

# DISEÑO, ANÁLISIS Y MANUFACTURA DE MASA SEPARADORA VEHICULAR PARA AUTO MODIFICADO

## DESIGN, ANALYSIS AND MANUFACTURE OF VEHICLE SEPARATOR MASS FOR A MODIFIED CAR

J. P. Razón González<sup>1</sup>  
F. E. Castillo Rodríguez<sup>2</sup>  
J. M. García Guzmán<sup>3</sup>  
M. Cano Lara<sup>4</sup>

### RESUMEN

El sector industrial requiere que los egresados de las carreras de ingeniería desarrollen nuevas competencias orientadas a la resolución de problemas de manera innovadora con apoyo de las nuevas herramientas computacionales de vanguardia. El perfil de egreso de los estudiantes de ingeniería abre un amplio espectro de oportunidades de inserción laboral, siempre que se cuente con los conocimientos, competencias y habilidades que demanda la Industria 4.0. Desde la conceptualización de la práctica docente se deben abordar los casos prácticos basados en problemas reales que se puedan conceptualizar, analizar y solucionar de manera conjunta en el aula y en el laboratorio para conjugar de manera exitosa los diferentes saberes y que los alumnos empiecen a permearse con los tópicos de la filosofía de la mentefactura. En el presente trabajo aborda un caso práctico conceptualizado y analizado con herramientas computacionales, manufacturado en los laboratorios del Tecnológico Nacional de México (TecNM), campus Irapuato y se discuten los resultados experimentales de las pruebas de campo; también se cotejan las competencias desarrolladas y su congruencia tanto con el perfil de egreso como con las necesidades del sector industrial moderno.

### ABSTRACT

The industrial sector requires engineering graduates to innovatively develop new problem-solving skills with the support of new state-of-the-art computational tools. The graduation profile of engineering students opens a wide range of job placement opportunities, provided the knowledge, skills and abilities required by Industry 4.0 are available. From the conceptualization of teaching practice should be addressed practical cases based on real problems that can be conceptualized, analyze, and solve jointly in the classroom and in the laboratory to successfully combine the different knowledge and that students begin to permeate with the topics of the philosophy of the mind. In the present work, a conceptualized and analyzed practical case with computational tools, manufactured in the laboratories of the National Technological National of México, campus Irapuato, and the experimental results of the field tests are discussed; They also compare the skills developed and their consistency with both the output profile and the needs of the modern industrial sector.

### ANTECEDENTES

En el estado de Guanajuato desde hace más de 25 años inició el desarrollo del sector automotriz, la primera empresa de ese giro en asentarse en la región fue General Motors; desde entonces el surgimiento de nuevas empresas ha sido exponencial, dando pie a la creación de nuevos parques industriales que han consolidado el clúster automotriz del

---

<sup>1</sup> Profesor de tiempo completo. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. [juan.rg@irapuato.tecnm.mx](mailto:juan.rg@irapuato.tecnm.mx)

<sup>2</sup> Profesor de tiempo completo. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Constitución. [francisca.cr@cdconstitucion.tecnm.mx](mailto:francisca.cr@cdconstitucion.tecnm.mx)

<sup>3</sup> Profesor de tiempo completo. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. [jose.gg@irapuato.tecnm.mx](mailto:jose.gg@irapuato.tecnm.mx)

<sup>4</sup> Profesor de tiempo completo. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. [miroslava.cl@irapuato.tecnm.mx](mailto:miroslava.cl@irapuato.tecnm.mx)

corredor Bajío desde Querétaro, pasando por Guanajuato y terminando en San Luis Potosí y Aguascalientes. De manera paralela a la llegada de las grandes corporativas automotrices, las empresas satélites que proveen suministros, consumibles, servicios y componentes se han instalado en la región generando fuentes de empleo para los egresados de las ingenierías del Tecnológico Nacional de México, campus Irapuato (Razón et al., 2019).

A partir del 2004, el Campeonato Mundial de Rally (WRC por sus siglas en inglés) eligió a Guanajuato como sede de una de las etapas de su campeonato, por tal motivo en tres días consecutivos se corren diferentes competencias en Guanajuato en la región de Comanjilla y en León. El interés por las competencias de rally por parte de los alumnos de Ingeniería Electromecánica se ha canalizado de manera positiva y pertinente para plantear problemas basados en casos reales que se resuelvan en el aula y en el laboratorio, buscando contextualizar con la actividad de las empresas automotrices de la región.

Derivado de eso se propuso rediseñar algunos sistemas de un coche de línea comercial para adaptarlo a los requerimientos de un vehículo para competencias tipo rally. En el presente trabajo se describe el desarrollo de competencias en los talleres y laboratorios a partir de un caso práctico. La suspensión de un vehículo fue modificada para participar en competencias tipo rally; se cambió el conjunto de resorte-amortiguador para que pudiera asimilar de mejor manera las irregularidades del terreno, también se modificó el tipo de neumático por uno adecuado para estas competencias. A partir de estas modificaciones se presentó el problema del rozamiento de los neumáticos delanteros en el resorte que está en conjunto con el amortiguador; esta fricción reduce drásticamente la vida útil de las llantas e incrementa el riesgo potencial de un accidente en plena competencia.

Para corregir este problema se buscaron alternativas comerciales, pero dentro de lo que se encontró en el mercado de partes automotrices no había una que soportara las exigencias de un vehículo de estas características; derivado de esto se optó por desarrollar una masa separadora vehicular para incrementar la distancia entre centros de los neumáticos y evitar el rozamiento de los neumáticos con los resortes de los amortiguadores. El presente trabajo está enfocado en diseñar, analizar y manufacturar una masa separadora para el conjunto rin-neumático de un vehículo. A partir de las necesidades específicas de un vehículo modificado el diseño se llevó a cabo en el software Solidworks® y las simulaciones fueron realizadas en ANSYS®, mientras que, la manufactura fue realizada en torno y fresadora convencional previo a la realización de un tratamiento térmico para mejorar sus propiedades mecánicas.

Las alternativas disponibles en el mercado no ofrecen una solución satisfactoria ante la problemática que presentan los autos modificados para ser usados en competencias tipo rally con exigencias mecánicas de alto desempeño. Al modificar los vehículos se presenta el problema de usar neumáticos más robustos. Cuando el vehículo cambia de dirección al girar el volante se provoca que las llantas delanteras rocen al resorte que acompaña al amortiguador; esto conlleva un desgaste prematuro que reduce dramáticamente el ciclo de vida de los neumáticos.

En este trabajo se presenta una solución factible que combina de manera confiable el factor de seguridad y el bajo costo de manufactura, esto validado a través de herramientas computacionales de vanguardia y el respaldo de teorías ingenieriles. Se presenta un modelo

conceptual en Solidworks®, simulaciones en ANSYS® validadas a través del método de elementos finitos y de los diferentes procesos de manufactura involucrados.

Actualmente, el escuchar sobre la Mentefactura pudiera parecer que se trata de un concepto nuevo que llegó con los retos de la década actual, pero en realidad no es así, al igual que la Industria 4.0, la concepción de la Mentefactura comenzó por el año 2012; el concepto fue promovido por Juan José Goñi Zabala en su libro “Mentefactura: el cambio de modelo productivo”. La llamada Industria 4.0 y también conocida como Smart Factory está creando sinergia con este nuevo paradigma y pareciera que van de la mano puesto que ambas trabajan con el poder de la información, transformación en conocimiento y el uso correcto del mismo para mejorar la forma en que se realizan los procesos industriales (Granados, 2020).

La Mentefactura se puede definir como “la consideración de la innovación como transformación de lo intelectual y del conocimiento para estructurarse en forma central en la vida de la empresa”, invitando a romper con el paradigma de la manufactura tradicional, ver más allá de lo que hoy representa y transformar la industria para hacer más eficientes los procesos, incrementar la productividad y mantener la competitividad de las empresas con el fin de hacerle frente al mercado global, aprovechando el conocimiento y experiencia de las personas (Granados, 2020).

La Mentefactura al igual que la manufactura es un proceso de producción que consiste en generar, transformar y utilizar en beneficio propio el conocimiento para ofrecer soluciones que satisfagan las necesidades empresariales, a diferencia de la manufactura. la Mentefactura no busca crear productos a partir de una materia prima utilizando las manos o máquinas, su principal objetivo es crear alternativas o soluciones que logren resolver las problemáticas de la industria a través de la creatividad e innovación de las personas, elemento principal de este nuevo modelo industrial, que a la par, será apoyado con el uso de las nuevas tecnologías pertenecientes a la industria 4.0 (Granados, 2020).

Con la Mentefactura se crearán redes de interacción entre los diferentes sectores de la sociedad, tanto público como privado e instituciones educativas para lograr la colaboración entre todos los interesados, fortaleciendo la comunicación para interactuar con el cliente y hacerlo participe de su producto, coadyuvando a la innovación, incrementando, así la satisfacción del cliente y, aprovechando la conectividad e interoperabilidad proporcionadas por la Industria 4.0, reduciendo tiempos de respuesta en los procesos, optimizar recursos, innovar e implementar nuevas estrategias de negocio que ayuden a reducir los costos, eliminar desperdicios para incrementar la productividad y competitividad de las empresas.

## **METODOLOGÍA**

Este proyecto fue desarrollado en el Tecnológico Nacional de México campus Irapuato (TecNM/Irapuato), con la participación de estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica. Desde hace varios años se han identificado las necesidades de las empresas ubicadas en el clúster Bajío para amalgamarse de forma exitosa a la dinámica de la Industria 4.0 y reorientar sus procesos de manufactura tradicionales a las tendencias de la mentefactura. A partir de este ejercicio y después de un análisis exhaustivo en el núcleo académico, se identifican como factores fundamentales los programas CAD/CAE/CAM y el manejo de la

información con las técnicas del Big Data, buscando modernizar los procesos productivos para optimizar los recursos disponibles en las empresas.

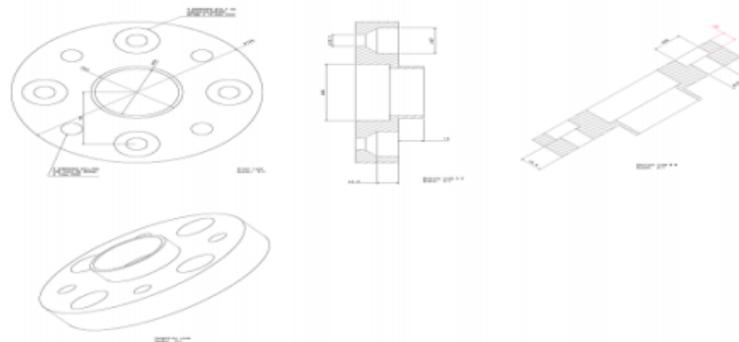
El núcleo académico de la carrera de Ingeniería Electromecánica realizó un análisis de las actividades académicas para el desarrollo de las competencias de acuerdo con las necesidades y pertinencia en el sector industrial de la región; esto con la finalidad de reorientar acciones y optimizar esfuerzos para permear a los estudiantes con problemas basados en casos reales y aplicaciones de las herramientas de vanguardia basadas en teorías ingenieriles.

El propósito de este estudio consistió en llevar a cabo el diseño, análisis y manufactura de una masa separadora vehicular, la cual sea de fácil fijación al automóvil, para que resista los esfuerzos de torsión y los esfuerzos derivados por el ciclo de fatiga; de esta manera se mejora la confiabilidad mecánica del auto. Esta idea surge de la necesidad de solucionar un problema que se presentaba en un vehículo de alto rendimiento, ya que al ser modificado el sistema de suspensión para mejorar su desempeño en terrenos irregulares se afectó la distancia entre centros de neumáticos, esta modificación provocó la fricción entre los resortes de amortiguador y las llantas delanteras cada que el automóvil cambiaba de dirección; este rozamiento producía un desgaste exagerado que acortaba la vida útil de los neumáticos.

La reconfiguración de los elementos de la suspensión permitió emplear elementos más robustos para la suspensión, pero no fue tan flexible como para cambiar la ubicación de estos; de esta manera se imposibilitaba el cambio de la base de los amortiguadores al ser componentes fijos. Las opciones disponibles en el mercado presentaban una solución parcial al problema.

El diseño fue realizado en el software de CAD Solidworks®, iniciando por la generación del modelo a partir de una placa circular de 150mm de diámetro exterior y 25.4mm de espesor, con 8 barrenos espaciados a 45°; 4 barrenos de 12.7mm de diámetro, contra taladrado de 27mm a 12.5mm de profundidad, 4 barrenos de 12.7mm de diámetro con caja de 20mm a 10mm de profundidad. En la parte posterior cuenta con una cavidad de 60mm de diámetro con 20mm de profundidad. Por la cara frontal cuenta con una guía de 55mm de diámetro exterior, con 50 mm de diámetro interior y 15mm de altura. En la Figura 1 se muestra el drafting o dibujo de trabajo correspondiente a la pieza a manufacturar.

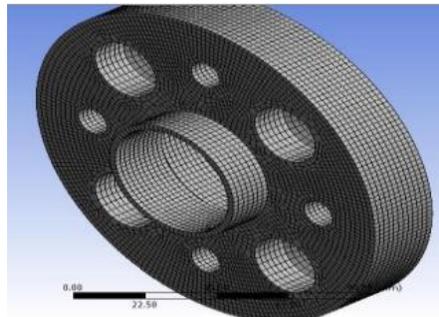
**Figura 1.** *Drafting de masa separadora vehicular*



Una vez generado el modelo de CAD, se exportó al software de análisis ANSYS® que trabaja con modelos matemáticos basados en el método de elementos finitos y sustentado en teorías ingenieriles de áreas múltiples y permite realizar análisis estructurales (Budynas y Nisbett, 2020), se introducen los datos de material, Módulo de elasticidad de 210GPa y Módulo de Poisson de 0.3 para el tipo de acero propuesto para esta aplicación. A partir de estos datos el software realizará iteraciones más precisas de acuerdo con las propiedades del material y a las condiciones de carga determinadas para el análisis.

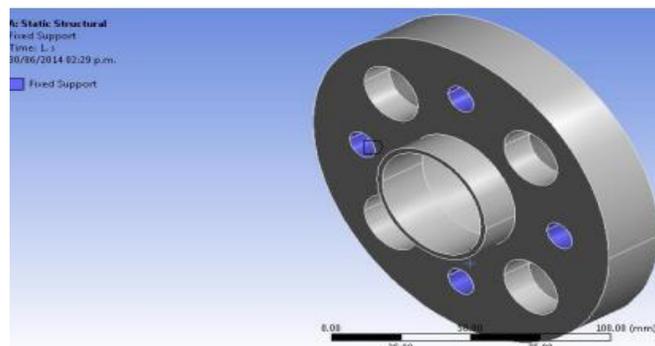
Después de ingresar las condiciones de frontera para el análisis se hizo un trabajo de mallado para obtener las mejores relaciones entre el tamaño y cantidad de elementos cotejando contra el tiempo de solución y la precisión de los resultados para un aprovechamiento óptimo del músculo computacional. Para obtener una malla adecuada se probaron diferentes configuraciones con diversos tipos de elementos se empleó un refinamiento de la malla y se determinó el número de elementos que serían afectados por esta operación. Se aplicó un método conocido como Mallado de cara mapeada (Mapped Face Meshing) para tener un mayor control de la malla, obteniendo de esta forma una malla basada en hexaedros y prismas regulares como se muestra en la Figura 2.

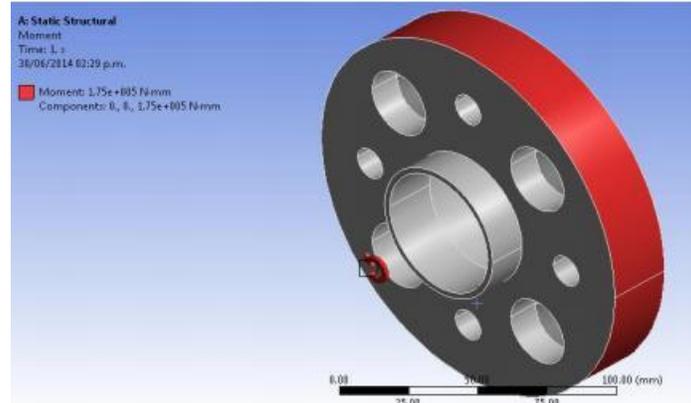
**Figura 2.** *Mallado tipo cara mapeada (Mapped Face Meshing)*



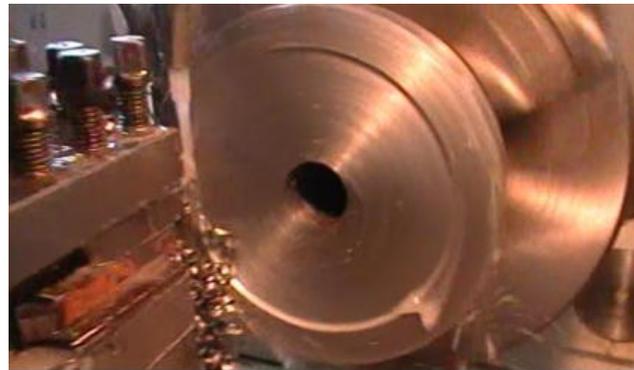
Después se aplicaron las restricciones de movimiento al fijar la pieza en 4 de los 8 barrenos (Figura 3) y se aplicó la carga en la cara cilíndrica exterior (Figura 4). El tipo de restricción fue una sujeción fija (fix support) y la carga fue un movimiento torsional a la placa de apoyo, esto hará girar a la pieza de los barrenos de transmisión.

**Figura 3.** *Soportes en caras cilíndricas*



**Figura 4.** Carga aplicada como momento

La manufactura se dividió en tres procesos principales: torneado, fresado y tratamiento térmico. Primero se tomó una placa de acero 1045, cuyas medidas exceden el diámetro final de la pieza, en este caso 170mmx170mm. Como se ilustra en la Figura 5.

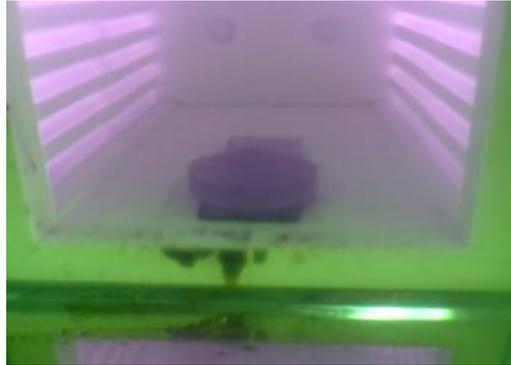
**Figura 5.** Torneado

Posteriormente, se realizó el fresado y barrenado de las diferentes cavidades con caja o con contra taladrados, tal como se presenta en la Figura 6

**Figura 6.** Fresado

Finalmente, se realizó el tratamiento térmico que consistió en un templado a 750°C por 50 minutos (Figura 7) con enfriamiento en aceite (Figura 8), después se le aplicó un revenido a 100°C por 20 minutos con enfriamiento en aire dentro del horno, ya que, para concluir la validación de la pieza se sometió a pruebas de dureza Rockwell.

**Figura 7.** *Tratamiento térmico*



**Figura 8.** *Enfriamiento en aceite*



**RESULTADOS**

Una vez que se realizó el tratamiento térmico se hicieron las pruebas de dureza en la escala Rockwell B y se obtuvieron los siguientes resultados que se presentan en la Tabla 1.

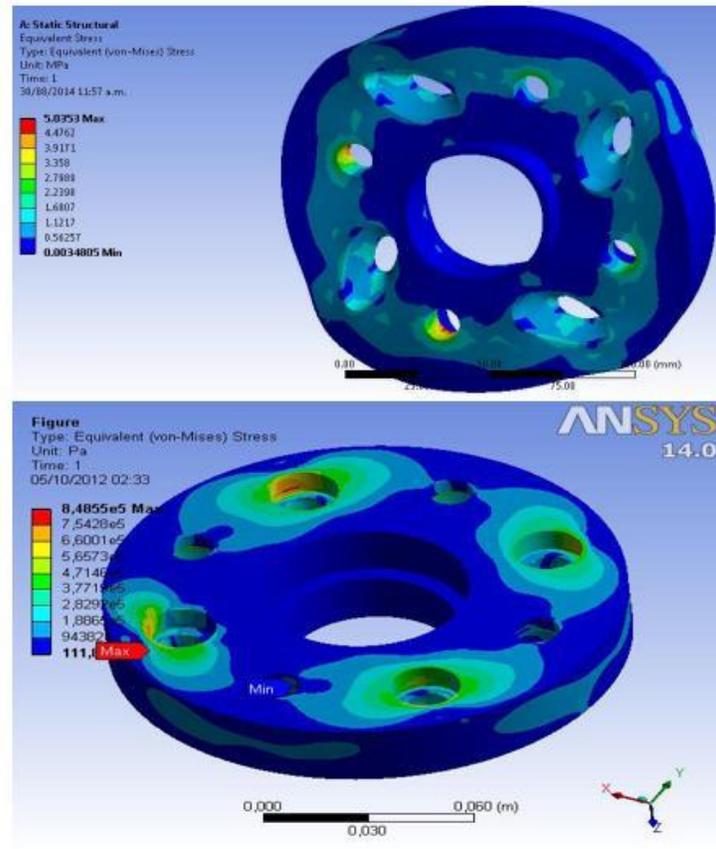
**Tabla 1.** *Resultados de las pruebas de dureza*

Antes del tratamiento térmico HRB					
69.1	62.9	58.6	73.1	63.8	65.3
31.2	33.2	70.5	65.2	32.9	43.7
Después del tratamiento térmico HRB					
72.6	71.0	55.1	64.3	77.4	69.3
84.7	60.7	72.9	86.2	67.4	69.5

De acuerdo con los resultados obtenidos en las simulaciones de ANSYS se concluye que la pieza cumple con los parámetros de confiabilidad y rendimiento esperado, el gradiente de

esfuerzos que se presenta está dentro del margen de seguridad esperado, como se presenta en la Figura 9.

**Figura 9.** Esfuerzos de Von Mises



El tiempo y la precisión de los cálculos dependen del refinamiento de la malla y por consiguiente del número de elementos y cálculos que debe realizar el software. Un refinamiento especial es sugerido para áreas con cambios de sección o geometría, en donde se requiere un barrido de malla con una mayor cantidad de elementos para suavizar las imperfecciones y obtener mayor confiabilidad en los cálculos. Se tratan los análisis más significativos debido a la variación que se le realiza a la malla conservando los valores de carga originales y observando cómo los resultados comienzan a converger en la misma dirección, a medida que no es necesario realizar más análisis, ya que la variación de resultados es despreciable.

Estos resultados son representados en las figuras mostradas, en las cuales el objeto es sometido a los esfuerzos de torsión con un valor de 175Nm y los resultados son mostrados a color, denotando una escala al lado izquierdo, en donde se puede observar la zona sometida a esfuerzos mayores y el valor de este esfuerzo máximo, el cual tiene que estar alejado del esfuerzo de cedencia del material, tal como se puede apreciar en las Figuras 10 y 11.

**Figura 10.** *Masa separadora vehicular*



**Figura 11.** *Masa después de pruebas de campo*



## CONCLUSIONES

La importancia de una educación de calidad con contenidos temáticos vigentes y herramientas computacionales de vanguardia impacta en el desarrollo de las competencias profesionales requeridas por la Industria 4.0 para lograr que los egresados puedan migrar de la formación tradicional orientada a sistemas rígidos de manufactura a un pensamiento flexible basado en la filosofía de la Mentefactura que les permita ser competitivos en su desarrollo profesional.

En el Tecnológico Nacional de México campus Irapuato (TecNM/Irapuato) se tienen documentadas las estrategias para hacer una transición exitosa de la manufactura a la Mentefactura, manteniendo congruencia con los ejes rectores de la Industria 4.0. Después de las pruebas realizadas al elemento y comprobar su correcto funcionamiento y el buen estado en el que se encuentra es que se puede afirmar que el procedimiento de diseño, manufactura por el que se ha pasado es el adecuado para esta aplicación en particular. La pieza no presenta deformaciones en el exterior, de modo que al montarla en su posición no presenta desbalanceo al momento de girar.

Cabe destacar que, este estudio no implica mecánica experimental (uso de galgas extensiométricas etc.). Así mismo, después de varios kilómetros en diferentes terrenos, la pieza no presenta daños exteriores en donde pudiera haber concentración de esfuerzos para que haya una falla en la pieza. Además, siendo montada la pieza, realiza la separación del rin-neumático de la manera esperada, siendo válida esta pieza como solución, como se observa en la Figura 12

**Figura 12.** Masa separadora



Los casos de estudio basados en situaciones reales, fundamentados con aspectos teóricos y llevados a la práctica en laboratorios y talleres abren el panorama y detonan el potencial en el desarrollo de nuevas competencias en los estudiantes. Las herramientas computacionales de vanguardia amplían el horizonte de posibilidades en el diseño, acortan los tiempos de trabajo e incrementan la confiabilidad en los diseños al anticiparse a los posibles escenarios donde los productos habrán de desempeñarse. La Industria 4.0 requiere profesionistas con una visión creativa y que se encuentren abiertos a los nuevos retos que ofrece la Mentefactura.

Las competencias desarrolladas durante este trabajo potencializan el talento de los estudiantes, mismos que serán un factor determinante en las empresas una vez que se integren al sector productivo. Si se ignora el efecto revulsivo del capital humano en las consideraciones de la Industria 4.0, la empresa corre el riesgo de desaparecer o quedarse fuera de las tendencias de la Mentefactura, ya que, la globalización está obligando a las empresas a cambiar su paradigma en la manera de hacer las cosas, dejando de lado el pensar en que siempre se ha hecho así e incentivando a reinventarse haciendo uso de la tecnología, utilizar la capacidad intelectual de las personas en beneficio de la organización.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Browell, R., & Hancq, A. (May 2-4, 2006). *Predicting Fatigue Life with ANSYS workbench: how to design products that meet their intended design life requirements*. International ANSYS Conference. [https://www.academia.edu/20287603/Predicting\\_Fatigue\\_Life\\_with\\_ANSYS](https://www.academia.edu/20287603/Predicting_Fatigue_Life_with_ANSYS)

Budynas, R. y Nisbett, J. (2020). *Diseño en ingeniería mecánica de Shingley* (10ª Ed.). McGraw-Hill

Granados, G. (10 de agosto de 2020). Mentefactura: Transformando el conocimiento. *Visión Industrial*. <https://visionindustrial.com.mx/industria/desarrollo-industrial-3020/mentefactura-transformando-el-conocimiento>

Razón, J., Ortega, F. y Lozano, A. (2019). Impacto de la gestión de certificaciones internacionales en la inserción laboral de los ingenieros electromecánicos. *Revista ANFEI Digital*, (10). <https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/495>