportar variaciones térmicas.
Pregunta 14.	Existe una opinión abrumadoramente positiva (81.1%) sobre la necesidad de estudiar las características del botellón para asegurar su durabilidad y confiabilidad. Este resultado resalta una clara demanda por una evaluación técnica y rigurosa de los envases.
Pregunta 15.	Los encuestados tienen percepciones divididas sobre la sostenibilidad del material. Un 38.9% tiene dudas sobre si es biodegradable o reciclable, mientras que el 47.4% cree que sí lo es y otro 13.7% cree que no. Esto muestra una falta de conocimiento o de información clara sobre el impacto ambiental del material utilizado en los botellones
Pregunta 16.	El 43.2% de los encuestados tiene dudas sobre la existencia de un control en el manejo de residuos generados en la fabricación de los botellones. Esto sugiere que los procesos de producción y su impacto ambiental no son transparentes para los consumidores
Pregunta 17.	La mayoría de los encuestados (43.2%) tiene dudas sobre si el material de los botellones se deteriora con las limpiezas internas, lo que plantea interrogantes sobre la durabilidad del material frente a procesos de sanitización.
Pregunta 18.	Un 78.9% de los encuestados considera importante estudiar la resistencia mecánica de los botellones para prevenir fallas, lo que refuerza la preocupación por la seguridad y la fiabilidad de estos productos.
Pregunta 19.	Una gran mayoría (86.3%) cree que la carrera de Ingeniería Industrial debería involucrarse en la evaluación de la calidad de los botellones de agua, lo que demuestra la confianza en la experticia técnica para resolver estos problemas.
Pregunta 20.	Existe un interés muy alto (90.5%) por parte de los encuestados en que los estudiantes de Ingeniería Industrial participen en proyectos de control y mejora de la calidad de los botellones, lo que sugiere una oportunidad para la colaboración académica e industrial.

Nota. Elaborado por los autores.

Anexo 12. Ficha técnica del prototipo.

FICHA TECNICA DE PROTOTIPO DE ENSAYO POR CAIDA LIBRE PARA CALCULAR LA CARACTERIZACION MECANICA DE LOS BOTELLONES PLASTICOS	
LABORADO POR:	Paulina Nicole Rodriguez Rosales Steven Adolfo Tigrero Suarez
FECHA:	20/10/2025
MAQUINA - EQUIPO	Ensayos de caída libre
UBICACIÓN	Unidad de practicas industriales upse
FABRICANTES	Paulina Nicole Rodriguez Rosales Steven Adolfo Tigrero Suarez
SECCIÓN	Prototipo de ensayo
MODELO	PROT -2025.2
CODIGO	1
CARACTERISTICAS GENERALES	
PESO	68 KG Aprox.
ANCHO	55 CM
ALTURA	200 CM
LARGO	55 CM
Características Técnicas	
<p>Tension de alimentación : 110 v - 24 v Capacidad maxima : 60 kg Controlador : Caja de control via manual Altura de caída : 0.6 cm - 200 cm Material estructural : Acero galvanizado Metodo de liberación: Controlador DC Area de impacto: 55cm x 55 cm</p> <p>FUNCIÓN DEL PROTOTIPO</p> <p>1. Calcular la caracterización mecánica Este prototipo realizará pruebas a diferentes alturas con un peso de 1KG por medio de caída libre para medir la capacidad de resistencia de los botellones plásticos</p> <p>2. Registrar y controlar Mediante el software ARUINO IDE nos permitirá controlar los resultados de cada ensayo facilitando el monitoreo y el análisis de los datos obtenidos.</p>	
	

Nota. Elaborado por los autores.

Anexo 13. Ficha técnica del electroimán.

FICHA TECNICA DEL ELECTROIMAN	
Voltaje de funcionamiento :	24 v CC
Corriente :	0.27 A
Potencia :	6.5 W
Capacidad de carga :	55 KG
Diametro :	5 cm
Ancho :	2.7 cm
Diametro del iman :	20 mm



Nota. Elaborado por los autores.

Anexo 14. Ficha técnica de celda de carga.

FICHA TECNICA, CELDA DE CARGA	
Espe cificación	Descripción
Material del cuerpo	Aleación de aluminio
Tipo de celda de carga	Galga extensiométrica
Capacidad	5 kg
Dimensiones	55.25 × 12.7 × 12.7 mm
Orificios de montaje	M5 (tamaño del tornillo)
Longitud del cable	550 mm
Calibre del cable	30 AWG (0.2 mm)
Número de conductores	4
Precisión	0,05%
Salida nominal	1.0 ± 0.15 mV/V
No linealidad	0.05 % FS
Histéresis	0.05 % FS
No repetibilidad	0.05 % FS
Flujo (por 30 minutos)	0.1 % FS
Efecto de temperatura en el cero (por 10 °C)	0.05 % FS
Efecto de temperatura en la sensibilidad (por 10 °C)	0.05 % FS
Balance de cero	±1.5 % FS
Impedancia de entrada	1130 ± 10 Ω
Impedancia de salida	1000 ± 10 Ω
Resistencia de aislamiento (bajo 50 VDC)	≥ 5000 MΩ
Voltaje de excitación	5 VDC
Rango de temperatura compensado	-10 °C a +40 °C
Rango de temperatura de operación	-20 °C a +55 °C
Sobrecarga segura	120 % de la capacidad
Sobrecarga máxima (límite)	150 % de la capacidad



Nota. Elaborado por los autores.

Anexo 15. Resultado de análisis ANOVA.



Unidireccional

[ConjuntoDatos2] C:\Users\Usuario\Downloads\ANOVA TIGRERO Y RODRIGUEZ.sav

ANOVA

Lectura	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8.556E+12	3	2.852E+12	1663646.361	.000
Dentro de grupos	75429070.25	44	1714297.051		
Total	8.556E+12	47			

IBM SPSS Statistics Processor está listo | Unicode ON | 2012 | 1/12/2012

Nota. Elaborado por los autores.



FORMULARIO DE SEGUIMIENTO DEL ENSAYO
ASTM D2436 – Resistencia al impacto por caída de envases termoplásticos
moldeados por soplado

Anexo 16. Formulario de seguimiento de ensayo.

Método utilizado para el ensayo: “MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA ENSAYOS DE IMPACTO POR CAÍDA LIBRE “LÍNEAS DE CALIDAD UPSE”, basado en la norma ASTM D2436”.

1. PROCESO INICIAL

a) Orden de ejecución recibido

Denominación orden:

Fecha: ___/___/___(dd/mm/aaaa); Hora: ___: ___ Firma técnico encargado: _____

b) Salida del producto de la bodega y verificación del estado

Producto Nuevo (según cliente): Si: No:

Embalaje dañado: Si: No:

Etiqueta dañada: Si: No:

Producto dañado: Si: No:

Fecha: ___/___/___(dd/mm/aaaa); Hora: ___: ___ Firma técnico encargado: _____

Solo en caso de daño (embalaje/producto/etiqueta):

Documentar daños (fotos que tomarán parte de la documentación) e informado al supervisor

Fecha: ___/___/___(dd/mm/aaaa); Hora: ___: ___ Firma técnico encargado: _____

Decisión supervisor de seguir o abortar ensayo: Seguir: Abortar:

Anotación: _____

Fecha: ___/___/___(dd/mm/aaaa); Hora: ___: ___ Firma técnico encargado: _____

En caso de abortar ensayo, el seguimiento termina aquí.



FORMULARIO DE SEGUIMIENTO DEL ENSAYO
ASTM D2436 – Resistencia al impacto por caída de envases termoplásticos
moldeados por soplado

El supervisor está obligado agregar las fotos del daño al reporte e informar al cliente.

c) Denominación de la muestra

Etiquetar o rotular (de forma imborrable) muestra para futura identificación

Fecha: ___/___/___ (dd/mm/aaaa); Hora: ___: ___ Firma técnico encargado: _____



FORMULARIO DE SEGUIMIENTO DEL ENSAYO
ASTM D2436 – Resistencia al impacto por caída de envases termoplásticos
moldeados por soplado

2. PROCESO PREVIO A ENSAYO

a) Verificación del buen estado del equipo.

Antes de realizar los ensayos, se deben garantizar que el equipo inicialmente fue verificado, como lo describe el formulario “LdC_Formulario_Verificación_Equipo_Ventilador_Vxy” (“...Vxy”: Versión actual según lista de documentos válidos).

Verificación visual de todos los instrumentos por encenderlos y constatar el buen estado del mismo

<i>Descripción</i>	<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Código</i>	<i>Estado</i>	<i>Observaciones</i>
<i>Láser</i>	DEWALT	DW087-	1524104023-	<input type="checkbox"/> Bueno	
		DW088	001	<input type="checkbox"/> Sospechoso	
<i>Balanza de precisión</i>	SARTORIUS	Entris 820	1524104043-	<input type="checkbox"/> Bueno	
		1S	002	<input type="checkbox"/> Sospechoso	
<i>Multímetro</i>	FLUKE	175,77	1524104059-	<input type="checkbox"/> Bueno	
		&179	002	<input type="checkbox"/> Sospechoso	

En caso de un instrumento sospechoso, no se debe continuar con el ensayo, sino se debe informar al Supervisor y realizar antes un ensayo con la muestra patrón para determinar, si los instrumentos estén en orden. En caso de falla de un instrumento, no se debe realizar más este tipo de ensayo hasta que haya sido arreglado el instrumento.

Fecha: ___/___/___ (dd/mm/aaaa); Hora: ___ : ___ Firma técnico encargado: _____



FORMULARIO DE SEGUIMIENTO DEL ENSAYO
ASTM D2436 – Resistencia al impacto por caída de envases termoplásticos
moldeados por soplado

b) Clasificación del prototipo de caída libre, si aplica norma:

- Altura ajustable entre 0,3 a 2,0m Si: No:
Altura ajustable medida *): _____m
- Carga de prueba máxima de 100kg Si: No:
Carga de prueba medida*): ___kg
- Tamaño máximo de la muestra 0,80*0,60*1,0 m Si: No:
Tamaño de la muestra medida*): _____m

Fecha: ___/___/___ (dd/mm/aaaa); Hora: ___:___ Firma técnico encargado: ___

Solo en caso de no aplicar la norma (uno o más puntos marcados “Sí”)

Anotación:

Fecha: ___/___/___ (dd/mm/aaaa); Hora: ___:___ Supervisor: _____

Se aborta el ensayo, el seguimiento termina aquí.

El supervisor está obligado informar al cliente.

3. Ensayo

a) Verificación inicial

- La estructura de la máquina está nivelada
- Electroimán se energiza y está correctamente conectada a la caja de control.

Fecha: ___/___/___ (dd/mm/aaaa); Hora: ___:___ Firma técnico encargado: _____



FORMULARIO DE SEGUIMIENTO DEL ENSAYO
ASTM D2436 – Resistencia al impacto por caída de envases termoplásticos moldeados por soplado

b) Funcionamiento visual

Máquina de prueba de impacto funciona durante en ensayo “normal”: Si No

Solo en caso de mal funcionamiento:

Caja de control no enciende al inicio (electroimán no energizado).

Mecanismo de altura ajustable no se desliza correctamente.

Otros: _____

Información al supervisor

Fecha: ___/___/___ (dd/mm/aaaa); Hora: ___:___ Firma técnico encargado: ___

Decisión supervisor de seguir o abortar ensayo: Seguir: Abortar:

Anotación: _____

Fecha: ___/___/___ (dd/mm/aaaa); Hora: ___:___ Supervisor: _____

En caso de abortar ensayo, el seguimiento termina aquí, el supervisor está obligado, en caso de daños visibles, agregar las fotos del daño al reporte e informar al cliente.

c) Preparación del ensayo

La muestra se encuentra sobre la base de impacto centrado, seco y estable.

La bola de acero se encuentra imantada correctamente.

La altura de caída está medida desde la base del botellón hasta el electroimán.

Fecha: ___/___/___ (dd/mm/aaaa); Hora: ___:___ Firma técnico encargado: _____



FORMULARIO DE SEGUIMIENTO DEL ENSAYO
ASTM D2436 – Resistencia al impacto por caída de envases termoplásticos moldeados por soplado

d) Ejecución del ensayo

- Se energiza electroimán junto a la bola de acero colocada.
- Cronómetro digital atento al tiempo de caída de la bola de acero.
- Corte de energía del electroimán para liberar la bola de acero, permitiendo su caída libre.
- La bola impacta el botellón, generando una fuerza registrada por la celda de carga.

Fecha: ___ / ___ / ___ (dd/mm/aaaa); Hora: ___ : ___ Firma técnico encargado: ___

e) Registro de datos

N ^o	Tratamiento	Mate- rial	Altur- a (met- ros)	Orienta- ción	Result- ado: Rotur- a (Si/no)	Daños observ- ados	Masa de caída libre	Energía a cinética al impacto	Vf de impacto (m/s)	Tiempo en detenci- ón	Peso de impacto (kg)	Fuerza de impacto (N)

f) Resultado de la muestra

Anexar las comparaciones de la muestra inicial y final:

Fecha: ___ / ___ / ___ (dd/mm/aaaa); Hora: ___ : ___ Firma técnico encargado: ___

-----<Fin del formulario “Seguimiento ensayo Máquina de caída libre”>-----

La Libertad, 18 de noviembre del 2025

Carta de donación de prototipo.

Estimada,

Ingeniera: Ing. Balón Ramos Isabel del Rocío, MSc.

DIRECTORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Estudiantes: Rodríguez Rosales Paulina Nicole, Tigrero Suarez Steven Adolfo

Nos dirigimos a usted con el propósito de formalizar una donación de materiales que consideramos de gran utilidad para el desarrollo de los proyectos académicos en nuestro taller industrial, Los materiales que estamos donando son los siguientes: Electroimán de succión P50/27 24VDC 55Kg, Bola de lanzamiento de 1kg, tablero H-B gris 20x15x10cm+plafon econ, Relé estado sólido 25A 3-32 VDC/24-480 VAC, Modulo HX711, Arduino UNO + cable USB, celda de carga de 5 kg y finalmente la estructura metálica, Estamos convencidos de que estos materiales contribuirán significativamente al aprendizaje y desarrollo práctico de nuestros compañeros. Esperamos que esta donación sea recibida con agrado y pueda ser utilizada de manera efectiva en los proyectos futuros.

Agradecemos de antemano su atención y quedamos a disposición para coordinar la entrega de los materiales.

Atentamente,

RODRIGUEZ PAULINA

Atentamente,

TIGRERO STEVEN