

Gestión del mantenimiento automotriz: Un acercamiento al mantenimiento preventivo 4.0 y los carros conectados

Investigador principal:
Ing. Luis Mauricio Dávila García
Estudiantes de investigación:
Jairo Hernando Rodríguez Ovalle

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Programa de Ingeniería Mecánica
Bogotá D.C., Colombia
2020

Gestión del mantenimiento automotriz: Un acercamiento al mantenimiento preventivo 4.0 y los carros conectados.

Investigador principal:
Ing. Luis Mauricio Dávila García
Estudiantes de investigación:
Jairo Hernando Rodríguez Ovalle

Proyecto de investigación o trabajo dirigido

Línea de Investigación:
Gestión de activos y mantenimiento
Grupo de Investigación:
Sistemas térmicos y mecánicos

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Programa de Ingeniería Mecánica
Bogotá D.C., Colombia
2020

Dedicatoria

A mis padres, mi mujer y mi hijo

Agradecimientos

Le ofrezco un agradecimiento a Luis Mauricio Dávila García, profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio y director de este proyecto de grado, por el tiempo destinado a fortalecer mi aprendizaje desde el momento en que lo conocí, hasta encaminarme a realizar el presente trabajo de grado. Gracias por su dedicación y amor a la docencia.

Resumen

La cuarta revolución industrial integra a la cadena de valor el Internet del todo, entrelazando los productos con su entorno, mediante el manejo inteligente de datos analíticos, junto con la capacidad computacional para construir el ciberespacio. La unión entre el mundo físico y el mundo virtual se efectúa por medio de los sistemas ciberfísicos, los cuales se utilizan para distribuir, monitorear, controlar ambientes físicos y generar retroalimentaciones. El automóvil se debe entender como un sistema ciberfísico, debido a que este debe incorporar elementos inteligentes y estar en la capacidad de conectarse a internet para compartir información de su estado, para dar respuestas en tiempo real del funcionamiento del carro a su operario, generando el concepto de carros conectados. Basándose en los datos obtenidos de tiempo real se procede a realizar un tratamiento de los mismos desde el punto de vista del mantenimiento, para esto es necesario saber la procedencia del dato, junto con su estado. Una vez definidos estos aspectos, se procede a realizar un análisis técnico y promocional asistido por analítica de *big data* que conlleva a una acción de control profesional y autónomo del dispositivo inteligente sobre el elemento monitoreado y un aprovechamiento de los datos para mejorar la gestión del taller de mantenimiento automotriz.

Palabras clave: Internet de las cosas, internet del todo, sistemas ciberfísicos, carros conectados, mantenimiento predictivo.

Abstract

The fourth industrial revolution integrates the Internet of everything into the value chain of a process, joining products with its environment through the intelligent management of data analytics, along with the computational capacity to build cyberspace. The union between the physical world and the virtual world happens in the cyber physical systems, which are used to distribute, monitor, control physical environments and generate feedbacks. The car must be understood as a cyber physical system, because it must incorporate intelligent elements and must be connected through the internet to share information on its state and to give real time responses of the performance of the car to its owner, building the Connected cars concept. With the data obtained in real time of the vehicle, a data treatment is done from the point of view of maintenance. Firstly, it is necessary to know the origin of the data, along with its status. Once these information is defined, a technical and promotional analysis assisted by big data analytics is carried out, leading to a professional and autonomous control of the intelligent device over the monitored element and the use of data to improve the automotive maintenance shop management.

Keywords: Internet of the things, internet of everything, cyber physical systems, connected cars, predictive maintenance.

Contenido

	Pág.
Contenido	XI
Lista de figuras.....	XII
Lista de símbolos y abreviaturas	XIII
Introducción.....	1
Capítulo 1. Elementos que conforman la industria 4.0 y su alcance.....	3
1.1. Pilares de la industria 4.0	4
1.1.1 <i>Big Data</i> y analítica	4
1.1.2 Internet de las cosas	5
1.1.3 <i>Cloud computing</i>	6
1.1.4 Ciberseguridad.....	6
1.1.5 Manufactura aditiva	6
1.1.6 Realidad aumentada	7
1.1.7 Robots autónomos.....	7
1.1.8 Integración de sistemas	7
1.1.9 Simulación.....	7
1.2. Sistemas ciberfísicos	8
1.2.1 Carros conectados	10
Capítulo 2. Mantenimiento automotriz	13
2.1. Mantenimiento correctivo	13
2.2. Mantenimiento preventivo	14
2.3. Mantenimiento predictivo	15
2.3.1 Ventajas del mantenimiento predictivo vehicular.....	16
Capítulo 3. Mantenimiento vehicular 4.0	19
Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones	31
4.1. Conclusiones	31
4.2. Recomendaciones	32
Bibliografía.....	35

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1. Ciclo cognitivo mejorado del CPS.....</i>	8
<i>Figura 2. Estructura 5C para la implementación de sistemas ciberfísicos.....</i>	9
<i>Figura 3. Interacción ciberfísica en carros conectados.....</i>	11
<i>Figura 4. Curva típica de bañera.....</i>	15
<i>Figura 5. Mantenimiento periódico de carros.....</i>	15
<i>Figura 6. Conexión entre mundo físico y mundo virtual.</i>	19
<i>Figura 7. Análisis de los sensores del vehículo</i>	22
<i>Figura 8. Análisis técnico del estado del vehículo.....</i>	24
<i>Figura 9. Análisis promocional</i>	27

Lista de símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

<i>CPS</i>	Sistemas ciberfísicos
<i>ICT</i>	Infraestructura de la tecnología de información y comunicación
<i>IoE</i>	Internet del todo
<i>IoMs</i>	Internet de los servicios de manufactura
<i>IoS</i>	Internet de los servicios
<i>IoP</i>	Internet de las personas
<i>M2M</i>	Máquina a máquina
<i>IAB</i>	Arquitectura del internet
<i>IEEE</i>	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos
<i>IT</i>	Tecnología de la información
<i>AR</i>	Realidad aumentada
<i>NIST</i>	Instituto nacional de estándares y tecnología
<i>UNE</i>	Una norma Española
<i>ECU</i>	Unidad de control del motor

Introducción

El proceso de industrialización comienza con la transformación de las condiciones del trabajo, al cambiar la mano de obra humana por maquinaria, esto se da con la invención del motor a vapor, el cual trajo consigo la primera revolución industrial, esta revolución ayudó a la expansión de la sociedad. La segunda revolución industrial nace con la energía eléctrica y la mejora de los procesos y cadenas de fabricación, al introducirse el concepto de producción en masa, logrando mejorar la productividad y aumentando fabricación de bienes, mediante el taylorismo y línea de ensamble, respectivamente. A comienzos de los años 1970 surge la tercera revolución industrial, con la inserción de la automatización en los procesos de fabricación, logrando aumentar la autonomía de las máquinas y reemplazando nuevamente la mano de obra humana. La cuarta revolución industrial que hasta la fecha experimentamos, puesto que recién comenzó, busca comunicar los productos con su medio, mediante una cadena de valor digital haciendo uso del Internet, con el fin de recolectar, analizar y tomar decisiones en tiempo real dentro de los procesos (Bartodziej, 2017).

Este trabajo busca plantear una reestructuración del mantenimiento automotriz, incorporándole a éste conceptos de la tecnología 4.0, para lograr gestionar el mantenimiento automotriz desde la perspectiva de los talleres. Para lograr esto, inicialmente se van a definir elementos que conforman la cuarta revolución industrial, entre los cuales están los nueve pilares de la industria 4.0 y los sistemas ciberfísicos. Posteriormente, se definen el concepto individual de mantenimiento, para luego definir el mantenimiento correctivo, predictivo y preventivo. Transversalmente, durante estos capítulos, se entrelazarán los conceptos de mantenimiento vehicular con la industria 4.0. Finalmente, basado en todo lo anterior se plantea una propuesta de reestructuración del mantenimiento automotriz que incorpora los conceptos de analítica *Big Data*, *cloud computing*, Internet de las cosas, sistemas ciberfísicos y el concepto de carro conectado.

Capítulo 1. Elementos que conforman la industria 4.0 y su alcance

La industria 4.0 se considera la cuarta revolución industrial, debido a que, a diferencia de las otras tres revoluciones industriales, esta integra la información con las tecnologías de comunicación y la tecnología industrial, introduciendo nuevos conceptos como el Internet de las cosas y los Sistemas Ciberfísicos (Zhou et. al., 2015), para definir un nuevo nivel de organización y control de las cadenas de valor y redefinir el ciclo de vida de los productos. Dicho ciclo, adicionalmente, involucra el rol humano dentro del ambiente de producción, al este transformar la industria para cumplir con las necesidades individuales de sus distintos clientes y operarios (Vaidya et. al., 2018).

El término “*Industrie 4.0*” aparece por primera vez en noviembre de 2011, introducido por el Gobierno Alemán como parte del marco de estrategia para la alta tecnología, en la feria de Hannover, cuya intención se centraba en posicionar a su país como un líder global de la entrante nueva industria (Zhou et. al., 2015). Al mismo tiempo, países de Asia y Estados Unidos buscaban promover su industria manufacturera a través de programas como la “manufactura avanzada” (s,a., 2013). En abril de 2013, el mismo Gobierno Alemán vuelve a retomar el concepto de cuarta revolución industrial, mediante las “Recomendaciones para implementar la iniciativa estratégica Industria 4.0”, presentadas por el Ministerio Federal de Educación e Investigación, con ayuda de la Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería, como un método para asegurar el futuro de la industria manufacturera alemana. En resumen, el enfoque de la cuarta revolución industrial alemana se basa en la manufactura inteligente soportada con la tecnología de los sistemas ciberfísicos (CPS), los cuales son sistemas que integran el mundo virtual con el mundo real. La cuarta revolución industrial además incorpora la descentralización de la producción y el incremento en la participación de los usuarios a través de experiencias de creación personalizada de los productos (Zhou et. al., 2015). Estos nuevos aspectos que incorpora la entrante revolución industrial, se pueden aplicar en el mantenimiento de la industria 4.0.

Antes de plantear un modelo de mantenimiento vehicular acorde con la industria 4.0, es necesario definir los nueve pilares de la cuarta revolución industrial, estos pilares se establecieron con el objetivo de transformar y optimizar celdas aisladas de producción en una cadena de producción completamente integrada y automatizada; aumentando la eficiencia, cambiando las interacciones entre proveedores, productores y cliente, y transformando la relación entre humano y máquina (Máquina – Internet (Nube) – Operario) (Vaidya et. al., 2018). A continuación, se va a explicar cada uno de estos.

1.1. Pilares de la industria 4.0

Para entender las bases de la cuarta revolución industrial es necesario tener en cuenta la complejidad y flexibilidad de los sistemas involucrados (Vaidya et. al., 2018), los cuales implementan redes interconectadas de poderosos y autónomos microcomputadores vía internet. Utilizando los sistemas ciberfísicos para conectar, almacenar y procesar datos con soporte en la Nube y redes inteligentes conectadas de transmisión. La nube es un espacio virtual que hace parte de la infraestructura de la tecnología de información y comunicación (ICT), para almacenamiento de grandes cantidades de datos obtenidas en tiempo real de un proceso (*Big data*) (s.a., 2013).

1.1.1 *Big Data* y analítica

El análisis de *Big data* volvió posible gestionar los datos a una escala más avanzada que las herramientas tradicionales (Witkowski, 2017), permitiendo procesar datos estructurados o no estructurados, obtenidos de diferentes fuentes y transmitidos a la nube. En contexto con la industria 4.0, la recolección, comprensión y evaluación de datos, se va a volver un estándar para soportar la toma de decisiones en tiempo real (Rubmann et. al., 2015). Puesto que, con esto, se logra optimizar la calidad de la producción y la logística de los procesos, generar ahorros de energía y mejorar el servicio de los equipos (Zhou et. al., 2015). De acuerdo con la definición de Forrester, el Big data consta de cuatro dimensiones:

- El volumen, que hace referencia a las grandes cantidades de datos que exceden la capacidad de herramientas ordinarias para su recolección, almacenamiento, manejo y análisis.
- La variedad, que hace alusión a las múltiples fuentes de recolección de datos.

- La velocidad de generación de datos para el análisis, al tomar datos en tiempo real se aumenta la velocidad de recolección, almacenamiento y procesamiento, lo cual conlleva a conclusiones correctas de los datos cambiantes, si esto se realiza de manera adecuada.
- La importancia de los datos, en donde el objetivo es aislar la información importante de la vasta cantidad de datos (Witkowski, 2017).

1.1.2 Internet de las cosas

El concepto de internet de las cosas fue creado por Kevin Ashton en 1999, pero desde la fecha este concepto se ha transformado en el Internet del Todo (IoE), el cual involucra a los procesos, las personas, los servicios y demás elementos que se puede cuantificar y medir (Witkowski, 2017), lo anterior se conoce como Internet de los servicios de manufactura (IoMs), Internet de los servicios (IoS) y el internet de las personas (IoP), respectivamente (Vaidya et. al., 2018). Para este trabajo se va a entender el Internet del Todo como la interconexión de todos los elementos medibles y cuantificables, a través de una red de comunicación M2M vía la nube-internet que permite la interacción entre el mundo real y virtual.

Existen varias definiciones del internet de las cosas. Siendo las más relevantes en esta investigación las siguientes (Bilal et. al., 2017):

- De acuerdo con la junta de arquitectura de internet (IAB), el internet de las cosas hace referencia a la red de objetos inteligentes interconectados comunicándose en presencia de protocolos inoperables para seres humanos, pero existentes en componentes del entorno tecnológico.
- Según la revista de comunicaciones del Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE), el internet de las cosas es la unificación de todas las cosas que tienen representación en la presencia del internet, de tal manera que nuevas aplicaciones y servicios permitan la interacción en el mundo físico y virtual en forma de comunicaciones máquina a máquina (M2M) en la nube.

Adicionalmente, el internet de las cosas proporciona una infraestructura centralizada de datos confiables en tiempo real para la toma de decisiones inmediatas soportadas en el historial del elemento de análisis (Chesworth, 2018).

1.1.3 *Cloud computing*

La cuarta revolución industrial incorpora la transmisión y procesamiento de datos a través de los diferentes sectores de las empresas para la toma de decisiones en tiempo real (Vaidya et. al., 2018). Esta transmisión y procesamiento de datos se realiza a través modelos computacionales en la nube, los cuales ofrecen diferentes servicios como el software, hardware, plataformas y otros recursos de la tecnología de la información (IT). Los usuarios utilizan estos recursos de la nube dependiendo de sus necesidades, convirtiendo los procesos computacionales en servicios flexibles y adaptables a su entorno dinámico (Zhou et. al., 2015). Con la incorporación de plataformas IT basadas en la nube aparecen conceptos como “la producción digital”, la cual se refiere a la conexión de diferentes dispositivos a la misma red (nube) para compartir información entre sí (Vaidya et. al., 2018).

1.1.4 Ciberseguridad

Con el incremento de la conectividad y el uso de protocolos estándares de comunicación en las empresas, se incrementa la necesidad de proteger elementos, sistemas y datos críticos dentro de las mismas (Rubmann et. al., 2015). Al unir el mundo digital con el mundo físico, aumenta la calidad de información requerida para modificar, registrar y optimizar los procesos (Vaidya et. al., 2018), la información de estos en muchos casos es propiedad intelectual sensible, la cual en caso de ser vulnerada cibernéticamente puede causar desde daños humanos hasta daños financieros. Razón por la cual uno de los mayores retos de la cuarta revolución industrial se basa en el desarrollo de protocolos de ciberseguridad más avanzados que los tradicionales. La ciberseguridad es la protección virtual de los datos presentes en la infraestructura de la tecnología de información y comunicación, es decir es la protección de los datos que se encuentran y se comunican por la red (Bilal et. al., 2017).

1.1.5 Manufactura aditiva

La manufactura aditiva es un proceso de deposición de material fundido capa por capa con el fin de obtener una pieza 3D (Bilal et. al., 2017). Con la industria 4.0, la manufactura aditiva va a ser utilizada para la fabricación de pequeñas cantidades de productos personalizados, debido a sus reducidos costos, capacidad de fabricación de geometrías complejas, disminución de peso, disminución de stock y disminución de tiempos del ciclo del producto (Vaidya et. al., 2018).

1.1.6 Realidad aumentada

La realidad aumentada (AR), muestra el ambiente real en una representación gráfica digital con contenido visual geo-localizado (Scurati et. al., 2017). Las industrias 4.0 pueden usar la realidad virtual para proporcionar a sus trabajadores información en tiempo real para mejorar la toma de decisiones, entrenamiento y ayuda de identificación de elementos, soporte técnico y mejora de los procedimientos del trabajo (Rubmann et. al., 2015).

1.1.7 Robots autónomos

Con la llegada de la industria 4.0, las empresas requieren una mayor intervención de dispositivos de inteligencia artificial (Zhou et. al., 2015). La función de un robot autónomo es realizar autónomamente acciones retroalimentadas por sí mismos, para completar tareas de la manera más precisa e inteligente posible dentro de los límites establecidos de operación. Con el paso de los días los robots se están volviendo más autónomos, flexibles, cooperativos e intercomunicados entre sí (Rubmann et. al., 2015).

1.1.8 Integración de sistemas

La integración de los sistemas se divide en integración horizontal e integración vertical, el objetivo de ambas es entregar una solución en donde el proceso se realiza de principio a fin por el mismo sistema o servicio (*end-to-end solution*) (s.a., 2013). En la integración horizontal se integra entre el recurso y una red de información dentro de la cadena de valor (Zhou et. al., 2015). La integración vertical hace referencia a la integración de varios sistemas IT en diferentes niveles jerárquicos (s.a., 2013).

1.1.9 Simulación

El diseño y desarrollo de un CPS necesita una cadena de valor que incluya la modelación, simulación, análisis y síntesis de sus componentes (Zhou et. al., 2015). El objetivo principal de la simulación es modelar el mundo físico en un mundo virtual en tiempo real, para analizar el comportamiento de un elemento bajo condiciones de operaciones reales, logrando sacar conclusiones que aumenten la calidad del producto (Vaidya et. al., 2018).

En cada uno de los pilares de la cuarta revolución industrial se ve presente el concepto de sistemas ciberfísicos. Debido a la importancia de estos se va a profundizar en este tema.

1.2. Sistemas ciberfísicos

Según el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), los sistemas ciberfísicos son sistemas inteligentes, integrados e interconectados que proporcionan nuevas funcionalidades para mejorar la calidad de vida y permitir avances tecnológicos en áreas críticas del conocimiento como lo son: la atención médica personalizada, el manejo del flujo de tráfico, manufactura inteligente, seguridad y uso y suministro de energía (NIST, 2017). La Figura 1, muestra interacción en los CPS entre el mundo físico y el mundo cibernético.

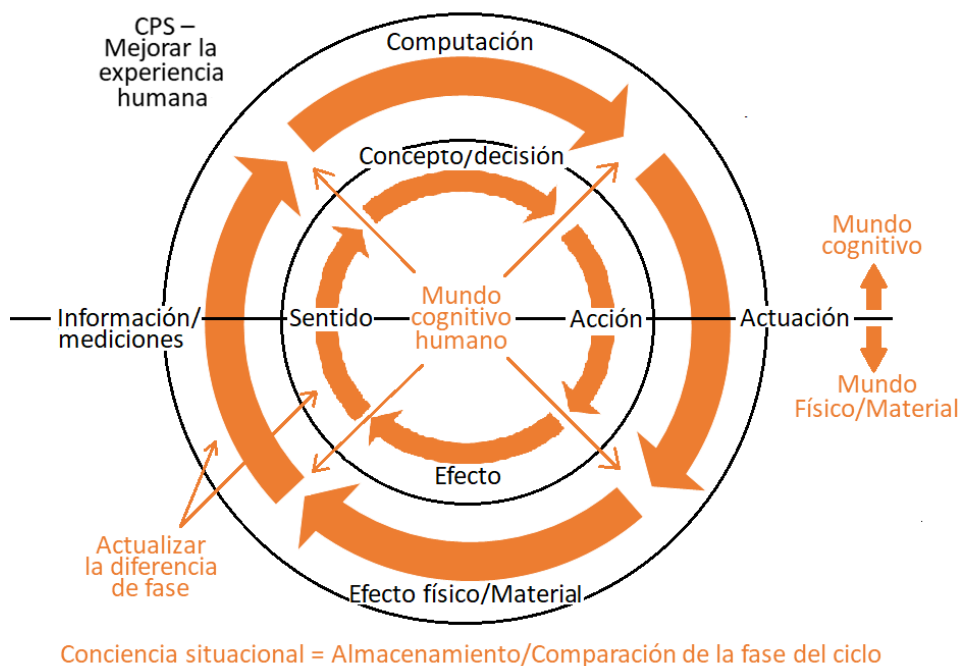


Figura 1. Ciclo cognitivo mejorado del CPS. Adaptado de [10].

Los CPS consisten de dos componentes funcionales: El primero es la conectividad avanzada que asegura obtención de datos en tiempo real del espacio físico al ciberespacio y la retroalimentación de información del ciberespacio al espacio físico. El segundo es el manejo inteligente de datos analíticos y la capacidad computacional para construir el ciberespacio (Lee et al., 2015). En este punto es fundamental diferenciar CPS del IoE, pese a que existen grandes similitudes entre sus conceptos, los CPS se emplean para distribuir, monitorear y controlar ambientes físicos a través de redes de elementos de recolección de datos específicos del comportamiento o de variables de operación, para generar retroalimentaciones que conlleven una acción de control profesional y autónomo del dispositivo inteligente sobre el elemento monitoreado. Por otra parte, el

IoE se enfoca en otorgar una plataforma general de intercomunicación entre el mundo físico y el mundo virtual con el uso de dispositivos inteligentes (Zhao et. al., 2019).

Debido al gran alcance de los sistemas ciberfísicos se delimitan los elementos críticos para la creación de un CPS, basándose en un el nivel de jerarquía 5C (conexión, conversión, cibernético, cognición y configuración) el cual abarca desde la etapa inicial de adquisición de datos hasta la etapa final de creación de una cadena de valor. La figura a continuación, muestra la estructura 5C (Lee et. al., 2015):

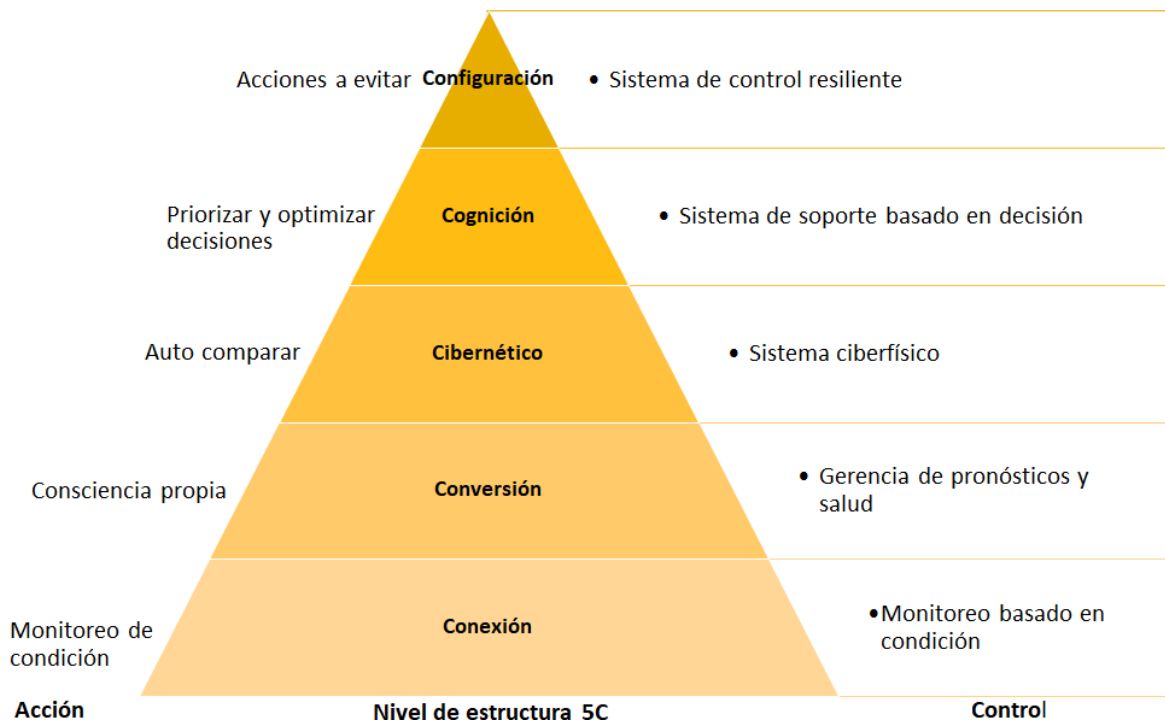


Figura 2. Estructura 5C para la implementación de sistemas ciberfísicos. Adaptado de [13].

La estructura 5C, consta de los siguientes elementos en orden jerárquico:

1. Configuración:

La configuración es la retroalimentación del ciberespacio al espacio físico en el que se aplican decisiones preventivas y correctivas, generando un control para que las máquinas se auto-configuren y auto-adapten mejorando sus condiciones de operación al evitar acciones innecesarias (Lee et. al., 2015).

2. Cognición:

Como se tiene la condición individual de cada máquina, así como la condición general del conjunto de máquinas, se necesita una correcta presentación de los datos y conocimientos

adquiridos, para la valoración profesional de las decisiones y acciones para optimizar el proceso (Lee et. al., 2015).

3. Nivel cibernético:

En el nivel cibernético se integra la información enviada en tiempo real desde cada máquina (conectada con la red de máquinas) al sistema central, para ser analizada individualmente extrayendo la información relevante del comportamiento individual respecto al grupal, otorgándole a la máquina la habilidad de auto compararse y retroalimentarse. Adicionalmente, conociendo el estado real de las máquinas y conociendo la información histórica de la misma se puede predecir su comportamiento futuro (Lee et. al., 2015).

4. Conversión de data a información:

Se deben tener máquinas autónomas con capacidad de discernir entre datos inservibles y datos importantes o datos de información útil. Para esto las máquinas hacen uso de la analítica de datos, expresada como algoritmos específicos para cada los pronósticos y correcto manejo de la máquina en cada aplicación (Lee et. al., 2015).

5. Conexiones inteligentes:

La adquisición, coordinación y transferencia de datos confiables de las máquinas y sus componentes al servidor central es el primer paso para desarrollar un CPS. La selección errónea de los sensores que son la fuente de los datos, así como de los protocolos de transferencia de datos, también se debe tener cuidado con el tipo de datos que se van a tratar debido un mal manejo de estos puede afectar la función de los CPS (Lee et. al., 2015).

Para entender el concepto de sistemas ciberfísicos, se propone analizarlo desde el concepto de carros conectado, en estos se entrelaza el mundo físico representado en el carro (con sus respectivos sensores) y el mundo virtual el cual consta de plataformas de comunicación y análisis en tiempo real.

1.2.1 Carros conectados

Los carros conectados son vehículos de transporte que están equipados con elementos inteligentes y son capaces de conectarse a internet para compartir información proveniente de distintos sensores ubicados estratégicamente para monitorear el vehículo y dar respuestas en tiempo real del funcionamiento del carro a su operario. A partir de los datos obtenidos de los carros

conectados se tiene información de los hábitos de conducción de los operarios, funcionamiento de los componentes del vehículo y el vehículo en general y el estado de los lubricantes. Teniendo esta información se procede a realizar acciones necesarias en pro a un correcto funcionamiento de los vehículos (Dhall et. al., 2017) (Chauhiru, 2017). La imagen a continuación, muestra la interacción ciberfísica presenta en los carros conectados:

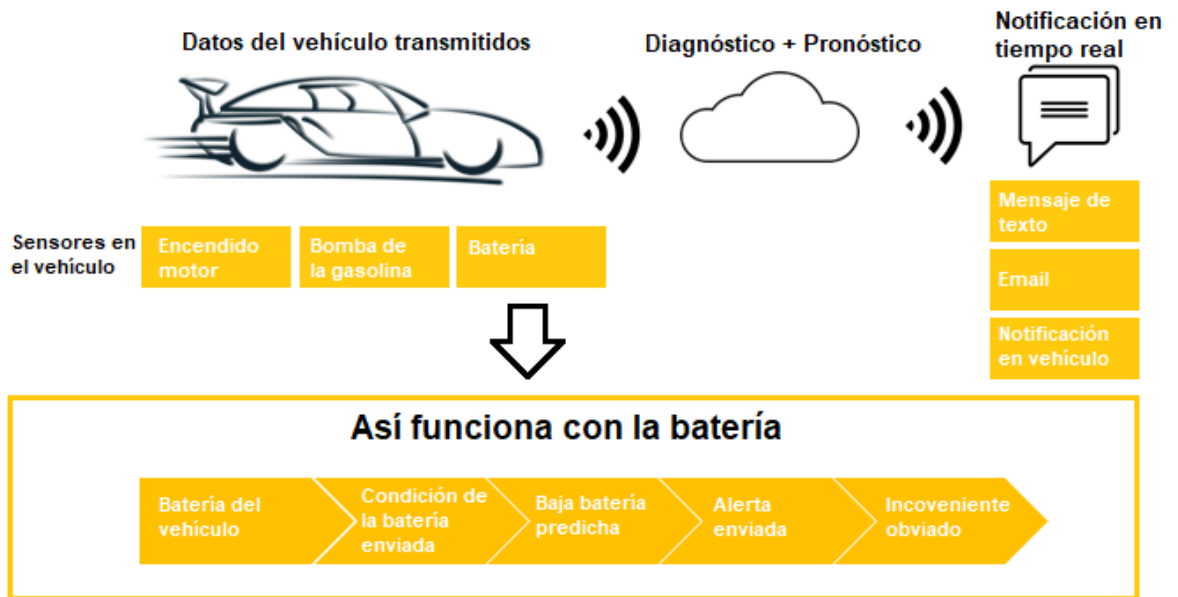


Figura 3. Interacción ciberfísica en carros conectados. Adaptado de [15].

Dentro de las posibles acciones que se puede realizar la principal es el mantenimiento. Debido a la esencia de los carros conectados que se basa en la toma de datos en tiempo real, el mantenimiento que se realizaría es el mantenimiento predictivo y preventivo. Para entender como están conectados los conceptos de carros conectados con mantenimiento, se procederá a entender el mantenimiento.

Capítulo 2. Mantenimiento automotriz

El organismo de normalización español Una norma española (UNE) define en la norma UNE-EN 13306 mantenimiento como la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo en un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida (UNE-EN, 2002). El mantenimiento se puede clasificar en mantenimiento correctivo u mantenimiento de operar hasta la falla, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo. Actualmente, la industria del mantenimiento automotriz se encuentra realizando mantenimiento correctivo y preventivo. Con la llegada de los carros conectados, se busca mejorar el servicio de mantenimiento vehicular al prestar el servicio de mantenimiento predictivo. Para entender este cambio en el tipo de mantenimiento, inicialmente se definirán los elementos principales de los mantenimientos correctivo y preventivo. Por último, se definirá el mantenimiento predictivo, junto con las ventajas al este estar ligado al concepto de los carros conectados (Cachada et. al., 2018).

2.1. Mantenimiento correctivo

Según UNE el mantenimiento correctivo, es un mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería, con el fin de que el elemento pueda volver a desarrollar una función requerida (UNE-EN, 2002). El mantenimiento correctivo también lo definen como una reparación no programada, debido a que los dispositivos se les permite operar hasta la falla, o sufren una falla no esperada (Cachada et. al., 2018). Este concepto está basado en la filosofía de “si no está rota, no la arregle”, la cual ha sido parte de los planes de mantenimiento desde que se construyó la primera planta de manufactura. Bajo la aclaración de que el hecho de que si no está rota no se debe arreglar, no conlleva a que a los dispositivos no se le realicen tareas preventivas básicas como lo es la lubricación, ajustes a la máquina y otros tipos de ajustes superficiales (Keith, 2004).

Esta filosofía es impulsada por la idea de reducir gastos en mantenimiento en el ciclo de operación del dispositivo, cuando en realidad es la metodología más costosa en el mantenimiento. Los incrementos en los gastos asociados con este tipo de mantenimiento se dan por: un alto inventario de partes de repuesto, ligado a un alto costo del inventario, mayor tiempo de espera en la reparación del dispositivo, lo cual va de la mano con mayores costos de tiempo muerto de los dispositivos y por último está la baja disponibilidad de los dispositivos, junto con la baja producción (Keith, 2004).

Este tipo de metodología de mantenimiento se ve presente en la industria automotriz, cuando un carro llega a repararse debido a un evento no programado generado por el reconocimiento de una falla, lo cual conlleva la reparación total o parcial de este para que el elemento averiado vuelva a cumplir su función requerida (UNE-EN, 2002) (Cachada et. al., 2018).

2.2. Mantenimiento preventivo

La UNE define mantenimiento preventivo como un mantenimiento ejecutado a intervalos predeterminados o por criterios predeterminados, con el objetivo de reducir la probabilidad de fallo o la degradación de funcionamiento de un elemento (UNE-EN, 2002). El mantenimiento preventivo hace alusión a una serie regular de acciones realizadas regularmente para disminuir la posibilidad de la falla. Este tipo de mantenimiento se realiza cuando los dispositivos se encuentran en funcionamiento y se planea junto con los recursos disponibles para cada acción (Cachada et. al., 2018). El cronograma de mantenimiento en el mantenimiento preventivo, usualmente se basa en las estadísticas del tiempo medio para la falla o curva de bañera, el cual establece que una máquina nueva tiene una alta probabilidad de fallar debido a condiciones de instalación y operación inicial, después de este periodo de “arranque” de la máquina la probabilidad de falla es relativamente baja por un periodo extenso de tiempo. Después de este periodo estable, la probabilidad de falla aumenta a sustancialmente con el transcurso del tiempo. Esto debido que en para el mantenimiento preventivo toda máquina tiene un tiempo de degradación. A continuación, se muestra el comportamiento de la curva de la bañera (Keith, 2002).

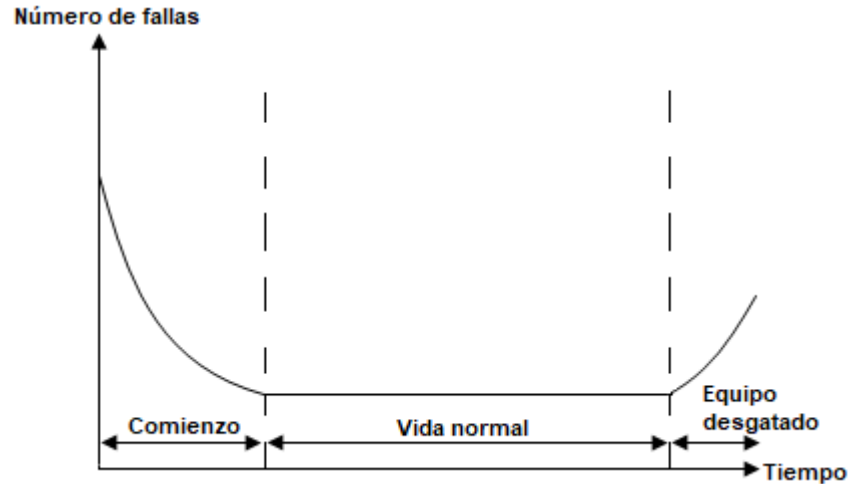


Figura 4. Curva típica de bañera. Adaptada de [19].

El mantenimiento preventivo se presenta en lo que las compañías automotrices llaman: “mantenimiento periódico”, bajo este tipo de mantenimiento, los dueños llevan sus vehículos a un servicio regular el cual se realiza en intervalos determinados de tiempo o distancia de uso del vehículo. A continuación, se muestra una línea de tiempo de cómo funciona el mantenimiento preventivo vehicular



Figura 5. Mantenimiento periódico de carros. Adaptada de [14].

2.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo según la UNE es el mantenimiento basado en la condición, ejecutado siguiendo una previsión, consecuencia del análisis y evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento (UNE-EN, 2002). El mantenimiento predictivo es una filosofía o actitud que aprovecha la condición actual o real de operación de una máquina o sistemas para optimizar su operación. Para lograr optimizar su operación se debe maximizar los intervalos entre reparaciones y minimizar el número y el costo de reparaciones no programadas ocasionadas por fallas. Lo anterior, se logra por medio de un constante monitoreo directo de las condiciones de operación y eficiencia de la operación, así como otros indicadores de operación específicos de cada aplicación, debido a los diferentes métodos y elementos de medición directa, el mantenimiento

preventivo es costoso. Paralelamente, mediante el uso del mantenimiento predictivo se puede mejorar la productividad, la calidad del producto y la efectividad, dependiendo de la intuición y la experiencia del gerente de mantenimiento.

Mediante el uso de planes de mantenimiento predictivo, se puede obtener data real de las condiciones de operación actuales de la máquina, con esta información se procede a programar actividades de mantenimiento e identificar tempranamente posibles fallas para minimizar su efecto o corregirlas. Al corregir tempranamente las posibles fallas el tiempo de degradación de la máquina puede extenderse. Para determinar estas fallas usualmente, se utilizan cinco técnicas no destructivas que son: monitoreo de vibraciones, monitoreo de los procesos de parámetro, termografía, tribología y inspección visual. Cada una de estas técnicas brinda al gerente de mantenimiento datos únicos para determinar la condición real de la máquina (Keith, 2002).

Como ya se expuso anteriormente, este tipo de mantenimiento no se utiliza actualmente en la industria automotriz, esto debido a que el costo de su implementación en cada vehículo es elevado, junto con la posible disminución de ingresos operacionales en los talleres de mantenimiento generada por la disminución de ingresos de clientes a los talleres.

2.3.1 Ventajas del mantenimiento predictivo vehicular

Dhall y Solanski en (Dhall et. al., 2017) postulan que, si se desarrolla un sistema en los vehículos usando sensores apoyados en el internet de las cosas. Logrando mediante estos sensores inteligente, recolectar y analizar las condiciones de operación de diferentes partes del carro, para ser enviados un sistema centralizado. En el cual se puedan analizar los datos y para dar respuesta a los usuarios de los vehículos, se puede:

- Reducir los costos de los servicios de mantenimiento, debido a que solo se reparan o cambian las partes necesarias para prevenir o corregir el fallo.
- Se pueden emitir alertas en tiempo real de posibles fallas, con la finalidad de evitar la generación de una avería, disminuyendo costos asociados con imprevistos.
- Los datos históricos como su respectivo análisis se pueden usar para saber el funcionamiento real del vehículo durante diferentes periodos de tiempo y en diferentes ubicaciones.

-
- Conocimiento de los hábitos de manejo para la toma de decisiones en torno a los posibles fallos.
 - Posibilidad de generar publicidad a partir de la información recolectada de todos los carros conectados (ejemplo: ofrecer descuentos en servicios y autopartes específicas para carros) para incrementar ingresos operacionales (Dhall et. al., 2017).

A partir de la información mencionada en los capítulos 1 y 2 se procede a plantear la incorporación del mantenimiento vehicular en la cuarta revolución industrial. A partir de ahora se van a utilizar los conceptos de internet de las cosas, sistemas ciberfísicos, carros conectados y mantenimiento correctivo, preventivo y predictivos, entendiendo cada concepto como se explicó anteriormente.

Capítulo 3. Mantenimiento vehicular

4.0

El principal componente adicional del mantenimiento vehicular 4.0, respecto al mantenimiento vehicular tradicional, es la incorporación de los sistemas ciberfísicos. Estos sistemas están compuestos por un mundo físico el cuál consta de los vehículos y sus respectivos sensores, el taller de mantenimiento incluyendo a sus trabajadores, los dueños de los vehículos que están siendo monitoreados y cualquier *stakeholder* que esté interesado en la información del vehículo o de los conjuntos de vehículos. Por su parte, el mundo virtual está compuesto por la recolección, transmisión y análisis de datos vía internet con respaldo en la nube. La imagen a continuación, muestra la relación entre mundo virtual y mundo físico:

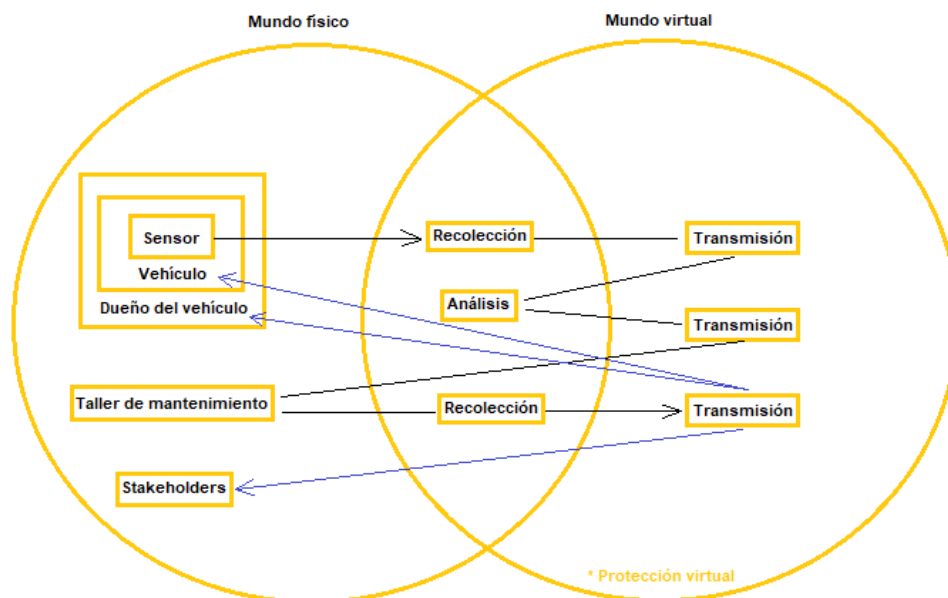


Figura 6. Conexión entre mundo físico y mundo virtual. Elaborado por el autor.

A partir de sensores ubicados dentro de los vehículos, se recolectan datos dentro de los componentes internos del vehículo (por ejemplo, dentro de la unidad de control del motor conocida como *ECU* por sus siglas en inglés), una vez recolectada una cierta cantidad de datos necesarios, se procede a cargar estos datos recolectados en la nube. Para esto, los datos recolectados en medio virtual son transmitidos vía internet a un sistema central de recolección, transmisión y análisis virtual soportado en la nube. Debido a la cantidad de datos que se tienen en el mismo sistema, se discriminan los datos funcionales de los datos inservibles mediante un *cloud computing*, y se realiza una analítica de *big data* para determinar los posibles fallos en los diferentes sensores. Con la información del análisis virtual, el personal del taller de mantenimiento verifica los resultados y se analizan diferentes aspectos aislados, no contemplados en la programación del análisis virtual. Con los datos del análisis virtual verificados y los nuevos datos físicos, se procede a tomar decisiones respecto a los datos anormales, luego, se carga la decisión y se registra lo sucedido en la plataforma digital. Esto se lleva al sistema central para ser transmitido al dueño del vehículo (o al operario, si es el mismo) con la intención de informar el estado del vehículo y las acciones a emprender. Paralelamente, se transmite la información al vehículo para detener o no su funcionamiento dependiendo de la gravedad de la falla. Por último, esta información se puede utilizar para todos los *stakeholders* que se puedan ver afectados directa o indirectamente con la falla, bajo la aclaración de que la información que se le otorga a los *stakeholders* debe ser seleccionada respetando al dueño del vehículo. Es decir, dentro de esta información no se contemplan ubicaciones y recorrido del operador del vehículo, ni ningún dato que vulnere la privacidad del mismo. Uno de los aspectos cruciales es la protección de la información digital, razón por la cual este aspecto enmarca los mundos físicos y virtuales, al estar unidos es necesario proteger la información procedente de ambos. Este estudio no se centra en la protección cibernética de la información, pero sí recalcar su importancia.

Teniendo en cuenta la relación del mundo físico y el mundo virtual en el entorno de los carros conectados, un aspecto importante a analizar es el manejo de los datos provenientes de los vehículos desde la perspectiva de los talleres de mantenimiento. Es decir, cómo a través de la información en tiempo real que proviene de estos vehículos, el taller puede gestionar su mantenimiento automotriz desde el punto de vista técnico y el de mercadeo/promoción.

Inicialmente, se hace una revisión completa del estado de cada uno de los sensores del carro como se puede ver en la figura 7. Para esto, se parte de una serie de datos entrantes provenientes de todos los sensores del vehículo, para cada uno de estos, se define su procedencia. Dado que cada dato viene de un elemento fijo dentro del carro como lo son los sensores, se sabe con certeza el

elemento de análisis. Una vez definida la procedencia de cada dato, se guarda en la base de datos del vehículo individual el estado inicial del sondeo. Se prosigue a identificar si se pueden analizar todos los datos, para esto es necesario el uso de un sistema central de monitoreo de condición en tiempo real. En el evento posible que no se puedan analizar se debe comenzar el proceso de informar la falla al taller de mantenimiento seleccionado por el dueño del vehículo, para que el sistema automáticamente envíe un comunicado virtual (bien sea por medio de un correo electrónico o en la pantalla del mismo carro) para acordar una cita entre el cliente y el taller de mantenimiento. Después de enviado el mensaje, se procede a ingresar la información anterior en la base de datos del vehículo individual y en la base de datos del grupo de carros. Por otro lado, en el evento posible que si se puedan analizar todos los datos, se prosigue a verificar si el vehículo tiene alguna anormalidad a partir de los datos provenientes de cada sensor del vehículo. Si el vehículo no presenta alguna anormalidad se informa al sistema central de monitoreo de condición en tiempo real del taller de mantenimiento para enviar un mensaje informativo del buen estado del vehículo al dueño del carro, posteriormente, se guarda el estado del carro en la base de datos del carro individual. En el caso que el vehículo presente al menos una anormalidad, se debe registrar cada dato anormal en el sistema central de monitoreo de condición en tiempo real, posteriormente, internamente el sistema debe analizar cada dato anormal registrado, para alimentar el análisis técnico.

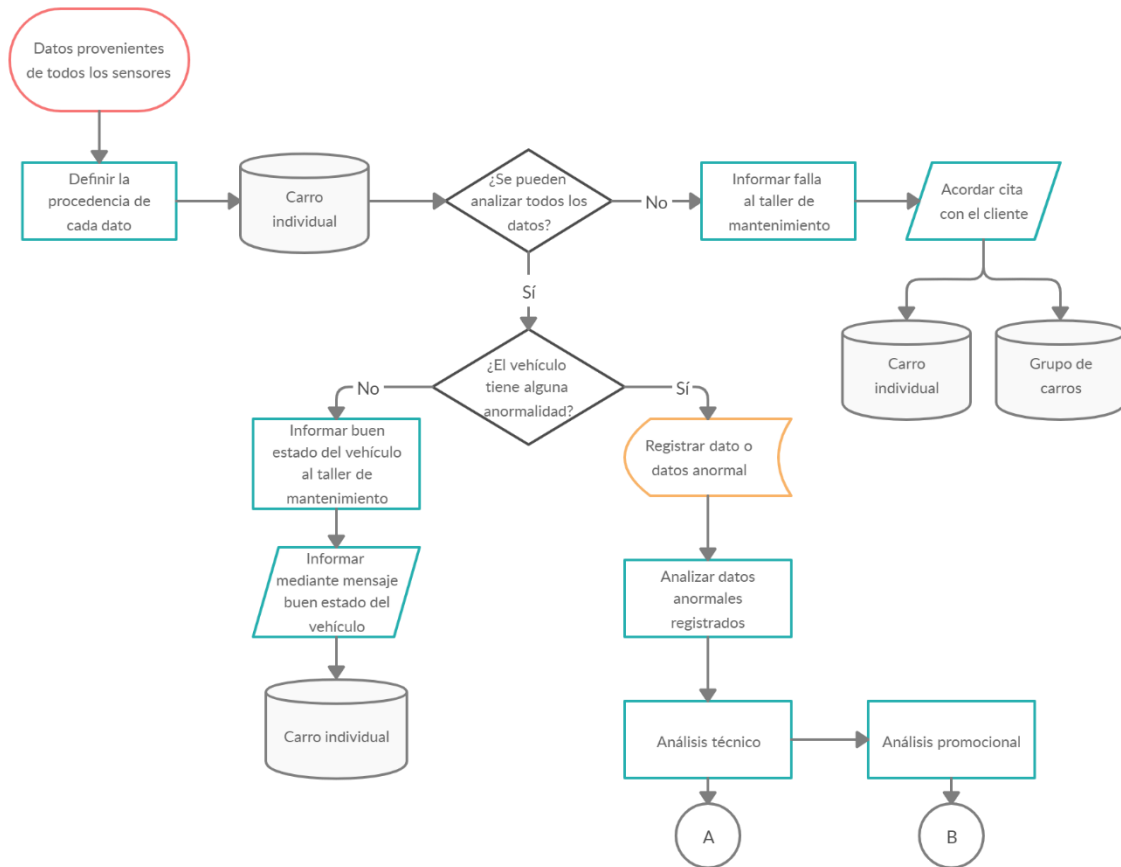


Figura 7. Análisis de los sensores del vehículo. Elaborado por el autor.

En el análisis del estado de los sensores del vehículo se entrelaza el mundo virtual con el mundo físico, se recolectan en una base de datos (virtual) los datos provenientes de una serie de sensores ubicados en el vehículo, esta recolección se hace mediante la transmisión de los datos del mundo físico al mundo virtual. Los datos son analizados en la nube de manera preliminar para identificar si el vehículo presenta alguna anomalía. Una vez determinadas las anomalías, se procede a realizar un análisis exhaustivo de las razones de las fallas, una por una, mediante un análisis técnico. Este análisis, se realiza en la unión del mundo virtual con el mundo físico. Para el análisis de estado de los sensores es importante aclarar que las únicas salidas presentes en este esquema son: acordar la cita con el cliente en el evento que no se puedan analizar al menos uno de los datos provenientes de los sensores e informar al cliente el buen estado del vehículo cuando al analizar la condición de los datos el resultado es que no se presenta ninguna anomalía. En el resto de escenarios el proceso realizado es netamente interno del sistema central de monitoreo de condición en tiempo real. Para

esta propuesta es importante realizar un histórico de la condición real de cada vehículo perteneciente a un taller de mantenimiento, razón por la cual siempre se deben registrar los datos en la base de datos de carro individual y en la base de datos del grupo de carros. Con la información de la base de datos de carro individual, se puede realizar un análisis completo del estado del vehículo a través de su vida útil, con el objetivo de utilizar esta información para retroalimentar las casas matrices y que estas puedan mejorar sus diseños con mayor rapidez. Adicionalmente, al conocer el estado real del comportamiento del vehículo, todas sus fallas, todos sus servicios de mantenimiento se pueden tener una mayor cantidad de beneficios que se explicarán al terminar el análisis promocional. Con la información de la base de datos del grupo de vehículos, se pueden realizar campañas promocionales para atacar segmentos grandes de vehículos que presenten la misma falla o fallas similares, con el objetivo de aumentar los ingresos de los talleres de mantenimiento al sacar estas campañas en tiempo apropiado.

Con los datos analizados se procede a realizar el análisis técnico como se puede ver en la Figura 8. Para esto, con cada dato registrado como anormal se debe definir su fuente, es decir de que sensor viene. Posteriormente, se debe buscar definir qué causó la falla, en el caso que esto no se pueda definir se genera un informe del estado del vehículo, en el cual se establece que se sabe de qué parte del carro viene la falla o fallas, pero no se puede definir cuál fue la fuente de la falla, este informe es enviado al dueño del vehículo vía internet, posteriormente, se incluye esta información en la base de datos del vehículo individual y en la base de datos del grupo de carros. En el caso que, si se pueda definir la fuente de la falla o fallas, se procede a registrarlas en el sistema central de monitoreo de condición en tiempo real. Una vez registradas las fallas internamente el sistema procede a procesarlas para definir los posibles efectos que estas pueden generar en el vehículo, después de definidos los efectos de la falla se proceden a clasificar según la gravedad de las mismas. Primero se realiza una clasificación por medio de la analítica de *big data* y el *cloud computing*, una vez otorgada la clasificación de la falla por el sistema central se procede a verificar los resultados obtenidos de manera virtual con un personal capacitado en el análisis de fallas para definir manualmente la gravedad de falla en alta, media o grave. Una falla de gravedad alta es aquella que genera la parada inmediata del vehículo debido a los posibles daños directos y colaterales que esta genera en la mecánica, electrónica, eléctrica del vehículo, razón por la cual, el taller de mantenimiento le envía al vehículo una advertencia para pararlo inmediatamente y al mismo tiempo se envía un mensaje al dueño del vehículo para programar una cita inmediata mediante un medio de comunicación virtual. Un ejemplo de una falla de gravedad alta es la ruptura del carter del motor. Una falla de gravedad media es aquella que permite que el carro pueda seguir en funcionamiento por un tiempo, pero si no

se arregla con prontitud puede afectar drásticamente el estado del vehículo, el procedimiento a realizar para estas fallas es programar una cita prioritaria con el cliente mediante un medio de comunicación virtual. Un ejemplo, de este tipo de falla es una pastilla de frenos desgastada. Por último, están las fallas de gravedad baja, estas fallas permiten un correcto funcionamiento del vehículo y los efectos que puede generar en el vehículo son minúsculos, para este tipo de fallas se programa una cita normal con el dueño del vehículo mediante un medio de comunicación virtual. Un ejemplo de este tipo de falla es un desbalanceo en las llantas. Sin importar la clasificación de la falla y la salida/respuesta dada por el taller se procede a registrar lo sucedido en la base de datos del carro individual y la base de datos del grupo de carros.

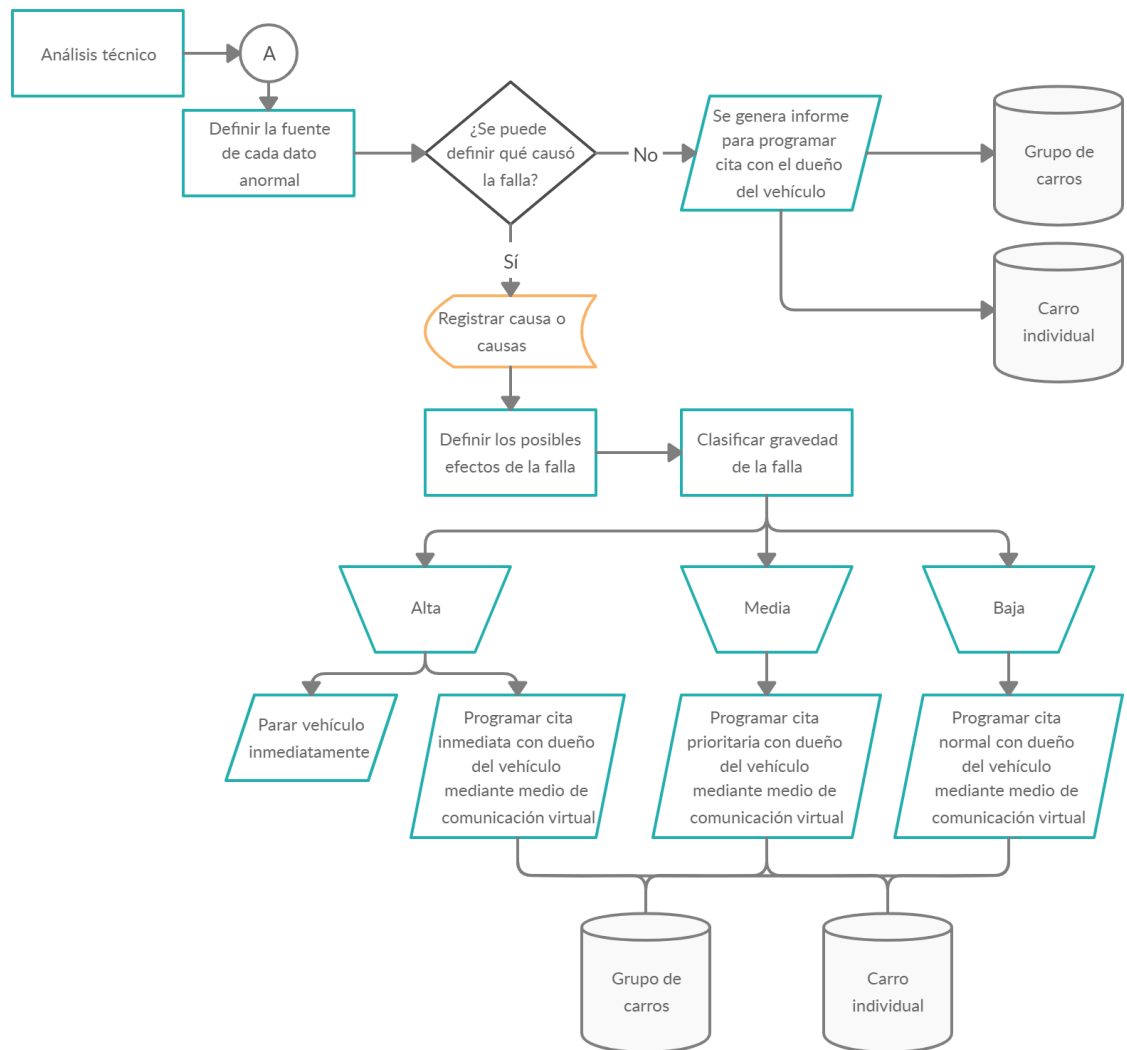


Figura 8. Análisis técnico del estado del vehículo. Elaborado por el autor.

El análisis técnico se debe realizar internamente mediante un sistema central de monitoreo de condición en tiempo real soportado en la nube capaz de generar pronósticos frente a las posibles causas y efectos del dato anormal, comparando el análisis efectuado del vehículo particular con las bases de datos del grupo de vehículos para identificar repeticiones de datos anormales en carros de la misma marca, modelo y año. Paralelamente, el sistema central de monitoreo de condición debe estar en la capacidad de priorizar, optimizar y tomar decisiones, al incorporar internamente un sistema dinámico de respuesta inteligente de condición. Este sistema es dinámico por que se retroalimenta constantemente con los datos obtenidos de los sensores de los diferentes vehículos y junto con la inteligencia artificial debe estar en capacidad de diferenciar la funcionalidad de los datos para realizar un análisis basado en la priorización y optimización de estos frente a la gravedad de las posibles causas y efectos. Generando como respuesta decisiones frente al estado del vehículo de análisis y ofreciendo a los talleres de mantenimiento la posibilidad de interactuar con el dueño y el vehículo en tiempo real. La respuesta virtual debe estar validada por un profesional especializado en el área de la falla, esto con el objetivo de dar una respuesta correcta, basada en dos métodos de verificación: el virtual y el físico. Adicionalmente, se debe buscar retroalimentar el sistema en torno a los sucesos o datos a los que éste no pueda llegar a una conclusión, para que en sucesos posteriores el sistema central auto aprenda y optimice el resultado.

La respuesta del análisis técnico siempre debe estar ligada a un análisis promocional. Pese a que el resultado del análisis técnico siempre va a estar relacionado con las acciones que debe tomar un taller de mantenimiento para evitar, corregir, o predecir fallas, la respuesta del taller de mantenimiento debe trascender del carácter netamente técnico. Si la respuesta adicionalmente tiene una respuesta promocional, los talleres de mantenimiento pueden empezar a aprovechar lo más valioso que ellos tienen que son los datos, para generar una mayor cantidad de ingresos y atacar paralelamente la deserción de sus clientes e incorporar nuevos clientes.

El análisis promocional propuesta está en la figura 9. Como se mencionó anteriormente, este análisis está ligado a los resultados del análisis técnico, pero adicionalmente contempla el histórico de la base de datos general de vehículos del taller de mantenimiento, esta base de datos contiene la totalidad de vehículos que el taller de mantenimiento atiende e internamente se encuentra separada por las bases de datos del grupo de vehículos. Inicialmente se tiene que hacer el análisis del cliente individual para esto se tiene que revisar si el cliente atendió a la cita programada, si atendió a esta cita se le muestran los resultados obtenidos mediante un mensaje enviado a través de internet, si el cliente no atendió a la cita se le envía un mensaje al cliente informándole las respectivas repercusiones que esto pueden conllevar si sigue utilizando el carro pese a tener a una falla. Una vez

enviado este mensaje se prosigue a revisar si el cliente atendió o no a la advertencia, si el cliente la tuvo en cuenta, agendó una cita y asistió a ella se le muestran los resultados obtenidos mediante un mensaje enviado a través de internet, si el cliente no atendió a la advertencia se le afectan las garantías del vehículo si esto aplica, si esto no aplica, se debe generar una campaña de recuperación del cliente, esta campaña puede diferir según el cliente, inicialmente se debe comunicar un personal de ventas con el dueño del vehículo para comprender su situación, después de esto se debe realizar una campaña personalizada por cliente para recuperarlo.

El segundo análisis que se debe realizar es un análisis grupal de los vehículos que son clientes del taller de mantenimiento. Para esto, se debe verificar si hay más carros con el mismo tipo de falla, si no hay vehículos que presenten la misma falla los datos de la falla y el vehículo se ingresan a la base de datos general de carros, si existen carros con la misma falla se procede a analizar la falla común. En este punto es fundamental determinar si la falla o fallas son genéricas de cada grupo de vehículos de la misma marca, modelo y año, si las fallas son genéricas se procede a activar los protocolos de llamada de vehículos, si las fallas no son genéricas se analizan las repercusiones de la falla. Paralelamente, se debe analizar si la falla genera problemas de seguridad a los pasajeros y si la falla genera riesgo al medio ambiente. Si la falla no genera problemas de seguridad a los pasajeros y la falla no genera riesgos al medio ambiente se ingresa este resultado en la base de datos general de los carros. Si la falla genera problemas de seguridad a los pasajeros se genera una campaña de descuento por arreglo de fallas y si la falla genera riesgo al medio ambiente se debe informar al ente competente de cuidado medioambiental del país donde reside el vehículo y posteriormente, se genera una campaña de descuento por arreglo de fallas.

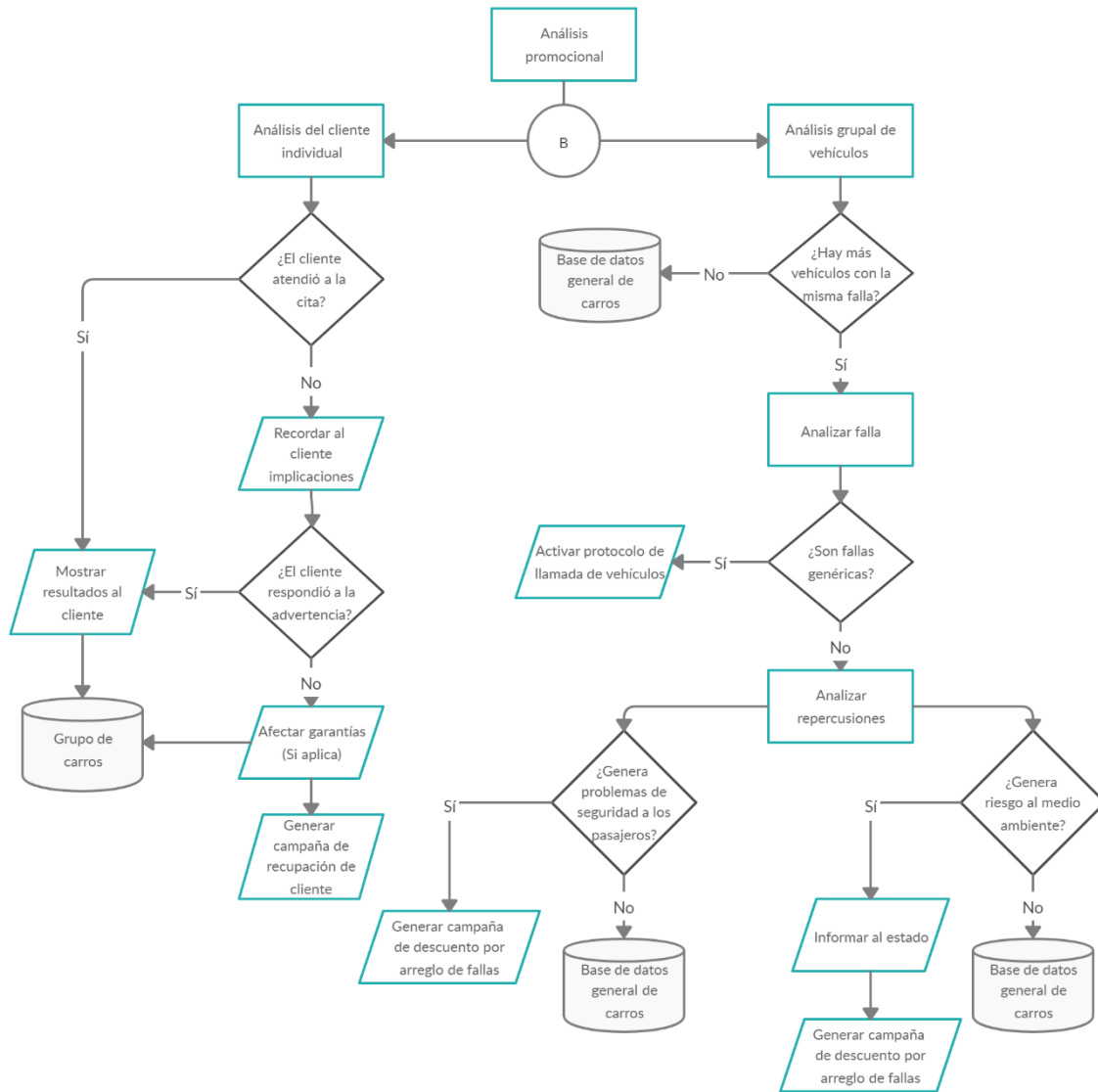


Figura 9. Análisis promocional. Elaborado por el autor.

Para la propuesta, el análisis de datos, el análisis técnico y el análisis promocional están dentro de una perspectiva global de los datos. Entendiendo esto como la libertad que debe tener cada propietario de su vehículo de compartir los datos provenientes del mismo en plataformas globales digitales de acceso libre, junto con la obligatoriedad que debe tener cada taller de mantenimiento automotriz de alimentar las bases de datos de la misma plataforma con el histórico de los servicios realizados a cada vehículo. Esta globalización de la información de los sensores tiene una salvedad y es al momento de subir los datos al sistema un nacional o internacional, puesto que al estos presentar un retraso en el tiempo, el taller de mantenimiento que los tiene en su posesión puede

generar ventajas significativas frente a un buen tiempo de respuestas de un análisis promocional, respecto a los competidores directos. Globalizando e uniformando en una misma plataforma digital el comportamiento real de cada vehículo, junto con su historial de mantenimiento y con la estrategia de mantenimiento 4.0 propuesta, se pueden mejorar los siguientes aspectos en la industria automotriz:

- **Compra/Venta de vehículos:** Al tener en un sistema nacional centralizado con el historial de cada vehículo, las personas pueden conocer cómo fue el proceso de mantenimiento, en qué taller se realizó el mantenimiento, cada cuánto se realizaron los mantenimientos y qué se realizó en cada mantenimiento. La persona que va a vender el vehículo puede ofrecer su vehículo a un mayor precio si el historial del vehículo y los cuidados realizados a este fueron mejores que los de otra persona dentro del rango de precios establecido por el mercado. Por otra parte, si una persona va a comprar un vehículo puede tener con absoluta certeza del estado real en el cual el vehículo se encuentra. Es importante tomar en cuenta que al ser carros conectados que están transmitiendo su estado en tiempo real a través de sensores, se puede conocer el desempeño del vehículo desde que este comenzó a ser usado y cada anomalía de algún dato queda registrada en la base de datos del taller de mantenimiento, el cuál debe subir estos valores anormales a los sistemas del estado.
- **Control de emisiones contaminantes:** Cada carro debe contar con un sensor de medición de gases contaminantes, logrando con esto conocer el comportamiento en tiempo real de las emisiones de los vehículos. Esto conlleva a un control más riguroso de la norma (de cada país) y una mejora a la salud pública y a la contaminación medioambiental.
- **Garantías:** Al tener información del estado en tiempo real del carro conectado, se puede verificar si en algún momento su estado ha sido alterado por terceros para afectar las garantías de compra del vehículo o las garantías de un arreglo del taller de mantenimiento. Adicionalmente, si la persona dueña del vehículo somete el vehículo a condiciones no apropiadas, como cambios de aceite fuera de los tiempos establecidos por el fabricante, se puede entrar a disminuir el tiempo de garantía del vehículo.
- **Disminución de costos de mantenimiento:** Los costos de mantenimiento son menores para el mantenimiento predictivo, como la principal función de los carros conectados

es analizar el *big data* mediante la analítica y el *cloud computing*, en la mayoría del tiempo se estaría realizando un mantenimiento predictivo junto con un mantenimiento preventivo para disminuir los casos de mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo puede de todas maneras pasar como en el caso de un accidente, pero esos sucesos son ajenos al trabajo del taller de mantenimiento. Por esta razón se disminuyen los costos de mantenimiento para el cliente.

- **Identificación de errores de fábrica en vehículos:** Mediante la analítica del *big data*, el *cloud computing* y la verificación del personal capacitado en análisis de fallas, se pueden identificar errores provenientes de fábrica. La identificación de errores de fábrica está unida al análisis promocional puesto que, en este, cada taller de mantenimiento tiene que realizar una verificación en tiempo real de la totalidad de sus vehículos conectados, logrando identificar fallas comunes en vehículos del mismo modelo, serie y año.
- **Incremento en ingresos para los talleres:** Un taller de mantenimiento que sepa desarrollar correctamente su análisis promocional está en la capacidad de aumentar sus ingresos al atacar la deserción de cliente, generar campañas de descuentos de autopartes en el momento y cantidad adecuados, gestionar el inventario para reducir los activos (autopartes), organizar de manera óptima y priorizada la atención al usuario, una atención personalizada por cliente y vehículo, así como la posibilidad de retroalimentarse en torno a los servicios prestados para mejorar. Lo anterior conlleva a un posible incremento de clientes, una menor pérdida de tiempo en el taller, una menor cantidad de activos quietos y una mayor cantidad de ingresos al realizar un correcto análisis promocional.
- **Manufactura aditiva para repuestos:** Al conocer el estado de los vehículos en tiempo real, se puede buscar reducir el inventario de repuestos, esto se logra mediante la incorporación de la manufactura aditiva soportada en el análisis de técnico. Cuando el análisis técnico determina la razón de falla, el sistema dinámico de respuesta inteligente de condición puede enviar una señal de alerta para programar la manufactura de la pieza o las piezas necesarias para reparar el daño. La confirmación de la producción de pieza va ligada al análisis promocional, debido a que en este se encuentra la respuesta brindada por el cliente individual para atender a cita. En caso de

que el cliente acepte la cita y requiera la pieza, se procede a manufacturarla. Con esto se logran reducir costos de los repuestos y disminuir el inventario de los mismos.

Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

El concepto de carros conectados permite entrelazar el mundo virtual con el mundo físico, para dar origen al concepto de mantenimiento automotriz 4.0. Este concepto, se basa en pilares de la industria 4.0 como lo son el *big data* y su analítica, el *cloud computing*, el internet de las cosas y la ciber seguridad y conceptos transversales entre los pilares como los sistemas ciberfísicos. Al ser los carros conectados un sistema ciberfísico, el cual está equipado con elementos inteligentes y en la capacidad de conectarse a internet para compartir información proveniente de distintos sensores, se puede conocer el estado real de cada elemento de vehículo mediante el uso de un sistema central de monitoreo de condición en tiempo real. Este sistema es el encargado de recolectar, transferir, analizar y dar respuesta de los datos, para encontrar anomalías y reportarlas al taller de mantenimiento para que este le otorgue respuesta inmediata tanto al mismo vehículo como a su dueño. Es importante tener un esquema de ciberseguridad, para evitar que los datos privados del dueño del vehículo sean vulnerados y que para asegurar que taller de mantenimiento pueda responder en tiempo real mediante un análisis promocional sin datos filtrados. Pese a que se propone que la información de los sensores se globalice es importante tener en cuenta el momento de la globalización puesto que subir los datos al sistema un nacional o internacional con un retraso en el tiempo puede generar ventajas significativas en las respuestas de un análisis promocional.

Los talleres de mantenimiento deben incorporar en su estructura interna un componente de análisis promocional, debido a la gran cantidad de información aprovechable que obtienen del monitoreo del funcionamiento y rendimiento de cada vehículo. Con esta información, se puede atacar al cliente individual al brindar un servicio personalizado de monitoreo de condición del vehículo en

tiempo real, con el cual se pueda lograr una reducción en los gastos de mantenimiento, un mejor entendimiento de la condición real del vehículo, un posible mejor precio de venta del vehículo y una retroalimentación en tiempo real de lo ocurrido durante la estadía del vehículo en el taller de mantenimiento. Con la información, también se puede atacar un grupo selecto de clientes cuyos vehículos estén presentando la misma falla o una falla similar, con el objetivo de sacar campañas de descuento frente a un servicio o autoparte requerida; contribuir a las reglamentaciones medio ambientales; y generar una retroalimentación a las casas matrices respecto a posibles fallas genéricas en los vehículos para activar un protocolo de llamada de vehículos. De acuerdo con los anteriores planteamientos, al incorporar la respuesta de un análisis promocional basado en el análisis técnico de cada vehículo, se cambia la dinámica entre el usuario/dueño de un vehículo y el taller de mantenimiento, a un ambiente personalizado. Adicionalmente, al analizar las bases de datos generales de los carros con un sistema dinámico de respuesta inteligente de condición, se puede aprovechar el Big Data para generar una respuesta que conlleve a una mejora en las condiciones del taller de mantenimiento para optimizar recursos, tiempo y dinero.

4.2. Recomendaciones

Dado que el tema del mantenimiento vehicular 4.0 es un tema que hasta ahora comienza a surgir a nivel mundial, la reestructuración de la gestión del mantenimiento automotriz con la incorporación de un análisis de datos para alimentar un análisis promocional debe ser probada para su verificación en la práctica. Por consiguiente, para futuros proyectos se buscará realizar la puesta en marcha, verificación y tecnificación de la propuesta, con el fin de comprobar su validez.

Bibliografía

- [1] Bartodziej, C. «The concept industry 4.0: An empirical analysis of technologies and applications in production logistics» *Springer Gabler*, vol. 1, p. 27, 36. 2017.
- [2] Zhou, K., Taigang, L. & Lifeng, Z. «Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges». *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*.
- [3] S. Vaidya, P. Ambad, S. Bhosle. «Industry 4.0 A glimpse» *El sevier*. 2018
- [4] «Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0». acatech, forschung union. Abril 2013.
- [5] K. Witkowski, «Internet of Things, Big Data, Industry 4.0- Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management», *7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management, Procedia Engineering* 182(2017) 763-769.
- [6] M. Rubmann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner, J. Justus, P. Engel, M. Harnisch, «Industry 4.0 – the future of productivity and growth in manufacturing» *The boston consulting group*. 2015.
- [7] M. Bilal, , «A review of internet of thing architecture, technologies and analysis smartphone based attacks against 3d printers» *Zhejiang University*. 2017.
- [8] D. Chesworth, «Industry 4.0 techniques as a maintenance strategy» *ReserchGate*. 2018.
- [9] G. Scurati, M. Gatutullo, M. Fiorentino, F. Ferrise, M. Bordegoni, A. Uva «Converting maintenance actions into standard symbols for augmented reality applications in industry 4.0» *El sevier*. 2017.
- [10] NIST. «Framework for cyber physical». 2017.
- [11] Lee, J. Davari, H. Yang, S. Bagheri, B. «Industrial big data analytics and cyber-physical systems for future maintenance & service innovation» *El sevier*. 2015.
- [12] Zhao, H. Zheng, C. Dzapó, H. Liu, S. Guo, Y. Gao, X. Wu, T. «A perspective on the applications of energy cyber physical systems (e-CPSs) in ultra low emission coal fired power plants» *El sevier*. 2019.
- [13] Lee, J. Bagheri, B. Kao, H. «A cyber-physical systems architecture for industry 4.0 based manufacturing systems» *El sevier*. 2015.
- [14] R, Dhall. V, Solanki. «An IoT Predictive connected car maintenance approach». *International journal of interactive multimedia and artificial intelligence*. 2017.
- [15] A, Chauhiru., «Predictive maintenance for industrial IoT of vehicle fleets using hierarchical modified fuzzy support vector machine » *Samsung R & D Institute Delhi*. 2017
- [16] Una norma española, «Norma UNE-EN 13306». 2002.
- [17] A, Cachada. J, Barbosa. P, Leitao. C, Geraldés. L, Deusdado. J, Costa. C, Teixeira. J, Teixeira. A, Moreira. P, Moreira. L, Romero «Maintenance 4.0: Intelligent and predictive maintenance system architecture» *Research centre in digitalization and intelligent robotics*. 2018.

[18] R, Keith «Maintenance fundamentals» *El sevier*, vol. 2, 2004.

[19] R, Keith «An introduction to predictive maintenance» *Butterworth Heinemann*. 2002.