

Desarrollo de un modelo predictivo basado en análisis de elemento finito para la optimización del ángulo de ataque y la fuerza de contacto en sistemas limpiaparabrisas

Isaac García Montoya^{1*}, Delfino Cornejo Monroy², Juan Antonio López Rodríguez³

Resumen

Este proyecto desarrolla y valida un modelo predictivo basado en el Método de Elementos Finitos (FEA) para optimizar el ángulo de ataque y la fuerza de contacto en brazos limpiaparabrisas automotrices. El desempeño de estos componentes depende de parámetros críticos que, en producción, presentan desviaciones respecto al diseño, generando barrido deficiente, retrabajo y riesgos de calidad. El modelo propuesto considera fenómenos ignorados por enfoques tradicionales, como la variabilidad del material, la geometría post-manufactura, el *springback* y la deformación plástica inducida por el ensamble. La metodología incluye caracterización física del brazo mediante medición de geometría real y ensayos de tracción, desarrollo del modelo FEA en ANSYS con elementos BEAM189 para grandes flexiones, y validación experimental mediante medición del ángulo final y fuerza de contacto. Los resultados preliminares muestran correlación entre simulación y pruebas físicas, confirmando que un análisis no lineal es indispensable para capturar la física del componente. Este modelo ofrece una herramienta predictiva que sustituye ajustes empíricos, mejorando la eficiencia y confiabilidad en el diseño automotriz.

Palabras Clave

Análisis de elementos finitos – Optimización de diseño – Validación experimental – Ingeniería automotriz

^{1,2,3}Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.

***Autor de correspondencia:** al251635@alumnos.uacj.mx

Programa académico

Maestría en Ingeniería en Manufactura

Fecha de presentación

27 de noviembre de 2025

Financiamiento

SECIHTI (CVU 2055677)

Institución responsable del estudio

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Evento académico

1.^{er} Congreso Internacional de las Fronteras de las Ingenierías

Conflicto de interés

Sin conflicto de interés declarado

Referencias

1. Bathe, K. J. (2006). *Finite Element Procedures*. Klaus-Jürgen Bathe.
2. Timoshenko, S. P., & Goodier, J. N. (1953). *Theory of Elasticity* (2nd ed.). McGraw-Hill.
3. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (9th ed.). McGraw-Hill.

CITACIÓN: García Montoya, I., Cornejo Monroy, D., & López Rodríguez, J.A. (2026). Desarrollo de un modelo predictivo basado en análisis de elemento finito para la optimización del ángulo de ataque y la fuerza de contacto en sistemas limpiaparabrisas [Fronteras de la Ingeniería y Transformación Tecnológica]. *Memorias Científicas y Tecnológicas*, 5(1), 62-63.

DESARROLLO DE UN MODELO PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ÁNGULO DE ATAQUE Y LA FUERZA DE CONTACTO EN SISTEMAS LIMPIAPARABRISAS

Isaac García Montoya | Director: Dr. Delfino Cornejo Monroy | Dr. Juan Antonio López Rodríguez



RESUMEN

El desempeño del brazo limpiaparabrisas depende de su ángulo de ataque y de la fuerza de contacto contra el parabrisas. En producción, estos valores se desvían respecto al diseño, ocasionando un barrido deficiente y la necesidad de un ajuste manual por prueba y error. Esto genera variación, retrabajo y riesgos de calidad.

Este proyecto desarrolla y valida un modelo de elementos finitos (FEA) que permita predecir la deflexión y la fuerza de contacto del brazo, considerando la variabilidad del material, la geometría post-manufactura y la deformación inducida en el ensamble. Los resultados preliminares muestran que el modelo describe adecuadamente las tendencias observadas, sentando las bases para una herramienta predictiva que reemplace el ajuste empírico actual.



INTRODUCCIÓN

La predicción precisa de la deflexión en componentes es clave en la ingeniería automotriz. El diseño tradicional de elementos esbeltos como el brazo limpiaparabrisas se basa históricamente en la Teoría de Vigas (Euler-Bernoulli/Timoshenko). Sin embargo, en procesos de manufactura, fenómenos como el Springback (recuperación elástica) y la deformación plástica por ensamble introducen no linealidades geométricas y de material. La herramienta computacional estándar para analizar estos sistemas complejos es el Método de Elementos Finitos (FEA), el cual debe ser formulado para análisis no lineal y validado experimentalmente para asegurar su confiabilidad en el diseño de componentes críticos.



Planteamiento del problema

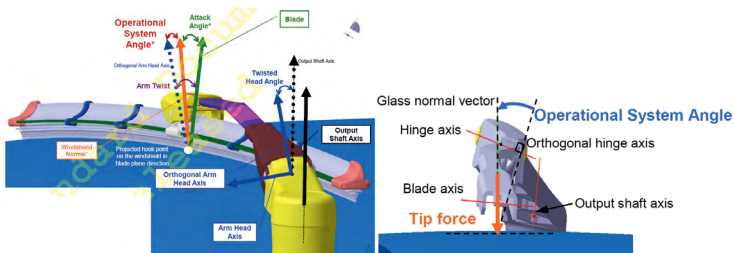
El modelo de diseño actual, basado en cuerpos rígidos, es insuficiente. Ignora fenómenos físicos clave:

- Variabilidad del Material: S_y y E reales vs. nominales.
- Geometría: Pieza post-troquelado vs. CAD.
- Springback: Recuperación elástica post-conformado.
- Deformación por Ensamble: Deformación plástica inducida al unir el brazo.
- El resultado es una desviación funcional que requiere un retrabajo manual ineficiente.



Objetivos

- General:
 - Validar un modelo FEA (ANSYS) que prediga la deflexión estática y fuerza de contacto.
- Particulares:
 - Determinar la contribución de las hipótesis a la desviación final.
 - Obtener una correlación estadística entre la simulación y las pruebas físicas.
 - Validar el modelo matemático para su uso en diseño.



METODOLOGÍA

Caracterización física del brazo

- Medición de geometría real (post-manufactura).
- Ensayos de tracción para obtener E y S_y reales.

Desarrollo del modelo FEA

- Uso de ANSYS Mechanical.
- Malla con BEAM189 (adecuado para flexiones grandes).
- Aplicación de condiciones reales de carga y restricción.
- Simulación de la deformación generada en el vehículo.

Validación experimental

- Medición del ángulo final y fuerza de contacto con celdas de carga y dispositivos de referencia.
- Comparación cuantitativa y gráfica con la simulación.

Correlación estadística

- Medición de error entre las predicciones FEA y los valores físicos.
- Identificación de las variables más influyentes.



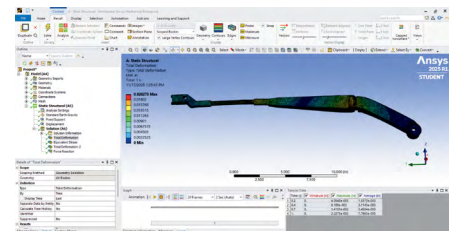
RESULTADOS PRELIMINARES

Geometría real vs CAD

- Se encontraron desviaciones sistemáticas en el sistema de medición, el cual está en proceso de validación para asegurar que las piezas cumplan con las especificaciones del modelo CAD.

Primera correlación FEA-experimental

- El error inicial (pre-calibración del modelo) es estable y reducible con refinamiento de parámetros el cual sigue siendo modificado para mejorar los resultados.



CONCLUSIÓN

La suposición de cuerpos rígidos es la causa raíz de la falla de diseño. Se demuestra que un modelo FEA no lineal es indispensable para capturar la física del componente, específicamente la plasticidad inducida por el ensamble. Esta investigación entrega un modelo numérico validado y correlacionado con la realidad experimental, proporcionando una herramienta de ingeniería predictiva para optimizar el diseño y eliminar la necesidad de ajustes manuales.



REFERENCIAS

- Bathe, K. J. (2006). Finite Element Procedures. Klaus-Jürgen Bathe.
Timoshenko, S. P., y Goodier, J. N. (1953). Theory of Elasticity (2.a ed.). McGraw-Hill.
Budynas, R. G., y Nisbett, J. K. (2011). Shigley's Mechanical Engineering Design (9.a ed.). McGraw-Hill