



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Reporte de trabajo profesional como
ingeniero EESE de diseño en Ford
Motor Company**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A

Edwin Alberto Gomez Munive

ASESOR DE INFORME

M. en A. Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020

Índice

Objetivo:.....	1
Introducción:.....	2
Descripción de la empresa.....	3
Breve historia de la empresa.....	3
La actividad de Ford en México.....	5
Plantas de Ford en México	6
Descripción del puesto:.....	7
Conocimientos generales como ingeniero de diseño	7
Actividades específicas de la posición.....	8
Antecedentes.....	13
Sensores	13
Microcontroladores.....	16
Protocolos de comunicación en la industria automotriz (Redes CAN y LIN).....	17
CAD	20
CAE	22
Benchmarking.....	24
Ingeniería de Sistemas	25
Ergonomía.....	26
Calidad	28
Poka Yoke.....	29
Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)	30
Proyectos desarrollados	32
<i>Selección de la posición de un módulo electrónico al interior del vehículo en cumplimiento con los requerimientos de hardware, durabilidad, ergonomía, instalación y operaciones de servicio.....</i>	<i>32</i>
<i>Análisis de pérdidas de potencia en módulos inversores de corriente directa a alterna debido a su posición con relación a la fuente de alimentación.....</i>	<i>50</i>
Resultados:	54
Conclusiones:	55
Referencias:	56

Objetivo:

El presente trabajo pretende detallar la implementación de los conocimientos adquiridos a través de mi formación ingenieril aplicados a la solución de problemas presentes en la industria automotriz ejerciendo actividades laborales como ingeniero del área de EESE (Electrical and Electronics System Engineering) prestadas a la empresa Ford Motor Company división México.

Introducción:

Como ingeniero de Diseño y Salida a mercado de módulos electrónicos (Design and Release -D&R- por sus siglas en inglés), una de las responsabilidades principales es la de resolver problemas emergentes (en Hardware y Software) durante las diferentes etapas del desarrollo de un nuevo vehículo. El presente reporte describe el desarrollo de algunos de los proyectos en los que fui partícipe y cuya consecución logró la solución efectiva de problemáticas relacionadas al diseño de nueva generación de módulos electrónicos.

Descripción de la empresa

Ford Motor Company, una empresa de clase mundial con gran impacto en México

Ford Motor Company (FMC) es una empresa automotriz multinacional cuyo objetivo es ser la compañía más confiable a nivel mundial en términos de movilidad y diseño de vehículos inteligentes que ayuden a las personas a transportarse de manera libre y segura.

Breve historia de la empresa

La historia de FMC se remonta a 1903 cuando se fundó la compañía, con Henry Ford participando con el 25,5% de las acciones y actuando como vicepresidente e Ingeniero Jefe. Al principio, solo se produjeron unos pocos vehículos en la fábrica de Mack Avenue, Detroit, donde dos o tres personas se encargaban de ensamblar los vehículos gracias a los componentes diseñados y hechos a medida. El primer vehículo fabricado por la compañía se vendió en julio de 1903.

Posteriormente a tres años de este evento Henry se convirtió en propietario de la empresa.

Henry Ford hizo posible su sueño de producir un automóvil que fuese asequible, fiable y eficiente mediante la introducción del modelo T en 1908. Este vehículo marcó el inicio de una nueva era en el transporte personal ya que contaba con características únicas: era fácil de manejar, mantener y maniobrar en carreteras en mal estado [1].

Ford durante el proceso de adaptación de sus trabajadores a las fabricas decidió implementar cambios estratégicos comparados con otras industrias al incorporar un salario mínimo que doblaba el anterior (5 dólares de pago por jornada) con una duración de la jornada de 8 horas laborales.

En 1913 Ford comenzó a producir vehículos en una línea de ensamble, y cuatro años más tarde inició la construcción del complejo manufacturero en Dearborn, Michigan. Con la innovación de la línea de ensamble, redujo el tiempo que se tardaba en construir un auto de más de doce horas a dos horas y treinta minutos.

Debido a la II Guerra Mundial Ford dejó de producir vehículos y decidió ayudar al ejército para inicios de 1936. En 3 años construyeron 8.600 bombarderos, 57.000 propulsores de avión y al menos 500.000 tanques, destructores y todo tipo de maquinaria bélica [2].

En el invierno de 1954 aparece el Thunderbird, un descapotable biplaza y en 1964 llega el Mustang (en su primer día de producción recibió 22.000 órdenes de compra).

En 1967 se abre la sede europea de la compañía y con el plan de expansión en los años subsecuentes se tiene como consecuencia la creación de cuarenta y cuatro plantas de fabricación, dieciocho de ensamble, treinta y dos almacenes de piezas, dos campos de pruebas y trece instalaciones de investigación y centros de ingeniería en los Estados Unidos de América.

En 1976, se introduce el Ford Fiesta, uno de los modelos más conocidos de la marca.

En 1993 comienza la producción y comercialización de vehículos en China y Ford es la primera marca en la implementación de doble bolsa de aire en todos sus modelos.

En 2005, como consecuencia de la gran crisis económica, el valor de las acciones de la empresa cayó de manera abrupta. En la segunda mitad de 2005, el presidente Bill Ford, expuso un plan para devolver rentabilidad a la compañía, incluyendo la terminación de producción de algunos modelos no rentables, la consolidación de las líneas de producción, el cierre de catorce fábricas y la reducción de puestos de trabajo [3].

Para inicios de 2018 la empresa tiene presencia en 23 países en los 5 continentes mediante 90 plantas y 176,000 empleados en todo el mundo.

La actividad de Ford en México

- En 1925 se inician oficialmente operaciones de Ford Motor Company S.A. de C.V.
- En 1930 se inaugura la primera planta de Ford de México. Fue la quinta planta de Ford construida fuera de Estados Unidos. Esta planta tenía la capacidad de producir 100 autos diarios
- Para 1960 se inicia la operación de las oficinas centrales de Ford de Mexico en Paseo de la Reforma 333.
- En 1964 se inaugura Ford Cuautitlan, con plantas de fundición de motores, Centro de Ingeniería del Producto, Laboratorios de Control de Calidad y Pistas de pruebas.
- Para 1970 se produce el vehículo Ford 500,000 en México y se alcanza el récord de 25,000 Mustangs producidos en México.
- En 1983 se abre la Planta de Motores I en Chihuahua.
- En 1986 se inaugura la Planta de Estampado y Ensamble en Hermosillo, Sonora.
- En 2009 se abre la Planta de Motores II en Chihuahua.
- En 2014 se producen en Mexico 431,607 autos Ford.
- En 2017 se inaugura la Planta de Transmisiones en Irapuato.
- En 2018 se abre a Planta de Motores III en Chihuahua.
- En 2019 se deja de fabricar el Ford fiesta en la planta de Cuautitlan para dar lugar a la nueva generación de vehículos eléctricos.
- En 2020 se empieza a construir el primer vehiculo eléctrico de Ford a nivel mundial en la Planta de Cuautitlán.

Plantas de Ford en México

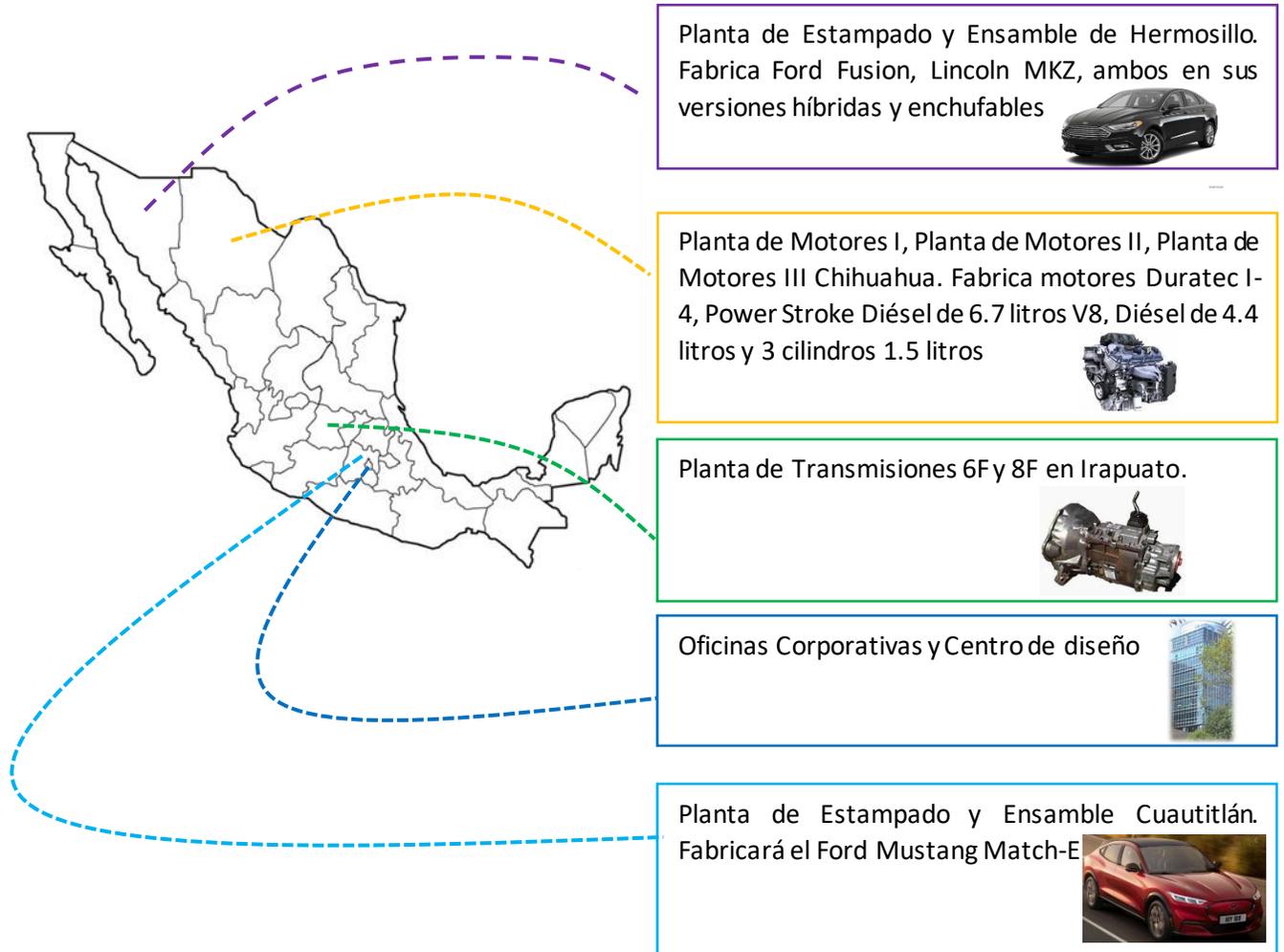


Figura 1. Distribución de plantas de Ford en México

Actualmente Ford de México cuenta con 8700 empleados, 129 Distribuidores Ford y 19 Lincoln, y un centro de Ingeniería con más de 1400 ingenieros.

La confianza de Ford para territorio mexicano fué recientemente refrendada al seleccionarse la planta de Cuatitlan (CSAP) para la fabricacion del primer vehículo eléctrico del catálogo de la compañía gracias a las altas calificaciones recibidas por esta planta y el grado de eficiencia mostrado en la construcción del Fiesta.

Descripción del puesto:

Conocimientos generales como ingeniero de diseño

Como ingeniero en el área de diseño del producto, se deben tener los conocimientos generales que se describen a continuación:

- Procesos y estándares de calidad dentro de la Norma ISO 9001.
- Requerimientos/procesos de salud y seguridad en la respectiva área de aplicación.
- Aplicación de los estándares descritos en el Sistema multi organizacional de Ford (-FPDS- Ford Product Development System por sus siglas en inglés). Dicho sistema describe funciones específicas en procesos, entregables y tiempos críticos para la ejecución de las actividades interdisciplinarias.
- Proceso general de diseño de un vehículo desde la concepción de idea hasta la producción en masa. El proceso general incluye las etapas de diseño, construcción, pruebas y validaciones (mecánicas, eléctricas, magnéticas) a nivel componente, subsistema y sistema de los elementos presentes en dicho vehículo.

El Ingeniero D&R (Design and Release –D&R- por sus siglas en inglés), tiene un relevante rol a través del sistema de desarrollo del producto de Ford y juega un papel muy importante en el desempeño de la etapa de lanzamiento de un vehículo. Al desempeñar exitosamente sus actividades desde la etapa de concepción del producto hasta el lanzamiento (producción), se impacta directamente a la salida al mercado del vehículo de manera eficiente y sin defectos, lo que se traduce en un ahorro de recursos de todo tipo, (monetarios, tiempo, mano de obra, etc). Lo anterior se ve reflejado en la satisfacción del cliente, las ventas y en la imagen que se percibe y proyecta Ford Motor Company.

En el panorama general el principal objetivo del ingeniero D&R es convertir las necesidades y preferencias del cliente en productos que ofrezcan soluciones con alto nivel de calidad, innovación y que a su vez sean eficiente en costo. El ingeniero D&R logra esta tarea mediante la transformación de las expectativas del mercado en una arquitectura de diseño óptima complementada con el cumplimiento de los requerimientos y especificaciones del área ingenieril.

Con base en los conocimientos específicos del área, el ingeniero D&R apoya a los proveedores en el diseño, desarrollo y manufactura de los componentes, asegurando que el diseño se encuentra validado antes de la aprobación final a nivel vehicular.

Actividades específicas de la posición.

Como ingeniero de diseño (D&R) se tienen las actividades específicas que se engloban a continuación:

- Participar activamente en la definición de contenido y nuevas características que habrá en los vehículos junto con el equipo de marketing y programa.
- Establecer las bases del acuerdo comercial entre proveedor y Ford con el apoyo de los representantes de compras, programa, calidad, etc., con base en el nivel de cambio en el diseño, comparando las características en la gama de vehículos actuales y la necesidad de adaptación o desarrollo de contenido para un nuevo vehículo.
- Es encargado de iniciar y liderar el diseño de los componentes (módulos) y que los mismos cumplan con todos los requerimientos relevantes de acuerdo con la matriz de contenido general de cada programa (vehículo). Dicho diseño debe tener como parámetros objetivo los siguientes aspectos:
 - Costo.
 - Peso.
 - Calidad.

- Estética (apariencia).
 - Indicadores de desempeño.
 - Factibilidad de requerimientos de manufactura.
 - Necesidades y restricciones legales o corporativas.
 - Especificaciones, reglas de diseño y lecciones aprendidas.
 - Satisfacción del cliente.
-
- Identificar y registrar los parámetros objetivo durante la etapa de verificación de diseño con respaldo de los especialistas técnicos de diversas áreas, entre las que se incluyen principalmente Ingeniería avanzada, CAD, CAE, Proyectos especiales, Validación, Electromagnetismo, Experiencia enfocada al cliente y durabilidad.
 - Preparar la documentación del acuerdo comercial que se entrega a proveedor con relación a los puntos de asignación de responsabilidades, especificaciones a cumplir, tiempos de desarrollo, así como de entrega, validación y manufactura.
 - Creación de los archivos técnicos donde se describen los parámetros necesarios para la operación adecuada del componente, como lo son, voltajes, corrientes nominales y límites del módulo, con el fin de la creación de arneses (cables) que conecten el módulo con los demás componentes requeridos para la correcta operación del sistema.
 - Revisión de las especificaciones funcionales técnicas con proveedores y con apoyo del equipo de materiales, durabilidad y diseño de arquitectura vehicular.
 - Posicionamiento del módulo en el vehículo en cumplimiento con los requerimientos de durabilidad, protección contra condiciones ambientales

(agua, salinidad, polvo, humedad), temperatura, sujeción, operaciones de servicio y otras características propias de la zona donde se comercializará.

- Identificación de la mejor estrategia de sujeción que garantice la posición del módulo durante su vida útil y cumpla con los parámetros de durabilidad. En este aspecto se pretende evitar los problemas de piezas caídas, vibración y ruptura.
- Conformación del diseño mediante el uso de herramientas de análisis, detección y manejo de problemas, identificación de mejora continua y solución de problemas entre los que se engloban:
 - **Análisis de diseño eficiente (DEA).** Estudio para determinar las posibles reducciones de costo sobre un diseño existente sin algún tipo de cambio en funcionalidad o atributos.
 - **Análisis de Modos de Fallas y Efectos (FMEA):** Es el estudio de un producto o proceso que toma en cuenta los efectos de todas las formas potenciales en que el diseño podría verse afectado por los factores externos e internos y desarrolla contramedidas para controlar o reducir los efectos de esos factores.
 - **Plan perfecto de dibujo (PDP).** Plan documentado para asegurar el cumplimiento de la consecución desde la etapa de planeación e identificación de atributos hasta el desarrollo funcional del producto. Este plan contempla el desarrollo de herramienta prototipo y de producción para sincronizar los tiempos del diseño y fabricación de los componentes, su validación y su inclusión al vehículo.
 - **Registro 5D.** Un formato basado en la estrategia de procesos en ingeniería para la resolución de problemas basados en cinco elementos: Definición, Diseño, Desarrollo, Depuración y Entrega (Define, Design, Develop, Debug & Deliver por sus siglas en inglés).

- Revisión constante de las actualizaciones de las especificaciones y métodos de validación en los campos aplicables y justificación de alguna desviación cuando es requerido.
- Liberación de números de parte en el sistema de registro para garantizar una correcta trazabilidad de los niveles de diseño y posteriores cambios derivados de problemas descubiertos durante la etapa de validaciones a nivel componente y vehicular.
- Participar activamente en las revisiones del análisis del circuito bajo el peor escenario (-WCCA- Worst Case circuit analysis) donde se evalúa el comportamiento del circuito impreso bajo las peores condiciones de cada elemento presente en él (resistores, capacitores, inductores, FETs, etc.) con el fin de garantizar la robustez del módulo durante su vida útil.
- Verificar que las ilustraciones de ensamblaje de los módulos cumplan con el correcto orden de instalación de los componentes a nivel vehicular y que muestren los valores correctos de torque con sus respectivas tolerancias para los tornillos, tuercas o pines de acuerdo a la estrategia de sujeción acordada.
- Apoyar al equipo de compras en la verificación de precios y herramental para la realización de órdenes de compra.
- Verificar el correcto funcionamiento del módulo a nivel componente.
- Verificar el correcto funcionamiento del módulo a nivel sistema principalmente durante la construcción de vehículos prototipo. El análisis se enfoca en la interacción del módulo con los demás componentes electrónicos y se validan cada una de las funciones y condiciones que el usuario final pueda solicitar.
- Redactar en el manual de Usuario, las secciones correspondientes al funcionamiento, comportamiento, posibles problemas, cuidados, alcances y prevenciones para cada uno de los módulos a su cargo.

Estructura Organizacional

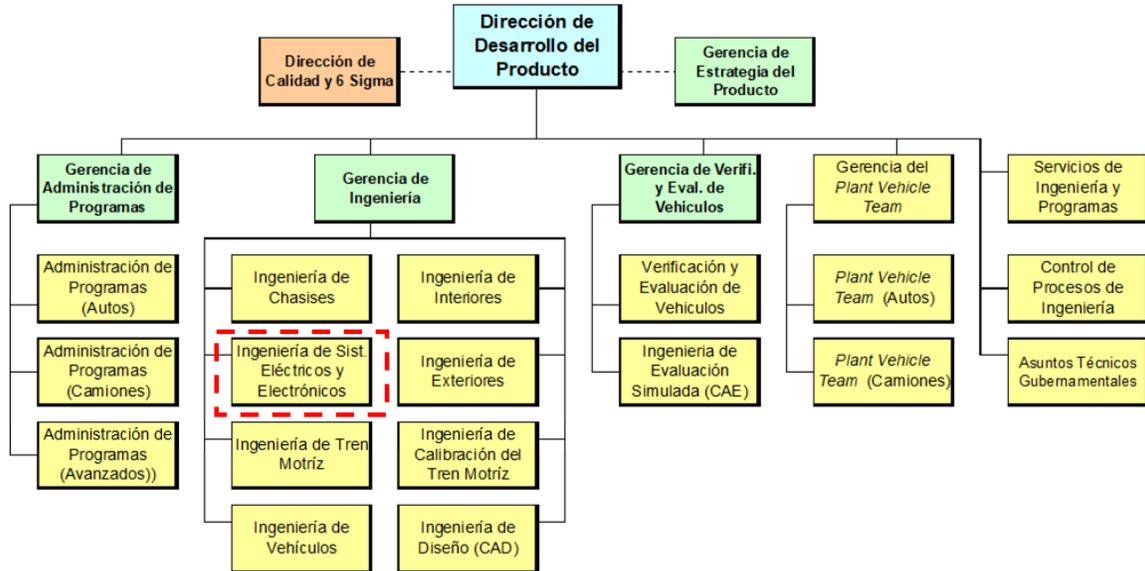


Figura 2. Estructura organizacional del departamento de Desarrollo del Producto.

Antecedentes

Sensores

Un sensor es un componente de un sistema que permite cuantificar una variable física y la transmite adecuadamente a otro elemento [4].

Comúnmente los sensores son confundidos con transductores. Pero su principal diferencia radica en que el sensor no solo cambia el dominio de la variable física que se está midiendo, además la salida de un sensor se convertirá en un dato útil para un sistema de medición [5].

Un sensor puede representarse como un subsistema en el que se integran tres diferentes etapas o bloques [6]:

- Recepción: En esta etapa se recibe una señal, que es una magnitud que representa en forma proporcional al valor que se desea medir y procesar.
- Transformación: Durante esta fase la señal de entrada se cambia a otro tipo de señal, generalmente eléctrica, la cual se adapta a los fines perseguidos. Entre ellos se puede tener una etapa de amplificación o filtro.
- Acondicionamiento: En este último bloque, la nueva señal es aplicada a un instrumento de medida (analógico o digital) o a un sistema de control el cual reciba esta información para un fin deseado.

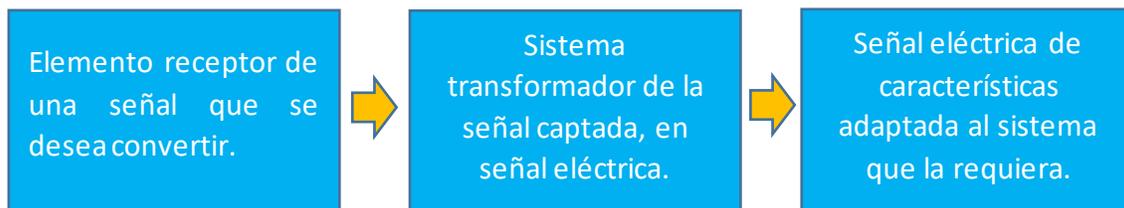


Figura 3. Etapas de un sensor como subsistema.

Características de aplicación:

Para propósitos de la selección de un sensor dictaminado por el tipo de aplicación se tienen que tomar en cuenta determinados aspectos con el objetivo de obtener el mejor rendimiento de dicha utilización [7]. Entre los principales se encuentran:

- Condiciones donde será utilizado: Este campo describe los escenarios donde se ocupará el módulo con relación a las dimensiones generales y su localización.
- Sensibilidad: Es la relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- Sensitividad: Este parámetro se define como la entrada mínima que requiere el sensor para generar una salida que pueda ser detectada.
- Rango: Esta característica se define como el intervalo que se tiene entre el parámetro mínimo y el máximo de la variable física que es medida por el sensor.
- Tiempo de respuesta: Se refiere a la cantidad de tiempo que le toma al sensor el responder en la salida ante una modificación en la señal de entrada.
- Precisión: Esta característica es con relación al rango de repetitividad de una medida bajo las mismas condiciones de entrada.
- Radio de acción: Es el alcance o rango del campo donde el sensor puede captar la señal de entrada y realizar su función.
- Exactitud: Es la diferencia máxima entre la salida actual del sensor y el valor real de la variable medida. Generalmente se expresa de manera porcentual.
- Rango de temperatura de operación: Define los límites mínimos y máximos en los que el sensor puede operar de manera confiable. Este parámetro es muy importante durante la selección del sensor ya que se deben evaluar las condiciones térmicas dependiendo de la aplicación.
- Consumo energético: Se refiere a la cantidad de energía requerida por el componente para realizar su función.
- Resistencia a la acción de factores ambientales: Se refiere al nivel de protección requerida para cumplir con las condiciones ambientales en donde será usado el sensor.

- Posibles interferencias de agentes externos: Esta característica engloba la interacción de un sensor con otros componentes y su nivel de compatibilidad al ser usados dentro de un sistema.
- Linealidad estática: Este campo depende de los factores ambientales y es definido como la desviación que presenta el sensor entre la curva dada por el fabricante en condiciones controladas y la curva de salida actual.
- Offset: Se refiere al desfase en el eje de las ordenadas de la curva de salida, el cual se caracteriza por ser siempre el mismo en ciertas condiciones de operación. De manera alternativa el offset constituye la salida que presenta un sensor cuando en realidad esta debería ser cero.
- Resolución: Se refiere al cambio más pequeño en la variable física que le es posible medir al sensor.
- Histéresis: Se define como la capacidad que posee el sensor para seguir a la curva de salida ideal debido a la tendencia de los cambios de la variable física. Cuando un sensor presenta histéresis significa que la tendencia de salida cruza en ambos sentidos a la curva de salida ideal.

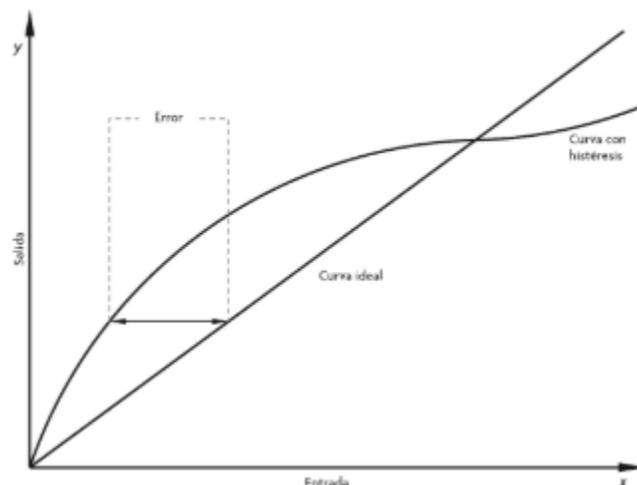


Figura 4. Curva de histéresis.

- Linealidad dinámica: Es la capacidad de un sensor para seguir correctamente la curva de salida brindada por el fabricante cuando la variable física experimenta cambios repentinos.

Microcontroladores

Un microprocesador es una central de control y consiste en un conjunto de semiconductores encapsulados en un solo dispositivo, cuyo objetivo es la evaluación de los datos y señales externas para así generar un conjunto de valores que se envían a otros dispositivos externos. A esta tarea se le llama procesamiento de datos, y para determinar su utilización con ellos se necesita un programa que le informe en cada momento cómo, cuándo y dónde ha de actuar. El programa lo constituyen una serie de instrucciones o pasos estructurados, son escritos en un lenguaje que entienda la máquina (lenguaje de programación).

Los microcontroladores son una variante de los microprocesadores que poseen menores prestaciones de cálculo y están optimizados para tareas de control, con una gran cantidad de dispositivos integrados entre los cuales se tiene la memoria, los puertos de entradas y salidas y los periféricos. Los microcontroladores se emplean en el desarrollo de sistemas industriales, dispositivos comunes a las tareas diarias de los clientes como celulares, lavadoras, automoviles o videojuegos [8].

Las ventajas de los microcontroladores incluyen el reducido tamaño de los diseños, aumento de la fiabilidad, los cortos tiempos de desarrollo, su programabilidad, y la relación costo-manufactura eficiente.

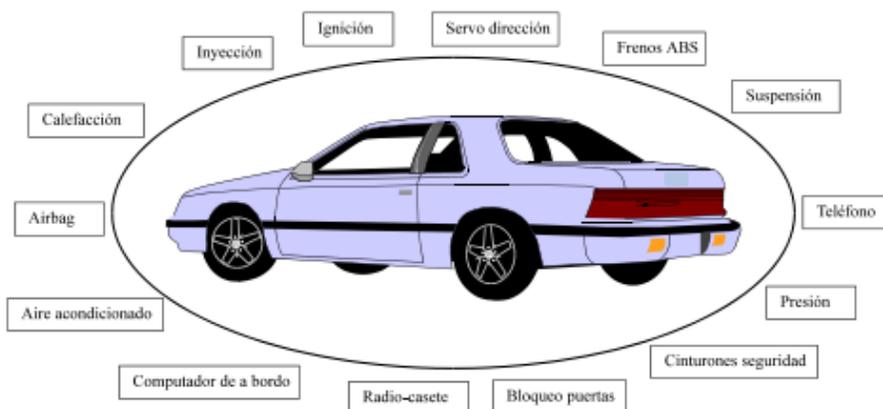


Figura 5. Algunas aplicaciones de los microprocesadores en el automóvil.

Protocolos de comunicación en la industria automotriz (Redes CAN y LIN)

Con la inclusión del microprocesador y microcontrolador se fueron desarrollando una nueva generación de dispositivos denominados inteligentes para la etapa de control industrial.

Debido a la necesidad de un enlace entre las unidades de proceso en una planta se fueron a su vez, creando redes de comunicación que permitieran la interacción entre cada una de esas unidades para compartir información y utilizarla en la siguiente tarea. Una red enfocada a la comunicación de dispositivos de control es denominada Bus de campo.

Con el paso del tiempo se fueron requiriendo un mayor número de mayores canales de comunicación y debido a la presencia de sistemas más complejos que involucran una mayor cantidad de dispositivos de control se tuvo que buscar una manera más eficiente para comunicar dichos dispositivos. Esto condujo a la implementación de varios canales dentro de un solo medio físico de comunicación fundamentado en la multiplexación por división de tiempo. En esta implementación, conocida como protocolo de comunicación, se definen los tiempos de utilización del medio físico que tiene cada uno de los nodos.

En la industria automotriz se tienen protocolos de comunicación que cumplen requerimientos entre los que destacan la detección de errores de alto nivel, flexibilidad en la configuración y tiempos cortos de transmisión de un paquete de información dentro de la red [9].

CAN (Controller Area Network) es un protocolo de comunicación desarrollado por la compañía alemana Robert Bosch GmbH en 1983 como una alternativa para reducir el cableado de punto a punto empleado por los fabricantes automotrices para conectar dispositivos electrónicos dentro de los vehículos.

Este protocolo permite y gestiona la comunicación entre múltiples unidades centrales de proceso. Es común su utilización dentro de la industria automotriz

debido a su alto rendimiento, costo asequible y disponibilidad de diversas implementaciones del protocolo en un circuito integrado.

Entre sus principales ventajas en contraste a otros protocolos se tienen:

- Eliminación de las conexiones punto a punto entre anfitrión y los demás dispositivos. Este protocolo permite a dispositivos de control tener una sola interfaz de comunicación en lugar de tener diferentes entradas analógicas y digitales para cada dispositivo en el sistema. Esto reduce tanto el costo como el peso a nivel sistema [10].

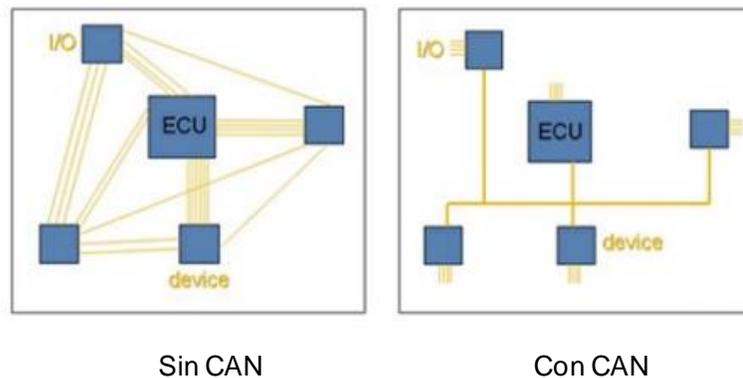


Figura 6. Ejemplo de red de conexiones sin y con CAN

- Es un protocolo normalizado, lo que se traduce en una simplificación de las comunicaciones de subsistemas de diferentes fabricantes sobre una red común.
- Es una estructura que permite incluir mensajes con priorización.
- La unidad central de procesamiento anfitrión delega la carga de comunicaciones a un periférico inteligente, y así se tiene más tiempo para ejecutar las tareas propias [11].
- Cualquier nodo puede acceder al bus cuando el bus está desocupado.

CAN es un estándar internacional y reflejado en la norma ISO 11898 (para aplicaciones de alta velocidad) y en la ISO 11519 (para aplicaciones de baja velocidad) [12].

CAN usa un cable de par trenzado para comunicarse a velocidades de hasta 1 Mbit por segundo con un máximo de 40 dispositivos. Los buses de campo basados en CAN se utilizan actualmente en gran número de líneas de producción y automatización, en fábricas de todo el mundo.

LIN (Local Interconnect Network) es una subred del CAN. Se tiene su introducción como un estándar en la industria automotriz en 1999. El Bus LIN es una red con un costo más asequible que la red CAN y posee un grado de fiabilidad muy alto. Esta red fue diseñada para ser una extensión lógica complementaria del CAN.

Como principales características posee una baja velocidad de transferencia de datos de hasta 20 kbps. Así las redes LIN suelen ser subredes de una red principal CAN. Por lo general está compuesta por un nodo maestro y múltiples unidades esclavos (hasta 16 unidades en cada subred) [13] con una longitud de cable de hasta 40 m, con velocidades de transmisión de 2.400, 9600, 19200 bps.

A grandes rasgos la secuencia de esta red se describe al inicio con el maestro transmitiendo un mensaje con instrucciones y el esclavo respondiendo a dicho mensaje. Este mensaje incluye un campo de sincronización, una instrucción (como identificador), una respuesta predeterminada de 2, 4 y 8 bytes (como campo de datos) y un corrector de errores [14]. A una velocidad de 20 Kbits/s un mensaje solamente necesita entre 3 y 6 milésimas de segundo para ser enviado y se obtiene una respuesta en un periodo similar.

En aplicaciones automotrices su uso está reservado a operaciones no críticas y tareas donde la velocidad de transmisión menos rápida no causa ningún problema [15]. Ejemplos de la aplicación de esta red son: ajuste de los espejos, control climático, luz interior, puertos USB, entre otros.

CAD

El proceso de diseño en ingeniería constituye las etapas desde la concepción de la idea hasta el desarrollo de la solución de un problema específico usando los conocimientos y recursos existentes para la consecución de la mejor solución [16].

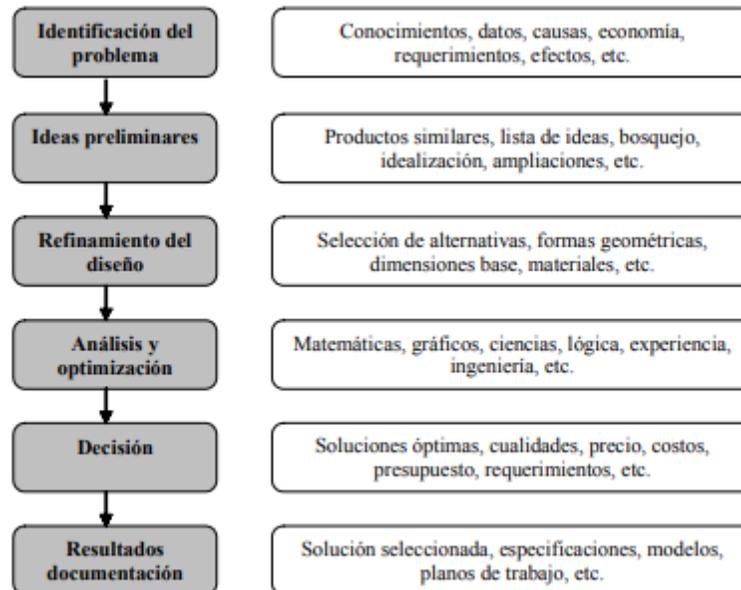


Figura 7. Proceso de diseño

El Diseño asistido por Computadora (Computer Aided Design, -CAD- por sus siglas en inglés) es la aplicación de las herramientas informáticas al proceso de diseño. La aplicación de un sistema CAD se centra en la representación computacional de un modelo obtenido de una concepción de solución, de un problema o una necesidad. Engloba, en primera instancia, una base de datos de elementos geométricos con la que se puede operar a través de una interfaz gráfica [17].

Mediante el uso de estas herramientas se puede diseñar mediante geometría básica la representación en dos o tres dimensiones de los objetos logrando como resultado las superficies y sólidos como modelo numérico de un objeto. La base de datos asocia a cada entidad una serie de propiedades como color, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica que permiten manejar la información de forma lógica.

De los modelos pueden obtenerse planos con mediciones para generar la documentación técnica. El proceso de diseño con ayuda de un sistema CAD se mejora con respecto al proceso clásico por la adición de una etapa de simulación, incluyendo varias iteraciones, entre la generación de bocetos preliminares y la creación del modelo final.

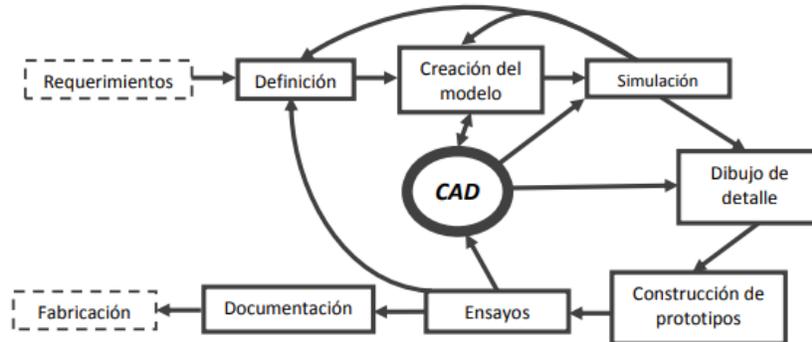


Figura 8. Esquema del proceso de diseño con ayuda de CAD

Ventajas del CAD

- Brinda una mejor eficiencia de los tiempos de la fase de diseño, reduciendo los costos de desarrollo y el tiempo de respuesta ante los cambios emergentes solicitados en la producción.
- Brinda una compatibilidad con elementos comunes de diseño.
- El resguardo de las especificaciones y planos es más seguro, fiable y permite realizar búsquedas rápidas y precisas mediante bases de datos.
- Genera una mayor uniformidad en los planos y especificaciones.
- Ayuda a tener una mejor calidad en los planos y diagramas al no estar ligados a trazos en papel.
- El tiempo invertido en las modificaciones se reduce sustancialmente.
- Permite una mejor compatibilidad de los datos al poder exportarse a otros programas para obtener cálculos, realizar mediciones, comparaciones y poder generar iteraciones de una forma más fácil.

- Posibilidad de generar un modelo en 3D para visualizarlo desde cualquier perspectiva
- Posibilidad de exportar los datos a programas de CAE y a máquinas de CNC.
- Obtener simulaciones, animaciones y hacer análisis cinemáticos.

CAE

La Ingeniería asistida por computadora (Computer Aided Engineering , - CAE - por sus siglas en inglés) se puede definir como una estrategia donde se engloban las diferentes herramientas informáticas para poder analizar y simular las características de los procesos físicos en el área de ingeniería. Esta estrategia tiene como objetivo la optimización de los tiempos y recursos durante la evaluación iterativa de los procesos [18].

CAE permite el desarrollo más eficiente de un producto al poder identificarse los errores en el diseño y con ello lograr un mejor nivel de la calidad del producto final.

Entre las principales aplicaciones de la ingeniería asistida por computadora se encuentran:

- Cálculo de propiedades físicas: volumen, masa, centro de gravedad, momentos de inercia, etc.
- Cálculo mecánico y estructural.
- Simulación de procesos productivos: como por ejemplo el mecanizado, conformado, soldadura y sujeción.
- Simulación del proceso de inyección: análisis dinámico y térmico del fluido inyectado.

Ventajas del CAE:

- Posibilidad de concepción, manipulación y visualización de los modelos geométricos.

- Análisis de problemas mecánicos con ayuda de estudios cinemáticos y dinámicos.
- Identificación de los errores de la fase de diseño mediante la simulación.
- Creación y visualización de modelos virtuales representativos del producto final.
- Mayor nivel de flexibilidad durante la etapa de diseño.

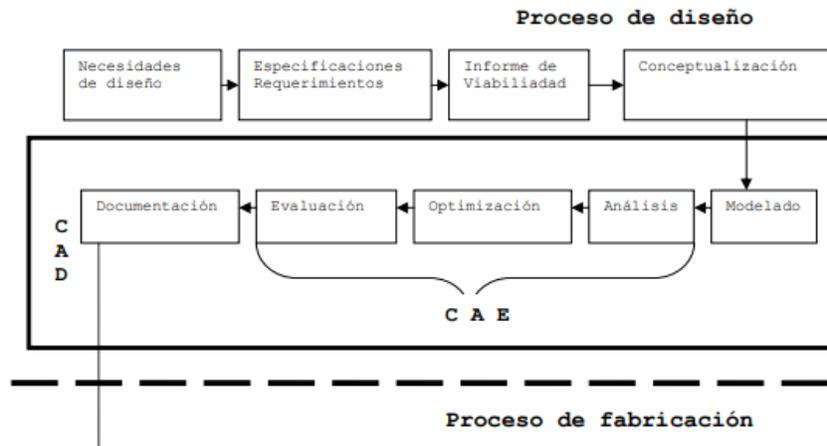


Figura 9. Esquema del proceso de vinculación entre CAD y CAE.

El Análisis de elementos Finitos (AEF) es la subcategoría de CAE que más se emplea en la ingeniería para procesos de análisis de un producto basado en las capacidades de procesamiento por computadora.

El análisis de elemento finito es un método numérico basado en dividir el objeto de análisis sobre el que están definidas ciertas ecuaciones (condiciones de trabajo) que caracterizan el comportamiento físico del problema, en una serie de bloques no intersectantes entre sí llamados elementos finitos.

Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados nodos. Al conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se le llama malla [19]. El análisis de elementos finitos consiste en la resolución de las ecuaciones diferenciales que modelan el problema mediante procedimientos

numéricos iterativos. El nivel de precisión de este método numérico depende de la cantidad de nodos y elementos, del tamaño y los tipos de elementos por malla. Es por ello por lo que entre más divisiones se tiene, más precisos serán los resultados.

Benchmarking

El benchmarking es una estrategia que se utiliza durante el desarrollo de la etapa de la selección de funcionalidad o atributos del nuevo programa con la finalidad de:

- Ayudar en la identificación de los atributos objetivo a nivel subsistema y vehicular.
- Identificar las oportunidades de funcionalidad, calidad, costo y peso.
- Determinar la dirección futura de los productos al cliente.
- Identificar las necesidades del cliente.
- Identificar las tendencias en la industria.

El benchmarking puede ser aplicado tanto a un producto como a un proceso. En cualquiera de estos casos, los siguientes puntos engloban las principales fases para una correcta aplicación:

- 1.- Determinar cuál es el proceso o producto que vas a evaluar.
- 2.- Entender cómo el presente proceso o producto realiza su función.
- 3.- Seleccionar la empresa, producto final o funcionalidad referencia. Dicha referencia debe ser considerada la mejor en su clase en la categoría en la que se quiere mejorar.
- 4.- Identificar y aprender por qué su performance es superior por medio de la comparación de los métodos presentes contra sus mejores prácticas.
- 5- Analizar los resultados e implementar las estrategias que se han aprendido para mejorar el performance actual.

Ingeniería de Sistemas

La ingeniería de sistemas puede definirse como la aplicación de técnicas científicas y de ingeniería para transformar una necesidad operativa en la descripción de los parámetros de prestaciones de un sistema y en su configuración mediante la utilización de un proceso iterativo de definición, síntesis, análisis, diseño, prueba y evaluación [20].

La ingeniería de sistemas engloba desde la implementación y desarrollo de las técnicas apropiadas como los conocimientos de dirección necesarios para hacerlos realidad.

En la práctica, puede hacer uso de la Ingeniería de sistemas durante el desarrollo del diseño del módulo electrónico en el que trabajé. Desde las primeras etapas de selección de funcionalidad, debían identificarse las condiciones que requería el subsistema para llevar a cabo su objetivo, la forma en que se llevaban a cabo los procesos internos tomando dichas entradas para ejecutar el proceso de transformación y la verificación del comportamiento de las salidas con su respectiva interacción con los demás elementos. Además, en la compañía fui partícipe de la estrategia de Ingeniería concurrente donde se tiene la participación de varios grupos interdisciplinarios o departamentos, trabajando de manera proactiva en la creación del producto



Figura 9. Esquema de los elementos de un sistema.

Ergonomía

Para la Organización Internacional del Trabajo el término ergonomía se refiere a " la aplicación conjunta de las ciencias biológicas y de ingeniería para lograr la adaptación mutua óptima del hombre y su trabajo, midiéndose los beneficios en términos de eficiencia y bienestar del hombre".

La Asociación Internacional de Ergonomía (IEA), la define como una ciencia que relaciona las interacciones entre los humanos y otros elementos, cuya meta a conseguir es una mejor relación entre el hombre y el trabajo, asegurándose que los colaboradores no sufran lesiones ni accidentes laborales, y buscando la forma ideal para que sean más productivos sintiéndose cómodos y seguros en su ambiente de trabajo.

Las medidas del cuerpo humano cambian con base en diferentes ámbitos como por ejemplo la edad, género, raza, nivel socioeconómico, etc.; por lo que esta ciencia enfocada a investigar, recopilar y analizar estos datos resulta una base primordial en el diseño de los objetos y espacios, al ser estas extensiones del cuerpo y que, por lo tanto, deben estar determinados por sus dimensiones. El número de variables antropométricas posibles es muy amplio; en un estudio concreto el número de dimensiones debe ser el mínimo posible y depende del objetivo del estudio. Se deben consultar las normas relativas al diseño antropométrico; basado en la norma ISO 7250 de 1996 "Medidas Básicas del Cuerpo Humano para el diseño Tecnológico"; esta define más de 40 dimensiones [21].

Como se mencionó anteriormente uno de los principales objetivos de la ergonomía es determinar la manera de diseñar, adaptar o mejorar el ambiente de trabajo con el fin de evitar accidentes, y enfermedades ocupacionales.

Dentro de la aplicación de la Ergonomía en la industria podemos destacar los siguientes campos: La ergonomía en operaciones industriales la cual se describe como la adaptación de las máquinas y puestos de trabajo al hombre y la ergonomía

enfocada al cliente la cual describe la adaptación del diseño e interfaz del producto a las mejores condiciones para la utilización al usuario final.

El análisis ergonómico con base en la estación de trabajo, dirigido especialmente a las actividades de la industria y a la manipulación de materiales, fue concebido como un medio a fin de tener una visión de la situación y así consolidar puestos de trabajo y tareas seguras, saludables y productivas.

Los factores de riesgo asociados a los trastornos musculoesqueléticos por repetitividad son complicados y engloban factores físicos, psicológicos, sociales y organizativos. Se deben analizar los principales factores causantes de estos trastornos como son: la fuerza ejercida, la postura de los segmentos implicados, la repetitividad de las acciones y el tiempo de recuperación. [22]

Clasificación de la Ergonomía:

Ergonomía Ambiental: Es el área de la ergonomía que se encarga de estudiar el entorno en donde se desenvuelve el trabajador, evaluando las condiciones físicas que le rodean y que influyen de manera directa en el desempeño diario, así tenemos varias fuentes capaces de provocar daño en la salud como son ruido, iluminación, vibraciones, temperatura, etc, y actúa sobre estos contaminantes ambientales que existen en los puestos de trabajo, con el objetivo de conseguir un puesto lo más cómodo y confortable posible.

Ergonomía Geométrica: Se enfoca en la relación entre el trabajador y las condiciones geométricas de la estación de trabajo, determinando elementos para el correcto diseño de dicha estación a través de la aportación de los datos antropométricos y de las dimensiones esenciales del puesto.

Ergonomía Temporal: La ergonomía temporal profundiza en el estudio de comodidad del trabajador en relación con su horario laboral y tiempos de descanso o pausas durante su jornada, con el fin de mitigar problemas de cansancio físico y mental.

Ergonomía de la Comunicación: Se encarga del diseño de la interacción entre los trabajadores, y entre ellos con las herramientas o maquinaria de la estación de trabajo, mediante la incorporación de señalizaciones, hojas de instrucciones, ayuda visual o indicaciones de seguridad apropiadas con el propósito de una mejor comunicación.

Calidad

ISO (Organización Internacional para la Estandarización), es una agencia especializada en normalización a nivel internacional, cuyos miembros son los organismos nacionales de normalización de más de 150 a la fecha. El objetivo de ISO es “Favorecer el desarrollo de la normalización en el mundo, facilitar los cambios de mercancías y prestaciones de servicios entre las naciones y lograr un entendimiento mutuo en los dominios intelectuales, científicos, técnicos y económicos”.

La norma ISO 9001 promueve la adopción de un enfoque basado en procesos para desarrollar, implementar y mejorar la eficacia de un Sistema de Gestión de la Calidad para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos, necesidades y expectativas. Para que una organización funcione de manera eficaz, debe identificar y administrar numerosas actividades entre sí. Una actividad que utiliza recursos y que se administra con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados, se puede considerar como un proceso [23].

El manual de calidad es el documento más importante dentro de la jerarquía del sistema ya que funciona como documento maestro que contiene indicados de forma referencial todos los aspectos que componen el Sistema de Administración de la calidad.

Poka Yoke.

El término Poka-yoke es una técnica usada en controles de calidad desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en la década de 1960, que en su significado significa "a prueba de errores". El objetivo último de esta técnica es la creación de un proceso donde los errores sean muy difíciles e incluso imposibles de realizar. Un elemento Poka-yoke se refiere a cualquier mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace que sean muy obvios para que el trabajador responsable del proceso pueda notar la operación incorrecta y lo corrija a tiempo [24].

Tipos de Sistemas de Poka-Yoke

Los sistemas Poka-Yoke pueden clasificarse de acuerdo con su propósito o con base en las técnicas que se utilicen. Se basan en funciones reguladoras diseñadas con el objetivo de poder tomar acciones correctivas dependiendo del tipo de error presente. Existen dos principales funciones reguladoras para el desarrollo de sistemas Poka-Yoke: los métodos de control y los métodos de advertencia.

Los métodos de control se centran en bloquear los sistemas de operación durante un error con el objetivo de prevenir que siga ocurriendo el mismo defecto. Estos métodos poseen una función reguladora de mayor nivel y son buscados en sistemas de control ayudan a incrementar la eficiencia y alcanzar cero imperfecciones.

Los métodos de advertencia se incluyen en los sistemas para dar notificación al trabajador de los errores ocurridos, captando su atención, mediante la activación sonora o de luces. Generalmente este método incluye estrategias más asequibles y con menores tiempos y complejidad de implementación que los métodos de control, pero con la desventaja de que, si el operador no nota la señal de advertencia o decide ignorarla, los defectos seguirán ocurriendo. La utilización de métodos de advertencia debe ser considerada cuando el impacto de las irregularidades sea

mínimo, o cuando factores técnicos y económicos hagan la implementación de un método de control una tarea extremadamente difícil [25].

Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

El análisis de modo y efecto falla puede definirse como una metodología para el registro sistemático de observaciones y consideraciones, orientadas a la identificación y evaluación de fallas potenciales de un producto o proceso, junto con los efectos producidos por esas fallas, con el objetivo de establecer prioridades y decidir acciones para reducir las posibilidades de rechazo y, por el contrario, favorecer la confiabilidad del producto o proceso [26].

La recurrencia, la severidad y los efectos son los conceptos que caracterizan las fallas y para ello es que se incluyen herramientas estadísticas, que sustentan la toma de decisiones que en un plazo determinado pueden favorecer la eficiencia de los procesos [27].

El análisis de modo y efecto de falla en el diseño (DFMEA por sus siglas en inglés) es una herramienta que permite priorizar los riesgos del proyecto y documentar las acciones recomendadas. Este análisis se realiza durante la etapa de diseño y en él se identifican los errores o defectos que pueden afectar al cliente y las consecuencias asociadas a esos defectos [28].

Algunas de sus características son:

- Identificación y evaluación de fallas potenciales y sus efectos
- Identificación de las tareas para mitigar o reducir la probabilidad de falla
- Documentación sistémica y ordenada de cada etapa del análisis

A grandes rasgos en esta herramienta se identifican las fallas de un producto o proceso y para cada tipo potencial de falla se les calcula un valor relativo a tres criterios en una escala del 1 al 10:

- La posibilidad de que algo malo vaya a ocurrir (1=poca posibilidad; 10=completamente seguro).

- El descubrimiento de una falla (1=muy posible de detectar; 10=poco posible de detectar).
- La severidad de una falla (1=bajo impacto; 10=impacto extremo) .

Los tres resultados para cada falla potencial son multiplicados para generar una evaluación combinada conocida como el Número Prioritario de Riesgo Aquellos con los números más altos, serán los puntos de enfoque para esfuerzos de rediseño posteriormente.

Formato del DMFEA

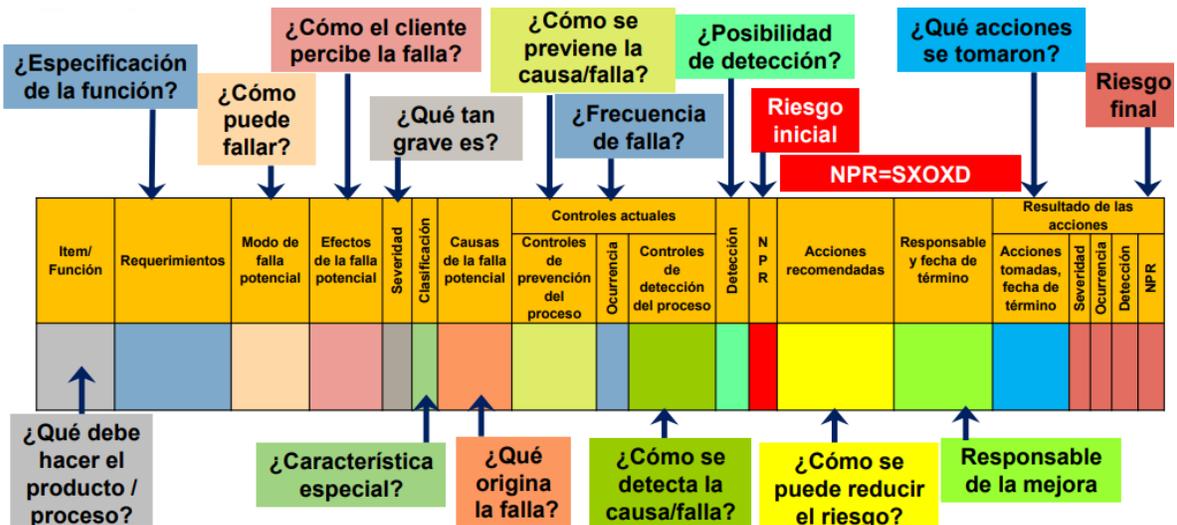


Figura 10. Tabla de formato DFMEA.

Proyectos desarrollados

Selección de la posición de un módulo electrónico al interior del vehículo en cumplimiento con los requerimientos de hardware, durabilidad, ergonomía, instalación y operaciones de servicio.

Uno de los principales proyectos en los que tuve la oportunidad de participar fue en la selección de la posición vehicular de un módulo electrónico inversor de corriente directa a alterna (DC-AC). Dicho módulo engloba un gran compendio de requerimientos que deben ser cumplidos para que se pueda garantizar el correcto funcionamiento durante las condiciones de operación y de esta manera se brinde el alto nivel esperado de experiencia al cliente durante su uso.



Figura 11. Ejemplo de localización de diferentes módulos electrónicos en un vehículo.

Entre los puntos que se tomaron en cuenta para la identificación de la mejor opción de posicionamiento vehicular de este módulo se tienen las siguientes:

- Protección contra factores ambientales

Cualquier módulo debe cumplir un determinado nivel de protección contra factores ambientales propios del área donde se encuentra suscrito, tomando en cuenta la interacción con el cliente y los casos de uso preliminares que se le puedan dar al sistema donde el módulo interactúa con los demás elementos para cumplir su función.

Para el caso del presente inversor DC-AC que se encuentra localizado dentro de la cabina de pasajeros, se toman en cuenta la protección contra posible ingreso de polvo y líquidos, y la adición de una capa extra que funge como cubierta para evitar algún daño al cliente por temperatura alta en el posible evento de que el usuario intente tocar el módulo durante operación.

Durante la selección de posición también me aseguré de que se garantizara que el módulo cumpliera con el nivel adecuado de resguardo contra niveles de vibraciones y posible concentración de salinidad determinada por el área en cabina. Las condiciones climatológicas y de exposición en condiciones normales las revisé tomando en cuenta los archivos históricos de calidad en donde se lleva un registro detallado de módulos que han sido utilizados por los usuarios y cumplieron su vida útil.

Debido a que existen diferentes parámetros en cuanto a los valores mínimos y máximos que se permiten con respecto a vibración dependiendo de la zona del vehículo, el segmento, los territorios a los que va dirigido y el contenido de equipamiento; me encargué de hacer una investigación recopilando información de anteriores programas, simulaciones virtuales, resultados de durabilidad en subsistemas y proyecciones a fin de encontrar la mejor posición y método de sujeción sin afectar la integridad del módulo.

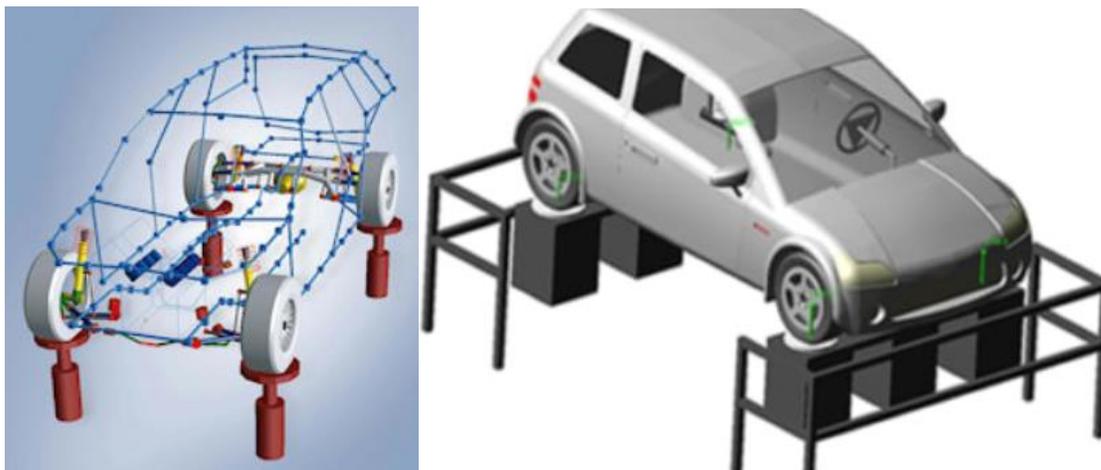


Figura 12. Ejemplo de simulación de condiciones de vibración en un vehículo.

- Selección de métodos de sujeción apropiados.

Posteriormente a la identificación de la posición vehicular, participé en la definición de la estrategia de sujeción del módulo electrónico en el área seleccionada con el fin de asegurar su funcionalidad en su vida útil y una instalación que cumpla con los requerimientos y tiempos del proceso de línea de ensamblaje. Durante el estudio de las diferentes opciones tomé parte en las juntas técnicas con los especialistas de materiales, tratamientos térmicos y durabilidad para el entendimiento de la interacción de los componentes en cuestión y como se comportaban química y mecánicamente durante la exposición prolongada a las condiciones vehiculares.

Analicé las distintas propuestas entre las que sobresalen la sujeción mediante tornillos, inserción en ranuras metálicas o plásticas, uso de clips o grapas, inserción en ranuras mediante fuerza ejercida en un punto, soldadura y uso de broches mecánicos. Posteriormente, tomando en consideración las características físicas del componente y su factibilidad para operaciones de servicio, acordé con los especialistas técnicos el uso de tornillos especiales validados anteriormente para aplicaciones similares en la industria.

Con la estrategia general definida procedí al estudio de la superficie donde se planeaba sujetar el módulo. En dicho estudio me enfoqué en investigar las características propias del material, su resistencia, ductilidad, proceso de fabricación, resistencia a la corrosión, grosor y resistencia térmica.

Al terminar el estudio de la compatibilidad entre el material del área de sujeción y el del módulo en específico me di a la tarea de indagar acerca del número de puntos de contacto mínimos requeridos para el cumplimiento de los requerimientos de torsión, vibración, ruido audible, resonancia y durabilidad. Una vez identificado el número de puntos de sujeción el siguiente paso fue la selección de tuercas que fueran compatibles con los tornillos y el tipo de acabado contra corrosión determinado por la categoría de la zona de empaquetamiento. Este parámetro es muy importante ya que incluso si se seleccionan los componentes de sujeción

correctos para esa aplicación en cumplimiento de los análisis dimensionales y resistencia adecuada; el acabado y tratamiento influyen determinantemente en la durabilidad y aseguramiento de la calidad de la sujeción a través del tiempo. En paralelo a esta investigación inspeccioné los procesos de instalación de las tuercas sobre superficies metálicas con base en la restricción de espacio para el presente proyecto.



Figura 13. Ejemplo de puntos de sujeción de un módulo electrónico, *Escape 2006*.

- Diseño del soporte de acoplamiento del módulo a la superficie de sujeción

Debido a que un módulo puede ocuparse en más de un tipo de vehículo y no siempre se tienen las mismas condiciones de posición y disposición de componentes o puntos de sujeción, una de las alternativas es el diseño de un módulo global genérico que, dependiendo del tipo de aplicación pueda incluir el diseño de un soporte específico para cumplir con los requerimientos mecánicos necesarios.

Para el presente proyecto colaboré en el diseño del soporte inferior del módulo en concordancia con la distribución de puntos de montaje anteriormente determinados. Este soporte debía cumplir con las especificaciones mecánicas de grado automotriz dictaminadas por los requerimientos ambientales y así garantizar su robustez durante la vida útil del componente. Como inicio del proyecto se diseñó el soporte por medio de modelos virtuales y bajo el análisis de elemento finito se consiguieron

simulaciones para la corroboración de la selección de material, identificación de posibles puntos de flexión y esfuerzos máximos. Con la información recabada por este primer estudio, se agregaron refuerzos en los puntos débiles cuidando no afectar de sobremanera la complejidad del proceso de manufactura y reduciendo la cantidad de material general en partes no críticas a fin de hacer más eficiente los costos de fabricación.

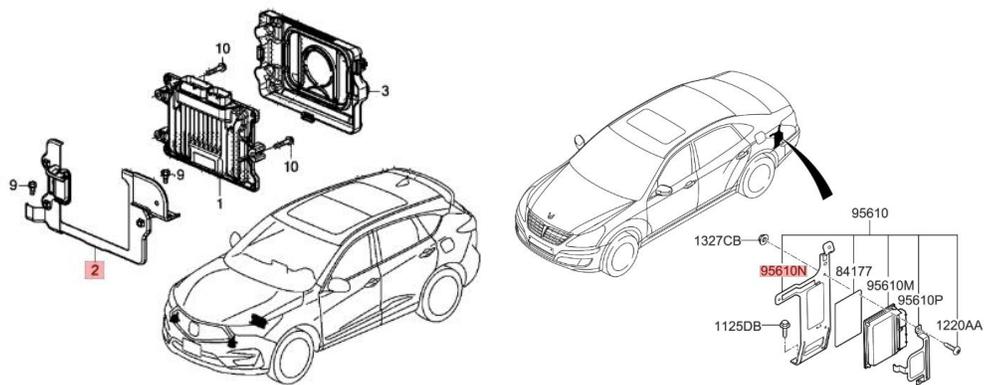


Figura 14. Ejemplos de soporte de acoplamiento de un módulo en un vehículo.

- Protección contra posible contacto directo al módulo de parte del cliente

Uno de los principales aspectos por lo que la compañía está muy preocupada es la seguridad y dado que el presente módulo se encuentra relacionado intrínsecamente con niveles de alto voltaje, se me dio la oportunidad de participar en los foros de prevención de riesgo y con base en las lecciones aprendidas incluí en el diseño del componente medidas complementarias que ayudarían a evitar condiciones de contingencia hacia los usuarios finales. Debido a lo anterior se añadieron al concepto ciertos elementos que evitarían el uso inadecuado de la tecnología por parte del cliente y que fungen como niveles adicionales de protección. Entre ellas se enlistan:

- Encapsulación de terminales en los conectores para evitar contacto inintencionado.

- Inclusión de cubiertas a fin de proteger al usuario de contacto de superficie durante eventos térmicos por la operación del componente.
- Diseño de tapas de los receptáculos donde se requiere aceptación del cliente para habilitar el sistema de poder.
- Corte de entrega de poder en condiciones de corto circuito.
- Monitoreo constante de demandas de corriente no intencionadas.

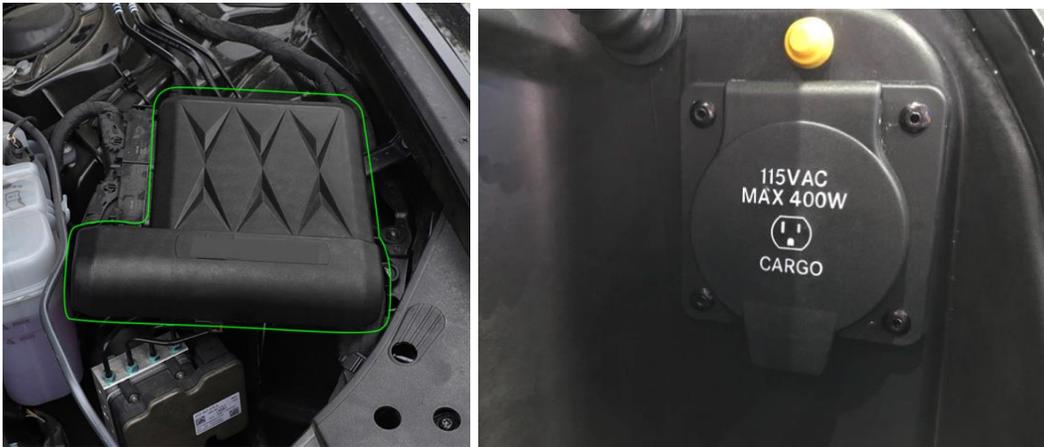


Figura 15. Ejemplos de métodos de protección contra posible contacto directo del cliente.

- Análisis de compatibilidad electromagnética con el fin de evitar la intromisión a determinadas frecuencias que resultarían en perturbaciones a otros módulos adyacentes.

Otro de los aspectos a destacar durante las etapas de diseño y validación se refiere al análisis de compatibilidad electromagnética donde se analiza que el módulo en cuestión cumpla con el espectro electromagnético definido durante su operación sin sufrir una degradación o provocar una degradación inintencionada por las emisiones de radiación o su respuesta a ellas.

- Disipación de calor para salvaguarda de los componentes internos.

Como base se tomó el rango de temperatura de operación del módulo bajo los casos de uso del cliente y al dictaminarse las temperaturas mínimas y máximas se

realizaron simulaciones mostrando cómo se impactaban los componentes en el circuito.

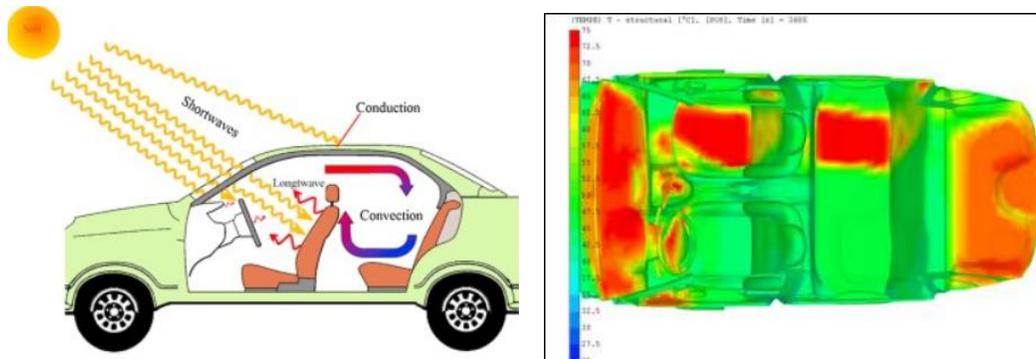


Figura 16. Ejemplos de perfiles térmicos en un vehículo.

Además, se debe considerar un rango extra debido a la variabilidad de dichos componentes electrónicos.

Durante las primeras etapas de definición del diseño, trabajé con el proveedor para llevar a cabo simulaciones que nos permitieron definir un perfil térmico preliminar con el arreglo de componentes en el PCB. Dicho perfil térmico permitió concluir que uno de los componentes (MOSFET) presentaba un aumento súbito de temperatura incluso en condiciones normales de operación del módulo debido a una incorrecta distribución del flujo de aire.

Después de un detallado análisis se plantearon las posibles propuestas de solución que incluían:

- Rediseño del circuito impreso.
- Cambio por componentes que soportaran un mayor grado de resistencia al calor.
- Cambio de la estrategia de enfriamiento (pasar de enfriamiento por convección a enfriamiento líquido).
- Cambio de direccionamiento de flujo de aire.
- Modificaciones en la carcasa metálica del módulo.

Como consecuencia de la evaluación costo-beneficio de cada una de las propuestas se determinó que la mejor opción era el cambio en el direccionamiento del flujo de aire logrado mediante el cambio de sentido de los ventiladores propios del módulo logrando una disminución de temperatura de un 10% en el MOSFET comparado con el valor anterior.

Otro de los retos a enfrentar fue durante la validación térmica a nivel vehicular donde debido a las restricciones de espacio con componentes circundantes, el módulo inversor no recibía el suficiente volumen de aire para cumplir la disipación de calor previamente validada a nivel componente.

Estas restricciones de espacio se presentaron debido a la adición de nuevos componentes que, a pesar de cumplir con todos los requerimientos y tolerancias con los elementos circundantes, influían negativamente en el flujo volumétrico de aire en el ventilador de inyección.

Entre las propuestas que presentamos a altos ejecutivos del programa se incluyen:

- La segregación de mercados.
- La restricción de paquetes de funcionalidad para ciertas configuraciones.
- Cambios en el Software de distintos módulos para aumentar el flujo volumétrico del sistema de aire acondicionado.
- Cambio de componentes internos.

Los ejecutivos se mostraron muy interesados en la presentación y solicitaron revisiones semanales con la información detallada en las cuales invitaron a los expertos del área de Marketing. Como resultado de esas revisiones se decidió implementar una solución conjunta a nivel sistema en la que se englobara un cambio de los componentes internos (cuyo rango de temperatura fuera más amplio) y además el desarrollo de una estrategia liderada por el controlador del aire acondicionado para aumentar el flujo de aire con retroalimentación de los sensores internos del módulo.

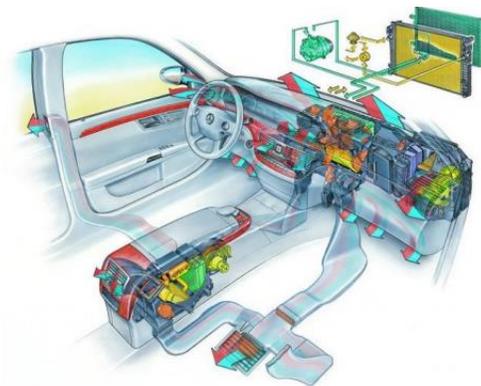


Figura 17. Ejemplo de distribución de aire acondicionado en un vehículo.

- Análisis del factor de eficiencia a nivel subsistema.

Todo elemento electrónico incluyendo los cables de conexión entre ellos presenta una cierta resistencia que se traduce en pérdidas energéticas que deben tomarse en cuenta durante el análisis de selección de la posición. Es por ello que, durante el presente proyecto, trabajé junto con el equipo de EDS (Electrical Distribution Systems) en la selección de arneses que permitieran realizar de una manera más eficiente la transferencia de corriente con pérdidas mínimas, pero considerando las limitaciones físicas.

Para la identificación de los materiales, calibres y longitudes de los arneses se tomaron como base las características propias del producto en cuestión y su relación con los demás componentes que forman el sistema a nivel vehicular. Como punto de partida se definieron los voltajes de operación del módulo, las corrientes nominales en estado estable y sus tolerancias, las corrientes máximas variables, los métodos de protección como fusibles y relevadores, el comportamiento en condiciones de corto circuito, el acoplamiento de la tierra, la temperatura de operación, la comunicación con los demás sistemas en condiciones de vehículo apagado, estrategia de almacenaje de información, perfil de carga y usabilidad.

Otro elemento que destacar, que impacta directamente el diseño de los arneses, es la identificación del tipo de conector que debe emplearse. Una vez identificadas las

parámetros básicos del módulo, tuve varias reuniones con el equipo central de conectores donde se revisaron las clasificaciones de conectores relacionadas con el tipo de uso, nivel de protección, accesibilidad para instalación o reemplazo, poka yoke, manufactura de terminales, selección de terminales, aplicaciones dependiendo de la capacidad de transmisión de datos o energía, métodos de cerrado, montaje, alineación, fabricación y seguridad. Para dado componente, al tratarse con voltajes superando los 65VAC, se considera alto voltaje y por ellos se incluyeron al diseño características adicionales de seguridad que permiten tener un mejor control sobre la línea de ensamble y en etapa de servicio.



Figura 18. Ejemplo de distribución de arneses en un vehículo

Después de la definición preliminar, se procedió a los estudios de simulación de comportamiento eléctrico para la identificación final de los calibres y tipo de recubrimiento y acabado.

Uno de los puntos de mayor injerencia al desarrollar los arneses fue durante la consideración de la factibilidad del ruteo de los cables durante la etapa de ensamble del vehículo. Debido a los tiempos de fabricación establecidos se debe garantizar que el diseño de los cables permita un ensamble ergonómico y que tenga protecciones ante una posible conexión errónea. Es por ello por lo que después de la etapa de concepción y simulación lleve a cabo diferentes pruebas físicas junto con el equipo de instalación con relación a la interacción entre el módulo y el arnés para confirmar el correcto uso de la aplicación. Durante estas pruebas se identificaron problemas para lograr el cumplimiento de la instalación del subsistema en los tiempos requeridos debido a una elevada complejidad de parte del operador

y la necesidad de añadir una segunda etapa. Con base en los resultados de esas pruebas, recopilé información sobre las posibles soluciones para mitigar ese problema y con apoyo de los equipos de Instalación en planta, ergonomía y conectores presenté al ingeniero en jefe el archivo con las implicaciones en costo y tiempo de cada propuesta. Como resultado de esa presentación se optó por un rediseño de la posición de los conectores y el reacomodo de componentes internos para lograr este objetivo, además se agregaron puntos de sujeción para eliminar el riesgo de posibles vibraciones debido al nuevo arreglo. Como resultado complementario a este nuevo diseño, identifiqué un posible problema de compatibilidad electromagnética en específico para los cables de comunicación por lo que se implementaron medidas de robustez en esas partes en específico para garantizar la eliminación del riesgo de una posible pérdida de comunicación.

- Exposición a condiciones de uso extremas.

Como parte de la selección de la posición, una de las lecciones aprendidas bien documentadas es la identificación de condiciones extremas que la zona de elección pueda presentar y el grado de repetibilidad que se registran esas condiciones. Con el presente modulo, evalué con junto con el equipo de diseño las condiciones extremas tomando en cuenta el tipo de mercado y el tipo de vehículo en que se planeó incluir. Esa información fue primordial para el entendimiento de temperaturas máximas, condiciones de manejo, condiciones del terreno, tiempos de operación y compatibilidad de dispositivos.



Figura 19. Ejemplo de condiciones extremas.

Además, se realizaron clínicas con futuros usuarios cuyo propósito era obtener información de condiciones que no habían sido contempladas por el equipo de ingeniería. Mediante este ejercicio recabé una gran cantidad de datos que serviría para la reevaluación de niveles de protección adicionales, que, debido a los patrones de uso de clientes potenciales, eran necesarios para garantizar el correcto funcionamiento en el tiempo de vida de operación y así mantener la percepción de durabilidad y robustez del producto. Entre estos campos de protección adicionales se encuentran el cambio de componentes internos para mejorar el comportamiento del perfil tiempos de encendido y apagado, ajustes de software para la compatibilidad de aplicaciones en dispositivos electrónicos del área de construcción, la inclusión de una cubierta adicional para protección del componente en posible colisión con piezas almacenadas en el compartimiento de carga, reforzar las conexiones de arneses que podrían presentar colisión por piedras del camino en las áreas debajo del chasis, mejora de la estrategia de notificación del estado del componente hacia el usuario, modificación de la forma de las ventilas para mejora del ingreso de aire y evitar posible ingreso de líquidos derramados a través de ellas.

- Análisis del proceso de instalación para identificar la factibilidad de la estrategia de ensamblaje del módulo durante la línea de producción.

Con relación al proceso de ensamble en planta trabajé muy de cerca con el equipo de ergonomía para la concepción de las estaciones de trabajo en la línea dedicadas a la instalación del presente módulo desde la etapa de recolección del almacén, pasando por el camino a la estación de carga hasta la estación de montaje y aseguramiento del funcionamiento antes de la liberación del vehículo de la planta.

De las múltiples revisiones con el equipo de ergonomía logré identificar información importante que me permitiría identificar el proceso más eficiente de instalación del módulo, la secuencia del procedimiento, las características que debían tener los integrantes del equipo de operarios, las herramientas para asegurar la instalación y los tiempos requeridos por estación.



Figura 20. Ejemplo de operaciones de instalación en una planta.

Como resultado de la investigación junto con la retroalimentación de los especialistas del equipo de “Planeación y Logística” en la planta, lideré la investigación del desarrollo de un nuevo sistema de embalaje para la transportación entre las instalaciones de proveedor y la estación de recolección en la planta de Ford. Dicho diseño, cumple con un arreglo especial de contenedores independientes los cuales tienen una distribución, tamaño, ángulo de inclinación y altura determinados que garantizan una mejora en el proceso de maniobrabilidad al momento de recolección de cada módulo sin poner en riesgo la integridad de los componentes facilitando la tarea a los operarios.

En el mismo proyecto además se contemplaron otros productos en interfaz directa con el usuario, como lo son los receptáculos o comúnmente denominados enchufes los cuales a su vez deben cumplir con cualidades propias como lo son:

- Ergonomía del ambiente

En este punto se contemplaron los requerimientos de ergonomía dedicada a la interacción entre el usuario final y el producto en los diferentes casos de uso, su relación con la posición, nivel de complejidad de utilización, curva de aprendizaje y familiarización con los elementos y funcionalidades, percepción de robustez y textura de los componentes y el diseño de los símbolos y notificaciones.

En cuanto a la interacción con el cliente, uno de los puntos en los que trabajé fue el estudio de la distancia entre la posición del usuario y el los receptáculos para una

correcta accesibilidad , la identificación del proceso de uso normal del módulo y (forma en que el usuario conecta sus dispositivos y que brazo es el predominante en esa condición) , valores de fuerza durante la apertura y cerrado de puertas plásticas, valores de fuerzas de retención y extracción de las terminales de las clavijas.

Durante las evaluaciones físicas con el equipo de ergonomía fueron descubiertas áreas de oportunidad en el diseño de las cubiertas plásticas en las cuales las cuales pude incluir una forma nueva de superficie para permitir una mejor interfaz con el usuario al momento de uso.

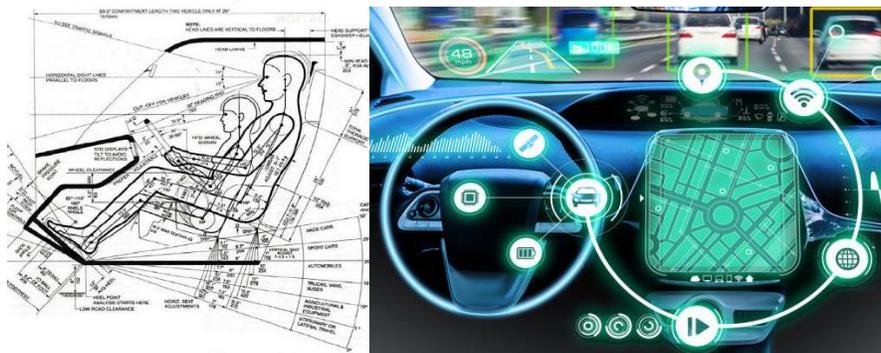


Figura 21. Ejemplo de ergonomía enfocada al cliente.

- Apariencia.

De acuerdo con el “Estudio de satisfacción con la Propiedad de su Vehículo en México” (MVOSS por sus siglas en inglés), realizado por la firma internacional JD Power en 2014 [30], el consumidor mexicano prioriza en 15% el estilo exterior y la comodidad interior en un porcentaje similar. Es por ello por lo que uno de los aspectos mejor cuidados es la apariencia de los componentes enfocada al segmento.

El proceso de concepción del estilo final del módulo se comenzó durante la elección de materiales y la distribución de elementos por ergonomía. Posteriormente

organicé las revisiones semanales con el equipo de estudio para presentar los avances sobre la forma, textura, color y acabado de cada elemento del producto final. Durante el transcurso de esas revisiones se fueron solicitando cambios, principalmente en la forma y color, que repercutieron en un rediseño del herramental de fabricación originalmente pensado debido a la complejidad del proceso.

Para propósitos de la evaluación de los distintos componentes del producto, se analizaron los modelos virtuales renderizados y además piezas físicas de prototipado rápido (obtenidos por impresión 3D), los cuales fueron inicialmente examinados de forma individual y posteriormente instalados en maquetas donde los demás constituyentes del área del vehículo estaban presentes a manera de observar su relación y equilibrio.

Debido a que varias de las peticiones del equipo de estudio no contemplaban la factibilidad de su aplicación en manufactura y tamaño de componentes tuve que desarrollar un plan de asequibilidad, donde se incluían cada una de las propuestas y su repercusión en tiempos de manufactura, obtención de materiales, complejidad de ensamble, inconsistencias con especificaciones, posibles riesgos en seguridad, impactos en ergonomía, impactos en diseño de embalaje, repercusiones en la estrategia de sujeción y ensamble y los efectos en durabilidad. Con base en este documento, presenté las diferentes opciones al ingeniero en Jefe y se tomó la decisión con relación a que ámbitos debían ser modificados teniendo en consideración este análisis de riesgos y de costo-beneficio.

- Identificación de las características de acabado del ambiente donde está posicionado el componente para lograr una armonía visual con los otros elementos presentes.

Como se mencionó anteriormente, a fin de cumplir con los parámetros estéticos avalados por el equipo de Estudio, una de las fases previas a la autorización a nivel sistema es la verificación de la interacción del producto con los elementos

circundantes pertenecientes a la misma área del vehículo, esto con el fin de garantizar tener una armonía visual de acuerdo con las expectativas del cliente.

Como resultado de las evaluaciones físicas de las partes, propuse un cambio en el diseño de componentes circundantes a manera de permitir un mayor nivel de luminosidad en el área donde se encuentran los enchufes como ayuda al cliente para una rápida identificación del producto en condiciones de poca luz ambiental. Bajo este esquema trabajé también con el diseño de experiencia al cliente y armonía para determinar los valores de intensidad de luz adecuados en condiciones diferentes y de acuerdo con sus especificaciones.

- Adición de señalamientos y referencias de seguridad hacia el usuario.

Como parte de los requerimientos de seguridad existe un apartado específico para los señalamientos y etiquetas que deben cumplir los componentes que trabajan con alto voltaje, dichos señalamientos deben cumplir con tamaños, posiciones, colores y relieves específicos tanto para los usuarios finales como para los operarios responsables de su instalación y servicio.

Para el módulo inversor tuve revisiones con el equipo de Seguridad regulatoria con el objetivo de la implementación en el componente de la simbología dictaminada por los estándares federales de seguridad en vehículos de motor [31]. Esta tarea incluyó la adaptación de los símbolos, enunciados de advertencia y su distribución en áreas clave permitiendo que el usuario posea una clara visualización y así evitar condiciones que pudieran resultar adversas a su seguridad. En relación con la simbología de apoyo y advertencia a los operarios durante la etapa de instalación en planta, se añadieron etiquetas que referenciaban el componente con la fase de ensamble en la hoja de instrucciones, lo cual permitía un mejor control de la operación y evitar posibles condiciones de un mal manejo de los componentes o herramientas de trabajo.

Con respecto a los enchufes además de los elementos mencionados anteriormente añadí simbología complementaria para la identificación rápida de las terminales por

parte del cliente, el tipo de enchufe y que compatibilidad tenía con los tipos de clavijas en los dispositivos electrónicos, el nivel de voltaje y amperaje nominales, referencias al manual de usuario y la traducción a los diferentes idiomas de acuerdo con los mercados donde el vehículo es exportado.

- Definición de la estrategia de notificación al usuario de modos de funcionamiento del sistema y de la posible presencia de fallas.

Como parte de un nuevo diseño y en especial de una nueva funcionalidad en el vehículo, uno de los propósitos fundamentales es crear una mejor experiencia al cliente que brinde una ventaja competitiva comparada con los demás vehículos del segmento. Para lograr lo anterior, junto con apoyo directo del equipo que evalúa las expectativas del cliente e interacción entre hombre-máquina, desarrollé una interfaz donde el usuario tuviera la oportunidad de sentir un mejor control de los componentes. Esta interfaz contemplaba la notificación de mensajes del estado de su dispositivo, control tanto en interiores como exteriores, detección de fallas en cualquiera de los enchufes, función de auto diagnóstico y detección de carga.



Figura 22. Ejemplo de notificaciones al usuario.

- Elaboración del manual de usuario y de servicio

Tomando en cuenta los elementos previamente descritos a través de la etapa de diseño y validación del módulo, una tarea adicional que lideré fue la redacción de la

sección correspondiente al módulo inversor DC-AC y los receptáculos (enchufes) en los manuales de usuario y servicio.

En el manual de usuario se describen todas las funcionalidades y atributos del subsistema. A su vez se enlistan todas las restricciones, advertencias y recomendaciones para el mantenimiento de los componentes y módulo en general. En un anexo de este documento también se encuentran las soluciones a problemas comunes que pueda enfrentar el cliente.

En el manual de servicio se describe las instrucciones detalladas del proceso de verificación del funcionamiento del módulo cuando un usuario presenta una queja de su operación y es llevado a la agencia para su revisión. Además, se enlistan las instrucciones para la desinstalación de los componentes del subsistema que están relacionados a la funcionalidad del módulo si se llegase a presentar una condición de daño. Una vez que el módulo es diagnosticado como inoperable por el técnico de servicio de acuerdo con las condiciones descritas en el manual se procede a un remplazo por una parte nueva y su configuración, dichos procesos también son documentados en ese manual.

Análisis de pérdidas de potencia en módulos inversores de corriente directa a alterna debido a su posición con relación a la fuente de alimentación.

Uno de los parámetros más importantes en el diseño de cualquier modulo electrónico es el factor de eficiencia entre la energía que obtiene a la salida durante su operación y la energía que necesita para realizar su función.

En el caso de un módulo inversor DC-AC se toma energía de una fuente de voltaje DC, en el vehículo esta es generalmente la batería, y se convierte el mismo en AC para la compatibilidad de carga de los dispositivos electrónicos que el usuario pudiese conectar. Sin embargo, el factor de eficiencia determina cuanta energía realmente puede ser aprovechada y cuáles son las pérdidas intrínsecas del sistema.

Durante la etapa de análisis del subsistema para la selección de componentes realicé un estudio de pérdidas energéticas para el presente módulo, este estudio contempló diferentes etapas durante su desarrollo. Como primera instancia se realizó un diagrama de bloques con base en la arquitectura del vehículo cuyo propósito era la descripción de la interacción eléctrica de cada elemento a nivel vehicular, las entradas y sus salidas.

Una vez completado el diagrama de bloques, realicé la investigación del comportamiento de cada componente bajo diferentes condiciones térmicas, su reacción ante diferentes tipos de cargas, su forma de disipación de energía no utilizable, su perfil de carga y descarga, su tiempo de respuesta, sistemas de enfriamiento y su punto de referencias de potencial. Esta investigación me tomó cerca de tres semanas debido a la gran cantidad de información proveniente de las hojas técnicas y especificaciones de los componentes, afortunadamente conté con ayuda de los diseñadores del equipo norteamericano de Alimentación de Poder en el vehículo (PS, por sus siglas en inglés), los cuales me compartieron archivos recopilados para un programa anterior que, aunque presentaban solo una idea preliminar, me sirvieron para fundamentar la primera etapa de selección de componentes para la aplicación del módulo inversor.

Posteriormente tuve varias revisiones con el equipo de Ingeniería asistida por computadora (CAE, por sus siglas en ingles), durante las cuales se estructuraba la simulación del comportamiento eléctrico del sistema a nivel vehicular, para ello se tomó como referencia la investigación previamente realizada por cada componente, la identificación del comportamiento de las señales de entrada, las características de los arneses que conectan cada componente (longitud, calibre, forma de las terminales de conexión, curvaturas, uniones y puntos de tierra física y lógica), de allí la importancia de la selección de cableado correcto descrito en el apartado anterior.

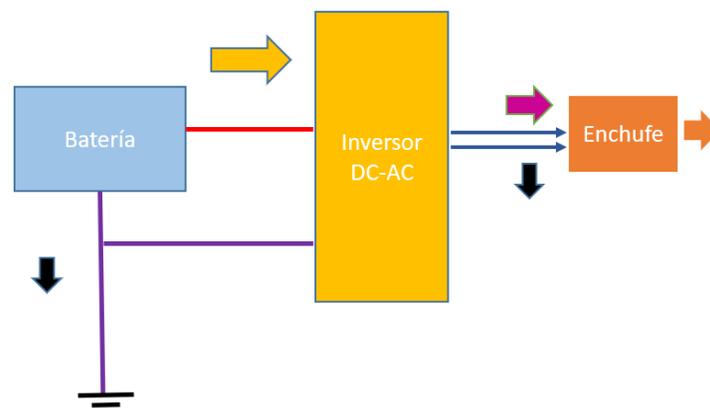


Figura 23. Esquema general de conexiones de un sistema inversor DC-AC vehicular.

Como resultado de dicha simulación se obtuvieron los datos a diferentes temperaturas de los valores de energía proporcionada por la batería, el valor de energía de entrada y salida del módulo inversor, y el valor de energía disponible en los enchufes para la utilización de sus dispositivos electrónicos. De esta información pude determinar la necesidad de un cambio en las distribuciones de componentes debido a una pérdida considerable de energía en el lado de bajo voltaje del sistema, lo que se traducía en una menor cantidad de energía aprovechable para el cliente.

Con base en el proceso de análisis del estudio desarrollado por CAE comencé a indagar cuál era el mejor componente para cambiar de arreglo sin afectar de

sobremedida los procesos de ensamble ni elevando los costos de producción. Entre las propuestas que presenté al equipo se encuentran:

- Cambio de material de los arneses. Dependiendo de la naturaleza de un conductor, se pueden presentar distintos niveles de resistividad [32]. Es por ello por lo que al optar por un material con menor resistividad se lograría un menor nivel de pérdidas. En contraste, un material con menor resistividad tiene un mayor costo.
- El incremento de la sección transversal de los cables de bajo voltaje. Esto debido a que existe una relación directa de la resistencia de un conductor con su longitud, pero una relación inversa con respecto a su diámetro o sección transversal [33]. Por lo tanto, al aumentar el diámetro conservando su longitud aún se logran mejores resultados de eficiencia a nivel sistema, pero se tiene de igual manera un mayor costo por la diferencia de calibre.
- La disminución de la longitud de los cables de bajo voltaje. Al tener una menor longitud se tiene una menor resistencia y menor grado de pérdidas. Debido a la distribución de componentes previamente definida y la reevaluación de estrategias de sujeción y limitación por espacio, esta se consideraba viable.
- La relocalización del punto de tierra. Al posicionar el punto de tierra a chasis en una localidad más cercana a la terminal negativa del módulo inversor se reducían las pérdidas.
- El cambio de la fuente de alimentación por una con mayores capacidades. Este cambio implicaba el aumento de dimensiones y costo de la fuente de alimentación al usar un número de parte específico.
- El aumento del factor de eficiencia del inversor. El factor de eficiencia se encuentra definido en la especificación del módulo y se determina con base en las limitaciones físicas de los componentes, la relación costo- beneficio y el tipo de aplicación. El cambiar el diseño para un caso particular dificulta el objetivo de generalizar para futuras aplicaciones.

- Limitación de la operación del inversor en un menor rango de temperatura. Esta opción impacta directamente en la percepción del cliente en cuanto a la robustez y funcionalidad del módulo lo que se traduce en posibles quejas y pérdida de competitividad.

De este análisis se concluyó que se procedería con un aumento en la sección transversal de los cables de bajo voltaje y además la relocalización del punto de tierra a chasis tomando como opción una localidad cercana que se encontraba destinada para otro módulo pero que se logró comunizar sin impactos significativos a la estrategia general.

Resultados:

Con los puntos detallados en el apartado anterior con relación a la selección de la posición de un módulo electrónico realicé, junto con el equipo de diseño general, un compendio de lecciones aprendidas que posteriormente se convertirían en una guía de empaquetamiento de módulos inversores para variantes de diferentes niveles de potencia de salida cuyo objetivo es ser utilizado por mis compañeros y futuros integrantes del área EESE como una referencia de buenas prácticas sobre cuáles son los elementos a considerar al momento de la selección de posición de módulos con características similares para su aplicación en nuevos programas con un impacto directo estimado de más de 50 personas a nivel internacional. La primera edición de esta guía de empaquetamiento fue publicada a inicios de 2018 y se han añadido actualizaciones en posteriores ediciones con base en revisiones de equipos interdisciplinarios con el fin de incluir la interacción con nuevos componentes. Actualmente está en proceso la conversión de esta guía en un compendio de requerimientos certificados por Ford Motor Company.

De forma paralela logré la aprobación de incluir distintas validaciones a nivel componente y vehicular específicas para módulos inversores DC-AC que no estaban registradas en las especificaciones generales pero que con base en las lecciones aprendidas de empaquetamiento fueron catalogadas con un alto nivel de jerarquía a fin de garantizar el cumplimiento de los estándares de diseño durante los casos de uso del módulo y como complemento del análisis de modo y efecto de falla.

Como resultado del análisis de pérdidas energéticas a nivel sistema, mi propuesta se tradujo en una reducción de pérdidas generales del 4% y con ello se logró brindar al cliente el nivel de potencia que se había solicitado por el área de Marketing. Como beneficio directo, el equipo de Marketing logró una ventaja competitiva con respecto a los otros vehículos del segmento y la introducción al mercado de un nuevo contenido opcional para vehículos de carga. Además, con la gran cantidad de

información recabada en este estudio se han identificado actividades clave que en un programa siguiente serán mejorados para conseguir un mayor grado de reducción en pérdidas.

Conclusiones:

Durante mi participación en las etapas de diseño y validación de módulos eléctricos en la empresa Ford Motor Company tuve la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos a través de mi formación ingenieril en la Facultad e ir fortaleciendo mi acervo profesional y personal con base en los retos que se presentaron en diferentes etapas de los proyectos.

Durante la presentación de los avances, desarrollo de proyectos y planteamiento de problemas y planes de solución ante ejecutivos e ingenieros en jefe, pude notar un desenvolvimiento personal que, complementado con la amplia gama de conocimientos interdisciplinarios de la ingeniería adquiridos en este periodo, me ayudaron a fortalecer las bases de mi formación para un mejor entendimiento de problemas complejos, y a su vez tener una actitud profesional flexible para poder adaptarme a cada situación y con ello identificar y delimitar las diferentes propuestas de solución.

Con mucho agrado pude darme cuenta del gran nivel de conocimiento que muestran los ingenieros mexicanos y su nivel de respuesta ante situaciones complejas. Estas observaciones fueron también mencionadas por equipos multidisciplinarios internacionales y es gracias a ello que se nos permite tener un mayor nivel de inmersión en el desarrollo de nuevos proyectos con lo que se logra un mayor aporte a la economía del país.

Referencias:

- [1] El legado de Henry Ford. FORD, España 2020. <https://www.ford.es/acerca-de-ford/historia#henryford>.
- [2] Pastor J., 2020. Historia de Ford: la marca que popularizó el uso del automóvil, <https://www.pruebaderuta.com/historia-de-ford.php>.
- [3] <https://www.autobild.es/coches/ford/historia>
- [4] Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., & Carreño, J. M. (2014). Sensores y actuadores. Grupo Editorial Patria. (Sensores)
- [5] Sobrevila, M. A. (2008). Sensores eléctricos. TECNIBOOK EDICIONES. (Sensores)
- [6] Guarella, J. E., Heredia, J. P., Rodríguez, L., & Bagatto, I. (2011). Sensores y actuadores en motores. B. Aires. (Sensores y microcontroladores)
- [7] Serna, A., Ros, F., & Rico, J. C. (2010). Guía práctica de sensores. Creaciones Copyright SL. (Sensores)
- [8] del Brío, B. M., & de Tecnología Electrónica, A. (1999). Sistemas electrónicos basados en microprocesadores y microcontroladores. Pressas Universitarias de Zaragoza. (microcontroladores)
- [9] Mariño, P., Nogueira, J., Hernández, H., Poza, F., Machado, F. & Vazquez, F.,: "Computer Engineering Education in Network Protocols", Proceedings of the 2003 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, PDPTA403, Las Vegas Nevada (USA), June 23-26,2003.
- [10] Network, C. A. (2008). Bus de CAN.
- [11] Morales, C. C., & Antonio, C. (2005). Desarrollo de un sistema educativo para la enseñanza del protocolo de comunicaciones CAN. Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajapan de León-Abril.
- [12] <https://www.iso.org/standard>

- [13] Artal, J. S., Caraballo, J., & Dufo, R. Protocolo CAN/LIN-Bus. Implementación de una red de comunicación serie de bajo coste.
- [14] Mayné, J. (2009). Sistemas de comunicaciones.
- [15] LIN Specification Package Revision <http://www.lin-subbus.org>
- [16] Lazo, O. R., & Rojas, L. R. (2006). Diseño asistido por computador. *Industrial Data*, 9(1), 7-15.
- [17] Mina, H. O. (2016). Tecnología asistida por computadora.
- [18] LILIA, M. R. A. (2008). Obtencion de mapas de esfuerzos de membranas elasticas mediante ingenieria asistida por computadora (CAE) (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de la Mixteca).
- [19] Guerrero, Martha; Valderrábano, Sergio; Campos, Rolando, Ainhoa, Miren (1999). Aplicación del método de elemento finito al análisis nodal. *Ingenierías*. Enero-Abril, Vol II. No.3, 49-55.
- [20] Blanchard, B. S. (1995). *Ingeniería de sistemas* (Vol. 125). Isdefe.
- [21] Avila, M. E. P. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL FACTOR DE RIESGO ERGONÓMICO EN TRABAJADORES DE UNA EMPRESA AUTOMOTRIZ Y SU RELACIÓN CON AFECCIONES MÚSCULO-ESQUELÉTICAS (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK).
- [22] Tapia, L. D. C. S., Buenrostro, M. A. A., Cabrera, J. M. B., Pérez, J. E. T., & Malagón, G. V. Análisis De Riesgo Ergonómico En Una Empresa Automotriz En México.
- [23] Peralta, L. E. Y. (2005). Calidad educativa e ISO 9001-2000 en México. *REICE. Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 3(1), 421-431.
- [24] Zari M. (1993). *Administración de la Calidad Total para ingenieros*. Editorial Mcgraw Hill.

- [25] Jaime, J. T., Colín, J. V., Subdiaz, F. J. C., Calderón, E. C., Rangel, R. M. U., & Roman, G. B. (2015). Sistema Poka-Yoke. Programación Matemática y Software, 3(1).
- [26] Reyes, P. (2007). "Análisis del Modo y Efecto de Falla". Recuperado de www.icicm.com/files/PFMEA.doc (25-08-16)
- [27] MONTALBAN-LOYOLA, E., ARENAS-BERNAL, E. J., TALAVERA-RUZ, M., & MAGAÑA-IGLESIAS, R. E. (2015). Herramienta de mejora AMEF (Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial) como documento vivo en un área operativa. Experiencia de aplicación en empresa proveedora para Industria Automotriz. Volumen 2, Número 5–Octubre–Diciembre-2015, 2(5), 230-240.
- [28] Arenas Paredes, P. A. Propuesta de diseño de un nuevo modelo de oficinas comerciales para el Banco Davivienda sa en la Ciudad de Bogotá Bajo la Metodología DFSS.
- [29] Attribute performance and customer satisfaction over time: evidence from two field studies Vikas Mittal Assistant Professor at Katz Graduate School of Business, University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USA Jerome M. Katrichis Assistant Professor at Barney School of Business, University of Hartford, West Hartford, Connecticut, USA Pankaj Kumar Assistant Professor at Cornell University, Ithaca, New York, USA.
- [30] J. D. Power Mexico 2014 Mexico Vehicle Ownership Satisfaction Study (VOSS). 27 DE NOVIEMBRE 2014 (<https://mexico.jdpower.com/es/press-releases/estudio-de-satisfacci%C3%B3n-con-la-propiedad-del-veh%C3%ADculo-en-mexico-mvoss-2014>).
- [31] Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS 305). Electric-Powered Vehicles: Electrolyte Spillage and Electrical Shock Protection. F.R. Vol. 65 No. 188 – 27.09.2000.
- [32] Electrónica Basica. A. Zetina. Editorial Limusa.

- [33] Electricidad Industrial. CH. L. Dawes. Segunda edicion Editorial Reverté. S.A.