



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS
COLABORATIVOS EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN
DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS, Y SU APLICACIÓN
EN OPERACIONES DE INSPECCIÓN ”

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA
JANETH AIDE ALBA VÁZQUEZ

ASESOR
DR. FRANCISCO JAVIER MÉNDEZ RAMÍREZ

DEDICATORIAS

A mis padres Pilar Olimpia Vázquez Olivares y Joel Alfonso Alba Cruz, por su entrega, su amor infinito, su lucha diaria y su sabiduría; gracias por tomar mi mano desde que tengo memoria, pero aún más, por soltarme para que creciera como individuo, sin ustedes esto no sería posible.

Este logro también es suyo.

A mi hermana Jesica Andrea Alba Vázquez, por ser mi eterna confidente y compañera de aventuras; gracias por estar conmigo en este camino, por tu apoyo y confianza. *“Desde que tengo memoria, siempre hemos sido mi hermana y yo contra el mundo”*.

A mi abuelita Celida Elisa Olivares Bonilla y a mi tía Mariné Berenice Vázquez Olivares, por ser mi mayor ejemplo de vida, por su sabiduría y valores, son la herencia más valiosa que pudiera recibir.

A mi familia, padrinos y amigos, gracias por el apoyo, la presencia y las palabras de aliento; gracias por creer en mi.

A todos ustedes gracias por ser parte de este logro.

“GRACIAS”

Janeth Aide Alba Vázquez

Contenido

1. CAPÍTULO UNO ANTECEDENTES	6
1.1 INDUSTRIA AUTOMOTRIZ MEXICANA	6
1.2 INDUSTRIA 4.0	12
1.2.1 Beneficios de industria 4.0	15
1.2.2 Barreras de industria 4.0	15
1.3 HERRAMIENTAS DENTRO DEL ENTORNO INDUSTRIA 4.0	17
2. CAPÍTULO DOS EMPRESA	20
2.1 INDUSTRIA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS	20
2.1.1 Organigrama	21
2.1.2 Producto	23
2.1.3 Proceso general dentro de la planta	24
2.1.4 Proceso de la línea de producción	33
2.1.5 Análisis FODA del proceso productivo a través de las “5 M”	40
2.2 PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS GENERAL.....	52
2.3 STATUS TECNOLÓGICO EN LA INDUSTRIA MEXICANA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS.....	68
3. INDUSTRIA 4.0.....	75
3.1 ROBOTS.....	75
3.2 ROBOTS COLABORATIVOS Y CASOS DE ÉXITO.....	84
3.3 GENTE VS ROBOTS.....	93
4. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT COLABORATIVO	98
4.1 DESCRIPCIÓN DE PROCESO EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN EL QUE INTERVIENE EL OPERADOR.....	98
4.2 UTILIZACIÓN DE ROBOT.....	104
4.3 BOSQUEJO	112
5. CONCLUSIONES.....	118
Referencias.....	121

ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ubicación de OEM'S de vehículos ligeros en México.....	9
Ilustración 2 Ubicación de OEM'S de vehículos pesados en México	11
Ilustración 3 Robots en la industria automotriz.....	13
Ilustración 4 Revoluciones industriales.....	15
Ilustración 5 Organigrama.....	21
Ilustración 6 Diagrama de flujo del proceso de la empresa.....	29
Ilustración 7 Materia prima por entrar a secador.....	33
Ilustración 8 Secador de materia prima	33
Ilustración 9 Materia prima identificada.....	33
Ilustración 10 Prensa de inyección en funcionamiento	34
Ilustración 11 Pieza plástica saliendo de la prensa	35
Ilustración 12 Ruta de inspección para re trabajo	36
Ilustración 13 Operador re trabajando pieza	37
Ilustración 14 Poka Yoke	37
Ilustración 15 Empaque de piezas.....	38
Ilustración 16 Cajas selladas por Calidad	39
Ilustración 17 Cajas liberadas apiladas en tarima	39
Ilustración 18 Diseño genérico de la unidad de inyección.....	61
Ilustración 19 Máquina de inyección	63
Ilustración 20 Componentes de una máquina inyectora	64
Ilustración 21 Paso 1	64
Ilustración 22 Paso 2	65
Ilustración 23 Paso 3	65
Ilustración 24 Paso 4	66
Ilustración 25 Paso 5	66
Ilustración 26 Máquina Tai-Mex	70
Ilustración 27 Máquina ENGEL.....	71
Ilustración 28 Máquina ShineWell	72
Ilustración 29 Máquina Demag	73
Ilustración 30 Guía de GDL en un robot.....	82
Ilustración 31 Clasificación de robots con base a ISO 10218	86
Ilustración 32 Robots FANUC	93
Ilustración 33 Clasificación de Robots.....	96
Ilustración 34 Diagrama de flujo de proceso productivo.....	102
Ilustración 35 Diagrama de flujo con interacción de cobot	110
Ilustración 36 Layout.....	115
Ilustración 37 Robot colaborativo M-10iA/7L.....	116
Ilustración 38 Sensor de visión FANUC	117

TABLAS

Tabla 1 FODA Maquinaria	40
Tabla 2 FODA Método de trabajo	42
Tabla 3 FODA Mano de obra	44
Tabla 4 FODA Medio ambiente	47
Tabla 5 FODA Materia prima.....	49
Tabla 6 Características de plásticos.....	53
Tabla 7 Tipos de plásticos y sus características.....	54
Tabla 8 Tipos de moldeado de plástico.....	59
Tabla 9 Componentes de una máquina de inyección	63
Tabla 10 Clasificación de robots industriales	79
Tabla 11 Clasificación de Robots Colaborativos.....	82
Tabla 12 Clasificación de tareas de Robots Colaborativos.....	87
Tabla 13 Cuadro comparativo Recursos Industriales	97

1. CAPÍTULO UNO ANTECEDENTES

1.1 INDUSTRIA AUTOMOTRIZ MEXICANA

El contexto económico juega un papel fundamental dentro de todos los casos de estudio, pues cualquier proyecto, implementación o cambio tendrá un impacto positivo o negativo dentro de la economía del país e incluso mundial, es por ello que grandes empresas e inversionistas hacen un estudio profundo sobre el sector en el que se enfocarán y las condiciones económicas del lugar en el que se encuentran. Una manera relativamente sencilla de lograr este análisis es usando como base información del INEGI¹, por ejemplo, mediante el comunicado de prensa del producto interno bruto, que es emitido cada trimestre del año, una vez que se tiene información de esta índole se podrá realizar una proyección sobre los posibles incrementos o decrementos dentro de la economía de dicho país, estado o región.

La economía de un país está definida a partir de diferentes perspectivas, esta investigación usará el término de Macroeconomía² tomando diferentes factores económicos globales y nacionales de referencia, como consumo, oferta, déficit, superávit, PIB, inversión, exportación e importación; sin embargo ninguno de los términos anteriores serán analizados con profundidad, pues no es el tema central de esta investigación y aunque tienen un impacto considerable dentro del estudio a tratar, por ahora está enfocado en una propuesta y el análisis de su aceptación por parte del personal de la empresa. La macroeconomía busca la imagen global de las operaciones económicas y su impacto dentro de la zona de estudio, el objetivo es obtener una visión concreta del funcionamiento de la economía, facilitando análisis y estudios estadísticos realizados por empresas privadas, dependencias de gobierno e inversionistas nacionales e internacionales, lo cual impactará dentro del desarrollo económico del país de estudio, tratándose así de un ciclo (POLICONOMICS, 2017).

¹ INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

² Macroeconomía: Estudio de la economía de una zona empleando magnitudes colectivas o globales.

Es importante mencionar que para realizar un análisis de proyección económica se utiliza una programación macroeconómica financiera en la que intervienen diferentes mercados que determinan el precio según oferta y demanda, además influyen distintos sectores, que se mencionan en la siguiente lista:

- ❖ Sector público (gobierno)
- ❖ Sector privado (empresas)
- ❖ Sector financiero (bancos)
- ❖ Sector externo (otros países e inversionistas)
- ❖ Consumidores

La propuesta de implementación tendrá como base un contexto de macroeconomía ya que el concepto de globalización es un término de gran impacto en la economía y sector manufacturero, además de que durante la investigación se desarrollarán temas de industria automotriz e industria 4.0, que se ven directamente afectados por el movimiento y tendencia global. Dentro de la economía de una zona o país también intervienen tres sectores directamente relacionados con la materia prima divididos en: actividades primarias, de extracción de recursos; secundarias, de manufactura o transformación de dichos recursos; y terciarias, de servicios.

El PIB trimestral ofrece información suficiente para realizar un análisis del actual crecimiento económico del país e incluso para realizar una proyección de los posibles aumentos y disminuciones porcentuales dentro de cada sector, se multiplica por cuatro con el fin de expresarse en niveles anuales. Sin embargo, se presentarán diferentes variaciones de acuerdo con ajustes estacionales³ o desestacionales⁴. Efectos periódicos anuales, que se ven afectados por diferentes factores ajenos a la economía, como vacaciones, festividades, las estaciones del año, pues influye el clima característico de cada una de ellas, el hecho de que un mes tenga más o menos días que otro, etc. El ajuste desestacional o ajuste estacional consiste en darle condiciones normales al periodo de estudio o afectado, debido a que la presencia de dicha estación dificulta el análisis del comportamiento

³ Estacionales: Efectos periódicos marcados anualmente por diferentes factores.

⁴ Desestacionales: Ajuste de "normalización", pasar de un periodo estacional a uno no estacional.

económico en un trimestre al tener niveles por arriba de lo normal en oferta y demanda. El PIB registró una caída del 0.2%, en actividades primarias del -2.1%, en actividades secundarias del -0.3% y en las actividades terciarias un aumento del 0.2%. Las actividades industriales retrocedieron un 0.5%, principalmente por la caída de un 2.9% en construcción. (INEGI, 2018). Actualmente el sector automotriz representa el 6% del PIB nacional y el 18% de la producción de manufactura.

La industria automotriz es una de las principales a nivel mundial y México se ha posicionado como un productor importante a nivel mundial, siendo uno de los principales productores de vehículos ligeros. En los últimos años la industria se ha encontrado en una transformación revolucionaria pues el medio que lo rodea requiere de la evolución en cuanto a aspectos económicos, sociales y de diseño; los clientes buscan autos más autónomos y con los que pueda interactuar fácilmente siendo autodidactas. Además de la constante innovación por parte de diseñadores automotrices, enfocados a tendencias tecnológicas, ergonomía, practicidad, sustentabilidad y la más importante de acuerdo con los requisitos del cliente, que como se menciona anteriormente, cada vez buscan artículos más inteligentes, que no requieran de instructivos, que se adapten a sus necesidades cotidianas.

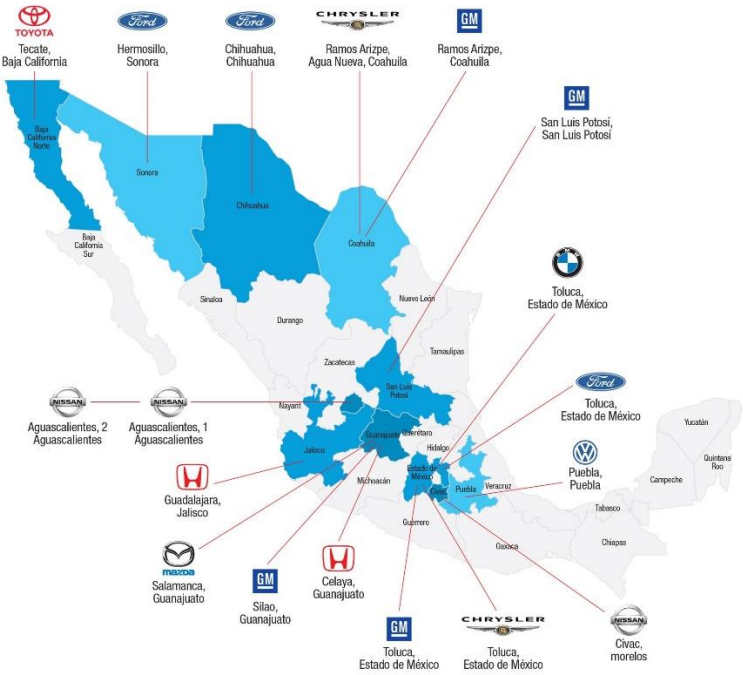
En los últimos años, nuestro país ha sufrido diferentes transformaciones con base a las empresas que lo rodean y a las distintas opiniones dentro del mercado, una de las más importantes tiene que ver con la industria automotriz, pues en los últimos 10 años México ha sido receptor de nuevas empresas de este giro interesadas en crecer, generando rotación económica y nuevos empleos, pues el gobierno mexicano ha creado convenios con las empresas que recibe, además de tener el gran reto de innovarse continuamente pues los inversionistas extranjeros buscan que las empresas en las que invertirán o las nuevas aperturas tengan los mejores recursos, mejores herramientas y el personal más capacitado y actualizado.

Por lo anterior México tiene el gran reto de actualización constante, no sólo dentro de las empresas que ya se encuentran invirtiendo en nuestro país, sino también en la educación y cultura de los jóvenes estudiantes, esto ha sido mencionado por distintos inversionistas extranjeros, buscan personal capacitado al

nivel que ellos requieren, más allá de preocuparles la evidente inseguridad dentro del país, pues si las actividades y los productos son rentables en medida de generar utilidades a las firmas no les importará colocar seguridad extra, sin embargo si no cuentan con personal capaz de realizar las actividades programadas no hay mucho o nada por hacer; tal como lo menciona Johannes Hauser, presidente de la Cámara México – Alemana de comercio e industria (CAMEXA), en reciente entrevista “Yo sé de empresas alemanas que tienen terrenos al lado de su fábrica y podrían duplicar su capacidad de producción si tuviesen el personal para operar las máquinas, ahí se nota que tienen el mercado, tienen el terreno, la convicción la tienen, y tienen la disposición, pero si no pueden lograr contratar personal es un problema” (Hauser, 2018).

Hablando específicamente del estado de Puebla, somos sede de plantas reconocidas mundialmente y con una amplia cantidad de clientes a lo largo de todo el mundo, Audi y Volkswagen, estas empresas traen consigo una extensa cadena de suministro que genera un impacto aún mayor dentro del estado y del país.

Ilustración 1 Ubicación de OEM'S de vehículos ligeros en México



(IPA, 2019)

No sólo hablando de un aspecto económico, sin embargo, si se trata del más importante, también se habla de un impacto cultural y educativo, pues cada vez se están formando más ingenieros con la intención de entrar a una de estas dos plantas o a alguna empresa dentro de su cadena de suministro. De esta manera los estudiantes universitarios comienzan a esforzarse cada día más para tener diferentes cualidades que los hagan únicos y competitivos al lado de otros ingenieros, comenzando una cultura diferente que a corto y largo plazo tendrá un gran impacto económico.

México se ocupa principalmente de cubrir necesidades dentro de las cadenas de suministro, buscando de esta manera clientes Tier⁵ 2 y Tier 3, manteniéndose en la producción de autos de combustión interna, muchas empresas siendo Tier 1 u OEM⁶'s de gran tamaño.

La industria automotriz mexicana es madura, dinámica y se encuentra en continuo crecimiento. México se ha enfocado en la producción de vehículos ligeros, posicionándose como el octavo productor global de estos; cuenta con 18 complejos productores de vehículos ligeros localizados en 11 estados diferentes, donde se realiza estampado, blindaje, fundición, ensamblado, etc.; además de tener 11 complejos enfocados a vehículos pesados posicionándose como el sexto productor global, impulsado por la presencia de importantes ensambladoras del mundo, como General Motors, Ford, Chrysler, Volkswagen, Nissan, Honda, BMW, Toyota, Volvo y Mercedes-Benz; atrayendo a su vez a los distintos proveedores de estas marcas (Tier 1, 2 y 3) pues para cumplir de manera adecuada con las entregas se han ubicado alrededor de las grandes armadoras en México.

⁵ Tier: Se le conoce como TIER 1 a los proveedores directos de las OEM,... TIER 2, son las compañías que surten de componentes a las TIER 1 y así sucesivamente con los TIER 3.

⁶ OEM: Original Equipment Manufacturer o fabricante de equipos originales.

Ilustración 2 Ubicación de OEM'S de vehículos pesados en México



(Automotive, 2018)

Antes de determinar el movimiento denominado industria 4.0 las empresas ya estaban buscando maneras diferentes de recolección de información y por consecuencia interpretación de datos, de tal manera que el flujo de información siempre ha sido un punto clave para las empresas. México, al igual que el resto de los países ha desarrollado una comunicación global, por lo tanto siendo clientes

potenciales comenzamos a exigir que las empresas sean cada vez más transparentes y ágiles en su proceso de producción y logística, por lo que la industria comienza a desarrollar nuevas técnicas que satisfagan estas necesidades, creando así “industria 4.0”.

Cabe recalcar que el movimiento de industria 4.0 sólo se considera un conjunto de herramientas que impulsarán la conectividad, eficiencia y calidad dentro de la industria automotriz o cualquier otro sistema en el que se implante, pero que dicha implementación no será efectiva si no se cuenta con personal correctamente capacitado y sensibilizado, tocando temas de educación y cultura. Implementar estas herramientas resultará benéfico para cualquier industria, sin embargo, el resultado será todavía mayor si se realiza una preparación previa con los aspirantes para todos los puestos, iniciando con una mentalidad diferente dentro de la empresa, esto debido a que la mayoría de los inversionistas proceden de Alemania, tener una cultura parecida o entender su cultura nos dará mayor ventaja competitiva frente a otros países.

1.2 INDUSTRIA 4.0

La evolución es un proceso nato que tenemos como seres humanos, buscamos mejoras y crecimiento constante; nos inquieta el futuro, las nuevas tecnologías y mejoras a los dispositivos que ya conocemos o incluso la invención de nuevos objetos que hagan diferente la vida cotidiana. El crecimiento y la curiosidad nos llevaron a tener diferentes mecanismos a lo largo del tiempo; antes de hablar de la cuarta revolución industrial será conveniente mencionar las tres anteriores.

Primera revolución industrial.

Surge en la segunda mitad del siglo XVIII con la aparición de la máquina de vapor, implementación que causó un gran impacto en aspectos sociales y económicos, pues permitió una manera diferente de transportar recursos, animales o personas; además tuvo un gran impacto en la industria al ofrecer un nuevo método de producción más rápida y de mayor cantidad.

Segunda revolución industrial.

A mediados del siglo XIX comienzan a implementarse diferentes energías como gas, petróleo y principalmente electricidad, estas nuevas energías dan paso a nuevos medios de transporte, más seguros, más eficientes y veloces; surgen nuevos medios de comunicación que dan paso a una internacionalización y posteriormente el inicio de la globalización. Surgen nuevos materiales, más resistentes y de mejor calidad, aparece la producción en cadena utilizada actualmente, abriendo camino a una metodología JIT⁷.

Tercera revolución industrial.

Asociado al año 2006, término reciente que se centra en el uso de energías renovables, automatización de procesos e inicios de implementación de internet. (Suárez, 2016).

Ilustración 3 Robots en la industria automotriz



(infoPLC, 2011)

La industria 4.0 o cuarta revolución dentro de empresas, mayormente automotrices, es una actualización que se está viviendo en las industrias alrededor del mundo; se trata de un tema al cual prestar atención, pues cada vez más empresas están apostando por esta implementación; uno de los puntos más relevantes es la vinculación y actualización por medio de internet, interconectando los puntos clave dentro de la organización, del proceso productivo y de la cadena de suministro, facilitando la circulación interna de información, creación y análisis de base de datos para proponer soluciones y/o mejoras creativas que vinculen todos los

⁷ JIT: Just in Time o justo a tiempo, metodología en producción que pretende eliminar al 100% almacenes.

departamentos dentro de la empresa, abriendo camino a la aparición de nuevos procesos, productos y modelos de negocios. Al igual que las tres revoluciones anteriores tendrá un gran impacto en aspectos sociales, económicos, tecnológicos y culturales.

Cabe destacar que anterior a un concepto de industria 4.0 o internet de las cosas, ya se manejaba el término de industria inteligente, en el cual las máquinas estaban conectadas unas a otras, con constante comunicación, sin embargo esta conexión iniciaba y terminaba dentro de la planta, en el entorno de industria cuatro se involucra toda la cadena de valor dentro del proceso, incluyendo proveedores y clientes, con mayor énfasis en los clientes, sin embargo una parte fundamental serán los trabajadores, que también tendrán una conectividad con el proceso, haciendo sus tareas más especializadas, aumentando estandarización y eficiencia.

Este movimiento tiene un gran impacto en las organizaciones, no sólo en el proceso productivo, su objetivo es estar presente en toda la cadena de suministro sin embargo no toda la metodología y herramientas que ofrece este nuevo movimiento en ingeniería serán aplicables a todos los negocios y organizaciones, pues de inicio no todas tendrán el presupuesto para implementar algunos de los sistemas, ni la capacidad para mantenerlos, en términos de cuán grande es su producción (Deloitte, 2018).

La industria 4.0 afecta diferentes partes del sistema, en este caso la empresa, entre los que cabe destacar:

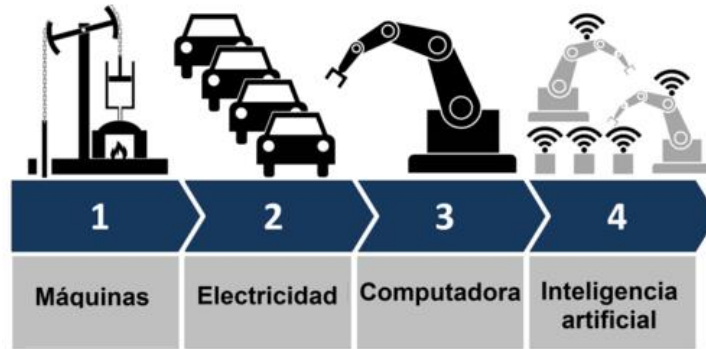
-Sistema y ambiente: afectará directamente la manera en la que cada parte del sistema se relaciona entre sí, el nivel de sinergia y entropía que se genere dependerá de la adaptabilidad de cada subsistema y de los individuos.

-Datos e información: se medirá el impacto que cause en la organización y la capacidad que del sistema de tomar los datos que considere óptimos; la organización debe ser capaz de aprender e interpretar los datos en tiempo real.

-Individuos: es la manera en la que cada elemento del sistema interprete la implementación de herramientas nuevas de trabajo, todo dependerá de la previa preparación que se le dé al personal.

1.2.1 Beneficios de industria 4.0

Ilustración 4 Revoluciones industriales



(Wikipedia, 2018)

Entre los principales beneficios de este movimiento podemos mencionar: flexibilidad de la producción, desarrollo tecnológico, movilización de la economía, personalización de servicios y productos, optimización de toma de decisiones, mayor productividad y aprovechamiento de recursos. La amplia monitorización permitirá un amplio seguimiento que facilitará el análisis, predicción en producción y mantenimiento de las máquinas; esto nos lleva a una mayor adaptabilidad en cuanto a la cadena de producción, haciéndola más rápida y flexible, con mayor agilidad, precisión y eficiencia, disminuyendo retrasos, equivocaciones o variaciones de gran tamaño como el efecto Bullwhip⁸. La visibilidad precisa y en tiempo real de las exigencias del cliente permite anticiparse a ellas y tener flexibilidad en la cadena de suministro.

1.2.2 Barreras de industria 4.0

Igual que toda implementación o descubrimiento nos encontramos con barreras al momento de implementar este nuevo entorno, principalmente con el factor humano, aunque el desglose de este concepto variará de acuerdo a la zona

⁸ Efecto Bullwhip: Tendencia excesiva de inventarios y pedidos dentro de la cadena de suministro.

en la que nos encontremos, podemos hacer mención de que en la mayoría de empresas se cuenta con un gran número de operadores y una minoría de ingenieros y directivos, lo que implica que la industria no cuenta con los perfiles adecuados para hacer frente a todos los cambios dentro de la organización. La segunda gran barrera es la dificultad al implementar avances tecnológicos y sobre todo la transformación que conlleva esta implementación, que en su mayoría de casos llega a ser más compleja para pequeñas y medianas compañías relacionando costo – beneficio, pues como se menciona con anterioridad el avance tecnológico dependerá del proceso productivo de cada empresa y de su capacidad económica para implementar y sostener dichas actualizaciones. (Guerrero, 2017)

Existe un gran abanico de posibles herramientas a disposición de las empresas, algunas de ellas son: Internet de las cosas, big data⁹, impresión 3D, software, sensores, robótica colaborativa, cloud computing¹⁰; cabe destacar que una de las herramientas a la que la mayoría de empresas podrá acceder es el uso de internet (Internet of things), también una de las más eficientes, pues mediante sistemas como SAP¹¹ y SAE¹², por mencionar algunos, permiten a las diferentes gerencias de la organización permanecer en comunicación, al mismo tiempo el internet de las cosas permite a los clientes estar más relacionado con el producto que adquirirá e influir dentro del proceso productivo.

Dentro de las herramientas mencionadas una de las más novedosas es el uso de robots, que han tenido un papel destacado en algunas empresas realizando tareas repetitivas, pero teniendo interacciones limitadas con humanos y mayormente trabajando en conjunto con otros robots; en el movimiento de industria 4.0 se busca que todos los elementos interactúen entre sí como una red, para agilizar el flujo de información en tiempo real y tomar decisiones con base a los

⁹ Big Data: Cantidad voluminosa de datos con potencial de ser extraídos para obtener información.

¹⁰ Cloud computing: Servicios de computación a través de una red, “la nube”.

¹¹ SAP: “Systems, Applications, Products in Data Processing”, sistema informático que le permite a las empresas administrar sus recursos humanos, financieros-contables, productivos, logísticos, etc.

¹² SAE: Sistema Administrativo Empresarial que controla el ciclo de todas las operaciones de compra-venta de la empresa en forma segura, confiable y de acuerdo con la legislación vigente.

resultados; de esta manera surgen los robots colaborativos, que permiten la interacción directa con los operadores sin necesidad de tener algún tipo de protección como los robots convencionales, logrando que coexistan ambas fuerzas laborales cuidando la integridad de ambas partes, pues los robots colaborativos cuentan con sensores de fuerza que les permiten detener la operación en caso de encontrarse con algún obstáculo, además de bordes redondeados que disminuyen el riesgo de algún accidente. Estos robots también serán sencillos de programar, sin necesidad de contar con técnicos especializados en cada estación de trabajo; con diferentes grados de libertad, para facilitar sus tareas (MANUEL, 2016).

La cuarta revolución industrial se refiere a la digitalización e integración de todos los procesos, productos y servicios dentro de la empresa, por lo tanto, la cuarta revolución industrial ofrece nuevas oportunidades de negocio y alianzas para empresas manufactureras; en el caso de México es una gran oportunidad para avanzar en operaciones digitales, sin embargo como se ha mencionado con anterioridad el factor humano, como en otros países, sigue siendo uno de los principales retos.

1.3 HERRAMIENTAS DENTRO DEL ENTORNO INDUSTRIA 4.0

Las herramientas del entorno de industria 4.0 combinan las de las tres revoluciones anteriores y agregan las tecnologías más recientes de conectividad dentro de los procesos y de las organizaciones, usando principalmente las TIC's¹³, además de otros componentes como robots o impresoras 3D, por poner un ejemplo.

A continuación, se describirán algunas de las herramientas que se utilizan en este nuevo movimiento, destacando que no son las únicas.

- ❖ IoT (Internet of Things) Internet de las cosas: Conectividad digital de objetos cotidianos con la red, conexión entre máquinas y personas por medio de internet, usando “la nube” en la mayoría de las ocasiones, con la finalidad de crear bases de datos que posteriormente servirán para realizar análisis, dan

¹³ TIC'S: Tecnologías de la Información y Comunicación.

como resultado información actualizada y en tiempo real. Algunos ejemplos son: brazos biónicos, drones, lentes de realidad virtual e incluso los teléfonos.

- ❖ **Sistemas ciberfísicos:** Sistemas conectados entre sí y posteriormente conectados a redes globales. Algunos ejemplos son red eléctrica, automóviles autónomos, pilotos automáticos.
- ❖ **Impresión 3D:** Impresión tridimensional de prototipos y elementos de ejecución especial, es posible realizarlos en una sola pieza. Con aplicaciones diversas y de gran utilidad, hasta el momento el mayor impacto que han tenido es en la industria médica. Algunas de las aplicaciones son prótesis para el cuerpo humano, juguetes, ropa, instrumentos musicales, piezas de ingeniería y comida.
- ❖ **Big data:** Abarca infraestructuras, y tecnologías que solucionan el procesamiento de grandes cantidades de datos que superan el uso de software habitual, ayuda a pronosticar eventos futuros, tomar decisiones de negocios o incluso implementar negocios mediante datos abiertos¹⁴, conjunto de un gran volumen de información a disposición del público en general.
- ❖ **Inteligencia artificial:** Programa informático capaz de realizar operaciones y tomar decisiones que se consideran exclusivas de las personas, se trata de una herramienta especializada no aplicable a todas las empresas por dos aspectos importantes, el costo y la funcionalidad, pues la mayoría de las organizaciones no requieren de inteligencias artificiales. Algunos ejemplos son robots de asistencia médica y automóviles autónomos.
- ❖ **Robótica colaborativa:** Robots industriales que cooperan de manera estrecha con el personal, sin necesidad de protección extra para el operador y/o el robot, pues cuentan con sensores sensibles de movimiento y bordes redondeados que evitarán el daño a cualquier persona que se encuentre cerca. Dispositivos útiles en procesos productivos mejoran tiempos de operación, estandarización, eficiencia, calidad y productividad, además de reducir costos a largo plazo.

¹⁴ Datos abiertos: Big data a disposición de toda la población.

- ❖ Realidad virtual y realidad aumentada: Dos tecnologías indispensables dentro del entorno de industria 4.0 pues se encamina hacia la digitalización, interacción entre el mundo virtual y el mundo real; cambiaría la interacción entre el personal y la máquina, así como entre productores, proveedores y consumidores. La realidad virtual se logra a través de un dispositivo, llevando parte del mundo real al virtual, por ejemplo, una película en tercera dimensión. La realidad aumentada también se logra a través de un dispositivo, sin embargo, se trae algo del mundo virtual al mundo real, por ejemplo, imágenes que tienen movimiento cuando se les ve a través de una aplicación en el celular.
- ❖ Simulación: Se podrán observar los posibles resultados de alguna o algunas aplicaciones dentro de la empresa sin necesidad de ser realmente aplicados y con la ventaja de tener el menor riesgo posible.
- ❖ Cibermercados: Presentación de diferentes alternativas y soluciones con la posibilidad de ser propuestas a diferentes actores, en este caso los clientes.

En esta herramienta influirán algunas otras que ofrezcan posibilidad de tener una relación aún más estrecha con los proveedores o el productor del bien o servicio. Los clientes tendrán la capacidad de personalizar, en medida de lo posible, el proceso. El listado anterior es una elaboración propia, resultado de una comparación de fuentes, tomando como base principal (PyME, 2017) y (Arrieta, 2017).

Como se ha mencionado a lo largo del capítulo las empresas requieren constante innovación y actualización para agrandar su mercado potencial, teniendo en cuenta que nos desarrollamos en un ambiente globalizado, donde gran parte de la actividad comercial ocurre en internet, uno de los movimientos más recientes de actualización denominado industria 4.0 ofrece a los empresarios diferentes herramientas que apoyarán el desarrollo y crecimiento del negocio.

Por lo anterior la mayoría de las herramientas utilizadas en la filosofía industria 4.0 tienen que ver con la conectividad dentro de la empresa, desarrollando

redes que mantendrán todo el proceso conectado y por lo tanto mayor sinergia¹⁵ entre los elementos que conforman el sistema empresarial; además se amplía la conectividad a tal grado de llegar a los clientes, permitiendo que sean parte del proceso y facilitándoles la adquisición de los productos.

Internet es una herramienta sumamente poderosa, pues se pueden generar y guardar distintos instrumentos que apoyen al seguimiento y análisis de las actividades de la planta sin necesidad de tener gran cantidad de archivos físicos, es debido a esto que el movimiento tiene un impacto global.

2. CAPÍTULO DOS EMPRESA

2.1 INDUSTRIA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

En el presente proyecto de investigación y propuesta de implementación nos enfocaremos en el país de México, en el estado de Puebla, en el municipio de Puebla. Tomando como referencia la industria automotriz, centrado en la industria de inyección de plástico; a efectos de investigación y confidencialidad no se mencionará explícitamente el nombre ni ubicación de la empresa, sin embargo, se buscará que los datos proporcionados y plasmados en este documento sean lo más apegados a la realidad, sin afectar a la empresa en la que se aplica. Mediante un análisis de 5 M¹⁶ se describirá a la empresa para posteriormente evaluar sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, vinculando la información con el movimiento de industria 4.0 y proponer el uso de robots colaborativos como herramienta de mejora.

La empresa se dedica a la inyección de plástico teniendo como clientes a General Motors, Tesla, Audi, Volkswagen, Plastic Omnium, Webasto, Inteva, Eissman, Webasto, Varroc, entre otros, su función es ser proveedor directo, Tier one, two o three para las empresas mencionadas anteriormente, inyectando piezas de exhibición, es decir que son visibles dentro del automóvil del que forman parte, refuerzos, paneles de puertas y componentes, es decir que no son visibles dentro

¹⁵ Sinergia: acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales.

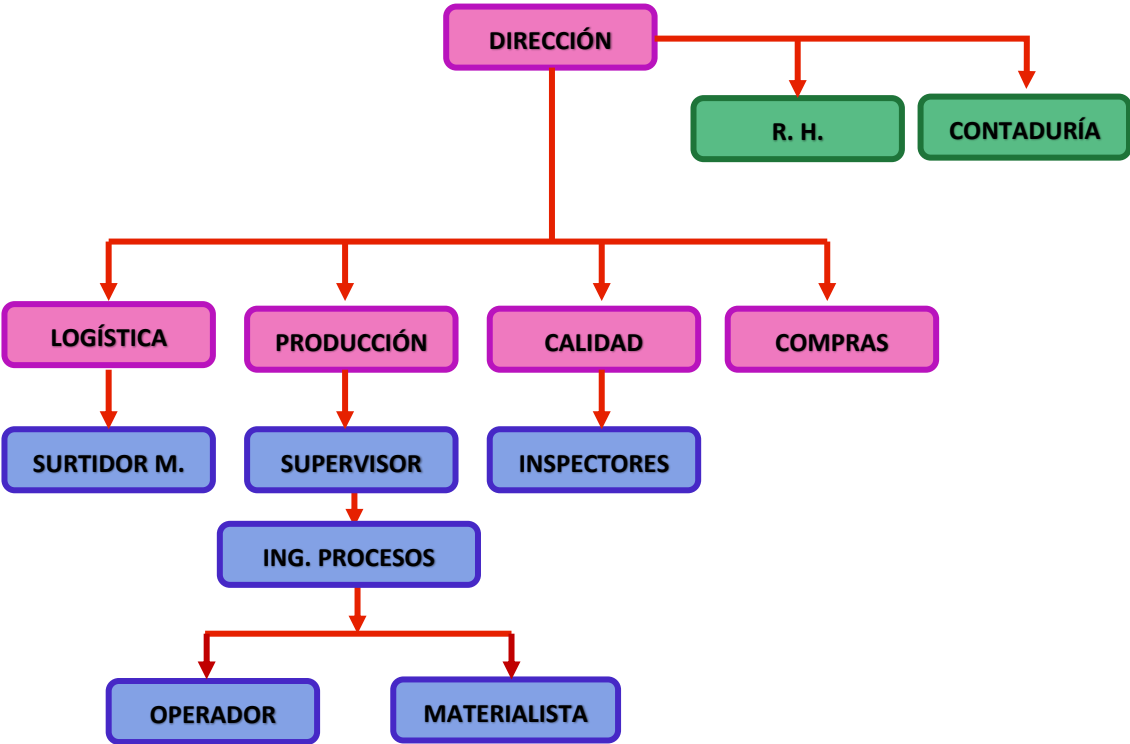
¹⁶ 5 M: Abreviación de: máquina, método, mano de obra, medio ambiente y materia prima.

del automóvil, incluso se producen componentes plásticos necesarios para otra pieza que será el producto final entregado al cliente externo e interno.

2.1.1 Organigrama

A continuación, se presentará un organigrama que sintetiza las relaciones internas dentro de la planta de inyección.

Ilustración 5 Organigrama



(Elaboración propia)

Como se puede observar en el organigrama anterior, en los primeros niveles tenemos la Dirección, puesto que tiene una persona, posteriormente se encuentra el departamento de contaduría y el departamento de recursos humanos, que se encargan de los movimientos fiscales y contables de la empresa, así como la contratación de nuevo personal, capacitación, entrega de herramienta y recursos necesarios dentro de la planta. En el siguiente nivel se encuentran los 4

departamentos fundamentales, que a su vez se subdividen pero que no son relevantes para este proyecto, logística, calidad, compras y producción; nos enfocaremos en el proceso productivo, por lo tanto, los niveles siguientes son los que tienen contacto directo con la línea de producción y que se explicarán a continuación:

Compras: Es importante mencionar que a pesar de no contar con una o más personas involucradas directamente, el departamento de logística solicita la materia prima de acuerdo con el plan de producción semanal o mensual que se le es proporcionado.

Calidad: Su personal relacionado directamente en la línea de producción son los inspectores de calidad, que se encargan de evaluar piezas al azar de las cajas terminadas por los operadores, comparando la pieza “*master*” (pieza aceptada por parte del cliente) con la pieza recién inyectada, si la pieza está conforme a las características de calidad determinadas en la “*ruta de inspección*” (cualidades de la pieza que determina el cliente), entonces el inspector colocará un sello en la etiqueta de la caja, que determina que esta ha sido liberada y que por lo tanto puede pasar al almacén, donde será preparada para su embarque.

Logística: El personal que intervine directamente en la línea de producción es un surtidor de materia prima (M.P.) que entregará todos los componentes, empaque y etiquetas que los operadores requerirán para la entrega correcta de la pieza que se esté inyectando, es importante recalcar que el empaque, componentes y etiquetas cambiarán de acuerdo con las piezas.

Producción: Es el área que este proyecto tendrá como enfoque, pues en ella se propondrá la implementación de los robots colaborativos.

El primer nivel será el supervisor, que se encarga de la organización y distribución del personal, es decir, de los operadores, toma decisiones respecto a las máquinas que están trabajando y si es necesario determinará si una máquina para o continúa su producción.

El siguiente nivel lo tiene el ingeniero de procesos, que se encarga, junto con el supervisor de mantener las máquinas trabajando, con un proceso de producción estable, es decir, que las piezas inyectadas estén conforme a lo que el cliente solicita, además solucionan los problemas referentes al proceso que se puedan presentar; por ejemplo, ajustar un proceso para que la pieza no presente burbuja, ráfaga o rechupe, o arrancar las máquinas después del fin de semana.

Posteriormente se encuentran los materialistas y operadores. Los materialistas tienen una relación directa con el área de logística, ellos a su vez con compras, pues los materialistas se encargan de la correcta distribución de materia prima (plástico) para las máquinas inyectoras, además de realizar el secado o la mezcla de esta, debido a las características de color u opacidad de la pieza.

Los operadores serán el elemento al que se le dará mayor importancia, pues se encuentra en contacto directo con la pieza, determina mediante una breve inspección visual si la pieza es de calidad o si debe tirarse para posteriormente ser molida y reintegrada en pequeñas porciones al proceso. El operador re trabaja la pieza, es decir, elimina el exceso de rebaba¹⁷, coloca los componentes extra, embolsa, en caso de ser necesario, coloca la etiqueta que muestra información sobre la pieza en la caja y acomoda las piezas de acuerdo con el empaque que se muestra en su hoja de proceso. Además, informará al supervisor y/o ingeniero de procesos en caso de que su máquina tenga alguna falla.

2.1.2 Producto

En este apartado se definirán las características que deben tener las piezas inyectadas en la planta, por lo que para mayor facilidad serán divididas en tres grupos, piezas de vista, piezas internas y componentes; se debe tomar en cuenta que no se considerará el material del que están hechas las piezas, pues, aunque el

¹⁷ Rebaba: Porción de materia que sobresale en los bordes o en la superficie de un objeto cualquiera.

tipo de plástico no sea el mismo, la pieza deberá cumplir con cualidades similares de acuerdo con el grupo en el que se encuentre.

Piezas de vista: La pieza no deberá presentar ningún defecto, rechupe, ráfaga, contaminación, deformación, pieza incompleta (tiro corto), barrenos tapados, en caso de tenerlos, rebaba, etc., como punto extra deberá contar con cierto nivel de opacidad o brillo, dependiendo del material del que esté hecha y de los requerimientos del cliente, además de tener un color uniforme y específico. Es la pieza más delicada e importante dentro del proceso, pues será cien por ciento visible en el automóvil que sea colocada.

Piezas internas: Dependiendo de la funcionalidad de la pieza y su exposición a factores como el frío, calor o desgaste, podrán ser aceptados uno o más defectos menores, siempre que no intervengan con el cometido de esta, por ejemplo, la pieza puede presentar un rechupe que se ve, pero que no se detecta por medio del tacto, por lo tanto el ingeniero de procesos y el supervisor determinan que no afecta su función y calidad liberará la pieza siempre que el rechupe no se sienta. Aunque sigue siendo de vital importancia la inspección visual y el re trabajo por parte de los operadores.

Componentes: Es la pieza menos importante dentro de la planta, se sigue determinando si la pieza pasa o no pasa de acuerdo con los criterios que se le proporcionan al operador en su capacitación, sin embargo, estas piezas forman parte de una segunda pieza, o pieza principal, que también se inyecta dentro de la planta, o bien se utiliza como refacción en otras plantas. Los defectos visuales disminuyen su importancia al ser una pieza cuyo porcentaje de visibilidad va de 0 a 20 por ciento, sin embargo, sigue siendo de vital importancia que cumpla con características de dimensión y resistencia.

2.1.3 Proceso general dentro de la planta

La planta cuenta con 27 prensas de inyección, sin embargo, se tienen dos máquinas obsoletas, por lo tanto, en total tienen 25 prensas en total funcionamiento,

con distintos tonelajes, es decir que soportarán diferentes moldes. Teniendo en cuenta la afirmación anterior no en cualquier máquina podrá inyectarse todas las piezas que producen, por lo que el departamento de planeación tiene un papel sumamente importante al tener en cuenta la cantidad requerida por el cliente, el nivel de importancia de la pieza y la urgencia con la que el pedido fue hecho.

Se trata de una empresa mediana, utilizando el criterio del número de trabajadores que propone Bancomer, debido a que cuenta con menos de 250 personas laborando (BBVA, 2018); de inversión extranjera que recientemente se unió a un grupo de empresas de origen Francés, la empresa cuenta con 4 naves diferentes, una para el área de producción, dos para el área de producto terminado y stock de seguridad y una tercera de materia prima y componentes necesarios para las piezas que se inyectan, dos de estas cuatro naves cuentan con entradas y salidas necesarias para embarque y desembarque, ya sea de materia prima o de producto terminado.

El proceso descrito de manera general y sintetizada es el siguiente: la materia prima es solicitada a los proveedores, estos surten en tiempo y forma y se inspecciona de manera manual para determinar si se cumple o no con las características requeridas por la pieza y el proceso, una vez que esta materia prima es liberada será movida al almacén, en caso de no ser conforme se contiene y se hará el cambio correspondiente con los proveedores; lo siguiente es tener la correcta planeación de acuerdo a los pedidos, release¹⁸ de cliente, posteriormente producción se encargará de solicitar los materiales necesarios para cubrir el pedimento del cliente, es decir solicitará resina para inyectar y componentes en caso de ser necesarios, sin embargo el departamento de logística surtirá empaque, etiquetas y se alimentarán constantemente las tolvas de cada prensa de inyección. Cabe destacar que para este punto la resina que requería ser secada y/o pigmentada previamente ya estará lista para entrar a la línea de producción.

¹⁸ Release: Requerimiento en firme por parte del cliente. Definición utilizada en la industria.

El siguiente paso se lleva a cabo dentro de la línea de producción, que será la parte del proceso en la que mayor énfasis se dará dentro del presente documento; las piezas inyectadas son inspeccionadas por el personal, determinando si la pieza se encuentra “ok o no ok”, si la pieza no está de acuerdo a las características solicitadas será enviada al scrap¹⁹, donde tendrá un proceso de molido y posterior reintegración a la cadena de suministro; los operadores reciben capacitación al encontrarse en una pieza o número de parte²⁰ que en el que no habían estado antes, dentro de esta capacitación se explica el re trabajo a realizar a la pieza, los componentes extra que lleve o no y los posibles defectos que surgen en ese número de parte. El siguiente paso será ensamblar los componentes extra en caso de ser necesario, una vez que la pieza esté lista el operador deberá acomodar dentro del empaque las piezas que produzca la máquina a lo largo del turno, esto de acuerdo con el estándar pack²¹ de cada una de las piezas. Es el factor más importante dentro de la cadena de valor de la empresa, pues prácticamente se depende de los operadores para llegar a la cantidad requerida de piezas con eficiencia y calidad.

Una vez que se cuenta con cajas completas un inspector de calidad verificará piezas al azar para determinar si las piezas están conformes o no, de acuerdo al plan de control, si las piezas no están dentro de las especificaciones se enviarán a cuarentena o se detendrán como material sospechoso hasta que los mismos operadores re controlen dicho material, re trabajándolo, si el material detenido es liberado por inspectores de calidad este número de parte será reintegrado a la línea de producción, de lo contrario será enviado al scrap para ser molido; una vez que las piezas se encuentran dentro de los estándares de calidad previamente establecidos mediante el dibujo del cliente, en softwares de dibujo como CATIA²² y AUTOCAD²³, además de usar un AMEF²⁴ de diseño y de procesos; con base a lo

¹⁹ Scrap: Desechos y/o residuos derivados del proceso industrial.

²⁰ Número de parte: Código utilizado dentro de la empresa para identificar cada una de las piezas.

²¹ Estándar pack: Acomodo específico del número de parte. Material del empaque.

²² CATIA: (computer-aided three dimensional interactive application) programa informático de diseño.

²³ AUTOCAD: software de diseño asistido por computadora.

²⁴ AMEF: Análisis de Modo y Efecto de Fallos.

anterior se creará un plan de control u hoja de procesos con la que los inspectores de calidad tendrán guía para liberar las piezas como conformes.

El cliente envía el plano de la pieza en el que especifica las dimensiones, las pruebas necesarias que requiere la pieza, en dónde se ubicará y los procesos posteriores que se aplicarán a la pieza, con lo cual se podrá determinar el AMEF de proceso y de diseño, en donde mediante cálculos matemáticos se determinará el número de riesgo, es decir una probabilidad de ocurrencia, se describirán tres factores importantes: ¿por qué ocurrió?, ¿por qué no se detectó? Y ¿por qué el sistema falló?; en caso de que se determine una falla en el sistema el AMEF será actualizado.

Cuando las piezas producidas son liberadas por el área de calidad los surtidores de material moverán las piezas conformes al área de producto terminado y posteriormente logística las lleva al almacén de producto terminado y/o realiza el embarque para el cliente en caso de que así se requiera.

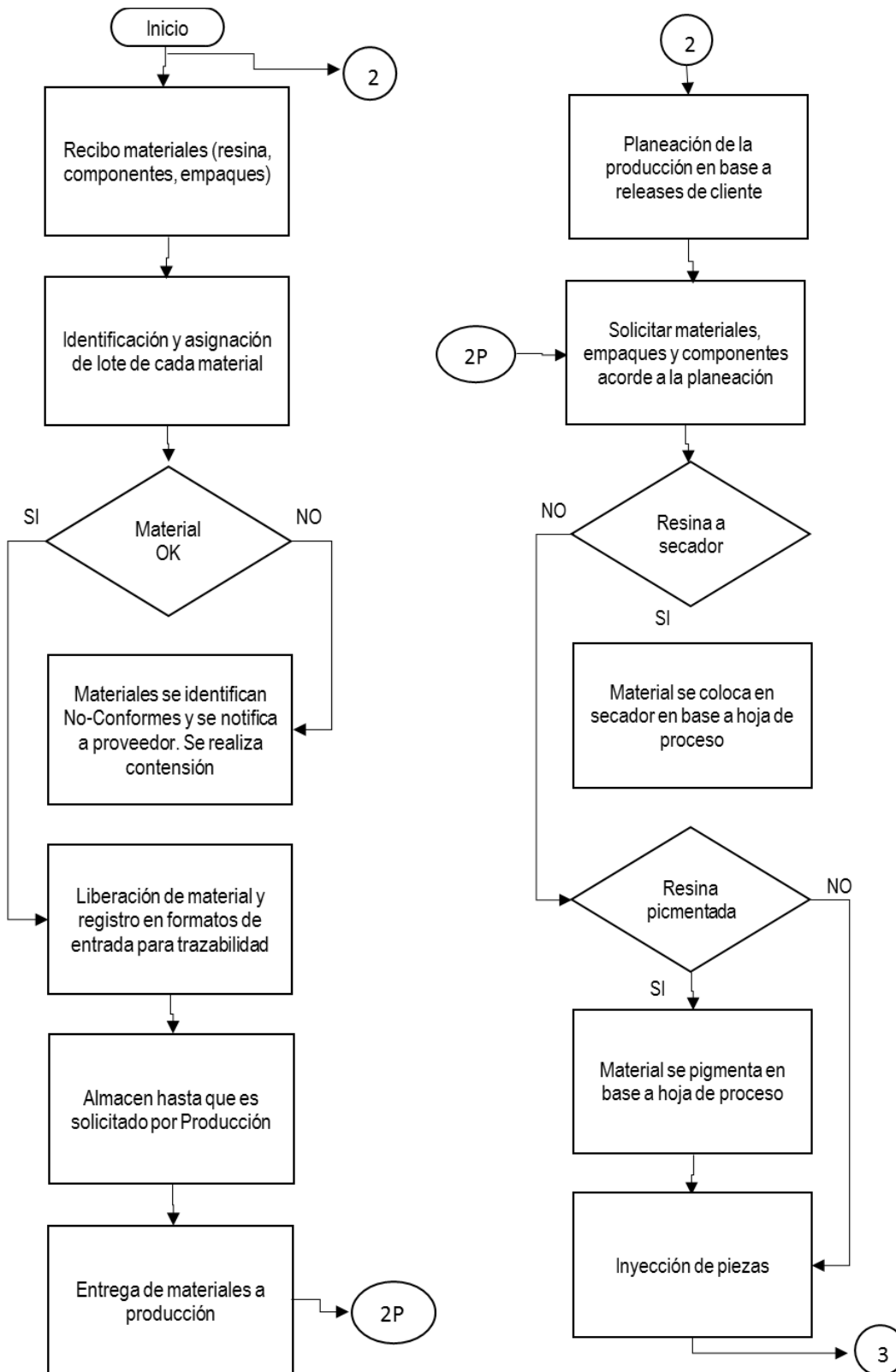
Dentro de la planta se cuenta con diferentes herramientas que conectan cada una de las áreas de la empresa y promueve la comunicación eficiente, una de ellas es el sistema SAP, en donde se realizan los movimientos correspondientes de materia prima, notificación de producto final, fallas, retrasos, material dentro de los almacenes, etc.; un programa de planeación diario, donde se especifica los números de parte que se montarán en cada una de las prensas de inyección, la hora, las piezas que se requieren y el siguiente número que se producirá; un pizarrón de producción que está a la vista de toda la planta en donde se especifica la prensa, el número de parte, las piezas requeridas, lo producido hasta el momento y el total de turnos en los que se alcanzará esa producción, con un apartado de comentarios en los que se pueden especificar fallas de la prensa, si se cuenta o no con la materia prima y el siguiente número de parte, de esta manera se facilita el flujo de materiales dentro de la línea de producción, así como una toma de decisiones eficiente, ágil y sin retrasos.

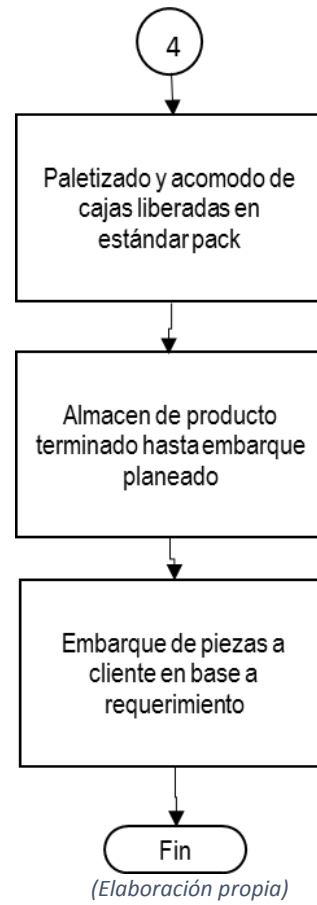
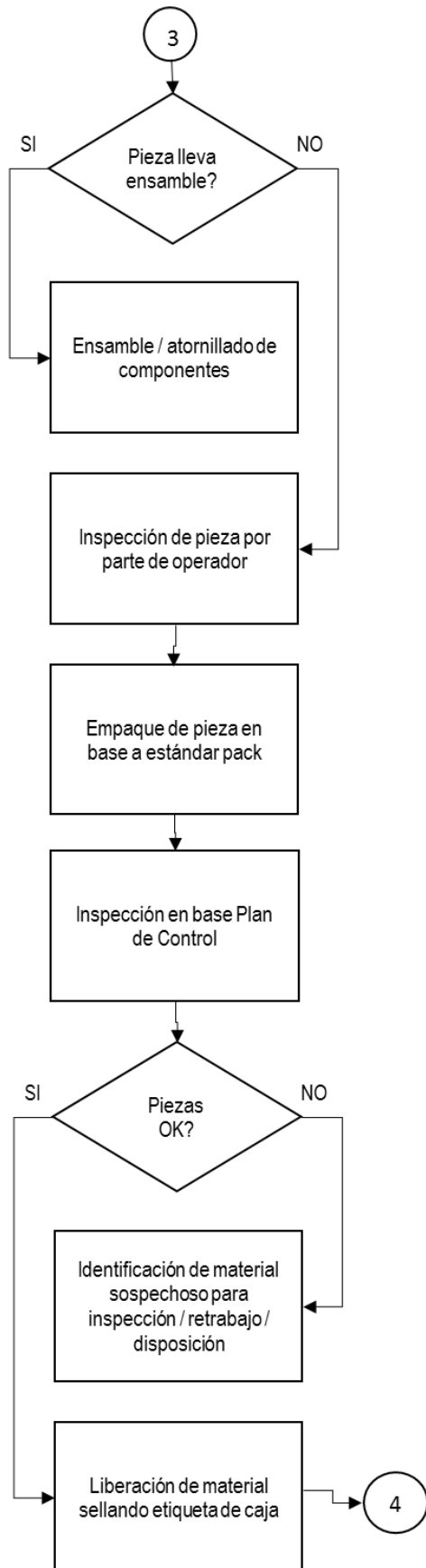
Es importante mencionar que el tipo de empaque que se utiliza para cada número de parte es determinado por el departamento de metrología, que con base en las características de la pieza determina el mejor acomodo de estas. Algunos empaques son comprados por la empresa, otros son proporcionados por el propio cliente, es decir, se cuenta con empaque desechable y retornable. Las tarimas en las que son acomodadas las cajas (Pallet²⁵) son en su mayoría de madera, el resto son de plástico, en donde aplica el mismo principio de pallets desechables y retornables.

A continuación se presenta un breve diagrama de flujo en el que se sintetiza lo anteriormente descrito.

²⁵ Pallet: plataformas rígidas portátiles.

Ilustración 6 Diagrama de flujo del proceso de la empresa





Como observación es importante mencionar lo fundamental del correcto flujo de materiales dentro de la planta, por lo que se describirán brevemente los almacenes con los que se cuenta.

La planta cuenta con tres naves de almacén, una de materia prima con producto terminado, que tiene acceso directo al área de producción para facilitar la movilidad de los pellets²⁶; una nave que contiene únicamente producto terminado, con salida directa al andén de embarque; y una de material de empaque, considerado también como materia prima, con producto terminado que se determinó por la empresa como material de stock de seguridad²⁷ (producción terminada de tres semanas).

El equipo de manipulación empleado para todos los materiales son siete montacargas, operados por nueve montacarguistas respectivamente (que rolan los tres turnos), sin embargo cada operador tiene designado su almacén, la materia prima es acomodada de forma manual en estanterías de acuerdo a familias, códigos internos de identificación y ubicaciones fijas; una vez acomodada la materia prima el operador se encarga de hacer un registro manual, en hoja de verificación y tabla de registro en la estantería. La empresa cuenta también con seis patines, distribuidos para los movimientos de almacén y movimientos en la línea de producción.

La unidad de carga²⁸ generalmente es decidida por acuerdo mutuo entre la empresa y el cliente directo, como se mencionó anteriormente los clientes pueden determinar si requieren sus productos en *pallets* retornables, es decir que son proporcionados por el propio cliente, o *pallets* desechables, que serán de madera proporcionados por la empresa. Posteriormente se determina la cantidad de

²⁶ Pellets: denominación utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido de diferentes materiales.

²⁷ Stock de seguridad: nivel extra de existencias que se mantienen en almacén, para hacer frente a las posibles variaciones en la demanda.

²⁸ Unidad de carga: conjunto de productos de pequeñas dimensiones que deben ser agrupados con el fin de facilitar su manejo.

material terminado que requieren y cada qué tiempo se debe hacer la entrega, plazos de pago, etc.

Generalmente se colocan 6 cajas apiladas, que posteriormente serán emplayadas²⁹ manualmente por un operador, como se ha mencionado antes, el acomodo de las piezas dentro de las cajas es determinado por el departamento de metrología evitando así peso muerto³⁰. Sin embargo, en ocasiones se recurre a incluir material como plástico o cartón debido a la falta de cajas adecuadas, representando una pérdida.

La empresa utiliza racks como estanterías, en dónde únicamente coloca materia prima como componentes varios y colorantes, pues la resina que utilizan para la inyección (pellets), sólo es apilada (debido a las dimensiones del empaque). Utilizan la metodología FIFO³¹:

“Método de valoración de inventarios... según el cual los productos o materiales salen de los almacenes por el orden cronológico de entrada y, por tanto, el valor de balance de los inventarios está constituido por el coste de los últimos elementos adquiridos.” (Expansión, 2018)

Por lo que la materia prima recién adquirida se coloca en la parte superior del rack y la más antigua está en la parte inferior, sin embargo, para darle rotación y sistema FIFO la materia prima deberá bajarse de forma manual con el montacargas una vez que el nivel inferior está vacío, esto representa tiempo extra para acomodo.

²⁹ Emplayar: Envolver productos o mercancías sobre una tarima con una película de plástico, para evitar que estos se caigan o separen.

³⁰ Peso muerto: Espacio vacío o utilizado por otro material “inútil” dentro del empaque.

³¹ FIFO: Acrónimo de “First in, first out”, es decir, primero en entrar, primero en salir.

2.1.4 Proceso de la línea de producción

Ilustración 7 Materia prima por entrar a secador



Ilustración 8 Secador de materia prima



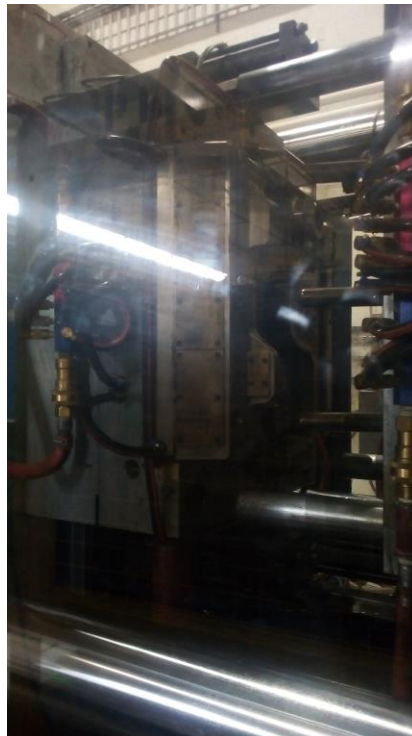
Ilustración 9 Materia prima identificada

TARJETA DE IDENTIFICACION DE MATERIALES					
Número de parte		PPO12NE			
Codigo SAP					
FECHA	# DE EMPLEADO	VIRGEN	CONCENTRADO	MOLIDO	PESO NETO (KGS)
20-2-19		20%		30%	
		15967			
COMENTARIOS					

Preparación de la materia prima: Para iniciar el proceso de inyección de las piezas, lo primero con lo que se debe contar es con la materia prima, que en este caso será en forma de pellets, la empresa maneja distintos tipos de plástico, de los que se hablará con más detalle en el siguiente apartado del capítulo. La materia prima será clasificada de acuerdo con su nombre abreviado, un número (que indica sus propiedades químicas) y un par de letras que determinan el color, por ejemplo, PP002NE: que representa un Polipropileno 2 en color negro.

Una vez que la materia prima está correctamente clasificada se determina si esta debe someterse a algún proceso extra antes de ser inyectado, por ejemplo, algunas piezas deben tener un color específico, entonces la materia prima deberá ser mezclada y/o teñida de acuerdo con lo necesario. En otros casos la materia prima debe tener cierta temperatura y grado de humedad, por lo tanto, la materia prima se encuentra en proceso de estar “temperada” o pasa por un “secador”, de este modo en el momento en que un número de parte en específico esté por ser inyectado la materia prima contará con todas las características necesarias para obtener piezas de calidad.

Ilustración 10 Prensa de inyección en funcionamiento



Preparación de la máquina de inyección: La máquina debe pasar por un proceso de preparación en el que se ajustan las temperaturas, de acuerdo al material que será inyectado, se debe tener en cuenta que en este momento el molde del número de parte que será inyectado ya debe estar montado en la máquina, correctamente conectado y ajustado en caso de ser necesario (limpieza de molde, pulir el molde y protección con desmoldante) hecho por mantenimiento de moldes, el departamento de planeación y programación tomará en cuenta los paros y tiempos muertos necesarios y preventivos para cada pieza, pues en ocasiones la producción se detiene hasta una hora por cuestiones del molde. La máquina será ajustada de acuerdo con el PDA³² que genera el ingeniero de procesos y que ya se tiene establecido para cada número de parte en una carpeta informativa al pie de la máquina, mismo lugar en el que se encuentra la pieza master o la pieza liberada por el inspector de calidad en turno.

Ilustración 11 Pieza plástica saliendo de la prensa



Inyección de la pieza plástica: Una vez que la máquina, el molde y la materia prima están en condiciones óptimas las piezas serán inyectadas, con el proceso conforme lo establecido, es decir, conforme al PDA, la pieza deberá contar con

³² PDA: Patrón de Arranque.

todas las características que calidad, basado en lo requerido por el cliente, determina como aceptables, todo lo anterior dentro del tiempo ciclo lo más cercano al estándar, si es posible más bajo a este. Se recalca que en caso de que la pieza presente algún defecto el proceso deberá ser ajustado por el ingeniero de procesos y/o el supervisor, aunque esto es responsabilidad del ingeniero de procesos, si así se requiere, por condiciones de la pieza, el tiempo ciclo deberá ser ajustado para evitar defectos de deformación o rebaba, de lo contrario el ingeniero de procesos sólo ajustará la temperatura, el tiempo de inyección, tiempo de enfriamiento o presión de sostenimiento. En ocasiones, como se mencionó en el párrafo anterior, el problema no radica en el ajuste del proceso, si no en el molde, por lo tanto, deberá intervenir el departamento de mantenimiento, para pulir el molde, proteger el molde o en su caso desmontar el molde para un mantenimiento diferente, que puede incluir el cambio de boquilla de inyección, dentro de la unidad de inyección. Lo anterior será descrito con mayor detalle en el siguiente apartado del capítulo.

Ilustración 12 Ruta de inspección para re trabajo



Ilustración 13 Operador re trabajando pieza



Ilustración 14 Poka Yoke



Ilustración 15 Empaque de piezas



Re trabajo y empaque de piezas: En este paso intervendrá directamente el operador y el surtidor; el surtidor se encargará de proporcionar el empaque necesario, dependiendo una vez más del número de parte, además de llevar etiquetas en las que se presenta información sobre el nombre de la pieza, el código que tiene establecido en SAP, la fecha de empaque y el lote de esta pieza, se resalta que el lote será manejado de acuerdo a cada planta, en este caso el lote está compuesto por la fecha en que se realizó la pieza y el número de control que posee el operador, de este modo para la planta es más sencillo rastrear en qué momento exacto se inyectó y quién empacó las piezas. El operador quitará la rebaba de la pieza, colocará los componentes extra y embolsará la pieza, para después acomodarla en el empaque de acuerdo con el standar pack³³.

³³ Standar Pack: Cantidad de piezas dentro de una caja.

Ilustración 16 Cajas selladas por Calidad



Ilustración 17 Cajas liberadas apiladas en tarima



Liberación de piezas: Una vez que el operador termina de llenar una caja de acuerdo con la hoja de procesos, correctamente etiquetada y con piezas “ok”, se coloca en una pequeña estructura parecida a una mesa, en donde permanecerán todas las cajas terminadas para que el inspector de calidad en turno corrobore las características de las piezas y coloque el sello de liberación de calidad en la etiqueta de la caja. Posteriormente estas cajas serán selladas y retiradas de la línea de producción por el surtidor, se encargará de llevar las cajas de material terminado a un área asignada a cada máquina, en donde son acomodadas en pallets y posteriormente llevadas a almacén por montacarguistas.

2.1.5 Análisis FODA del proceso productivo a través de las “5 M”

A continuación, se presenta un análisis FODA basado en las 5 M, del proceso de producción.

Estrategias de mejora en maquinaria

Tabla 1 FODA Maquinaria

FACTORES EXTERNOS	FACTORES INTERNOS	Fortalezas *Maquinara en buenas condiciones. *Implementación de robots que permiten un proceso automático. *Implementación de diferentes equipos para optimizar el proceso. *Programación de mantenimiento preventivo.	Debilidades *Ruido excesivo en máquinas más antiguas, incluyendo el molino. *Uso de un único equipo periférico que alimenta 6 prensas. *Programación tardía y poco frecuente de mantenimiento preventivo.
Oportunidades *Automatización basado en metodología industria 4.0. *Implementación de robots más sofisticados (cobots ³⁴). *Plan de mantenimiento preventivo para prensas y equipo periférico. *Adquisición de equipo periférico de respaldo.		FO *Automatización de los equipos de inyección mediante robots colaborativos, que brinden al operador mayor comodidad y seguridad. *Realizar plan y programación de mantenimiento preventivo para todas las prensas.	DO *Adquisición de equipo periférico de respaldo, o bien que comparta la carga de trabajo actual. *Capacitación sobre uso y cuidado de las máquinas, que disminuya el mantenimiento correctivo. *Uso de protección auditiva.

³⁴ Cobots: Robots colaborativos.

Amenazas	FA	DA
*Automatización en maquinaria de inyección de plástico. *Aumento en costos de electricidad. *Maquinaria obsoleta.	*Las máquinas cuentan con diferentes herramientas que permiten actualización constante, incrementando la competitividad. *Tener un plan de mantenimiento constante evitará que la maquinaria se devalúe a grandes pasos.	*Adquirir nuevos equipos periféricos permitirá una actualización y prevendrá el desgaste del equipo actual. *El mantenimiento evitará que las máquinas continúen excediendo los niveles normales de ruido.

(Elaboración propia)

En conclusión, las estrategias a tomar en el sector maquinaria son las siguientes, se recalca que son mencionadas por prioridad y accesibilidad.

- ❖ Diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo para todas las prensas de inyección y para el equipo periférico que poseen. Este plan deberá contar con acciones semanales, mensuales y anuales, que no interfieran con la producción programada en dicha máquina, por lo tanto, esta acción irá ligada al departamento de planeación de producción (logística); además de crear stock de refacciones disponibles dentro de la planta.
- ❖ Adquirir equipo periférico de respaldo, esto evitará retrasos por sobre carga en los equipos actuales, pues es algo que ya ha ocurrido con anterioridad. Incluir equipos de refacción para eventos de emergencia que se podrán predecir mediante un análisis de las últimas incidencias.
- ❖ Adquirir nuevas tecnologías que complementen la actividad de producción dentro de la línea de inyección y que coloquen a la planta en un nuevo nivel de automatización y actualización. Se recomienda la adquisición de robots colaborativos, estos disminuirán la actividad del operador, aumentarán eficiencia y nivel de estandarización de procesos.

Estrategias de mejora en métodos de trabajo

Tabla 2 FODA Método de trabajo

<p>FACTORES EXTERNOS</p>	<p>FACTORES INTERNOS</p>	<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> *Se cuenta con una hoja de procesos que el operador puede consultar durante todo el turno. *Asignación de operadores con experiencia para números de parte más complejos. *Se cuenta con un Patrón de Arranque como herramienta. *Ayudas visuales. *Constante capacitación en procesos y tendencias de producción. 	<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> *Baja utilización de la hoja de procesos. *Uso incorrecto de herramientas de trabajo. *Falta de estandarización del re-trabajo de las piezas inyectadas y el uso correcto de herramienta de trabajo.
<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> *Evaluar una certificación enfocada al ramo de inyección de plásticos. *Mejora y correcta utilización de sistema de información de control de producción y <i>scrap</i>. *Producción de nuevos números de parte. 	<p>FO</p> <ul style="list-style-type: none"> *Mejora y utilización de sistema de control de producción, permitirá estricto conteo de producción, evitando problemas en inventario. *Mediante el uso y mejora de herramientas e historial en PDA (que incluye ajuste de proceso) se puede aspirar a nuevas certificaciones, que atraerán más clientes. 	<p>DO</p> <ul style="list-style-type: none"> *Mediante el control de la producción se buscará estandarizar procesos de re-trabajo, uso de herramientas y equipo de protección, además de aumentar el nivel en calidad de las piezas se podrá conseguir una certificación más especializada, lo que al mismo tiempo posiciona a la empresa con un mejor 	

		nivel, consiguiendo nuevos contratos.
<p>Amenazas</p> <p>*Cambio en la obtención y producción de resinas a nivel mundial.</p> <p>*Aumento en costos de materia prima, dependiendo de los proveedores actuales.</p> <p>*Utilización de nuevas tecnologías en procesos de inyección de plásticos.</p>	<p>FA</p> <p>*La actualización constante de los ingenieros permite predicciones sobre la materia prima más utilizada y las nuevas tendencias, por lo que se podrá anticipar un cambio en los materiales utilizados.</p> <p>*Las mejoras dentro del proceso permitirán competitividad, con la maquinaria actual, si ambas se combinan la empresa tendrá mayor crecimiento.</p>	<p>DA</p> <p>*Mejorar y actualizar la estandarización del proceso permitirá una actualización constante, que incluye preparación respecto a los nuevos materiales en tendencia.</p> <p>*Capacitación constante al personal respecto a la seguridad y materiales evitará desperdicios y prevendrá accidentes.</p>

(Elaboración propia)

En conclusión, las estrategias a tomar en el sector método de trabajo son las siguientes, se recalca que son mencionadas por prioridad y accesibilidad.

- ❖ Mejorar y mantener en funcionamiento el sistema de control de producción que se encuentra en desarrollo, permitirá un conteo estricto de piezas, reduciendo desperdicios al mínimo, pues registrará todas las piezas, buenas y malas, que deberá coincidir exactamente con lo reportado por el operador por medio escrito. Permitirá un panorama claro y real de las piezas de scrap producidas y a partir de este se puede analizar y proponer estrategias de control de piezas malas, pues representan pérdidas para la empresa y para el cliente. Se mejorará la sinergia entre el área de producción y logística, pues se evitarán ajustes de inventario debido al mal conteo realizado por los operadores (con piezas sobrantes o faltantes en las cajas).

- ❖ Adquirir nuevas tecnologías que complementen la actividad del sistema de control de producción dentro de la línea de inyección. Los robots colaborativos pueden desarrollar funciones de conteo, que además de controlar las piezas “ok” producidas, controlarán el uso de componentes extra en la pieza y como se mencionó anteriormente, evitara desperdicios y ajustes por el departamento de logística.
- ❖ Estandarizar procesos de re-trabajo y ajuste de proceso, documentar las propuestas, mejoras y cambios permitirá aumentar la calidad de acabado de las piezas, capacitación de los operadores y reducción de accidentes al exigir un EPP³⁵ completo. Lo anterior posicionará a la empresa cerca de una certificación especializada en procesos de inyección de plásticos.
- ❖ Capacitar a los ingenieros de procesos, supervisores y el departamento de ingeniería respecto a las tendencias de inyección, resinas nuevas y procesos de manufactura en general permitirá evaluar un panorama general del uso de materiales, previniendo los posibles cambios y adelantándose a ellos. Mejorará el proceso de inyección y al mismo tiempo la calidad de las piezas producidas.

Estrategias de mejora en mano de obra

Tabla 3 FODA Mano de obra

FACTORES EXTERNOS	FACTORES INTERNOS	Fortalezas	Debilidades
		*Operadores con experiencia para números de parte delicados y complejos. *Los operadores se encargan de monitorear las prensas y robots que utilizan, notificando si existe alguna falla al ingeniero de procesos o al	*Falta de compromiso por parte de algunos operadores. *Uso incorrecto o ausencia del equipo de protección personal (EPP), por cuestión de falta de compromiso o falta del equipo y herramienta necesario. *Falta de organización y control por parte del

³⁵ EPP: Equipo de Protección Personal.

		<p>supervisor en turno.</p> <p>*Capacitadoras que entrenan al personal en cada uno de los números de parte nuevos para el operador.</p> <p>*Relevos que cambian al operador fijo para la comida.</p>	<p>supervisor en turno.</p> <p>*Servicio de transporte con algunas fallas de planeación y ruta.</p>
<p>Oportunidades</p> <p>*Digitalizar las actuales herramientas de evaluación del personal, así como mantenerlos informados de su avance de experiencia.</p> <p>*Establecer diferentes incentivos para potencializar las habilidades del operador, así como generar un equipo de trabajo homogéneo.</p> <p>*Establecer un método mediante el cual el operador pueda expresar y sugerir mejoras dentro y fuera de su área de trabajo.</p>	<p>FO</p> <p>*Determinar un sistema de evaluación de personal estandarizado y digitalizado que les permita conocer su avance y áreas de oportunidad, así como la implementación de diferentes incentivos. Lo anterior será gestionado por las capacitadoras.</p> <p>*Generar actividades que permita la integración del personal y hacerlos partícipes del equipo de trabajo.</p>	<p>DO</p> <p>*Dentro del sistema de evaluación e incentivos se considerará la capacitación del personal, creando conciencia sobre la seguridad industrial.</p> <p>*A través de actividades de integración se consolidará el equipo de trabajo, al mismo nivel y con niveles superiores.</p> <p>*Se busca motivar al personal a través de diferentes prestaciones y servicios como transporte y comedor (ampliando el servicio).</p>	
<p>Amenazas</p> <p>*Nuevas disposiciones laborales en México.</p> <p>*Deficiencia en los servicios de comedor y transporte, así</p>	<p>FA</p> <p>*Mejorar servicio de comedor y transporte, considerar implementación de</p>	<p>DA</p> <p>*Mejorar el servicio de comedor y transporte mantendrá un buen ambiente laboral.</p>	

<p>como prestaciones y aumento de sueldo. *Mejores oportunidades por parte de la competencia.</p>	<p>transporte en los tres turnos. *Capacitaciones y desarrollo de habilidades constante para el operador que proporcionará mayor experiencia y ventajas en futuros puestos. *Considerar los aumentos en un menor tiempo (al cambiar de puesto).</p>	<p>*Capacitación e integración constante al personal permitirá crecimiento profesional, mejora en los estándares de calidad y re-trabajo.</p>
---	---	---

(Elaboración propia)

En conclusión, las estrategias a tomar en el sector medio ambiente son las siguientes, se recalca que son mencionadas por prioridad y accesibilidad.

- ❖ Determinar un sistema de evaluación de personal estandarizado y digitalizado que permita al operador conocer su avance respecto a los números de parte que se inyectan en la empresa, determinando así un porcentaje de avance y de experiencia, así como áreas de oportunidad en las que serán apoyados por las capacitadoras y el supervisor; además de buscará la implementación de diferentes incentivos, que se asignarán una vez obtenido un determinado porcentaje de avance. El sistema anterior será gestionado y actualizado por las capacitadoras.
- ❖ Gestionar diferentes capacitaciones y actividades de integración de personal, que permitan desarrollar nuevas habilidades dentro de la empresa de inyección de plásticos, así como habilidades de socialización dentro del grupo y con el resto del organigrama con el que tienen contacto directo. Se busca desarrollar un mayor nivel de conciencia respecto a la seguridad en su área de trabajo, incluyendo el uso correcto del equipo de protección personal, pues esto garantiza su integridad física; además fomentar y aumentar el

compromiso laboral dentro de su área de trabajo, el objetivo es aumentar la eficiencia y calidad en las piezas inyectadas.

- ❖ Mejorar el servicio de comedor y transporte dentro de los tres turnos diferentes, en el caso de transporte generar rutas y horarios convenientes para los tres turnos. Considerar el aumento justo y oportuno en los casos que el operador suba de puesto y/o cambie de área de trabajo, pues este proceso es largo y desmotiva al personal, aumentando la rotación del mismo. Lo anterior genera un ambiente de trabajo óptimo y estimulante para los operadores, al mismo tiempo aumentará el compromiso con la empresa, tratándose de una estrategia “ganar – ganar”.

Estrategias de mejora en medio ambiente

Tabla 4 FODA Medio ambiente

<p>FACTORES EXTERNOS</p>	<p>FACTORES INTERNOS</p>	<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> *Extensión amplia en toda la planta. *Gran extensión en el área de producción que permitiría una reubicación. *Buena distribución de los equipos. 	<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> *Iluminación no estandarizada y en algunos momentos excesiva. *Espacio para el operador reducido (<i>layout</i>³⁶). *Sistema de ventilación deficiente. *Mesas de trabajo en malas condiciones.
<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> *Mejora y actualización de la distribución de máquinas de inyección y equipos complementarios, aprovechamiento del espacio disponible. *Implementación de robots 		<p>FO</p> <ul style="list-style-type: none"> *Mejorar áreas de trabajo, considerando una reubicación en el área de producción. *Generar mejora y actualización en el layout, con mejores mesas de 	<p>DO</p> <ul style="list-style-type: none"> *Mejorar las condiciones del área de trabajo a través de actualización del <i>layout</i> le permitirá mejores condiciones laborales. *A través del punto anterior se mejorarán aspectos de

³⁶ Layout: Esquema de distribución de los elementos.

colaborativos que aumentan el espacio disponible para el operador.	trabajo e iluminación. *La reubicación y mejora en el <i>layout</i> permitirá incluir uso de cobots y aprovechamiento de luz natural.	iluminación y herramientas de trabajo, que son las más importantes. Como extra se busca implementar cobots.
Amenazas *Auditorías al área de trabajo de algún número de parte. *Incidencias en el sistema de alimentación de energía. *Capacitación referente al cuidado del medio ambiente y separación de residuos dentro de la línea de producción.	FA *Reubicación y acomodo en el área de producción permitirá a la empresa estar preparados para las futuras auditorías. *Utilizar iluminación natural reducirá el consumo de energía en la planta. *Capacitación de separación de residuos dentro de la línea de producción.	DA *Mejorar el layout, iluminación ventilación y mesas de trabajo. *Aprovechamiento de energía natural y estandarización de iluminación. *Concientización para la separación de residuos y reciclaje.

(Elaboración propia)

En conclusión, las estrategias a tomar en el sector medio ambiente son las siguientes, se recalca que son mencionadas por prioridad y accesibilidad.

- ❖ Generar y actualizar el layout de cada uno de los números de parte, teniendo como prioridad los más frecuentes dentro de la línea de producción y los más complejos. La actualización del layout debe incluir un reacomodo del área de trabajo, teniendo en cuenta la mejora de las mesas de trabajo; mejor iluminación, en determinadas horas del día la luz natural deberá ser aprovechada, además de estandarizar la iluminación artificial, utilizando lámparas LED; mejor ventilación, esto va relacionado con la iluminación, pues el tener las lámparas encendidas todo el día provoca desgaste visual

(poniendo en riesgo la evaluación de las piezas) y acumulación de calor en el área de trabajo, se propone la implementación de más extractores.

- ❖ Capacitar y crear conciencia en el personal respecto a la separación de residuos, el manejo de residuos peligrosos y una correcta señalización para el depósito de cada uno de los desechos de la línea de producción. Es un punto de suma importancia pues a través del compromiso de los operadores se logrará la correcta separación y aprovechamiento de todos los recursos dentro de la planta. La señalización facilita esta tarea al personal, pues desconocer el contenedor correcto provoca que la mezcla de desechos sea un incidente frecuente.
- ❖ Implementar robots colaborativos dentro de la línea de producción mejorará la inspección visual de las piezas, se aprovechará mejor el espacio e cada estación y además será un paso hacia la automatización de la empresa. Los robots sustituirán al operador en la tarea de inspección, que impactará directamente en la estandarización, eficiencia y calidad del proceso.

Estrategias de mejora en materia prima

Tabla 5 FODA Materia prima

FACTORES EXTERNOS	FACTORES INTERNOS	Fortalezas	Debilidades
		<p>*Compras estratégicas de materia prima, en algunos casos por parte del cliente.</p> <p>*Aprovechamiento del <i>scrap</i>, aplicación de <i>logística inversa</i>³⁷.</p> <p>*Aprovechamiento de sobrantes de empaque y componentes.</p>	<p>*Retraso en la preparación de materia prima, en caso de necesitar secado o pigmentación.</p> <p>*Falta de empaque y componentes para la línea de producción.</p> <p>*Piezas de scrap no reportadas por el operador y mal conteo de piezas.</p>

³⁷ Logística inversa: Reintegración d material de salida a la cadena de suministro.

<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> *Generar alternativas del material a utilizar, mezclas. *Acuerdos con el cliente. *Utilizar un porcentaje de material reintegrado al proceso de producción más grande. *Venta de purgas de material para diferentes procesos. 	<p>FO</p> <ul style="list-style-type: none"> *Realizar acuerdos con el cliente sobre la resina a utilizar, el porcentaje de material reintegrado y acuerdos de compra de resina. *Reutilización de empaque y componentes recuperados. *Venta de purgas de material. 	<p>DO</p> <ul style="list-style-type: none"> *El material reintegrado a la cadena de suministro permitirá tener un stock de seguridad. *Acuerdo con el área de planeación para tener cambios mínimos que permita preparar la resina a tiempo.
<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> *Implementación de nuevas resinas al mercado de inyección de plástico. *Volatilidad en el tipo de cambio. *Cambio de acuerdos con los clientes. 	<p>FA</p> <ul style="list-style-type: none"> *Acuerdos fijos con los clientes que determinen un porcentaje de material reutilizado. *Determinar con el cliente la reutilización de empaque (bolsas). *Venta de purga. 	<p>DA</p> <ul style="list-style-type: none"> *Acuerdos a largo plazo con proveedores de resina y con el cliente, incorporar logística inversa. *Recuperación de empaque y componentes para reintegrarse a la producción. *Venta de purga.

(Elaboración propia)

En conclusión, las estrategias a tomar en el sector materia prima son las siguientes, se recalca que son mencionadas por prioridad y accesibilidad.

- ❖ Generar acuerdos a largo plazo con proveedores y con los clientes, de tal modo que los precios de las resinas se mantengan estables y fijos durante determinado tiempo, además con el cliente se puede proponer y acordar un porcentaje de material molido (logística inversa), dentro de las piezas que se entregarán, garantizando que las piezas producidas conservarán las características de calidad, dimensión y especificaciones extra que se pidan. De esta manera la empresa podrá tener la certeza de tener la resina a tiempo

a un precio justo para ambas partes y además, se reducirán desperdicios al integrar material ya procesado a la línea de producción por segunda vez.

- ❖ Recuperar componentes y entregar a logística como parciales para que la siguiente vez que el número de parte se encuentre en producción estos componentes sean utilizados, así como las bolsas para empacar. La separación de residuos permite que las cajas de cartón y las etiquetas utilizadas para identificar el material sean vendidos.
- ❖ Al separar los componentes, empaque y las purgas de las prensas se podrán vender externamente y generar un ingreso extra para la empresa, que se verá reflejado en beneficios para los operadores, esto al mismo tiempo servirá como incentivo.

Estrategias de mejora orientadas hacia industria 4.0

En conclusión, como resultado del análisis FODA basado en las 5M podemos ofrecer un concentrado de estrategias que impactarán en todo el proceso de producción y por consecuencia en toda la planta. Dada la índole de la investigación el siguiente listado tendrá énfasis en la automatización hacia industria 4.0, son ordenadas por nivel de importancia.

- ❖ Adquirir nuevas tecnologías que complementen la actividad de producción dentro de la línea de inyección y que coloquen a la planta en un nuevo nivel de automatización y actualización. Se recomienda la adquisición de robots colaborativos, estos disminuirán la actividad del operador, aumentarán eficiencia y nivel de estandarización de procesos.
- ❖ Mejorar y mantener en funcionamiento el sistema de control de producción que se encuentra en desarrollo, permitirá un conteo estricto de piezas, reduciendo desperdicios al mínimo, pues registrará todas las piezas, buenas y malas, que deberá coincidir exactamente con lo reportado por el operador por medio escrito. Permitirá un panorama claro y real de las piezas de scrap producidas y a partir de este se puede analizar y proponer estrategias de control de piezas malas, pues representan pérdidas para la empresa y para el cliente. Se mejorará la sinergia entre el área de producción y logística,

pues se evitarán ajustes de inventario debido al mal conteo realizado por los operadores (con piezas sobrantes o faltantes en las cajas).

- ❖ Adquirir nuevas tecnologías que complementen la actividad del sistema de control de producción dentro de la línea de inyección. Los robots colaborativos pueden desarrollar funciones de conteo, que además de controlar las piezas “ok” producidas, controlarán el uso de componentes extra en la pieza y como se mencionó anteriormente, evitara desperdicios y ajustes por el departamento de logística.
- ❖ Implementar robots colaborativos dentro de la línea de producción mejorará la inspección visual de las piezas, se aprovechará mejor el espacio en cada estación y además será un paso hacia la automatización de la empresa. Los robots sustituirán al operador en la tarea de inspección, que impactará directamente en la estandarización, eficiencia y calidad del proceso.
- ❖ Determinar un sistema de evaluación de personal estandarizado y digitalizado que permita al operador conocer su avance respecto a los números de parte que se inyectan en la empresa, determinando así un porcentaje de avance y de experiencia, así como áreas de oportunidad en las que serán apoyados por las capacitadoras y el supervisor; además de buscará la implementación de diferentes incentivos, que se asignarán una vez obtenido un determinado porcentaje de avance. El sistema anterior será gestionado y actualizado por las capacitadoras.

2.2 PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS GENERAL

El proceso de formado de plásticos tiene diferentes posibilidades, dependiendo de las características deseadas en la pieza final, el estado físico del plástico y de las características de la materia prima que se utilice, termoplástico o termofijas, dentro de estos dos grupos tenemos distintos plásticos, de los que se hablará a detalle más adelante; algunos procesos son exclusivos de uno u otro grupo, sin embargo, existen otros más versátiles que funcionan para ambos. En este capítulo se describirá brevemente los tipos de plástico y los tipos de proceso de formado de

piezas plásticas, más cabe recalcar que habrá un enfoque en el proceso de inyección de termoplásticos, pues es el proceso empleado en la empresa en la que se realiza el estudio.

Plástico proviene del griego PLASTIKOS que significa susceptible de ser moldeado o modelado.

Características:

Tabla 6 Características de plásticos

Propiedad	Descripción
Plásticos	En algún punto de su transformación tienen características plásticas, algunos tienen esta propiedad más de una vez dentro del proceso de transformación y otros sólo la tienen una vez. Sin embargo, esta característica no excluye por completo materiales plásticos.
Orgánicos	Están basados en la química del carbono.
Sintéticos	Productos de la industria química, que transforma materia prima en productos completamente diferentes.
Peso molecular.	Los plásticos son polímeros con elevado peso molecular, moléculas grandes formadas por numerosas unidades repetidas.

(Díaz, 2012)

Los plásticos son polímeros orgánicos que pueden ser moldeados por medio de extrusión, moldeo, hilado, etc. Se caracterizan por una alta relación resistencia/densidad, aislamiento térmico y eléctrico y buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. Los productos finales son sólidos, aunque en alguna etapa del proceso son fluidos, formados por aplicación de calor y presión. El cruce



de eslabones de dos o más polímeros es conocido como copolimerización, aunque no todos los polímeros son plásticos.

Los tres tipos básicos de plásticos son:



- Resinas termoplásticas, que pueden reprocesarse algunas veces sin ocasionar un cambio en su composición química.
- Resinas termofijas, que no se pueden reprocesar debido a que se ocasionaría un cambio en su composición química.
- Elastómeros, pueden ser termoplásticos o termofijos, y tienen la capacidad de experimentar una gran cantidad de deformación elástica a temperatura ambiente.


Tabla 7 Tipos de plásticos y sus características

Nombre	Uso principal	Abreviatura	Características	Ventajas
Acrilonitrilo butadieno estireno	Se utiliza para juguetes, teléfonos, interiores para puertas, tapicería de asientos, tableros de mandos, carcasas.	ABS	El monómero de estireno otorga buena procesabilidad, el acrilonitrilo rigidez, resistencia química y al calor, el butadieno dureza y elasticidad.	*Es barato. *Moldeable. *Es más ligero que el metal. *Resistencia a golpes. *Resistencia térmica.
Tereftalato de Polietileno	Producción de botellas. A través de su reciclado se obtienen fibras	PET o PETE	Se produce a través del Ácido Tereftálico y el Etilenglicol. Existen dos tipos:	*Barrera a los gases *Transparente *Irrompible *Liviano

	<p>para relleno de bolsas de dormir, alfombras, cuerdas y almohadas.</p>		<p>grado textil y botella, existiendo diversos colores para estos.</p>	<p>*Impermeable *No tóxico *Inerte (al contenido)</p>
<p>Polietileno de alta densidad</p> 	<p>Utilizado en envases de leche, detergente, aceite para motor, etc. Después de reciclarse se utiliza en macetas, contenedores de basura y botellas de detergente.</p>	<p>PEAD o HDPE</p>	<p>Fabricado a partir del Etileno (a partir del Etanol). Es muy versátil y se puede transformar de diferentes maneras: inyección, soplado, extrusión o rotomoldeo.</p>	<p>*Resistente a las bajas temperaturas *Irrompible *Liviano *Impermeable *Inerte (al contenido) *No tóxico</p>
<p>Polisulfuro de fenileno</p>	<p>Utilizado para filtros de aire caliente, papel fieltro, aislamiento eléctrico y especialmente membranas,</p>	<p>PPS</p>	<p>Puede ser moldeado, inyectado, extrudado o mecanizado. En su forma sólida puede ser de color blanco opaco. La temperatura</p>	<p>*Resistencia mecánica, rigidez y dureza. *Resistencia al desgaste. *Resistencia a la fluencia.</p>

	juntas y empaques.		máxima de servicio es de 218°C.	
<p>Policloruro de vinilo o Vinilo</p> <p>PVC</p>	<p>Botellas de shampoo, de aceite de cocina, artículos de servicio para comida rápida, etc. El PVC puede ser reciclado como tubos de drenaje e irrigación.</p>	PVC o V	<p>43% gas y 57% sal común. En su proceso se necesitan compuestos con aditivos especiales. Se obtienen productos rígidos o flexibles. Se transforma por inyección, extrusión o soplado.</p>	<p>*Ignífugo *Resistente a la intemperie *Transparente *No tóxico *Inerte (al contenido) *Impermeable *Irrompible</p>
<p>Polietileno de baja densidad</p> <p>PEBD</p>	<p>Bolsas de supermercado, plástico para envolver. El LDPE puede ser reciclado como bolsas de supermercado nuevamente.</p>	PEBD o LDPE	<p>A partir del gas natural. De gran versatilidad, por medio de: inyección, extrusión, soplado y rotomoldeo. Está presente en diversidad de envases, sólo o en conjunto con otros materiales y</p>	<p>*No tóxico *Flexible *Liviano *Transparente *Inerte (al contenido) *Impermeable *Económico</p>

			en variadas aplicaciones.	
Grivory HT				
<p>Polipropileno</p>  <p>PP</p>	<p>Se utiliza en la mayoría de recipientes para yogurt, popotes, tapas de botella, etc. El PP reciclado se utiliza como viguetas de plástico, peldaños para registros de drenaje y cajas de baterías para autos.</p>	PP	<p>Se agrega Etileno durante el proceso. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.) se potencian sus propiedades. El PP es transformado en la industria por los procesos de inyección, soplado, extrusión y termoformado.</p>	<p>*Inerte (al contenido) *Resistente a la temperatura *Barrera a los aromas *Impermeable *Irrompible *Brilloso *Liviano *Transparente en películas *No tóxico</p>
<p>Poliestireno</p>  <p>PS</p>	<p>Tazas desechables y bandejas de carne. El PS puede reciclarse en viguetas de plástico, cajas de cintas para</p>	PS	<p>PS Cristal: derivado del petróleo. PS Alto Impacto: con oclusiones de Polibutadieno. Moldeables a través de inyección,</p>	<p>*Brilloso *Ignífugo *Liviano *Irrompible *Impermeable *Inerte y no tóxico *Transparente *Fácil de limpiar</p>

	casetes y macetas.		extrusión, termoformado y soplado	
Polioximetileno	Utilizado para producir engranajes, resortes, cadenas, tornillos, manecillas, cremalleras, clips, bombas de combustible y palancas del mobiliario	POM	Los procesos de formación más comunes son por inyección y extrusión. Se usa para piezas técnicas donde las propiedades mecánicas suponen una ventaja.	*Alta rigidez *Menor desgaste *Buena elasticidad *Menor absorción de agua
Otros 	Botellas de cátsup para exprimir, platos para hornos de microondas, etc. Estos plásticos no se reciclan porque no se sabe qué tipo de resinas contienen.	Otros	En este rubro se incluye una gran variedad de plásticos como: Policarbonato (PC), Poliamida (PA), ABS, SAN, EVA, Poliuretano (PU), Acrílico (PMMMA) entre otros. Se puede desarrollar un tipo de plástico para	*Resistentes a la corrosión *Flexibles *Livianos *No tóxicos *Alta resistencia a la temperatura, propiedades mecánicas y productos químicos

			cada aplicación específica.	
--	--	--	-----------------------------	--

Elaboración propia a partir de comparación de fuentes (Díaz, 2012), (Cámara Argentina de la Industria Plástica, 2018), (Científicos, 2005), (Ultimaker, 2017), (Mexpolímeros, 2018) y (Mariano, 2011).

Dentro de los diferentes tipos de plástico se tienen distintas y muy variadas características además de las que se mencionan en el cuadro comparativo anterior, como: degradación, envejecimiento, tensión, compresión, flexión, propiedades mecánicas, etc. sin embargo en la siguiente investigación no habrá mención o enfoque a dichas propiedades pues no influyen directamente en el foco central de estudio del proyecto.

Una vez mencionados los tipos básicos de plástico se describirán los diferentes mecanismos de transformación y moldeo del plástico, haciendo énfasis en la técnica de inyección, pues es la utilizada actualmente dentro de la empresa en la que se realizará el estudio de impacto psicológico en los operadores y mejoras dentro de la cadena productiva con la propuesta de implementación de robots colaborativos.

Tabla 8 Tipos de moldeo de plástico

Nombre	Características	Producto
Moldeo a alta presión	Se realiza mediante máquinas hidráulicas, que aplican una presión enorme y de esta manera se moldea la pieza deseada. Existen tres tipos; compresión, inyección y extrusión.	
Compresión	El plástico en polvo se calienta lo suficiente para ser moldeado y posteriormente se comprime mediante una prensa hidráulica.	*Fibras sintéticas. *Piezas pequeñas de baquelita para utensilios de cocina.

Inyección	El plástico granulado se introduce dentro de un cilindro, dentro de este hay un tornillo sinfín que actuará como émbolo y una vez que el material se encuentra lo suficientemente blando es inyectado a un molde de metal donde el material y el molde son enfriados mediante canales de agua.	Piezas de alta calidad, en su mayoría no requieren operaciones de acabado, aplicable a termoplásticos. Tratamiento económico que permite fabricación en serie. *Cubos *Carcasas *Componentes y piezas automotrices.
Extrusión	Modelar productos de manera continua pues el material es empujado por un tornillo sinfín que produce una tira de longitud indefinida. A través de cambios de boquilla e implementación de aire a presión se pueden obtener barras con diferentes perfiles y tuberías de diferente espesor.	Proceso continuo para productos semiacabados. *Perfiles *Tuberías *Planchas *Hojas
Moldeo a baja presión	Se usa para dar forma a láminas de plástico, mediante calor y presión, hasta que se adaptan a un molde. - Se efectúa vacío absorbiendo el aire entre la lámina y el molde, de forma que se adapte a este. Así se obtendrán envases. -Se aplica aire a presión contra la lámina de plástico hasta adaptarla al molde. Este procedimiento se denomina moldeo por soplado.	
Calandrado	Se pasa el material plástico entre rodillos calientes que mediante presión producen láminas de plástico flexibles de diferente	*Hules *Impermeables

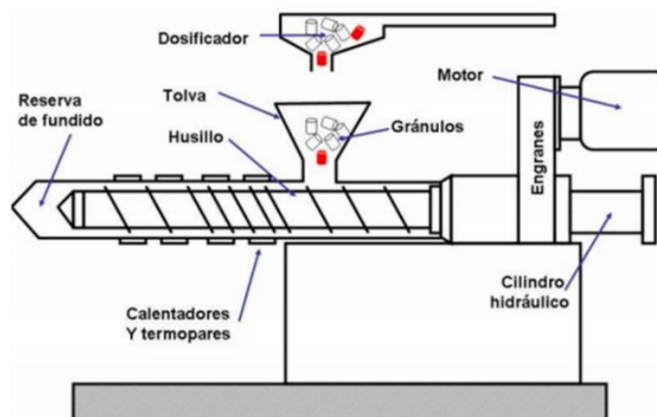
	<p>espesor. Al salir de la calandra el plástico puede tener un tratamiento extra de estampado, impresión o metalizado.</p>	<p>*Láminas de PVC *Tejidos recubiertos</p>
--	--	---

(Enseñanzas Técnicas, 2017)

Moldear piezas por medio de la técnica de inyección es sumamente popular debido a la gran variedad de artículos que se pueden producir, a la rapidez con la que se realizan, a los altos niveles de producción, bajos costos, se pueden lograr geometrías complicadas que no se podrían alcanzar mediante otras técnicas, las piezas requieren poco o ningún acabado una vez que salen pues dentro del molde adquieren todas o la mayoría de propiedades que se desean, como rugosidad, color, transparencia y tolerancia dimensional, además el proceso puede ser automatizado o no dependiendo el costo y complejidad de la pieza.

Durante este proceso el material entrará por medio de una tolva para posteriormente entrar en un cilindro de calentamiento donde alcanza temperaturas tales que convierten el material, que hasta ahora se encuentra sólido y granulado, a un estado líquido para ser inyectado a la cavidad del molde por medio de un pistón hidráulico o un tornillo sinfín, una vez dentro del molde el material será sometido a un proceso de enfriamiento, al igual que el molde, por medio de canales con agua. Ver ilustración 5.

Ilustración 18 Diseño genérico de la unidad de inyección



(Díaz, 2012)

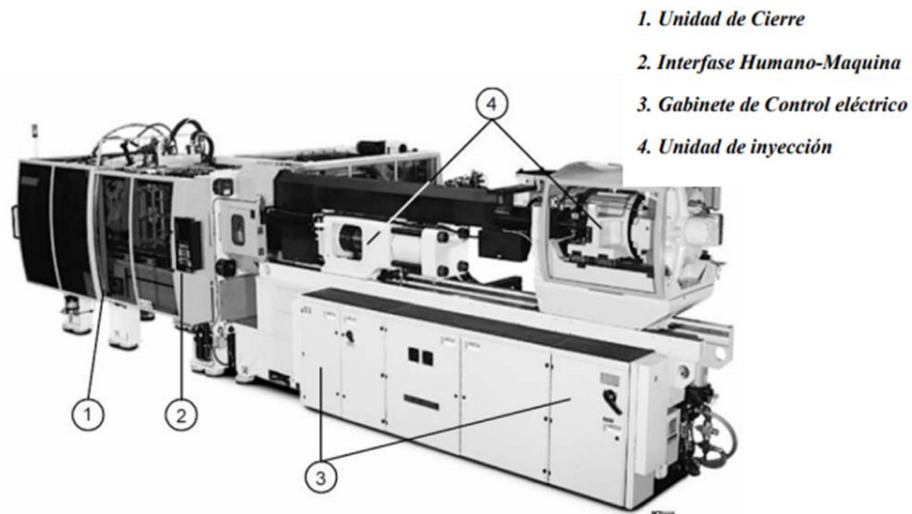
Las máquinas de inyección tienen sistemas hidráulicos que controlan el movimiento de los sistemas de inyección y cierre; y sistemas eléctricos, que controlan las temperaturas, flujo de agua, aceite, etc.

Una máquina inyectora tiene tres partes fundamentales: la unidad de inyección, la unidad de cierre y la unidad de control, en algunas ocasiones, dependiendo del proceso y de la pieza, la extracción de la pieza es por medio de un robot, en otras ocasiones, la prensa se abrirá y dejará caer la pieza en una especie de resbaladilla y en algunos otros la prensa se abrirá al mismo tiempo que la puerta de la máquina, de tal modo que la pieza será extraída por un operador de forma manual (proceso semiautomático, donde el operador determina el tiempo ciclo³⁸ de la máquina).

- ❖ Unidad de inyección: Su función principal es fundir, mezclar e inyectar el polímero.
- ❖ Unidad de cierre: Una prensa hidráulica o mecánica, esta deberá tener una fuerza de cierre lo suficientemente grande para contrarrestar la fuerza ejercida por el polímero al ser inyectado en el molde. Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material se fugará por la unión del molde.
- ❖ Unidad de Control: se compone del gabinete eléctrico y de la Interfase Humano Máquina (IHM). El gabinete eléctrico contiene el controlador lógico programable, los interruptores de circuito y la lógica. La Interfase Humano-Máquina (IHM) regula el funcionamiento de la máquina y las funciones de operación.

³⁸ Tiempo ciclo: Tiempo en el que un proceso se ejecuta, ya sea un proceso de máquina o manual.

Ilustración 19 Máquina de inyección



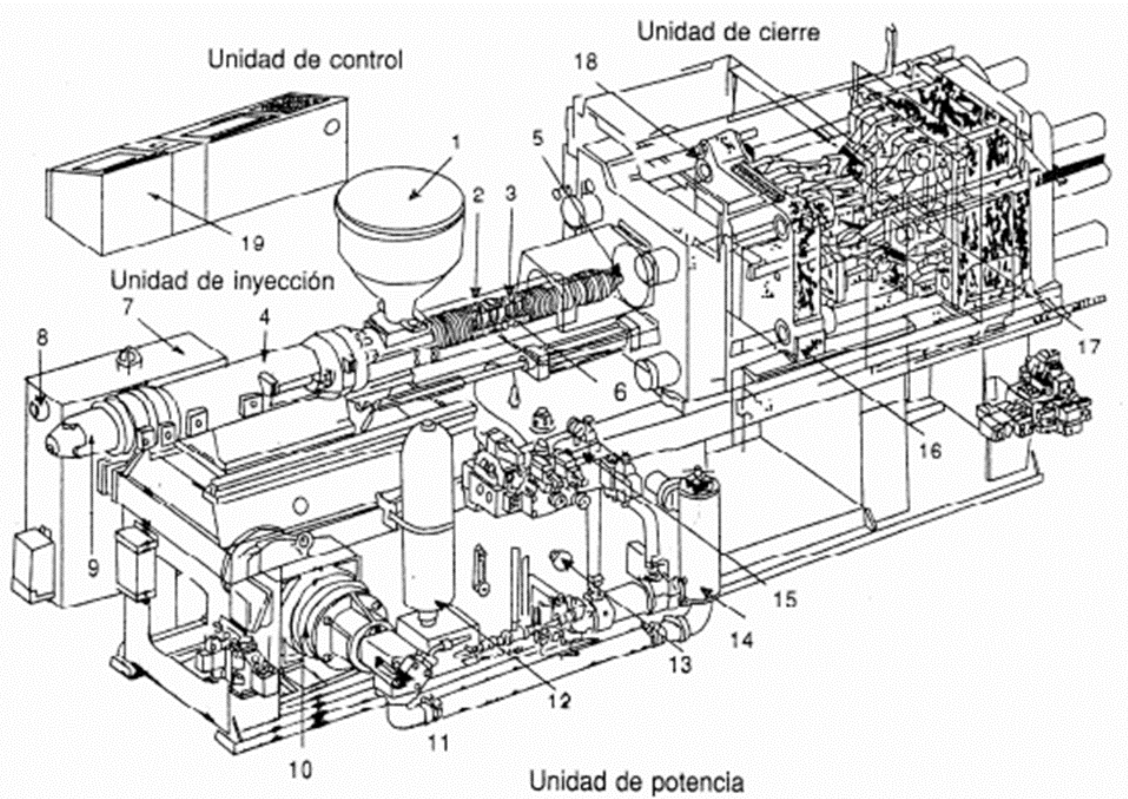
(Díaz, 2012)

Tabla 9 Componentes de una máquina de inyección

1.-Tolva alimentadora	11.- Bomba hidráulica
2.- Cubierta de barril	12- Acumulador
3.- Barril con bandas calefactores	13.- Sensor de temperatura de aceite
4.- Cilindro de inyección	14.- Filtro
5.- Boquilla	15.-Válvula hidráulica de control
6.- Tornillo	16.-Platinas porta molde
7.- Controlador de temperatura de aceite	17.-Sistema d cierre con palancas acodadas
8.- Alarma de temperatura de aceite	18.- Columnas guía
9.- Motor hidráulico	19.- Microprocesador para control del proceso
10.- Motor eléctrico	

(Díaz, 2012)

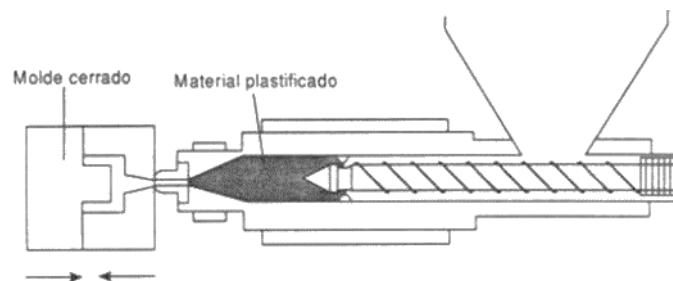
Ilustración 20 Componentes de una máquina inyectora



(Díaz, 2012)

El proceso de inyección es llevado totalmente por una sola máquina llamada inyectora con su correspondiente equipo auxiliar o periférico. A continuación, se explicará el proceso de manera detallada:

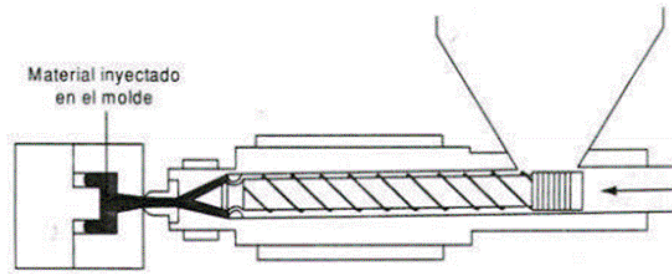
Ilustración 21 Paso 1



(Díaz, 2012)

1.- Se cierra el molde vacío, mientras se tiene lista la cantidad de material fundido para inyectar dentro del barril, que el tornillo sinfín o husillo ha recolectado y calentado. El molde se cierra en tres pasos: primero con alta velocidad y baja presión, luego se disminuye la velocidad y se mantiene la presión hasta que las dos partes del molde hacen contacto, finalmente se aplica la presión necesaria para alcanzar la fuerza de cierre requerida.

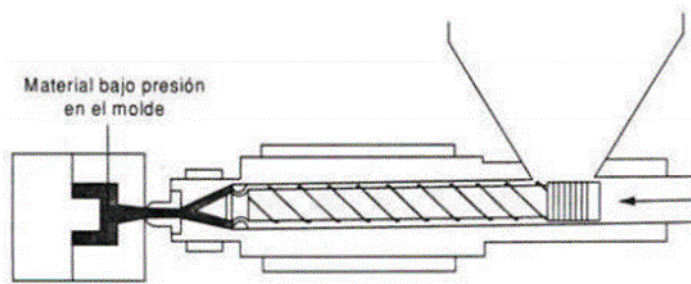
Ilustración 22 Paso 2



(Díaz, 2012)

2.- El tornillo inyecta el material, actuando como pistón, sin girar, forzando el material a pasar a través de la boquilla hacia las cavidades del molde con una determinada presión, llamada presión de inyección.

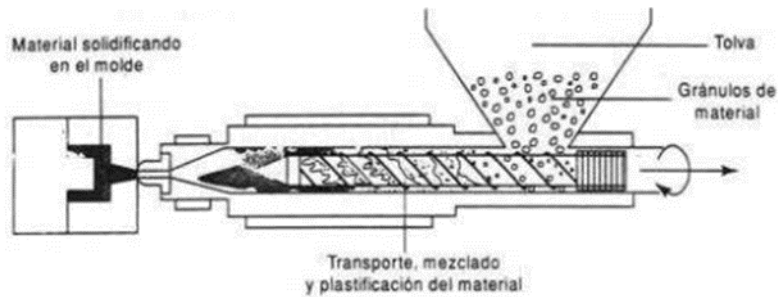
Ilustración 23 Paso 3



(Díaz, 2012)

3.- Al terminar de inyectar el material, el tornillo se mantiene adelante aplicando fuerza, presión de sostenimiento, con el fin de contrarrestar la contracción de la pieza durante el enfriamiento. La presión de sostenimiento, usualmente, es menor que la de inyección y se mantiene hasta el comienzo de la solidificación.

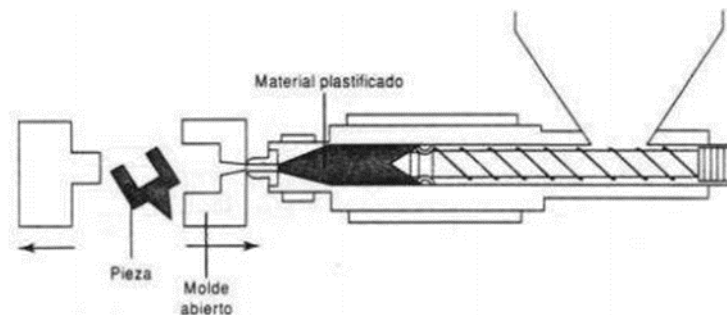
Ilustración 24 Paso 4



(Díaz, 2012)

4.- El tornillo gira haciendo circular los gránulos de plástico desde la tolva y plastificándolos. El material fundido es suministrado hacia la parte delantera del tornillo, donde se desarrolla una presión contra la boquilla cerrada, obligando al tornillo a retroceder hasta que se acumula el material requerido para la inyección.

Ilustración 25 Paso 5



(Díaz, 2012)

5.- El material dentro del molde continúa enfriándose y al mismo tiempo acciona el fluido refrigerante que disipa el calor acumulado dentro del molde. Una vez que termina el tiempo de enfriamiento, la parte móvil del molde se abre y la pieza es extraída.

6.- El molde cierra y se reinicia el ciclo.

(Díaz, 2012)

Dentro de la empresa de inyección de plásticos se trabaja con diferentes materiales, principalmente dos: PP (Polipropileno) y PE (Polietileno), se trata de dos materiales termoplásticos, es decir, que son moldeables mediante calor, debido a que sus moléculas están débilmente unidas, por lo tanto, este tiempo de materiales puede ser reciclado en diferentes ocasiones al poder moldearse mediante una nueva aplicación de calor.

Con base a lo anterior la empresa recolecta el scrap y coladas³⁹, para posteriormente enviarlas al área de molinos, donde estos residuos recuperados son triturados hasta convertirse en pequeños pedazos que pueden introducirse nuevamente a la tolva⁴⁰, de este modo se combinará material “virgen”, que nunca ha pasado por el proceso; con material “molido”, que ha pasado una o más veces por el proceso de inyección; por consecuencia las piezas producidas con este método podrían presentar variaciones en las características visuales o mecánicas requeridas por el cliente, proporcionando una mayor cantidad de piezas rechazadas, sin embargo, lo anterior no es aplicable a todos los casos dentro de la empresa, pues se tienen antecedentes de obtener mejor calidad en las piezas con material mezclado.

El proceso usado dentro de la planta es cien por ciento inyecciones, la única variación que se tiene es dentro de las prensas de inyección, pues existen diferentes tonelajes aplicables, el tonelaje dependerá del tamaño del molde, es decir, mientras más grande sea la pieza, mayor fuerza de cierre (presión de cierre y sostenimiento) requerirá, por lo tanto, un mayor tonelaje. Como se menciona con anterioridad la planta cuenta con 25 máquinas de inyección con distintos tonelajes, en su mayoría se utilizan prensas pequeñas, menor a 200 toneladas.

³⁹ Colada: Rebaba de la pieza plástica generada por el punto de inyección.

⁴⁰ Tolva: Recipiente en forma de pirámide o cono invertido, con una abertura en su parte inferior, que sirve para hacer que su contenido pase poco a poco a otro lugar o recipiente de boca más estrecha.

2.3 STATUS TECNOLÓGICO EN LA INDUSTRIA MEXICANA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

Al hablar de la industria de la inyección de plásticos es importante tener en cuenta el consumo de plástico en México, recalando que existen diferentes sectores y por lo tanto diferentes materiales, resinas, a disposición del mercado. Sin embargo, no se profundizará en este tema.

Hace 15 años el consumo de plástico en México se reducía a 15 kilos por persona, sin embargo las cifras del año pasado indican un aumento poco favorecedor, ambientalmente hablando, pues se calcula un incremento a 49 kilogramos por persona, en lo referente a la industria representa mayores ventas, sobre todo en el área de embotellados, pues donde se encuentra un mayor consumo por persona, basados en el punto anterior se puede recalcar la importancia de que las plantas sean sustentables y amigables con el medio ambiente, ya que en México se producen 300 millones de toneladas anuales de las cuales únicamente se recicla el 3%.

El sector de plástico es un área de oportunidad amplia en sentido de reciclaje, logística inversa⁴¹ e innovación, pues retomando el punto de globalización mundial se deduce que los clientes buscan satisfacer necesidades con altos estándares de calidad y estar satisfechos con distintos movimientos sociales, uno de ello es ofrecer apoyo a empresas amigables con el ambiente; de esta manera los productores de plástico se enfrentan con la responsabilidad de ofrecer productos de calidad, útiles, visualmente atractivos y además amigables al medio ambiente, de tal modo que satisfagan a su cliente más exigente. Industria 4.0 ofrece oportunidades de conectividad con el cliente, por lo tanto, mejor acceso al proceso productivo, demostrando la calidad moral de la empresa.

El movimiento de industria 4.0 es un referente global que ha iniciado desde hace escasos años, por lo que en algunos países y estados del mundo tiene un mayor avance que en otros, sin embargo es una tendencia que cada vez más

⁴¹ Logística inversa: Reintegración del producto final a la cadena de suministro de la cual es parte.

productores están implementando en su proceso, pues al igual que en otros aspectos tecnológicos y de innovación, se puede afirmar que si las empresas no “siguen el ritmo” de actualización es muy probable que terminen con un proceso y/o producto obsoleto, o en el mejor de los casos con menores utilidades que el resto de empresas.

Un punto importante que tener en cuenta es que conforme el movimiento de la cuarta revolución se hace más popular entre las pequeñas y medianas empresas hará que la demanda, en términos económicos, de equipos y herramientas de este movimiento sean más comunes y por lo tanto más baratas, al buscar nuevas formas de producción, para cubrir la demanda, ofreciendo diferentes precios; es decir, que mientras más baratas sean las herramientas y tecnologías que sustentan este movimiento, más empresas podrán adquirirlas pues la demanda las “abatará”. Por ejemplo: hace pocos años usar la herramienta de impresión 3D era un lujo que muy pocas empresas podían adquirir, representando una herramienta innovadora y de difícil acceso, actualmente las impresoras 3D son más comunes y baratas ofreciendo oportunidades de crecimiento a empresas medianas, dentro de algunos sectores industriales como el automotriz o el médico. México no se ha quedado atrás dentro de este movimiento y ha comenzado a implementar técnicas del entorno industria 4.0 en los procesos de algunas de sus plantas.

Sin embargo, hay que recalcar que en el ramo de inyección de plásticos la mayor innovación e implementación tecnológica que se puede hacer es dentro de las máquinas de inyección, haciéndolas más eficientes, con controladores más sofisticados e interactivos. Además, se puede incluir el uso de un robot que extraiga las piezas inyectadas, aunque en muchos procesos dentro de la planta de estudio el uso de estos robots ya estaba implementado.

A continuación, se describirán las máquinas más recientes, junto con las nuevas características y mejoras que se les realizaron.

LIEN YU

Lien Yu, ha fabricado y vendido en países de Asia, Europa y América incluyendo a México, ha desarrollado nuevos tipos de máquinas con distintas innovaciones para fabricar con más eficiencia y a costos más económicos, así actualmente vende en el mercado su Serie SV.

Esta serie de máquinas se fabrican con el mismo diseño mecánico, mismas características de seguridad, con una eficiente operación. En esta serie de máquinas inyectoras se equipan con una o varias bombas que llevan inversores de frecuencia y un servomotor; estos equipos generan una mayor eficiencia en el consumo de energía y por lo tanto un significativo ahorro en el costo de energía eléctrica, que puede ir de un 30% a un 55%, y la reacción en las bombas es más rápida con una mejor eficiencia en la operación.

TAI-MEX

Ilustración 26 Máquina Tai-Mex



(QuimiNet, 2014)

Tai-Mex, con 20 años en el mercado, ofrece una línea de equipos y accesorios para el moldeo de plásticos por inyección, inyección de precisión, inyección con insertos, extrusión sople, estirado-soplado y extrusión. Además de Sistemas para automatizar la fabricación de su producto; Inyectoras de 2 a 3 colores con diversos accesorios; como tolvas, molinos, cargadores y torres de enfriamiento (QuimiNet, 2014).

ENGEL

Ilustración 27 Máquina ENGEL



(ENGEL, 2016)

"Hacia nuevos horizontes de calidad y eficiencia" será el tema que Engel presentará en la feria Plastimagen 2016. El fabricante de máquinas de moldeo por inyección y especialista en sistemas abordará este tema desde: tecnologías de procesamiento innovadoras, como industria 4.0, la combinación de ambos ofrece al sector del moldeo por inyección nuevas posibilidades de aumentar la productividad, la calidad y la flexibilidad de fabricación, por tanto de reducir permanentemente los costos unitarios.

Con aplicaciones exigentes para los sectores de la automoción y el embalaje, Engel presentará en México dos avances destacados en ingeniería de procesos: una máquina de moldeo por inyección Engel duo 2550/600 con robot Engel viper 20 integrado, en la que se combinarán dos tecnologías para la fabricación de componentes de PC-ABS destinados a la consola central; Engel foammelt, el procedimiento de moldeo por inyección de espuma MuCell desarrollado por la empresa Trexel en Wilmington, Estados Unidos, y ENGEL variomelt, el procedimiento de moldeo por inyección variotérmico (ENGEL, 2016).

SHINE WELL

Ilustración 28 Máquina ShineWell



(ShineWell, 2019)

Empezando con una palanca convencional, horizontal, de cuatro puntos del modelo AT, a una vertical, de cinco puntos del modelo B.

La serie CX tiene un diseño de palanca horizontal, de cinco puntos, de alta velocidad que tiene como objetivo brindar el mejor desempeño de máquina y eficiencia en la producción a los usuarios finales.

- Modelo: CX-60 a CX-1600
- Diseño mecánico de palanca de cinco puntos, de alta velocidad
- Control de serie austríaca KEBA I
- Una amplia selección de módulos de inyección para unidad de sujeción individual
- Unidad hidráulica modularizada
- Unidad servo ahorro de energía series Rx y ASE
- Bomba de grasa motorizada hecha en Japón
- Movimiento de inyección soportado por guía lineal

DEMAG

Ilustración 29 Máquina Demag



(Interempresas, 2018)

Exactamente hace un año, Sumitomo (SHI) Demag presentó la segunda y, última generación de inyectoras totalmente eléctricas de IntElect, cuyo principal objetivo era impresionar a través de sus dimensiones compactas, protección óptima de herramientas, tecnología de accionamiento de alta precisión, mejora de la eficiencia energética, la ergonomía y una relación precio-rendimiento óptima. Cuando se lanzó, esta serie abarcaba cinco modelos diferentes con fuerzas de cierre que oscilaban entre 500 y 1.800 kN.

Esta última actualización sigue al lanzamiento al mercado de la nueva serie de IntElect hace un año. Para satisfacer las demandas de las aplicaciones de alta velocidad, en 2018 se presenta la IntElect S (Speed), diseñada para piezas de pared delgada, que funciona con velocidades de inyección de entre 350 y 500 mm / s y tiempos de ciclo de entre 3 y 10 segundos. Comparado con la máquina IntElect estándar, el modelo de alto rendimiento ofrece reducciones de tiempo de ciclo de hasta un segundo.

Sumitomo (SHI) Demag demuestra la versión Speed de sus inyectoras totalmente eléctricas en Milán con una aplicación para el sector del embalaje. Las tapas ovaladas de PP con un peso de disparo de 33,5 gramos se producen para el

envasado de alimentos en un modelo IntElect S 180-700 con una fuerza de cierre de 1.800 kN con robot, carcasa protectora y cinta transportadora (Interempresas, 2018).

Las prensas que se encuentran dentro de la empresa son marca “Kawaguchi” y “DEMAG”, de diferentes toneladas, es decir, diferentes presiones que son aplicables a los distintos moldes, llevados por los clientes y programados de acuerdo a la demanda de los mismos. Sin embargo, es importante recalcar la poca información sobre actualización de estas marcas, sobre todo de “Kawaguchi”, ya que no se encuentra ninguna referencia pasada o actual sobre ellas.

Algunas piezas fabricadas en la empresa requieren un robot, cuya función se basa en ser un *poka yoke*⁴², verifica las grapas de las piezas o es un *torque*⁴³ para los tornillos, sin embargo no se trata de robots colaborativos, ya que cuentan con una reja de seguridad que lo separa del operador, además cabe mencionar que algunas piezas utilizan el mismo robot y en caso de que su programación coincida una pieza deberá esperar que el robot sea desocupado.

Como punto extra la empresa cuenta con formatos que evalúan el funcionamiento del *poka yoke* (el *poka yoke* puede ser un dispositivo la medida del número de parte que apoye al operador a colocar los componentes extra o un robot que evalúa la pieza y determina si es “ok” o “no ok”), en caso de utilizar uno en el número de parte en producción, cada inicio de turno, para facilitar el seguimiento y realización de mantenimiento preventivo. Esta es una medida que puede continuar como acción preventiva para la posible implementación de robots colaborativos.

⁴² Poka Yoke: “A prueba de errores”, es una técnica de calidad que se aplica con el fin de evitar errores en la operación de un sistema.

⁴³ Torque: Cuando se aplica una fuerza en algún punto de un cuerpo rígido, dicho cuerpo tiende a realizar un movimiento de rotación en torno a algún eje.

3. INDUSTRIA 4.0

3.1 ROBOTS

Desde el inicio de la historia de la humanidad, se ha buscado implementar objetos que faciliten y hagan más cómodos todos los entornos de nuestra vida cotidiana, el ambiente laboral, educativo e incluso de entretenimiento, se han creado, desarrollado e investigado diferentes herramientas que nos proporcionen los medios necesarios para alcanzar las metas a corto y largo plazo en los medios que interactuamos ya mencionados de una forma más rápida, eficiente y atractiva, pues a medida que el tiempo transcurre exigimos tecnología más avanzada, interactiva y multifuncional.

Los robots han sido una parte fundamental del proceso de crecimiento en la industria, pues pese a lo que aparenta no ha sustituido al factor humano dentro de las grandes productoras del mundo, si no que ha servido como apoyo de crecimiento, automatización, especialización e incluso prestigio, pues como consumidores actualmente este punto también nos interesa, queremos estar relacionados con el proceso de los productos que adquirimos y de alguna manera tener un impacto, aunque mínimo, en este.

Los robots también han atravesado las cuatro diferentes revoluciones industriales, por ejemplo al principio se trataba de dispositivos autómatas funcionaban por medio de vapor y agua, posteriormente en la segunda revolución comenzaron a tener un enfoque de acuerdo a la división de tareas y energía eléctrica, en la tercera se hace referencia al uso de electrónica e informática y por último en la cuarta se orienta a la implementación de sistemas físico cibernéticos, que facilitan la interconectividad de la planta, además de tener la posibilidad de ofrecer bases de datos en tiempo real, lo cual facilita el análisis y mejora del proceso, que impactará en distintas áreas como costos, productividad y calidad.

A continuación, se presentará una breve y general línea del tiempo acerca del desarrollo de los robots industriales, cabe destacar este enfoque, pues los robots han tenido gran impacto en otros sectores de la sociedad.

- ❖ En el año **1948**, los pioneros: George Devol y Joseph Engelberger, patentaron el primer robot industrial.
- ❖ **1954** A partir de esta fecha, el estadounidense George Devol, comienza la construcción de un brazo articulado que realiza una secuencia de movimientos programables por medio de computador; se considera que este “brazo” es el primer robot industrial.
- ❖ **1956** Devol conoció a Joseph Engelberger y juntos fundaron en **1960** la empresa Unimation dedicada a la fabricación de robots.
- ❖ General Motors, en el año **1960**, instaló un brazo robótico de la fábrica de Devol y Engelberg (Unimation), el cual tenía como utilidad el levantamiento y apilamiento de grandes piezas de metal caliente de hasta 225 kilos.
- ❖ **1961** Se realizan pruebas de un robot Unimate accionado hidráulicamente, en un proceso de fundición en molde en General Motors.
- ❖ Para **1968**, Engelberger concretó acuerdos con Kawasaki para la construcción de robots tipo Unimate. Esto conllevó a una ventaja de Japón sobre Estados Unidos en robótica industrial.
- ❖ **1968** Kawasaki se une a Unimation y comienza la fabricación y el empleo de robots industriales en Japón.
- ❖ **1973**, KUKA es pionera en robótica y crea al robot FAMULUS. Primer robot industrial del mundo con seis ejes de accionamiento electromecánico y funciones de manipulación.
- ❖ **1973** La empresa sueca ASEA, fabrica el primer robot completamente eléctrico.
- ❖ **1974** Se introduce el primer robot industrial en España. También es el año en el que se comienza a usar el lenguaje de programación AL, del que derivarán otros de uso posterior como el VAL (Victor’s Assembly Lenguaje) de los robots PUMA, implementado en **1975** por Victor Scheinman.

- ❖ Nace el primer robot programable de Unimate llamado PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly), en **1978**. Era capaz de mover un objeto y colocarlo en cualquier orientación.
- ❖ El año **1980** fue considerado la era de la robótica industrial, debido a un incremento considerable de producción de robots en un 80 %.
- ❖ **1981**, Hiroshi Makino de la Universidad Yamanashi, despliega el concepto de robot SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm). Su función era el ensamblado de piezas.
- ❖ Para **1982**, IBM presenta su robot RS-1 para tareas de montaje. Poseía estructura de caja, un brazo constituido por tres dispositivos de deslizamiento ortogonales.
- ❖ **1987** Se constituye la Federación Internacional de Robótica con sede en Estocolmo, cuyo propósito es promover la investigación, el desarrollo, el uso y la cooperación internacional de la robótica.
- ❖ En **2004**, Motoman (Japon) presenta el mejor sistema de control del robot NX100, que proporciona el control sincronizado de cuatro robots.
- ❖ **2005** se instala el primer brazo robótico en General Motors en Nueva Jersey, que levantaba y apilaba piezas de metal caliente.
- ❖ Para el año **2010**, FANUC, Japon Learnig Vibration Control (LVC) crea el primer robot de aprendizaje. Esto en cuanto a sus características de vibración para mayores aceleraciones y velocidades.
- ❖ **2011**, Honda devela a ASIMO con una nueva tecnología de control de comportamiento autónomo e inteligencia mejorada. El robot humanoide más avanzado actualmente.

Elaboración propia a partir de (Editorial, 2018) y (Eitudela, 2017).

Como se puede apreciar en la línea del tiempo anterior los robots surgieron para dar solución a problemas simples de repetición o fuerza dentro de un área

de trabajo porque cubrían el perfil para este tipo de acciones, pues resultaba desgastante e incluso un riesgo laboral, actualmente, las empresas se encuentran buscando diferentes soluciones pues los problemas a los que nos enfrentamos no se parecen, ni son iguales a los que resolvimos hace cinco o diez años, se ha apostado por los robots pues se llegó a la conclusión de que por medio de ellos se pueden obtener más beneficios y aunque por ahora se siguen empleando en tareas repetitivas y manuales, más adelante de acuerdo a la cuarta revolución industrial será implementado el factor de inteligencia artificial, que sustituirá algunas profesiones, dando pie a la creación de nuevas que se adapten a la evolución de la industria, tecnología y globalización, teniendo en cuenta que los robots también son empleados como medio de conectividad y creadores de bases de datos.

El uso de los robots dentro de la línea de producción permite la diversificación del proceso, pues mediante la automatización flexible se consigue obtener distintas versiones de la misma familia de objetos sin realizar grandes cambios a la línea de producción, por ejemplo, mediante el uso de bandas transportadoras, o rodillos y el ajuste de un sensor la línea podrá distinguir un objeto más pesado que otro, o un color distinto, haciendo que este objeto tome una dirección secundaria de la línea, mientras que al principio sólo era posible a través de una persona que hiciera esta diferencia, sin embargo el factor humano es bastante maleable, pues se verá afectado por factores externos.



La implementación de robots se ha desarrollado de forma progresiva, pues la mayoría de sus usos se asocia a la solución de algún problema en específico, por ejemplo, como se menciona anteriormente al inicio se utilizaban para resolver limitantes físicas de los empleados, sustituyendo así al personal por completo en dicha actividad, ya que en gran medida representaba un riesgo laboral, así de lo contrario a lo que se piensa, los robots no reemplazaban al factor humano, simplemente complementaban sus actividades y mejoraban su vida laboral, representando también un impacto positivo dentro de la empresa al evitar gastos por accidentes, ahora se busca implementar robots para enfrentar nuevos




problemas que surgieron a partir de solucionar los anteriores, la intención es que los robots tengan mayor capacidad, con un mayor panorama de costo – beneficio y que tengan gran impacto dentro de la empresa.

La implementación de robots más sofisticados impactará en un porcentaje significativo la contratación y estancia del personal habitual, sin embargo, se debe tener en cuenta que es posible la interacción y co-existencia entre ambos, pues es una posibilidad que ofrecen equipos de robots colaborativos, nano robots e inteligencia artificial, que podrá sustituir algunas profesiones, dando pie a la creación de nuevas.

La clasificación de robots puede hacerse de acuerdo con su función, sus movimientos, el costo e incluso en la capacidad de este, a continuación, se presenta una tabla con esta clasificación, se resalta que será una clasificación general de los distintos tipos de robots que pueden impactar en diferentes sectores productivos, para posteriormente hacer énfasis en la clasificación de robots industriales que es el objeto de esta investigación.

Tabla 10 Clasificación de robots industriales

TIPO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Androides y zoomórficos	Los androides nacen de la idea de crear un robot con características y funciones parecidas a las de un humano. Los zoomórficos se enfocan en los animales y facultades especiales que poseen.	
Móviles	Provistos de patas o ruedas que les permiten libre desplazamiento de acuerdo a su programación y pueden incluirse sensores que faciliten su tarea. Son utilizados para transportar mercancía dentro de una cadena de suministro	

	“Just in time ⁴⁴ ” o para investigación en lugares de acceso complicado.	
De servicio	En esta clasificación se encuentran todos los robots no industriales, que se utilizan en sectores de limpieza, ambientales, médicos, etc. Por ejemplo, se utilizan para tener acceso a lugares difíciles o nocivos para la salud, para uso quirúrgico o de prótesis.	
Tele-manipulados o teleoperados	No son considerados precisamente como robots, pues se requiere de un operador que realice los movimientos. Se consideran antecesores del robot. Aún son utilizados en ambientes peligrosos, como manejo de residuos químicos y atómicos.	
Industriales	Los más usados y la base del desarrollo de la robótica, permiten una “fabricación flexible” que como característica tiene la facilidad de adaptación de las líneas de fabricación a las diferentes tareas de producción.	

Elaboración propia a partir de (VINSSA, 2016) y (González, 2002).

Robots Industriales

Los robots industriales ha tenido un gran impacto dentro del desarrollo de la industria en cualquiera de sus ramas, ya sea la alimenticia, farmacéutica, automotriz o cualquier otra que se tenga en mente, los robots se han adaptado a los procesos, creando diferentes oportunidades tanto para el personal como para

⁴⁴ Just in time: Política de mantenimiento de inventarios al mínimo nivel posible, entregar lo justo en el momento preciso.

el proceso o la empresa, pues se da paso a una producción flexible, los operadores contarán con una herramienta más sofisticada de trabajo y en algunos casos se utilizará para remplazar al personal en tareas específicas o peligrosas, como se mencionó anteriormente.

La Organización Internacional de Estándares (ISO) define un robot industrial de la siguiente manera “Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.” (ISO, 2002), sin embargo, se debe tener en cuenta que esta definición cambiará de acuerdo a la asociación que se tome como referencia, por ejemplo, la RIA⁴⁵, IFR⁴⁶ o AFNOR⁴⁷. Para el presente escrito se tomará como referente la ISO, debido al impacto mundial que tiene.

Estos robots cuentan con una parte rígida que se encuentra unida por medio de cadenas que funcionan como articulaciones, la base generalmente será fija y el extremo móvil, de tal manera que se pueda colocar la herramienta de trabajo deseada. Las articulaciones, también nombradas “ejes” debido a su función de coordenadas, pueden desplazarse (movimiento prismático), girar (movimiento rotatorio) o ambas al mismo tiempo de acuerdo a sus “grados de libertad” que dependerá del número de articulaciones o ejes que posea; de este modo, un robot con 3 ejes (“x”, “y”, “z”) tendrá tres grados de libertad. Cabe resaltar que los brazos robóticos, denominados así por la similitud con un brazo humano, no podrán tener más de 6 GDL⁴⁸ pues se necesitaría más de un brazo para alcanzar esta característica, sin embargo con 6 GDL se puede ubicar cualquier objeto en el espacio, ya que cuenta con los 3 ejes (“x”, “y”, “z”) y además con 3 giros relacionados con cada uno de los ejes (“yaw⁴⁹”, “pitch⁵⁰”, “roll⁵¹”).

⁴⁵ RIA: Asociación de Industrias Robóticas.

⁴⁶ IFR: Federación Internacional de Robótica.

⁴⁷ AFNOR: Asociación Francesa de Normalización.

⁴⁸ GDL: Grados de libertad.

⁴⁹ Yaw: Viraje.

⁵⁰ Pitch: Inclinación.

⁵¹ Roll: Balanceo.

Ilustración 30 Guía de GDL en un robot.

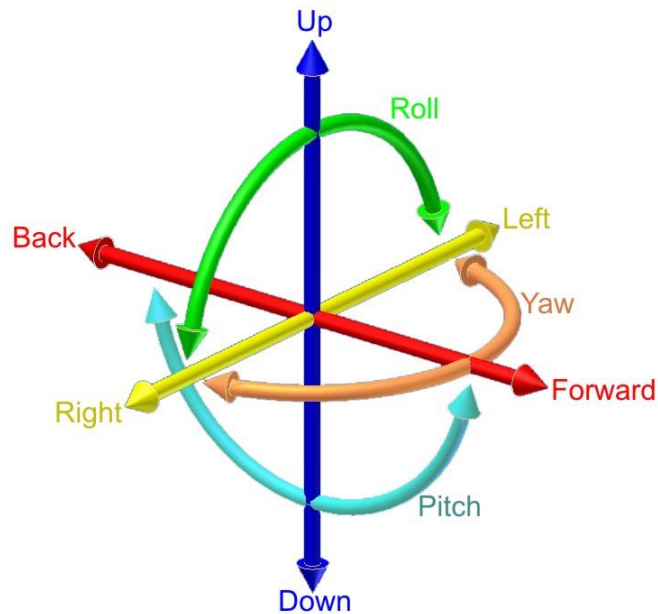

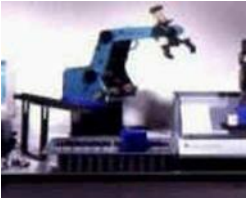





Tabla 11 Clasificación de Robots Colaborativos

TIPO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Manipuladores	<p>Sistemas mecánicos multifuncionales básicos, con un sistema de control sencillo, utilizado para tareas simples y repetitivas. Cuentan con 3 o 4 GDL.</p> <p>Manual: El operario lo controla directamente.</p> <p>Secuencia fija: El proceso se repite de forma invariable.</p> <p>Secuencia variable: Se pueden alterar los factores dentro del ciclo de trabajo.</p>	

<p>De repetición o aprendizaje</p>	<p>Se limitan a seguir una secuencia de movimientos que previamente “enseña” el operador, a través de una pistola de programación con diferentes botones que controlarán los GDL, por medio de un maniquí o desplazando directamente el brazo del robot. El tipo de programación se conoce como “gestual”. No se necesita personal cualificado.</p>	
<p>Control por computador</p>	<p>Sistemas mecánicos controlados por medio de un computador, dispone de un lenguaje en específico adaptado al robot, el programador no interviene directamente con el manipulador. El tipo de programación se conoce como “textual” Exige personal cualificado.</p>	
<p>Robots inteligentes</p>	<p>Con un gran parecido a los robots programados por computador, sin embargo, debido a los sensores que tienen pueden relacionarse con su entorno y aprender de él, son auto programables, es decir, toman decisiones en tiempo real. Hasta hace unos años eran sólo una posible actualización. Se pueden considerar como robots colaborativos.</p>	
<p>Micro - Robots</p>	<p>En los últimos años su uso ha aumentado debido a su creciente desarrollo, se incluyen en diferentes campos laborales, educacionales, de investigación o entretenimiento.</p>	

Elaboración propia a partir de (VINSSA, 2016) y (González, 2002).

En las tablas anteriores se aprecia la creciente evolución que han tenido los robots y sus diferentes aplicaciones, pues hasta hace poco se les consideraba una amenaza para el personal dentro de la empresa, sin embargo, en este momento las organizaciones pueden considerar su uso como una ganancia en cuanto a temas de estandarización, calidad y automatización.

Las fuentes citadas anteriormente no hacen mayor mención a robots colaborativos, debido a que estos son nuevos e incluso muchos se encuentran en fases experimentales, pues los sensores que se les han implementado son cada vez más sofisticados y se han colocado más de uno, por lo que el robot tiene más posibilidades y herramientas para adaptarse a su entorno, aprender de este y tomar decisiones con base a lo que ocurre, dando pie a que los operadores intervengan directamente con ellos, sin necesidad de colocar alguna protección extra en el perímetro de trabajo del robot, como se venía haciendo hasta hace poco.

Los robots colaborativos son en esencia un brazo robótico ligero, que poseerá una velocidad y fuerza parecida a la de una persona, pero con mayor precisión y resistencia para las tareas que realiza, la razón por la que son parecidos a una persona es debido a que están diseñados para convivir en armonía dentro de un espacio de trabajo, en el que el personal aportará al proceso. En el siguiente apartado se describirán estos robots con detalle.

3.2 ROBOTS COLABORATIVOS Y CASOS DE ÉXITO

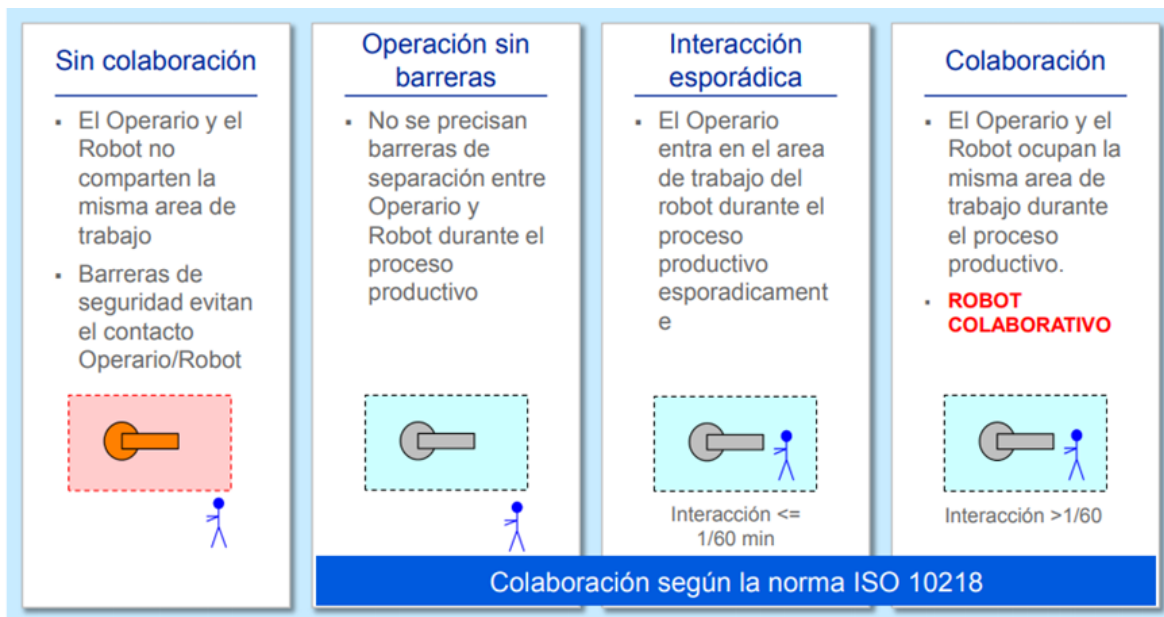
Los robots colaborativos representan un gran paso para todas las empresas, no solo grandes empresas manufactureras, farmacéuticas y electrónicas, sino también para pequeñas empresas pues a pesar de que la inversión inicial resulta aparatosa se ha demostrado que el retorno de esta se presenta en los primeros tres años, aunque se han presentado casos en los que el retorno ocurre después de tres meses; además de lo anterior, los robots no representan una amenaza para su actual personal, un punto del cual se habla constantemente como amenaza para

esta herramienta, por el contrario los robots colaborativos (cobots, denominados por la Universal Robots) aumentarán la calidad dentro del proceso al asignárseles tareas repetitivas al robot y proporcionando áreas de oportunidad al personal, como en un área de programación y mantenimiento de robots. (Islas, 2018)

Como se menciona anteriormente los robots colaborativos representan una gran oportunidad de crecimiento, sobre todo para pequeñas y medianas empresas, pues se benefician de la flexibilidad, durabilidad, estandarización y constancia de un robot, sin embargo se ve como problemática la programación del mismo; por lo tanto estas empresas apuntan a robots colaborativos que son fáciles de programar y no requieren un técnico especializado en su uso, lo que al mismo tiempo representa nuevas oportunidades laborales para operadores de línea. Como menciona Nerseth, jefe de la unidad de robótica en ABB

“Los nuevos robots están teniendo el efecto a largo plazo de canalizar a la gente en actividades más creativas y satisfactorias, en lugar de tener tareas delicadas, aburridas y repetitivas” “La familia de robots YuMi puede ser programada intuitivamente por personas sin entrenamiento o experiencia especial en robótica, pueden ser fácilmente enseñados por una persona que mueve sus brazos a la posición correcta de la mano en lugar de programar cada punto de movimiento con el software” (Financiero, 2018)

Los robots se han abierto paso en el mercado automotriz principalmente, pues las empresas han buscado automatizar sus procesos de alguna manera, esta tarea inicio con los robots industriales, sin embargo con el nuevo movimiento que se presenta desde hace algunos años, que denominaremos industria 4.0, se busca que las diferentes áreas de la organización estén más involucradas, que exista un mejor flujo de información y que el proceso productivo en si se vuelva más flexible y con mayor fluidez respecto a sus materiales, por lo que se ha comenzado a apostar por nuevas tecnologías y herramientas. Una de las nuevas herramientas disponibles son los robots colaborativos, que se encontrarán en esta categoría cuando cumplan ciertos requisitos de interacción con el personal en la línea de producción.



(Galdós, 2016)

Como se mencionó con anterioridad los robots colaborativos contarán con menor fuerza y rapidez que los robots industriales comunes, esto será porque se compartirá un espacio de trabajo con un operador, que interactuará constantemente con el robot, por lo que se debe tener la certeza de seguridad, para el personal y para no dañar el equipo, es por ello que los robots también cuentan con sensores de proximidad, en caso de que el operador toque el robot o se interponga en su camino, este inmediatamente debe detener la actividad que esté realizando, para no dañarse o dañar su entorno.

Estos robots tienen como característica una instalación relativamente sencilla, su ubicación puede ser modificada constantemente, utilizan poco espacio, su manipulación es intuitiva, el retorno de la inversión es rápido y mejora las tareas repetitivas y ergonómicamente perjudiciales para el operador, además de esto, los robots colaborativos podrán clasificarse de acuerdo con las diferentes tareas que pueden realizar, por lo tanto, podrán tener un cierto grado de especialización. A continuación, se presenta una clasificación general de estos.

Tabla 12 Clasificación de tareas de Robots Colaborativos

TIPO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Pick and Place	Manejo de materiales en un espacio libre. Programación mediante una tablet. *Clasificación. *Reorientación.	
Alimentación de piezas	Manejo de materiales en un espacio libre. Movimientos complejos. Secuencias y comunicación. *Alimentación de piezas.	
Inserción	Movimientos restringidos. Tolerancias ajustadas. Posición de dejada precisa. *Inserción de piezas en alojamiento.	
Ensamblaje	Movimiento restringido. Fuerza de montaje controlada. Precisión elevada. *Clipaje *Atornillado	

(Galdós, 2016)

Como se ha mencionado los robots colaborativos han tenido mayor auge dentro de la industria automotriz, dentro de todas sus variantes, dado que nos enfocaremos en la rama de inyección de plásticos se mencionaran casos de implementación dentro de esta rama, sin embargo hay que recalcar que no sólo son presentes en esta rama, si no en muchas otras dentro y fuera de la industria automotriz, como es el caso de los primeros robots colaborativos en plantas de Querétaro, que en un inicio no tenían un fin productivo, sino más bien educativo.

Se trata de la empresa Universal Robots (RU) que ha instalado un centro de capacitación en Querétaro, basados en robots colaborativos, en dicho centro se capacita al personal para conocer el funcionamiento, programación y mecánica del robot, teniendo capacidad de manipular dichos robots y aumentar la productividad dentro de la planta en la que sean instalados. Jürgen von Hollen, CEO de UR, explica “este fenómeno de colaboración entre personas y máquinas dentro del sector manufacturero se conoce como “industria 5.0” o “quinta revolución industrial”. Consiste en “regresar al ser humano a la línea de producción, apalancando su poder y su creatividad con el poder del robot” (Hollen, 2018).

La implementación de robots en una línea de producción no sólo aumentará la productividad y calidad en el producto, si no también aumenta la calidad de vida laboral de las personas dentro de la empresa, al tener un mayor tiempo de descanso, tareas más específicas de inspección, y aunque por ahora los robots colaborativos se utilicen para tareas sencillas, como de empaque, no se debe perder de vista la constante y rápida actualización pues esta innovación debe verse como ayuda al personal, no como competencia, pues los altos mandos lo ven de este modo.

Natalia Sanchon, líder de Marketing de la empresa de telecomunicaciones Avaya en Latinoamérica y Caribe menciona

“la transformación digital sin un complemento humano se convierte en “distopía digital” (un escenario indeseable). “Los seres humanos son especialmente adecuados para hacer lo que la tecnología no puede, y eso es lo que fomenta conexiones y relaciones increíbles” (Sanchon, 2018)

Además se complementa con lo mencionado por Chris McGugan, vicepresidente senior de Soluciones y Tecnología de Avaya “... la tecnología por sí sola no es suficiente. Eso es porque no crea una cultura de confianza, responsabilidad e integridad, la gente sí. La verdadera transformación, desde la iniciación hasta el cambio sostenible a largo plazo, depende de la cultura correcta y las personas adecuadas”. (McGugan, 2018).

Otro caso de robots colaborativos instalados, a pesar de no ser una Pyme, es Ford, que implementa un exoesqueleto robótico que se utiliza en la armadora de Valencia. Este robot permite a los empleados realizar tareas repetitivas, de precisión y ejercer fuerza mayor a la que normalmente podrían aportar, sin tener consecuencias a corto o largo plazo en su salud. Ford informó en un comunicado lo siguiente.

“Hasta la fecha, expertos en ergonomía de Norteamérica han trabajado en más de 100 nuevos vehículos globales, incluidos el Ford Edge, el Mustang y el F-150, utilizando una variedad de tecnologías de fabricación ergonómicas. Ford no solo ha logrado una reducción de la tasa de accidentes de empleados, sino que también ha registrado un descenso del 90 por ciento en problemas ergonómicos con trabajadores que realizan movimientos repetitivos y tareas pesadas” (Financiero, 2018)

En México existen pocos casos de empresas que incluyan robots colaborativos dentro de su línea de producción y los que existen en Pymes son poco reconocidos, el caso con mayor impacto que se encontró a lo largo de investigación fue el de Querétaro, que además de incluirlos en sus operaciones ofrecen capacitación y oportunidad de crecimiento en este ámbito para su personal.

A continuación se presenta una lista de los fabricantes de robots más renombrados.

Universal Robot

Universal Robot una de las empresas de robótica que más se ha expandido a nivel mundial en los últimos años. Han revolucionado el mercado con un brazo robótico flexible y ligero.

Con su oferta de pequeños robots colaborativos ha conseguido crear una herramienta amigable y accesible para trabajar al lado de operarios humanos en la industria.

Los cobots de Universal Robot están articulados por seis ejes, siendo estos los siguientes modelos:

- UR3 que puede manejar cargas de hasta 3 kg y con un radio de trabajo de 50 cm
- UR5 para manejar cargas como máximo de 5 kg en un radio de 85 cm
- UR10 opera con cargas máximas de 10 kg en un radio de 130 cm con una velocidad típica de TCP de 1 m/s, precisión en la repetibilidad de los movimientos de +- 0,05 mm con carga.

KUKA

El LBR iiwa robot colaborativo de KUKA disponible en dos versiones con capacidades de 7 y 14 Kg y un alcance de 800 a 820 mm. De entre las características de esta tecnología colaborativa cabe destacar.

- Capacidad de aprendizaje: el robot es capaz de memorizar trayectorias y coordenadas al mostrarle la posición deseada
- Sensitivo: el LBR iiwa, con sus sensores de esfuerzo articulados, regula la fuerza para adecuarse al tipo de pieza. Detecta contornos y la posición correcta de montaje sin dejar marcas en los componentes más sensibles.
- Siete ejes: otorgan mayor flexibilidad y libertad de movimientos en comparación con los de seis ejes.

Bosch Rexroth

El primer robot colaborativo desarrollado por Bosch. La tecnología utilizada es un recubrimiento de cuero que convierte a un robot industrial en un robot colaborativo con grandes prestaciones y máxima seguridad. El cuero es una piel táctil y sensible que detecta impactos. Los 118 sensores que contiene la piel detectan fuerzas y envían un feedback inmediato al controlador. De esta manera el robot es capaz de detectar personas cuando están muy cerca y detenerse antes de llegar a tocarlos.

El sistema APAS integra cámaras 2D o 3D para el reconocimiento de objetos y una adecuada funcionalidad ante la aplicación a realizar. El robot cuenta con una

consola de programación que es fácil de usar e interface amigable. El robot también se puede mover y reprogramar en unos segundos utilizando la guía manual. Por un lado el APAS assistant inline: robot cinemático sin valla de seguridad diseñado para la colaboración humano-robot en la industria 4.0. Por otra parte, encontramos el APAS inspector: un kit de construcción integral de hardware y software para la realización de soluciones individuales en inspección visual y control de calidad.

FANUC

La excepción de los colaborativos si se trata de cargas máximas y distancias operativas. El CR-35iA de Fanuc funciona con cargas de hasta 35 kg y un alcance superior a 1800 mm. Pero su peso de casi una tonelada le resta flexibilidad y movilidad, por tanto no es adecuado para cambios frecuentes en su ubicación.

Dentro del área de trabajo del robot se podrán definir zonas de seguridad con diferentes niveles de seguridad utilizando el software y hardware DCS (Dual Check Safety). También cuenta con las funciones “Contact Stop” y “Push to Escape”, esta última permite que el robot colaborativo sea empujado por el operario en cualquier dirección.

Otros modelos son el CR-4Ai y el CR-7Ai. Robots colaborativos mucho más compactos, obteniendo por ello la ventaja de ser más flexibles en su colocación y ocupar menor espacio. Pero perdiendo en factor fuerza, lo que los destina a trabajos con piezas más pequeñas. El CR-15iA. La versión media entre los pequeños robots colaborativos mencionados con anterioridad y el CR-35iA. Un cobot de seis ejes capaz de actuar con cargas de 15 kg y en un rango de 1441 mm.

ABB

Yumi, tecnología de colaboración hombre-máquina desarrollada por ABB. Se trata de un robot con dos brazos y manos flexibles especialmente diseñado para el ensamblaje de piezas pequeñas. Manos servocontroladas que incluyen cámara de visión y dos vacuostatos. El diseño y la composición de los brazos los hace ligeros y seguros, paran en milésimas de segundo antes de golpear al operario. Asimismo

está acolchado y pensado para no tener ninguna posibilidad de pinzamiento. Otro factor es la programación sin necesidad de código. El robot colaborativo de ABB también tiene capacidad de aprendizaje, guiándolo de manera manual para mostrarle la trayectoria a seguir.

Su rango de trabajo es de 559 mm y su capacidad de carga es de 0.5 kg en cada brazo. Especialmente útil en el manipulado, montaje y ensamblaje de componentes pequeños y productos 3C, electrónica, juguetes, relojes, etc. todo ello de forma colaborativa dejando al operario trabajar cerca de el en otras operaciones menos tediosas o más complicadas.

Rethink Robotics

Sawyer tiene un único brazo que es más fuerte, rápido y preciso que los del primer producto de la empresa, Baxter. Alcance garantizado de 900 mm con un peso de 4 kg, precisión de +- 0.1 mm y una velocidad típica de herramienta de 1.5 m/s. Y a su nueva cámara se le da mejor distinguir entre partes y puede leer códigos de barra. Baxter se diseñó para ser seguro, intuitivo y fácil de programar. Los ojos en la pantalla táctil le dicen a los trabajadores dónde moverá los brazos a continuación. Sawyer tiene la misma cara que Baxter, pero su cuerpo es un único brazo diseñado para hacer trabajo más complejo.

Rethink Robotics, pionero de la robótica industrial colaborativa, ha aplicado una increíble mejora a sus robots Sawyer. Se trata del nuevo software Intera 5, diseñado para ayudar al robot a diseñar rutinas para ejecutar tareas complejas. Las versiones anteriores de Intera ocultaban gran parte del árbol de decisiones del robot frente a los ojos de los usuarios. Por el contrario, Intera 5 utiliza una interfaz gráfica para demostrar a los usuarios exactamente por qué Sawyer se comporta como se comporta.

Listado obtenido a partir de (Movicontrol, 2018).

Robots colaborativos



Robot colaborativo CR-4iA

Robot colaborativo

- Ejes: 6
- Capacidad de carga: 4 kg
- Alcance: 550 mm



Robot colaborativo CR-7iA y CR-7iA/L

Robot colaborativo

- Ejes: 6
- Capacidad de carga: 7 kg
- Alcance: 717 mm (CR-7iA)
- Alcance: 911 mm (CR-7iA/L)



Robot colaborativo CR-15iA

Robot colaborativo

- Capacidad de carga: 15 kg
- Alcance: 1441 mm



Robot colaborativo CR-35iA

Robot colaborativo de 6 ejes

- Ejes: 6
- Carga útil: 35 kg
- Alcance: 1813 mm

(FANUC, 2018)

3.3 GENTE VS ROBOTS

En este capítulo se habla sobre los tipos de robots colaborativos y algunos casos de aplicación y su resultado favorable, a continuación, se describirá el perfil general que tienen los operadores dentro de la industria, mayormente automotriz, para posteriormente realizar un cuadro comparativo entre las habilidades y características del personal y los robots.

Se entiende por operador u operadores a los trabajadores que se encargan de realizar algún tipo de actividad relacionada con maquinarias o tecnología de cualquier modelo. Un operador es por lo general un rango bajo dentro de la empresa, ya que está a órdenes de los superiores y desempeñan actividades técnicas que implican repetición y destrezas físicas, más que actividades

intelectuales o de organización, sin embargo, puede variar la importancia del cargo. (Bembibre, 2009)

De este modo los operadores son elegidos para desarrollar actividades acotadas o específicas, que no siempre son rutinarias pero que en la mayoría de los casos tienen que relacionarse con elementos definidos que no varían en grandes términos; el operador requiere contar con ciertas capacidades y destrezas que pueden ser adquiridas a través de la práctica más allá de una formación escolar. Existen muchos tipos de operador, de acuerdo con sus funciones y responsabilidades, cabe destacar que algunos operadores pueden requerir de capacitación para desempeñar sus actividades, o que por el contrario la empresa elija invertir en su personal, teniendo mayor competitividad.

Tipos de operador

1. Operador de limpieza

Persona que se encarga de realizar limpieza y mantenimiento diario de la empresa, industria o institución. Puede cumplir sus funciones de manera autónoma, o puede seguir un determinado plan de trabajo ya establecido. Además, se recomienda den un mantenimiento básico, que consiste en la limpieza de todos los componentes garantizando su correcta funcionalidad.

2. Operador calificado

Necesita de un entrenamiento riguroso o de talleres de enseñanzas para poder cumplir con sus funciones, se le conoce como operador intermedio, su labor exige ciertos conocimientos y destrezas en un campo determinado.

3. Operador eventual

No cuentan con un nombramiento, presta sus servicios de forma temporal.

4. Operador de base

No están incluidos entre los operadores de confianza, pero si cuentan con un contrato por tiempo indeterminado.

5. Operador de confianza

Tomados en cuenta por los dueños y/o mandos superiores, pueden llegar a ser líderes de grupos de trabajadores.

Listado obtenido a partir de (ARQHYS, 2017)

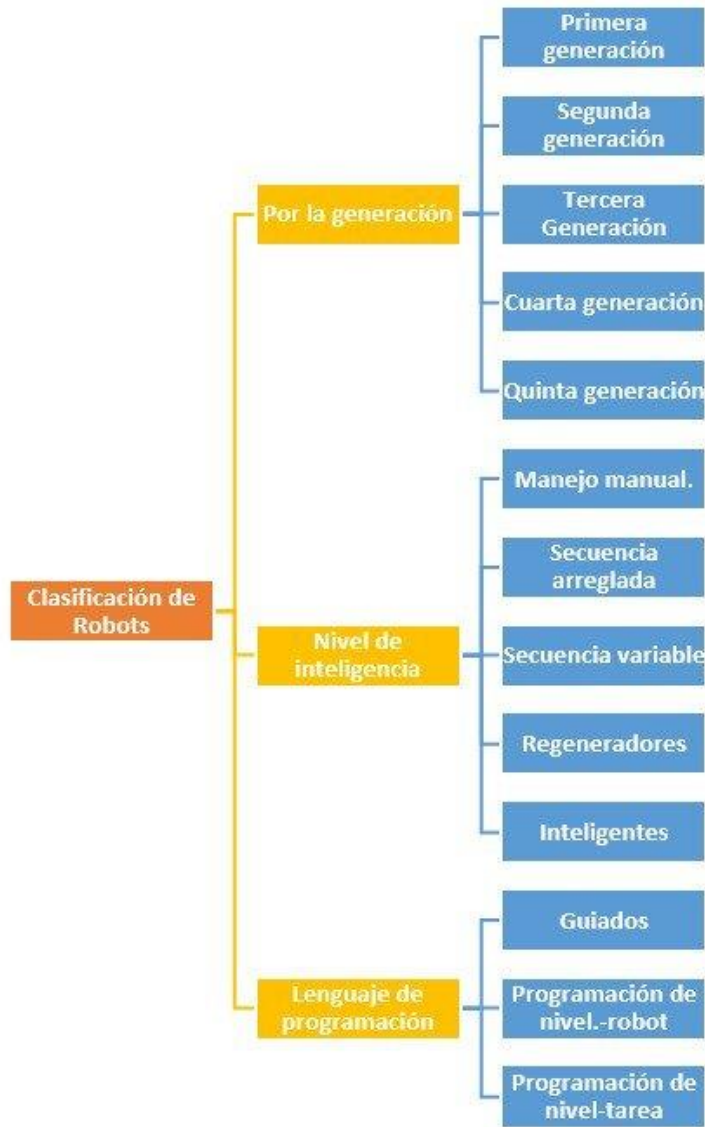
Como se ha mencionado a lo largo del presente documento los robots han tenido un gran impacto dentro de la industria automotriz, al facilitar las tareas de los operadores, e incluso reduciendo el riesgo de accidentes laborales y/o enfermedades causadas por temas de ergonomía relacionados con tareas repetitivas y/o que incluyen la manipulación de objetos pesados; además se ha tocado el punto relacionado a la aparición de estas herramientas, pues su interacción dentro de la industria no es reciente, por el contrario de los robots colaborativos que se encuentran ganando terreno en la industria, principalmente la industria automotriz. Tomando como referencia el punto anterior, y dado que el objeto de estudio del presente documento son los robots colaborativos, no se profundizará en los tipos de robots, pues se ha realizado un análisis previo.

Los robots industriales generalmente son brazos de gran tamaño con controles manejados a través de una computadora, que tendrán funciones y características diferentes según su trabajo, existen otros tipos de brazos robóticos que tienen accesorios extra que les permiten llevar a cabo sus actividades. En el caso de la empresa de estudio se mencionan robots convencionales que tienen la función de *poka yoke*, verifican el correcto ensamble de componentes, y además se cuentan con brazos robóticos que extraen las piezas de las prensas de inyección, en la mayoría de las máquinas.

Tipos de robots

Se han clasificado de acuerdo con diferentes asociaciones, características, complejidad y funciones. La clasificación más concreta va de acuerdo a su generación, nivel de inteligencia y lenguaje de programación, a continuación, se presenta un diagrama representativo, pues como se mencionó no se profundizará en esta clasificación debido al objeto de investigación principal.

Ilustración 33 Clasificación de Robots



(ClasificaciónDe, 2015)

A continuación, se presenta un cuadro comparativo con información concentrada de los robots industriales, robots colaborativos y humanos.

Tabla 13 Cuadro comparativo Recursos Industriales

Recurso	Fuerza	Velocidad	Ventajas	Desventajas
Humanos	Moderada	Moderada	*Análisis *Tomar decisiones *Adaptabilidad	*Limitantes físicas *Limitantes emocionales *Requieren descanso
Robots Industriales	Alta	Alta	*Posibilidad de realizar cualquier tarea, durante un largo periodo	*Requieren seguridad a su alrededor *Constante mantenimiento *Si cambia la ubicación, cambia el programa
Robots Colaborativos	Alta	Moderada	*Posibilidad de realizar cualquier tarea, durante un largo periodo. *Adaptabilidad *Análisis *Tomar decisiones *Sin seguridad perimetral	*Constante mantenimiento

Elaboración propia

De esta manera se concluye que la mejor opción de crecimiento, adaptabilidad, innovación y actualización para la industria, específicamente hablando de la empresa muestra, es la implementación de robots colaborativos que mejorarán la situación de calidad, rendimiento y estandarización dentro de la línea

de producción, ofreciendo como posibilidad la actualización del personal actual, que trabajará en conjunto con los *cobots*.

4. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT COLABORATIVO

4.1 DESCRIPCIÓN DE PROCESO EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN EL QUE INTERVIENE EL OPERADOR

En el capítulo dos, se hace referencia al proceso de producción general y particular dentro de la planta de inyección de plástico, por lo que en este capítulo se retomará dicho proceso, sin embargo, sólo se hará referencia a la parte del proceso productivo en la que tiene que ver el operador directamente, se analizará su toma de decisiones y cómo afecta directamente la calidad de las piezas inyectadas, así como el nivel de estandarización con el que se cuenta.

Inyección de la pieza plástica: Una vez que la máquina, el molde y la materia prima están en condiciones óptimas las piezas serán inyectadas, con el proceso conforme al PDA, se recalca que en caso de que la pieza presente algún defecto el proceso deberá ser ajustado en parámetros como el tiempo ciclo, la temperatura, el tiempo de inyección, tiempo de enfriamiento o presión de sostenimiento. En ocasiones el problema no radica en el ajuste del proceso, si no en el molde, por lo tanto, deberá intervenir el departamento de mantenimiento.

En el párrafo anterior se escribe de forma sintetizada el proceso de inyección de las piezas, la forma en la que interactúa el operador es si el proceso es “*semiautomático*” lo que significa que una vez que el ciclo de inyección termina el operador saca la pieza del molde y reinicia el ciclo manualmente, para algunos números de parte esta acción es necesaria, sin embargo para otros debido a la falta de un robot o a la ausencia de su programación el operador deberá realizar esta actividad por un turno completo o parcial. El ingeniero de procesos deberá explicar al operador que secuencia seguir para que la máquina repita el proceso de inyección, por lo tanto, la agilidad de la persona asignada a la máquina determinará

la cantidad de piezas producidas durante el turno, que se espera sea igual o cercana a la producción teórica o “estándar”.

La otra manera en la que interviene directamente el operador es cuando la máquina llega a parar por alguna razón, que puede ser por falta de material, por una pieza atorada o porque la máquina tiene una falla que requiere de la atención de otro departamento para continuar la producción, por lo que el operador se encargara de avisar al supervisor y/o ingeniero de procesos en turno, que tomará las medidas necesarias para que la producción continúe, en algunos casos las máquinas deben recibir mantenimiento correctivo que demorará por horas la producción, retrasando la planeación programada (en caso de que la falla requiera un tiempo excesivo para ser reparada), en este caso se llegan a tomar otras medidas por medio del departamento de producción, considerando lo existente en el stock de seguridad, la cantidad y la fecha de entrega con el cliente.

Re trabajo y empaque de piezas: En esta etapa del proceso ocurre la interacción más importante del operador con el equipo de trabajo y la prensa de inyección, pues en caso de ser necesario el operador obtendrá la pieza de forma manual y reiniciará el ciclo de inyección, en caso de ser obtenida por el robot el operador sólo la tomará de la mesa de trabajo, dependiendo de la posición que sea programada para el robot. Posteriormente el operador hará una revisión visual de la pieza para determinar si esta pasa o no pasa, de acuerdo a los criterios de calidad ya establecidos; si la pieza no es “ok” entonces el operador enviará esta al “scrap”, en caso contrario realizará un re trabajo a la pieza, es decir, quitará colada, rebaba y colocará componentes extra en la pieza, para posteriormente embolsarla y colocarla en su caja.

Para lo anterior el operador deberá tener guantes, que protejan sus manos del calor que emite la pieza, además de proteger a la propia pieza; se utilizarán pinzas y/o cúter para quitar a las piezas el exceso de material que presenten, sin cortar parte de la pieza y/o dañarla, pues como se ha mencionado con anterioridad

se trabajan con piezas de vista; al colocar componentes extra se utilizará un dispositivo poka yoke, en el mayor de los casos un robot, que verificará que estos estén correctamente colocados, o en su defecto el operador deberá “certificar” que estos componentes estén correctamente colocados (pasar por encima del componente un crayón industrial blanco), se coloca la bolsa de manera manual y de acuerdo a la dimensión y tamaño de la pieza éstas serán acomodadas de una forma en específico. Cabe aclarar que el operador realiza todo lo anterior dentro del tiempo ciclo en el que está programado el número de parte a trabajar, por lo que al tener un operador nuevo e debe capacitar e ir desarrollando habilidades de memoria, rapidez, fuerza y precisión. Los operadores con más experiencia serán colocados en máquinas que inyectan piezas de mayor tamaño, con tiempos ciclos más cortos, piezas más complicadas y/o números de parte críticos para la empresa.

Los operadores colocarán la etiqueta de identificación al empaque, dependiendo del número de parte, tendrá el código SAP de dicha pieza, el lote, que se compone de la fecha y el número de control del operador (facilitando identificación de material por fecha, turno y operador) y lo colocará en la sección de material terminado para que posteriormente sea verificado por los auditores de calidad, que colocan el sello de conformidad en la etiqueta para que posteriormente el surtidor del área de logística retire el material al área de producto terminado.

Por lo tanto como conclusión, cabe recalcar que el operador es una pieza fundamental dentro del proceso de producción y es elemento clave para entregar el material solicitado por el cliente, en tiempo, forma y con la calidad que lo solicita; es por ello que entre las habilidades más importantes que debe poseer el operador están: observación, pues es el primer filtro por el que pasa la pieza y el factor principal que determina si la pieza puede continuar el proceso de re trabajo o de lo contrario debe ser desechada; tacto, pues de esta manera pueden detectar defectos que no son perceptibles a simple vista, es por esto que es de vital importancia que el operador inspeccione la pieza antes de comenzar a re trabajarla; destreza, que le permita al operador colocar los componentes extra de forma correcta y por último rapidez, pues como se mencionó con anterioridad el operador tiene un tiempo

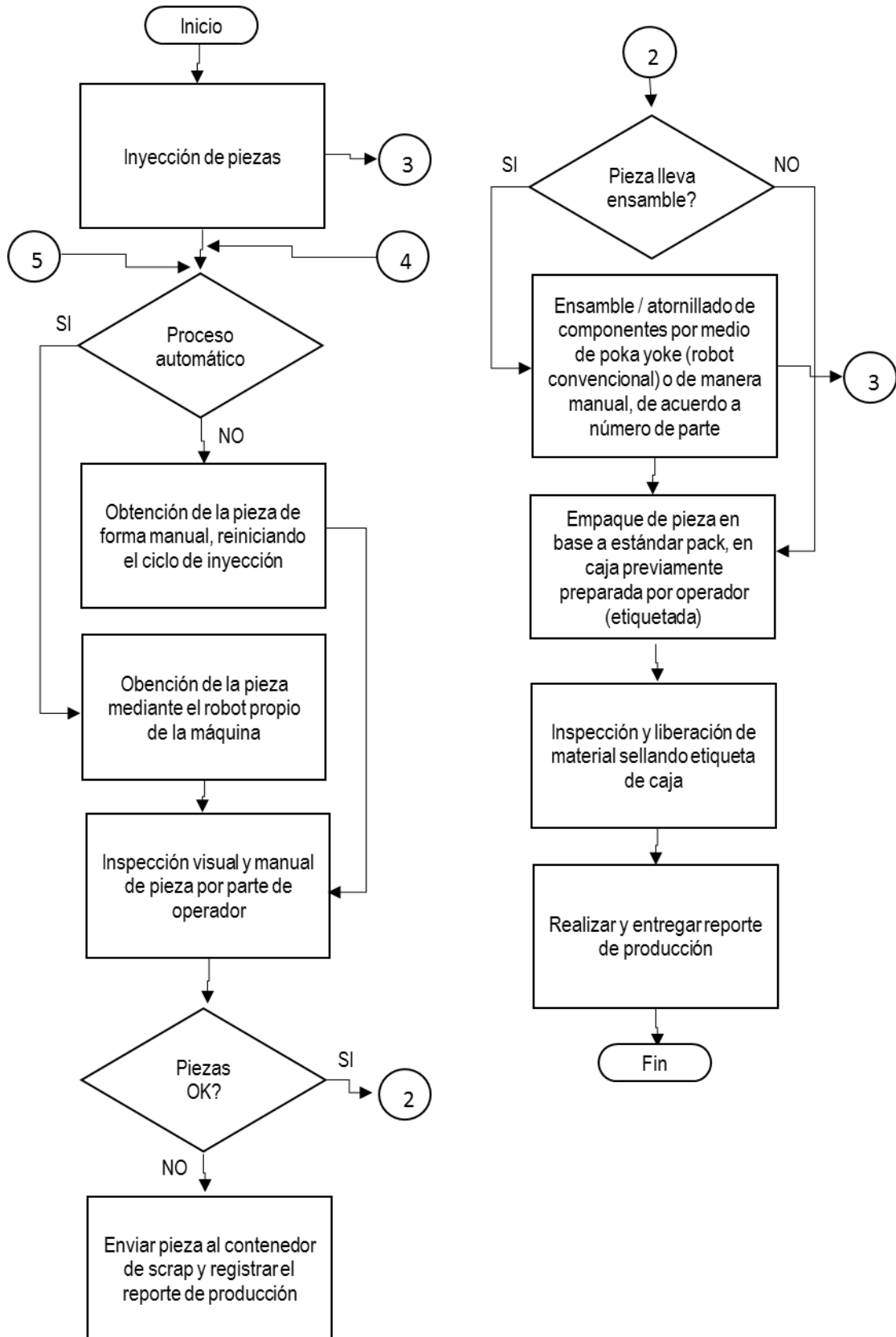
determinado para inspeccionar, re trabajar, colocar componentes y empacar la pieza.

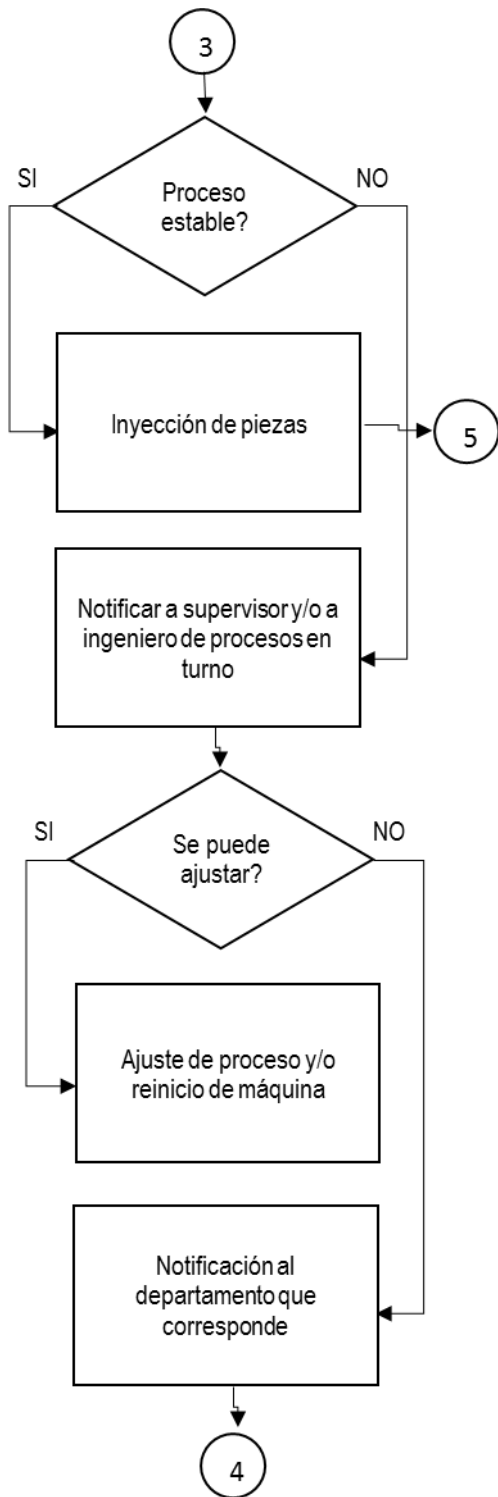
De este modo la habilidad más importante a desarrollar en el operador es la observación que permitirá una correcta inspección, complementada con el tacto, debido a que algunos de los defectos no son visibles.

Como se ha analizado mediante capítulos anteriores, y a través de un análisis FODA se puede determinar que el operador es un factor vital dentro del proceso de producción, ya que está en contacto directo con las piezas fabricadas y el cumplimiento en tiempo, forma y calidad con el cliente depende de su criterio y habilidad, además de la correcta planeación y mantenimiento como factores externos. Además se obtiene un resultado orientado a industria 4.0 para mejorar y fortalecer el proceso productivo de las piezas plásticas, enfocando la solución al factor vital, que como se mencionó es el operador; en el subcapítulo siguiente se presentará un análisis más detallado acerca del robot colaborativo a implementar, ventajas, desventajas y posible ubicación, aplicado a un número de parte muestra.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo en el que se puede observar de forma sintetizada el proceso productivo en el que influye el operador y la toma de decisiones que realiza a lo largo del turno, por lo que es importante de la concentración total del personal, evitando que se envíen piezas con algún defecto al cliente, por pequeño que este defecto parezca, sobre todo es importante realizar una correcta inspección visual.

Ilustración 34 Diagrama de flujo de proceso productivo





(Elaboración propia)

4.2 UTILIZACIÓN DE ROBOT

De acuerdo con la información anterior la función más importante que realiza el operador es la inspección de la pieza, pues esto define si la pieza es conforme o no, basado en los estándares de calidad, esta inspección determina el nivel productivo de la empresa, posicionándonos como una empresa confiable que entrega productos de calidad, en tiempo y forma. Además, dentro de la planta se deben tener en cuenta los factores externos de planeación y mantenimiento; planeación en cuanto a disponibilidad de materiales y máquina; mantenimiento en cuanto al correcto funcionamiento de las prensas, evitando retrasos por averías o fallas repentinas, es por ello que en el análisis FODA se recalca la importancia del mantenimiento preventivo.

Retomando el punto focal de esta investigación, que se refiere a la línea de producción con énfasis en el operador, en el capítulo presente se realizará una descripción del proceso de producción en el que el operador está involucrado directamente y cómo se verá afectado una vez que el robot sea implementado.

Inyección de la pieza plástica: Una vez que la máquina, el molde y la materia prima están en condiciones óptimas las piezas serán inyectadas, con el proceso conforme al PDA, se recalca que en caso de que la pieza presente algún defecto el proceso deberá ser ajustado en parámetros como el tiempo ciclo, la temperatura, el tiempo de inyección, tiempo de enfriamiento o presión de sostenimiento. En ocasiones el problema no radica en el ajuste del proceso, si no en el molde, por lo tanto, deberá intervenir el departamento de mantenimiento.

En el proceso de inyección de las piezas la forma en la que interactúa el operador directamente será si el proceso es “*semiautomático*” lo que significa que una vez que el ciclo de inyección termina el operador saca la pieza del molde y reinicia el ciclo manualmente, para algunos números de parte esta acción es necesaria, sin embargo para otros debido a la falta de un robot o a la ausencia de su programación el operador deberá realizar esta actividad por unas horas o por un turno completo. El ingeniero de procesos deberá explicar al operador que secuencia seguir para que la máquina vuelva a repetir el proceso de inyección, por lo tanto la

agilidad de la persona asignada a la máquina determinará la cantidad de piezas producidas durante el turno, que se espera sea igual o cercana a la producción teórica o “estándar”, por lo regular para procesos semiautomáticos se busca asignar personal con experiencia dentro de la planta y con el número de parte en específico, de esta manera se asegura una producción fluida y cercana al estándar.

La otra manera en la que interviene directamente el operador es cuando la máquina llega a parar por alguna razón, que puede ser por falta de material, por una pieza atorada o porque la máquina tiene una falla que requiere de la atención de otro departamento para continuar la producción, por lo que el operador se encargara de avisar al supervisor y/o ingeniero de procesos en turno, que tomará las medidas necesarias para que la producción continúe, en algunos casos las máquinas deben recibir mantenimiento correctivo que demorará por horas la producción, retrasando la planeación programada (en caso de que la falla requiera un tiempo excesivo para ser reparada), en este caso se llegan a tomar otras medidas por medio del departamento de producción, considerando lo existente en el stock de seguridad, la cantidad y la fecha de entrega con el cliente.

La manera en la que el robot colaborativo podrá incorporarse a esta parte del proceso, será tomando la pieza y reiniciando el ciclo de inyección en caso de que la prensa se encuentre en un modo “*semiautomático*”; en caso de que el proceso de la prensa sea “*automático*” el robot esperará la pieza en la mesa de trabajo para iniciar el proceso de re trabajo de la pieza.

Re trabajo y empaque de piezas: En esta etapa del proceso ocurre la interacción más importante del operador con el equipo de trabajo y la prensa de inyección, después de obtener la pieza de forma manual y reiniciar el ciclo o de obtener el número de parte mediante el robot, sólo tomándola de la mesa de trabajo, (según sea el caso); el operador hará una revisión visual de la pieza para determinar si esta pasa o no pasa, de acuerdo a los criterios de calidad ya establecidos; si la pieza no es “ok” entonces el operador enviará esta al “*scrap*”, en caso contrario realizará un

re trabajo a la pieza, es decir, quitará colada, rebaba y colocará componentes extra en la pieza, para posteriormente embolsarla y colocarla en su caja.

Para lo anterior el operador deberá tener guantes, que protejan sus manos del calor que emite la pieza, además de proteger a la propia pieza; se utilizarán pinzas y/o cúter para quitar a las piezas el exceso de material que presenten, sin cortar parte de la pieza y/o dañarla, pues como se ha mencionado con anterioridad se trabaja con piezas de vista; al colocar componentes extra se utilizará un dispositivo “*poka yoke*”, en el mayor de los casos un robot, que verificará que estos estén correctamente colocados, o en su defecto el operador deberá “*certificar*” que estos componentes estén correctamente colocados (pasar por encima del componente un crayón industrial blanco), se coloca la bolsa de manera manual y de acuerdo a la dimensión y tamaño de la pieza éstas serán acomodadas de una forma en específico. Cabe aclarar que el operador realiza todo lo anterior dentro del tiempo ciclo en el que está programado el número de parte a trabajar, por lo que al tener un operador nuevo e debe capacitar e ir desarrollando habilidades de memoria, rapidez, fuerza y precisión. Los operadores con más experiencia serán colocados en máquinas que inyectan piezas de mayor tamaño, con tiempos ciclos más cortos, piezas más complicadas y/o números de parte críticos para la empresa.

Toda la información anterior, de re trabajo, componentes, lay-out de estación de trabajo, empaque e información del número de parte se encontrará en una carpeta correspondiente a cada pieza, identificada con el código interno asignado por la planta, esta carpeta debe encontrarse en la mesa usada por calidad, misma en la que se encuentra una “*pieza master*” que utilizan los auditores de calidad como guía para liberar la producción actual, esta pieza es liberada por el departamento de calidad con autorización del cliente.

Los operadores colocarán la etiqueta de identificación al empaque, que será de cartón (desechable) o de plástico (retornable) dependiendo del número de parte, tendrá el código SAP de dicha pieza, el lote, que se compone de la fecha y el número de control del operador (facilitando identificación de material por fecha, turno y operador) y lo colocará en la sección de material terminado para que posteriormente

sea verificado por los auditores de calidad, que colocan el sello de conformidad en la etiqueta para que posteriormente el surtidor del área de logística retire el material al área de producto terminado.

Por lo tanto como conclusión, cabe recalcar que el operador es una pieza fundamental dentro del proceso de producción y es elemento clave para entregar el material solicitado por el cliente, en tiempo, forma y con la calidad que lo solicita; es por ello que entre las habilidades más importantes que debe poseer el operador están: observación, pues es el primer filtro por el que pasa la pieza y el factor principal que determina si la pieza puede continuar el proceso de re trabajo o de lo contrario debe ser desechada; tacto, pues de esta manera pueden detectar defectos que no son perceptibles a simple vista, es por esto que es de vital importancia que el operador inspeccione la pieza antes de comenzar a re trabajarla; destreza, que le permita al operador colocar los componentes extra de forma correcta y por último rapidez, pues como se mencionó con anterioridad el operador tiene un tiempo determinado para inspeccionar, re trabajar, colocar componentes y empacar la pieza.

De este modo la habilidad más importante a desarrollar en el operador es la observación que permitirá una correcta inspección, complementada con el tacto, debido a que algunos de los defectos no son visibles.

Como se ha analizado mediante capítulos anteriores, y a través de un análisis FODA se puede determinar que el operador es un factor vital dentro del proceso de producción, ya que está en contacto directo con las piezas fabricadas y el cumplimiento en tiempo, forma y calidad con el cliente depende de su criterio y habilidad, además de la correcta planeación y mantenimiento como factores externos.

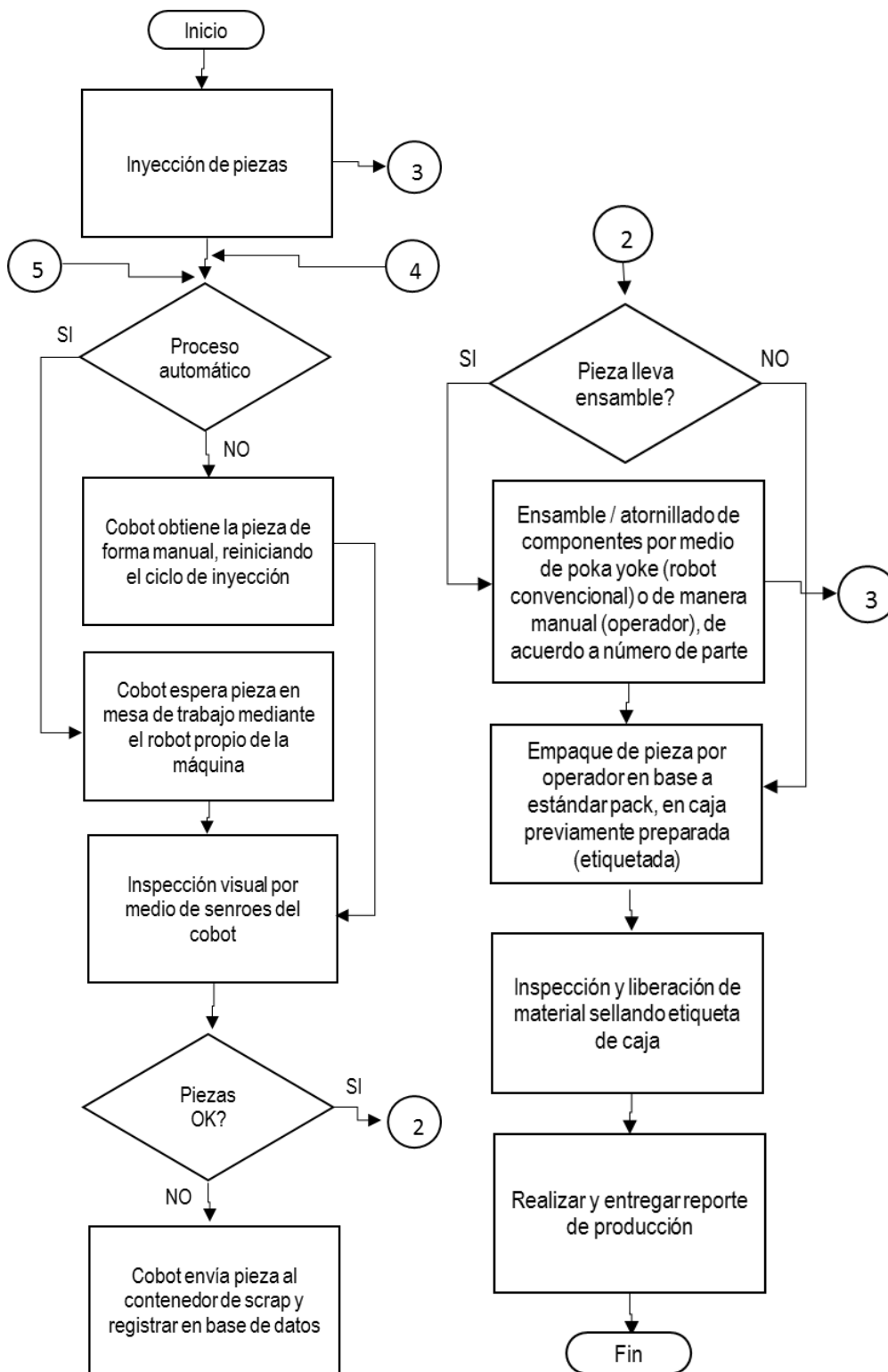
La manera en la que intervendrá el robot directamente será a través de la inspección de las piezas dentro de la línea de producción, esta inspección la realizará al obtener el número de parte inyectado en la presa, ya sea de forma manual y reiniciando el ciclo (semiautomático) o esperar la pieza en la mesa de

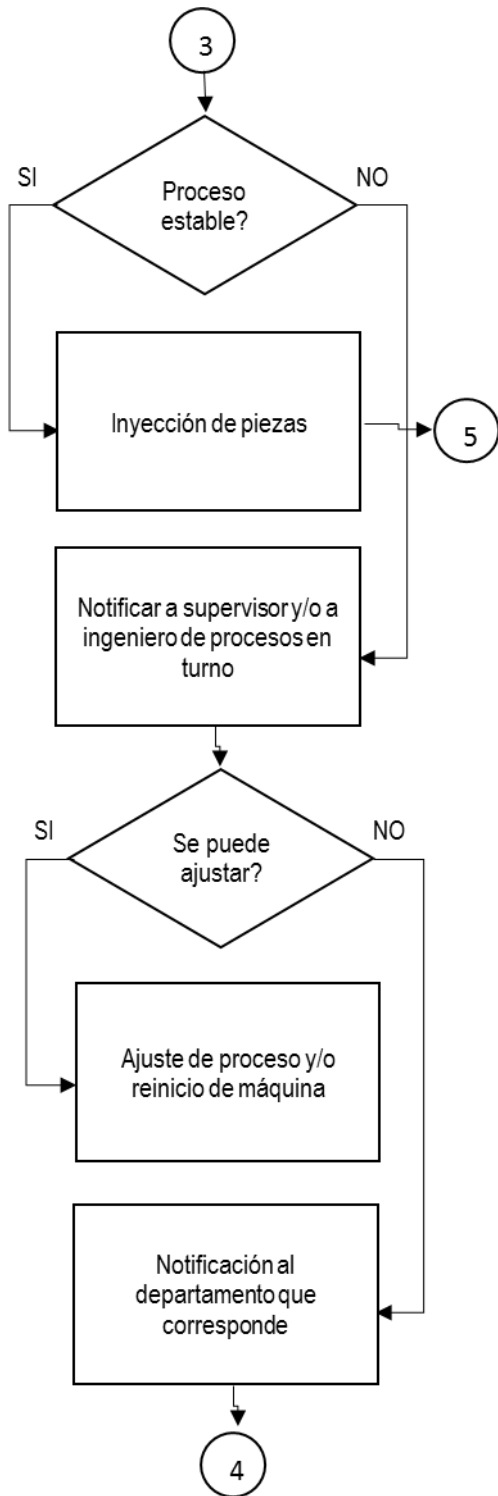
trabajo, entregada por otro robot (automática), el robot colaborativo realizará un escaneo por medio de sensores, que le permitan identificar si la pieza es conforme o no de acuerdo a los criterios de calidad establecidos por el cliente, posteriormente pasará la pieza al operador en caso de que la pieza sea “ok” o la enviará al contenedor de “scrap” si esta cuenta con algún defecto, el robot colaborativo contará con una base de datos de todos los números de parte que se producen dentro de la planta, así como los posibles defectos que puede presentar, en qué parte de la pieza y cómo identificarlos, de esta forma será posible que el robot pueda tomar decisiones sobre la calidad de la pieza y determinar si podrá terminar el proceso o no. Hay que resaltar que en algunos números de parte el proceso es automático, pero no se cuenta con un robot que tome la pieza y la coloque en la mesa de trabajo, si no que el operador la toma directamente de máquina, en estos casos existen dos posibilidades, la primera es que el operador tome las piezas y el robot las escanee para determinar si pasan y además las identifique por izquierda o derecha; la otra posibilidad será que el robot tome las piezas y escanee, pero el operador las separará por izquierda derecha.

Se resalta que al ser un proyecto prueba, al inicio únicamente se ocuparán los robots colaborativos para una inspección visual, debido a que es la tarea más importante del operador dentro de su estación de trabajo y no será aplicable a todos los números de parte, esto previniendo una sobre carga de información para un solo robot y por la complejidad de algunos números de parte, así como su nivel de importancia e impacto dentro de la empresa; posteriormente evaluando la eficiencia y productividad de estos robots podrán asignárseles un mayor número de tareas, información y programación, que permitirá una reducción en la plantilla de personal operativo y ofreciendo oportunidad de mayor especialización para los operadores, que podrán estar encargados de más de una prensa a la vez, verificando el funcionamiento correcto de estos robots. Posteriormente podrán asignarse tareas de colocación de componentes extra, de esta forma el operador se encargará únicamente del empaque, con la certeza de que todas las piezas que está colocando dentro de caja cuentan con la calidad requerida.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo en el que se puede observar de forma sintetizada el proceso productivo en el que influirá el robot colaborativo y la toma de decisiones que realiza a lo largo del turno.

Ilustración 35 Diagrama de flujo con interacción de cobot





(Elaboración propia)

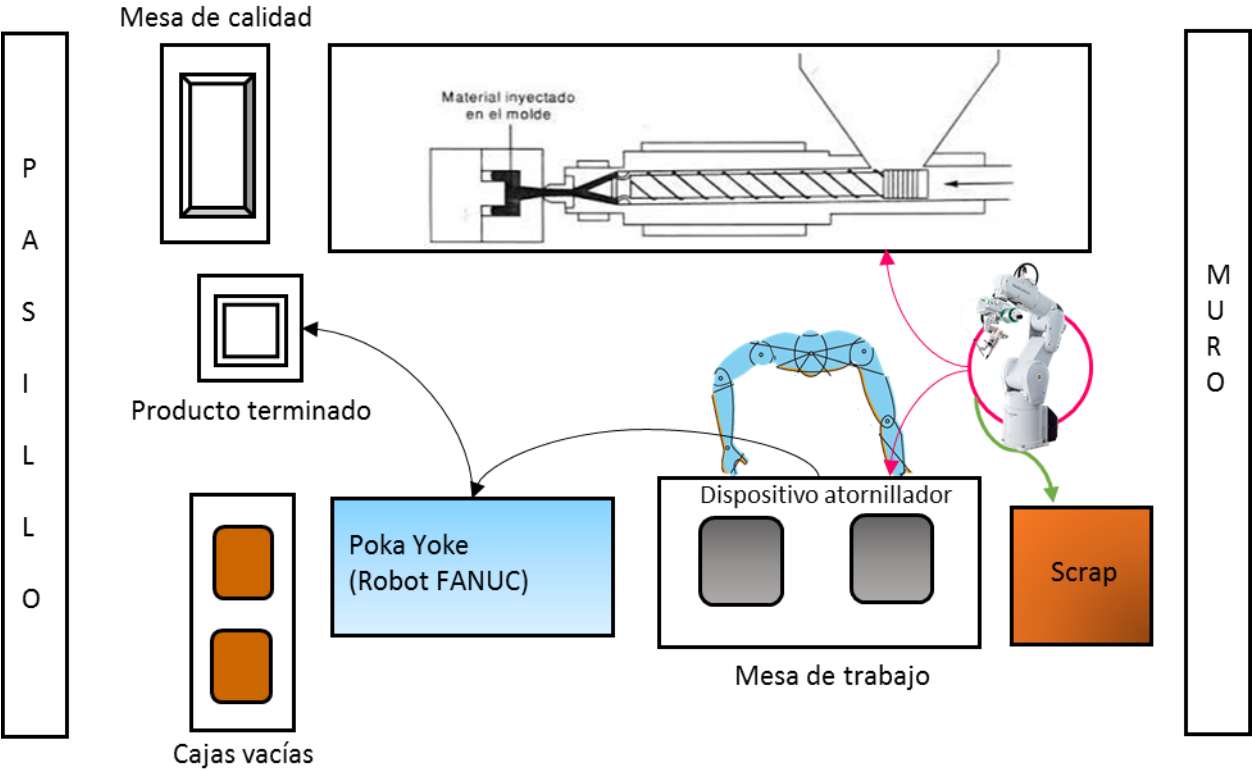
4.3 BOSQUEJO

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores una de las alternativas y soluciones para la empresa que se menciona en esta investigación es la implementación del movimiento de industria 4.0, una vez que se ha analizado la situación actual de acuerdo a sus fortalezas y debilidades, se concluye que uno de los aspectos fundamentales dentro de esta empresa es el proceso productivo, es decir, la inyección de las piezas plásticas, además dentro de este proceso el punto más sensible es el re trabajo de las piezas, es decir, en donde el operador tiene contacto directo con la pieza y determina si esta está es “ok” o “no ok” por lo tanto aseguraremos una entrega en tiempo y forma con la calidad requerida por el cliente. Ya que hemos determinado los puntos anteriores y con el enfoque de industria 4.0 se llega a la conclusión de la implementación de robots colaborativos, que apoyarán al operador en línea con su tarea más importante, la inspección de las piezas, los robots contarán con sensores parecidos a una cámara, que evaluarán la pieza en unos segundos y decidirán si cuenta con todas las características de calidad necesarias para continuar en el proceso, de lo contrario serán enviadas al *scrap*; los *cobots* tomarán esta decisión basados en un banco de información de los números de parte que se producen dentro de la planta, así como sus características de calidad, incluyendo límites de tolerancia por arriba y debajo de la media.

La base de datos mencionada con anterioridad tendrá registrados todos los números de parte, el tiempo ciclo estándar, la producción por hora y por turno de dicha pieza y las características de calidad que son requeridas por el cliente, se tomará como referencia la pieza *master*, que utilizan los auditores dentro de la línea para liberar la producción, será utilizada como media en la escala de calidad programada, incluyendo límites superior e inferior.


Al ser un proyecto piloto se propone que los robots colaborativos inicien con ciertos números de parte, uno básico que solamente requerirá la separación (pieza izquierda - derecha) y empaque por parte del operador, y otro que incluya ensamble de componentes extra dentro del proceso; de esta manera no se incluirá demasiada información en los *cobots* para evitar que confunda características de calidad entre

los números de parte, además de que será más sencillo evaluar su desempeño e impacto en la calidad interna de la planta. De acuerdo con el avance del proyecto y después de un análisis se determinará si el robot colaborativo puede ser incluido en más números de parte, en cuáles en específico y si puede realizar más tareas, como la separación de piezas por izquierda - derecha, el propio ensamble de componentes y el empaque final. Se debe recalcar que si el robot es apto para todo el proceso productivo la plantilla de personal operativo podrá ser reducida y el personal que se conserve podrá supervisar el funcionamiento del robot, estar en más de un puesto de trabajo y reiniciar el proceso del robot en caso de ser necesario. También se resalta que la función del *cobot* es facilitar las tareas del operador, por lo que dentro del proyecto piloto se puede incluir un número de parte con proceso “*semiautomático*” que además de volver más sencillo el turno para un operador, reduce la probabilidad de accidente laboral y el daño a largo plazo en su salud.



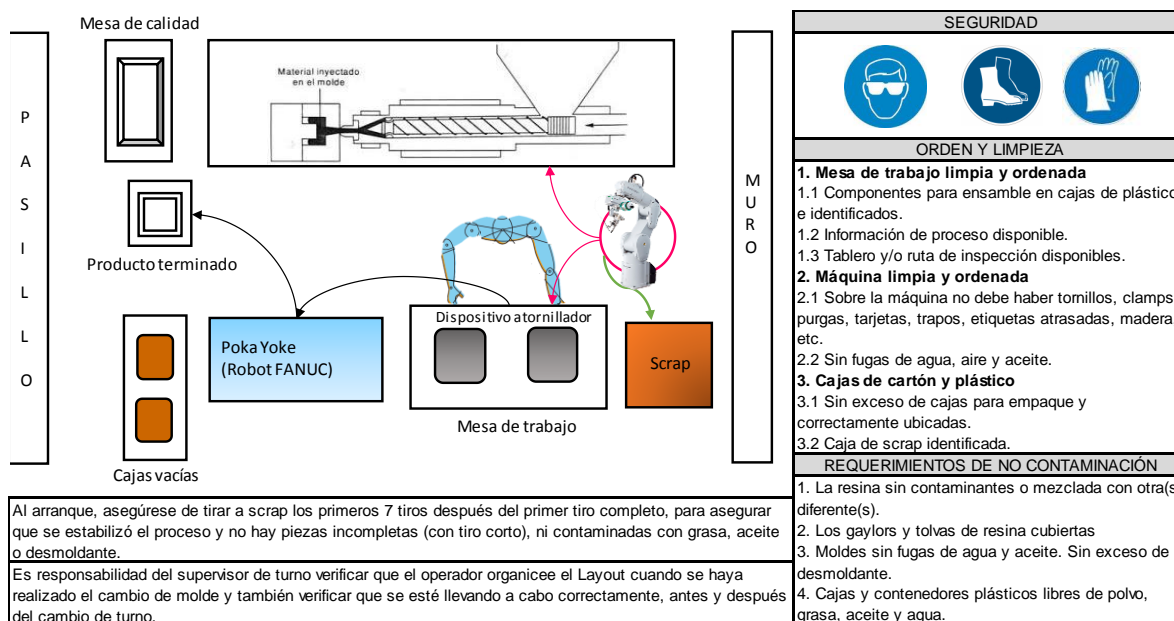
Al arranque, asegúrese de tirar a scrap los primeros 7 tiros después del primer tiro completo, para asegurar que se estabilizó el proceso y no hay piezas incompletas (con tiro corto), ni contaminadas con grasa, aceite o desmoldante.

Es responsabilidad del supervisor de turno verificar que el operador organice el Layout cuando se haya realizado el cambio de molde y también verificar que se esté llevando a cabo correctamente, antes y después del cambio de turno.

SEGURIDAD

ORDEN Y LIMPIEZA
<p>1. Mesa de trabajo limpia y ordenada</p> <p>1.1 Componentes para ensamble en cajas de plástico e identificados.</p> <p>1.2 Información de proceso disponible.</p> <p>1.3 Tablero y/o ruta de inspección disponibles.</p> <p>2. Máquina limpia y ordenada</p> <p>2.1 Sobre la máquina no debe haber tornillos, clamps, purgas, tarjetas, trapos, etiquetas atrasadas, madera, etc.</p> <p>2.2 Sin fugas de agua, aire y aceite.</p> <p>3. Cajas de cartón y plástico</p> <p>3.1 Sin exceso de cajas para empaque y correctamente ubicadas.</p> <p>3.2 Caja de scrap identificada.</p>
REQUERIMIENTOS DE NO CONTAMINACIÓN
<p>1. La resina sin contaminantes o mezclada con otra(s) diferente(s).</p> <p>2. Los gylors y tolvas de resina cubiertas</p> <p>3. Moldes sin fugas de agua y aceite. Sin exceso de desmoldante.</p> <p>4. Cajas y contenedores plásticos libres de polvo, grasa, aceite y agua.</p>

El Layout final queda de la siguiente manera.

Ilustración 36 Layout



(Elaboración Propia)

A continuación, se realizará la propuesta de robot colaborativo, para el caso de la presente investigación, con fin educativo y de carácter experimental, se recalca que no se realizará implementación física, por lo que no se podrán presentar resultados en el documento presente.

Se propone la utilización de un robot colaborativo de la marca FANUC, debido a la familiarización de la empresa con la marca, pues todos su dispositivos “*poka yoke*”, que se encargan del verificar ensamble de componentes dejando una marca en la pieza plástica y/o del propio ensamble; de esta manera el personal de mantenimiento tendrá una mayor facilidad en cuanto mantenimiento preventivo y correctivo, además de estandarizar refacciones, equipo y proveedores, que beneficia a la empresa en un tema de flujo y manejo de materiales.

Se trata de un robot versátil, de seis ejes y largo alcance (1633 mm), que se adapta a trabajos de manipulación de pequeño volumen, “*picking*”⁵², colocación, carga (7 kg) y ensamblaje. Se recalca que existe una amplia variedad de opciones en cuanto a robots colaborativos, con distintas características y de diferentes

⁵² Picking: Recogida de material, extrayendo unidades o conjuntos empaquetados.

marcas, pues se trata de un mercado bastante amplio y que cada vez abarca un mayor terreno; para la presente investigación se toma en cuenta la marca FANUC, por las razones expuestas anteriormente, y se elige el modelo M-10iA/7L por las características y versatilidad que posee.

Ilustración 37 Robot colaborativo M-10iA/7L



EJES	ALCANCE	CAPACIDAD DE CARGA
6	1633 mm	7 kg

(FANUC, M-10iA/7L, 2019)

Además, se debe incluir el sensor de visión que le permita al robot analizar, elegir y separar las piezas. Por lo tanto, se ha elegido un sistema propio de FANUC, esto permitirá una mejor interacción entre ambos sistemas y compatibilidad.

Se ha elegido el sistema iRVision, que se ha diseñado para una instalación rápida, flexibilidad y fácil de usar. Aplicando el reconocimiento 2D o 3D, es capaz de localizar piezas de cualquier tamaño, forma o posición, además de leer códigos de barras, ordena por colores y admite la alimentación de múltiples piezas.



(FANUC, Funciones de visión para robots, 2019)

Como se mencionó anteriormente esta propuesta es parte de un proyecto de investigación por lo que los robots que se mencionan son los más adecuados, debido a sus características, para los números de parte considerados como muestra en este proyecto, además de prestarse para el resto de números de parte de la planta, con excepción de algunos que no serán factibles debido a la dimensión de la pieza, por la estación de trabajo o por el re trabajo, pues debido al trabajo que debe realizar el operador le resultará contra productivo tener un robot en medio de la estación de trabajo.

Con una implementación del cobot mencionado en este capítulo y números de parte piloto se podrá realizar un análisis de impacto dentro de la calidad interna en la planta, productividad, eficiencia y estandarización dentro de la estación de trabajo que se tome como muestra, además de realizar una comparación entre las piezas producidas antes y después del robot colaborativo. En caso de que dicho análisis resulte favorecedor se buscará incorporar más robots colaborativos del mismo tipo y con posibilidades de ampliar las actividades asignadas a los cobots, pues como se ha mencionado estos se pueden diversificar en las distintas tareas que tiene asignado el personal en línea, ofreciendo alternativas de empaque y colocación de componentes extra, de esta manera podrán eliminarse algunos dispositivos *poka yoke*, que verifican la correcta colocación de componentes, pues el cobot garantizará la correcta realización de esta actividad.

5. CONCLUSIONES

A lo largo de toda la investigación se realiza énfasis en la importancia de tener una actualización constante dentro de cualquier organización, del crecimiento como grupo productivo y posicionamiento competitivo de acuerdo a la zona, estado o país; también se hace una mención constante del movimiento que ha tenido fuerza en los últimos años, llamado industria 4.0 y su impacto a lo largo del país, sus diferentes aplicaciones, herramientas, mejoras e implementaciones en sistemas ya funcionales; con base a la información presentada anteriormente se obtienen las siguientes conclusiones.

El movimiento industria 4.0 presenta diferentes soluciones que pueden ser adaptables a los diferentes modelos organizacionales de las empresas Mexicanas, con una amplia variedad de aplicaciones que pueden, o no, ser aplicadas al cien por ciento, según la conveniencia del sistema; este movimiento hace su aparición como parte de la actualización de la industria, principalmente la automotriz, pues debido a la globalización se exige mejora, estandarización e innovación de los productores a los consumidores (internos y externos), que como se ha mencionado pueden formar parte de la cadena de suministros.

Dentro de la empresa, que se tomó como parte de la presente investigación, existe una variedad de materiales y aplicaciones de los plásticos usados, principalmente siendo piezas de vista y componentes de automóviles, por lo que cada pieza o *número de parte*, como se denominó en la investigación, presenta diferentes características que determinan si esta pieza entra en los estándares de calidad o no. Se presenta un proceso en el que, enfocándonos en el área de producción, se determina que el operador es pieza fundamental y determinante dentro de la actividad productiva.

Con base en el movimiento anterior y al factor más importante en el proceso productivo se elige una vertiente a investigar; debido a la diversa y compleja aplicación de los robots se determina como punto central de este documento, obteniendo de esta manera la propuesta presentada en el capítulo cuatro. Se hace

énfasis dentro de la investigación sobre una colaboración de ambas fuerzas productivas, de tal modo que coexistan en el puesto de trabajo presentado anteriormente. Pues dado el análisis anterior representarán un punto de quiebre dentro de la empresa, en cuanto a la calidad de las piezas, estandarización y mejora de tiempos; los robots colaborativos evitarán desgaste físico en los operadores al realizar la tarea de inspección, que se definió como la más importante, mejorando la separación de piezas buenas, de las que no lo son y facilitando las tareas de re trabajo, ensamble y empaque para los operadores. Uno de los principales impactos dentro de la línea de producción será la notable reducción de piezas no conformes a los estándares de calidad, pues el robot colaborativo se encargará de segregar estas piezas mediante su principal tarea, la inspección, fortalecerá las actividades adicionales que tiene el operador al poder concentrarse en el re trabajo y el empaque de piezas, lo que al mismo tiempo produce un impacto en el departamento de calidad, que tendrá la certeza del material liberado dentro de la línea de producción y se evitará una inspección al cien por ciento en almacén. Se tendrá una estandarización en cuanto tiempo y proceso de inspección, recalcando que los operadores deberán saber realizar esta tarea, aunque el robot colaborativo sea el responsable de la misma.

Finalmente, la actualización de las máquinas, robots en este caso, debe ser tomado como área de oportunidad en las organizaciones, más allá de una competencia, pues como se ha establecido a lo largo de la investigación, estos robots están diseñados para trabajar mano a mano con los operadores, evitando riesgos y enfermedades laborales, cuidando su integridad e impulsando su desarrollo como técnicos, sin necesidad de una carrera específica, de tal modo se presenta una oportunidad de inversión para las empresas, capacitando a sus empleados, implementando nuevas herramientas y obteniendo mejores resultados en la calidad de sus productos. No hablamos de una competencia, sino de un coexistir de ambos recursos y su aprovechamiento conjunto.

Como mencionan los investigadores del MIT Erik Brynjolfsson y Andrew McAfee en su libro *“La carrera contra las máquinas (2011)”*.

“La raíz de nuestros problemas no es que estamos en una gran recesión, o un gran estancamiento, sino más bien en las primeras etapas de una gran reestructuración. Nuestras tecnologías están avanzando, pero muchas de nuestras habilidades y organizaciones están rezagadas. Por lo tanto, es urgente que entendamos estos fenómenos, discutamos sus implicaciones y presentemos estrategias que permitan a los trabajadores humanos avanzar con las máquinas en vez de competir contra ellas”.

Referencias

- ARQHYS. (2017). *Tipos de Obreros*. Obtenido de https://www.arqhys.com/tipos_de_obreros.html
- Arrieta, E. (Junio de 2017). *Fabricación inteligente de productos inteligentes. Gobierno de Navarra*. Obtenido de http://www.fundacionfin.es/industria40/?page_id=59
- Automotive. (2018). *Automotive México*. Obtenido de <http://mexico.automotivemeetings.com/index.php/es/industria-automotriz-en-mexico>
- BBVA. (2018). *Finanzas de un vistazo*. Obtenido de <https://www.bbva.es/general/finanzas-vistazo/empresas/clasificacion-de-empresas-por-tamano/index.jsp>
- Bembibre, C. (Julio de 2009). *Definición ABC*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/operadores.php>
- Cámara Argentina de la Industria Plástica, C. (2018). *CAIP*. Obtenido de Tipos de plásticos: <https://caip.org.ar/tipos-de-plasticos/>
- Científicos, T. (12 de Agosto de 2005). *ABS*. Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>
- ClasificaciónDe. (2015). *Clasificación de Robots*. Obtenido de <https://www.clasificacionde.org/clasificacion-de-robots/>
- Deloitte. (Octubre de 2018). *Deloitte España*. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html>
- Díaz, F. (2012). *Departamento de ingeniería*. Obtenido de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/conformado%20de%20plasticos.pdf
- Editorial, E. (30 de septiembre de 2018). *Reporte Digital*. Obtenido de <https://reportedigital.com/iot/evolucion-robotica-industrial/>
- ENGEL. (3 de Febrero de 2016). *Tecnología del plástico*. Obtenido de <http://www.plastico.com/temas/Industria-40-y-alta-tecnologia-para-moldeo-por-inyeccion+110563>
- Enseñanzas Técnicas, M. P. (2017). *Enseñanzas Técnicas - Materiales*. Obtenido de <http://ocw.usal.es/ensenanzas-tecnicas/materiales-ii/contenidos/PLASTICOS.pdf>
- Etitudela. (2017). *Robótica*. Obtenido de <http://www.etitudela.com/profesores/rpm/rpm/downloads/robotica.pdf>

- Expansión. (2018). *Expansión*. Obtenido de <http://www.expansion.com/diccionario-economico/fifo-first-in-first-out.html>
- FANUC. (2018). *Robots Colaborativos*. Obtenido de <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/%D1%80obots-colaborativos>
- FANUC. (2019). *Funciones de visión para robots*. Obtenido de <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/accesorios/visi%C3%B3n>
- FANUC. (2019). *M-10iA/7L*. Obtenido de <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/serie-m-10/m-10ia-7l?returnurl=https%3A%2F%2Fwww.fanuc.eu%2Fes%2Fes%2Frobots%2Fp%25C3%25A1gina-filtro-robots%23%3Ft%3Df85174c3298e40a9aa0e0c4527523f66%2C030001b7b73a4d45ac7b6acfd2170c2d>
- Financiero, E. (10 de Abril de 2018). Robots colaborativos para Pymes. *El Financiero*.
- Galdós, J. O. (23 de Septiembre de 2016). *Los retos de la PRL*. Obtenido de http://www.osalan.euskadi.eus/contenidos/informacion/ponencias_jt160923_retos_nntt/es_def/adjuntos/ponencia_jon_olazar_jt160923.pdf
- González, V. R. (Marzo de 2002). *Robótica Industrial*. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/industrial.htm
- Guerrero, M. (12 de junio de 2017). *Kaizen, Mejora continua*. Obtenido de <https://manuelguerrerocano.com/investigando-sobre-la-industria-4-0/>
- Hauser, J. (6 de Noviembre de 2018). Falta de especialización en México frena inversiones alemanas. (V. Alcántara, Entrevistador)
- Hollen, J. v. (2018). Robots Colaborativos se abren camino en México. *Milenio*.
- INEGI. (2018). *PRODUCTO INTERNO BRUTO DE MÉXICO DURANTE EL SEGUNDO TRIMESTRE DE 2018*. México: INEGI.
- infoPLC. (3 de Diciembre de 2011). *Robótica e industria 4.0*. Obtenido de <http://www.infoplac.net/actualidad-industrial/item/861-los-limites-de-la-industria-de-automatizacion-industrial-en-argentina>
- Interempresas. (29 de Mayo de 2018). Interempresas, Plástico. Milán.
- IPA, E. (2019). *Atarbac*. Obtenido de <https://www.expoipa.com/img/News/ExpoIPAImagenesGrafica2.jpg>

- Islas, E. G. (15 de Octubre de 2018). Robots Colaborativos se abren camino en México . *Milenio*, págs. <http://www.milenio.com/negocios/robots-colaborativos-se-abren-camino-en-mexico>.
- ISO. (Marzo de 2002). *Robótica Industrial*. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/industrial.htm
- MANUEL, G. (19 de Noviembre de 2016). *Kaizen, Mejora Continua*. Obtenido de <https://manuelguerrerocono.com/robots-colaborativos-la-industria-4-0/>
- Mariano. (1 de Agosto de 2011). *Tecnología de los plásticos*. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/polisulfuro-de-fenileno-pps.html>
- McGugan, C. (2018). Robots Colaborativos se abren camino en México. *Milenio*.
- Mexpolímeros. (2018). *Polisulfuro de fenileno*. Obtenido de <https://www.mexpolimeros.com/pps.html>
- Movicontrol. (11 de Julio de 2018). *Movicontrol Ingeniería mecatrónica*. Obtenido de <https://movicontrol.es/robots-colaborativos/>
- POLICONOMICS. (2017). *Policonomics*. Obtenido de <https://policonomics.com/es/lp-la-economia-de-un-pais-macroeconomia/>
- PyME. (13 de Junio de 2017). *Santander PyME*. Obtenido de <https://www.santanderpyme.com.mx/detalle-noticia/7-tecnologias-esenciales-de-la-industria-40.html>
- QuimiNet. (6 de Agosto de 2014). *QuimiNet*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/nueva-tecnologia-en-inyeccion-3841822.htm>
- Sanchon, N. (2018). Robots colaborativo se abren camino en México . *Milenio*.
- ShineWell. (2019). *Shine Well Machinery*. Obtenido de <https://spanish.prm-taiwan.com/com/shinewell.html>
- Suárez, B. (30 de Agosto de 2016). *Red de centros SAT* . Obtenido de <https://www.fundacionctic.org/sat/articulo-la-industria-40-aclarando-conceptos>
- Ultimaker. (16 de Mayo de 2017). *Ficha de datos Técnicos ABS*. Obtenido de <https://ultimaker.com/download/67619/TDS%20ABS%20v3.011-spa-ES.pdf>
- VINSSA. (25 de Abril de 2016). *Robots Industriales*. Obtenido de VINSSA: <https://vinssa.com/news/robots-industriales-historia-clasificacion-y-funcionalidad146912>

Wikipedia. (2018). *Wikipedia*. Obtenido de
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b2/Industry_4.0_es.png/500px-Industry_4.0_es.png