

DISEÑO DE UN CALIBRADOR DE CALIDAD PARA DISMINUIR EL DESPERDICIO EN EL ÁREA DE ENSAMBLE DE UN COMPONENTE PARA AUTOMÓVIL

DESIGN OF A QUALITY GAUGE TO REDUCE WASTE IN THE COMPONENT AUTOMOTIVE PERCEPTION OF MUSCULOSKELETAL RISK IN PALLETS STORAGE TASKS

Paloma Michelle Torres Hernández¹, Luis Gonzalo Guillén Anaya¹, Gabriel Isaac Siller Orozco¹, Carlos Felipe Ramírez Espinoza¹, Lázaro Rico Pérez^{1,*}, Raúl Neco Caberta¹, Erwin Adán Martínez Gómez¹

RESUMEN

Esta investigación de tipo aplicada es realizada en una empresa dentro de la industria automotriz en Ciudad Juárez Chihuahua México, en la cual se presenta un problema en el área de preforme para el doblado de los pines de los transistores que son ensamblados en un dispositivo llamado AFC (Automotive Fan Control, por sus siglas en inglés), el cual es utilizado para el funcionamiento del encendido y apagado de los ventiladores de enfriamiento del motor de un vehículo. El propósito de este proyecto es el diseñar un calibrador de calidad (Gage Go no Go, traducido al inglés) mediante el método de la función de despliegue de la calidad para verificar el correcto ensamblado de estos componentes, debido a que actualmente la empresa no cuenta con dicho calibrador. Los resultados muestran que la función de despliegue de la calidad es una metodología que garantiza el diseño satisfactorio de este tipo de dispositivo.

Palabras clave: Diseño, manufactura, ensamble, automotriz.

ABSTRACT

This applied research is performed in the automotive industry in Ciudad Juarez Chihuahua Mexico; it is focused in the area of pre-shape for bending the pins of the transistors that are assembled into a device called AFC (Automotive Fan Control), which is used to operate the on-off cooling fan motor of a vehicle. The purpose of this work is to design a quality gauge (Gage Go no Go) by the method of QFD (quality function deployment) to verify the proper assembly of these components. Actually, the company does not have one of this test device. The results show that the QFD is a methodology which guarantees the successful design of this type of test devices.

Keywords: Product Design, manufacturing, assembly, automotive.

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

*Autor correspondencia: larico@uacj.mx

Recibido: 11.03.2015 Aceptado: 16.10.2015

INTRODUCCIÓN

Dentro de la amplia variedad de los procesos de manufactura están los procesos de ensamble, éstos pueden ser permanentes, tales como los procesos de soldadura, procesos de unión por adhesivos entre otros y los no permanentes, como los ensambles mecánicos mediante tornillos y la unión de componentes con un grado de ajuste. Con respecto a este último proceso de ensamble, las primeras etapas del diseño son significativas para alcanzar un ensamblado satisfactorio a un costo mínimo. Para obtener un componente o ensamble con un costo mínimo es necesario hacer uso de alguna metodología de diseño apropiada tales como TRIZ, Diseño Axiomático y el despliegue de la función de la calidad (QFD), entre otras.

Con respecto a la metodología QFD, ésta es una de las metodologías de diseño usadas en el sector industrial y de servicio, la cual según Zaim Selim *et al.* (2014) es un método popular de planeación frecuentemente usado para transformar demandas o requerimientos de clientes en características técnicas de un nuevo producto o servicio; además, Chakraborty & Sammilan (2007) sostienen que entre los beneficios del QFD están: reducción en el número de cambios de diseño, reducción en el tiempo de diseño, reducción en costos y reducción en reclamos de clientes.

En la revisión de la literatura se encontraron algunas investigaciones relacionadas con la aplicación de la metodología QFD en diferentes áreas; así por ejemplo Moldovan (2014) usó la técnica QFD para el diseño de un nuevo componente en una compañía de agua mineral; asimismo Li (2014) estructuraron una metodología multicriterio híbrida QFD-TOPSIS para la toma de decisiones en un proceso de planeación. Rajash & Malliga (2013) utilizaron la metodología QFD para la selección de proveedores, consiguiendo buenos resultados operativos. Jia & Bai (2011) establecieron satisfactoriamente un modelo Fuzzy-QFD para la formulación de la Estrategia de Manufactura. Kuijt-Evers *et al.* (2009) aplicaron el QFD para asegurar el confort en una herramienta manual. Chakraborty & Sammilan (2007) diseñaron un sistema experto basado en QFD para la selección de procesos de manufactura no tradicional y Lorenzo *et al.* (2004) aplicaron la metodología QFD para identificar los requerimientos y necesidades de los clientes mediante la relación de las reclamaciones en un centro hospitalario. Con respecto a la aplicación de la función de despliegue de la calidad en el sector automotriz, Colton & Staples, (1997) utilizaron la metodología QFD y la programación lineal para reducir costos, optimizar peso y espacio en cada sub-ensamble; tomando un automóvil como ejemplo ilustrativo. Asimismo, Fuxin *et al.* (2001) aplicaron la metodología QFD para el diseño de un vehículo todo terreno. Finalmente, Farsi *et al.* (2012) integraron QFD e Ingeniería de valor en el proceso de planeación para el rediseño de cinco componentes automotrices. Todos estos trabajos mostraron resultados satisfactorios.

Actualmente, en la industria manufacturera de Ciudad Juárez, hay una amplia variedad de procesos de ensambles en donde puede ser aplicada la metodología QFD; por ejemplo el sector automotriz el cual es el eje principal de la economía de la ciudad, del estado y del país. Con respecto al ensamble de los diferentes sistemas del automóvil, hay un componente que debe ser ensamblado correctamente para garantizar el funcionamiento satisfactorio del vehículo. Este componente llamado en inglés Automotive Fan Control (AFC) es utilizado en el sistema eléctrico del automóvil para el encendido y apagado de los ventiladores de enfriamiento del motor. El módulo AFC, está equipado con dos transistores, los cuales son componentes que deben ser preformados en sus terminales para el correcto ensamble en la base para que posteriormente puedan ser ensamblados en la tablilla electrónica directamente y sean soldados.

Actualmente el preformado de los transistores se realiza en una celda fuera de proceso, de pre-ensamble, donde se encuentra una máquina pre-formadora de transistores. En dicha estación únicamente se hace el doblado de las terminales de los transistores, pero no se verifica antes de entrar al ensamble de la base, por lo que es necesario encontrar una alternativa para hacer frente a futuras fallas de ensamble en las estaciones siguientes.

En la actualidad, la ausencia de un método de verificación del proceso de preformado puede conducir a la fabricación de componentes fuera de especificaciones incrementando por ende el desperdicio de material y mano de obra por un componente limitado para ser ensamblado. Para resolver el problema anteriormente mencionado se propone realizar el diseño de un calibrador de calidad “pasa no pasa” (Go no Go) a través de la metodología de la función de despliegue de la calidad para verificar el correcto preformado del transistor.

Hipótesis

A continuación se plantean las hipótesis de investigación:

Puesto que en el presente trabajo de investigación, se pretende reducir los costos de ensamble con el dispositivo diseñado; se generan las hipótesis nula y alternativa:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Dónde:

μ_1 = Costos de ensamble sin el dispositivo

μ_2 = Costos de ensamble con el dispositivo

METODOLOGÍA

En la figura 1 se despliega la metodología usada en el presente proyecto de investigación; la metodología consiste en tres etapas llamadas análisis, metodología y herramientas de apoyo y finalmente la propuesta de rediseño del prototipo final. A continuación se detalla las etapas de la investigación.

Etapa 1

A partir de la identificación del problema, se analizan y registran diariamente mediante la inspección visual y el historial del proceso de tres meses a la fecha, las fallas de operación del sistema y recomendaciones hechas por la gerencia. En reuniones periódicas se analizaron las causas y consecuencias de las fallas de operación en el ensamble del dispositivo.

Etapa 2

En esta etapa se seleccionó la metodología de diseño y herramientas auxiliares de diseño. Para este estudio se seleccionó como metodología de diseño, la función de despliegue de la calidad (QFD); la cual es una metodología que consiste en transformar las necesidades del cliente en especificaciones técnicas para obtener un producto o proceso funcional. Por otro lado, para el diseño del componente se emplearon las técnicas de diseño para ensamble. Finalmente, el dispositivo fue dibujado con el software Solid works.

Con respecto a la metodología de la función de despliegue de la calidad, sus fases se describen a continuación:

Fase 1:

Conversión de los requerimientos del cliente a requerimientos técnicos medibles.

Fase 2:

Conversión de los requerimientos técnicos a requerimientos de diseño.

Fase 3:

Conversión de requerimientos de diseño a requerimientos del proceso de producción.

Fase 4:

Conversión de requerimientos del proceso de producción a especificaciones finales del producto.

Etapa 3

A continuación, se fabricó el prototipo del dispositivo propuesto con máquinas –herramientas convencionales tales como una fresadora vertical, un torno horizontal, un buril de aleación de Tungsteno de 0,5 pulgadas y cortadores de 0,5 y 0,25 pulgadas. Posteriormente se hicieron pruebas piloto.

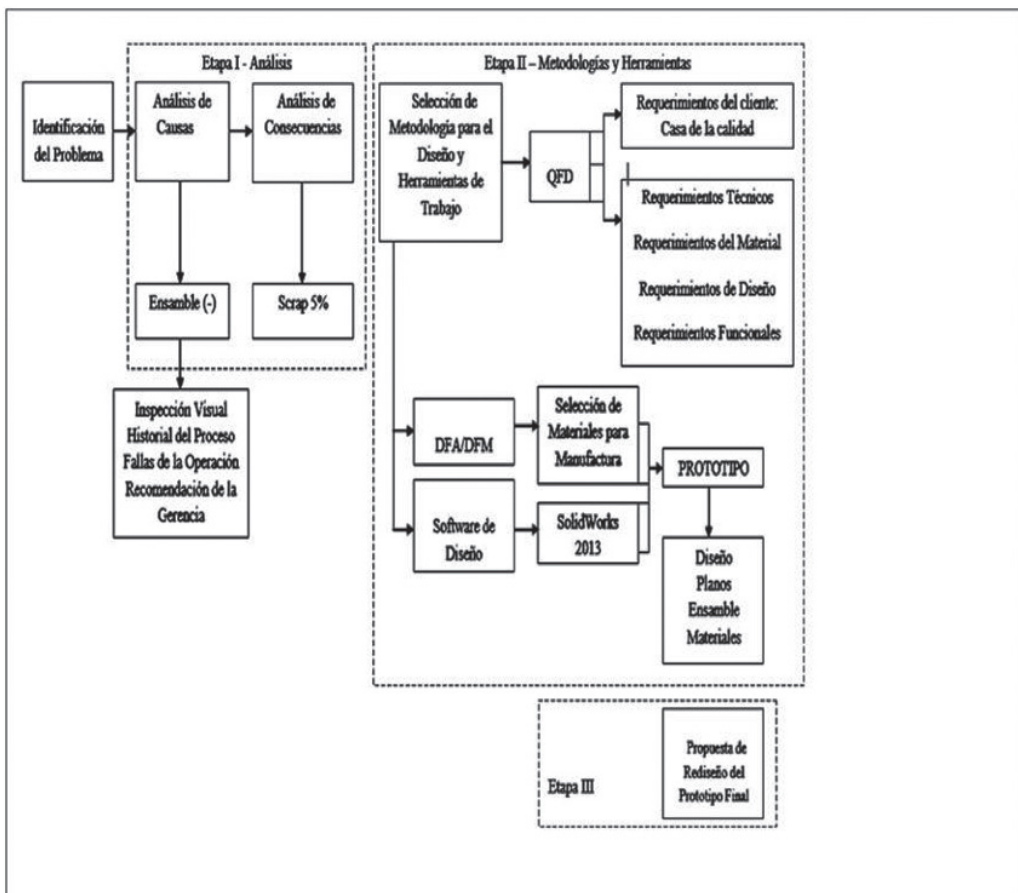


Figura 1. Metodología utilizada para la presente investigación

RESULTADOS

Después de un análisis minucioso mediante el historial del proceso y la inspección visual de tres meses a la fecha, se detectaron las siguientes fallas mostradas en orden de importancia en la tabla 1. En esta se muestra que un ineficiente preformado de los transistores y la inadecuada calibración de la maquinaria son las fallas que tienen el más alto porcentaje. El dispositivo diseñado propuesto contribuirá a reducir los porcentajes de fallas. Estos porcentajes fueron obtenidos del muestro realizado periódicamente en la planta.

Tabla 1. Análisis de Falla

Falla	Porcentaje
Ineficiente preformado de los transistores	30%
Inadecuada calibración de la maquinaria	25%
Defecto del producto	19.5%
Escasez de ayudas visuales para el ensamble	11%
Falta de Entrenamiento del Personal	10%

Por otro lado, la tabla 2, muestra la relación del porcentaje y piezas defectuosas por día.

Tabla 2. Relación de piezas defectuosas

Causas	Porcentaje de Desperdicio en base al 5%	Porcentaje de Desperdicio en base al 100%	Piezas defectuosas por día
Ineficiente preformado de los transistores	1,5	30	144,257
Inadecuada Calibración de la Maquinaria	1,25	25	120,2143
Defecto del producto	1	19.5	96,1714
Escasez de ayudas visuales para el ensamble	0,5	11	72,1285
Falta de Entrenamiento del Personal	0,5	10	48,085

Finalmente, la tabla 3, muestra los costos por defectos en el área de producción, como se puede observar los costos significativamente afectan el estado financiero de la empresa.

Tabla 3. Costos por defectos en el área de producción (establecidos en pesos mexicanos)

Causas	Diario	Mensual	Anual
Ineficiente preformado de los transistores	5049,00	151469,85	1817638,20
Inadecuada Calibración de la Maquinaria	4207,50	126225,02	1514700,18
Defecto del producto	3366,00	100979,97	1211759,64
Escasez de ayudas visuales para el ensamble	2524,50	75734,93	908819,10
Falta de Entrenamiento del Personal	1682,98	50489,25	605871,00
Total	16829,97	504899,01	6058788,00

Tipo de conversión a dólares: 1 dólar americano = 16.856 pesos mexicanos, referencia Banamex (Banco Nacional de México, 01 de octubre de 2015)

Análisis de consecuencias

Después de verificar el historial de fallas, de un análisis minucioso se encontraron las siguientes consecuencias por el defecto en el producto:

- a) Daño al cuerpo del transistor.
- b) Piezas fuera de especificación.
- c) Falla en el módulo AFC.
- d) Desperdicio del 5% en los componentes ensamblados.
- e) Rechazos de calidad.
- f) Quejas de cliente.
- g) Pérdidas a la empresa

A continuación se despliega la casa de la calidad relacionando los requerimientos tecnológicos con las capacidades técnicas. Se identifican los requerimientos de diseño más relevantes tales como: el material del componente, en este caso se seleccionó para su fabricación acero 4140 por sus atributos mecánicos tales como resistencia al desgaste, dureza y facilidad de ensamblaje. Es decir, se obtiene un ensamble con los mínimos componentes y un mantenimiento de bajo costo. En la figura 3 se muestra el dispositivo rediseñado.

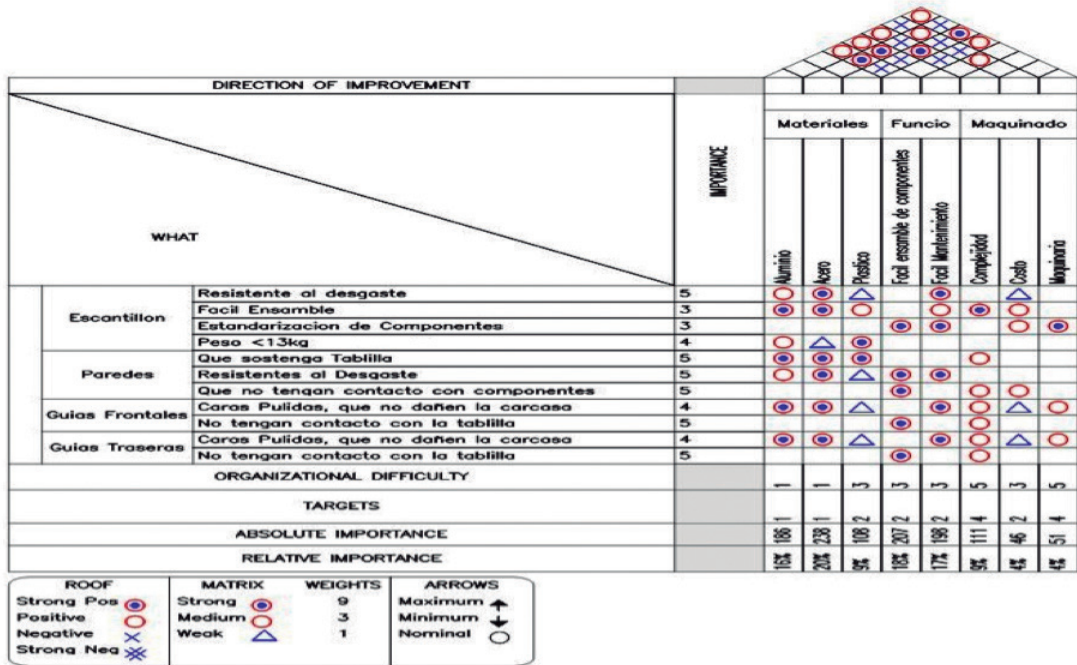


Figura 2. Casa de la calidad del Dispositivo de Sujeción

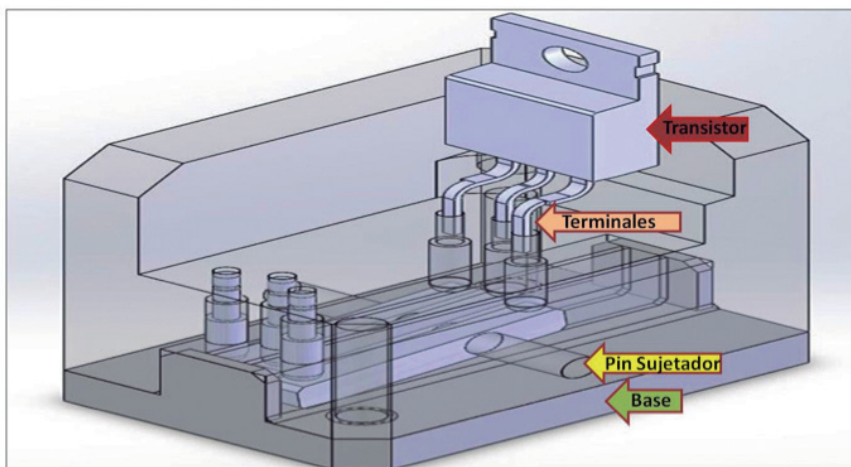


Figura 3. Mecanismo para evaluar el correcto preformado de las terminales del transistor dentro del módulo AFC.

El nuevo diseño tiene la función de asegurar el ensamble del dispositivo y la carcasa evitando el contacto entre los componentes. En la figura 3 se detalla la sujeción del transistor con el diseño propuesto. Con este dispositivo se reduce la falla notoriamente; alcanzando así ahorros significativos.

Por otro lado, como es una propuesta de diseño, aún se está en la etapa de las pruebas pilotos sin contar con suficientes datos para realizar un análisis estadístico serio para poder contrastar las hipótesis de investigación; sin embargo las pruebas piloto realizada en un periodo de dos semanas muestran una reducción en el número de piezas defectuosas en los siguientes rubros: Ineficiente preformado de los transistores 32,36% Inadecuada Calibración de la Maquinaria, 8,03% Escasez de ayudas visuales para el ensamble 5,2%. Con respecto al defecto del producto y Falta de Entrenamiento del Personal no hubo reducción en piezas defectuosas; sin embargo, en esta prueba piloto se muestra ahorros significativos para la empresa. Por lo tanto la evidencia parcial indica que se acepta la hipótesis alternativa; es decir hay mejoras notables con el diseño propuesto.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como es una propuesta de diseño, aún se está corriendo una prueba piloto; sin embargo, las pruebas preliminares indican que la tasa de piezas defectuosas por día está decreciendo. En la tabla 4 se muestra el promedio del decremento en la cantidad de piezas defectuosas por día. Falta por reunir más evidencia y poder contrastar las hipótesis de investigación que indique si esta tendencia es significativa.

Tabla 4. Tabla de prueba piloto del dispositivo propuesto

Causas	Piezas defectuosas por día
Ineficiente preformado de los transistores	97,56
Inadecuada Calibración de la Maquinaria	110,56
Defecto del producto	100,01
Escasez de ayudas visuales para el ensamble	68,32
Falta de Entrenamiento del Personal	52,98

Por otro lado, de acuerdo con la prueba piloto preliminar, la metodología QFD está mostrando resultados satisfactorios tal y como los resultados mostrados en el trabajo de Orozco *et al.* (2014), Colton & Staples, (1997), Fuxin *et al.* (2001) y Farsi *et al.* (2012) quienes utilizaron el QFD para rediseñar componentes y sub-ensambles del automóvil.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque aun se estan en las primeras pruebas pilotos, con el rediseño propuesto se observa una ligera tendencia que muestra que el dispositivo cumple satisfactoriamente con los requerimientos técnicos, obteniendo el preformado adecuado de las terminales de los transistores del sistema de encendido y apagado del ventilador de enfriamiento del motor y por ende pueden alcanzarse en un futuro ahorros significativos para la empresa. Además, con este proyecto se corrobora parcialmente la efectividad de la metodología QFD para

la resolución de problemas de diseño y se contribuye en el estado del arte de esta área. Finalmente, puesto que la industria manufacturera actualmente es uno de los principales ejes de la economía local, estatal y nacional de México, se recomienda para trabajos futuros continuar aplicando la metodología QFD en otras áreas de la manufactura.

REFERENCIAS

- CHAKRABORTY, S., and SAMMILAN, Dey. QFD based expert system for non-traditional machining processes selection. *Expert system with applications*, 2007 , vol.32, no.4, p.1208-1217.
- COLTON, J.S., and STAPLES, J.W. Resource allocation using QFD and softness concepts during preliminary design. *Engineering Optimization*, 1997, vol. 28, no. 1-2, p. 33-62
- OROZCO HERNÁNDEZ, D.P., GUILLEN, L., HERNÁNDEZ, J.A., PÉREZ, L.R, and LÓPEZ, F. Rediseño de componente fijador mediante la metodología de la función de despliegue de la calidad. *Culcyt*, 2014, vol. 11, p. 20-25
- FUXIN, F., and EDLUND, S. Categorisation of geometry users. *Concurrent Engineering -Research and Applications*, 2001, vol. 9, no.1, p.15-23
- JIA, G.Z., and BAI, M. An approach for Manufacturing strategy development based on Fuzzy-QFD. *Computers & Industrial Engineering*, 2011, vol. 60, p.445-454.
- FARSI, Jahangir-Yodolli., and HAKIMINEZHAD, Noraddin. The Integration of QFD Technique, Value Engineering and Design for Manufacture and Assembly (DFMA) during the product design Stage. *Advances in Environmental Biology*, 2012, vol. 6, no. 7, p. 2096-2104
- KUIJT-EVERS, L.F.M., MOREL, K., and EIKELENBERG, Vink. Application of the QFD as a design approach to ensure comfort in using hand tools: can the design team complete the house of quality appropriately? *Applied Ergonomics*, 2009, vol.40, p.519-526.
- MING, Li., and WANG, Jun. A new MCDM method combining QFD with TOPSIS for Knowledge management system selection from the user's prespective in intuitionistic fuzzy environment. *Applied soft computing*, 2014, vol. 21, p.28-37.
- MOLDOVAN, L. QFD employment for a new product design in a mineral water company. *Procedia Technology*, 2014, vol. 12, p.462-468.
- RAJASH G., P. M. Supplier Selection based on AHP -QFD Methodology. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 64 , p.1283-1292.
- LORENZO, S., et al. Análisis matricial de la voz del cliente: QFD aplicado a la gestión sanitaria. *Gaceta sanitaria*, 2004, vol. 18, no.6 , p.464-471.
- ZAIM, Selim., et al. Use of ANP weighted crisp and Fuzzy QFD for Producto development. *Expert Systems with Applications*, 2014, vol.41, p.4464-4474.

BIOGRAFIA

Paloma Michelle Torres Hernández

Es ingeniera en Manufactura con alta experiencia en aplicación de la metodología QFD en el sector maquilador de Ciudad Juárez Chihuahua.

Luis Gonzalo Guillén Anaya

Es Ingeniero en Sistemas Computacionales y Maestro en Ingeniería en Manufactura. Actualmente es profesor-Investigador del departamento de Ingeniería y Manufactura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, su área de investigación es el diseño asistido por computadora

Gabriel Isaac Siller Orozco

Es Ingeniero en Manufactura y Maestro en Ingeniería en Manufactura. Actualmente es profesor-Investigador del departamento de Ingeniería y Manufactura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Actualmente es candidato a doctor en ciencias de la administración por la UNAM, su área de investigación es el diseño asistido por computadora

Carlos Felipe Ramírez Espinoza

Es Ingeniero Industrial y Maestro en Ingeniería en Manufactura. Actualmente es profesor-Investigador del departamento de Ingeniería y Manufactura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, su área de investigación es la manufactura asistida por computadora

Lázaro Rico Pérez

Es Ingeniero Industrial-Mecánico, Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial, Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial. Actualmente es coordinador de la licenciatura en Ingeniería en Manufactura y profesor-Investigador del departamento de Ingeniería y Manufactura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Su área de Investigación es la optimización de los procesos de maquinados.

Raúl Ñeco Caberta

Es Ingeniero electromecánico, Maestro en Ciencias en Mecatrónica, Actualmente es coordinador de la licenciatura en Ingeniería en Sistemas Automotrices y profesor-Investigador del departamento de Ingeniería y Manufactura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Su área de Investigación es el diseño de sistemas mecatrónicos.

Erwin Adán Martínez Gómez

Es ingeniero en Producción, Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial y Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología. Actualmente es profesor-Investigador del departamento de Ingeniería y Manufactura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, su área de investigación es modelación de sistemas de producción y modelado a través de ecuaciones estructurales.