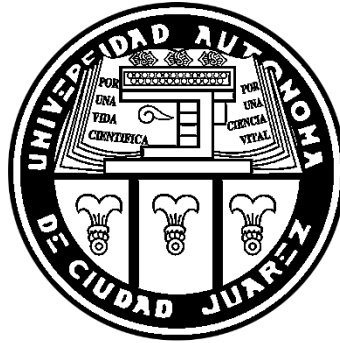


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CIUDAD JUÁREZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE MANUFACTURA



**Rediseño de Fixtura para Prueba de Durabilidad en
Cerradura Automotriz**

Reporte Técnico

Por:

DAVID ROCHA VALDEZ

Asesores

Dr. Francisco Javier López Jáquez
Dra. Elva Lilia Reynoso Jardón

Cd. Juárez, Chih.

30 de Mayo del 2019

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1	ANTECEDENTES.....	3
1.2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	5
1.3	OBJETIVOS.....	5
1.4	HIPÓTESIS.....	5
1.5	JUSTIFICACIÓN.....	5
1.6	ALCANCES Y DELIMITACIÓN.....	5
2.	LITERATURA REVISADA.....	6
2.1	FIXTURAS	6
2.2	RESORTES HELICOIDALES A COMPRESIÓN.....	7
3.	METODOLOGÍA.....	10
4.	IMPACTO DEL PROYECTO.....	18
5.	PRODUCTO ESPERADO.	18
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	19

1. Introducción

Las fixturas son muy importantes dentro de la industria en general; en la mayoría de los casos, las fixturas se necesitan para sujetar una pieza y seguir trabajando en ella. El tema que nos ocupa en este reporte es el rediseño de una fixtura para hacer una prueba de durabilidad a una cerradura automotriz.

1.1 Antecedentes

“El error más tonto es ver el diseño como algo que se hace al final del proceso para poner orden al desorden, en oposición a entenderlo como una cuestión de partida y parte de todo” (Tom Peters, economista y escritor).

Antes de que cualquier producto llegue al consumidor final, este debe de pasar por una serie de validaciones durante el proceso del diseño, para así asegurarse de su funcionamiento correcto y seguro. Existen las validaciones virtuales y las validaciones físicas (prototipos). En ambas se pueden conocer la distribución de tensiones o temperaturas en el interior de la pieza, detectar fallos o puntos débiles, y llevar a cabo una optimización geométrica y una selección de componentes que le permitan cumplir las especificaciones prefijadas.

En el caso de los automóviles, todos los componentes son validados, y las cerraduras de las puertas no son la excepción. En la figura 1.1 se muestran las principales fallas de los automóviles, en el caso de la cerradura automotriz, está dentro del 4% de fallas.

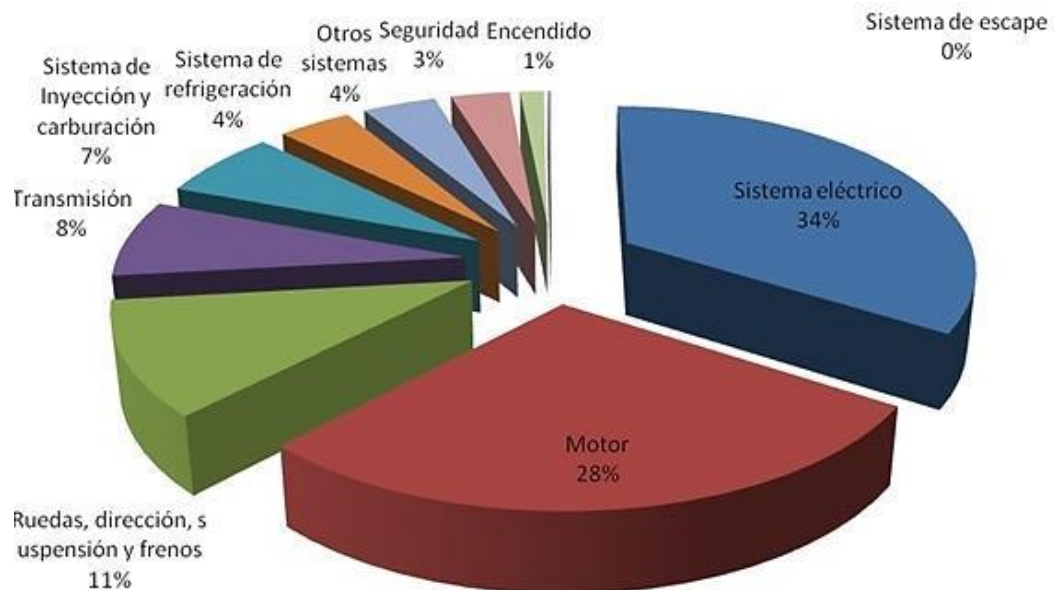


Figura 1.1. Principales fallas en un automóvil.

En las puertas (incluyendo el cofre y la cajuela) de todo vehículo, la cerradura (véase la Figura 1.2) es un componente importante, tanto es así que hay vidas en juego en su correcto funcionamiento.

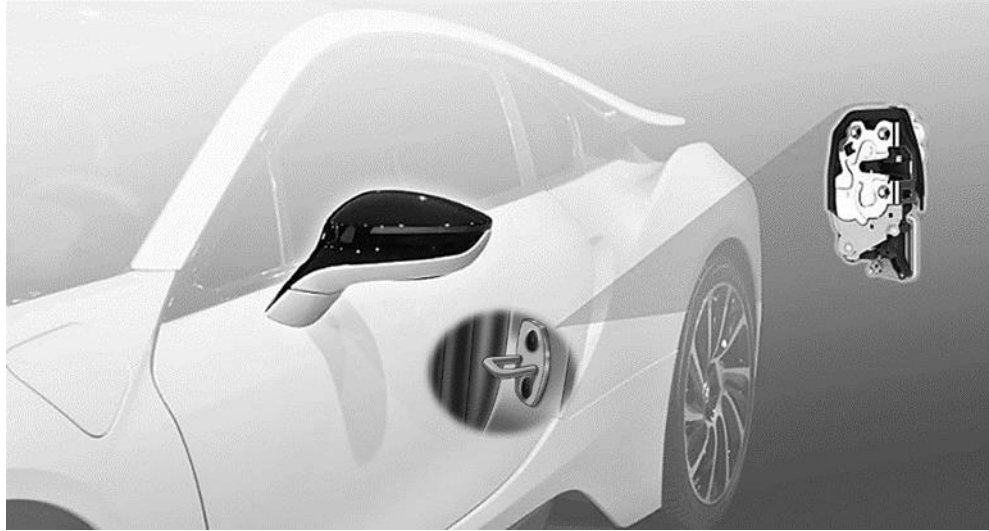


Figura 1.2. Horquilla y cerradura automotriz.

Por ejemplo, el Código de Regulaciones Federales de Estados Unidos¹ (CFR, por sus siglas en inglés), menciona que la cerradura (latch)² ayuda a la puerta del vehículo en movimiento a mantenerse cerrada, aún en un accidente en donde el automóvil haya sido impactado en forma lateral por otro vehículo, la puerta debe permanecer cerrada, de esta manera se protege a los pasajeros de lesiones graves incluyendo la pérdida de la vida.³

La cerradura por requerimientos del cliente debe validarse por 10000 ciclos⁴, en los cuales todos sus componentes no fallarán, esto significaría que la fixtura debe durar al menos la misma cantidad de ciclos sin fallar, es decir, que todos los componentes de la fixtura deben de funcionar correctamente hasta el término de la prueba.

Las fixturas existentes han quedado “obsoletas” ante los reducidos tiempos de entrega que el cliente solicita para obtener su producto final. Por ejemplo, existe el problema de pocos ciclos de prueba en las fixturas manuales y en otras, ocupan

¹ Este proyecto de tesis es realizado para una empresa americana del ramo automotriz.

² A partir de ésta página se utilizara la palabra “latch” para referirse a la cerradura de la puerta de un automóvil.

³ 49 CFR § 571.206 - Standard No. 206; *Door locks and door retention components*. | CFR | US Law | LII / Legal Information Institute.

⁴ A esta prueba se le conoce como prueba de durabilidad: Un ciclo consiste en operar la cerradura desde la posición de desbloqueo, moviéndose a la posición de cierre principal y regresando a la posición de desbloqueo.

Tiempo de impulso de liberación de energía: 150 ms y tiempo de descanso de 10 segundos.
Cada ciclo a 20 °C (10000 ciclos, 350 +/- 15 N fuerza de sello, 12.0 V +/- 0.2).

mucho espacio dentro de la nave industrial, debido a que estas fixturas simulan la apertura de una puerta de automóvil.

1.2 Descripción del problema

Dentro de la empresa automotriz existen fixturas manuales para validar la cerradura, pero tienen el limitante de usarse solamente para una cantidad pequeña de ciclos (máximo 10 ciclos).

En otras fixturas solamente se pueden probar un máximo de 1 a 2 cerraduras de manera simultánea, ya que, si se desean probar más de 2 cerraduras, el área que ocupa la fixtura es mucho mayor.

El tiempo de duración de la prueba para 10000 ciclos es de 1 mes, en ocasiones el cliente necesita de un menor tiempo de prueba.

1.3 Objetivos

Rediseñar una fixtura basada en las existentes para que se puedan probar cuatro cerraduras con el fin de disminuir el tiempo de prueba de durabilidad en un 50%.

Hipótesis:

Las hipótesis quedan definidas de la siguiente manera:

H_0 : La fixtura fallará antes de los 10,000 ciclos de prueba.

H_1 : La fixtura no fallará antes de los 10,000 ciclos de prueba.

1.4 Justificación

La utilización de la fixtura contribuirá a cumplir con la entrega de validaciones en un tiempo mucho menor a la actual, para cumplir con los requerimientos del cliente de manera más eficiente.

Mediante un sistema masa-resorte, la fixtura será capaz de simular el efecto de cerrar y abrir una cerradura de puerta o cajuela del vehículo.

Durante el desarrollo de esta fixtura se verán temas de interés en el área de diseño mecánico, tales como la creación de piezas y ensambles con programas CAD (SolidWorks y NX), análisis por elementos finitos (SolidWorks Simulation y ANSYS).

1.5 Alcances y Delimitación

Se requiere validar una cerradura automotriz durante 10000 ciclos (abierto-cerrado) a temperatura ambiente ($20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$). Por lo tanto, la fixtura deberá funcionar bajo estas mismas condiciones de trabajo sin fallar.

2. Literatura revisada

2.1 Fixturas

Las fixturas son ampliamente reconocidas en el campo de las maquinas herramientas, sin embargo, en este escrito hablaremos de las fixturas para su uso en pruebas de componentes. Fuera del taller de máquinas herramientas, las fixturas pueden ser ventajosas para: ensamblaje, doblado, soldadura, tratamiento térmico, inspección, pruebas. Dichas fixturas pueden caracterizarse como accesorios de trabajos manuales o automatizados y pueden clasificarse como se muestra en la Tabla 2.1 (Henriksen E., 1973, p. 2).

Tabla 2.1: Clasificación de fixturas.

Propósito	Tipo
Operaciones Metalúrgicas	Fixtura para tratamientos térmicos Fixtura para recocido
Operaciones de Unión	Fixturas para soldar Fixtura para ribeteado Fixtura para prensado de cables
Control de Calidad	Fixturas para inspección Fixturas para pruebas

De acuerdo con el manual de diseño de fixturas de Boyes, el procedimiento sistemático y ordenado para el diseño de plantillas y fixturas consta de cinco fases o pasos principales (Boyes, 1989, 1-3).

Primero tenemos el análisis del producto. La fase I es un análisis basado en ciertos criterios que sugieren ideas de diseño para las fixturas. Algunos criterios a considerar son: Propiedades (Dureza, maquinabilidad, rigidez, peso), tipo (Extruido de aluminio, perfiles metálicos, hoja de metal), Materiales (Ferrosos, no ferrosos, plásticos), geometría (Figuras compuestas, cónicas, cilíndricas, planas, circulares, rectangulares, irregulares, etc.) y las especificaciones (características de forma, localización, cantidad, tamaño, condición de acabado superficial). Al examinar los planos de fabricación y las especificaciones provenientes del ingeniero de producto acerca de la pieza de trabajo, proveen al diseñador de información valiosa para el diseño de la fixtura.

La segunda fase-Análisis de operaciones. En esta fase se examinan las operaciones a desarrollar, esta información usualmente es proporcionada por el ingeniero de manufactura. Algunas operaciones a considerar son: taladrado, fresado, torneado, pulido, roscado, atornillado, soldado, estampado, pruebas mecánicas, pruebas no destructivas, dimensionamiento, etc.

La tercera fase-Análisis de equipo. En esta fase se analiza la capacidad del equipo con el que se cuenta para desarrollar las diferentes operaciones mencionadas en la fase dos. Para el rediseño de la fixtura que ocupa esta tesis, se utilizaron las

siguientes maquinas (véase figura 2.1 de izquierda a derecha): (cortadora horizontal, cortadora vertical, fresadora vertical, pulidora con disco de tela, cinta métrica y vernier).



Figura 2.1. Equipo utilizado en el rediseño de la fixtura.

Cuarta fase. Esta fase examina los conceptos de diseño alternativo y su posible cambio debido a consideraciones del diseñador, que concuerda con los elementos de tiempo, fatiga y seguridad. Cuando esto se haya completado, se deben preparar diseños preliminares de plantillas o fixturas adecuados para las estimaciones de costos.

Quinta fase- Esta fase final es la evaluación del costo del (los) diseño (s) preliminar (es), que incluye los costos de fabricación y diseño de la herramienta, los costos de la operación de la fixtura, la amortización y todos los demás costos que se aplican total o parcialmente al diseño. Cabe mencionar que en esta fase se usó el complemento de cotización de SolidWorks. También se usaron los precios que algunos de los proveedores proporcionaron.

2.2 Resortes helicoidales a compresión

En el rediseño de la fixtura se utilizaron resortes helicoidales de compresión como elementos amortiguadores; este tipo de resortes los podemos encontrar en el sistema retráctil de los bolígrafos y en el sistema de suspensión de los vehículos.

En el diseño de los resortes existen diferentes variables a considerar⁵, por ejemplo:

El diámetro externo (DE)

El diámetro interno (DI)

El diámetro del alambre (D_w)

Longitud libre (L_f), es la longitud que tiene el resorte, cuando no ejerce fuerza.

Longitud comprimida (L_s), es la que tiene el resorte cuando se comprime hasta el punto en que todas sus espiras se tocan.

⁵ Para calcular el esfuerzo y la deflexión de un resorte, se usará el diámetro medio (D_m)

Longitud de operación (L_o), es la longitud más corta del resorte durante su funcionamiento.

Índice del resorte (C , en el lenguaje anglosajón se utiliza la letra K)⁶, es la relación del diámetro medio del resorte, entre el diámetro del alambre.

Numero de espiras (N)⁷, es el número total de espiras de un resorte.

Paso (p), es la distancia axial de un punto en una espira al punto correspondiente en la siguiente espira.

Angulo de paso, es el ángulo de las espiras del resorte.

En la figura 2.2 se ilustran las longitudes antes mencionados.

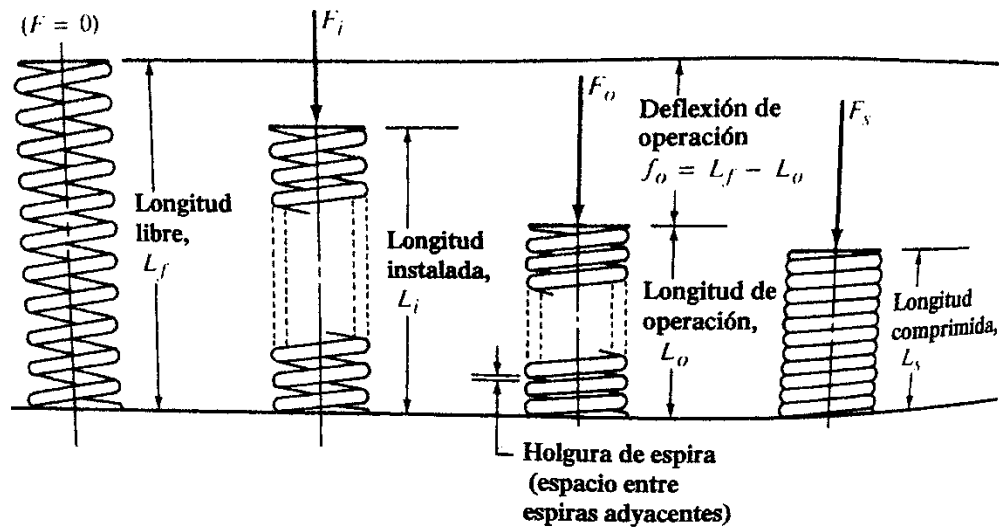


Figura 2.2. Longitudes del resorte helicoidal.

Usando la analogía de una puerta del hogar, al abrir y cerrar una puerta se produce cierta velocidad, esta velocidad generalmente se mide linealmente cerca del pestillo de la puerta. La puerta parte del reposo (0 m/s) hasta una velocidad máxima medida en su posición de cierre. La puerta tiene una masa dada, centro de gravedad y características de momento de inercia acorde a la geometría de la puerta. La masa de la puerta que se mueve a su velocidad definida, genera una energía cinética.

⁶ Se recomienda que C sea mayor que 5.0, y los resortes comunes en maquinaria tienen valores de C que van de 5 a 12. Para C menor que 5, es muy difícil dar forma al resorte, y la gran deformación necesaria puede causar grietas en el alambre. Los esfuerzos y deflexiones de los resortes dependen de C , y una C mayor ayudara a eliminar la tendencia de un resorte a pandearse.

⁷ En cálculos de esfuerzos y deflexión de un resorte, algunas de las espiras son inactivas, por lo que no se consideran, por ejemplo, en un resorte con extremos escuadrados y rectificadas.

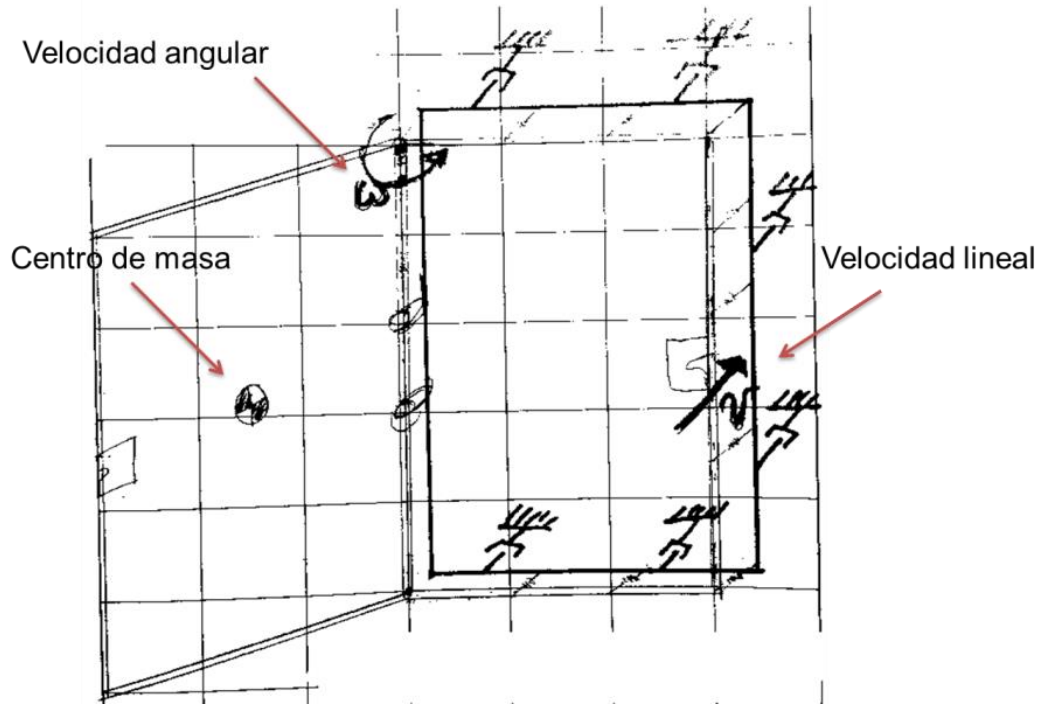


Figura 2.3. Factores físicos que influyen al abrir y cerrar una puerta.

3. Metodología

Pahl y Beitz proponen una metodología la cual se muestra en la figura 3.1:

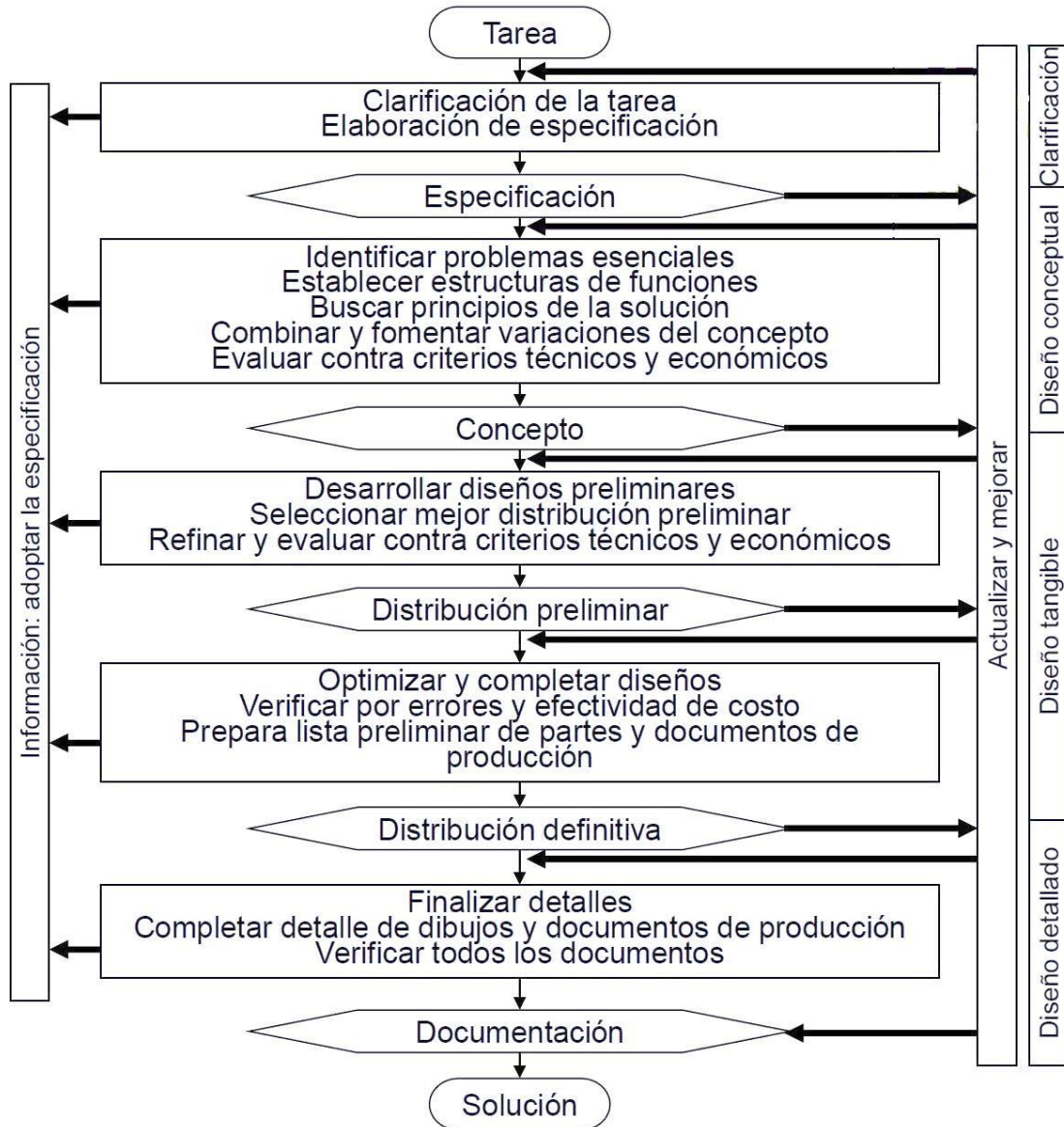


Figura 3.1. Proceso de diseño (Pahl y Beitz, 2013).

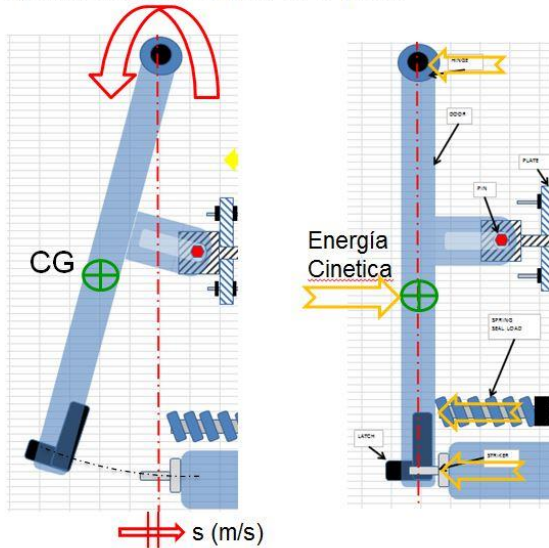
La **tarea** es el rediseño de fixtura para prueba de durabilidad en la cerradura automotriz.

La **especificación** del cliente es de 10000 ciclos (abrir-cerrar la cerradura) con una fuerza de sello 350 Newtons.

Se pretende sustituir el concepto del brazo oscilatorio de las fixturas existentes por un sistema lineal equivalente, sin pasar por alto el sistema real en la puerta del carro, en la figura 3.2 se ilustra dicha solución.

- **Sistema de brazo oscilatorio**

ω (rad/s) Velocidad angular en la puerta



Velocidad lineal medida al final del recorrido del swing.

- **Sistema de cierre lineal**

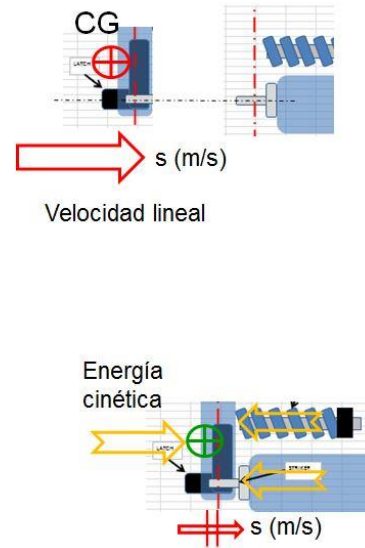


Figura 3.2. Comparación entre un sistema oscilatorio y uno lineal.

La energía cinética de la puerta se transfiere a los miembros estáticos del sistema (véase la figura 3.3).

Fuerza de sello del resorte.

"Latch" de la puerta.

Rigidez del "striker".

Deformación general al cierre.

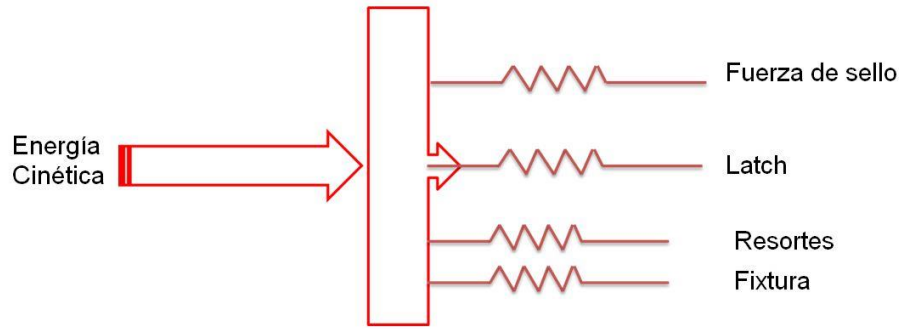


Figura 3.3. Energía cinética absorbida en la fixtura.

Es de utilidad observar las fixturas existentes dentro de la empresa de esta manera ayuda a desarrollar de una manera más clara, el **concepto** del rediseño de la fixtura, por ejemplo, en la figura 3.4 se observan tres elementos comunes: Sujeción de la cerradura (latch), sujeción del cerraje (striker) y una estructura o mesa de soporte.

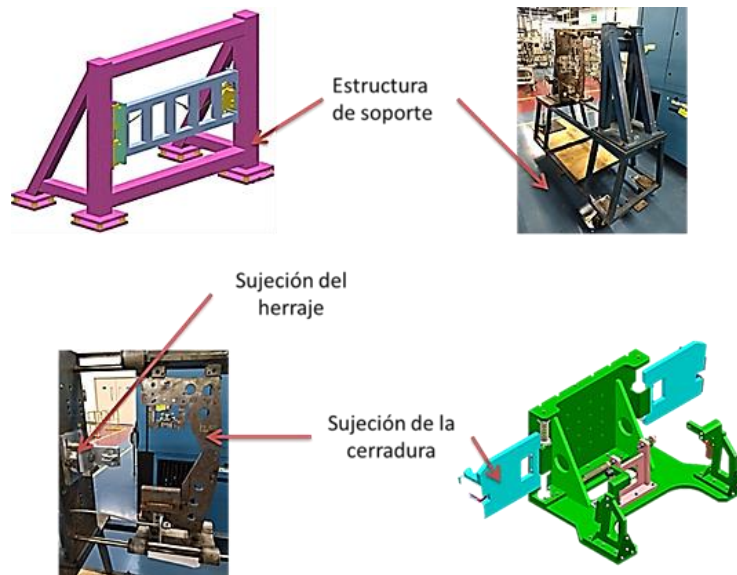


Figura 3.4. Elementos comunes en una fixtura para cerradura automotriz.

Para el desarrollo de la fixtura se consideran condiciones de diseño por parte del cliente, una de estas condiciones es probar la cerradura en la posición del vehículo, como se muestra en la figura 3.5.

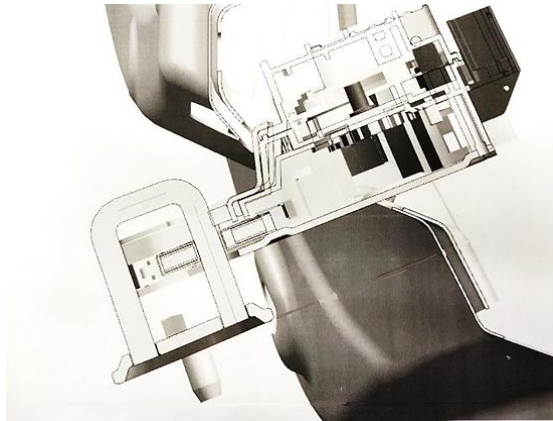


Figura 3.5. Sección transversal del cofre del vehículo.

En la figura 3.6 se puede apreciar el modelo en 3D de la cerradura automotriz.⁸

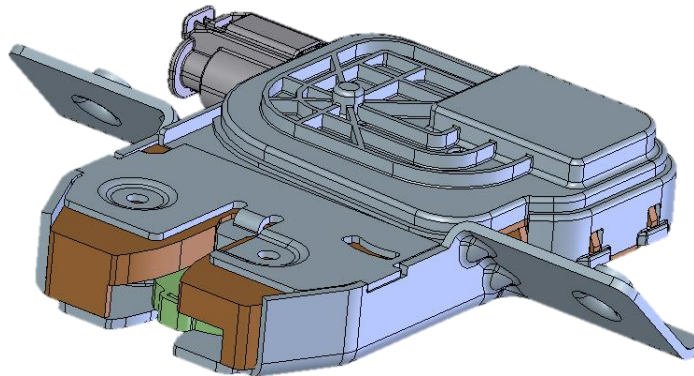


Figura 3.6. Cerradura automotriz modelo R30.

Es recomendable hacer uso de los bosquejos y croquis a mano alzada para capturar al momento la idea que se desea desarrollar.

Es por ello que “durante la fase de ideación es frecuente el uso de bosquejos técnicos. Su capacidad de crear libremente bosquejos técnicos le permite presentar y compartir ideas, así como registrarlas para que pueda emplearlas en las soluciones, inspiraciones y avances que surjan durante esta etapa creativa del proceso [...]” (Giesecke, 2013, p. 10).

En la figura 3.6 se muestra el bosquejo para los ángulos y base que servirán de soporte para la cerradura automotriz, en esta tapa se pueden escribir las posibles dimensiones que tendrá la fixtura, cuando se introduzca el diseño en algún programa CAD se harán todos los ajustes necesarios, hasta obtener la geometría deseada. Este proceso se repetirá cuantas veces sea necesario hasta la terminación final de cualquier proyecto. Debido a que este proyecto es un rediseño, algunos componentes

⁸ El modelo de cerradura R30 se utilizará en algunos automóviles de la compañía HAIMA.
<http://www.haima.com.py/>

se han modificado de los ya existentes para obtener el modelo 3D deseado y adaptarlo a la fixtura.

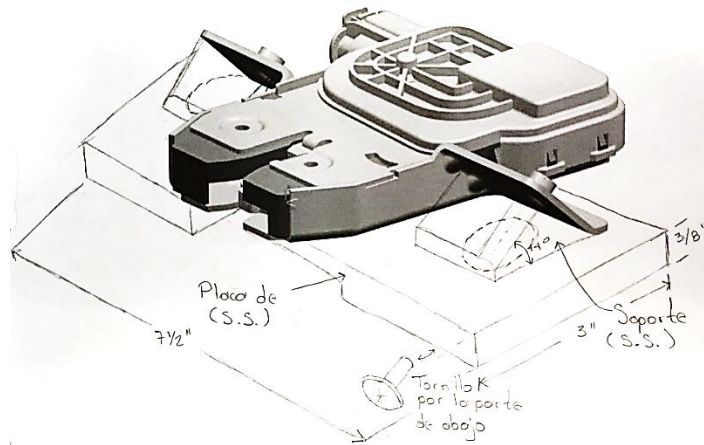


Figura 3.7. Bosquejo de los ángulos de apoyo y la base para la cerradura automotriz.

Después que se ha creado el bosquejo, se procede a introducirlo a un programa CAD (SolidWorks 2019), como se muestra en la figura 3.8.

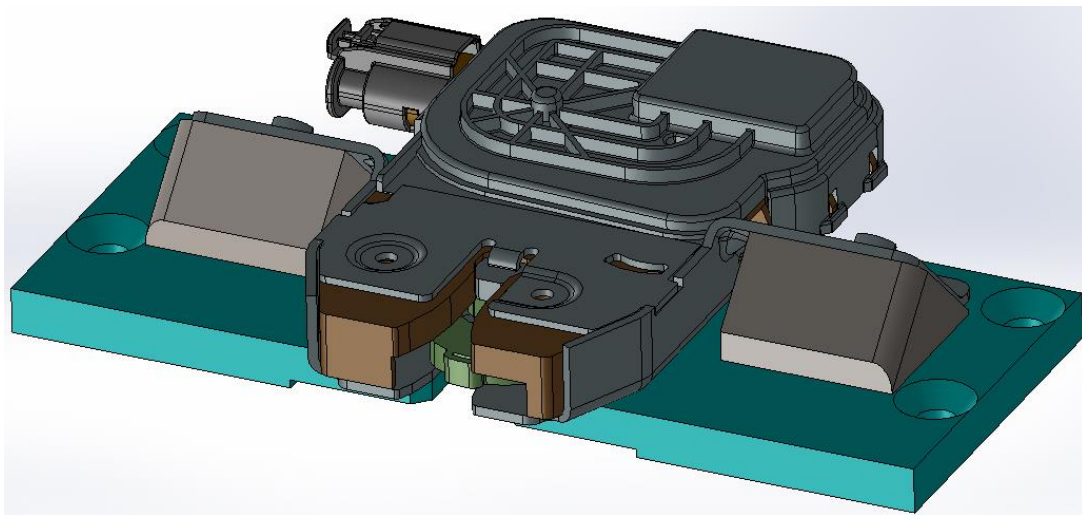


Figura 3.8. Modelo CAD de los soportes en ángulo y la base.

Un aspecto importante en toda fixtura son los elementos de unión, para unir todos los componentes de la fixtura se utilizaron tornillos de medidas estándar y soldadura para aluminio.

En la figura 3.8 se utilizaron tornillos 8-32.

Los tornillos que sujetan el "latch" están sujetos a un esfuerzo cortante simple (véase la figura 3.9). Esto pasa cuando el "latch" golpea al "striker" durante la prueba de durabilidad.



Figura 3.9. Esfuerzo cortante simple.

El siguiente calculo muestra el esfuerzo cortante simple al que están sujetos los tornillos en el “latch”.

Datos del tornillo 8-32:

Límite de Resistencia a la Rotura: 1172.1 MPa

Resistencia a la Tracción: 350 MPa

Área transversal del tornillo: 13.59 mm²

$$\phi = 4.16 \text{ mm}$$

$$Area = \left(\frac{\pi}{4}\right) D^2$$

$$Area = \left(\frac{\pi}{4}\right) (4.16)^2 = 13.59 \text{ mm}^2$$

$$Resistencia \text{ al corte} = Resistencia \text{ a la traccion} * 0.58$$

$$Resistencia \text{ al corte} = 350 \text{ MPa} * 0.58 = 203 \text{ MPa}$$

$$Esfuerzo \text{ cortante} = \frac{Fuerza \text{ de Corte}}{Area \text{ de Corte}}$$

$$Esfuerzo \text{ cortante} = \frac{350 \text{ Newtons}}{13.59 \text{ mm}^2} = 25.75 \text{ MPa}$$

Se nota que el esfuerzo cortante es menor que la resistencia al corte, sin embargo, para mayor seguridad se decide soldar los bloques que contienen los tornillos 8-32.

Es muy importante conservar el alineamiento entre el “striker” y el “latch” en todo el rediseño de la fixtura, como se muestra en la figura 3.10:

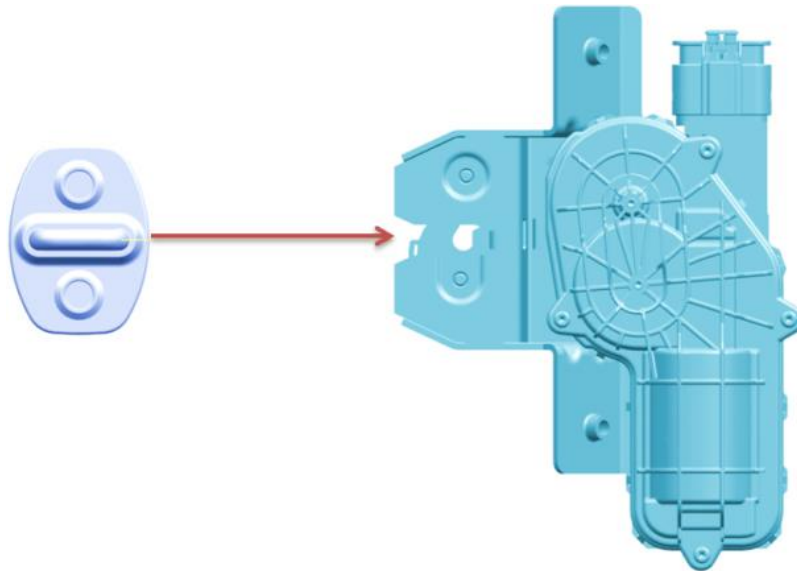


Figura 3.10. Alineamiento entre el "striker" y el "latch".

La 'torre' que sostiene el latch y la base del "striker" se ilustra en la figura 3.9:

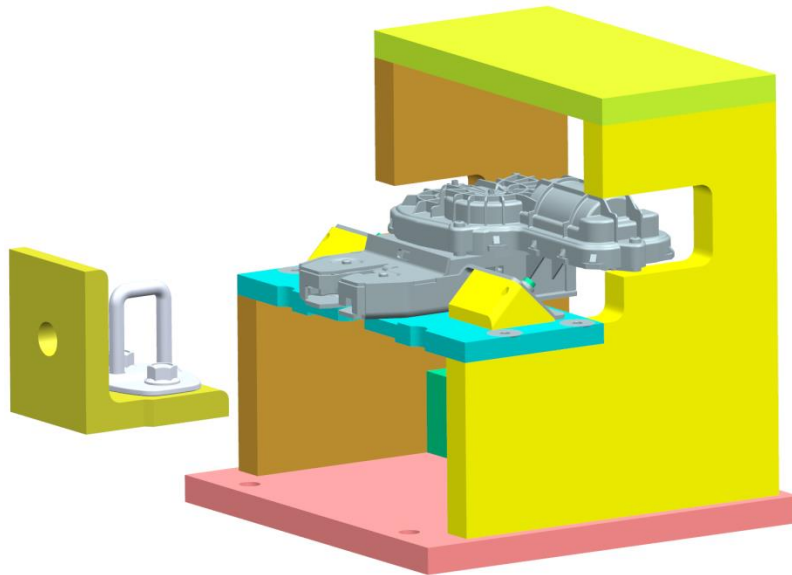


Figura 3.11. Diseño de base del "striker" y torre del "latch".

Durante el rediseño, en la medida de lo posible, se buscó que las geometrías de las piezas que la componen fueran de medidas estándar, simétricas, características de fácil maquinado, esto con la finalidad de un rápido montaje y desmontaje de las piezas que componen la fixtura, y esto a su vez, se traduce en una fixtura de sencillo mantenimiento.

Tomando en cuenta lo anterior, el 'cabezal' que sostiene la celda de carga se ilustra en la figura 3.12:

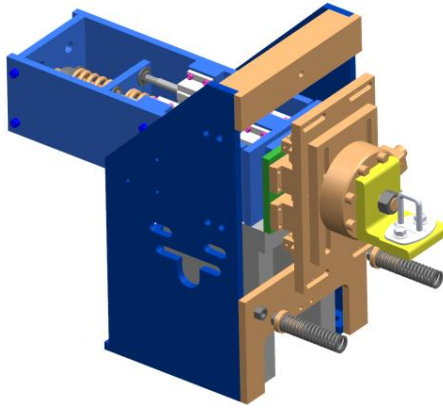


Figura 3.12. Cabezal de la celda de carga

Para conocer un costo aproximado de fabricación de las piezas de la fixtura, se utiliza el complemento “SolidWorks Costing”, por ejemplo, el costo de fabricar la base del “latch” es de aproximadamente \$574.39 (MN), como se muestra en la figura 3.13.

De esta manera se calcula el costo de fabricación de todas las piezas de la fixtura.

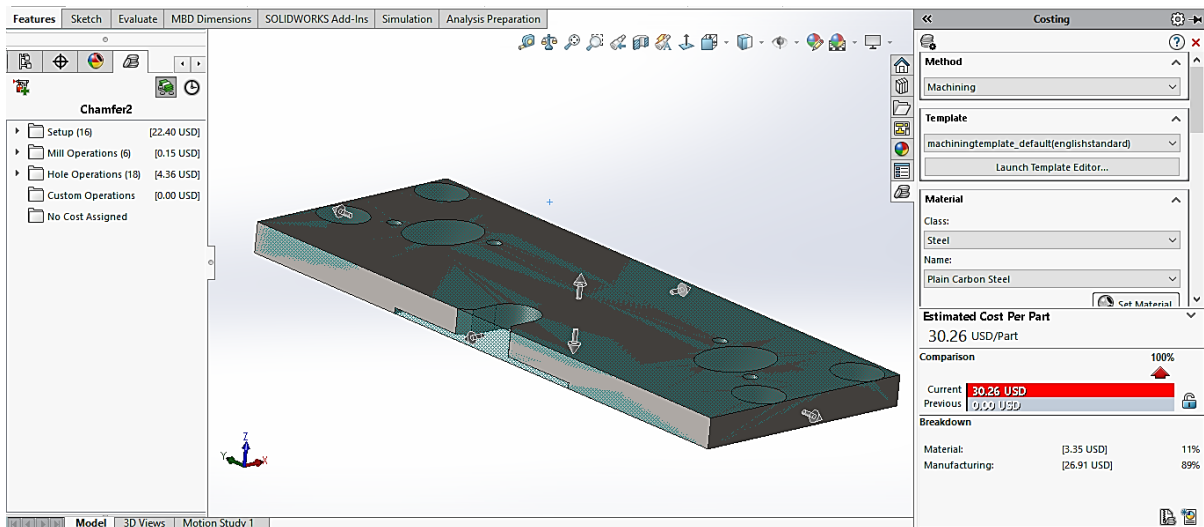


Figura 3.13. Costo de fabricación de pieza con SolidWorks Costing.

En la placa de montaje de la ‘torre’ se utilizaron insertos de roscas estándar (véase la figura 3.14), con las piezas ensambladas, algunas piezas deben desmontarse y volver a ensamblarse, a veces repetidamente, además, el costo de una placa de acero inoxidable sería mucho mayor en comparación con una de aluminio, por otro lado, la placa de acero sobrecargaría el actuador.

Los insertos de roscas ofrecen la máxima resistencia para soportar los entornos más exigentes, por ejemplo, miles de ciclos de repetición.

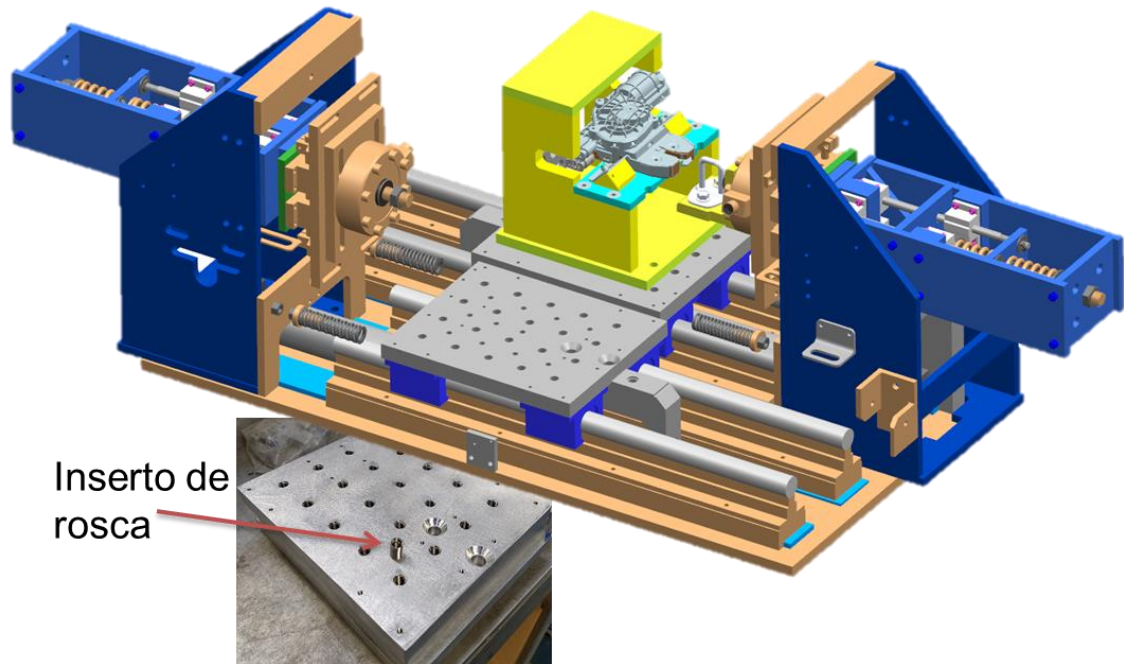


Figura 3.14. Inserto de rosca en placa de aluminio.

4. Impacto del proyecto

El rediseño de la fixtura contribuirá a la satisfacción del cliente, al brindarle un servicio confiable en la prueba de durabilidad de los “latches” en menor tiempo.

5. Producto esperado.

Se obtuvo una fixtura acorde a los requerimientos para la prueba de durabilidad en cerradura automotriz.

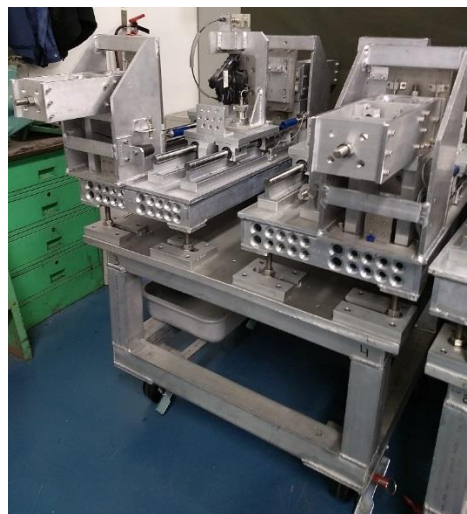


Figura 5.1. Rediseño terminado de fixtura.

6. Bibliografía

- Avallone, Eugene A., Baumeister Theodore, "Manual del Ingeniero Mecánico", Tomos 1 y 2 Mc Graw Hill 9ª. Edición, Colombia 1998.
- Beer, Ferdinand P., E. Russell Johnston, Jr. "Mecánica de Materiales", 3ª. Edición Mc Graw Hill Internacional, Edición 2002.
- Boyes William E. (1989). "Handbook of Jig and Fixture Design". United States of America: SME.
- Burr, Arthur H., "Mechanical analysis and design", Elsevier, New York 1981.
- Campbell Paul. (2005). "Basic Fixture Design". United States: Industrial Press.
- Cornish, E.H., "Materials and the designer", 1st Edition, Cambridge University, New York 1987.
- Courtney, Thomas H., "Mechanical behavior of materials", McGraw-Hill, New York 1990.
- Franklin Jones Franklin. (2018). "Jig and Fixture Design". United States: Forgotten Books.
- Henriksen E. (1973). "Jigs and fixture design manual". New York: INDUSTRIAL PRESS.
- Mott, Robert L., "Diseño de Elementos de Máquinas", P.E. 2ª. Edición Prentice. Hall, México 1992.
- Pahl and Beitz. (2013). "Engineering design: a systematic approach" The Design Council, London.
- Rong Yining, Huang Samuel. (2005). "Advanced Computer-Aided Fixture Design". United States: Academic Press.
- Sass, F; Bouche Ch; tr. Saenz de Magarola, Carlos, "Manual del constructor de máquinas", 3ª. Edición, Editorial Labor, Barcelona 1979.
- Suh, C. H. Radcliffe, C. W. Radcliffe. "Kinematics and mechanisms design", Wiley, New York 1978.
- Venkataraman K. (2015). "Design of Jigs, Fixtures and Press Tools". United States: Wiley.