

Diseño conceptual de una máquina para pruebas de tensión en elastómeros Conceptual design of a tensile testing machine for elastomers

M. A. Gayosso-Melo ^a, R. Magaña-Rodríguez ^a, J. Hernández-Pérez ^a, J. B. Pascual-Francisco ^{a,*}

^aUniversidad Politécnica de Pachuca, Departamento de Mecatrónica, Carretera Pachuca-Cd. Sahagún Km. 20, Zempoala, Hgo., México, 43830

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de la metodología del diseño mecánico para el diseño conceptual de una máquina de pruebas de tensión en elastómeros. Mediante el método del QFD (por sus siglas en inglés, Quality Function Deployment), se identifican los requerimientos del cliente, las especificaciones de ingeniería, así como los objetivos y umbrales de diseño a lograr. Posteriormente, se aplica el método de diseño por funciones para generar una tabla de subfunciones y una tabla morfológica de conceptos que podrían satisfacer cada subfunción. La evaluación de conceptos se obtuvo mediante las matrices de Pugh. Después, se generaron conceptos de diseño en CAD, donde se integran los diferentes elementos seleccionados previamente. Nuevamente se ocupan las tablas de Pugh para seleccionar el concepto integrado ganador. Se desarrolló el cálculo analítico del torque requerido en el motor para llevar a cabo la prueba de tensión en elastómeros. Asimismo, se realizó una simulación de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad, para evaluar la resistencia de los elementos críticos.

Palabras Clave: Diseño mecánico, elastómeros, prueba de tensión, análisis de esfuerzos.

Abstract

In this work the development of the mechanical design process of a tension testing machine for elastomers is presented. Through the QFD (Quality Function Deployment) methodology, the requirements, engineering specifications and the target and threshold designs are identified. Then, the method of design by functions is employed to generate the morphology array of concepts, which satisfy each function. The method of the Pugh's matrix was implemented for the concept evaluation. Afterwards, CAD models of the integrated elements were generated. Then, again, the Pugh's method was used to evaluate the integrated concepts, in order to obtain the winner concept. An analytical evaluation was used to calculate the torque of the motor required. Also, stress, displacement and safety factor simulations were generated in order to evaluate the strength of the critical components.

Keywords: Mechanical design, elastomers, tensile testing, stress analysis.

1. Introducción.

La caracterización de propiedades mecánicas de los materiales de ingeniería requiere de pruebas específicas en probetas del material bajo estudio, ya sean probetas obtenidas de láminas o impresas en 3D ((Wendt, 2015), (Faidallah et. al., 2023)). Las pruebas experimentales mecánicas son variadas, desde el ensayo de dureza, ensayo de impacto, hasta las pruebas de viscoelasticidad (Jonathan et. al., 2021). Las máquinas de ensayos mecánicos también pueden ser muy variados, desde arreglos experimentales hasta máquinas muy sofisticadas, las cuales generalmente son de elevado costo de adquisición (Obando et. al., 2020). Para conocer las principales propiedades mecánicas

de materiales poliméricos como los elastómeros (resistencia a la ruptura, módulo de elasticidad) se usan máquinas de tensión cuyas características difieren mucho de las máquinas convencionales de ensayo universal de tensión como las máquinas Instron. Esto se debe principalmente porque los elastómeros son materiales hiperelásticos, lo cual significa que estos materiales sufren excesivas deformaciones antes de llegar a la ruptura, para lo cual se necesitan máquinas capaces de desplazarse lo suficiente para alcanzar la deformación de ruptura ((Hussain et. al., 2023), (Bajpai, 2019)). Además, en el estudio de materiales suaves como los elastómeros, estas máquinas están sobradas, por lo que se requiere de dispositivos con tamaño y capacidades

*Autor para correspondencia: juanpascual@upp.edu.mx

Correo electrónico: miguelgayosso29@gmail.com (Miguel Alejandro Gayosso Melo), ricardo_mag_rod@hotmail.com (Ricardo Magaña Rodríguez), jahdez@upp.edu.mx (Javier Hernández Pérez), juanpascual@upp.edu.mx (Juan Benito Pascual Francisco).

Historial del manuscrito: recibido el 26/11/2024, última versión-revisada recibida el 07/02/2024, aceptado el 29/02/2024 publicado el 12/04/2024. **DOI:** <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial.12128>



de carga adecuadas (Gunter et. al., 2021). Si bien, en la actualidad existen diferentes equipos comerciales para el ensayo de tensión en elastómeros, sin embargo, sus costos son elevados. Por lo tanto, se han propuesto diseños alternativos para el ensayo de tensión (Jimenez et. al., 2018). Por ejemplo, (Huerta et. al., 2010), propuso una máquina universal de tensión para polímeros delgados, que integra una celda de carga con capacidad de 220 N y un sistema de medición de desplazamiento de mordazas mediante un micrómetro digital, y usa una interfaz gráfica creada en LabView. (Virgen et. al., 2008), desarrolló una prensa para pruebas estáticas dinámicas en materiales ortopédicos y tejidos biológicos. Recientemente, en (Obando et. al., 2020) se presenta el desarrollo de una máquina para prueba de tensión en polímeros con capacidad de tracción de 18 261 N, capaz de ensayar hasta polímeros rígidos. Por otro lado, en la actualidad se han propuestos nuevos prototipos portátiles para ensayos de tensión en biomateriales y materiales delgados ((Lim, 2013), (Gunter et. al., 2021), (Rizal et. al., 2023), (Singh, 2022)). Por lo tanto, dependiendo de las necesidades de la investigación y las características de resistencia de los materiales, es posible desarrollar máquinas de ensayo a tensión específicas.

En este trabajo se presenta el desarrollo de la metodología del diseño mecánico, para la propuesta del diseño conceptual de una máquina de ensayos de tensión en materiales de elastómeros, para su caracterización en términos de su diagrama esfuerzo-deformación. La propuesta se basa en la metodología del despliegue de la función del QFD, para generar un diseño conceptual a partir de requerimientos específicos propios. Se ha demostrado que la metodología del QFD ayuda a poner en relieve las diferentes funciones y especificaciones de ingeniería que deben ser atendidas para obtener un diseño de calidad, de acuerdo a las necesidades de los clientes.

2. Metodología del diseño mecánico.

Para el desarrollo de la máquina para pruebas de tensión en elastómeros, se implementó el proceso de diseño mecánico descrito en ((Ullman, 2010), (Cross, 2008)). Este proceso consta de 5 etapas importantes, las cuales se presentan a continuación:

1. Descubrimiento del producto.
2. Planificación del proyecto.
3. Definición del producto.
4. Diseño conceptual.
5. Desarrollo del producto/ diseño a detalle.

2.1. Etapa 1: Descubrimiento del producto.

La mecánica experimental caracteriza las propiedades mecánicas de los materiales, en el caso de los elastómeros se tiene la necesidad de desarrollar una máquina de pruebas a tensión. Por lo tanto, atendiendo la primera etapa del proceso del diseño mecánico, se identificó la necesidad de una máquina para ensayos de tensión en elastómeros.

2.2. Etapa 2: Planificación del producto.

En esta etapa se planean las actividades del proceso de diseño de la máquina a tensión; para lo cual, se desarrolla un cronograma de actividades, mediante la herramienta de diagrama

de Gantt para calendarizar las diferentes tareas en el desarrollo del producto. En la Figura 1 se presenta un extracto del diagrama de Gantt desarrollado en este proyecto.

DIAGRAMA DE GANTT PARA EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS A TENSIÓN



Figura 1: Extracto del Diagrama de Gantt para el diseño de la máquina de tensión en elastómeros.

2.3. Etapa 3: Definición del producto.

En esta etapa se utiliza la herramienta del QFD, la cual es una metodología utilizada en la gestión de la calidad para traducir las necesidades y expectativas del cliente en características y especificaciones concretas de un producto o servicio. En este trabajo el QFD se utiliza para definir el problema y obtener los umbrales y objetivos de diseño que garantizan un producto de calidad. Se realizó la comparación de productos existentes en el mercado con el que se está diseñando. Esto permitió identificar áreas de oportunidad, donde el producto puede ser mejor que los demás y que cumpla con los requerimientos del cliente (en este caso, investigadores del área de la mecánica experimental). El QFD desarrollado para la máquina de tensión en elastómeros se presenta en la Figura 3.

2.4. Etapa 4: Diseño conceptual.

En esta etapa, se dio inicio al proceso de descomponer las funciones. Se crearon dos niveles de representación: una caja negra (Figura 2), que describe la función global de manera simplificada, y una caja transparente (Figura 4), que detalla las subfunciones, así como las entradas y salidas del dispositivo. Este paso resulta fundamental para una comprensión más profunda del funcionamiento interno de la máquina, ya que implica la identificación y desarrollo de las subfunciones.

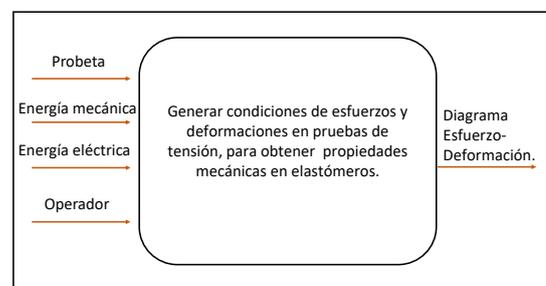


Figura 2: Caja negra o Función global.

La función global se descompone en subfunciones, las cuales servirán para la generación de una tabla morfológica (Tabla 1).

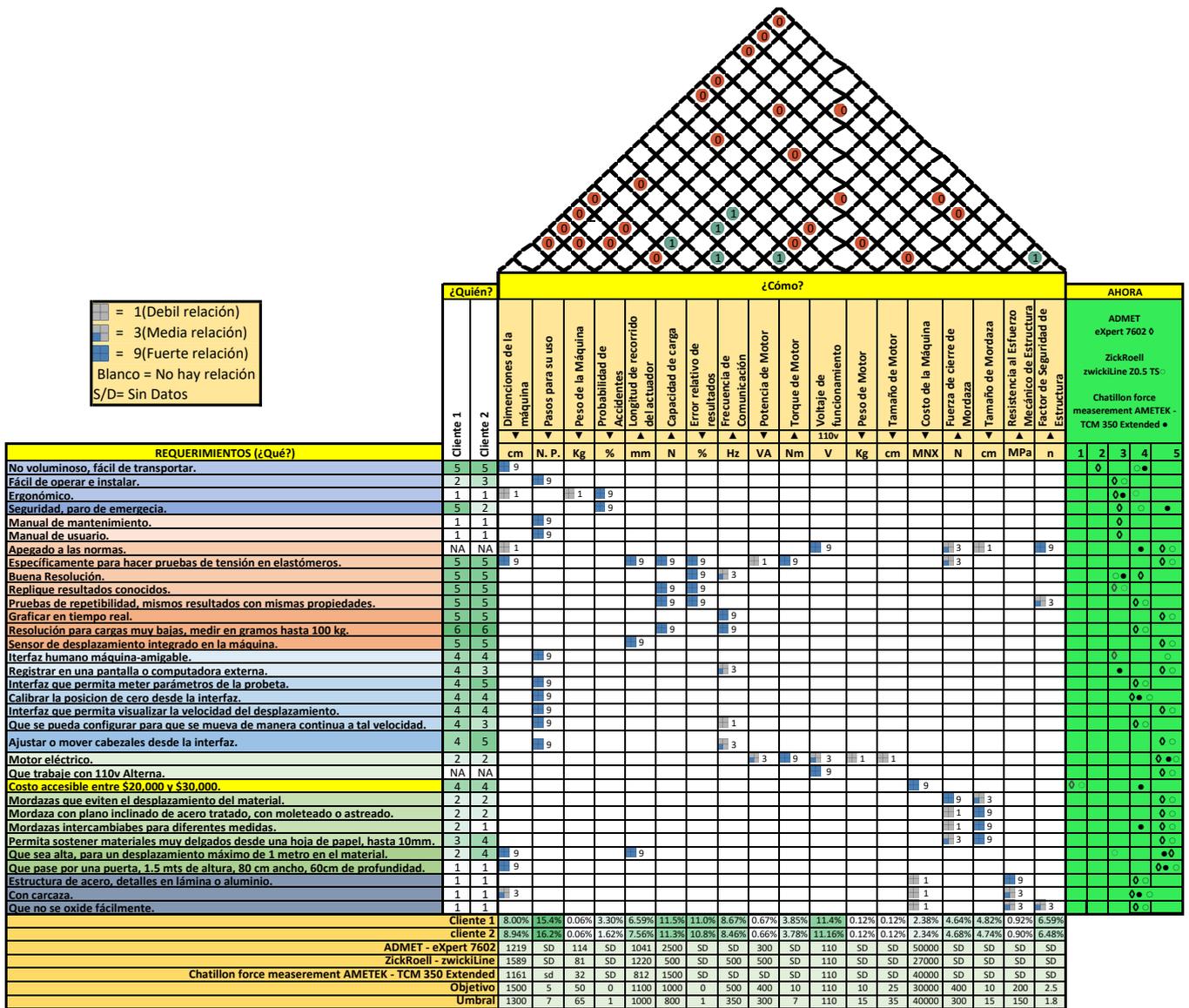


Figura 3: QFD para la máquina de pruebas de tensión en elastómeros .

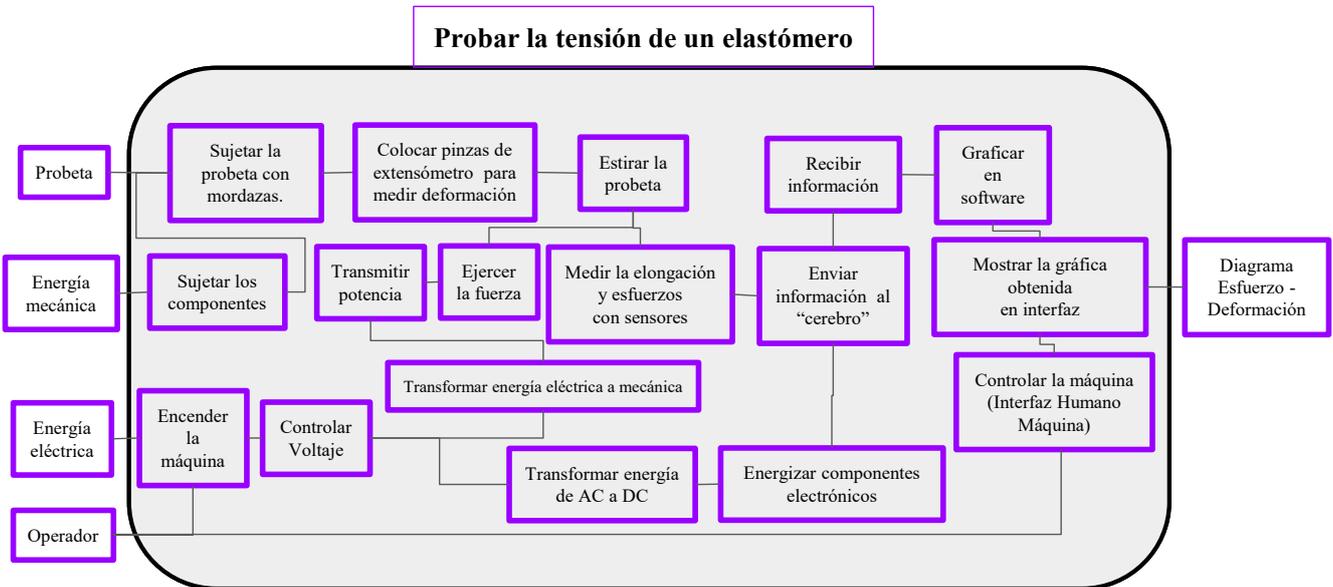
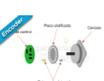


Figura 4: Caja transparente o subfunciones.

Tabla 1: Tabla morfológica de subfunciones.

Funciones	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Sujeción de la pieza	Rodillos moleteados 	Prensa mecánica 	Prensa con resorte 
Delimitar la distancia inicial para calcular la deformación unitaria.	Extensómetros (Pinzas) 		
Transmisión de potencia a la pieza	Tornillo sin fin 	Cremallera helicoidal 	Por cadena 
Obtención de información	Arduino 	ESP32 	Raspberry 
Procesamiento de información	CPU 	ESP32 	Raspberry 
Sujetar el sistema completo	Estructura de Aluminio 	Estructura de PTR pintado 	Estructura de Acero Inox. 
Controlar voltajes	Fuente de computadora 	Fuente de alimentación estandar 	Eliminador 
Ejercer fuerza en el sistema	Motor a pasos 	Servo motor 	Moto reductor 
Controlar potencia de motor	Puente H L298N 	Variador de frecuencia 	TB6600 
Medir esfuerzo	Dinamometro 	Sensor de carga tipo "s" 	Potencia del motor 
Medir elongación	Laser 	Ultrasónico 	Encoder 
Manipular la Máquina (Interfaz Humano Máquina)	Panel de botones 	Panel Touch 	PC 
Guías de transmisión de potencia	Guía lineal cuadrada 	Guía lineal redonda con soporte 	

La tabla morfológica presenta múltiples ideas para cada una de las subfunciones, lo que es útil para determinar la mejor opción de diseño. No obstante, no basta con conocer las ideas, se necesita un enfoque de evaluación para cada una de estas propuestas. En este estudio, se optó por utilizar el método de las matrices de Pugh (Ullman, 2010) para llevar a cabo la evaluación de las distintas propuestas. En la Tabla 2 se ilustra un ejemplo de cómo se aplicó este método para elegir la propuesta más adecuada en relación a la subfunción de "Medir esfuerzo".

Tabla 2: Ejemplo de matriz de Pugh.

	Medir esfuerzo	Medir esfuerzo	Medir esfuerzo
		Criterios	Potencia del motor
		Dinamómetro	Sensor de célula de carga tipo "S"
Capacidad de carga	30	1	-1
Error relativo de resultados	30	0	-1
Costo de la maquina	30	1	1
Potencia de motor	10	0	1
Total	100	DATUM	60 -20

Tabla 3: Cuadro de conceptos ganadores para subfunciones.

Subfunciones	Conceptos	Descripción
Sujeción de la pieza	Prensa mecánica	Es una herramienta que cuenta con dos secciones: una estática y otra móvil. La móvil se ajusta sobre la primera mediante una palanca o dispositivo rotatorio.
Delimitar la distancia inicial para calcular la deformación unitaria.	Extensómetros.	Son un par de pinzas que se sujetan en la probeta. La separación de las pinzas determina la deformación de la probeta. La medición de desplazamiento será mediante láser infrarrojo.
Transmisión de potencia	Tornillo sin fin (husillo de bolas)	Es un actuador lineal mecánico que convierte el movimiento de rotación en movimiento lineal con bajas pérdidas de fricción.
Obtención de información	ESP32	Es un microcontrolador que destaca por integrar funcionalidades de WiFi, Bluetooth y procesamiento en un solo chip económico.
Procesamiento de información	CPU	Es el componente principal de una computadora.
Sujeta el sistema completo	Estructura de PTR	El perfil PTR cuenta con una estructura hueca que a su vez es resistente y flexible, es ideal para la construcción.
Controlar voltajes	Fuente de alimentación estandar	Dispositivo que se utiliza para convertir la corriente de la red eléctrica en una forma de energía adecuada para los componentes de un dispositivo o sistema electrónico.
Ejercer fuerza en el sistema	Servo motor nema 34	Es un tipo especial de motor DC que permite un control preciso de la posición angular o velocidad lineal.
Controlar potencia de motor	Variador de frecuencia	Es un dispositivo electrónico que se utiliza para controlar la velocidad rotacional de un motor eléctrico de CA.
Medir esfuerzo	Sensor de carga tipo "S"	Es un dispositivo diseñado para medir con precisión la fuerza o carga aplicada a él.
Medir deformación	Sensor de distancia láser infrarrojo	Es un dispositivo que utiliza tecnología láser y luz infrarroja para medir con precisión la distancia entre el sensor y un objeto.
Mapillar la máquina (Interfaz humano máquina)	PC	Computadora personal.
Guía de transmisión de potencia	Guía lineal cuadrada	Es una guía lineal con aplicaciones autosoportadas.

Es fundamental destacar que los criterios de selección deben estar alineados con los requisitos del cliente, como lo indica el Despliegue de la Función de Calidad (QFD). El método de Pugh implica asignar valores de importancia a cada criterio de evaluación, con un total de 100 puntos. Se propone un Datum, que es el concepto que el diseñador considera como la mejor opción. La evaluación de los conceptos implica asignar valores de 1, 0 y -1 a cada criterio. Un valor de 1 indica que el concepto evaluado satisface mejor el criterio que el Datum, 0 significa que ambos conceptos satisfacen el criterio de la misma manera (empate entre el Datum y el concepto evaluado), y -1 se asigna cuando el concepto no cumple con el criterio, lo que lo hace menos favorable que el Datum. Luego, se realiza una suma del producto del valor de la importancia de cada criterio de evaluación por el valor de evaluación asignado previamente (0, 1 o -1). Si el resultado de la suma es un número positivo, se interpreta que ese concepto es superior al Datum y, por lo tanto, se selecciona como la opción ganadora. Si el resultado es 0, significa que tanto ese concepto como el Datum pueden ser elegidos en el diseño. Por otro lado, un resultado negativo indica que el concepto no debe ser utilizado en absoluto. Este se repite para cada subfunción de la tabla morfológica. En la Tabla 3 se resume el listado de los conceptos ganadores para este proyecto.

Utilizando los conceptos ganadores de la Tabla 3 como punto de partida, se generaron conceptos que representan cómo los elementos previamente seleccionados serían integrados. Para esta fase, se hizo uso de una herramienta de Diseño Asistido por Computadora (CAD) para generar cuatro conceptos de diseño, los cuales se pueden observar en las Figuras 5, 6, 7, 8.

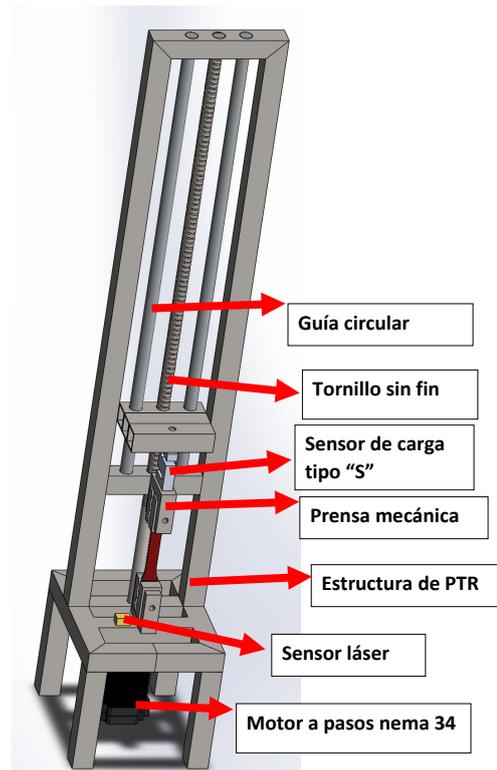


Figura 6: Segundo diseño conceptual.

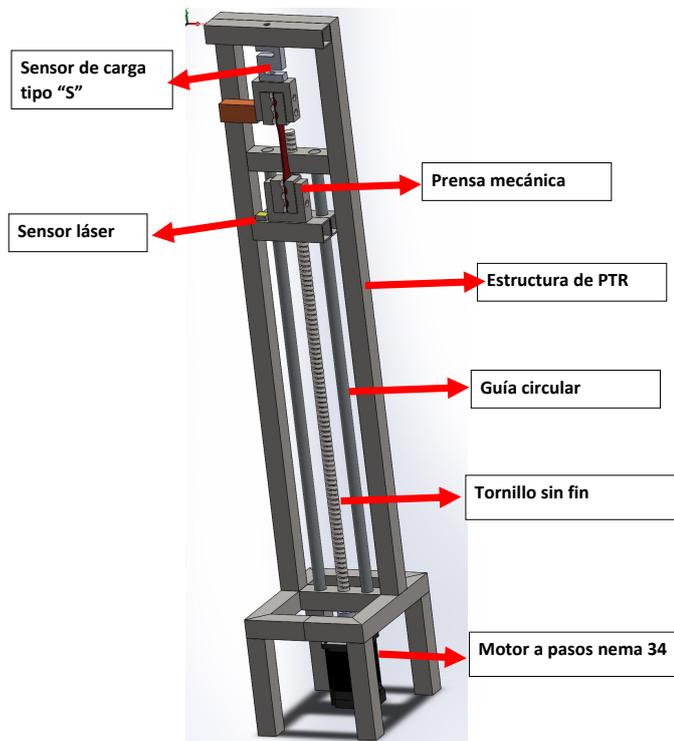


Figura 5: Primer diseño conceptual.

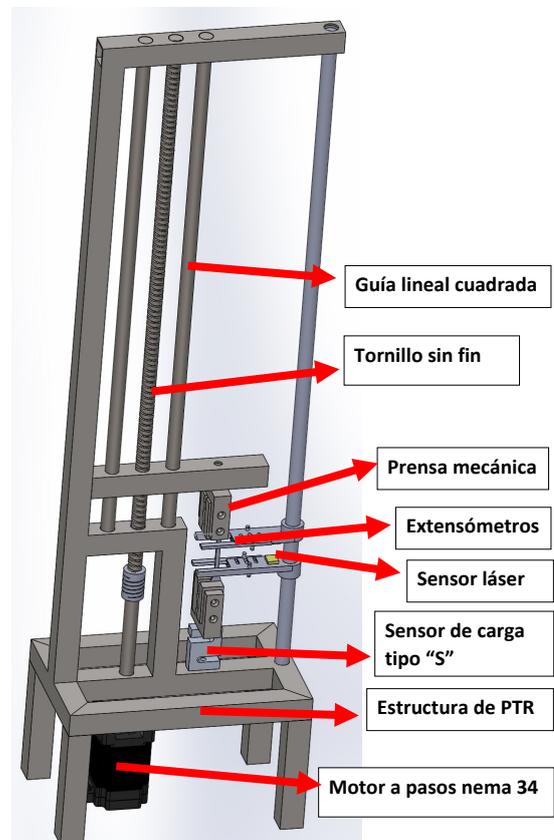


Figura 7: Tercer diseño conceptual.

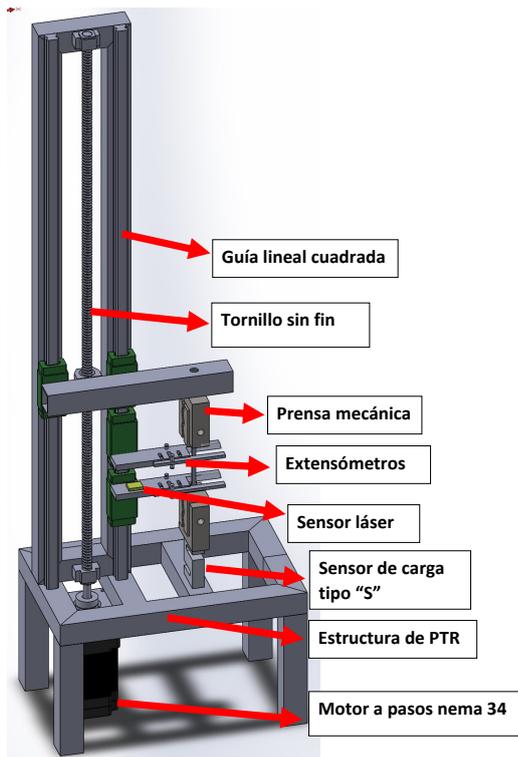


Figura 8: Cuarto diseño conceptual.

Para la selección de diseño conceptual se realizó una comparación entre diseños. El primer diseño conceptual (Figura 5), no cuenta con extensómetros (pinzas que delimitan la deformación sufrida en la prueba de tensión), la deformación es medida de mordaza a mordaza, lo cual es inconveniente porque en el agarre de las mordazas existe deslizamiento en la probeta. En el segundo diseño conceptual (Figura 6), tiene el sensor de carga tipo "S", en la sección móvil vertical de la máquina lo cual es inconveniente, porque el cable de este sensor tiene que realizar este recorrido. En el tercer diseño conceptual (Figura 7), se mejoran los problemas anteriores, pero se aumenta otra guía al diseño para los extensómetros. En el cuarto diseño conceptual (Figura 8), se mejoran todos los problemas anteriores, se optimiza el diseño conceptual 3 y con guías lineales cuadradas se reduce el momento generado al tensionar la probeta en las guías circulares. Para hacer una comparación cualitativa se aplicó nuevamente la Metodología de las matrices de Pugh para evaluar estos cuatro conceptos. En la Tabla 4 se presenta la matriz de Pugh para la elección del concepto integrado ganador.

Tabla 4: Matriz de Pugh del concepto ganador.

Comparación de propuestas					
	Criterios	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4
Tamaño de la máquina	20	1	-1	-1	1
Pasos para su uso	30	-1	-1	-1	-1
Probabilidad de accidentes	20	1	1	1	1
Error relativo de resultados	10	DATUM	-1	1	1
Costo de la máquina	20	DATUM	-1	1	1
Total	100	17	-20	50	70

3. Resultados y análisis.

En esta sección se describe el cálculo del torque mínimo requerido para el motor y la simulación de esfuerzos en los puntos críticos de la máquina de tensión. Para estos análisis se considera el concepto integrado seleccionado en la sección anterior Figura 8. En la Figura 9 se resalta la **barra de soporte** para la mordaza superior; esta barra es la que soporta la fuerza de tensión que se aplica a la probeta durante el ensayo, la cual a su vez es desplazada por el husillo de la máquina. De acuerdo a ((SKF España S.A., 2013), (Davis, 2004)), el elastómero mas resistente puede requerir una fuerza de 1220 N para llegar a la ruptura. Por lo tanto, para el diseño de esta máquina se propone superar esta fuerza, por lo que para el análisis subsecuente (cálculo del torque de motor y simulación de esfuerzos) se considera una fuerza máxima de 2000 N. En la Figura 9 se resalta en color morado la fuerza que soporta la barra.

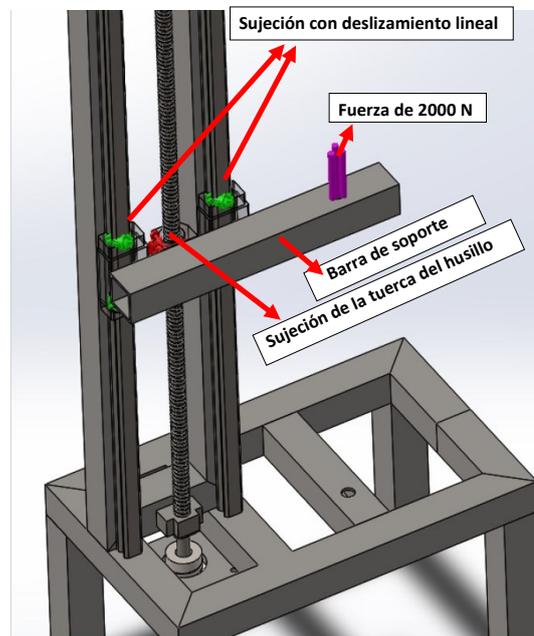


Figura 9: Representación de las fuerza aplicada y sujeciones.

3.1. Cálculo del torque del motor.

Eficacia teórica.

La eficacia teórica directa (η) del husillo se calcula mediante la ecuación 1:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\pi * d_0}{P_h} * \mu} \tag{1}$$

donde: d_0 es el diámetro nominal del eje del husillo (16mm), P_h es el paso del husillo (5mm), μ es el coeficiente de fricción (0.0065) (Valor dado por el fabricante).

Sustituyendo los valores en la fórmula, se tiene que $\eta = 0.9386$:

Eficacia práctica.

La eficacia práctica (η_p) del husillo, se calcula con:

$$\eta_p = \eta * 0,9 \tag{2}$$

donde 0,9 es un coeficiente que representa el promedio entre la eficacia práctica de un husillo nuevo y la realizada por un husillo correctamente. Por lo tanto, $\eta_p = 0.8747$.

Torque de entrada en estado de reposo.

El torque de entrada en estado de reposo se calcula con:

$$T_f = \frac{F * P_h}{2000 * \pi * \eta_p} \tag{3}$$

donde F es la fuerza axial máxima (2000 N). Por lo tanto $T_f = 1,7683$ Nm.

Torque de precarga.

El torque de precarga se calcula con:

$$T_{pr} = \frac{F_{pr} * P_h}{1000 * \pi} * \left(\frac{1}{\eta_p} - 1\right) \tag{4}$$

donde F_{pr} es la fuerza de precarga entre una tuerca y eje. Para la máquina, se propuso una fuerza de precarga de 10N. Sustituyendo los valores, $T_{pr} = 5.852 * 10^{-3}$ Nm.

Torque mínimo del motor.

El torque necesario T_t para generar la carga de tensión máxima se calcula mediante:

$$T_t = T_f + T_{pr} + \frac{P_h[F + m_l * g]}{2000 * \pi * \eta_p} \tag{5}$$

donde m_l es la masa de la carga (200 kg) y g es la gravedad (9.81 $\frac{m}{s^2}$). Sustituyendo los valores correspondientes, $T_t = 5.6224$ Nm.

3.2. Simulación de esfuerzos.

Para realizar las simulaciones de esfuerzos en la máquina de tensión se utilizó Solidworks. Se consideró que la estructura es de acero estructural A-36, el husillo es de (AISI 1045 Acero estirado en frío) y las guías de (1023 Chapa de acero al carbono (SS)). Se aplicó la fuerza máxima (2000 N) en la barra de soporte de la mordaza, con restricciones de deslizamiento en las guías y una restricción en la tuerca que une el husillo con la barra de soporte. De acuerdo a estas restricciones, se encontró que el esfuerzo máximo generado en la máquina fue de 224 MPa.

En la Figura 10 se presenta la distribución de esfuerzos de Von Mises en la máquina completa. Se observó que la región crítica esta en el punto de unión de la barra de soporte con la mordaza.

Por otra parte, en la Figura 11 se presenta el campo de desplazamientos ocurridos por la fuerza aplicada. Se encontró que existe un desplazamiento máximo de 0,1054 milímetros. Asimismo, el factor de seguridad mínimo encontrado fue de 1,6, lo cual indica que no se alcanza el esfuerzo de fluencia del acero A-36.

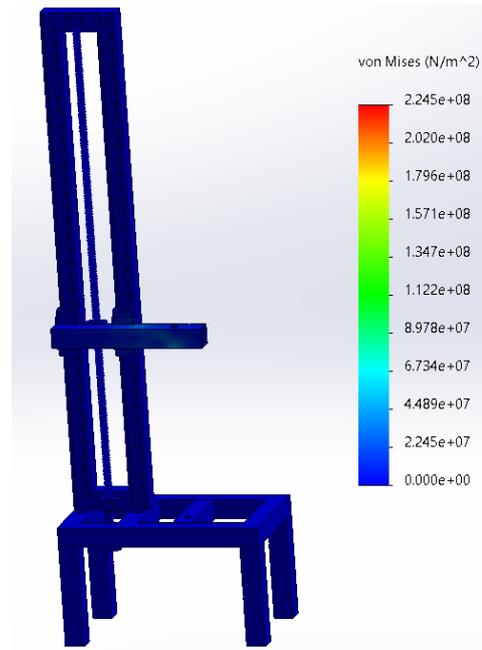


Figura 10: Resultados de la simulación de esfuerzos en la máquina.

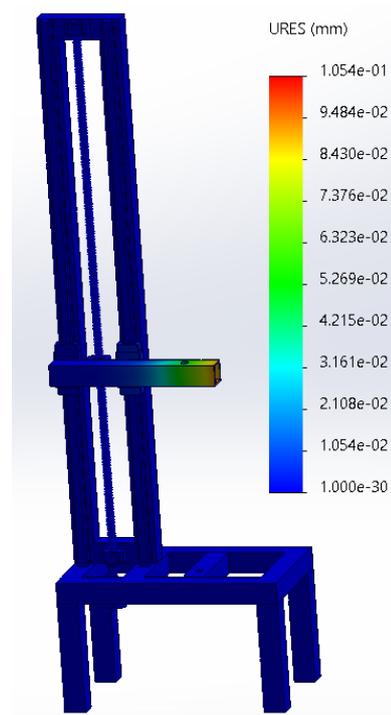


Figura 11: Resultados de la simulación en desplazamientos.

4. Conclusiones.

En este trabajo, se llevó a cabo el desarrollo de un diseño mecánico para la generación de una máquina para pruebas de tensión en elastómeros, en el cual se aplicó la metodología del QFD para atender las necesidades específicas del mismo. También se implementó el método de diseño por funciones para la generación de la tabla morfológica de conceptos individuales, la cual facilita la comparación y la toma de decisiones al ofrecer

una visión estructurada de las opciones disponibles para cada aspecto del diseño.

En la etapa de diseño conceptual se generaron 4 conceptos de configuración diferente, de los cuales se optó por un diseño ganador a partir de una evaluación cuantitativa basada en las matrices de Pugh. El diseño conceptual generado se compone de una estructura de acero PTR. El sistema de tracción se acciona mediante motor nema 34, el cual está acoplado a un tornillo sin fin. La sujeción de mordazas se lleva a cabo mediante unas mordazas metálicas. La medición de carga se realiza mediante un sensor tipo S y el sistema de medición de desplazamiento mediante un sensor de distancia tipo infrarrojo.

A partir de las simulaciones de esfuerzo en los elementos críticos, se encontró que las fuerzas máximas para ensayar elastómeros más resistentes, generan esfuerzos por debajo del esfuerzo de fluencia del acero propuesto, por lo que se espera que, en condiciones extremas de fuerza, la máquina podrá realizar ensayos de tensión sin fallar.

La implementación del diseño propuesto en este trabajo será de gran utilidad para la caracterización de propiedades mecánicas de materiales de elastómeros que se utilizan en diversas áreas de la ingeniería. También será de mucha utilidad para caracterizar nuevos materiales elásticos, sin dejar de mencionar que se trata de una máquina de bajo costo.

5. Agradecimientos.

Los autores agradecen al CONAHCYT por las becas con número 1236948, 1237238 .

Referencias

Bajpai, Ankur, Wetzel, Bernd, (2019). Tensile testing of epoxy-based thermoset system prepared by different methods. Preprints.
 Cross N., (2008). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. fourth ed. The McGraw-Hill Companies, England.
 Davis, J. R., (2004). *Tensile testing*. ASM international.

Faidallah, R. F., Hanon, M. M., Vashist, V., Habib, A., Szakál, Z., Oldal, I., (2023). Effect of Different Standard Geometry Shapes on the Tensile Properties of 3D-Printed Polymer. Preprints.
 Gunter, S. V., Marchenko, E. S., Yasenichuk, Y. F., Baigonakova, G. A., Volinsky, A. A., (2021). Portable universal tensile testing machine for studying mechanical properties of superelastic biomaterials. *Engineering Research Express*, 3(4), 045055. IOP Publishing. doi: 10.1088/2631-8695/ac41b4
 Huerta E., Corona J. E., Oliva A. I., Avilés F., González-Hernández J. (2010). Universal testing machine for mechanical properties of thin materials. *Revista mexicana de física*, 56(4), 317–322. Sociedad Mexicana de Física.
 Hussain, A., Podgursky, V., Goljandin, D., Antonov, M., Sergejev, F., Krasnou, I. (2023). Circular Production, Designing, and Mechanical Testing of Polypropylene-Based Reinforced Composite Materials: Statistical Analysis for Potential Automotive and Nuclear Applications. *Polymers*, volumen: 15, número: 16, pp. 3410.
 Jimenez, L., Calderon, C. A., Loyola, R., Cuenca, F., Rivas-Echeverría, F., (2018). Virtual instrumentation system to automatically determine the stress-strain curve of Tensile Test. In 2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA) (pp. 1-6). IEEE.
 Leyton-Virgen, A., Ballén-Briceño, J. D., Moran-Perafán, R., Casanova-García, F., Pinedo-Jaramillo, C. R., J. J., (2008). Desarrollo de una prensa para pruebas estáticas y dinámicas de elementos ortopédicos y tejidos biológicos. *Ingeniería e Investigación*, número volumen: 28, pp. 132-137.
 Lim, Woong, Kim, Ho-Kyung (2013). Design and development of a miniaturized tensile testing machine. *Global Journal of Engineering Education*, 15(1), 48–53.
 Obando, S., Sepúlveda, C., Piamba, T., Moran, R., (2020). Desarrollo de una prensa para ensayos de tensión en polímeros. *ingeniare*, número: 29, pp. 57–71. Universidad Libre Seccional Barranquilla.
 Rizal, M., Aulia, U., Yudiansyah, R. (2023). Development of a Portable Universal Testing Machine for Investigating the Mechanical Properties of Medium-Strength Materials. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 12(1), 25–32.
 Singh M., (2022). Development of a portable Universal Testing Machine (UTM) compatible with 3D laser-confocal microscope for thin materials. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 4, 100069. Elsevier.
 SKF España S.A., (2013). HUSILLOS DE BOLAS SKF. <https://www.academia.edu/7829255/HUSILLOS/DE/BOLAS/SKF>
 Sotomayor-del-Moral, J. A., Pascual-Francisco, J. B., Farfán-Cabrera, L. I., (2022). Máquina para pruebas de termofluencia en elastómeros a diferentes temperaturas. *Páidi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, volumen: 10, número: Especial16, pp. 1-9.
 Ullman D., (2010). *The Mechanical Design Process*. fourth ed. The McGraw-Hill Companies, New York.
 Wendt, C., Batista, M., Moreno, E., Valerga, A. P., Fernández-Vidal, S. R., Droste, O., Marcos, M., (2015). Preliminary design and analysis of tensile test samples developed by Additive Manufacturing. *Procedia engineering*, volumen: 132, Publisher: Elsevier, pp. 132-139.