



MASTER EN INGENIERÍA DE AUTOMOCIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Industria 4.0: Retos y Oportunidades en las Factorías de Automoción

Autor: D. Edgar Daniel Oliva Navarro.

Tutor: D. Francisco V. Tinaut Fluixá.

Valladolid, enero de 2018

Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing^a Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce 59

47011 Valladolid
(España)



Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España





Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing^a Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce 59

47011 Valladolid
(España)



Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España



Industria 4.0: Retos y Oportunidades en las Factorías de Automoción

RESUMEN BREVE

Palabras clave: Industria 4.0, Fábrica inteligente, I4.0 en automoción, visión artificial, modelo de fabricación en I4.0.

El presente TFM presenta las diferentes tecnologías en que se sustenta el concepto de la Industria 4.0. En el desarrollo del TFM se presentan los conceptos relacionados con: Big Data, Cloud Computing, Internet of Things, Robótica, Visión Artificial y Fabricación Aditiva. Se presenta a detalle un sistema multipropósito de la tecnología de visión artificial utilizada como habilitantes de la I4.0, así como ejemplos de aplicación del mismo dentro del área de automoción.

El principal enfoque del trabajo es mostrar el cambio que se genera al aplicar el concepto de la Industria 4.0 en las fábricas del sector de automoción, lo que lleva a afrontar los diferentes retos y aprovechar las oportunidades que se generan en torno al cambio de los modelos de fabricación, el modelo de negocio de la empresa y las nuevas oportunidades de negocio que abre la I4.0.

Industry 4.0: Challenges and Opportunities in the Automotive Factories

SHORT ABSTRACT

Keywords: Industry 4.0, Smart factory, I4.0 in the automotive sector, artificial vision, manufacturing model in I4.0.

The present TFM presents the different technologies on which the concept of Industry 4.0 is based. In the development of the TFM the concepts related to: Big Data, Cloud Computing, Internet of Things, Robotics, Artificial Vision, Augmented Reality and Additive Manufacturing are presented. A multipurpose system of artificial vision technology used as enablers of I4.0 is presented in detail, as well as examples of its application in the automotive area.

The main focus of the work is to show the change that is generated when applying the concept of Industry 4.0 in the factories of the automotive sector, which leads to face the different challenges and take advantage of the opportunities that are generated around the change of models of manufacturing, the business model of the company and the new business opportunities that the I4.0 opens.

Industria 4.0: Retos y Oportunidades en las Factorías de Automoción

RESUMEN EJECUTIVO

La Industria 4.0 (I4.0) es un concepto que tiene sus inicios en Alemania en el año 2011, haciendo referencia a la transformación digital de la industria. Actualmente se ha tenido un gran avance tecnológico en el que destaca el uso del internet, de tal manera que el internet “tradicional” se ha convertido en internet industrial, lo que abre las puertas para un mundo nuevo de posibilidades dentro de la industria. El internet se considera uno de los principales habilitantes de la I4.0 convirtiéndose a lo que hoy en día se le llama el **internet de las cosas (IoT)**, debido a la convergencia que existe con las **tecnologías de la información (TIC), la robótica y la sensórica**.

El **concepto de la I4.0** se refiere al uso combinado de las diferentes tecnologías que actualmente muchas ya están en uso, y otras cuantas están terminando de desarrollarse. Se consideran como **tecnologías habilitantes** tales como Big Data, Robótica, Visión Artificial, Cloud Computing, Internet of Things, Realidad Aumentada, Fabricación Aditiva.

Las tecnologías habilitantes se consideran entre las más importantes debido a que combinándolas cumplen con el propósito general de la I4.0 en el área de automoción. Dicho propósito es llegar al punto donde las diferentes máquinas se organicen solas mediante el uso de las diferentes tecnologías, formando lo que se conoce hoy en día como **fábrica inteligente**. Con ello, la factoría estará completamente **automatizada y e integrada con IoT**, para llegar a ser capaz de tener una auto-optimización en base todos los datos recibidos por las diferentes máquinas, mientras que, con la implementación de Big Data y Cloud Computing, se podrán decisiones de manera automática.

Se considera la **visión artificial** como una tecnología habilitante clave para la correcta integración de robots en las líneas o puestos de producción. Los **sistemas de visión multipropósito** permiten tener la flexibilidad necesaria para cumplir diferentes tareas tales como: guiado de robots, presencia o no presencia de piezas, lectura de códigos, inspección de puntos de calidad críticos, etc. Un sistema de visión multipropósito presenta una gran gama de **iluminación**, con el fin de poder ajustarse a un problema en concreto, siendo para ello necesario tomar en cuenta el tipo de cámara, lente e iluminación, así como las características de la pieza o producto al cual se aplique el sistema de visión.

Aplicar el concepto de la I4.0 conlleva a realizar cambios importantes, lo que comprende a afrontar nuevos retos y aprovechar las ventajas que ofrece la Industria 4.0. Para ello se analiza como dicho concepto afecta en el proceso de fabricación cambiando el modelo de fabricación “tradicional”, a un modelo donde los **procesos de producción se optimizan a través de sistemas integrados** mediante el uso del IoT a lo largo de la cadena de valor, dando como resultado que los diferentes puestos de trabajo o líneas de fabricación sean reemplazadas por líneas de producción conectadas y automatizadas con robots industriales y/o colaborativos. Al implementar el uso de robots, máquinas inteligentes y productos inteligentes que se comunican entre sí, la flexibilidad de los procesos de fabricación aumentará.

La **fábrica ideal de vehículos** consiste en un modelo de fábrica donde la implementación del concepto de I4.0 está totalmente desarrollado, englobando cuatro aspectos principales: **fabricación, negocio, producto y cliente**.

A **nivel de fabricación**, la fábrica ideal requiere un cambio radical de los diferentes procesos, de tal manera que es posible englobarlos e integrarlos. Para ello se proponen cinco características de los sistemas de fabricación, los cuales permiten la integración de los diferentes equipos y recursos, para realizar las diferentes operaciones de producción/montaje, con diferentes niveles de automatización y flexibilidad: **Líneas automatizadas** de estación única, **sistemas de ensamblaje automatizado**, **sistemas de fabricación flexible**, **sistemas de fabricación integrados por computadora** y **sistemas de fabricación reconfigurables**.

Alcanzar el concepto de fábrica ideal no necesariamente tiene que seguir un único patrón o camino, sino que se basa en el uso de las tecnologías habilitantes y en los diferentes avances tecnológicos que se están produciendo.

Las empresas de fabricación de vehículos deben de enfocar el concepto de la **fábrica ideal como un objetivo futuro**, pero tomando precauciones y realizando diferentes análisis para la correcta **implementación e inversión en capital**. A nivel interno las diferentes empresas del sector de automoción tendrán que realizar grandes inversiones en nuevos recursos (robots, máquinas, sensores, etc.), y principalmente la inversión más grande se centrará en servidores dedicados para la parte informática que comprende la implementación del IoT, Cloud Computing, Big Data. Este punto es crítico, debido a que la integración del IoT, Big Data y Cloud Computing requerirá de sistemas de seguridad para la protección de datos, así como de sistemas de almacenamiento y una red con un ancho de banda capaz de transmitir y almacenar todo el volumen de datos generados a nivel de factoría, así como a nivel corporativo.

La correcta integración del IoT, Cloud Computing y Big Data abrirá las puertas a **nuevas oportunidades** para las empresas del sector de automoción, lo cual podrá generar nuevos ingresos. Aún más importante, podría aumentar la red de socios, con lo que el nivel de colaboración aumentaría, pudiendo innovar o generar nuevas tecnologías propias, e implementarlas como servicios.

Industry 4.0: Challenges and Opportunities in the Automotive Factories

EXECUTIVE ABSTRACT

Industry 4.0 (I4.0) is a concept that has its beginnings in Germany in 2011, referring to the digital transformation of the industry. Currently there has been a technological breakthrough in which the use of the internet stands out, in such a way that the "traditional" internet has become an industrial internet, which opens the doors for a new world of possibilities within the industry. The Internet is considered one of the main enablers of I4.0, converting to what is now called the Internet of Things (IoT), due to the convergence that exists with information technologies (ICT), the robotics and sensorics.

The concept of I4.0 refers to the combined use of different technologies that currently many are already in use, and a few others are just developing. They are considered as enabling technologies such as Big Data, Robotics, Artificial Vision, Cloud Computing, Internet of Things, Augmented Reality, and Additive Manufacturing.

Enabling technologies are considered among the most important because they combine with the general purpose of I4.0 in the automotive area. This purpose is to reach the point where different machines are organized by themselves using different technologies, forming what is known today as an intelligent factory. With this, the factory will be fully automated and integrated with IoT, to become able to have a self-optimization based on all the data received by the different machines, while, with the implementation of Big Data and Cloud Computing, it will be possible to decisions automatically.

Artificial vision is considered as a key enabling technology for the correct integration of robots in production lines or positions. The multipurpose vision systems allow to have the necessary flexibility to fulfill different tasks such as: robot guidance, presence or non-presence of parts, reading of codes, inspection of critical quality points, etc. A multipurpose vision system presents a wide range of lighting, in order to be able to adjust to a specific problem, being necessary to take into account the type of camera, lens and lighting, as well as the characteristics of the piece or product which the vision system applies.

Applying the I4.0 concept entails making important changes, which includes facing new challenges and taking advantage of the advantages offered by Industry 4.0. For this, it is analyzed how this concept affects the manufacturing process by changing the "traditional" manufacturing model, to a model where the production processes are optimized through integrated systems through the use of the IoT along the value chain, resulting in that the different jobs or manufacturing lines are replaced by production lines connected and automated with industrial and / or collaborative robots. By implementing the use of robots, intelligent machines and intelligent products that communicate with each other, the flexibility of manufacturing processes will increase.

The ideal vehicle factory consists of a factory model where the implementation of the I4.0 concept is fully developed, encompassing four main aspects: manufacturing, business, product and customer.

At the manufacturing level, the ideal factory requires a radical change of the different processes, in such a way that it is possible to encompass and integrate them. For this, five characteristics of the manufacturing systems are proposed, which allow the integration of the different equipment and resources, to carry out the different production / assembly operations, with different levels of automation and flexibility: Automated lines of single station, systems of automated assembly, flexible manufacturing systems, computer-integrated manufacturing systems and reconfigurable manufacturing systems.

Achieving the ideal factory concept does not necessarily have to follow a single pattern or path, but is based on the use of enabling technologies and the different technological advances that are taking place.

Vehicle manufacturing companies should focus on the concept of the ideal factory as a future objective, but taking precautions and carrying out different analyzes for the correct implementation and investment in capital. Internally the different companies in the automotive sector will have to make large investments in new resources (robots, machines, sensors, etc.), and mainly the largest investment will be focused on

dedicated servers for the computer part that includes the implementation of the IoT , Cloud Computing, Big Data. This point is critical, because the integration of IoT, Big Data and Cloud Computing will require security systems for data protection, as well as storage systems and a network with a bandwidth capable of transmitting and storing all the volume of data generated at the factory level, as well as at the corporate level.

The correct integration of the IoT, Cloud Computing and Big Data will open the doors to new opportunities for companies in the automotive sector, which may generate new revenues. Even more important, it could increase the network of partners, with which the level of collaboration would increase, being able to innovate or generate new own technologies, and implement them as services.

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, doy gracias a la Universidad de Valladolid por abrir sus puertas y recibirme, pero en especial al profesor Francisco V. Tinaut Fluxá, por su apoyo, tiempo y dedicación. Al mismo tiempo doy gracias al programa de Becas Iberoamérica-Asia del banco Santander, ya que sin su apoyo no hubiera sido posible realizar los estudios del Máster.

Quiero dar las gracias a todos mis compañeros del Máster, así como a todas las personas que en el camino conocí, y que ahora puedo decir que son mis amigos. Gracias por su apoyo, amistad, confianza y sobre todo por todos los buenos y no tan buenos momentos. Son lo mejor y lo que más quiero de España, siempre los recordare con cariño.

Quiero agradecer especialmente a mi familia.

A mi padre quien siempre ha sido mi mejor amigo y guía. Gracias por todos tus consejos, apoyo y por todo lo que has hecho por mí, sin ti no sería quien soy hoy en día.

A mi madre quien siempre ha estado cuando la he necesitado, quien me dio la vida y quien siempre me ha brindado su cariño incondicional. Gracias por el apoyo y las palabras de aliento cuando sentía que todo iba mal, sin tu motivación no hubiera podido aguantar todo ese tiempo fuera de casa.

A mi hermano quien siempre ha sido parte importante en mi vida, un gran guía y ejemplo a seguir. Gracias por tus consejos, apoyo y por estar siempre a mi lado.

INDICE.

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Concepto de Industria 4.0	1
1.2	Revoluciones Industriales.	2
1.3	Antecedentes del TFM	3
1.4	Objetivos	3
1.5	Desarrollo y planteamiento del TFM.....	4
2	SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0.	5
2.1	Big Data.....	5
2.2	Cloud Computing.	6
2.3	Internet of Things (IoT)	9
2.4	Robótica.	10
2.5	Visión Artificial.....	13
2.6	Realidad Aumentada.....	14
2.7	Fabricación Aditiva.	17
3	LA VISIÓN ARTIFICIAL COMO TECNOLOGÍA HABILITANTE.....	19
3.1	Ejemplo de un Sistema de Visión Multipropósito (Keyence).....	19
3.2	Ejemplos de aplicación del Sistema de Visión Keyence para la supervisión del montaje de pistones de motor.....	26
4	LA INDUSTRIA 4.0 Y LA FABRICACIÓN DE AUTOMÓVILES.....	31
4.1	Potencial de la aplicación de la Industria 4.0 a la fabricación de automóviles.....	31
4.2	Influencia de Industria 4.0 en el Modelo de Negocio.....	35
4.3	La fábrica de vehículos ideal.....	36
5	OTRAS OPORTUNIDADES DE NEGOCIO QUE ABRE LA I4.0	39
5.1	Estaciones de carga móviles	39
5.2	Monitorización Remota de Imágenes.	40
5.3	Carga inalámbrica de batería.....	41
5.4	Monitoreo de la salud del conductor.....	43
5.5	Detección de presencia de bebé.	45
6	CONCLUSIONES.....	47
6.1	Conclusiones generales.....	47
6.2	Conclusiones específicas.....	47
6.3	Principales aportaciones del autor del TFM.....	49
6.4	Sugerencias para trabajos futuros.....	49
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tecnologías relacionadas con Industria 4.0.....	1
Figura 2. Tres V del Big Data.....	5
Figura 3. Ejemplo de AGV	11
Figura 4. Robot colaborativo.....	12
Figura 5. Seguridad de Robot Colaborativo.....	13
Figura 6. Diagrama de Funcionamiento VA.....	13
Figura 7. Cloud Computing.....	7
Figura 8. Servicios e Implementación de Cloud Computing	8
Figura 9. Big Data y Cloud Computing.....	8
Figura 10. Dispositivos RA.....	15
Figura 11. Ejemplo de RA.....	16
Figura 12. Microsoft HoloLens.....	16
Figura 13. Ejemplo de HoloLens en Automoción.....	17
Figura 14. Ejemplo de prototipo de volante.....	18
Figura 15. Ejemplos de piezas funcionales creadas en impresoras 3D.....	18
Figura 16. Ejemplo de sistema de visión Keyence.....	20
Figura 17. Controladora Keyence serie XG	20
Figura 18. Módulos de Expansión.....	21
Figura 19. Sistema obtención de imágenes.....	21
Figura 20. Sistema de ajuste de la lente.....	22
Figura 21. Funcionamiento de sistema de ajuste.....	22
Figura 22. Iluminación Anular Directa.....	23
Figura 23. Iluminación Barra Directa.....	23
Figura 24. Iluminación Difusa Multi-ángulo.....	24
Figura 25. Ejemplo de Iluminación difusa en Domo.....	24
Figura 26. Funcionamiento de Iluminación Coaxial.....	25
Figura 27. Ejemplo de Iluminación Angulo Bajo.....	25
Figura 28. Iluminación de Fondo.....	25
Figura 29. Esquema General de Sistema de Visión.....	26
Figura 30. Detección y Medición de Circlip.....	27
Figura 31. Orientación de la Biela.....	28
Figura 32. Detección de Segmentos de Pistón	28
Figura 33. Lectura de Código Data Matrix	29
Figura 34. Representación de Pilares de Cambio.....	32
Figura 35. Representación de Cambio de Modelo de Negocio de Fabricación.....	35
Figura 36. Herramienta de Modelos de Negocios.....	35
Figura 37. Esquema de la fábrica ideal	38
Figura 38. Ejemplo de estación móvil.....	40
Figura 39. Ejemplo sistema carga inalámbrica.....	42
Figura 40. Carga inalámbrica.....	42
Figura 41. Ejemplo de sensores utilizados.....	44
Figura 43. Ejemplo de función de reconocimiento	44

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 Concepto de Industria 4.0

El concepto de Industria 4.0 se creó en Alemania haciendo referencia a la transformación digital de la industria, también conocida como “Smart Factory” o “Internet industrial”. En el siglo XXI se ha tenido un gran impacto tanto social como económico gracias al avance incontenible del internet. El internet tradicional se ha transformado en internet de las cosas (IoT) debido a la convergencia existente de las tecnologías de la información (TIC) con la robótica y la sensórica. El resultado de dicha convergencia en la industria ha sido un nuevo modelo organizativo y un cambio disruptivo en la industria que algunos denominan la “cuarta revolución industrial” [Kagermann, 2017].

Actualmente en la industria de automoción los niveles de automatización y robotización son más exigentes, esto con el objetivo de reducir costes debido a la gran presión sobre su competitividad y los cambios que existen en el mercado. Los nuevos mercados se basan en la personalización y la creación de nuevos productos y servicios innovadores. Hoy en día los clientes están dispuestos a pagar más por el servicio o la experiencia que por el producto en sí, es por ello que la industria de automoción necesita añadir al producto experiencia individualizada, servicios nuevos, software, conectividad y capacidad de actualización a cualquier producto. La Industria 4.0 da respuesta a las exigencias y ofrece la oportunidad de recuperar buena parte de la industria que se perdió en las últimas décadas.

El objetivo principal de la Industria 4.0 es lograr la integración y conexión que las máquinas para lograr que se organicen por sí solas, para ello se sustenta en un conjunto de pilares tecnológicos claves (Figura 1). El análisis Big Data, robots autónomos, simulación, fabricación aditiva internet de las cosas, entre otras, son tecnologías ya existentes, ya se conocen hoy en día, pero al utilizarlas de forma combinada se produce un cambio en el modo de producir, diseñar, organizar e interactuar entre las empresas, así como un cambio en los puestos de trabajo de la industria [Eusebio de la Fuente, 2016].



Figura 1. Tecnologías relacionadas con Industria 4.0.

La I4.0 está principalmente enfocada en el cliente debido a que tiene que responder a los intereses individuales de una forma rápida y efectiva usuario final en el centro del proceso. Por eso es necesario que las cadenas de suministro de la Industria 4.0 aseguren flexibilidad en los procesos, así como optimización en los procesos de tomas de decisión para poder satisfacer la variabilidad de la demanda y en definitiva adaptar la cadena de suministros a la digitalización ya existente.

Gracias al uso combinado de las tecnologías habilitantes, es posible implementar una cadena de suministro inteligente tratando todos los datos recibidos de dentro y fuera de la fábrica, generados por los diversos recursos de la factoría (sensores, robots, máquinas etc.) así como de los proveedores. Se debe aprovechar la transformación digital de tal forma que sea posible incorporar en la toma decisiones toda la información de proveedores, de logística y sobre todo del usuario final, de ahí la importancia no solo de mejorar dentro de la fábrica, si no que se debe considerar la industria en toda su cadena.

1.2 Revoluciones Industriales.

La Industria 4.0 se considera como la cuarta revolución industria o la digitalización de la industria. Para comprender un poco sobre los diferentes avances tecnológicos que se han producido a lo largo del tiempo es necesario conocer los inicios de la industrialización

- **1era revolución industria 1765.**

La primera revolución industrial se extiende desde fines del siglo XVIII hasta principios del siglo XIX. En esta revolución emergió la mecanización, proceso que reemplazo a la agricultura con la industria, cambiando la estructura económica de la sociedad. La extracción masiva de carbón junto con la invención de la máquina de vapor creó un nuevo tipo de energía que impulsó todos los procesos gracias al desarrollo de los ferrocarriles y la aceleración de los intercambios económicos, humanos y materiales. Otros inventos importantes como la forja y los nuevos conocimientos técnicos en la conformación de metales establecieron gradualmente los planos de las primeras fábricas y ciudades tal como las conocemos hoy.

- **2da revolución industrial 1870.**

A fines del siglo XIX, los diferentes avances tecnológicos impulsaron el surgimiento nuevas fuentes de energías: electricidad, gas y petróleo. Dando como resultado, el desarrollo del motor de combustión. Además, la industria del acero comenzó a desarrollarse y crecer junto con las demandas crecientes de acero. La síntesis química también se desarrolló lo que dio como resultado la creación de tela sintética, tintes y fertilizantes.

Los métodos de comunicación también se revolucionaron con la invención del telégrafo y el teléfono, así como los medios de transporte con la aparición del automóvil y el avión a principios del siglo XX. Todos estos inventos fueron posibles gracias a la centralización de la investigación y el capital estructurados en torno a un modelo económico e industrial basado en nuevas "grandes fábricas" y los modelos organizativos de producción tal como lo concibieron Taylor y Ford.

- **3era revolución industrial 1969.**

En la segunda mitad del siglo XX, apareció una tercera revolución industrial con el surgimiento de un nuevo tipo de energía cuyo potencial superó a sus predecesores: la energía nuclear. Esta revolución fue testigo del auge de la electrónica, con el transistor y el microprocesador, pero también del aumento de las telecomunicaciones y las computadoras. Esta nueva tecnología condujo a la producción de material miniaturizado que abriría puertas, especialmente a la investigación espacial y la biotecnología. Para la industria, esta revolución dio lugar a la era de la automatización de alto nivel en la producción gracias a dos inventos principales: autómatas controladores lógicos programables (PLC) y robots industriales.

La primera revolución industrial usó agua y vapor para mecanizar la producción, la segunda usó energía eléctrica para crear producción en masa y la tercera usó electrónica y tecnología de la información para

automatizar la producción. Hoy está en marcha una **cuarta revolución industrial** que parte de la tercera revolución, pero potenciada por **la revolución digital** que ha tenido lugar desde mediados del siglo pasado. Esta cuarta revolución se caracteriza por la combinación diferentes tecnologías con el fin de conectar todos los recursos de una empresa y tener la combinación de los dos mundos, digital y físico.

Las aplicaciones para el sector industrial ya son enormes: mantenimiento predictivo, mejor toma de decisiones en tiempo real, anticipación de inventarios basados en producción, mejor coordinación entre trabajos, etc. Las diferentes innovaciones tecnológicas optimizan gradualmente las herramientas de producción y revelan infinitas posibilidades para el futuro de la Industria 4.0. Sin embargo, esta cuarta revolución industrial podría ser la primera en desviarse de la tendencia energía consumo en términos de recursos no renovables, porque se está integrando más y más posibilidades para impulsar los procesos de producción con recursos alternativos. Con ello se pretende que las fábricas 4.0 estarán integradas en las ciudades inteligentes y estarán impulsadas por las energías renovables (eólica, solar, geotérmica, etc.).

En este contexto de profundos cambios tecnológicos y sociales, porque los dos tipos de cambio siempre han ido de la mano durante las revoluciones industriales, que conduce hacia la digitalización global, el sector de automoción formará parte importante y tendrá un gran número de **oportunidades** para cumplir con el propósito final del concepto Industria 4.0. También los **retos** son numerosos, ya que para ello será necesario modificar procesos, modelos de negocio, y disponer de personal cualificado [<https://www.sentryo.net/the-4-industrial-revolutions/>] [<http://www.escuelapedia.com/primerasegunda-y-tercera-revolucion-industrial/>].

1.3 Antecedentes del TFM

La motivación del presente trabajo surge debido a mi formación tanto académica como profesional. Como ingeniero mecatrónico, he desarrollado diferentes habilidades, principalmente en las áreas tecnologías de la robótica y visión industrial. Lo anterior en conjunto a mi actual formación correspondiente al Master en ingeniería de automoción, fusionan dos de mis grandes pasiones que son robótica y los automóviles.

El Máster me guio y abrió las puertas para poder realizar las prácticas profesionales correspondientes en la empresa Renault, en la Dirección de Ingeniería de Procesos, permitiéndome participar en diferentes proyectos innovadores implementando tecnología nueva. Dichos proyectos consisten en la automatización de diferentes fases del proceso de fabricación y montaje, los cuales forman parte del largo camino para la implementación del concepto de Industria 4.0 en la factoría.

Es por los motivos anteriores que surge la idea de realizar este trabajo, tratando de combinar mis conocimientos previos, con los nuevos obtenidos en las prácticas profesionales, para poder mostrar una visión de los diferentes cambios que se generan al implementar el concepto de Industria 4.0 en una factoría del sector automotriz.

1.4 Objetivos

El **objetivo general** de este TFM es identificar las oportunidades que ofrece la Industria 4.0 en la industria de automoción, así como los diferentes cambios que se generan al aprovechar dichas oportunidades.

Para alcanzar ese objetivo general, se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

- Revisar y recopilar las tecnologías más importantes para la Industria 4.0
- Proponer modelos de negocio con la Industria 4.0 en el ámbito de automoción.
- Exponer un ejemplo de una tecnología habilitante para la Industria 4.0, en este caso la visión artificial multipropósito.
- Describir ejemplos de aplicación de dicha tecnología habilitante en la Industria 4.0.
-

1.5 Desarrollo y planteamiento del TFM

El presente trabajo está estructurado de la siguiente manera.

En un principio se tiene una introducción general donde por primera vez se menciona como nació y cuál es el concepto de la Industria 4.0. Posteriormente se describen los antecedentes del presente trabajo y se muestran los objetivos del trabajo.

En el capítulo dos, se presentan las diferentes tecnologías habilitantes que componen Industria 4.0, con el propósito de saber el estado actual de la tecnología y principalmente las aplicaciones en el área de automoción.

En el capítulo tres se presenta con más detalle la visión artificial como tecnología habilitante, y se muestran un sistema innovador y flexible el cual se detalla, y se demuestran aplicaciones para algunos procesos en la línea de montaje de un motor de cuatro cilindros con dicho sistema de visión.

El capítulo cuatro se enfoca principalmente a los cambios que se generan a nivel de fábrica implementando la I4.0 y es donde se generan las oportunidades y posibles mejoras que ofrece la I4.0

En el capítulo cinco se muestran algunos ejemplos de oportunidades de negocio que ofrece la I4.0 utilizando principalmente el IoT.

Por último en el capítulo seis se presentan las conclusiones en base a los capítulos presentados en este trabajo, y se destacan las oportunidades y retos que genera la I4.0 en una factoría de vehículos.

2 Situación de la Industria 4.0.

La Industria 4.0 es un concepto basado en un gran número de tecnologías, muchas de ellas aun en desarrollo, en este capítulo se presentarán diferentes tecnologías que se consideran tecnologías habilitantes de la Industria 4.0.

2.1 Big Data.

Big data es un término muy popular hoy en día que se utiliza a menudo como sinónimo de un concepto relacionado como “negocio inteligente” y minería de datos, el concepto de Big Data es diferente de los otros dos cuando los volúmenes de datos, el número de transacciones y la cantidad de fuentes de datos son tan grandes y complejas que requieren métodos y tecnologías especiales para extraer información de los datos. Pero no es la cantidad de datos lo que es importante. Lo que importa es lo que hacen las organizaciones con los datos. Los datos grandes se pueden analizar en busca de ideas que conducen a mejores decisiones y movimientos comerciales estratégicos.

La definición más utilizada de Big Data se conoce como las tres V, volumen, velocidad y variedad (Figura 2) [Ibrahim Abaker Targio Hashem, 2015].



Figura 2. Tres V del Big Data.

- **Volumen:** grandes cantidades de datos, desde conjuntos de datos con tamaños de terabyte (10^{12} bytes) a zettabyte (10^{21} bytes).
- **Velocidad:** Grandes cantidades de datos de transacciones con una frecuencia de actualización alta resultan en flujos de datos que llegan a gran velocidad, y el tiempo para actuar sobre la base de estos flujos de datos es muy corto. Las etiquetas RFID, los sensores y la medición inteligente están impulsando la necesidad de lidiar con torrentes de datos casi en tiempo real.
- **Variedad:** Los datos provienen de diferentes fuentes, los datos que llegan pueden ser de fuentes internas o externas. Más impórtate aun, los datos pueden llegar en diferentes formatos tales como datos de transacciones y registros de varias aplicaciones, datos estructurados como tabla de base de datos, datos semiestructurados como datos XML, datos

no estructurados como texto, imágenes, secuencias de video, declaración de audio y más. Hay un cambio desde datos únicos estructurados, a datos cada vez más desestructurados o bien, la combinación de ambos.

Esto lleva a la **definición de Big Data** más utilizada en la industria [Gartner, 2012]. *“Los grandes datos son activos de información de alto volumen, alta velocidad y alta variedad que demandan formas rentables e innovadoras de procesamiento de la información que permiten un mejor conocimiento, toma de decisiones y automatización de procesos”.*

Hoy en día las organizaciones están capturando datos adicionales de su entorno operativo a una velocidad cada vez más rápida. Algunos ejemplos se enumeran aquí [Ibrahim Abaker Targio Hashem, 2015].

- **Datos web:** Capturan datos como visitas a la página, búsquedas, revisiones de lectura, compras, etc. Con el fin de mejorar el rendimiento en áreas como ofertas, modelado de abandono, segmentación de clientes y publicidad dirigida.
- **Datos de texto:** Pueden ser e-mail, noticias, feeds de Facebook, documentos, etc. son uno de los tipos de Big Data más grandes y más aplicables. Normalmente, el objetivo es extraer datos clave del texto y luego usar los hechos como entradas para otro proceso analítico (por ejemplo, clasificar automáticamente las reclamaciones de seguro como fraudulentas o no).
- **Datos de tiempo y ubicación:** Los datos de hora y ubicación son uno de los tipos de Big Data más sensibles a la privacidad y deben tratarse con gran precaución. El GPS, teléfono móvil, así como la conexión Wi-Fi, hacen que la información sobre el tiempo y la ubicación sea una fuente de datos en crecimiento. A nivel individual, muchas organizaciones se dan cuenta del poder de saber cuándo están sus clientes en cada ubicación. Igualmente, importante es mirar los datos de tiempo y ubicación en un nivel agregado. A medida que más personas abren sus datos de tiempo y ubicación de forma más pública, comienzan a surgir muchas aplicaciones interesantes.
- **Datos de la red inteligente y sensores:** Los datos del sensor proporcionan información poderosa sobre el rendimiento de los motores y la maquinaria. Permite el diagnóstico de problemas con mayor facilidad y rapidez en el desarrollo de los procedimientos de mitigación.
- **Datos de redes sociales:** En los diferentes sitios de redes sociales es posible hacer análisis de enlaces con el fin de descubrir la red de un usuario determinado. El análisis proporciona información sobre que publicidades puede atraer a un cliente considerando los intereses declarados personalmente por el cliente, así como los declarados en su círculo de amigos de la red.

En el campo de automoción el Big Data es un factor clave en la postventa, debido a la información que facilita a los fabricantes de automóviles, así como a las empresas relacionadas con este campo.

2.2 Cloud Computing.

Cloud Computing o computación en la nube es un modelo que sirve para proporcionar un acceso conveniente y bajo demanda a los recursos informáticos configurables de un grupo compartido (Figura 3). Cloud Computing representa un cambio fundamental en la forma en que los servicios de tecnología de la información (TI) son inventados, desarrollados, implementados, escalados, actualizados, mantenidos y pagados. La informática como la conocemos hoy refleja una paradoja: por un lado, las computadoras continúan siendo exponencialmente más poderosas y el costo de la computación por unidad continúa cayendo rápidamente, hasta el punto de que el poder de cómputo se considera hoy en gran parte un producto básico. Por otro lado, a medida que la informática se vuelve más penetrante dentro de la organización, la complejidad creciente de administrar toda la infraestructura de arquitecturas de información dispares y datos y software distribuidos ha hecho que la informática sea más costosa que nunca para una organización.

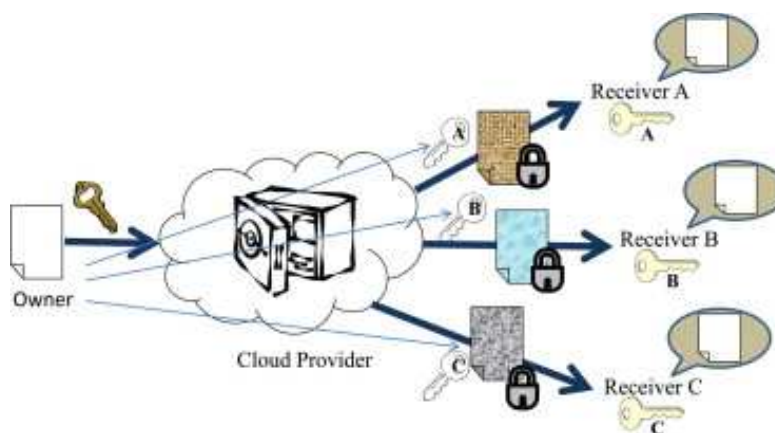


Figura 3. Cloud Computing [Rong Chunming, 2013].

El **objetivo final de la computación en la nube** es ofrecer toda la funcionalidad de los servicios de tecnología de la información existentes (y de hecho habilitar nuevas funcionalidades hasta ahora imposibles) incluso a la vez que reduce drásticamente los costos iniciales de la informática que impiden que muchas organizaciones implementen muchos servicios de TI de vanguardia.

El concepto de Cloud Computing tiene **tres modelos de prestación de servicios y tres modelos principales de implementación**. Los modelos de **implementación** son:

- **Nube privada:** una nube la plataforma está dedicada a una organización específica.
- **Nube pública:** una plataforma en la nube disponible para que los usuarios públicos se registren y usen la infraestructura disponible.
- **Nube híbrida:** una nube privada que puede extenderse para usar recursos en nubes públicas.

Las nubes públicas son el modelo de implementación más vulnerable porque están disponibles para que los usuarios públicos alojen sus servicios que pueden ser usuarios maliciosos.

Los **modelos de prestación de servicios**, así como los de implementación en la nube, como en la Figura 4, incluyen [Rong Chunming, 2013. Hashem Ibrahim, 2015]:

- **Infraestructura como servicio (IaaS):** significa que se está comprando acceso a hardware informático sin procesar a través de la red, como servidores o almacenamiento. Dado que se compra lo que se necesita y se paga por lo que se hace, esto se conoce como informática de utilidad. Este modelo de servicio se basa en la tecnología de virtualización. Amazon EC2 es el proveedor de IaaS más familiar.
- **Plataforma como servicio (PaaS):** donde los proveedores de servicios en la nube entregan plataformas, herramientas y otros servicios comerciales que permiten a los clientes desarrollar, implementar y administrar sus propias aplicaciones, sin instalar ninguna de estas plataformas o herramientas de soporte en sus máquinas locales. El modelo PaaS puede estar alojado encima del modelo IaaS o en la parte superior de las infraestructuras de la nube directamente. Google Apps y Microsoft Windows Azure es el PaaS más conocido.
- **Software como servicio (SaaS):** significa que se desarrollan aplicaciones que utilizan herramientas basadas en la web, por lo que se ejecutan en software y hardware de sistemas proporcionados por otra empresa. Entonces, por ejemplo, el usuario puede desarrollar su propio sitio web de comercio electrónico, con todas las funcionalidades, incluido el carrito de compras, el pago y el mecanismo de pago que se ejecuta en el servidor de un comerciante. App Cloud (de salesforce.com) y Google App Engine son ejemplos de PaaS.

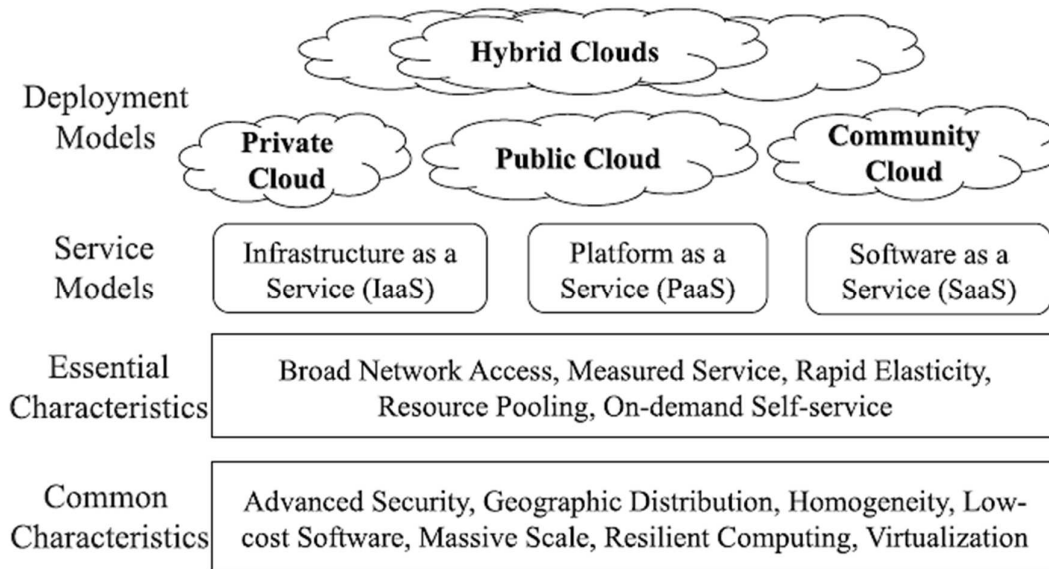


Figura 4. Servicios e Implementación de Cloud Computing [Chunming Rong, 2013].

En la industria existe una relación estrecha entre el Big Data y el Cloud Computing. Big Data brinda a los usuarios la capacidad de utilizar la informática de productos básicos para procesar consultas distribuidas en múltiples conjuntos de datos y devolver los conjuntos resultantes de manera oportuna. Cloud Computing proporciona el motor subyacente mediante el uso de Hadoop, una clase de plataformas de procesamiento de datos distribuidos.

El uso de la computación en nube en Big Data se muestra en la Figura 5. Las grandes fuentes de datos de la nube y la Web se almacenan en una base de datos tolerante a fallas distribuida y procesada a través de un modelo de programación para grandes conjuntos de datos con un algoritmo paralelo distribuido en un clúster. El objetivo principal de la visualización de datos, como se muestra en la Fig. 5, es ver los resultados analíticos presentados visualmente a través de diferentes gráficos para la toma de decisiones [Hashem Ibrahim, 2015].

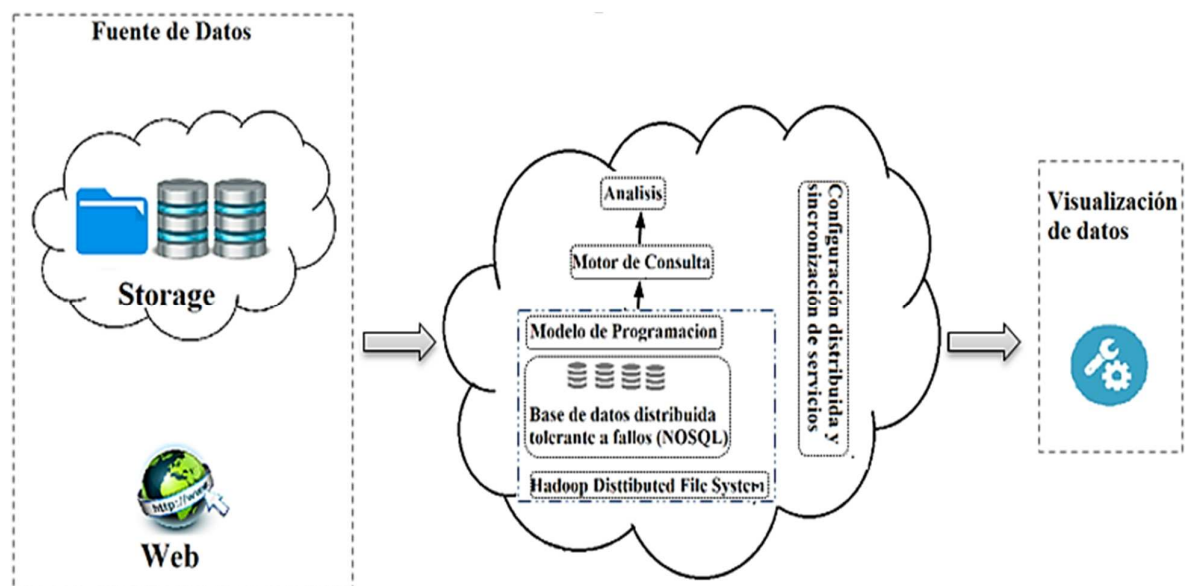


Figura 5. Big Data y Cloud Computing [Hashem Ibrahim, 2015].

Big Data utiliza tecnología de almacenamiento distribuido basado en la computación en la nube en lugar de almacenamiento local conectado a una computadora o dispositivo electrónico. La evaluación de Big Data está impulsada por aplicaciones en rápido crecimiento basadas en la nube desarrollada utilizando tecnologías virtualizadas. Por lo tanto, la computación en la nube no solo proporciona instalaciones para el cálculo y procesamiento de Big Data, sino que también sirve como un modelo de servicio.

2.3 Internet of Things (IoT)

Internet de las cosas (IoT), también Industrial Internet, es un paradigma tecnológico previsto como una red global de máquinas y dispositivos capaces de interactuar el uno con el otro. El IoT es reconocido como uno de las áreas más importantes de la tecnología para la implementación de la Industria 4.0 del futuro. El verdadero valor del IoT para las empresas puede ser plenamente realizado cuando los dispositivos conectados sean capaces de comunicarse entre sí e integrarse con sistemas de inventario administrados por el vendedor, sistemas de soporte al cliente, aplicaciones de inteligencia empresarial y análisis de negocio.

La **utilización del IoT** promete un gran impacto en la información disponible para los socios de la cadena de suministro y en cómo opera la cadena de suministro. Desde la línea de producción y el almacenamiento hasta la distribución y el servicio postventa al cliente, el IoT está transformando los procesos comerciales al proporcionar servicios más precisos y visibilidad en tiempo real del flujo de materiales y productos. Las empresas del sector de automoción invertirán en IoT para rediseñar los flujos de trabajo de fábrica, mejorar el seguimiento de los materiales y optimizar los costos de distribución. Sin embargo, aunque el IoT promete beneficios potenciales, pero hasta el momento inciertos, y debido al alto costo de inversión para su implementación, las empresas deberán evaluar con mucho cuidado cada oportunidad y cada desafío que presenta el IoT para garantizar que la inversión se realice de forma adecuada.

Para poder lograr una implementación exitosa en diferentes productos y servicios el IoT utiliza diferentes tecnologías tales como [Gubbi Jayavardhana, 2013. Lee In, 2015]:

- **Identificación por radio frecuencia (RFID).**

En las fábricas de automoción los sistemas RFID se utilizan para de realizar la identificación automática y captura de datos de alguna pieza/producto mediante ondas de radio, una etiqueta y un lector. La principal ventaja que ofrecen estos sistemas a diferencia de los convencionales (códigos de barra) es que la etiqueta puede almacenar una mayor cantidad de datos, por lo que en producción es muy útil y de ser necesario se puede borrar o sobrescribir información.

Las etiquetas RFID se utilizan en la fabricación principalmente en la cadena de suministros, logística, y en diferentes procesos. Un ejemplo de aplicación en la línea de producción sería al pasar de una fase de montaje a otra, donde se lee la etiqueta al entrar a la estación con el fin de informar al autómatas las características del modelo de vehículo que se está fabricación y de esta manera se realice el montaje de piezas necesario para ese modelo.

Los datos que se almacenan en la etiqueta pueden incluir características propias de producto, y se puede también guardar fecha de fabricación, fecha de salida de fábrica, defectos corregidos etc. Con el fin de tener una trazabilidad total.

- **Red Inalámbrica de Sensores.**

Las redes inalámbricas de sensores (WSN) están formadas por una gran cantidad dispositivos autónomos equipados con sensores para controlar diferentes condiciones físicas o ambientales. Estos sensores tienen la capacidad de poder cooperar con los sistemas RFID logrando un mejor seguimiento del estado de alguna pieza/producto tales como ubicación, movimientos, temperatura, presión etc.

Las WSN mejoran la confiabilidad y la eficiencia debido a que su principal función es la recopilación de información para poder construir un sistema de información y comunicación.

En la fabricación de vehículos, las WSN son utilizadas principalmente en las áreas de logística para seguimiento de suministros, así como en el área de mantenimiento con el fin de lograr un mantenimiento preventivo, recopilando información del funcionamiento de las diferentes máquinas, robots, manutenciones etc.

- **Middleware.**

El Middleware se puede entender como una “capa” de software que se sitúa entre un sistema operativo y las aplicaciones que se ejecutan en él. Las principales funciones del Middleware son: realizar la comunicación de manera oculta y gestionar las entradas y salidas.

En el IoT se utiliza el Middleware en conjunto con la WSN con el fin de apoyar el desarrollo de mantenimiento, ejecución e implementación de aplicaciones basadas en detección. Middleware es capaz de comunicar y coordinar la WSN de tal manera que el Middleware puede enviar una tarea a la WSN, repartir la tarea en los nodos de la red de sensores, fusionar la información que cada sensor genere e informar el resultado al emisor de la tarea.

- **Cloud Computing y Big Data**

IoT genera una gran cantidad de datos a partir de los diferentes dispositivos conectados, es por eso que se necesita un manejo masivo de datos, gran velocidad de procesamiento para poder realizar la toma de decisiones en tiempo real, es por ello que las tecnologías de Cloud Computing y Big Data son necesarias, dichas tecnologías se explican a detalle en los puntos 2.1 y 2.2.

- **Aplicaciones IoT**

El IoT abre la puerta al desarrollo de una multitud de posibles aplicaciones orientadas a la industria automotriz. Esto debido a que los diferentes dispositivos y redes proporcionan la conectividad física, de esta manera IoT permite que exista la interacción de dispositivo-dispositivo y usuario-dispositivo de manera confiable y concreta.

El objetivo de las aplicaciones es garantizar que los datos se han recibido y se han tomado las medidas necesarias en el momento oportuno. Por ejemplo, en las diferentes máquinas que se utilizan para la fabricación de automóviles, es necesario garantizar que no tengan alguna avería inoportuna, es por esto que se realiza un monitoreo y si el Middleware y la WSN detectan anomalías, las acciones apropiadas se tomarían de manera automática gracias a la aplicación basada en IoT.

Es importante que las aplicaciones de IoT se construyan con inteligencia para que los dispositivos puedan monitorear el entorno, identificar problemas.

El IoT para el sector de automoción ofrece soluciones interesantes como el diagnóstico en tiempo real. Gracias a los diferentes sensores específicos incorporados en los vehículos, es posible controlar diferentes cosas como: datos del motor, consumo de combustible, ubicación, velocidad, presión de los neumáticos, tiempo de conducción etc. Los datos detectados son enviados a un sistema central con el fin de tener referencias y seguimiento.

En la fabricación, las tecnologías como RFID conectadas a las diferentes piezas del vehículo pueden mantener un historial de componentes específicos y usarse para mejorar procesos de montaje al encontrar automáticamente piezas faltantes.

Se puede observar que el uso del IoT genera bastantes oportunidades. Sin embargo, actualmente el principal problema para su total implementación en las fábricas de automóviles es el costo que comprende, ya que como se explicó anteriormente que el IoT se forma por varias tecnologías, es necesario implementar y desarrollar cada una de ellas [Borgia Eleonora, 2014].

2.4 Robótica.

Desde hace muchos años el uso de la robótica en la industria de automoción se ha convertido en un punto clave para la automatización de procesos donde se utilizan robots para realizar tareas peligrosas,

repetitivas o muy complejas. Hoy en día se utilizan dos nuevos conceptos: **Robots autónomos** y **robots colaborativos**, son conceptos ya utilizados y es importante destacar que no sustituyen al robot industrial.

Los **robots autónomos** son dispositivos que son programados para realizar tareas con poco a ninguna intervención o interacción humana. Ellos pueden variar significativamente en tamaño, funcionalidad, movilidad, destreza, inteligencia y costo desde la automatización de procesos robóticos a vehículos voladores con inteligencia artificial. Los robots autónomos pueden reconocer y aprender de su entorno y tomar decisiones independientemente.

Se espera un fuerte crecimiento en los próximos cinco años, particularmente dentro de las operaciones de la cadena de suministro que incluyen menor valor, tareas potencialmente peligrosas o de alto riesgo. Actualmente los robots autónomos ya tienen presencia en las áreas de fabricación, montaje final y almacenamiento lo que permite que los trabajadores puedan realizar otras actividades que si aportan valor al producto.

Los robots autónomos más conocidos son los vehículos de guiado automático AGV por sus siglas en inglés. Los AGV son típicamente carros de ruedas del tamaño de una carretilla elevadora que utilizan software para ayudarlos a navegar sus movimientos alrededor de las plantas de fabricación y las instalaciones de ensamblaje, son guiados con la ayuda de bandas magnéticas o láseres.

Los AGV (Figura 6) son sistemas de transporte sin operador que se usan con frecuencia para mover grandes cargas y cargas finales con un rendimiento bajo a medio en distancias cortas a medianas. Tienen formas y funciones muy diversas, y algunos fabricantes también producen carros automáticos guiados (AGC) o vehículos guiados por visión (VGV), pero tienden a converger en su capacidad de transportar mercancías de forma autónoma a lo largo de rutas predefinidas o dinámicas [Dimitrios Bechtsis,2017] [Joseph Fitzgerald, 2017].



Figura 6. Ejemplo de AGV [autor corporativo: <http://www.cmayor.es/agv/>]

La implementación de robots autónomos presenta varios beneficios como son la reducción de costos de mano de obra y aumento de productividad, impulsa principalmente el valor mediante reducción de costos de operación directos e indirectos.

En la industria manufacturera, existe una creciente necesidad de integrar robots en la fuerza de trabajo con el fin de aprovechar las diversas fortalezas de los humanos y los robots. Esta integración requiere el tiempo del trabajo humano y robótico para que las tareas se completen en un solo turno.

El entorno de fabricación tiene una amplia gama de aplicaciones potenciales para robot colaborativos (Figura 7.), como en una planta de fabricación de automóviles. En algunos procesos de fabricación, hay aplicaciones en las que tiene sentido que los trabajadores realicen una tarea de forma manual. En otras aplicaciones, la mejor opción es la automatización general. Los **robots colaborativos**, también llamados **cobots** son prácticos para muchas de las tareas que se encuentran en algún punto intermedio. En estas

situaciones, un trabajador necesita ver, sentir y reaccionar según sea necesario, pero el *cobot* puede manejar ciertos movimientos físicamente exigentes.



Figura 7. Robot colaborativo. [<http://fourbythree.eu/collaborative-robots-working-in-manufacturing/>]

En el aspecto más técnico, un **cobot** puede detectar actividades no estándar en su entorno de trabajo y limitar su fuerza, lo que permite una estrecha cooperación entre humanos y robots sin ninguna separación física. Todos los cobots tienen sensores de fuerza en sus articulaciones que detienen su movimiento en caso de impacto, permitiendo que el robot opere a toda velocidad sin la preocupación de lesiones humanas. Hay una variedad de cobots desde pequeños modelos de mesa hasta robots capaces de mover cargas pesadas.

Los cobots son relativamente livianos y se pueden mover de una asignación de trabajo a otra. La mayoría de los cobots son fáciles de programar, usando un teléfono inteligente o tableta. Del mismo modo que una sierra mecánica está destinada a ayudar, no a reemplazar, al carpintero, el cobot está diseñado para ayudar al trabajador de producción. Los robots colaborativos son generalmente más simples que los robots más tradicionales, lo que los hace más económicos de comprar, operar y mantener.

Hay dos maneras de hacer que los cobots sean seguros para sus compañeros de trabajo. Si entra en contacto con un compañero de trabajo humano, se detiene instantáneamente para que el trabajador no sienta más que un ligero empujón; pero este enfoque limita el peso máximo que el robot puede manejar, así como la velocidad. Mover una carga pesada a alta velocidad duele al contacto incluso si el robot se detiene sin demora [<http://fourbythree.eu/collaborative-robots-working-in-manufacturing/>].

Para entornos más rápidos y pesados, un enfoque basado en **sensores** es mejor (Figura 8). Tradicionalmente, las barreras físicas, como las jaulas, se han utilizado para detener al robot cuando una persona se encuentra a una distancia de alcance del robot. Los sensores modernos ahora no solo perciben la presencia de una persona, sino también su ubicación. El robot funcionará a toda velocidad cuando el trabajador se encuentre en la zona verde, pero dará una advertencia; reducirá la velocidad en la zona amarilla y se detendrá completamente cuando el trabajador se acerque demasiado. El robot puede programarse para alejarse del trabajador o modificar su ruta para rodear al trabajador.

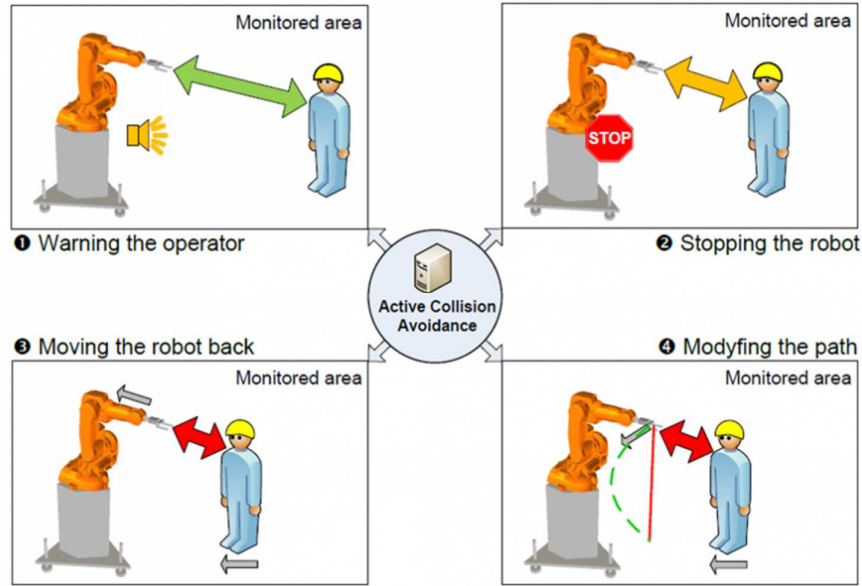


Figura 8. Seguridad de Robot Colaborativo [<http://fourbythree.eu/collaborative-robots-working-in-manufacturing/>].

2.5 Visión Artificial.

La visión artificial, también conocida como visión por computadora (computer vision), es un campo de la inteligencia artificial e informática que tiene como objetivo dar a las computadoras una comprensión visual del mundo con la ayuda de una cámara y por medio de algoritmos matemáticos.

La **visión artificial** en la industria se utiliza principalmente en las áreas de calidad y guiado de robots, con el fin de emular la visión humana por medio de imágenes digitales capturadas por una cámara. La visión artificial comprende **tres etapas principales de procesamiento** (Figura 9), ejecutados uno tras otro [Ginés García Mateos, 2006]:

- Adquisición de imágenes
- Procesamiento de imagen
- Análisis de imágenes y comprensión

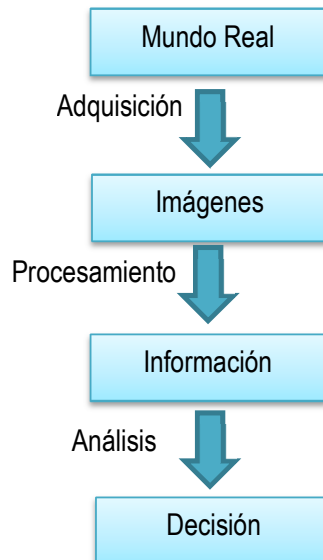


Figura 9. Diagrama de Funcionamiento VA.

A medida que la comprensión visual humana del mundo se refleje en la capacidad de tomar decisiones a través de lo que se ve, proporcionar tal comprensión visual a las computadoras les permitiría la misma potencia.

En el proceso de **visión artificial** se consideran los **siguientes tres niveles** [Ginés García Mateos, 2006]:

- **Procesamiento bajo nivel:**
Se extraen las propiedades de la imagen como color, textura, profundidad, gradiente, bordes.
- **Procesamiento de medio nivel:**
Las propiedades extraídas del nivel bajo se agrupan con el fin de obtener contornos o regiones mediante técnicas de segmentación o de búsqueda de contornos.
- **Procesamiento de alto nivel:**
En este nivel se interpretan los entes obtenidos en los niveles anteriores, este nivel de procesamiento se encuentra más próximo al dominio de la inteligencia artificial, dentro de este nivel se pueden tratar problemas relacionados con reconocimiento de patrones o interpretación de escenas.

Actualmente la aplicación de la visión artificial en la industria incluye tres grandes categorías [Golnabi H., 2007]:

- **Inspección Visual Automática y Control de Procesos.**
La inspección visual automática no mejora la flexibilidad de la línea de fabricación debido a que solo inspecciona, pero mejora considerablemente la capacidad de automatización del proceso de fabricación. El sistema de visión automatizado se puede utilizar para mediciones, verificación de integridad y control de calidad. También ayuda a tener un mejor control, seguimiento y emisión de documentos en diferentes procesos.
- **Identificación de Piezas.**
La identificación y clasificación de partes es una de las aplicaciones más importantes de un sistema de visión, en la industria se utiliza desde lo más básico que sería detectar la presencia de una pieza o hasta identificar la pieza que es y clasificarla dependiendo el proceso.
- **Guiado de Robot Industrial.**
El corazón de un proceso automático en la industria de automoción son los robots, sin embargo, los robots necesitan “ver” lo que están haciendo, para ello se incorpora un sistema de visión que ayuda al robot a guiarlo. En general, en las plantas automotrices el guiado de un robot se lleva a cabo utilizando el sistema de visión y sensores inteligentes para poder determinar la posición en la soldadura, o bien para colocar alguna parte del vehículo (neumáticos, tren trasero etc.) u otros procesos.

En el Capítulo 3 se describe esta tecnología con mayor detalle.

2.6 Realidad Aumentada.

La Realidad Aumentada, comúnmente abreviada por sus siglas “RA” es un tipo de **entorno de visualización interactivo** basado en la realidad que toma las capacidades de sonido, visualización, efectos y texto generado por computadora con el fin de mejorar la experiencia del usuario en el mundo real.

El objetivo de la tecnología de **Realidad Aumentada** (RA) es mejorar el rendimiento humano al proporcionar información relevante para una tarea específica determinada. RA se puede utilizar a través de cualquier tipo de hardware capaz de interactuar con los sentidos humanos (Figura 10): tabletas, monitores montados en la cabeza por sus siglas en inglés HMD (Head Mounted Display), pantallas de

mano HDD por sus siglas en inglés (Hand Held Display), proyectores y auriculares. El motivo de seleccionar un dispositivo en lugar de otro no siempre depende de las condiciones ambientales, los usuarios y los requisitos de los procesos. De la misma manera, la arquitectura de software del sistema RA se puede seleccionar en función de consideraciones que varían entre diferentes ambientes industriales, la interfaz de usuario debe seleccionarse en función del usuario y los requisitos del proceso [Palmarini Riccardo,2017] [Sääski Juha, 2014].



Figura 10. Dispositivos RA [Sääski Juha ,2014].

Mediante el uso de la Realidad Aumentada, los técnicos de servicio y los fabricantes pueden acercarse a cualquier elemento que tenga la tecnología IoT e identificar un objeto para obtener cualquier información del sistema de planificación de recursos empresariales de una empresa. Como resultado, el técnico tendrá acceso inmediato a las especificaciones, el inventario, la ubicación y los plazos de entrega del objeto.

Al identificar el producto, la RA también puede dar el acceso al técnico u operador a las instrucciones y manuales que brindan detalles operativos. Mientras trabaja en un proceso, cualquier video se puede reproducir inmediatamente a través del sistema RA. Se puede usar como una guía en el ensamblaje, lo que permite a los operarios fabricar productos sin la necesidad de educación especializada o consultar las hojas de instrucciones, debido a que RA es capaz de superponer información o instrucciones de forma visual al operario o técnico, facilitando el trabajo y reduciendo la posibilidad de cometer errores.

El software en tecnología RA puede proporcionar una señal visual al técnico, donde sea que existan problemas o defectos. Esto es útil en el área de mantenimiento, cuando las máquinas no funcionan correctamente. El técnico verá el problema real antes de acercarse a la máquina, debido a que los sensores de la máquina, habrán enviado información con antelación, con esto se consigue un ahorro de tiempo y dinero durante los diagnósticos. Del mismo modo, al usar la tecnología de realidad aumentada, un trabajador en la línea de producción, puede analizar una pieza que falló en tolerancias y determinar si es rescatable o si necesita ser reemplazada por completo (Figura 11) [Masoni Riccardo, 2017].



Figura 11. Ejemplo de RA [Masoni Riccardo, 2017].

Actualmente gracias a los grandes avances en la tecnología de realidad, las empresas de automoción utilizan los nuevos sistemas de realidad mixta conocida como realidad virtual aumentada, uno de los sistemas más utilizados son los HoloLens de Microsoft (Figuras 12 y 13), que consisten una computadora holográfica sin conexiones físicas incorporada en unas gafas las cuales están compuestas con cámaras, sensores de profundidad, sensores de movimiento para superponer imágenes en el entorno de trabajo real, las gafas permiten ver representaciones de cables, pernos, piezas número de piezas e instrucciones sobre cómo realizar un procedimiento de mantenimiento o ensamblaje, con esto se aumenta la precisión del personal de mantenimiento y se consigue que trabajen de manera más rápida y eficaz reduciendo la posibilidad de cometer errores.



Figura 12. Microsoft HoloLens [https://www.microsoft.com/en-us/hololens/]



Figura 13. Ejemplo de HoloLens en Automoción. [<https://news.microsoft.com/es-xl/microsoft-hololens-y-volvo-cars-exploran-el-futuro-de-la-compra-de-auto/>]

2.7 Fabricación Aditiva.

La **Fabricación Aditiva (FA)** se puede considerar como la versión industrial de la impresión 3D. La impresión 3D funciona de manera similar a una impresora convencional de inyección de tinta, con la diferencia de que, en vez de imprimir capas de tinta sobre el papel, la impresora 3D utiliza diferentes materiales tales como plásticos, resinas, cauchos, cerámicas, metales, etc.

El término de fabricación aditiva se refiere al proceso de depositar sucesivas capas (muy delgadas) de material una sobre otra, con el propósito de crear un modelo o prototipo rápido (PR). El prototipado rápido se ha utilizado mucho en la industria de automoción en las áreas de diseño e ingeniería de procesos, con el fin de analizar la factibilidad de alguna pieza en específico antes de su producción en masa, lo que produce un ahorro significativo en tiempo y dinero. Sin embargo, cada día es más posible el uso de la FA como tecnología para la fabricación de piezas en serie, normalmente en piezas específicas y en un número no muy elevado de unidades [Attaran M. 2017].

La FA ofrece cinco beneficios principales sobre la fabricación actual los cuales son: costo, velocidad, calidad, innovación e impacto. Es importante dejar claro que la fabricación aditiva no sirve para reemplazar la totalidad de los métodos de fabricación actuales, si no para revolucionar y dar soporte a muchas áreas en el ámbito de fabricación. La industria automotriz es una de las principales industrias que se beneficia de la FA, siendo las **aplicaciones principales en el área de automoción**:

- Prototipos.
- Fabricación de componentes en series reducidas, posibilitando la reducción de peso del vehículo.

Los **beneficios** en el área de automoción son [Attaran M. 2017]:

- Ayudar a eliminar el exceso de partes.
- Acelerar el tiempo de comercialización.
- Reducir el costo involucrado en el desarrollo de productos.
- Reducir los costos de reparación considerablemente.
- Mejorar en la calidad.

La FA tiene también un impacto positivo en la cadena de suministros y logística, debido a que permite la producción de piezas en una fábrica cerca de las líneas de montaje o fabricación, lo que elimina el tiempo perdido y costos de transporte.

A continuación, en las figuras 14 y 15 se presentan algunos ejemplos de la fabricación aditiva en el área de automoción.



Figura 14. Ejemplo de prototipo de volante. [<https://impresoras3d.com/blogs/noticias/tagged/fibradecarbono>]



Figura 15. Ejemplos de piezas funcionales creadas en impresoras 3D. [https://www.prodways.com/en/industrial_segment/automotive/]

3 La Visión Artificial Como Tecnología Habilitante.

La Visión Artificial forma parte del área de inteligencia artificial que, mediante la utilización de diferentes técnicas y algoritmos, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información que se requiera extraer de una imagen.

La Visión Artificial aplicada a la industria abarca diferentes áreas tales como óptica, informática automatización industrial, ingeniería mecánica etc. Las aplicaciones de Visión Artificial industrial integran sistemas de captura de imágenes digitales, dispositivos de entrada/salida y redes de ordenador para el control de equipos destinados a la fabricación, tales como brazos robóticos.

Como se mostró en el capítulo anterior, la tecnología de visión artificial se ha utilizado con diferentes propósitos en la industria de automoción, principalmente en el área de calidad y control de procesos gracias a su capacidad para inspeccionar, medir, escanear etc. Sin embargo, debido al aumento de la asequibilidad de los componentes y sistemas de visión artificial, existe una gama más amplia de soluciones, hardware más capaz y algoritmos de software más “inteligente” basados en Inteligencia Artificial. La visión artificial se posiciona bien para un crecimiento sustancial dentro del movimiento de la Industria 4.0. El principal catalizador, sin embargo, para su crecimiento potencial en las aplicaciones de la Industria 4.0 será la conectividad mediante el IoT. Una vez conectadas entre sí y, en última instancia, con la nube, los sistemas de visión artificial se convierten en herramientas de extracción únicas que pueden extraer información de las imágenes y mostrarla para fábricas enteras o cadenas de valor.

Cada vez las cámaras son más pequeñas y más asequibles, lo que está conduciendo a tasas de adopción más altas en los proyectos de la Industria 4.0. Las compañías se están enfocando en robótica, imágenes tridimensionales y aprendizaje automático, junto con un énfasis creciente en el software para alimentar la inteligencia artificial (IA) y las redes neuronales artificiales (ANN). Además de las soluciones de imagen visibles, el lado de imagen no visible, que incluye multi-espectrales e infrarrojos, también se está expandiendo.

La industria de la visión artificial también está experimentando una convergencia con la visión integrada (o computadora). A medida que más procesadores de imágenes integradas a nivel de placa y a bajo costo estén disponibles para entornos industriales, es probable que se comience a ver surgir nuevos tipos de soluciones integradas de automatización. Por ejemplo, un brazo robótico con varios generadores de imágenes integrados [Gobierno de España, 2011].

3.1 Ejemplo de un Sistema de Visión Multipropósito (Keyence).

El sistema de visión multipropósito de Keyence está formado por diferentes módulos y accesorios los cuales se pueden utilizar en conjunto o separados dependiendo de la aplicación. El módulo principal se llama controladora; en él se conectan los siguientes módulos, que se consideran módulos esclavos, como pueden ser de iluminación, módulos de expansión para cámara o módulos de expansión de comunicaciones, y como accesorios se tienen diferentes tipos de lentes, así como otros tipos de iluminaciones. El uso de los accesorios dependerá del problema a tratar.

En la Figura 16 se puede observar un ejemplo general del sistema multipropósito de visión de Keyence.



Figura 16. Ejemplo de sistema de visión Keyence [XG-X Catalogue, 2017].

El **sistema multipropósito** como se mencionó anterior mente se divide en diferentes **módulos**, donde uno es el principal y el resto de los módulos son esclavos. A continuación, se presentará cada parte del sistema para poder entender cómo trabaja, para ello se divide el sistema en **tres categorías**:

1. Controladora.

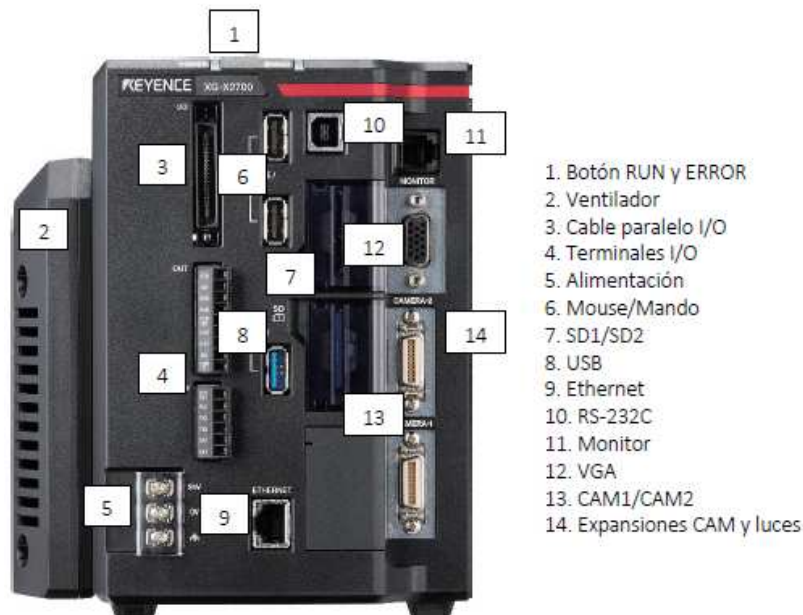


Figura 17. Controladora Keyence serie XG [Sistemas de Visión Artificial Serie XG-X, 2017].

La controladora (figura 17) es el corazón de sistema debido a que internamente se encuentra todo el software de procesamiento, y externamente todo el hardware como se puede ver en la imagen XX, es posible conectar diferentes módulos esclavos si es necesario manipular más de dos cámaras o integrar iluminación, para ello será necesario conectar los módulos esclavos necesarios y vía software activarlos.



Figura 18. Módulos de Expansión [XG-X2000 SetupManual, 2017].

La controladora tiene a su disposición diferentes **softwares**, cuenta con un **software interno** propio donde se encuentran todos los algoritmos para poder realizar el procesamiento de las imágenes. El software interno no necesita de un PC, se puede trabajar directamente desde la controladora, sólo es necesario un monitor para poder visualizar la interface. También cuenta con un **software simulador** el cual se maneja desde un PC y tiene el mismo entorno y opciones que el software interno. Sin embargo, la diferencia es que el simulador trabaja en modo offline y se trabaja con las imágenes capturadas previamente. El **Vision Editor** es otro software que se instala en el PC y está orientado a programadores más expertos, ya que permite un control más eficaz sobre la edición de programas. Finalmente está el **Vision Terminal**, el cual se utiliza para crear una conexión remota desde un PC a la controladora. Conociendo la IP configurada de la controladora dentro de una red donde se encuentren ambos equipos (controladora y PC), será posible visualizar en el PC en tiempo real lo que ocurre directamente en el campo de visión de la cámara, por ejemplo un puesto en una línea de fabricación. Esto constituye el nivel más bajo de las herramientas de visión, si bien es posible desarrollar a partir de las imágenes técnicas propiamente de visión artificial, como se ve en el apartado 3.2.

2. Sistema de obtención de imagen.

El sistema de obtención de imagen está formado por dos partes como se observa en la Figura 19.



Figura 19. Sistema obtención de imágenes [XG-X2000 SetupManual, 2017].

Cámara

La cámara utilizada por este sistema al ser digital, depende principalmente del dispositivo de carga acoplada (CCD en inglés), así como de la velocidad de transferencia de la imagen a la controladora.

El CCD es el sensor de la cámara el cual está formado por células fotoeléctricas, las cuales capturan la imagen del objetivo deseado. La capacidad de resolución de la cámara depende del número de píxeles, es decir, depende del número de células fotoeléctricas por el que este compuesto el CCD, es por eso que mayor número de píxeles, mayor resolución se obtendrá.

Lente.

La lente es el elemento que se rosca solidariamente a la cámara. El cual se compone de un conjunto de superficies de vidrio internas que captan los rayos de luz. A su vez externamente tiene dos anillos para ajustar el enfoque y la obturación.

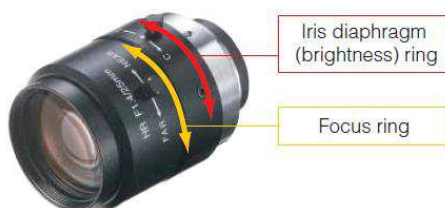


Figura 20. Sistema de ajuste de la lente [Sistemas de Visión Artificial Serie XG-X, 2017].

El lente cuenta con un sistema de ajuste (figura 20) el cual consta de un anillo para ajustar la cantidad de luz con la cual se captura la imagen controla la apertura del diafragma, el cual trabaja como el iris del ojo humano, controlar la cantidad de luz entrante.

El anillo para ajustar el enfoque controla la nitidez de la imagen. Consiguiendo una imagen lo más nítida posible implicará tener una imagen más óptima.

Estos dos anillos se ajustan manualmente y de manera física. La numeración que lleva cada lente indica la distancia focal, (figura 21) esta es la distancia entre el centro óptico de la lente y el punto focal (donde convergen los rayos de luz).

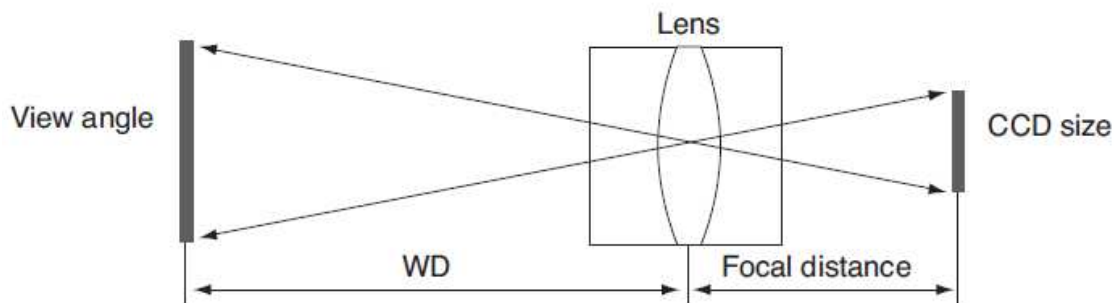


Figura 21. Funcionamiento de sistema de ajuste [Sistemas de Visión Artificial Serie XG-X, 2017].

La elección de la lente depende de la distancia de trabajo y campo visual de inspección. Cada cámara con distinto tamaño de CCD le corresponden unas distancias de trabajo y un campo visual concretos por cada lente distinta.

Dependiendo de la aplicación es importante tener en cuenta distintos factores de configuración de las lentes:

- Cuanto más cerrado este el diafragma, mayor profundidad de campo, o lo que es lo mismo, menos desenfoque de la imagen al variar la distancia de trabajo.
- Cuanto menor distancia focal, mayor profundidad de campo.
- Cuanto menor distancia focal, mayor distorsión en los laterales de la imagen. La distorsión es la relación de cambio entre los laterales y el centro de la imagen. Lo que se conoce como efecto de ojo de pez.
- Existen distintos modelos de lentes, los cuales varían características como la resolución y distorsión de la imagen. La elección de unas u otras implicaría obtener imágenes más óptimas en cuanto a resolución y distorsión.

3. Iluminación.

La iluminación es una de las grandes condicionantes para tener éxito en la resolución de cualquier aplicación basada en visión artificial. Los colores que utiliza el sistema de Keyence pueden ser en luz blanca, roja y azul. El tener una iluminación de un color otro dependerá de la pieza a estudiar. El color simplemente es la reacción de un material a la luz, si esta es blanca entonces el color que se verá reflejado de la pieza será el de su propia tonalidad. Por ello, dependiendo del material de la pieza y de las características a estudiar, hay veces que puede ser interesante iluminar con luz roja o azul. Existen diferentes tipos o formas de iluminación que podemos agrupar en: directa, difusa, coaxial, ángulo bajo y de fondo.

Iluminación Directa: En la iluminación directa los haces de luz inciden directamente en la pieza. La iluminación directa puede ser anular o de barra. La **iluminación anular** está formada por un anillo de pequeños leds que son capaces de proporcionar una iluminación uniforme (Figura 22).



Figura 22. Iluminación Anular Directa [XG-X Catalogue, 2017].

El segundo tipo de iluminación directa se conoce como **iluminación en línea o en barra** directa debido a que dispone los leds a lo largo de una línea (Figura 23). Esta iluminación a diferencia de la anular tiene mayor flexibilidad a la hora de su posicionamiento. Con ello se puede iluminar en función de la pieza con mayor libertad para optimizar las condiciones de luz, incluso añadiendo las barras de iluminación necesarias.



Figura 23. Iluminación Barra Directa [XG-X Catalogue, 2017].

Iluminación Difusa: El objetivo de este tipo de iluminación es de crear una zona de luz suave que evite la incidencia de rayos directos en la pieza. Esta iluminación consiste en un anillo o cuadrado con un panel difusor delante de los leds para generar una luz difusa multi-ángulo (Figura 24). Esta iluminación también es útil en aplicaciones estándar donde se quieran evitar brillos sobre la pieza. Se suele utilizar en objetos que tengan distintos planos de altura, ya que al incidir en ángulo puede generar condiciones más óptimas de iluminación en la forma de la pieza.



Figura 24. Iluminación Difusa Multi-ángulo [XG-X Catalogue, 2017].

Existe otro tipo de iluminación difusa conocido como domo. Una **iluminación en domo** consiste en una cúpula hueca en cuyo interior se dispone un anillo de leds que inciden la luz directamente en el interior de la cúpula (Figura 25). De esta manera se crea un rebote de luz difusa para conseguir una iluminación uniforme.

Esta iluminación elimina las sombras y puntos brillantes que se pueden producir con la iluminación directa. Son las luces óptimas para piezas brillantes como las metálicas.

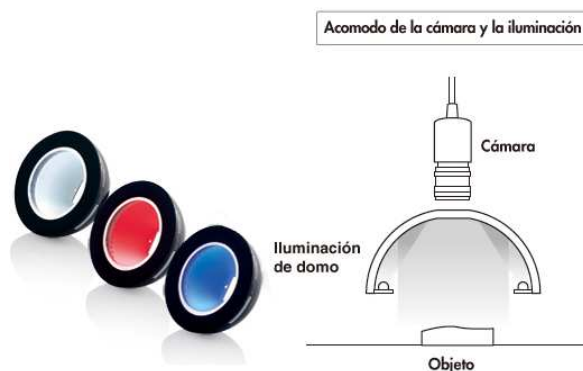


Figura 25. Ejemplo de Iluminación difusa en Domo [XG-X Catalogue, 2017].

Iluminación Coaxial: el objetivo de este tipo de iluminación es de iluminar la pieza mediante la reflexión especular eliminando la reflexión difusa. Esta iluminación proporciona un alto contraste, esto se debe a que solo la luz de reflexión especular llega a la cámara, mientras que la luz difusa procedente de los bordes no. Es eficaz cuando se inspeccionan superficies especulares y brillantes, y a la hora de distinguir entre objetos de acuerdo a diferencias de brillantez.

La iluminación se compone de una caja en mitad de la cual hay un espejo inclinado (Figura 26), este hace que los rayos de luz reboten e iluminan la pieza, posteriormente deja pasar la reflexión especular y no la difusa.



Figura 26. Funcionamiento de Iluminación Coaxial [XG-X Catalogue, 2017].

Iluminación en Angulo Bajo: La iluminación en ángulo bajo (Figura 27) proporciona un alto contraste en bordes, rebajes o protuberancias, frente a un fondo uniforme. Está formada por un anillo de leds los cuales apuntan hacia dentro, de tal manera que generan una cortina de luz la cual remarcará los bordes de la pieza. Esta iluminación al ser circular está pensada para piezas que también lo sean, o por lo menos, que la zona que se quieran inspeccionar pueda incidir la luz mediante una forma geométrica similar a la del anillo.



Figura 27. Ejemplo de Iluminación Angulo Bajo [XG-X Catalogue, 2017].

Iluminación de Fondo.

Esta iluminación (Figura 28) consiste en situar detrás de la pieza un panel led de tal manera que se genere la silueta del objeto con alta precisión, consiguiendo así poder realizar medidas precisas de la pieza.



Figura 28. Iluminación de Fondo. [XG-X Catalogue, 2017].

En resumen, el **sistema de visión multipropósito** sirve para diferentes aplicaciones, depende del problema que se quiera resolver se deberá elegir la cámara, lente e iluminación. El objetivo general de combinar los distintos sistemas de iluminación, lentes, cámaras y módulos es llegar a tener una gran flexibilidad y versatilidad, siendo la controladora capaz de manipular todos los sistemas de iluminación (hasta ocho sistemas) y cámaras de diferente resolución (máximo cuatro). En la imagen 29 se muestra un esquema general de cómo se podría llegar a configurar el sistema.

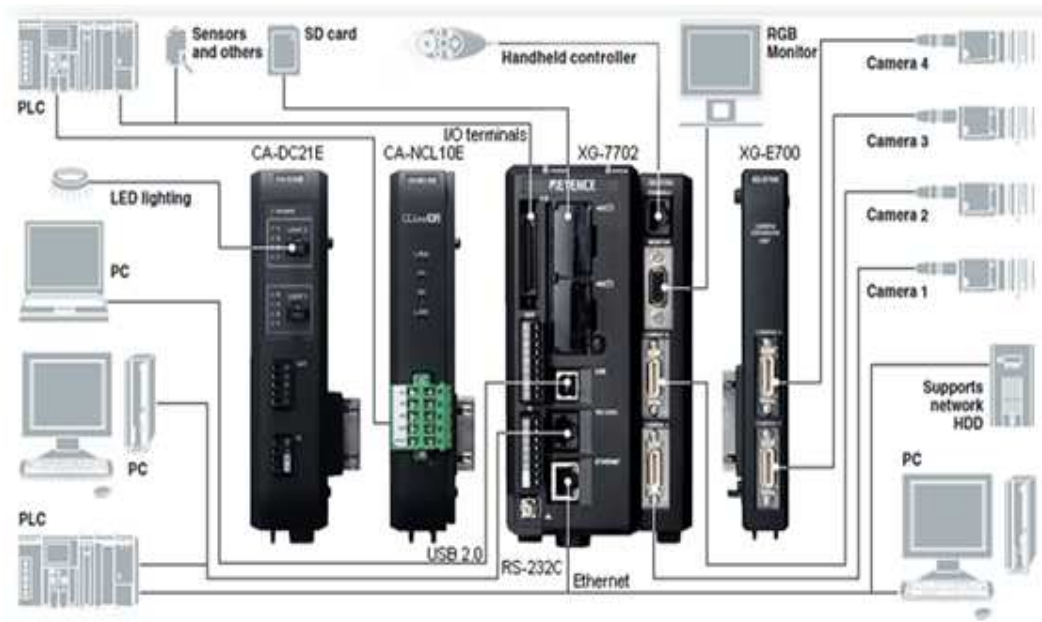


Figura 29. Esquema General de Sistema de Visión [XG-X2000 SetupManual, 2017].

Los sistemas de visión multipropósito de Keyence se pueden utilizar con la cámara fija, o bien montada en un robot. La ventaja que ofrece este segundo sistema es que, en una estación o isla robotizada, se puede tener una cámara montada en el robot (guiado de robot), otra cámara a la entrada de la isla (para reconocer el tipo de pieza) y otra cámara a la salida para revisar puntos de calidad. Todas las cámaras se pueden conectar a una sola controladora y obviamente al autómatas, el cual controla todo el conjunto (robot, conveyor, sistema de visión, etc.).

3.2 Ejemplos de aplicación del Sistema de Visión Keyence para la supervisión del montaje de pistones de motor.

A continuación, se presentan cuatro ejemplos de aplicación con el sistema de visión multipropósito de Keyence en el ámbito de automoción [Sistemas de Visión Artificial Serie XG-X, 2017] [Machine Vision Academy, 2016]. La aplicación consiste en la inspección de cuatro diferentes partes de un bloque motor relativas a los pistones.

1. Inserción de circlips para fijar el bulón del pistón.

En la Figura 30 se observa la pantalla que el operario vería para la inserción de los circlips que impiden la salida del bulón del pistón. El sistema de visión realiza la captura de la imagen y el programa primero detecta la zona de trabajo, la cual corresponde a los dos círculos azules con diámetros 351mm y 362mm. Eso quiere decir que la **zona de búsqueda** se encuentra entre esos dos diámetros, por lo tanto, el sistema descarta todo lo que se encuentre fuera de esos límites. El programa utiliza filtros para convertir a escala de grises la imagen; al tratarse de una imagen de 8 bits existen 256 tonos de gris. En la imagen en escala de grises cada píxel tiene un valor de brillo que va de 0 (negro) a 255 (blanco). Por lo tanto, el análisis consiste en encontrar en la

zona de búsqueda un círculo de píxeles con valores más cercanos al negro que representan el circlip. Una vez encontrado el circlip en dicha zona de búsqueda, determina su medida con respecto al centro de la zona de búsqueda y representa el valor medido en la pantalla.

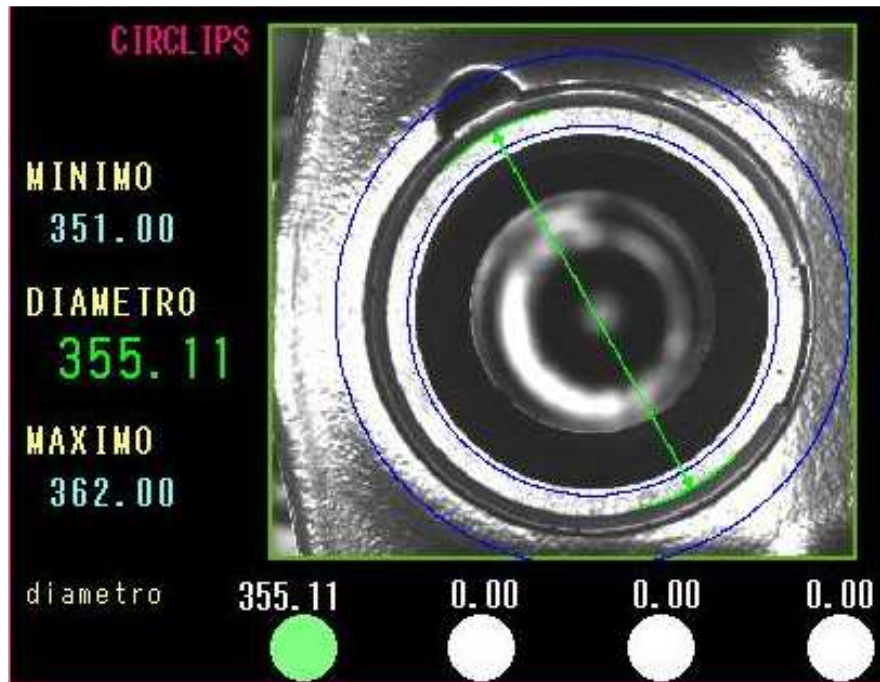


Figura 30. Detección y Medición de Circlip [Sistemas de Visión Artificial Serie XG-X, 2017].

Si el sistema no llega a detectar el circlip, es decir que en la zona de búsqueda sólo se encuentran píxeles más cercanos al 255 (blanco), el indicador verde en la figura se pondrá de color rojo indicando error de montaje.

2. Correcto posicionamiento de las bielas.

Para el posicionamiento correcto de las bielas (Figura 31), el sistema de visión primero realiza la captura de la imagen, después convierte la imagen a escala de grises y limita la búsqueda a dos zonas. En una busca el poka-yoke y en la otra busca un patrón característico que puede ser una letra, número, marca, forma, etc. Esto permite que sin en la misma línea pasan diferentes modelos de motor y llevan diferente tipo de biela, el programa del sistema de visión permita detectar características únicas en cada modelo de biela y presentarlo en la pantalla.

En este caso el sistema para poder detectar el poka-yoke (líneas amarillas en la figura) utiliza una función para extraer la tendencia del borde dentro de la zona de inspección, observando si la tendencia (líneas amarillas) forma un segmento, el cual corresponde a un parámetro dimensionable. La detección del borde lo realiza mediante varias herramientas, entre la que destaca un cambio de contraste.

La detección del patrón se realiza detectando la forma característica (cuadrado verde) dentro de la zona de inspección (cuadrado azul). Si el patrón no aparece, significa que la pieza viene colocada a la inversa, generando un mensaje de error (indicador en rojo).

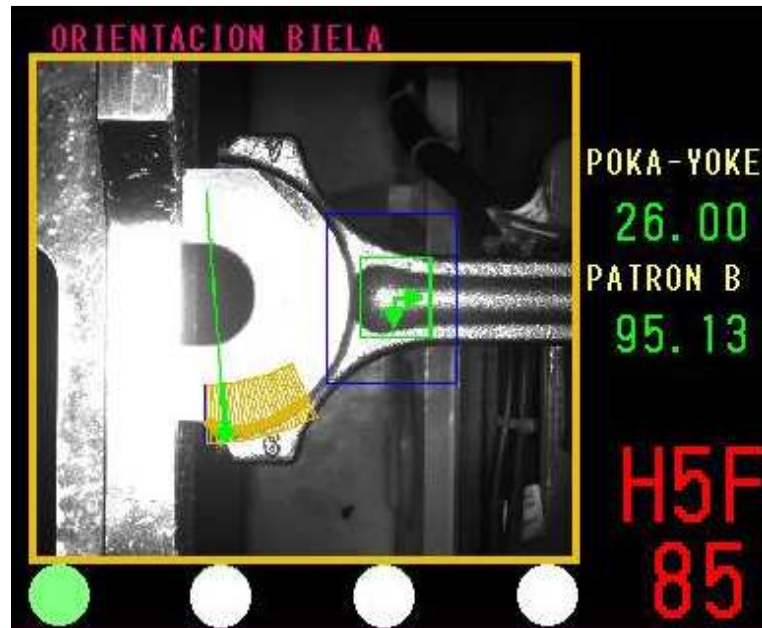


Figura 31. Orientación de la Biela [Sistemas de Visión Artificial Serie XG-X, 2017].

3. Detección de segmentos.

El sistema de visión realiza la detección de los segmentos del pistón (Figura 32), para ello el sistema nuevamente realiza la captura de imagen y la convierte a escala de grises. En este caso se tienen tres segmentos a inspeccionar, solo se necesita verificar si la forma es la correcta y si el pistón tiene los segmentos en buen estado, es decir que las ranuras del pistón no tengan algún defecto (golpe, fisura etc.)

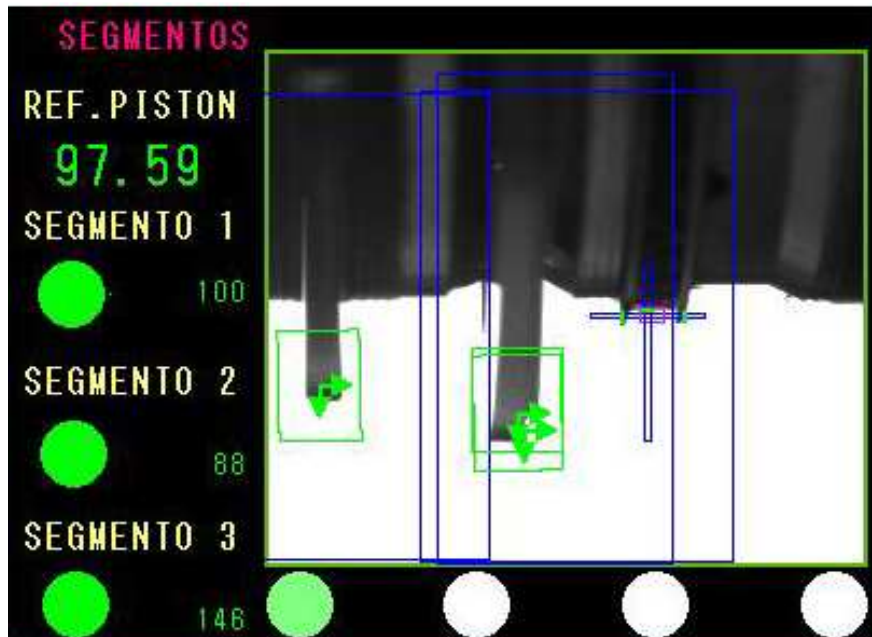


Figura 32. Detección de Segmentos de Pistón [Sistemas de Visión Artificial Serie XG-X, 2017].

Después de convertir la imagen a escala de grises, el programa la convierte a binaria donde cero equivale a negro y 1 equivale a blanco. Mediante una extracción de contraste en la zona del pistón el programa hace que los valores de la imagen a escala de grises más próximos a 255 se conviertan automáticamente en blanco (1) en la imagen binaria y los más próximos a cero en escala de grises, directamente los convierte a negro (0), con esto se logra tener que la silueta del pistón se convierta en color blanco, resaltando del resto.

Posteriormente el programa utiliza herramientas de reconocimiento de patrón, en este caso el patrón serán los segmentos, es necesario tener las zonas de inspección bien definidas (cuadrado azul), así como los patrones característicos (cuadrado verde).

Si el programa llegara a detectar un fallo, informaría en la pantalla sobre el segmento en el que está el fallo y en que pistón.

4. Lectura Data Matrix en pistón.

Para la lectura del código Data Matrix (Figura 33), el sistema de visión dentro del programa cuenta con una herramienta capaz de leer los códigos ya sea Data Matrix, QRC o caracteres, sin embargo, para la lectura de caracteres es necesario crear una biblioteca.

En este caso al tratarse de un código Data Matrix solo es necesario limitar la zona de inspección (cuadrado azul) y generar un patrón de lectura (cuadrado verde). De esta manera el sistema realiza la captura, convierte la imagen a escala de grises, posteriormente convierte la imagen de escala de grises a binario, y utiliza una extracción de contraste cerca de la zona de inspección, sin problemas de resolución o ruido. Si el sistema no detecta el patrón completo, no se realiza la lectura, por lo tanto, el sistema alertaría al operario.

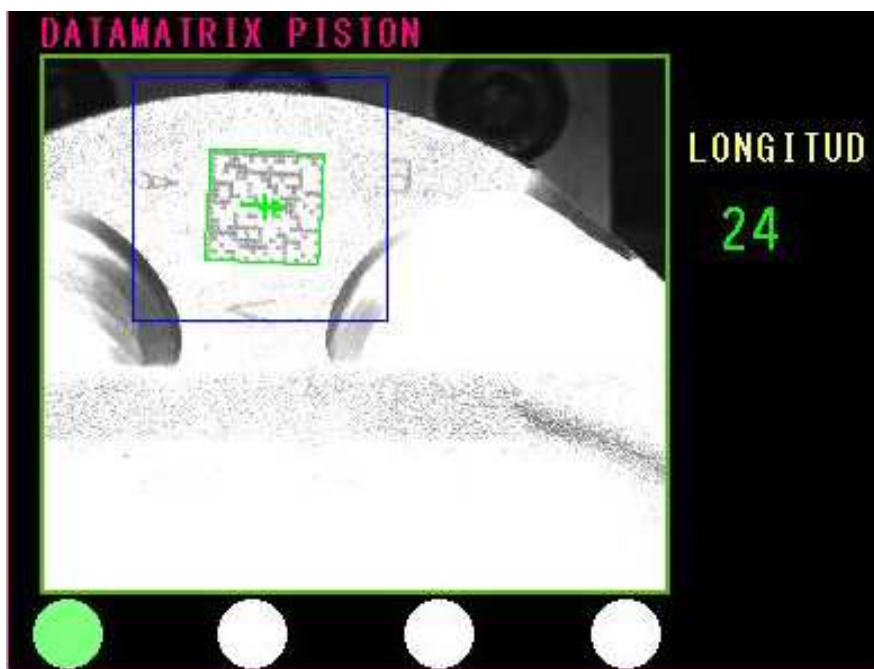


Figura 33. Lectura de Código Data Matrix [Sistemas de Visión Artificial Serie XG-X,2017].

Los ejemplos de aplicación anteriores se utilizan mucho en la industria de automoción, ya que se basan en un sistema de inspección automático. La ventaja que ofrece este tipo de sistemas es de eliminar estaciones o puestos de inspección, con lo que en un solo puesto se puede realizar la inspección de cuatro puntos diferentes, lo que asegura la calidad de las piezas y tener un seguimiento individual, ya que cada imagen que se captura puede ser almacenada con los valores de inspección (Ok o No OK) para tener un registro de todas las piezas y tener valores cuantificables.

4 La Industria 4.0 y la fabricación de automóviles.

4.1 Potencial de la aplicación de la Industria 4.0 a la fabricación de automóviles.

La aplicación del concepto de la I4.0 en la industria de automoción afectará a los procesos de fabricación de tal manera que la cadena de valor de los productores cambiará desde diseño hasta el servicio posventa, los cambios más relevantes se describen a continuación [Rüßmann Michael, 2015]:

Los procesos de producción se optimizarán a través de sistemas TI integrados mediante el uso del IoT a lo largo de la cadena de valor, dando como resultado que las celdas o líneas de fabricación actuales sean reemplazadas por líneas de producción integradas totalmente y automatizadas con robots industriales y/o colaborativos. Al implementar el uso de robots, máquinas inteligentes y productos inteligentes que se comunican entre sí y toman ciertas decisiones **la flexibilidad de los procesos de fabricación aumentará.**

Los productos, procesos y la automatización de la producción serán diseñados y representados virtualmente en un proceso integrado y mediante la colaboración de proveedores, los prototipos físicos se reducirán a un mínimo.

Los procesos de fabricación se mejorarán a través del aprendizaje y la optimización automática de equipos que sean capaces de ajustar sus propios parámetros a medida que detecten ciertas propiedades del producto no terminado.

La logística utilizará los vehículos autónomos y robots, de tal forma que se convertirá en una logística automatizada ya que se ajustará automáticamente a las necesidades de producción

Resumiendo los capítulos anteriores, se pueden llegar a la conclusión de que la Industria 4.0 comprende un **cambio organizacional y de gestión de la cadena de valor** a lo largo de la vida de un producto, por lo tanto, los **principales objetivos de la I4.0** en la industria de automoción son:

- Adaptación de la producción.
- Mejor interacción entre interface hombre máquina (HMI)
- Seguimiento y auto reconocimiento de partes y productos a través de máquinas inteligentes.
- Mejora de la logística y la cadena de suministros.
- Cambios en el modelo de fabricación contribuyendo a cambiar las formas de interactuar con la cadena de valor.
- Optimización de la producción basada en la comunicación del IoT.

En base a los objetivos antes mencionados, la industria de automoción ha tenido que adaptarse para poder cumplirlos, a tal grado que se ha cambiado el modelo de fabricación, para ello se proponen cuatro conceptos (Figura 34) que se consideran como el nuevo modelo de fabricación utilizando la metodología de Industria 4.0.

La Figura 34 muestra la representación de los conceptos propuestos como el **nuevo cambio de modelo de fabricación**; este modelo de fabricación se propone en base a la bibliografía consultada y se incluye lo más relevante [Ridgway Keith, 2013].

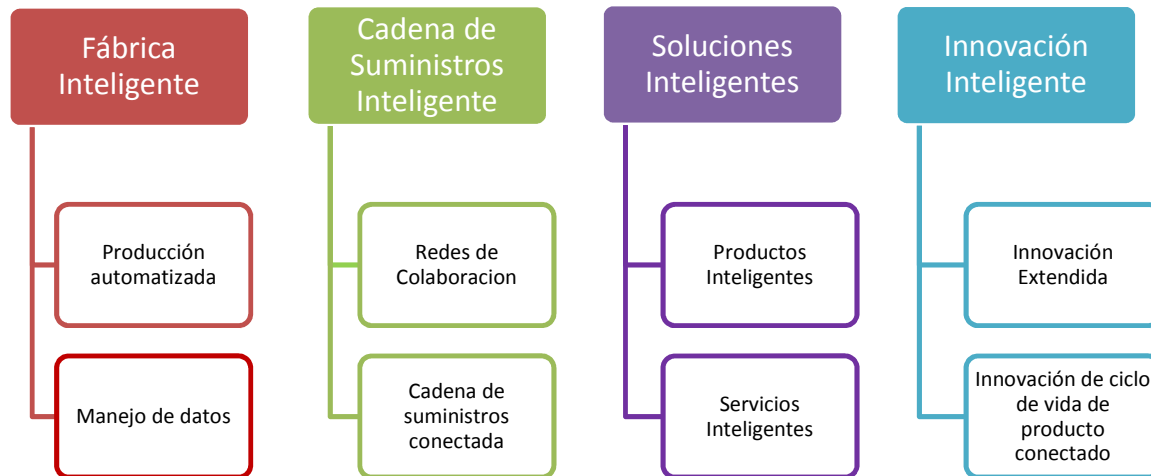


Figura 34. Representación de Pilares de Cambio.

- **Fábrica Inteligente** [Hermann, Mario, 2015].

El término de Fábrica Inteligente o Smart Factory se refiere a el entorno donde las diferentes máquinas y recursos (robots, mantenimientos conveyors, AGV's) son capaces de mejorar los procesos por medio de la automatización y la auto-optimización. La estructura de la fábrica inteligente incluye una combinación de tecnologías de producción, información y comunicación, con el potencial de integración en toda la cadena de suministro de fabricación.

La fábrica inteligente está formada de manera general por dos partes importantes, la **producción automatizada y el manejo de datos**.

Las **principales tecnologías que hacen posible la producción automatizada** son:

- **Sensores embebidos (detección, medición, control).**

Los sensores permiten monitorear procesos específicos en toda la fábrica, lo que aumenta la conciencia sobre lo que está sucediendo en múltiples niveles. Por ejemplo, la detección de vibración puede proporcionar una advertencia cuando se deben mantener motores, cojinetes u otros equipos. Este tipo de advertencias sutiles se convierten en alertas para el mantenimiento preventivo u otras acciones que evitan problemas de producción más grandes si no se atienden.

- **Robótica (robots industriales, colaborativos y AGV's).**

El uso de robots industriales y colaborativos son punto clave para la optimización de procesos de fabricación en las diferentes empresas de fabricación de automóviles, sin embargo la robótica que más destaca es la de los vehículos autónomos mejor conocidos como AGV's, que presentan como principal ventaja, la tecnología para poder detectar personas y/u obstrucciones inesperadas en el trascurso de su trabajo, lo cual permite que la manipulación de materiales sea más eficiente y segura y mantienen la producción funcionando de manera óptima.

Durante el proceso de producción automatizada se genera un gran volumen de datos por medio de los diferentes sensores utilizados. En efecto, con la tecnología de IoT, los sensores y los diferentes sistemas/máquinas se conectan y se comunican formando el volumen de datos antes mencionado, el cual puede contener datos de máquinas, proceso, calidad etc. Con el fin de tener un registro de todos los procesos de fabricación y poder realizar la toma de decisiones

necesarias, es necesario tener un **manejo controlado de datos**, utilizando las tecnologías de **Big Data y Cloud Computing** (explicados en capítulo 2).

La **inteligencia de la fábrica se genera debido a la comunicación y a la capacidad de usar los datos**, de ahí la palabra “inteligente” dentro del término fábrica inteligente. La aplicación de esa “inteligencia” a nivel fábrica crea un **entorno de producción dinámico** lo que reduce costos, mejora de fiabilidad y calidad.

La fábrica inteligente **genera como principal impacto un cambio en los roles que asumen los trabajadores** de tal manera que los trabajadores podrán realizar tareas más complejas mientras que la automatización se encargara de las tareas repetibles, cabe mencionar que la tecnología en general no elimina los trabajos. A medida que las fábricas se vuelven más avanzadas a nivel tecnológico, la cantidad de trabajos indirectos aumentará proporcionalmente y a su vez, surgirán proveedores nuevos en nuevas industrias alimentando los avances desde fuera de la fábrica inteligente [Rick Burke, 2017].

- **Cadena de Suministros Inteligente** [Cerasis, 2015] [Keller, Michael, 2014].

Utilizando el concepto de I4.0, la cadena de suministros se convierte en “inteligente”. La cadena de suministros inteligente, está formada principalmente por **la red de colaboración, y la cadena de suministro conectada**. La red de colaboración describe la dirección de la **integración horizontal** que permite que los fabricantes puedan enfocarse en sus competencias al ofrecer productos personalizados. Las cadenas de suministro conectadas se forman a través de **redes verticales de suministro** que permiten la integración y automatización de procesos físicos y proporcionan una mayor transparencia en el proceso de proporcionar notificaciones de transporte de los proveedores.

La integración (horizontal y vertical) hace posible la cadena de suministros inteligente. Gracias a la cadena de suministros inteligente es posible adaptarse a los cambios en el proceso de fabricación debido a la implementación de la I4.0. Es por este motivo que la cadena de suministros cambia y se realiza una integración conocida como end to end a lo largo de la cadena de suministros.

La industria automotriz cuenta con grandes redes de suministro con varias fábricas y compañías en cadenas de suministros secuenciadas e integran los suministros clave en el desarrollo del automóvil. Las cadenas de suministro en la industria automotriz se caracterizan por su alta complejidad, debido a que los automóviles se componen por una gran cantidad de componentes e involucran varias compañías para el desarrollo y producción de un solo modelo automóvil. La cadena de suministros de una fábrica automotriz tiene poca necesidad de tener una reorganización ágil de la cadena de suministros y adaptaciones flexibles de los procesos de fabricación, debido a que se manejan ciclos de vida del automóvil relativamente largos y lotes muy grandes de piezas.

En resumen, el cambio principal que se genera en la cadena de suministros es que siempre se tendrá un control del flujo de todo el proceso de fabricación, se sabrá en cualquier momento donde se encuentra cualquier pieza que forma parte del vehículo, y se tendrá toda la información relevante sobre esa pieza en cualquier fábrica.

- **Soluciones Inteligentes.**

Las soluciones inteligentes se forman por dos grupos importantes:

- **Productos inteligentes** [Schmidt Rainer, 2015]:

Los productos inteligentes son sistemas físicos cibernéticos (CPS) que brindan nuevas características y funciones basadas en la conectividad. Es decir, son productos capaces de hacer cálculos, almacenar datos, comunicarse e interactuar con su entorno. Los productos inteligentes son capaces de comunicar información,

describir sus propiedades, estado e historial. La información que comunican es durante todo su ciclo de vida, es decir conocen los pasos del proceso por el cual pasaron y tienen la posibilidad de definir pasos futuros como podría ser recabar información o informar al cliente sobre un mantenimiento al vehículo.

- **Servicios inteligentes** [Schreiber Rick, 2016].

Como principal servicio inteligente nos referimos a la logística inteligente, la cual gracias al uso de diferentes tecnologías cambia radicalmente la logística tradicional.

La logística inteligente abre la puerta a nuevos escenarios ya que permite una gestión más fácil y totalmente automatizada de los flujos de mercancía (materia prima, piezas, productos, etc.) entre el punto de origen y el punto de consumo/aprovechamiento, con el fin de cumplir requisitos específicos en términos de costo, tiempo, o de medios de transporte.

- **Innovación Inteligente.**

La innovación inteligente se refiere a los métodos de innovación extendida, así como a la innovación del ciclo de vida del vehículo.

La innovación extendida, también llamada innovación abierta se refiere a la cooperación entre grandes compañías del sector de automoción. La innovación extendida ayudara al desarrollo de nuevas tecnologías debido a que las diferentes compañías que se asocien o cooperen entre sí, podrán compartir conocimientos y recursos para desarrollar tecnologías propias, reduciendo los gastos de investigación y generando nuevas áreas dentro de la organización de la empresa [Ejim-Eze Emmanuel, 2015].

La innovación del ciclo de vida del vehículo se refiere al término conocido como la gestión de ciclo de vida de producto (conocido habitualmente como PLM). El PLM es un enfoque que sirve para gestionar todos los cambios o fases por las que pasa un vehículo, desde el diseño y desarrollo hasta que el vehículo es desechado.

El PLM se puede dividir en tres fases [Neradilová Hana, 2015]:

- **Inicio:** en esta fase se incluye el desarrollo de nuevos productos y todo el proceso de diseño
- **Media Vida:** esta fase incluye toda la cooperación con los diferentes socios y proveedores, así como la gestión de la información del producto y gestión de garantía.
- **Fin de Vida:** la última fase del PLM comprende a la implementación de las diferentes estrategias para la eliminación del producto o reciclado.

La fase más importante del PLM es la de media vida, debido a que es cuando el usuario se encuentra utilizando el vehículo y con el uso de diferentes tecnologías (IoT, Cloud Computing, etc.) es posible extraer datos que posteriormente pueden ayudar a mejorar los procesos de fabricación.

En base a los capítulos anteriores y la bibliografía consultada es posible determinar que el uso de las diferentes tecnologías habilitantes aplicadas al concepto de I4.0 modificará la forma de fabricación de automóviles (Figura 35) así como el modelo de negocio.

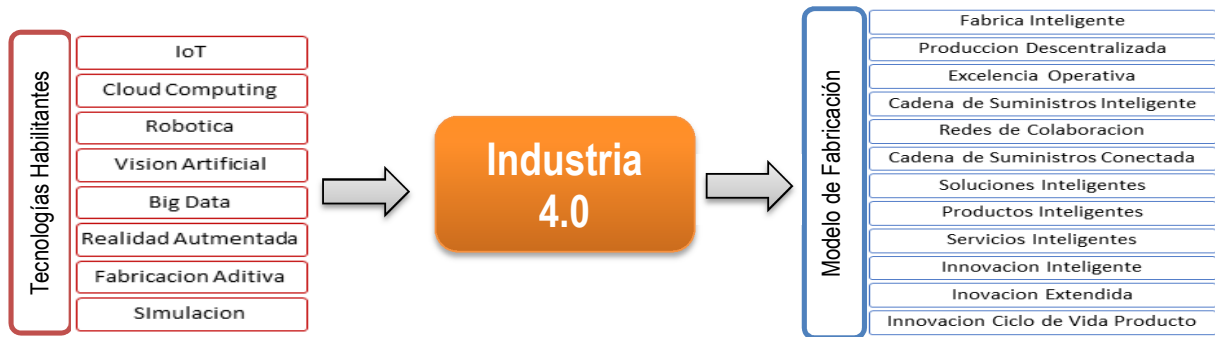


Figura 35. Representación de Cambio de Modelo de Negocio de Fabricación.

4.2 Influencia de Industria 4.0 en el Modelo de Negocio.

En el contexto de la I4.0 donde la digitalización de las empresas empieza una brecha de nuevas oportunidades de negocio se han abierto, la utilización de las diferentes tecnologías de la Industria 4.0, ha demostrado que es posible crear servicios inteligentes para los clientes/dueños de vehículos.

El modelo de negocio se puede ver como una herramienta conceptual (Figura 36) la cual contiene un conjunto de elementos (segmentos de clientes, propuesta de valor, canales, relaciones con los clientes, flujos de ingresos, recursos clave, actividades clave, socios clave, estructura de costos), y permite expresar la lógica comercial de una empresa específica. Es una descripción del valor que una compañía puede ofrecer a uno o varios segmentos de clientes, así como la arquitectura de la empresa y su red de sus socios para crear, comercializar y entregar este valor, para generar flujos de ingresos rentables y sostenibles.

Key Partners	Key Activities	Value Proposition	Customer Relationships	Customer Segments
	Key Resources		Channels	
Cost Structure			Revenue Streams	

Figura 36. Herramienta de Modelos de Negocios [Gierej Sylwia, 2017].

De acuerdo a los capítulos anteriores, la Industria 4.0 se refiere a la combinación de varias innovaciones importantes en tecnología digital, todas en madurez en este momento, todas preparadas para transformar los sectores de energía y fabricación. Estas tecnologías incluyen robótica avanzada e inteligencia artificial; sensores sofisticados; computación en la nube; el Internet de las cosas; captura de datos y análisis; fabricación digital (incluida la impresión 3D); software como servicio y otros nuevos modelos de mercadeo; teléfonos inteligentes y otros dispositivos móviles; plataformas que utilizan algoritmos para dirigir vehículos de motor (incluidas herramientas de navegación, aplicaciones para compartir viajes, servicios de entrega y viaje, y vehículos autónomos); y la incorporación de todos estos elementos en una cadena de valor global interoperable, compartida por muchas empresas de muchos países.

Estas tecnologías a menudo se piensan por separado. Pero cuando se unen, integran el mundo físico y el mundo virtual. Este cambio permite una nueva forma poderosa de organizar las operaciones globales: llevar la fungibilidad y la velocidad del software a la producción de máquinas a gran escala. Bajo el modelo

Industria 4.0, el diseño y desarrollo del producto tiene lugar en laboratorios simulados y utiliza modelos de fabricación digital. Los productos en sí mismos toman forma tangible solo después de que la mayoría de los problemas de diseño e ingeniería hayan sido resueltos. Las redes de maquinaria que han engendrado la sociedad industrial se convierten en sistemas conscientes de tecnología altamente flexible, respondiendo rápidamente no solo a los comandos humanos, sino a sus propias percepciones y autodirección.

Esta infraestructura tecnológica aún se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo. Pero ya está transformando la fabricación. Las empresas que adoptan Industria 4.0 están comenzando a rastrear todo lo que producen de la cuna a la tumba, enviando actualizaciones para productos complejos después de que se venden (de la misma manera que el software se ha actualizado). Estas compañías están aprendiendo a usar la **personalización masiva**: la capacidad de fabricar productos en lotes de uno de forma tan económica como podrían hacer un producto producido en masa en el siglo XX, mientras adaptaban completamente el producto a las especificaciones del comprador. A medida que el movimiento se desarrolla, estas tendencias se aceleran. También lo hará la invención de nuevos productos y servicios, incluyendo nuevas formas de abordar los problemas más difíciles de la actualidad: el cambio climático y la contaminación, la demanda de energía, las presiones de la urbanización y los problemas que acompañan al envejecimiento de la población.

El **ahorro de costos** es en gran medida el resultado de una mayor eficiencia e integración tecnológica. Industria 4.0 reemplaza los sistemas heredados redundantes, como los de gestión de operaciones y planificación de recursos empresariales, con un todo interoperable único en toda la empresa, que es mucho menos costoso. Debido a que la experiencia del usuario en los sistemas operativos ha mejorado en los últimos años, los empleados tienden a ser más felices y productivos con Industria 4.0. Esto reduce los costos de capacitación, soporte y rotación de personal, y aumenta la velocidad de las operaciones. El análisis predictivo, cuando se usa para soportar el control y el mantenimiento de la calidad en tiempo real, contribuye al ahorro al suavizar las operaciones y reducir las averías.

Los **aumentos de los ingresos**, por su parte, provienen en gran medida de ofrecer nuevas características y productos digitales, o de la introducción de análisis y otros servicios digitales nuevos a los clientes. Además, la disponibilidad de datos en tiempo real permite a las empresas ofrecer productos más personalizados y soluciones personalizadas, que generalmente generan márgenes significativamente más altos que las ofertas fabricadas en masa. Las oportunidades son lo suficientemente prometedoras como para que alrededor del 55 por ciento de los encuestados esperara ver su inversión devuelta dentro de dos años, un tiempo cortó considerando la cantidad de capital requerido [Reinhard Geissbauer, 2016].

4.3 La fábrica de vehículos ideal.

Desde los inicios del concepto de la Industria 4.0 se ha tenido una visión de lo que se considera la fábrica ideal aplicando el concepto de la I4.0. Para ello muchas empresas del ámbito automotriz se han puesto como meta el implementar la I4.0 como máximo para el año 2030.

La fábrica ideal de vehículos se puede desglosar en cuatro aspectos principales [Stock T., 2016].

1. Fabricación.

El futuro de las fábricas implica la integración total de los recursos de fabricación entre ellos destacan los sensores, robots industriales, transportadores, robots autónomos, actuadores etc. Con el fin de intercambiar información de manera automática convirtiendo a la fábrica en "inteligente" de tal manera que será posible predecir y mantener máquinas para poder administrar el sistema de la fábrica y controlar el proceso de producción.

2. Negocios.

La fábrica ideal enfocada a los negocios implica la existencia de una red de comunicación lo bastante robusta para poder comunicar fábricas, proveedores, clientes, logística toda la comunicación en tiempo real, lo que comprende realizar una inversión bastante grande en

aplicaciones de IoT, Cloud Computing, Big Data, etc. Con el objetivo principal de que toda red se pueda llegar a un estado de auto organización.

3. Productos.

El futuro de los vehículos tendrá un cambio radical, convirtiendo a los vehículos y piezas que lo conforman en “inteligentes”, debido a que varias piezas del vehículo estarán integradas con tecnología de identificación (RFID), sensores, y procesadores con el fin de llevar información y a su vez transmitir información relevante que pueda servir para mejorar los procesos de fabricación.

4. Clientes.

El principal beneficio de la visión de la fábrica ideal será el cliente, debido a que los métodos de compra cambiarán de tal manera que el cliente será capaz de pedir un vehículo con características únicas, es decir el cliente tendrá opciones de personalización del vehículo. Por otro lado, la inteligencia de los productos permitirá al cliente no solo conocer la información del vehículo, si no también recibir un asesoramiento de la utilización en función del tipo de manejo del conductor.

A nivel de fabricación, la fábrica ideal requiere un cambio radical en los diferentes procesos, de tal manera que es posible englobarlos e integrarlos. Para ello se proponen **cinco características de los sistemas de fabricación**, los cuales comprenden la integración de los diferentes equipos y recursos, para realizar las diferentes operaciones de producción/montaje, con diferentes niveles de automatización y flexibilidad [Küpper, 2016], [Stock, 2016].

1. Líneas automatizadas de estación única

Este tipo de sistema será totalmente automatizado. Todos los recursos (máquinas, robots, transportadores, etc.) serán automáticos y controlados por un sistema central que mantendrá la comunicación entre todos los recursos implicados. Este sistema aporta dos grandes beneficios: la reducción de costos de fabricación y el aumento de la productividad.

2. Sistema de ensamblaje automatizado.

Los sistemas de ensamble serán automáticos en su totalidad, para ello se contará con una gran cantidad de robots industriales, los cuales reemplazarán a los operadores. El sistema estará diseñado para realizar el ensamblaje de un producto específico, por lo que será necesario un que el sistema sea altamente estable y repetitivo.

3. Sistema de fabricación flexible.

Este tipo de sistema se enfocará en la total flexibilidad, es decir el sistema estará diseñado para fabricar/montar una familia de piezas determinado. Para ello será necesario tener varias estaciones conectadas a una manutención automatizada controlada por un PLC con red profinet. Cada pieza de trabajo se podrá identificar al entrar a la isla robotizada o línea de fabricación/montaje, de tal manera que las máquinas o robots sabrán con anticipación y serán capaces de utilizar el programa con las operaciones o movimientos correspondientes a esa pieza. Una de las principales ventajas que promete este tipo de sistemas es la reducción de espacios, ya que será posible eliminar estaciones para realizar una sola estación o línea que cubra todas las diversidades que tenga una pieza.

4. Sistema de fabricación integrado por computadora.

El sistema de fabricación integrado por computadora actualmente ya se utiliza debido a que en diferentes partes del proceso, un ordenador conectado a un PLC puede gestionar todos los recursos (MOP). Sin embargo la innovación que se tendrá en este tipo de sistema es que será totalmente automático a nivel de fabricación es decir desde la gestión de materiales y diseño, hasta la producción y distribución. Este tipo de sistemas estará formado como mínimo por dos

computadoras que intercambiarán información entre sí, con el objetivo de que la producción se obtenga con menos errores y de forma más rápida.

5. Sistema de fabricación reconfigurable.

El sistema estará diseñado para poder realizar ajustes en los cambios que se generen en la línea de producción. Esto es debido a que en las factorías de automóviles se fabrican diferentes modelos en la misma línea, y se cuenta con diferentes familias de piezas diferentes. Este sistema podrá cumplir con la producción/montaje de las diferentes diversidades de piezas con los mismos recursos. El sistema estará diseñado con el objetivo de poder aumentar la respuesta cambiante de diferentes requisitos o situaciones, lo que significa que se enfocará más en la flexibilidad personalizada que en la flexibilidad de producción.

La Figura 37 muestra un esquema general de lo que supone que sería la visión de la fábrica ideal, se puede observar todo lo que implicaría la implementación de la I4.0 y el largo camino que debe de seguir, actualmente muchas empresas han logrado avances muy significativos, sin embargo ninguna ha alcanzado o llegado cumplir con la visión de la fábrica ideal, esto es debido a que las diferentes marcas de vehículos cuentan con diferentes factorías distribuidas en varias partes del mundo, es necesario aplicar el mismo concepto a cada factoría.

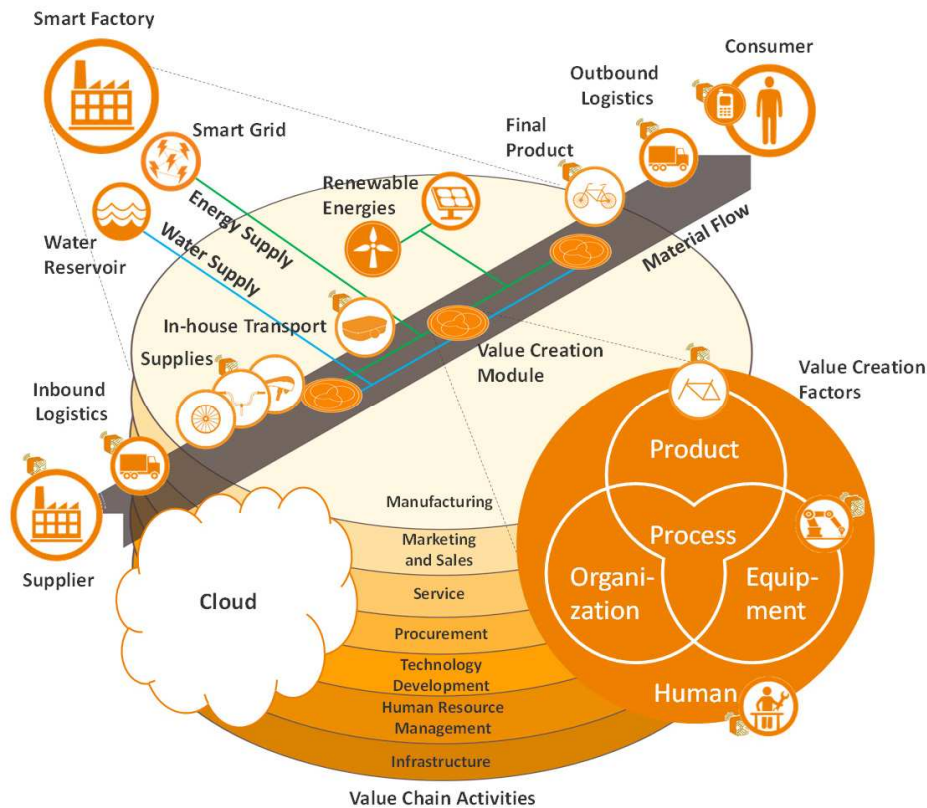


Figura 37. Esquema de la fábrica ideal [Stock T., 2016].

Alcanzar el concepto de fábrica ideal no necesariamente tiene que seguir un único patrón o camino, sino que se basa en el uso de las tecnologías habilitantes y en los diferentes avances tecnológicos que se están produciendo.

Las empresas de fabricación de vehículos deben de enfocar el concepto de la **fábrica ideal como un objetivo futuro**, pero tomando precauciones y realizando diferentes análisis para la correcta implementación e inversión en capital.

5 Otras oportunidades de negocio que abre la I4.0

La industria de automoción se enfrenta a algunos de los mayores cambios de la historia debido a la implementación del concepto de I4.0. La oportunidad que ofrece el uso de IoT en combinación con Big Data y Cloud Computing abren las puertas a nuevas oportunidades para ofrecer nuevos servicios al cliente aparte del producto (vehículo).

Tradicionalmente, los fabricantes de vehículos generan la mayoría de sus ingresos y ganancias mediante la venta de vehículos y servicios que están directamente relacionados con el negocio de automoción por ejemplo: los servicios de mantenimiento. Ahora aprovechando la conectividad es posible que los fabricantes ofrezcan nuevos servicios aparte de los que tradicionalmente se conocen.

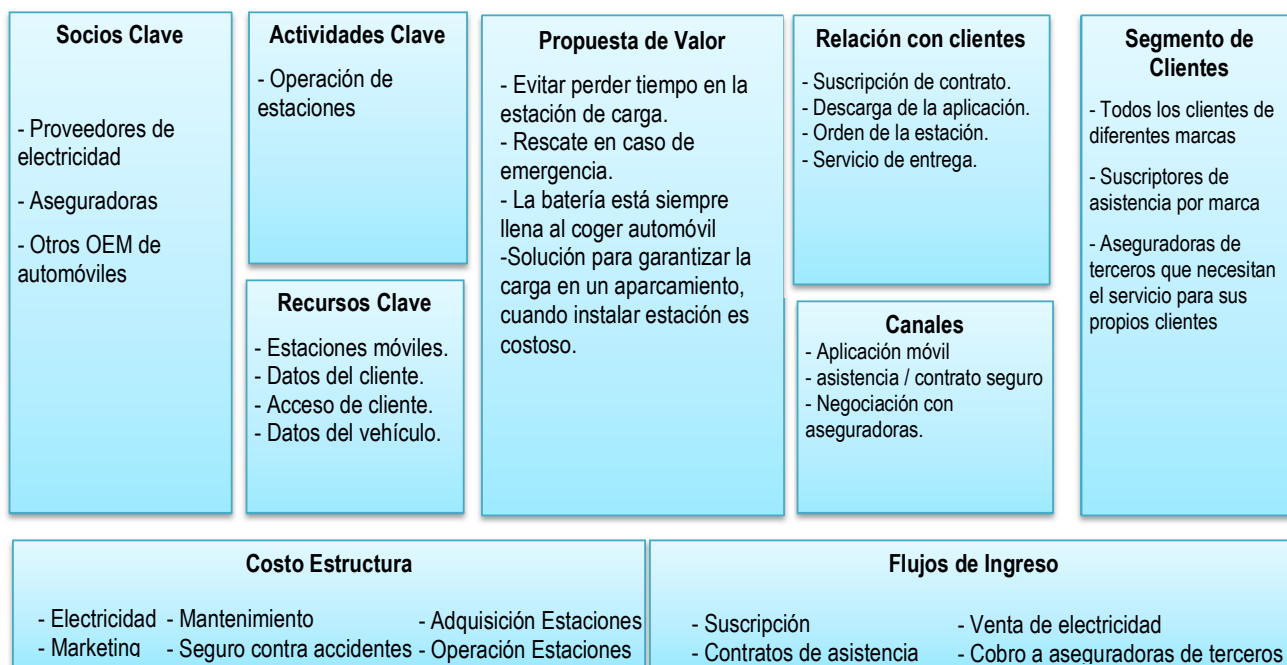
De acuerdo al capítulo 2, el IoT integra tendencias recientes del área de tecnologías de la información y comunicación en la fabricación industrial. El IoT sirve es punto clave en el modelo de negocio, ya que gracias a él se crean redes que comprenden procesos de fabricación, y en consecuencia la conversión de fábricas en un entorno de fabricación inteligente debido a la conexión del mundo físico y el mundo virtual. Esto da lugar a varias implicaciones novedosas para la creación de valor, modelos de negocio, orientación de servicio y diseño de trabajo.

Teniendo lo anterior en cuenta el IoT cambia el modelo de negocio de las empresas, en este capítulo se presentarán diferentes modelos de negocio en el ámbito de la automoción para la Industria 4.0 tales como:

- Estaciones de carga móviles.
- Monitorización remota de imágenes.
- Carga inalámbrica.
- Monitoreo de la salud.
- Detección de presencia de bebé.

5.1 Estaciones de carga móviles

Utilizando la herramienta del modelo de negocio obtenemos:



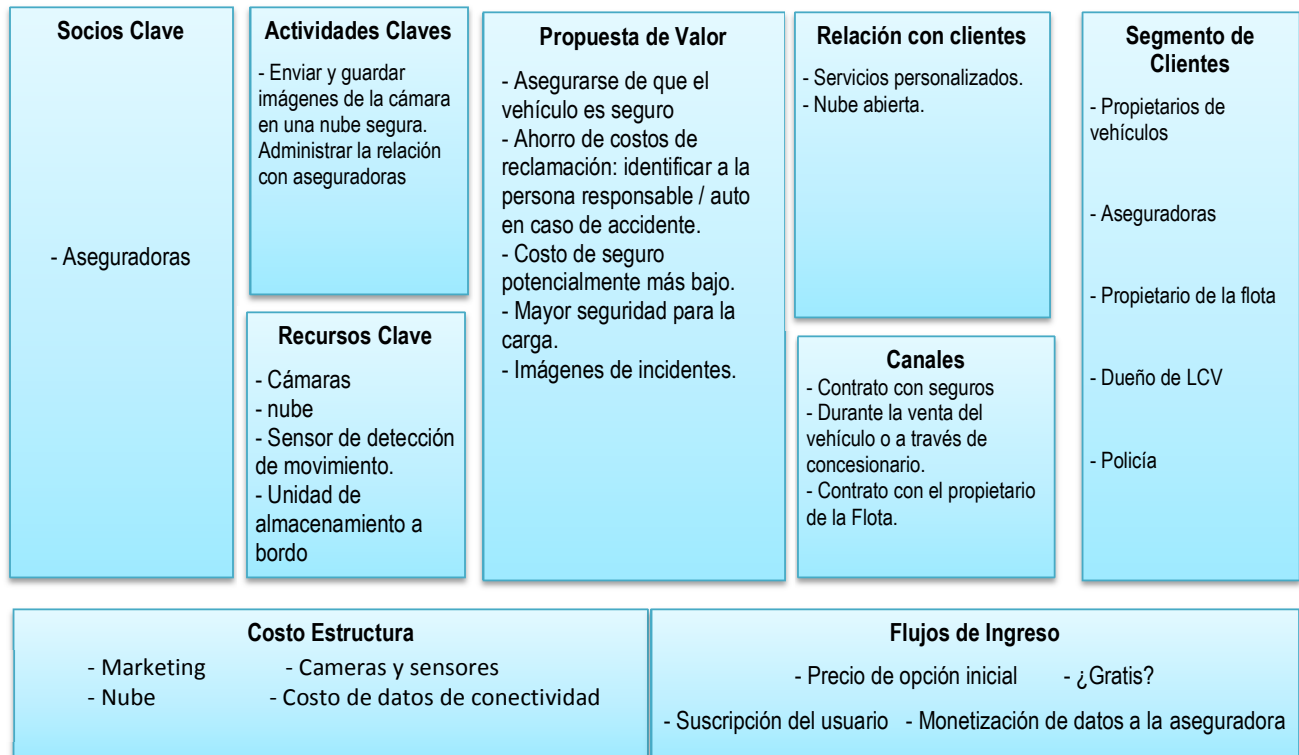
El modelo de negocio de estaciones de carga móviles se dirige a los conductores de vehículos eléctricos y se presta como un servicio bien por parte de la misma marca del automóvil o por parte de algún convenio con la aseguradora, funciona de tal forma que desde una app o por medio del medidor de carga avisar al conductor y gestionar el pedido del servicio de manera automática, se pueda pedir el servicio y llegar a cargar para por lo menos llegar al siguiente punto de recarga, en casos de que se deje el vehículo en algún aparcamiento y no cuente con punto de recarga, o si en una emergencia se agota la batería en una autovía.

Un ejemplo se muestra en la Figura 38, que debe de tener todos los tipos de conectores utilizados.



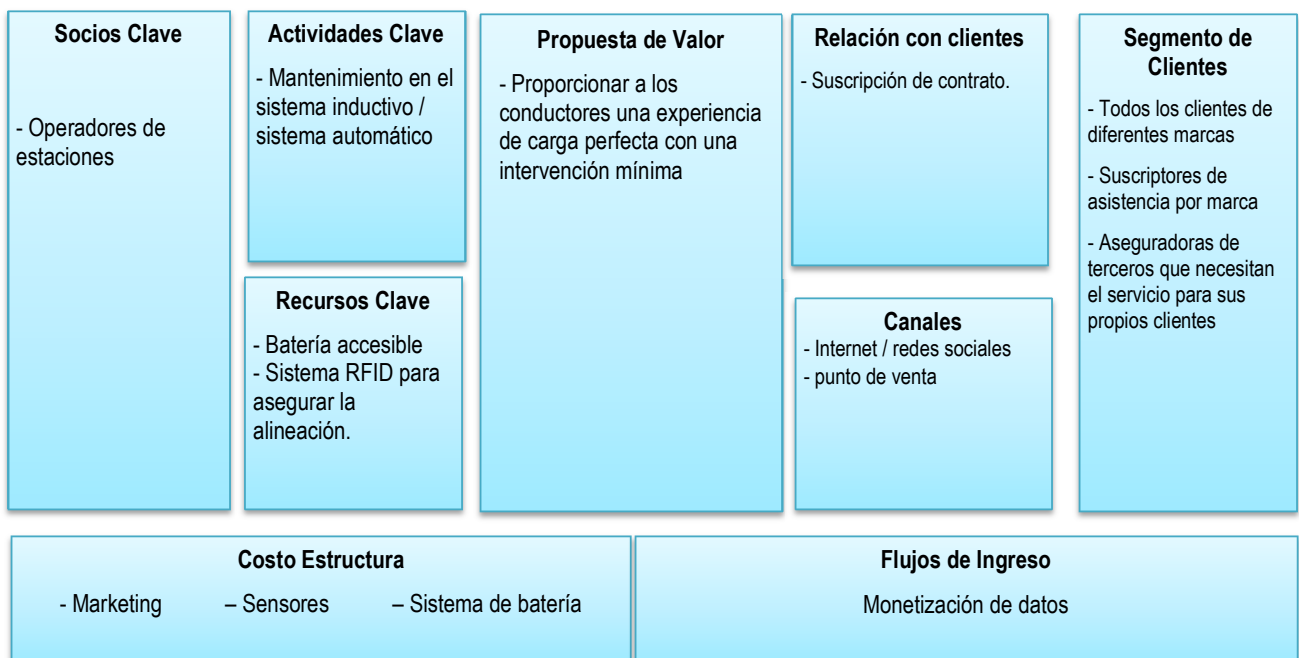
Figura 38. Ejemplo de estación móvil [<http://electromovilidad.net/estacion-de-recarga-movil-del-racc-con-tecnologia-circontrol/>].

5.2 Monitorización Remota de Imágenes.



Este modelo de negocio está pensado para aprovechar algunas tecnologías como la nube, IoT, sensores, visión entre otras, con el fin de aprovecharlas al máximo, de tal forma que, si se produce algún percance saber realmente lo que, sucedido, guardar las imágenes en la nube segura y así tener registro de lo sucedido en cada momento, esto podrá permitir al conductor saber lo que sucede a su alrededor de forma remota a través de su Smartphone y de esa manera tener pruebas en caso de algún juicio por accidente o robo de alguna autoparte. Esto sustituye a las típicas cámaras incorporadas en el vehículo la cual graba en una cinta o memoria lo sucedido durante la conducción, las cuales son utilizadas por policías o conductores con el fin de tener pruebas, sin embargo, ese sistema al depender de la capacidad de la cinta o memoria, se debe de borrar/ sobrescribir día a día, con la incorporación del nuevo sistema, las imágenes se enviarán a la nube en tiempo real y el cliente tendrá acceso a la nube en cualquier momento teniendo posibilidad de almacenar la información que quiera en una unidad externa.

5.3 Carga inalámbrica de batería.



La tecnología depende del mismo principio de inducción electromagnética que permite que un transformador cambie el voltaje de una corriente alterna. Esta corriente fluye a través de una bobina de alambre, creando un campo magnético cuya polaridad se invierte con cada ciclo e induce un campo alterno correspondiente en una bobina secundaria. La relación del número de vueltas en las dos bobinas determina si el transformador sube o baja la tensión. Los transformadores generalmente incluyen un núcleo rico en hierro, que vincula las bobinas y aumenta la intensidad del campo, pero realmente no lo necesita. Si las dos bobinas están separadas por aire, la corriente que fluye a través de la primera bobina aún creará un campo magnético, que seguirá siendo captado por la segunda bobina; no se recogerá también. Mientras mayor sea el espacio de aire, menos eficiente será la transferencia de poder.

Utilizando la tecnología de carga por inductancia y sistemas RFID se consigue tener la carga inalámbrica del vehículo. El sistema (Figuras 39 y 40) consta de dos elementos: una bobina, en el transmisor; y otra bobina situada a cierta distancia, en el receptor.

Para aprovechar toda la potencia es necesario que la distancia sea lo más próxima posible de una bobina a otra y las bobinas deben de tener el mismo número de vueltas para que entren en resonancia.

Este modelo de negocio está pensado para los puntos de carga de vehículos eléctricos o bien para el punto de carga en el hogar, para ello se utiliza la inductancia y sería necesario cambiar el sistema de

carga del vehículo y ofrecer la placa inductiva para la carga ya sea como un extra de opción del vehículo o como un servicio aparte mediante una suscripción teniendo en cuenta que la propia marca lo venderá o bien al cliente o alguna asistencia la cual pueda aprovechar y explotar ese modelo de negocio.



Figura 39. Ejemplo sistema carga inalámbrica. [<http://www.pistonudos.com/reportajes/que-es-y-como-funciona-la-recarga-inalambrica-de-coches-electricos/>]

1. Sistema de cámara para aproximación
2. Placa inductiva para carga
3. Reconocimiento de placa inductora
4. Sistema de RFID para alineamiento correcto.

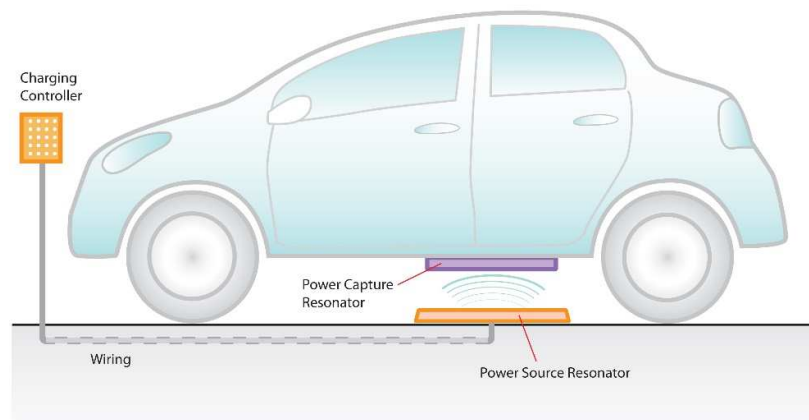
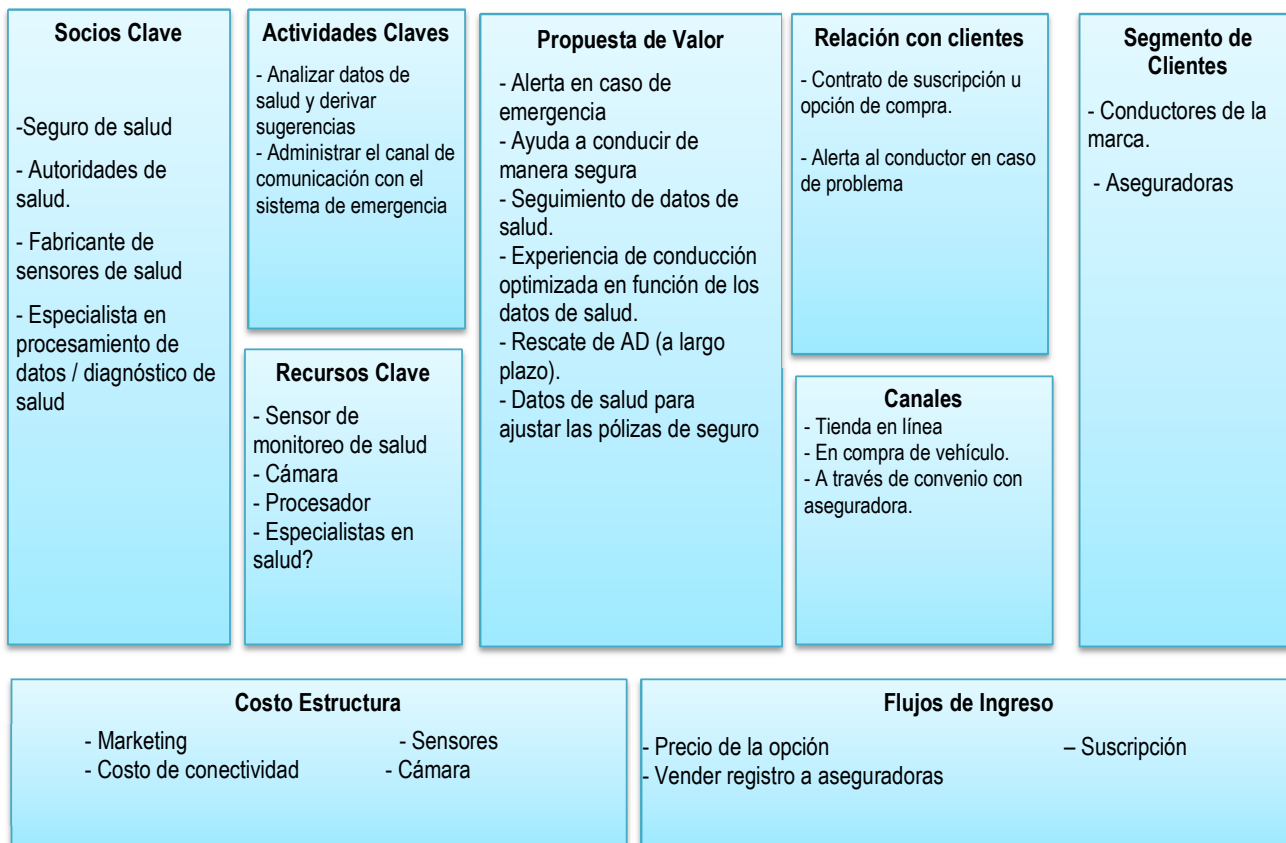


Figura 40. Carga inalámbrica. [<https://www.vox.com/2016/5/24/11677684/wireless-charging-electric-vehicles>]

5.4 Monitoreo de la salud del conductor.



Se trata de un sistema compuesto por varios sensores con el objetivo de monitorear el estado de salud del conductor para poder reaccionar ante alguna emergencia. El sistema puede contar con sensores de temperatura infrarrojos, un sensor conductivo para el monitoreo del corazón, sensor piezoeléctrico en el cinturón de seguridad para medir la respiración del conductor. En el sistema se pretende incorporar una cámara la cual apuntará al conductor con el fin de poder hacer reconocimiento facial y reconocimiento de gestos, así como detectar si el conductor se queda dormido mientras conduce.

Con la ayuda de los sensores (Figura 41) es posible extraer la información y enviarla en tiempo real con el fin de atender emergencias médicas o en caso de un accidente conectar de forma automática con los equipos de emergencia.

Con el sistema también es posible controlar los niveles de glucosa y mostrarla en la pantalla de la consola principal o proyectarla en el parabrisas, es de utilidad para las personas con diabetes que cuentan con el sensor de monitoreo de glucosa insertado en la piel, de esta manera por medio de una app y el sensor se puede lograr la comunicación y mostrarlo en el automóvil y extraer esos datos y alertar al conductor si detecta variación en los niveles.

Biometric Seat Research

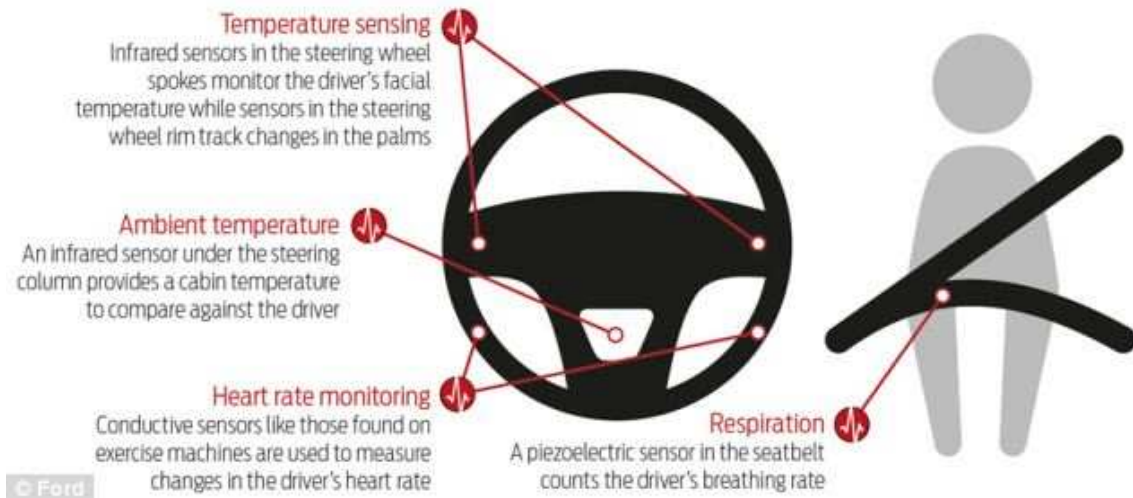


Figura 41. Ejemplo de sensores utilizados. [<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2360694/Ford-car-monitor-HEALTH-drive--ill-fall-asleep.html>]

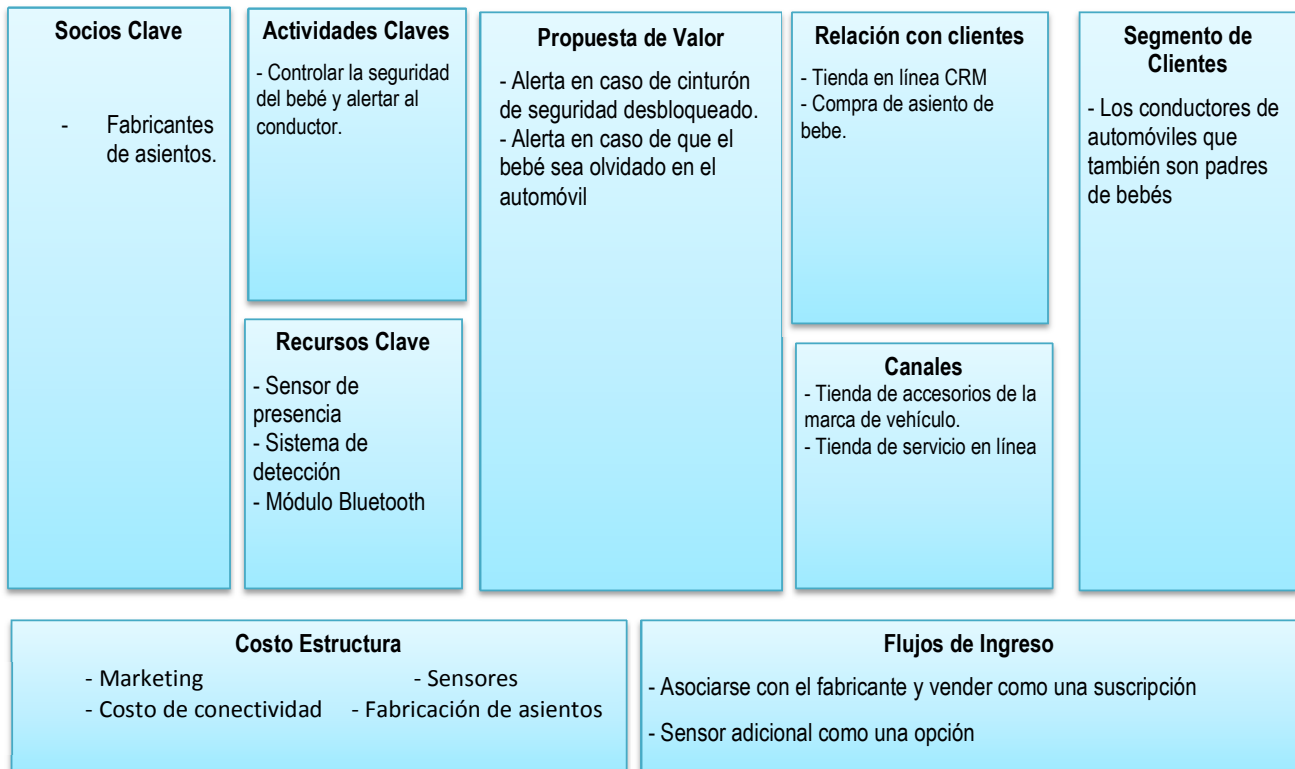
La cámara principalmente funcionará con un seguimiento de los ojos con un algoritmo de visión artificial capaz de detectar si la mirada se despega del frente o bien si el conductor cierra los ojos por un periodo de tiempo (Figura 43).



Figura 42. Ejemplo de función de reconocimiento [Harini Veeraraghavan, 2001].

1. Seguimiento y detección de ojos
2. Detección de ojos cerrados, sistema alerta con alarma, enciende intermitentes y disminuye poco a poco velocidad.

5.5 Detección de presencia de bebé.



Este modelo de negocio va orientado a padres de familia que tengan bebés, el objetivo es tener la opción de que se pueda detectar la presencia del bebé, monitorizar la respiración, temperatura y movimientos, para ello es necesario el uso de varios sensores tales como:

- Sensor de movimiento
- Detector de sonido
- Sensor de temperatura
- Sensor de dióxido de carbono.
- Cámara

Con la implementación del sistema en conjunto con la cámara es posible mantener informado al conductor del estado del bebé sin necesidad de que voltee al asiento trasero y se distraiga, la información de los sensores puede ser enviada a la pantalla del vehículo, así como la imagen en tiempo real.

Si por alguna razón el bebé es olvidado, se enviará aviso al conductor al Smartphone o se activará una alarma sonora.

El sistema se presenta al cliente como una opción extra al momento de elegir el vehículo, o bien se vende como complemento aparte después de la compra del vehículo

6 CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones generales.

De manera general es posible concluir, que la **implementación del concepto de Industria 4.0** ya se está llevando a cabo en algunas empresas de automoción. Muchas de las **tecnologías habilitantes** ya se han utilizado anteriormente, sin embargo, no se habían utilizado **de manera combinada**.

Las tecnologías habilitantes no dejan de evolucionar, lo que permite que cada vez sea más fácil integrar una tecnología habilitante con otra, y a largo plazo podría disminuir los costos de integración, abriendo las puertas a las diferentes PYME del sector de automoción.

Las diferentes empresas que decidan implementar el concepto de I4.0, tendrán que realizar bastantes **cambios**, tanto a nivel organizacional, como a nivel fabricación los cuales dependerán uno del otro.

A **nivel organizacional** será necesaria la creación de nuevas áreas de ingeniería con personal altamente capacitado en las diferentes áreas de las tecnologías habilitantes, con el fin de analizar, diseñar e implementar los cambios necesarios para la integración de la factoría con el concepto de la I4.0. Este cambio organizacional se dará a nivel global dentro de la empresa con el objetivo de integrar, conectar y estandarizar todas las factorías por las que esté formada la empresa.

A **nivel de fabricación** será necesario cambiar los modelos de fabricación manuales, a modelos de fabricación automatizados. Para conseguir este objetivo, será necesario que las nuevas áreas de ingeniería analicen diseñen e implementen los cambios en las líneas de fabricación. Para ello tendrán que realizar diferentes estudios con el fin de determinar si es factible realizar el cambio, y sobre todo tratar de integrar diferentes puestos de trabajo manuales, en un solo puesto automatizado, con el fin de crear espacios que pueden ser aprovechados en un futuro para nuevos procesos dentro de la línea de producción. Con esto las diferentes factorías ahorrarían espacio, y tendrían líneas de fabricación más pequeñas, automatizadas y con un menor tiempo ciclo de fabricación.

6.2 Conclusiones específicas.

En base a los capítulos anteriores es posible concluir los siguientes puntos:

- El concepto de la **Industria 4.0** se basa principalmente en el uso combinado de las diferentes tecnologías habilitantes, con el objetivo de conectar todos los recursos de fabricación (robots, máquinas, cadenas de suministros, logística etc.), transformando la fábrica actual a lo que se conoce como el concepto de la **fábrica inteligente**, donde la factoría estará completamente automatizada y podría ser capaz de tener una auto-optimización de acuerdo a todos los datos recibidos por los diferentes sensores, y podrá tomar decisiones de manera automática.
- La importancia de la **visión artificial** como tecnología habilitante es un punto clave para la correcta integración de robots en las líneas o puestos de producción. Sistemas como el presentado en el capítulo 3 permiten tener la flexibilidad necesaria para cumplir diferentes tareas tales como: guiado de robot, presencia o no presencia de piezas, lectura de códigos, inspección de puntos de calidad críticos, etc. Un sistema de visión multipropósito presenta una gran gama de iluminación, con el fin de ajustarse a un problema en concreto, tomando en cuenta el tipo de cámara, lente e iluminación, así como las características de la pieza o producto al cual se aplique el sistema de visión.
- La **implementación de la I4.0** en las fábricas de vehículos cambiará principalmente los modelos de fabricación. La creación de departamentos dentro de la organización de la empresa será un punto clave para lograr la implementación del concepto de I4.0. Estos nuevos departamentos serán los encargados de gestionar, analizar, diseñar e implementar todos los posibles cambios que se deben de realizar para lograr la total integración de la factoría, pero no solo a nivel regional, si no a nivel corporativo. Será necesario la **estandarización** de los diferentes sistemas

y/o recursos necesarios, con el fin de facilitar la **integración** en todas las factorías del corporativo, realizando pruebas y seleccionando los equipos más adecuados.

- El cambio que se producirá debido a la implementación de la I4.0 en las diferentes empresas de la automoción no sólo afectará a nivel interno (fabricación, negocio), si no que a nivel social existirá un cambio, ya que se necesitará personal cualificado con conocimiento en las diferentes tecnologías habilitantes. Por ello, es muy posible que a nivel educativo los planes de estudios que van orientados al ámbito de la automoción cambien para poder cubrir las **necesidades de personal calificado**.
- A nivel interno las diferentes empresas del sector de automoción tendrán que realizar grandes **inversiones en nuevos recursos** (robots, máquinas, sensores, etc.), y principalmente la inversión más grande se centrará en servidores dedicados para la parte informática que comprende la implementación del IoT, Cloud Computing, Big Data. Este punto será crítico debido a que la integración del IoT, Big Data y Cloud Computing requerirá sistemas de seguridad para la protección de datos, así como de sistemas de almacenamiento y una red con un ancho de banda capaz de transmitir y almacenar todo el volumen de datos generados a nivel factoría, así como a nivel corporativo.
- La correcta integración del IoT, Cloud Computing y Big Data abrirá las puertas a **nuevas oportunidades para las empresas del sector de automoción**, lo cual podrá generar nuevos ingresos y más importante podría aumentar la red de socios, con lo que el nivel de colaboración aumentaría, pudiendo generar o innovar nuevas tecnologías propias, e implementarlas como servicios.
- **Oportunidades de negocio**

Como **principales oportunidades a nivel de fábrica** se encuentran las siguientes:

- Nuevos modelos de fabricación.
- Oportunidades de creación de nuevos negocios.
- Automatización de procesos.
- Alianzas entre empresas.
- Oportunidades de desarrollar tecnología propia.
- Fabricación flexible.
- Eliminación de estaciones de trabajo.
- Liberación de espacios en las líneas de producción.
- Mejor aprovechamiento de los recursos.
- Mejora en la cadena de suministros.

Además, aparecerán oportunidades en áreas externas a la fábrica propiamente, como son las que se han analizado en el TFM a modo de ejemplo: estaciones de carga móviles, monitorización remota de imágenes, carga inalámbrica de baterías, monitoreo del conductor o la detección de bebés.

Al mismo tiempo, los **retos** a los que las empresas deben enfrentarse son:

- Análisis para lograr la mejor inversión en las diferentes tecnologías.
- Creación de nuevos puestos de trabajo.
- Inversión en formaciones.
- Creación de laboratorios.
- Gestión de energías y residuos.
- Tiempo de implementación de I4.0.
- Estandarización de procesos, recursos, y sistemas a nivel global.

Son muchas las oportunidades que ofrece la I4.0 para la industria de automoción, sin embargo al tratarse de grandes compañías y tener varias fábricas distribuidas por el mundo, la implementación de la I4.0 requerirá grandes inversiones de dinero, recursos y tiempo. Además será necesario implementar los mismos sistemas, estándares y procesos en las diferentes factorías con las que cuente una marca de vehículos.

6.3 Principales aportaciones del autor del TFM.

Las principales aportaciones que ofrece el presente trabajo son:

- Presentar los sistemas multipropósito de visión, los cuales resultan atractivos debido a la flexibilidad que ofrecen, para ello el ejemplo mostrado en el apartado 3.2 demuestra que con un solo sistema puede ser utilizado para diferentes operaciones tales como: detección, inspección, medición y lectura de códigos.
- Demostrar los cambios que se producen en el modelo de fabricación implementando el concepto de la I4.0. Así como la influencia de la I4.0 en los modelos de negocio.
- Presentar las nuevas oportunidades de negocio que se podrían aprovechar implementando el uso de la I4.0, principalmente haciendo uso del IoT, Big Data y Cloud Computing, para proporcionar servicios al cliente.

6.4 Sugerencias para trabajos futuros.

- Analizar si la inversión realizada para implementación de la I4.0 en las factorías de automoción es proporcional en cuanto a ganancias monetarias, ventas, incremento de producción y nuevas oportunidades, con el fin de tener datos más cercanos a la realidad.
- Investigar los gastos de energía que generaría una factoría totalmente conectada, y las medidas que deben de tomar para disminuir los consumos energéticos implementando la I4.0.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Attaran, Mohsen. 2017a. "Additive Manufacturing: The Most Promising Technology to Alter the Supply Chain and Logistics." *Journal of Service Science and Management* 10(3): 189–206.
- Attaran, Mohsen 2017b. "The Rise of 3-D Printing: The Advantages of Additive Manufacturing over Traditional Manufacturing." *Business Horizons* 60(5): 677–88.
- Bechtsis, Dimitrios, Naoum Tsolakis, Dimitrios Vlachos, and Eleftherios Iakovou. 2017. "Sustainable Supply Chain Management in the Digitalisation Era: The Impact of Automated Guided Vehicles." *Journal of Cleaner Production* 142: 3970–84.
- Borgia, Eleonora. 2014. "The Internet of Things Vision: Key Features, Applications and Open Issues." *Computer Communications* 54: 1–31.
- Cerasis. 2015. "The Future of Supply Chain , Logistics & Manufacturing: How Technology Is Transforming." *A publication of cerasis*: 1–66.
- Emmanuel, Ejim-Eze, and Amadi-Echendu Joe. 2015. "Open Innovation for Automobile Component Manufacturing SMEs in Nigeria." *IAMOT 2015 - 24th International Association for Management of Technology Conference: Technology, Innovation and Management for Sustainable Growth, Proceedings*: 2058–71.
- España, Gobierno de. 2011. "Aplicación Práctica de La Visión Artificial En El Control de Procesos Industriales." : 26.
- Fuente, Eusebio de la. 2015. "Industria 4.0." *Dyna Ingeniería E Industria* 90(3): 16–17.
- Geissbauer, Reinhard, Jesper Vedso, and Stefan Schrau,f. 2016. "A Strategist 's Guide to Industry 4.0." *Strategy + Business* (Summer).
- Gierej, Sylwia. 2017. "The Framework of Business Model in the Context of Industrial Internet of Things." *Procedia Engineering* 182: 206–12.
- Ginés García Mateos. 2006. *Visión de Alto Nivel: Interpretación de Dibujos de Líneas Mediante Comparación de Grafos*.
- Golnabi, H., and A. Asadpour. 2007. "Design and Application of Industrial Machine Vision Systems." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 23(6): 630–37.
- Gubbi, Jayavardhana, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. 2013. "Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions." *Future Generation Computer Systems* 29(7): 1645–60.
- Hana Neradilová, Ing, and Prof Ing Gabriel Fedorko. 2015. "Digital Factory – Efficient Tool For Increasing Logistic Efficiency Of Companies Digitální Podnik – Efektivní Nástroj Pro Zvyšování Logistické Výkonnosti Podniků College of Logistics P." : 36–43.
- Hashem, Ibrahim Abaker Targio et al. 2015. "The Rise Of 'big Data' on Cloud Computing: Review and Open Research Issues." *Information Systems* 47: 98–115.
- Hermann, Mario, Tobias Pentek, and Boris Otto. 2015. "Working Paper A Literature Review." (1): 16.
- Joseph Fitzgerald. 2017. "Using Autonomous Robots to Drive Supply Chain Innovation." *Deloitte Perspectives*.
- Kagermann, Henning. 2017. "Handbuch Industrie 4.0 Bd.4."
- Keller, Michael, Marius Rosenberg, Malte Brettel, and Niklas Friederichsen. 2014. "How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective." *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and*

Manufacturing Engineering 8(1): 37–44.

- Keyence. 2017a. *Catalogue 2017*. Elsevier.
- Keyence.. 2017b. “Sistemas de Visión Artificial.”
- Keyence.. 2017c. “XG-X2000 Series Setup Manual.”
- Küpper, Daniel, and Kristian Kuhlmann. 2016. “The Factory of the Future.” *Chemical Engineer* (468, 1990): 35–37.
- Lee, In, and Kyoochun Lee. 2015. “The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises.” *Business Horizons* 58(4): 431–40.
- Masoni, Riccardo et al. 2017. “Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality.” *Procedia Manufacturing* 11(June): 1296–1302.
- Palmarini, Riccardo, John Ahmet Erkoyuncu, and Rajkumar Roy. 2017. “An Innovative Process to Select Augmented Reality (AR) Technology for Maintenance.” *Procedia CIRP* 59(TESSConf 2016): 23–28.
- Papanikolopoulos, Nikolaos P, and Washington Ave Se. 2001. “Detecting Driver Fatigue Through the Use of Advanced.” *Security* (September).
- Rainer, Schmidt, Michael Möhring, and Ralf-Christian Härtling. 2015. “Industry 4.0 -Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results.” *Lecture Notes in Business Information Processing* 208(June).
- Reinhard, Griessbauer, Vedso Jesper, and Schrauf Stefan. 2016. “Industry 4.0: Building the Digital Enterprise.” *2016 Global Industry 4.0 Survey*: 1–39.
- Ridgway, Keith, Chris W Clegg, and D J Williams. 2013. “The Factory of the Future.” 3(October).
- Rong, Chunming, Son T. Nguyen, and Martin Gilje Jaatun. 2013. “Beyond Lightning: A Survey on Security Challenges in Cloud Computing.” *Computers and Electrical Engineering* 39(1): 47–54.
- Rüßmann, Michael et al. 2015. “Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing.” *Boston Consulting* (April): 1–5.
- Sääski, Juha, Tapio Salonen, Sanni Siltanen, and Juhani Lempi. 2014. “Integration of Design and Assembly Using Augmented Reality.” 260(February): 0–10.
- Schreiber, Rick. 2016. “The Impact of Industry 4 . 0: How Is It Changing Manufacturing?”
- Stock, T., and G. Seliger. 2016. “Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0.” *Procedia CIRP* 40(Icc): 536–41.
- Szeliski, Richard. 2010. “Computer Vision: Algorithms and Applications.” *Computer* 5: 832.
- Winkler, Herwig, Gottfried Seebacher, and Bernhard Oberegger. 2017. Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen *Effizienzbewertung Und -Darstellung in Der Produktion Im Kontext von Industrie 4.0*.