



# Revista Digital La Pasión del Saber

ISSN:2244-7857 / Depósito Legal: ppi200902CA3925

## **Construcción de una máquina para la fabricación de juntas tóricas a partir de cordones elastoméricos**

Juan Manuel León Meza<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0009-0003-0371-6581>

Universidad José Antonio Páez

San Diego, Venezuela

Daniel Alejandro Rivero Vivas<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0009-0005-7735-2543>

Universidad José Antonio Páez

San Diego, Venezuela

Giovanni Pizzella<sup>3</sup>

<https://orcid.org/0009-0009-9071-5440>

Universidad José Antonio Páez

San Diego, Venezuela

Recibido: 24-10-2025

Aceptado: 17-12-2025

### **Resumen**

En el ámbito de la producción y manufactura, la necesidad de contar con juntas tóricas de forma inmediata representa un desafío técnico recurrente. Se presenta una investigación cuyo objetivo fue diseñar y construir una máquina capaz de fabricar juntas tóricas con diámetros y grosores estandarizados, utilizando cordones elastoméricos comerciales aptos para condiciones de alta temperatura, presión elevada y cargas estáticas y dinámicas. El estudio se enmarcó como un Proyecto Factible, con diseño documental y de campo. La muestra fue censal, conformada por juntas tóricas evaluadas en cuanto a material, durabilidad, resistencia y eficiencia. Se emplearon técnicas como la observación y la entrevista, con instrumentos validados por expertos. El análisis se apoyó en el diagrama de Ishikawa y estadística descriptiva. La investigación se desarrolló en seis fases: diagnóstico, análisis de propiedades mecánicas, selección de alternativa, diseño, construcción de la máquina y evaluación de viabilidad. Los resultados evidencian que la máquina permite procesos de fabricación precisos y eficientes, garantizando calidad y consistencia en las juntas producidas. No obstante, se identificaron limitaciones

---

<sup>1</sup> Ingeniero Mecánico de la Universidad José Antonio Páez. Correo electrónico: jmlm1435@gmail.com

<sup>2</sup> Ingeniero Mecánico de la Universidad José Antonio Páez. Correo electrónico: danielrivero230101@gmail.com

<sup>3</sup> Ingeniero Mecánico de la Universidad de Carabobo. Correo electrónico: gpizzell@ujap.edu.ve.com

en cuanto a la variedad de espesores y diámetros internos, así como en la capacidad de producción masiva. Este trabajo permitió consolidar conocimientos técnicos en el área de ingeniería mecánica y alcanzar el objetivo planteado.

**Palabras clave:** Ingeniería Mecánica; Fabricación de Juntas; Cordones Elastoméricos; Diseño de Maquinaria; Producción Industrial.

## **Construction of a machine for the manufacture of o-rings from elastomeric cords**

### **Abstract**

In the production and manufacturing sectors, the need for immediate O-rings represents a recurring technical challenge. Presents a research project whose objective was to design and build a machine capable of manufacturing O-rings with standardized diameters and thicknesses, using commercial elastomeric cords suitable for high temperatures, high pressures, and static and dynamic loads. The study was framed as a Feasible Project, with documentary and field design. The sample was census-based, consisting of O-rings evaluated for material, durability, strength, and efficiency. Techniques such as observation and interviews were used, with instruments validated by experts. The analysis was based on the Ishikawa diagram and descriptive statistics. The research was carried out in six phases: diagnosis, analysis of mechanical properties, selection of alternatives, design, machine construction, and feasibility evaluation. The results show that the machine enables precise and efficient manufacturing processes, ensuring quality and consistency in the produced O-rings. However, limitations were identified regarding the range of thicknesses and internal diameters, as well as mass production capacity. This work consolidated technical knowledge in the field of mechanical engineering and achieved the stated objective.

**Keywords:** Mechanical Engineering; Gasket Manufacturing; Elastomeric Cords; Machine Design; Industrial Production.

### **Introducción**

Las juntas tóricas constituyen componentes esenciales en una amplia variedad de equipos industriales, ya que garantizan el sellado adecuado y previenen fugas en sistemas sometidos a presión. Una selección incorrecta o un uso inadecuado de estos elementos puede derivar en fallos operativos, reducción de la vida útil del equipo e incluso riesgos para la seguridad industrial (ISO, 3601-1:2015).

En el contexto del mantenimiento mecánico correctivo, resulta imprescindible contar con las herramientas necesarias para resolver fallos de sellado. No obstante, ello exige conocer con precisión las dimensiones y el tipo de material requerido para el sello O-ring. Cuando no se dispone del repuesto específico, una alternativa viable consiste en utilizar cordones elastoméricos, conocidos como cordones tóricos, que permiten fabricar juntas personalizadas.

Estos cordones corresponden a tramos continuos con sección transversal circular, elaborados en materiales específicos según las condiciones de operación. Para su uso, se calcula la longitud requerida, se realiza un corte limpio a 90 grados respecto al eje longitudinal y se unen ambos extremos para conformar la junta tórica.

Aunque este procedimiento parece sencillo, implica considerar múltiples variables técnicas. Entre ellas, destacan la compatibilidad del material con el fluido de trabajo, el rango de presión y temperatura, así como las exigencias de seguridad y funcionalidad del equipo. La correcta selección del elastómero y el dimensionamiento preciso del sello son factores determinantes para garantizar la estanqueidad del sistema (Perry & Green, 2008).

Asimismo, el corte a 90 grados maximiza la superficie de contacto entre los extremos, favoreciendo la adherencia. Por ello, es fundamental evaluar los productos adhesivos que aseguren una unión efectiva, minimizando el riesgo de fallos, pérdidas de insumos y desperdicio de materia prima.

Las juntas tóricas están sometidas a condiciones exigentes, incluyendo magnitudes elevadas de presión y temperatura, así como cargas estáticas y dinámicas que incrementan los requerimientos de estanqueidad. Por ello, resulta indispensable estudiar los materiales que las componen, con el fin de garantizar una unión sólida y resistente entre los extremos del cordón elastomérico.

En este contexto, la investigación planteó como pregunta central: ¿Cómo unir cordones de Vitón o Nitrilo para fabricar juntas tóricas con el grosor y diámetro deseado, capaces de soportar altas temperaturas, presión elevada y cargas mecánicas diversas?

El objetivo general fue construir una máquina para la fabricación de juntas tóricas estandarizadas, utilizando cordones comerciales que cumplan con los requisitos de resistencia térmica, presión y carga.

Para alcanzar este propósito, se formularon los siguientes objetivos específicos:

1. Diagnosticar las variables que intervienen en la unión actual de cordones elastoméricos para la creación de juntas tóricas.
2. Analizar las propiedades mecánicas de las juntas tóricas, como tracción, dureza, desgaste y elasticidad, según el material empleado.
3. Seleccionar la alternativa más adecuada para el diseño de una máquina capaz de fabricar juntas tóricas a partir de cordones elastoméricos.
4. Diseñar la alternativa seleccionada para su posterior construcción.
5. Construir la máquina conforme al diseño elaborado.
6. Evaluar la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica de la máquina desarrollada.

Esta propuesta busca contribuir a la reducción de los tiempos de parada en empresas venezolanas, ocasionados por la limitada disponibilidad de juntas tóricas en el mercado nacional. Según un estudio de la Confederación Venezolana de Industriales (CONINDUSTRIA, 2021), el 20 % de las industrias se ven obligadas a importar herramientas y componentes como juntas tóricas para solventar fallas operativas.

A partir de esta problemática, se realizó una revisión de literatura que permitió identificar antecedentes relevantes. Entre ellos, destacan tres estudios que aportaron elementos clave para el desarrollo de la investigación.

El primero corresponde al trabajo de Martín Salamanca et al. (2023), desarrollado en España, titulado *Modelado matemático y simulación numérica en elastómeros: estado del arte*. Su objetivo fue revisar los principales métodos matemáticos utilizados para analizar la transferencia de calor en compuestos vulcanizados. Este estudio proporcionó fundamentos teóricos y prácticos que justifican la necesidad de abordar el diseño y construcción de una máquina especializada.

El segundo antecedente es la investigación de Dávila Rodríguez y Martínez Pozo (2019), realizada en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (Ecuador), titulada *Estudio comparativo teórico-experimental del comportamiento en vibración transversal de cordones elastoméricos*. Su objetivo fue analizar la frecuencia vibracional transversal de una cuerda elastomérica mediante distintos modelos matemáticos. Los hallazgos confirmaron que el éxito funcional depende en gran medida de la adecuada elaboración del material.

Otro antecedente relevante fue el corresponde al trabajo de Piña Castro (2019), realizado en México, titulado *Metodología para la selección de junta tórica y diseño de ranura de sellado en luminarias*. Su objetivo fue desarrollar una metodología de diseño que definiera las dimensiones óptimas de la junta tórica y la ranura de sellado, logrando un rendimiento del 100 % en pruebas de fuga. Este estudio aportó información valiosa sobre el tratamiento térmico de elastómeros, especialmente en los procesos de inducción, curado y postcurado.

Además de los antecedentes empíricos, la revisión de literatura permitió identificar tres teorías centrales que sustentan esta investigación: la teoría de la energía de distorsión, la teoría cinética molecular y la teoría de la computación.

La teoría de la energía de distorsión constituye un método de análisis orientado a predecir la falla por fluencia en materiales dúctiles, indicando que estos ceden cuando la tensión de Von Mises alcanza el límite de tensión  $S_y$  (Márquez-González & Meza-de-Luna, 2020). Por su parte, la teoría cinética molecular ofrece un modelo microscópico eficaz para explicar las leyes de los gases, basado en cinco postulados fundamentales (Kauzmann, 2024).

En cuanto a la teoría de la computación, esta se configura como una disciplina científica

sustentada en principios matemáticos, cuya base conceptual es la máquina de Turing. Integra elementos de lógica matemática, teoría de conjuntos, teoría de grafos, álgebra matricial y álgebra relacional, entre otros (Rodríguez, 2020).

Asimismo, se profundizó en conceptos clave relacionados con los materiales elastoméricos y sus propiedades, como temperatura, resistencia química y dureza, así como en los procesos de manufactura empleados en la fabricación de juntas tóricas: moldeo por inyección, compresión, extracción y maquinado de cordón tórico. También se revisaron principios de termodinámica, conservación de la energía y transferencia de calor por conducción, junto con valores específicos de conductividad térmica, coeficientes de transferencia por convección natural y parámetros del proceso de curado o vulcanizado.

La investigación se desarrolló en cumplimiento del marco legal vigente, considerando los artículos 1, 2, 8 y 45 de las *Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica*, debido a que los gases emitidos durante la vulcanización de cordones elastoméricos pueden afectar la salud y la calidad ambiental.

Asimismo, se respetaron las normas ISO 3309, ISO 1624 e ISO 3601, las cuales establecen dimensiones y tolerancias estándar para juntas tóricas de caucho y otros elastómeros, requisitos para la selección de materiales y métodos de prueba estandarizados para evaluar propiedades físicas y rendimiento.

Adicionalmente, se consideraron dos normas emitidas por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM). La norma ASTM D1414 proporciona una guía para seleccionar materiales elastoméricos adecuados para juntas tóricas (American Society for Testing and Materials, 2001), mientras que la ASTM D2000 establece un sistema de clasificación integral para productos de caucho utilizados en aplicaciones automotrices (American Society for Testing and Materials, 2022).

## **Materiales y Métodos**

La investigación se enmarcó en un enfoque tecnológico, orientado al desarrollo de soluciones aplicadas en el ámbito de la ingeniería mecánica. En este sentido, se consideraron variables como la eficiencia operativa, el mantenimiento mecánico, las medidas de seguridad y la respuesta a necesidades industriales específicas, desde la identificación del problema hasta el diseño de una máquina para la fabricación de juntas tóricas.

Se adoptó la modalidad de proyecto factible, dado que el objetivo implicó la construcción de un dispositivo funcional a partir de cordones elastoméricos, con el propósito de ofrecer una solución tecnológica eficiente que contribuya a mantener la operatividad y seguridad en los procesos productivos (Hernández et al., 2014).

Respecto al diseño metodológico, se empleó un enfoque documental, sustentado en la revisión y análisis de investigaciones previas, complementado con un diseño de campo, que permitió la recolección de datos mediante entrevistas semiestructuradas a dos expertos en el área. Esta combinación metodológica facilitó la triangulación de información y el análisis contextual de variables técnicas relevantes.

La investigación se clasificó de nivel descriptivo, ya que se orientó a detallar el proceso de desarrollo, construcción y evaluación de la máquina, aportando al fortalecimiento de capacidades tecnológicas y a la mejora de la competitividad industrial.

La muestra estuvo conformada por un conjunto de juntas tóricas de distintos fabricantes, materiales y dimensiones, utilizadas en aplicaciones hidráulicas y neumáticas. Estas fueron evaluadas en función de su durabilidad, resistencia mecánica, eficiencia operativa y capacidad de sellado.

La técnica de recolección de datos empleada fue la observación directa, apoyada por una guía de observación diseñada *ad hoc* y validada por expertos del área de Ingeniería Mecánica de la Universidad José Antonio Páez. Esta validación garantizó la pertinencia y confiabilidad del instrumento aplicado para el levantamiento de los requerimientos técnicos del equipo.

Para el análisis de la información, se utilizó el diagrama de Ishikawa como herramienta para la identificación de causas y toma de decisiones en el diseño de la máquina, lo cual permitió visualizar las relaciones entre variables técnicas, operativas y materiales (Ishikawa, 1986).

El desarrollo de la investigación se estructuró en seis fases, alineadas con los objetivos específicos planteados:

1. Fase I: Evaluación de las variables que intervienen en la unión de cordones elastoméricos para la fabricación de juntas tóricas.
2. Fase II: Análisis de estándares de calidad y rendimiento requeridos para aplicaciones industriales exigentes.
3. Fase III: Recolección de datos técnicos para fundamentar el diseño de la máquina, considerando las necesidades operativas identificadas.
4. Fase IV: Diseño y simulación de la alternativa seleccionada.
5. Fase V: Construcción de la máquina, considerando aspectos como dimensiones, consumo energético, mantenimiento preventivo y correctivo, calidad de insumos y costos de inversión.
6. Fase VI: Evaluación de la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica del dispositivo desarrollado.

## Resultados

En la primera fase de la investigación se identificaron las posibles causas del problema

mediante la aplicación del diagrama de Ishikawa. Esta herramienta permitió visualizar de forma estructurada los factores que inciden en la necesidad de fabricar juntas tóricas con propiedades mecánicas superiores, evitando el abordaje directo de soluciones sin un análisis previo de las causas raíz (ver Figura 1).

**Figura 1**  
*Causas del problema*



Las causas identificadas fueron consideradas en el desarrollo de las opciones de diseño del banco de pruebas, con el propósito de eliminar o mitigar los factores críticos. Asimismo, se incorporaron los aportes de dos expertos en el área, quienes, mediante entrevistas, ofrecieron información relevante sobre los materiales utilizados en la fabricación de juntas tóricas, las propiedades mecánicas deseables, el diámetro interno, los métodos de unión, las condiciones de temperatura y los materiales adecuados para sellar productos derivados del petróleo, como el Vitón y el Nitrilo.

Durante esta fase se analizaron ocho variables críticas que influyen directamente en la calidad de los sellos tipo O-ring fabricados a partir de cordones elastoméricos: rugosidad superficial, método y ángulo de corte, herramienta de corte, intensidad y distribución de la presión, proceso de vulcanización, control de agentes externos, transferencia de calor y uniformidad en la unión. Cada una de estas variables fue estudiada con rigurosidad, dada su incidencia en la eficacia del producto final.

En la segunda fase se realizó el análisis de propiedades mecánicas esenciales para la fabricación de sellos tipo O-ring, con énfasis en los materiales Vitón y Nitrilo. Se evaluaron propiedades reológicas como viscosidad, elasticidad y flujo, determinando parámetros como el torque mínimo y máximo, el tiempo de scorch y el tiempo óptimo de curado.

Adicionalmente, se analizaron propiedades mecánicas específicas de los elastómeros,

incluyendo unidades de medida, número de grado, tipo y clase, designación de materiales, dureza, resistencia a la tracción y sufijos de requisitos adicionales, conforme a lo establecido en la norma ASTM D2000 (American Society for Testing and Materials, 2022).

En esta fase se realizó un análisis exhaustivo de las propiedades mecánicas mínimas del Vitón y del Nitrilo, considerando los rangos de variación aceptables establecidos por la norma ASTM D2000, así como los cambios admisibles en propiedades por compresión. También se evaluaron variables asociadas a la resistencia de los materiales frente a fluidos como aceites y lubricantes, fundamentales en aplicaciones industriales.

El análisis permitió identificar múltiples variables críticas que deben considerarse para diseñar una máquina capaz de producir juntas tóricas con sellos tipo O-ring que cumplan, o incluso superen, los estándares normativos. Para lograr una unión de alta calidad, es esencial emplear cordones elastoméricos de óptima procedencia y desempeño.

Tras una investigación comercial de los cordones elastoméricos disponibles en el mercado nacional, se seleccionó un producto ofrecido por un importador ubicado en Valencia, estado Carabobo. Además, se identificó un adhesivo para vulcanización denominado Fluoroelastomer Adhesiv, fabricado por una empresa estadounidense.

Como alternativa, se planteó la elaboración de un adhesivo a partir de principios de formulación de hules sintéticos. Para ello, se realizaron los cálculos correspondientes para la formulación de un material de aporte que permitiera la unión de cordones de Nitrilo (ver Tabla 1).

**Tabla 1**

*Componentes y sus partes para la formulación de material de aporte en Nitrilo*

<b>Materia prima</b>	<b>Hule</b>	<b>Plastificante dop</b>	<b>Ácido esteárico</b>	<b>Óxido zinc</b>	<b>Caolín calcinado</b>	<b>Azufre</b>	<b>Tm td</b>	<b>Negro de humo</b>
Partes	100	15	2	3	30	1.5	1.5	90

El primer paso consistió en totalizar el número de partes y definir la cantidad de material a producir. Se obtuvo un total de 192 partes, lo que permitió fabricar un kilogramo de material para vulcanizar. Al calcular los insumos requeridos, se obtuvo un total de 981.28 gramos, dejando una merma de 18.72 gramos respecto a la proyección inicial.

En el segundo paso se procedió a la homogenización de los ingredientes, considerando el secado de los componentes sólidos, la mezcla de ingredientes secos, la adición del plastificante, la incorporación del negro de humo y la integración con el caucho de Nitrilo. El tercer paso correspondió al proceso de extrusión, que incluyó la carga de la masa, la extrusión propiamente dicha y el monitoreo del proceso. Estos procedimientos

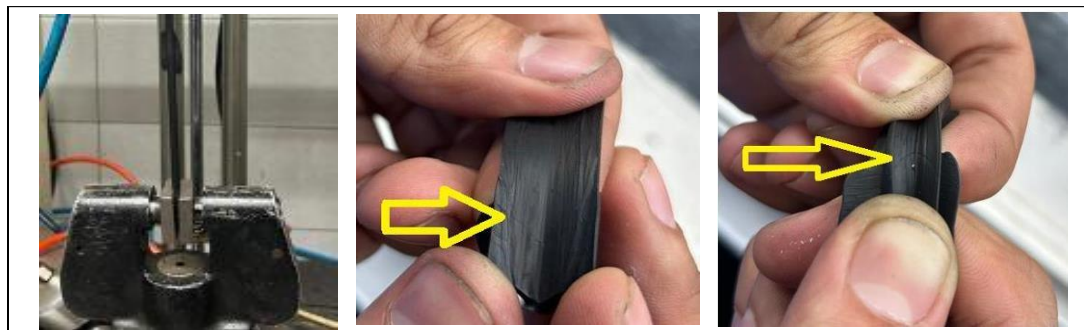


permitieron obtener material de Nitrilo virgen, apto para su posterior vulcanización. Finalmente, se realizaron ensayos de tracción, elongación y dureza, fundamentales para la caracterización de los materiales. Estos ensayos proporcionan información clave sobre la resistencia, elasticidad y durabilidad del elastómero unificado. Las pruebas se llevaron a cabo en la máquina de ensayo de tracción ubicada en el laboratorio de estudios elastoméricos de la empresa C.A. Goodyear de Venezuela.

En el primer estudio se trabajó con muestras de cordones elastoméricos de 3 mm de sección transversal, con una dureza de 65 puntos en la escala Shore A. El segundo estudio involucró muestras de 5 mm de sección, previamente unidas con Nitrilo virgen, también con 65 puntos de dureza. En el tercer estudio se evaluaron cordones de 7 mm de sección transversal, con una dureza de 70 puntos Shore A. Posteriormente, se seleccionaron aleatoriamente dos muestras para realizarles un corte longitudinal, con el fin de observar el comportamiento de la unión entre el material base y el material de aporte (ver Figura 2).

## Figura 2

*Corte y evaluación visual de la probeta número 2 y 5*



Los resultados obtenidos en los ensayos con diferentes diámetros permitieron concluir que la resistencia de la unión mejora a medida que aumenta el diámetro del cordón. Este fenómeno se explica por el incremento en el área de contacto, lo que favorece una distribución más uniforme de las tensiones y reduce la concentración de esfuerzos en puntos críticos.

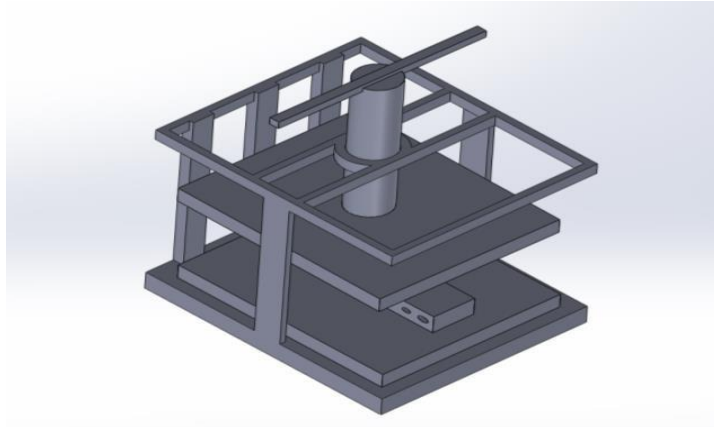
Durante la tercera fase se aplicó la metodología propuesta por Vélchez (2016), la cual permitió evaluar distintas alternativas en función de su disponibilidad en el mercado, costos asociados, amplitud de diseño y capacidad operativa. También se consideraron criterios como facilidad de unión, capacidad de compresión, mantenibilidad, adquisición de repuestos, costo de fabricación, robustez estructural y facilidad de instalación.

El análisis comparativo condujo a la selección de un modelo de máquina de prensado con cuello de cisne y resistencias tubulares, acompañado de un molde independiente. Este diseño fue considerado el más adecuado para responder a los requerimientos técnicos y operativos del proceso de fabricación de juntas tóricas a partir de cordones

elastoméricos (ver Figura 3).

### **Figura 3**

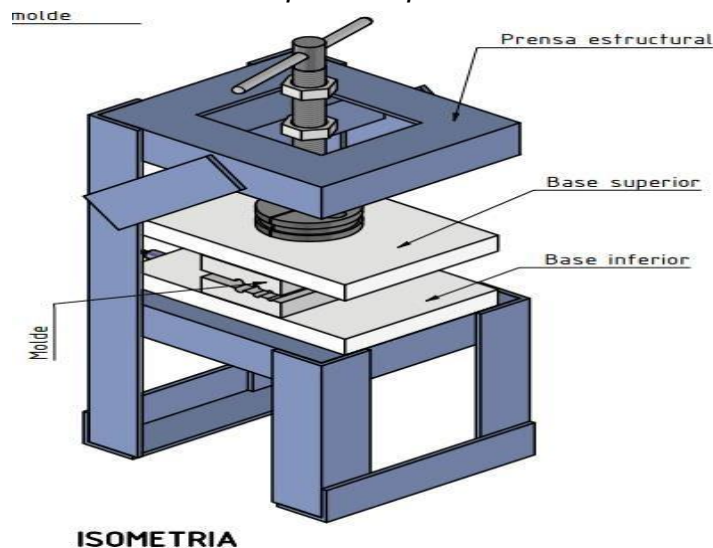
*Máquina de prensado con cuello de cisne y resistencias tubulares con molde independiente*



Este modelo se caracteriza por una estructura rígida y ergonómica, que incorpora una barra roscada y una manivela para ejercer presión controlada. Este mecanismo facilita la transferencia de calor entre las planchas y el molde, donde se ubican los extremos del cordón, permitiendo la conformación del sello tipo O-ring.

El molde utilizado posee troquelado en tres medidas estándar: 1/8" (3,175 mm), 3/16" (4,76 mm) y 1/4" (6,35 mm). A partir de esta decisión se avanzó hacia la cuarta fase, correspondiente al diseño técnico de la máquina. Este proceso se fundamentó en criterios de eficiencia, fiabilidad y adaptabilidad a las condiciones de operación (ver Figura 4).

**Figura 4**  
*Diseño final de máquina de prensado*



Con base en este diseño se procedió a la construcción de la máquina y a la implementación del banco de pruebas, correspondiente a la quinta fase de la investigación. Para ello se contó con el apoyo del taller H.C. & G., C.A. El proceso inició con el corte de perfiles estructurales, con el objetivo de obtener las secciones necesarias para conformar la estructura del equipo (ver Figura 5).

**Figura 5**  
*Corte en secciones del ángulo estructural*



Seguidamente, se procedió al desbaste y soldadura de las secciones de ángulo estructural previamente cortadas, utilizando electrodos tipo 6013, adecuados para trabajos de unión en estructuras metálicas (ver Figura 6).

## Figura 6

*Proceso de soldadura de la estructura con electrodo 6013.*



Posteriormente, en el taller Metalmecánica del Centro II, C.A., se realizaron mecanizados en fresa y torno sobre las planchas de prensado superior e inferior, así como en las planchas del molde de vulcanizado. Este procedimiento fue fundamental para garantizar la precisión dimensional y la calidad del molde, lo que permitió obtener resultados óptimos en la fabricación de los componentes (ver Figura 7).

## Figura 7

*Mecanizado de molde con fresa*



En el torno del taller H.C. & G., C.A., se mecanizaron otras piezas clave para la construcción de la máquina, tales como el tornillo sin fin, la manzana de acople para la acción de prensado y las guías cónicas del molde de vulcanizado (ver Figura 8).



## Figura 8

*Mecanizado de guías cónicas de molde de vulcanizado.*



Una vez disponibles las partes principales del diseño, se procedió al ensamble del sistema mecánico de la máquina. Las planchas fueron posicionadas en sus respectivos espacios y fijadas para reducir sus grados de libertad, asegurando la estabilidad estructural. Posteriormente, se completó el ensamble mecánico y se aplicaron capas de pintura en las superficies externas, sin afectar las zonas funcionales del equipo.

A continuación, se desarrolló el sistema eléctrico para el control de temperatura. Se realizaron las conexiones conforme al esquema eléctrico previamente diseñado, cumpliendo con las medidas de seguridad establecidas. Finalmente, se instalaron las resistencias tubulares en sus respectivos alojamientos y se efectuaron pruebas de verificación de funcionamiento (ver Figura 9).

## Figura 9

### *Construcción de máquina finalizada*



En la sexta y última fase de la investigación se realizó la evaluación de la viabilidad del proyecto, concluyéndose que la máquina diseñada es viable en términos técnicos, operativos, ambientales y económicos. Esta evaluación integral permitió determinar que la implementación del equipo para la fabricación de juntas tóricas a partir de cordones elastoméricos no representa limitaciones significativas en contextos industriales similares.

La viabilidad técnica se sustentó en la funcionalidad del diseño, la precisión de los componentes y la eficacia del sistema de prensado y vulcanizado. La viabilidad operativa se evidenció en la facilidad de uso, mantenibilidad y adaptabilidad del equipo a distintos entornos productivos. En cuanto a la viabilidad ambiental, se consideraron las emisiones controladas durante el proceso de vulcanización, en cumplimiento con las normativas vigentes. Finalmente, la viabilidad económica se confirmó mediante el análisis de costos de fabricación, adquisición de insumos y retorno esperado de inversión.

Con base en estos resultados, se concluye que el proyecto puede ser implementado con confianza en entornos industriales que requieran soluciones inmediatas y eficientes para la fabricación de juntas tóricas personalizadas.

El objetivo de esta investigación fue construir una máquina para la fabricación de juntas tóricas con diámetros y grosores estandarizados, utilizando cordones elastoméricos comerciales capaces de soportar altas temperaturas, presión elevada y cargas estáticas y dinámicas. Este propósito se cumplió a lo largo de las seis fases del estudio, integrando tanto fundamentos teóricos como normativas técnicas esenciales para el diseño, construcción y validación del equipo.

Durante el desarrollo del proyecto se abordaron aspectos clave como el análisis de propiedades mecánicas de los materiales, la evaluación de métodos de unión, la aplicación de simulaciones mediante software especializado y la incorporación de criterios de eficiencia operativa. Estos elementos permitieron perfeccionar el diseño y asegurar la funcionalidad de la máquina en condiciones reales de uso.

En consecuencia, se concluye que el proyecto no solo resuelve el problema técnico identificado, sino que también establece una base sólida para futuras investigaciones orientadas a la mejora de procesos de manufactura de componentes elastoméricos. Se destaca la relevancia de aplicar un enfoque sistemático y riguroso en el diseño de maquinaria, reconociendo que cada etapa del proceso, desde el diagnóstico hasta la evaluación de viabilidad, es determinante para alcanzar resultados óptimos y sostenibles.

## Agradecimientos

Se agradece a la empresa C.A. Good Year de Venezuela; H.C. & G., C.A. y Metalmecánica del Centro II, C.A. por el apoyo brindado a los investigadores para lograr los objetivos de investigación.

## Referencias

- American Society for Testing and Materials. (2001). *Standard test methods for rubber O-rings* (ASTM D1414-01). ASTM International. <https://www.astm.org/d1414-15r23.html>
- American Society for Testing and Materials. (2022). *Standard classification system for rubber products in automotive applications* (ASTM D2000). ASTM International. <https://www.astm.org/d2000-18.html>
- Confederación Venezolana de Industriales. (2021, abril). *Encuesta de Coyuntura Industrial, I Trimestre 2021*. <https://www.conindustria.org/publicaciones/eci-i-trimestre-2021/>
- Dávila Rodríguez, M. E., & Martínez Pozo, A. F. (2019). *Estudio comparativo teórico-experimental del comportamiento en vibración transversal de cordones elastoméricos* [Trabajo de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/20808/T-ESPE-039692.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ishikawa, K. (1986). *¿Qué es el control total de calidad?: La modalidad japonesa*. Editorial Norma.
- Kauzmann, W. (2024). *Teoría cinética de los gases. Propiedades térmicas de la materia*. Editorial Reverté.
- Márquez-González, E. R., & Meza-de-Luna, A. (2020). Diseño de dispositivo para ensayos de corte directo en concreto. *Conciencia Tecnológica*, (59), 1–18. <https://www.redalyc.org/journal/944/94463783006/94463783006.pdf>
- Martín Salamanca, F., Zepeda Rodríguez, Z., Diñeiro García, L., Montero Escrivá, M., Herrero, R., Fernández Torres, A., Navarro Crespo, R., & López Valentín, J. (2023). Modelado matemático y simulación numérica en elastómeros: estado del arte. *Revista de Plásticos Modernos*, 126(775), 12–17. <https://revistaplasticosmodernos.es/index.php/rpm/article/view/1063>
- Organización Internacional de Normalización. (2005). *Fluid power systems — O-rings — Part 3: Quality acceptance criteria (ISO 3601-3:2005)*. <https://www.iso.org/standard/38072.html>
- Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). *Manual del Ingeniero Químico* (8.ª ed.). McGraw-Hill.
- Piña Castro, J. A. (2019). *Metodología para la selección de junta tórica y diseño de ranura de sellado en luminarias* [Trabajo de grado, Centro de Enseñanza Técnica y Superior]. Repositorio CETYS. [https://repositorio.cetys.mx/bitstream/60000/1096/1/Pi%C3%B1a%20Salvador\\_ProyectoFinal.pdf](https://repositorio.cetys.mx/bitstream/60000/1096/1/Pi%C3%B1a%20Salvador_ProyectoFinal.pdf)
- República Bolivariana de Venezuela. (1995, 26 de abril). *Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica*. Decreto N.º 638. *Gaceta Oficial de la República de Venezuela*, N.º 4.899 Extraordinario.
- Rodríguez, A. J. (2020). Construcción teórica del pensamiento algorítmico como elemento de enseñanza y aprendizaje en la programación de computadoras para el proceso formativo del ingeniero en informática. *Revista Científica CIENCIAEDUC*, 11(1), 221–237. <https://saber.unerg.edu.ve/index.php/cienciaeduc/article/view/149>
- Vílchez, N. (2016). *Estrategias creativas en el diseño mecánico* [Trabajo de ascenso, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo]. Repositorio UC.