Recibido** 27/07/2020* ***ReCIBE, Año 9 No. 2, Noviembre 2020

***Aceptado** 11/11/2020*

Aplicación del internet industrial de las cosas (ioT)en líneas de manufactura por proceso de moldeo por inyección de plástico.

Application of the industrial internet of things (ioT) in manufacturing lines by plastic injection molding process.

Jesus Ivan Aguilar Lugo[1]

jesus.aguilar@uabc.edu.mx

JorgeEduardoIbarraEsquer[1]

jorge.ibarra@uabc.edu.mx

Marlenne Angulo Bernal[1]

mangulo@uabc.edu.mx

[1]Universidad Autónoma de Baja California

Resumen: Las revoluciones industriales han impulsado el desarrollo tecnológico, social y económico. Una de las industrias que se ha beneficiado por los avances tecnológicos es la de moldeo por inyección de plástico, que recientemente ha incorporado tecnologías de la industria 4.0. A partir de esto, el presente documento tiene como objetivo posicionarnos en el contexto de la industria de moldeo por inyección de plástico y el progreso de la industria 4.0 aplicada a sus procesos. Esta industria conlleva un proceso complejo controlado, que requiere el uso de herramientas estadísticas que muestren el comportamiento y resultados del proceso. Los datos se suelen recopilar de forma manual, con fallas u omisiones que generan problemas en diversas áreas. Se plantea entonces utilizar tecnologías de industria 4.0 para aumentar la eficiencia, descifrar tendencias y optimizar recursos y procesos, partiendo de la noción que el uso de estas tecnologías facilita la toma de decisiones acertadas en base a datos extraídos de producción, mejorando el análisis de las causas raíz de la problemática. Por medio de una revisión sistemática de literatura se encuentran casos exitosos de implementación, conceptos en el campo del Internet Industrial de las Cosas y la relación entre la industria de moldeo por inyección y la industria 4.0, con resultados utilizables como referencia para el planteamiento de nuevos proyectos y soluciones por parte de la comunidad interesada en la industria de moldeo por inyección de plástico.

Palabras clave: Internet Industrial, Industria de moldeo por inyección de plástico, Industria 4.0.

Abstract: Industrial Revolutions have been a key part for the technological, social and economic development. Among these industries one that has gained advantage from the technological advances is the plastic injection molding, which recently has integrated Industry 4.0 technologies. From here on the current white paper has the following objective: Positioning on the Industry 4.0 context applied to the Injection molding industry main process. This industry maintains a complex controlled process, which requires the use of statistical methods that display the behavior and outcomes of the process. Data is often acquired manually, which leads to misinformation that could generate issues on different departments. The proposal is to use industry 4.0 technologies to raise efficiency, discover tendencies and optimize resources and processes, starting from the notion that these technologies makes easier the successful decision-making stage based on the data extracted from production, enhancing the root cause analysis for the main issues. By a systematic literature revision, successful cases of integration have been found along with Industrial Internet of things concepts and the relation between industry 4.0 and injection molding industry, the results on the cases can be useful for the injection molding industrial community to integrate this type of solution on their business.

Keywords: Industrial Internet, Plastic injection molding industry, Industry 4.0.

1.- Introducción

1.1 Antecedentes:

Las industrias han impulsado el desarrollo tecnológico, social y económico en la historia del ser humano, con logros que se hicieron tangibles por medio de lo que llamamos revoluciones industriales. Una revolución implica un cambio fuerte y profundo en los sistemas económicos y estructuras sociales, con efectos duraderos o permanentes en los sistemas productivos.

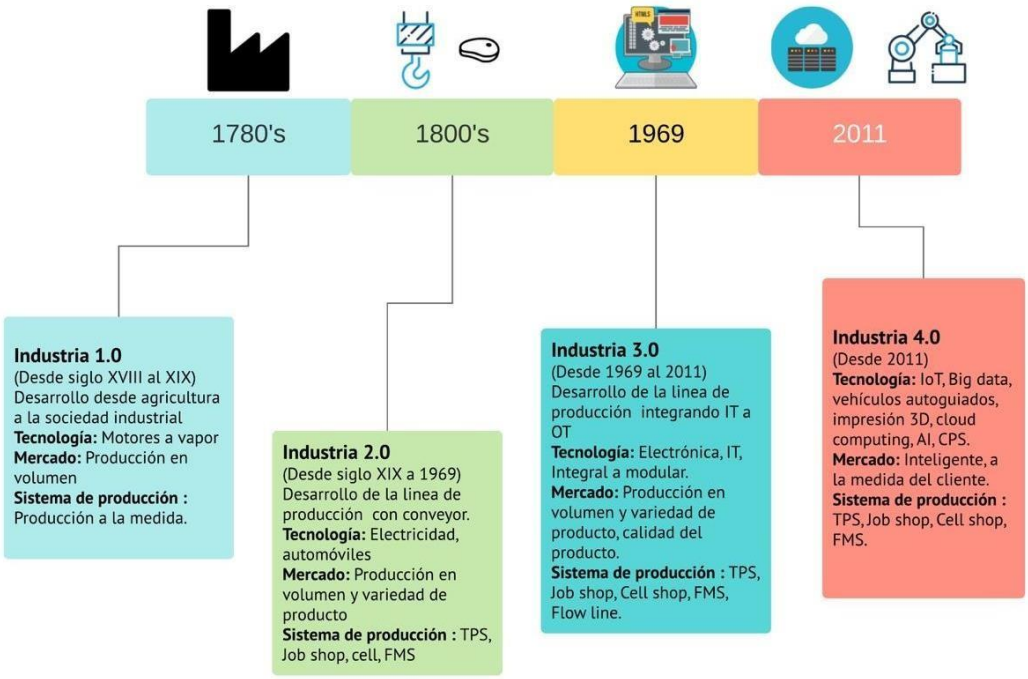

Figura 1. Línea de tiempo de la industria 1.0 - 4.0 basado en (Yong Yin, Kathryn E. Stecke & Dongni Li, 2018).

Como precursora de la revolución industrial se puede considerar a la transición de una cultura nómada a una sedentaria, gracias al establecimiento de un sistema de producción local de alimentos a partir de la agricultura. Esto trajo como consecuencia la necesidad de crear sistemas de transporte, comunicación y modelos económicos entre las diferentes regiones, así como un incremento en la población de estas. A esta etapa siguieron cambios paulatinos hasta llegar a lo que actualmente conocemos como revoluciones industriales, cuyas características más evidentes se muestran en la figura 1 y se describen a continuación (ACATECH, 2013), (Klaus Schwabm, 2016):

- Primera Revolución Industrial fue en el siglo XVIII (1780s) y tuvo lugar en Inglaterra. Las primeras máquinas mecánicas energizadas por medio de vapor hacen su aparición, dejando las casas como fábricas obsoletas para centralizar los negocios en lo que llamamos maquiladoras ocasionando un incremento notable en la productividad.

- Segunda Revolución Industrial, inicia alrededor de 100 años después de la primera (siglo XIX) en las carnicerías de Cincinnati, Ohio, encontró su aplicación más fuerte en las fábricas automovilísticas Ford, en Estados Unidos, al introducir el “Conveyor” o banda automatizada. Así mismo, a partir de esta etapa se involucra la energía eléctrica para la producción en masa.

- Tercera Revolución Industrial, comenzó en el siglo XX (1969) presentándose el primer Controlador Lógico Programable (PLC) y con ello la posibilidad de utilizar programación digital para la automatización de procesos. Además, se introduce la electrónica y el uso de tecnologías de la información. Utilizando estas herramientas de programación de procesos, en la actualidad se ha logrado obtener sistemas automatizados bastante flexibles y eficientes (Drath, R., & Horch, A., 2014), (ACATECH, 2013), (Klaus Schwabm, 2016).

- La Industria 4.0 y su sinónimo Cuarta Revolución Industrial se remonta a Alemania 2011 en la "Hannover Fair" donde se hizo mención del término "Industrie 4.0" como sinónimo de "Cyber-Physical Systems (CPS)" aplicados al dominio de la manufactura o "Cyber-Physical Production Systems (CPPS)". Desde entonces el tema de Industria 4.0 se ha expandido teniendo en cuenta estos principios (Vogel-Heuser, B., & Hess, D., 2016):

  -Servicios de orientación: "CPPS" ofreciendo servicios a través del Internet.

  -Auto organización inteligente: "CPPS" que puedan tomar decisiones propias descentralizadas.

  -Interoperabilidad entre "CPS", hombre y "CPPS": Agregar y representar información para la fácil interpretación de ingeniería y mantenimiento, virtualización del sistema en sus diferentes niveles, información de los datos relevantes en los procesos con posibilidad de verlos en tiempo real.

  -Fácil adaptación y flexibilidad a los cambios de requerimientos, reemplazando o expandiendo módulos.

  -Algoritmos de "Big Data" y tecnologías capaces de procesar en tiempo real.

  -Optimización de procesos de manufactura basados en algoritmos y datos para el incremento de la eficiencia.

  -Integración de datos por medio de ingeniería interdisciplinar a través del ciclo de vida basado en la estandarización de modelos de información.

  -Comunicación segura a través del Internet, en la nube.

1.2 Contexto:

En este documento haremos referencia a muchos conceptos que se hacen mención cuando hablamos de industria 4.0, como lo son:

1.- Cyber-Physical Systems (CPS): Son sistemas inteligentes que incluyen interacción de redes compuestas de componentes físicos y computacionales (Griffor, E. R., Greer, C., Wollman, D. A., & Burns, M. J., 2017). Una definición más completa desde su origen en sistemas de ingeniería y control es: “Es un sistema de elementos computacionales que colaboran para controlar entidades físicas. Cuando un sistema mecánico y eléctrico están en red utilizando componentes de software. Usan conocimiento e información compartida de procesos para controlar de manera independiente la logística y los sistemas de producción” (Greer, C., Burns, M., Wollman, D., & Griffor, E., 2019).

2.- Internet of Things (IoT): El concepto es muy similar a CPS, sin embargo, su origen proviene del punto de vista de redes y tecnología de la información integrando el mundo digital al mundo real. Se han propuesto muchas definiciones para el IoT, pero de manera general, puede describirse como la conjunción de varias tecnologías que permiten el acceso a servicios y aplicaciones basadas en el Internet a partir de dispositivos electrónicos conectados a objetos físicos, o cosas, con el fin de adquirir datos y controlar procesos (Greer, C., Burns, M., Wollman, D., & Griffor, E., 2019).

3.- Industrial Automation & Control Systems (IACS): se describe como un conjunto de sistemas de control e instrumentación de diferente tipo que incluyen dispositivos, sistemas, redes y controles usados para la automatización de procesos industriales (Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T., 2018).

4.- Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA): se describe como un Sistema que permite al operador, localizado en cualquier parte, poder hacer un cambio en procesos a distancia, así como el monitoreo de ciertas variables o alarmas. Regularmente se compone por un centro de control que monitorea un sistema o maquinaria. Se puede decir que es el precursor al IIoT. Sin embargo, este carece de capacidades como el análisis de información y el nivel de conectividad que se encuentra en aplicaciones IIoT hoy en día (Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T., 2018).

5.- Industrial Internet: El consorcio del Internet Industrial de las Cosas (Industrial Internet of Things Consortium o IIC) nos da la definición como:
“Internet of things, machines, computers and people, enabling intelligent industrial operations using advanced data analytics for transformational business outcomes” / “Internet de las cosas, máquinas, computadoras y personas, habilitando operaciones inteligentes que realizan análisis avanzado de datos para la transformación de resultados en negocios.”(IIC:PUB:G8:V2.1:PB:20180822).

6.- Industrial Internet of Things (IIoT): El internet industrial es un sistema compuesto por elementos inteligentes conectados, cyber-physical assets, tecnología generadora de información genérica y plataformas opcionales de cómputo en la nube (cloud) o en la rama (edge), que habilitan en tiempo real el acceso, recolección, análisis, comunicación, el intercambio de procesos, productos y/o información de servicios en el entorno industrial, así como la optimización del valor de la producción. Este valor puede incluir; mejora en la entrega del producto o servicio, incremento en la productividad, reducción de costos, reducción de consumo de energía y reducción de ciclos en productos a la medida (Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T., 2018).

7.- Sensores: Elemento que transforma una forma de energía a otro tipo de energía, algunos sensores tienen un conjunto de sensores (Greer, C., Burns, M., Wollman, D., & Griffor, E., 2019).

8.- Actuador: Dispositivo que realiza una función de salida para controlar un dispositivo externo, por ejemplo: cilindros, luces, sonido, imágenes, etc... (Greer, C., Burns, M., Wollman, D., & Griffor, E., 2019).

Los conceptos de IoT y CPS tienen puntos en común que hacen que en ocasiones sean utilizadas de forma indistinta, o llevan a representaciones como la que se observa en el diagrama de Venn de la figura 2. Estos traslapes se deben a las capacidades que conllevan conectar el mundo real al que en definición de CPS se toma como la “entidad física o sistemas de ingeniería” o por sus siglas en inglés “Physical”, mientras que en la definición de IoT se toma como “Cosa” o por su sigla en inglés “Thing”. Sin embargo, en este último se denomina como “cosa” también a las entidades virtuales, ya que su objetivo es relacionar lo físico con lo digital, otorgándole una etiqueta a este ente físico.

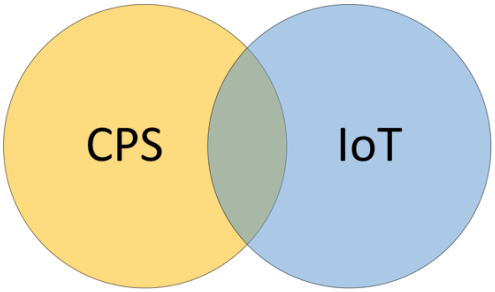

Figura 2. Representación de la visión sobre el traslape entre los conceptos de IoT y CPS (Greer, C., Burns, M., Wollman, D., & Griffor, E., 2019).

Ambos puntos de vista tratan de relacionar el mundo físico con el digital a través de sensores y tecnología interactiva. Sin embargo, la diferencia puede encontrarse en la perspectiva que cada uno le da a sus componentes. El CPS se entiende como un sistema que toma como prioridad el intercambio y retroalimentación de información para el sensado y control de actuadores del mundo físico, buscando establecer un sistema de ciclo cerrado y tomando a la persona como un factor necesario que interactúa con el sistema, lo cual se observa en el diagrama a bloques de la figura 3.

Por otra parte, la perspectiva del IoT es priorizar la interconexión de todas las cosas en el mundo real, brindando la flexibilidad de tener una estructura más abierta. Adicionalmente, esta pretende eliminar la interacción del humano con el sistema y realizar la retroalimentación por medio de algoritmos de inteligencia artificial que realicen las correcciones pertinentes, con una estructura similar a la que se observa en el diagrama de la figura 4 (Greer, C., Burns, M., Wollman, D., & Griffor, E., 2019).

Dado que ambos se encuentran en la categoría de Sistema de Sistemas (SoS), se pueden diseñar e implementar de forma modular. Es decir, uno de estos sistemas puede consistir en múltiples CPS o tecnologías IoT (Greer, C., Burns, M., Wollman, D., & Griffor, E., 2019). A manera de ejemplo, en la figura 4 se tiene un sistema implementado desde el punto de vista de las tecnologías IoT, donde su salida es dirigida hacia un sistema CPS que implementa el bloque de función 2.

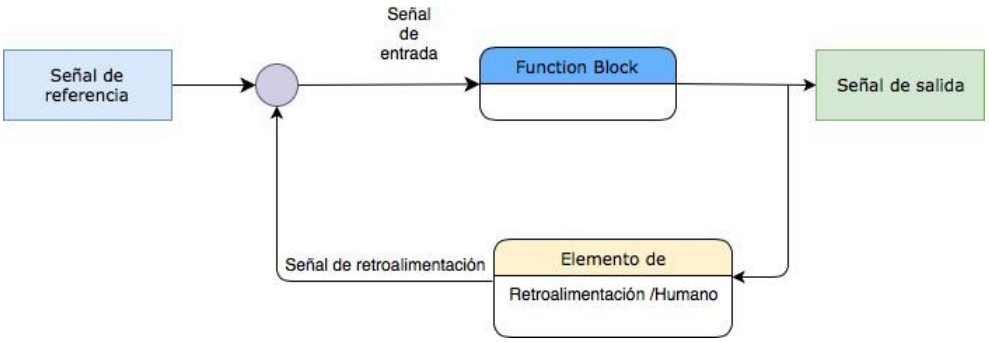

Figura 3. - Sistema desde el punto de vista de tecnología CPS

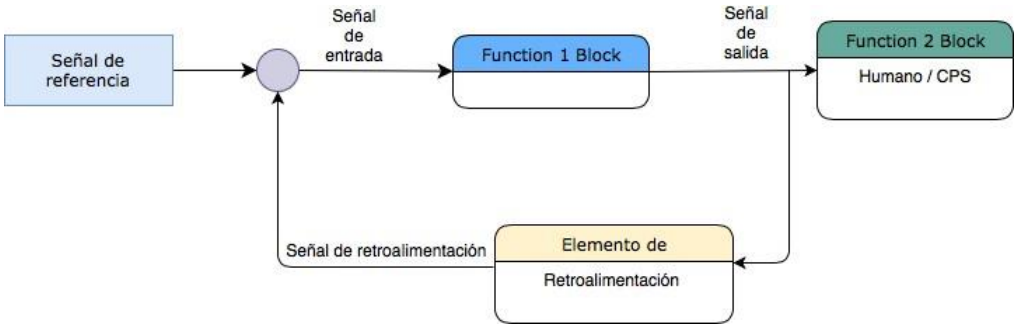

Figura 4. - Sistema desde el punto de vista de tecnología IoT

Se observa entonces que el interés inicial del IoT estaba centrado en ser un punto central de conexión y comunicación para objetos físicos capaces de obtener datos de su entorno, pero ha ido cambiando a un enfoque más completo donde se destaca la importancia para individuos y organizaciones de acceder a dichos datos y administrar sus objetos conectados para así maximizar su producción y beneficios. Las proyecciones que estiman billones de objetos conectados creando enormes cantidades de datos y facilitando monitorear y controlar procesos de forma automatizada generan un enorme interés en establecer al IoT como una tecnología productiva dentro de diferentes sectores, como son:

- Industria: Tomar mejores decisiones de negocio a partir del análisis de datos, realizar un uso más eficiente de sus recursos y explorar oportunidades de nuevos modelos de negocio.

- Academia: Existen varias líneas de investigación vigentes en torno al IoT (Stankovic, 2014) que pueden fomentar y promover la cooperación y vinculación entre grupos de interés pertenecientes tanto a sectores académicos como industriales.

- Sociedad: La promesa de productos y servicios que mejorarán las condiciones de vida y actividades diarias por medio de la integración de tecnologías inteligentes para el hogar, escuelas, hospitales, edificios e incluso ciudades.

En este caso en particular se enfocará en la industria de moldeo por inyección de plástico cuyo proceso se describe a continuación: El ciclo empieza en una tolva donde la resina del polímero es alimentada hacia el proceso. Aquí se muestra la primera variable en el proceso: la termodinámica del polímero se ve afectada por colorantes o resistencia a rayos ultravioleta, así como contaminantes o composición del material en caso de resina reciclada. Después la resina es presionada a través de un cilindro a alta temperatura donde dentro se encuentra un tornillo girando a altas revoluciones, fundiendo y mezclando la resina. En este punto se toma en cuenta como segunda variable a la distribución de la resina en la tolva, ya sea por la geometría de material reciclado o la resina virgen, así como el aire que entra en el cilindro que pudiese afectar la presión y temperatura del proceso de fundición. Cuando se tiene la mezcla lista, esta se hace pasar a través de la nariz del cilindro hacia el bebedero del molde cerrado. Una vez que la cavidad del molde se llena, este se refrigera activamente por medio de agua o aceite, acortando el tiempo del ciclo. Al enfriarse el polímero, se ocasiona una variación en la presión y temperatura, donde el flujo de esta última y el tiempo de enfriamiento tienen un efecto en la calidad del producto. Además, estas variables se pueden ver afectadas de una pieza a otra por situaciones como la solidificación de resina en la entrada de la cavidad, lo que provoca una obstrucción en el punto de inyección, que a su vez ocasiona un cúmulo de presión en el cilindro que afecta a la siguiente parte a producir (Charest, M., Finn, R., & Dubay, R., 2018).

El moldeo por inyección de plástico interactúa principalmente con los siguientes objetos que son los que se tienen que cuidar en un mantenimiento: unidad de inyección, tornillo, nariz y molde, como se puede observar en la figura 5. Es en estos componentes donde se pueden integrar las tecnologías del IIoT para medir las variables que permitan monitorear y controlar el proceso.

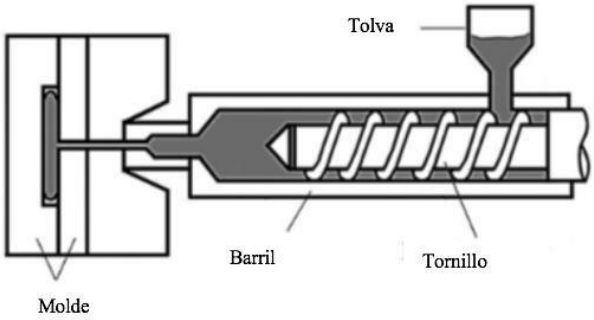

Figura 5. Vista general de componentes fundamentales que componen el moldeo por inyección de plástico (Zheng R., Tanner R.I., Fan XJ., 2011).

El objetivo de realizar esta revisión es documentar experiencias sobre la aplicación de tecnologías de IIoT o Industria 4.0 en el contexto de la industria de moldeo por inyección de plástico. A través de la búsqueda en fuentes de prestigio, se identifican bases científicas y técnicas sólidas empleadas en su implementación.

La revisión sigue las recomendaciones de PRISMA (Urrútia, G., & Bonfill, X., 2010), que guían en la búsqueda ordenada sobre diferentes aplicaciones documentadas en bases de datos de peso en la comunidad científica, donde además no se identificaron estudios de este tipo referentes a este campo de aplicación de la tecnología.

Los resultados que se reportan son útiles para que la comunidad relacionada con esta industria analice las experiencias derivadas de casos de implementación exitosos, y contribuyan a desarrollar una perspectiva de análisis que permita afrontar la problemática día a día en las celdas o líneas de producción, utilizando una visión centrada en el Internet de las Cosas y sus herramientas versátiles.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente forma. La sección 2 presenta la metodología utilizada para la búsqueda del estado del arte contenida en el presente artículo, en la sección 3 podemos encontrar los resultados de dicha búsqueda organizado según sea el tipo de aplicación y su fuente de peso donde se puede encontrar la información y en la sección 4 se encuentra las conclusiones obtenidas en base a los casos recopilados, su utilidad y su posible utilización en el futuro.

2.- Metodología

Se plantea la siguiente metodología basada en el modelo PRISMA (Urrútia, G., & Bonfill, X., 2010) que, aunque está diseñada con enfoque en el campo de medicina, su estructura puede ser utilizada para la elaboración de revisiones actualizadas en otras áreas. El apartado de métodos fue implementado de la manera que se expone a continuación:

2.1 Métodos:

2.1.1 Criterios de elegibilidad:

Se busca que las publicaciones de consulta utilizadas cumplan con una antigüedad de no más de 5 años para la búsqueda de conceptos y principios. Con respecto a casos de éxito, el objetivo es recopilar integraciones exitosas para identificar la evolución de esta tecnología, se buscó que se cumplieran algunos principios explicados en la sección anterior. Las publicaciones se obtuvieron utilizando las siguientes cadenas de búsqueda, formuladas para obtener la mayor cantidad posible de resultados y mismas que se adaptaron a las condiciones de cada uno de los motores de búsqueda.

Cadenas de búsqueda:

- Industrial Internet of Things (IIoT)
- Molding 4.0
- Industry 4.0
- Injection Molding & Industry 4.0

2.1.2 Fuentes de información:

Las bases de datos e índices principales que se consideraron para la búsqueda de publicaciones se listan a continuación:

- IEEE Xplore
- Elsevier Science Direct
- Springer Link
- Scopus
- IoP Science
- ACM Digital Library

De manera complementaria, y a fin de encontrar documentos de interés adicionales, se consideraron las siguientes bases de datos auxiliares:

- ResearchGate
- Google Scholar

2.1.3 Búsqueda:

Para la fase de búsqueda y selección de documentos se siguieron los pasos mostrados en el diagrama de la figura 6 (Ibarra-Esquer, J., González-Navarro, F., Flores-Rios, B., Burtseva, L., & Astorga-Vargas, M., 2017), donde:

ST= cadena de búsqueda
SO= Fuente de búsqueda
SD= Documento seleccionado
J= Publicaciones en revistas / Journals
C= Publicaciones en conferencias.

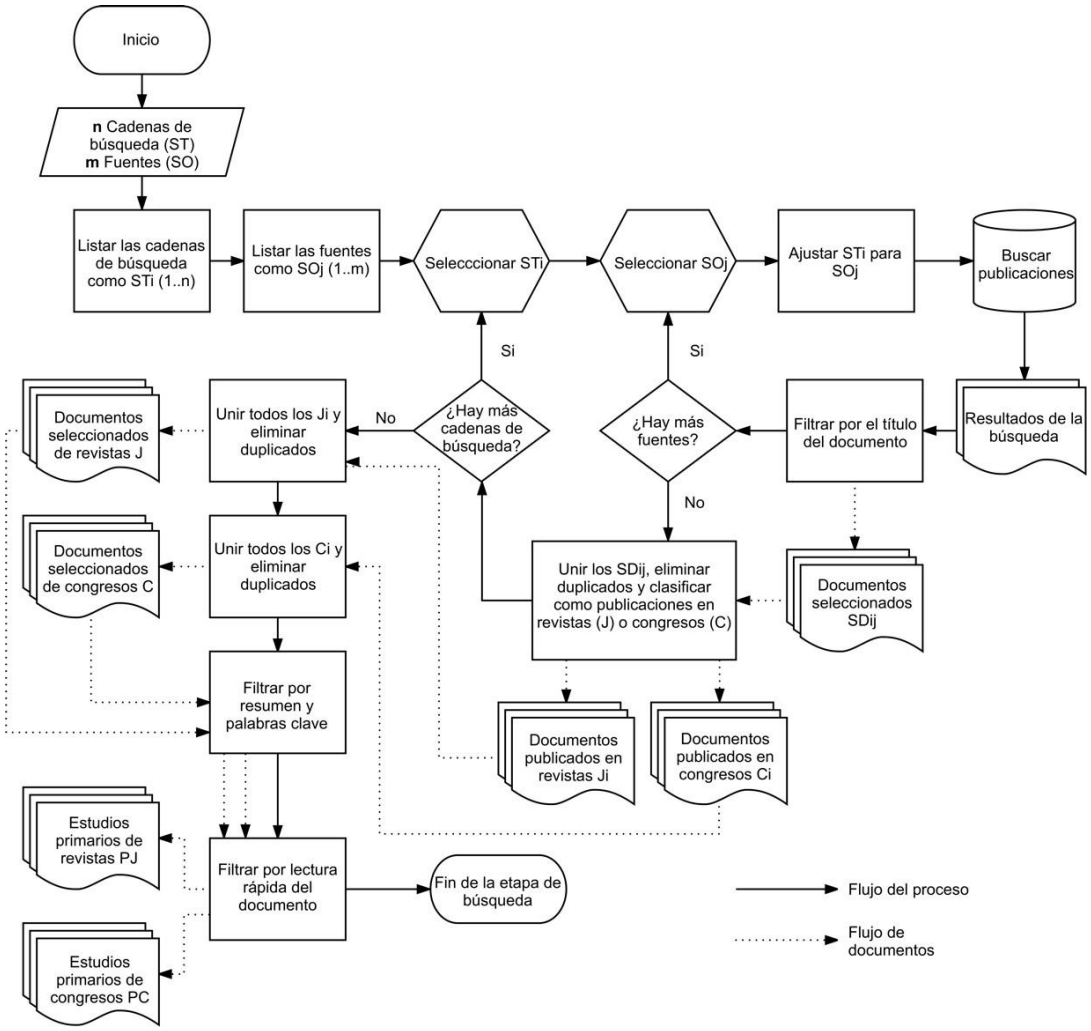

Figura 6. Diagrama de flujo para la etapa de búsqueda de la revisión de literatura (Ibarra-Esquer, J., González-Navarro, F., Flores-Rios, B., Burtseva, L., & Astorga-Vargas, M., 2017).

Se inicia con una lista de cadenas de búsqueda y un conjunto de fuentes de consulta o bases de datos. Cada cadena se adapta a los requerimientos del motor de búsqueda de cada fuente y de los documentos obtenidos se seleccionan aquellos que el título indique un interés potencial. Tras obtener los resultados de todas las fuentes, se identifican documentos duplicados y se eliminan, clasificando además entre documentos publicados en revistas y congresos. La operación se repite para cada cadena de búsqueda.

Al terminar, se integran los resultados de todas las fuentes y nuevamente se identifican y eliminan duplicados. Un segundo filtro consiste en revisar el resumen y palabras clave, llegando así a una selección de documentos más específica para los objetivos de la revisión. Los documentos restantes se someten a un proceso de lectura rápida, tras el cual se llega al conjunto de documentos que se tomará como resultados primarios de la revisión.

3.- Resultados

3.1 Resultados numéricos de búsqueda:

Después de aplicar los filtros se depuran los registros hasta obtener los documentos de interés para la correspondiente investigación, en las tablas se visualizan los resultados después de cada paso en la depuración según lo estipulado en la revisión sistemática de la figura 6, en la tabla 1 se encuentran todos los artículos encontrados con títulos alusivos al tema de interés encontrados en las bases de datos primarias y de soporte; en la tabla 2 se depuran estos resultados al revisar los resúmenes que contienen los documentos y seleccionar los que contienen casos de interés exitosos y en la tabla 3 se seleccionan en base a la revisión completa del contenido de los documentos.

Cadenas de búsqueda	Base de datos						
	IEEE Xplore Search	ScienceDirect	Springer Link	Scopus	IOP Science	Google Scholar	ResearchGate
Molding 4.0	2	6	0	1	0	0	0
Injection Molding & Industry 4.0	1	10	3	3	2	1	0
Industry 4.0	23	6	0	4	0	7	0
IIOT	8	1	0	8	0	4	1

Tabla 1. Artículos seleccionados en base a títulos. Fecha de consulta: Noviembre 2019.

Cadenas de búsqueda	Base de datos						
	IEEE Xplore Search	ScienceDirect	Springer Link	Scopus	IOP Science	Google Scholar	ResearchGate
Molding 4.0	2	6	0	1	0	0	0
Injection Molding & Industry 4.0	1	8	1	3	2	1	0
Industry 4.0	8	3	0	4	0	1	0
IIOT	3	1	0	8	0	4	1

Tabla 2. Artículos seleccionados en base a la revisión del resumen. Fecha de consulta: Noviembre 2019.

Cadenas de búsqueda	Base de datos					
	IEEE Xplore Search	ScienceDirect	Springer Link	Scopus	IOP Science	Google Scholar
Molding 4.0	1	6	0	1	0	0
Injection Molding & Industry 4.0	1	4	0	3	2	1
Industry 4.0	0	0	0	0	0	0
IIOT	1	0	0	0	0	0

Tabla 3. Artículos seleccionados en base a contenido. Fecha de consulta: Noviembre 2019.

Inicialmente se encontraron 90 documentos a partir de las cadenas de búsqueda y tomando como criterio de selección el título. A partir de la revisión de los resúmenes el número de documentos se redujo a 57. Una lectura rápida de los contenidos de los trabajos permitió filtrar y seleccionar los 20 documentos primarios para la revisión de literatura.

3.2 Selección de los estudios:

Siguiendo el diagrama de flujo en la figura 6, de los documentos de interés por contenido se seleccionaron los estudios donde se implementaron tecnologías de industria 4.0 o IIoT para la industria de moldeo por inyección de plástico. Estos se clasificaron cronológicamente para observar más de cerca la evolución que ha tenido la implementación de dichas tecnologías a lo largo del tiempo, así como las diferentes maneras de poder abordar la problemática que se plantea en cada caso de estudio. Los estudios seleccionados se muestran en la tabla 4, incluyendo la fuente de la que fueron obtenidos.

Año	Título de la publicación	Autor	Fuente
2020	Lean Manufacturing 4.0 of Polymeric Injection Molding Products.	Dănuţ-Sorin, I. R., Opran, C. G., & Lamanna, G.	*SCOPUS: Macromolecular Symposia*
2019	In-Mold Sensors for Injection Molding: On the Way to Industry 4.0. *Sensors*	Ageyeva, T., Horváth, S., & Kovács, J. G.	*SCOPUS: Sensors*
2019	AI Based Injection Molding Process for Consistent Product Quality.	Park, H. S., Phuong, D. X., & Kumar, S.	ELSEVIER: *Procedia Manufacturing*
2019	Injection Molding Technology: A New Frontier?: Industry 4.0 is changing the way injection molders fabricate parts.	Romeo, J.	SCOPUS: *Plastics Engineering*
2019	Mold ID Mold Die Tracking System	Balluff	Google Scholar
2018	Integration of artificial intelligence in an injection molding process for on-line process parameter adjustment.	Charest, M., Finn, R., & Dubay, R.	*Annual IEEE International Systems Conference (SysCon)*
2018	A case study on the analysis of an injection moulding machine energy data sets for improving energy and production management.	Rezende, J., Cosgrove, J., Carvalho, S. & Doyle, F.	SCOPUS: Eceee Industrial Summer Study Proceedings.
2018	A Study on Big Data Cluster in Smart Factory using Raspberry-Pi.	Kim, C.-S., & Son, S.-B.	*IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*
2018	Real-time parameter optimization based on neural network for smart injection molding.	Lee, H., Liau, Y., & Ryu, K.	*IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*
2018	Cloud-based Manufacturing Blockchain: Secure Knowledge Sharing for Injection Mould Redesign.	Li, Z., Liu, L., Barenji, A. V., & Wang, W.	ELSEVIER: *Procedia CIRP*
2018	Optimization of mold thermal control for minimum energy consumption in injection molding of polypropylene parts.	Lucchetta, G., Masato, D., & Sorgato, M.	ELSEVIER: *Journal of Cleaner Production*
2018	Monitoring and Control for Thermoplastics Injection Molding A Review.	Ogorodnyk, O., & Martinsen, K.	ELSEVIER: *Procedia CIRP*
2018	Advanced CPS Service Oriented Architecture for Smart Injection Molding and Molds 4.0.	Siller, H. R., Romero, D., Rabelo, R. J., & Vazquez, E.	IEEE: *International Conference on Intelligent Systems (IS)*

2017	The Implementation of Cloud Platform for Injection Molding Process	Jong, W.-R., Chen, S.-C., Wang, S.-M., Liu, S.-H., Liao, H.-L., Ting, Y.-H., & Chen, H.-T.	ELSEVIER: *Procedia CIRP*
2017	A Framework of a Smart Injection Molding System Based on Real-time Data	Lee, H., Ryu, K., & Cho, Y.	*ELSEVIER: Procedia Manufacturing*
2017	Internet-of-Things Enabled Real-time Monitoring of Energy Efficiency on Manufacturing Shop Floors	Tan, Y. S., Ng, Y. T., & Low, J. S. C.	ELSEVIER: *Procedia CIRP*,
2017	Knowledge elicitation for fault diagnostics in plastic injection moulding: A case for machine-to-machine communication.	Vrabič, R., Kozjek, D., & Butala, P.	ELSEVIER: *CIRP Annals*
2017	A novel vision-based mold monitoring system in an environment of intense vibration	Hu, F., He, Z., Zhao, X., & Zhang, S.	IOP SCIENCE: *Measurement Science and Technology*
2016	Customization of mass-produced parts by combining injection molding and additive manufacturing with Industry 4.0 technologies	Gaub, H.	*ELSEVIER: Reinforced Plastics*
2014	A principal component analysis model-based predictive controller for controlling part warpage in plastic injection molding.	Zhang, S., Dubay, R., & Charest, M.	ELSEVIER: *Expert Systems with Applications*

Tabla 4. Estudios seleccionados para la revisión.

3.3 Proceso de extracción de datos:

Una vez que se recopilan los documentos de interés elegidos por medio del resumen en el paso final, se procede a identificar el objetivo de cada uno de los casos de estudio, ya sea que se tenga un objetivo cuantitativo o cualitativo. También se busca identificar los métodos de aplicación con respecto a las tecnologías de industria 4.0, contratiempos y resultados finales en cada caso.

3.4 Datos, medidas y casos de aplicación:

Como se ha podido apreciar hasta este momento y basados en la teoría anteriormente referida con respecto al proceso de moldeo por inyección de plástico, los principales parámetros que influyen en la calidad de la pieza y en el proceso son temperaturas y presiones. Con temperaturas nos referimos a temperatura en la unidad de inyección, en la materia prima, en la herramienta y al final en la pieza moldeada. Esto define nuestro producto en base a las especificaciones que se buscan cumplir por parte del cliente, requerimientos que se ven priorizados y en control por implementación de industria 4.0.

Dado que esto es foco de interés, se han planteado a lo largo del tiempo diferentes soluciones para controlar estas variables. Resumiendo los resultados de estas implementaciones podemos ver que en (Zhang, S., Dubay, R., & Charest, M., 2014), (Tan, Y. S., Ng, Y. T., & Low, J. S. C., 2017), (Vrabič, R., Kozjek, D., & Butala, P., 2017), (Hu, F., He, Z., Zhao, X., & Zhang, S., 2017), (Siller, H. R., Romero, D., Rabelo, R. J., & Vazquez, E., 2018), (Ogorodnyk, O., & Martinsen, K., 2018), (Lucchetta, G., Masato, D., & Sorgato, M., 2018), (Ageyeva, T., Horváth, S., & Kovács, J. G., 2019), (Park, H. S., Phuong, D. X., & Kumar, S., 2019), (Lee, H., Liau, Y., & Ryu, K., 2018) y (Charest, M., Finn, R., & Dubay, R., 2018) se utiliza tecnología de sensores de temperatura y presiones en las cavidades de los moldes; cada una de las implementaciones ha tomado diferentes medidas en acondicionar las herramientas y las máquinas para poder recopilar los datos, mientras que en los casos donde se ha realizado integración de tecnología, se ha buscado que esta sea la adecuada para obtener los resultados deseados, sobre todo en (Ageyeva, T., Horváth, S., & Kovács, J. G., 2019) donde se proponen diferentes maneras de obtener los datos del comportamiento de plástico por medio de tecnologías diversas.

Existen implementaciones donde se destaca el uso de análisis de datos para optimizar el piso de producción (Gaub, H., 2016), (Lucchetta, G., Masato, D., & Sorgato, M., 2018). Se proponen diferentes arquitecturas o encuadres como marco para el desarrollo de operaciones de acuerdo con un esquema de Industria 4.0, un esquema de arquitectura de comunicación entre maquinarias, el desarrollo de una metodología de manufactura esbelta con enfoque de Industria 4.0 (Dănuţ-Sorin, I. R., Opran, C. G., & Lamanna, G., 2020), (Lee, H., Ryu, K., & Cho, Y., 2017), (Romeo, J., 2019), (Vrabič, R., Kozjek, D., & Butala, P., 2017).

También se encuentran propuestas orientadas a priorizar la calidad del producto en cuestión (Jong, W.-R., Chen, S.-C., Wang, S.-M., Liu, S.-H., Liao, H.-L., Ting, Y.-H., & Chen, H.-T., 2017), así como el planteamiento de toda una plataforma de seguimiento para el desarrollo de nuevos productos desde su inicio hasta el final, recopilando la información completa en una base de datos (Li, Z., Liu, L., Barenji, A. V., & Wang, W., 2018). En términos de implementaciones de tecnología de IIoT o Industria 4.0, los autores en (Kim, C.-S., & Son, S.-B., 2018) plantean que no es necesario un equipo costoso para poder realizar una implementación exitosa, mientras que en (Romeo, J., 2019) se muestra el alcance del beneficio de utilizar estas tecnologías.

Así mismo (Balluff, 2019) ofrece tecnologías de industria 4.0 para la optimización del recurso físico por medio de rastreo de objetos que se virtualizan y propician una entrada al sistema de mantenimiento que se alimenta automáticamente, obteniendo un sistema de gestión de objetos a nivel industrial bastante efectivo.

En la tabla 5 se presentan los casos para cada tipo de implementación encontrada, se observa que mayormente esta tecnología está siendo aplicada para la adquisición de datos dentro de los procesos. Además, para cada caso se menciona el segmento de tecnologías que fueron utilizadas en la implementación.

TIPO DE IMPLEMENTACIÓN	CASO APLICADO	TECNOLOGÍAS 4.0
Aplicación de tecnologías IoT para adquisición de datos en proceso	Ageyeva, T., Horváth, S., & Kovács, J. G. (2019).	• Edge
	Charest, M., Finn, R., & Dubay, R. (2018).	• Edge • A.I. Algorithms
	Hu, F., He, Z., Zhao, X., & Zhang, S. (2017).	• Edge • A.I. Algorithms • Big data processing
	Lee, H., Liau, Y., & Ryu, K. (2018).	• Edge • A.I. Algorithms • Big data processing • Business Intelligence • Real time Monitoring
	Lucchetta, G., Masato, D., & Sorgato, M. (2018).	• Edge
	Ogorodnyk, O., & Martinsen, K. (2018).	• A.I. Algorithms • Real time Monitoring
	Park, H. S., Phuong, D. X., & Kumar, S. (2019).	• Edge • A.I. Algorithms • Big data processing
	Siller, H. R., Romero, D., Rabelo, R. J., & Vazquez, E. (2018).	• Edge • A.I. Algorithms • Big data processing • Cloud computing • Real time monitoring • Business Intelligence
	Tan, Y. S., Ng, Y. T., & Low, J. S. C. (2017).	• Edge • Cloud computing • Real time monitoring • Big data processing
	Vrabič, R., Kozjek, D., & Butala, P. (2017).	• Edge • A.I. Algorithms • M2M • Big data processing

	Zhang, S., Dubay, R., & Charest, M. (2014).	• Edge • A.I. Algorithms
Desarrollo de encuadres y despliegue de arquitectura	Dănuţ-Sorin, I. R., Opran, C. G., & Lamanna, G. (2020).	• Edge • A.I. Algorithms • Big data processing • Cloud computing • Real time monitoring • Business Intelligence
	Lee, H., Ryu, K., & Cho, Y. (2017).	• Edge • A.I. Algorithms • Cloud computing • Real time monitoring • M2M
	Kim, C.-S., & Son, S.-B. (2018).	• Edge • A.I. Algorithms • Big data processing • Cloud computing
	Romeo, J. (2019).	• Edge • A.I. Algorithms • Big data processing • Cloud computing • Real time monitoring • Business Intelligence
	Vrabič, R., Kozjek, D., & Butala, P. (2017).	• Edge • A.I. Algorithms • M2M • Big data processing
Análisis de la información en piso de producción	Gaub, H. (2016).	• Business Intelligence • A.I. Algorithms • Cloud computing
	Lucchetta, G., Masato, D., & Sorgato, M. (2018).	• Edge
	Balluff (2019)	• Edge
Análisis de calidad	Jong, W.-R., Chen, S.-C., Wang, S.-M., Liu, S.-H., Liao, H.-L., Ting, Y.-H., & Chen, H.-T. (2017).	• Edge • A.I. Algorithms • Big data processing • Cloud computing • Business Intelligence
	Tan, Y. S., Ng, Y. T., & Low, J. S. C. (2017).	• Edge • Cloud computing • Real time monitoring • Big data processing
	Rezende, J., Cosgrove, J., Carvalho, S. & Doyle, F. (2018).	• Edge • Real time monitoring • Big data processing
	Li, Z., Liu, L., Barenji, A. V., & Wang, W. (2018).	• Edge • Cloud computing • Big data processing
	Park, H. S., Phuong, D. X., & Kumar, S. (2019).	• Edge • A.I. Algorithms • Big data processing

Tabla 5. Casos por tipo de implementación de tecnologías para IIoT.

En la literatura se encuentran publicaciones relacionadas con Industria 4.0 e IIoT y las definiciones y conceptos que las rodean desde 2011. Así mismo, la utilización de tecnologías que implican estos conceptos aplicados en integraciones para el área de manufactura ha ido en aumento, encontrando más casos conforme pasan los años. En este caso particular, donde el enfoque está en la industria de moldeo por inyección de plástico, se encuentra una evolución desde 2014 trabajando con la definición y en cómo se asimila el encuadre de industria 4.0 a este tipo de industria en particular. Se encuentra evidencia con respecto a la utilización de diversas plataformas o arquitecturas para facilitar el trabajo, así como herramientas de minería de datos aplicadas a la eficiencia del proceso.

3.5 Riesgo de sesgo en los estudios individuales:

Dado que se busca encontrar la evidencia de casos lo más actuales posibles, una cantidad importante de esta indica que se están evaluando prototipos o nuevas propuestas de cómo abordar problemáticas. En este sentido los resultados aún no son muy claros, sin embargo, las propuestas de solución implementando estas nuevas herramientas son de interés para la perspectiva de evolución de tecnologías de Industria 4.0. Por lo anterior, este tipo de información documentada se puede encontrar en bases de datos o fuentes de información de menos peso pero que proporcionan un mayor volumen de resultados y acceso a los mismos, como son Google Scholar o ResearchGate. Su uso es como fuente de información auxiliar, puesto que en estas bases de datos se pueden encontrar estudios realizándose actualmente, avances de implementaciones, prototipos o revisiones de propuestas antes implementadas con nuevos enfoques. Es por lo que, si bien sirven para darnos una guía, se tiene que evaluar un tanto más a fondo las referencias o alcance de los estudios que están reportando dichos resultados.

4.- Conclusiones

La industria 4.0 se ha visto en aumento con el tiempo debido a las ventajas que estas tecnologías proveen para el desarrollo productivo de los negocios. La información que pueden entregar es de suma utilidad, al recopilar en tiempo real los datos que permiten recrear eventos que se llevaron a cabo en un momento especifico de interés. Una de las ventajas en la actualidad con respecto a la implementación de estas tecnologías reside en su valor adquisitivo ya que se mantiene competitivo con dispositivos o integraciones que son simples y no incluyen dichas tecnologías, haciéndose más fácil para los usuarios tomar la decisión de adquirirlas ya sea para su implementación en ambientes hostiles, en ambientes domésticos o de oficina que resultan en un despliegue más económico. Además, para obtener de manera eficaz el método correcto de gestionar los procesos, las herramientas para el procesamiento de grandes volúmenes de información o “big data” se vuelven fundamentales. En este caso en particular, dada la naturaleza de moldeo por inyección de plástico, las herramientas de minería de datos e inteligencia artificial juegan un papel muy importante ya que permiten detectar fallas en el proceso o piezas no conformantes que afectan la cadena de suministro. La revisión presentada en este documento es una compilación de integraciones efectuadas en la industria de moldeo por inyección de plástico desde gestión en el piso de producción, desarrollo de productos en etapas de prototipo o evaluación hasta la mejora del proceso de producción en masa, con el fin de facilitar métodos de ingeniería en procesos útiles en la industria de moldeo por inyección de plástico. Así, esta recopilación funciona como una herramienta de consulta para los campos de ingeniería en la industria de moldeo por inyección de plástico.

5.- Referencias:

1.- Ageyeva, T., Horváth, S., & Kovács, J. G. (2019). In-Mold Sensors for Injection Molding: On the Way to Industry 4.0. *Sensors*, *19*(16), 3551. https://doi.org/10.3390/s19163551

2.- Balluff (2019) Mold ID. Disponible en: https://assets.balluff.com/WebBinary1/LIT_BRO_MOLD_ID_EN_H17_DRW_920549_02_000.pdf Fecha de consulta: Noviembre 2019.

3.- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, *101*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015

4.- Charest, M., Finn, R., & Dubay, R. (2018). Integration of artificial intelligence in an injection molding process for on-line process parameter adjustment. *2018 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon)*, 1-6. https://doi.org/10.1109/SYSCON.2018.8369500

5.- Dănuţ-Sorin, I. R., Opran, C. G., & Lamanna, G. (2020). Lean Manufacturing 4.0 of Polymeric Injection Molding Products. *Macromolecular Symposia*, *389*(1), 1900109. https://doi.org/10.1002/masy.201900109

6.- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, *8*(2), 56-58. https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079

7.- Forschungsunion, ACATECH (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING). (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Disponible en: https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/. Fecha de consulta: Octubre 2019.

8.- Gaub, H. (2016). Customization of mass-produced parts by combining injection molding and additive manufacturing with Industry 4.0 technologies. *Reinforced Plastics*, *60*(6), 401-404. https://doi.org/10.1016/j.repl.2015.09.004

9.- Greer, C., Burns, M., Wollman, D., & Griffor, E. (2019). *Cyber-physical systems and internet of things* (N.º NIST SP 1900-202; p. NIST SP 1900-202). https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1900-202

10.- Griffor, E. R., Greer, C., Wollman, D. A., & Burns, M. J. (2017). *Framework for cyber-physical systems: Volume 1, overview* (N.º NIST SP 1500-201; p. NIST SP 1500-201). https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-201 Fecha de consulta: Octubre 2019.

11.- Hu, F., He, Z., Zhao, X., & Zhang, S. (2017). A novel vision-based mold monitoring system in an environment of intense vibration. *Measurement Science and Technology*, *28*(10), 105906. https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa8537

12.- Ibarra-Esquer, J., González-Navarro, F., Flores-Rios, B., Burtseva, L., & Astorga-Vargas, M. (2017). Tracking the Evolution of the Internet of Things Concept Across Different Application Domains. *Sensors*, *17*(6), 1379. https://doi.org/10.3390/s17061379

13.- Industrial Internet Consortium Vocabulary Task Group in the Technology Working Group, co-chaired by Anish Karmarkar (Oracle) and Robert Martin (MITRE). “The Industrial Internet of Thing, Volume G8: Vocabulary” IIC:PUB:G8:V2.1:PB:20180822. Disponible en:

https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_Vocab_Technical_Report_2.1.pdf . Fecha de consulta: Octubre 2019.

14.- Jong, W.-R., Chen, S.-C., Wang, S.-M., Liu, S.-H., Liao, H.-L., Ting, Y.-H., & Chen, H.-T. (2017). The Implementation of Cloud Platform for Injection Molding Process. *Procedia CIRP*, *63*, 219-223. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.117

15.- Kim, C.-S., & Son, S.-B. (2018). A Study on Big Data Cluster in Smart Factory using Raspberry-Pi. *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 5360-5362. https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622539

16.- Klaus Schwab (2016), La cuarta revolución industrial, en Penguin Random House Grupo Editorial España, Disponible en: https://www.overdrive.com/search?q=111C4347-2121-4AE1-9B18-7C584195F118 Fecha de consulta: Octubre 2019.

17.- Lee, H., Liau, Y., & Ryu, K. (2018). Real-time parameter optimization based on neural network for smart injection molding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *324*, 012076. https://doi.org/10.1088/1757-899X/324/1/012076

18.- Lee, H., Ryu, K., & Cho, Y. (2017). A Framework of a Smart Injection Molding System Based on Real-time Data. *Procedia Manufacturing*, *11*, 1004-1011. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.206

19.- Li, Z., Liu, L., Barenji, A. V., & Wang, W. (2018). Cloud-based Manufacturing Blockchain: Secure Knowledge Sharing for Injection Mould Redesign. *Procedia CIRP*, *72*, 961-966. https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.004

20.- Lucchetta, G., Masato, D., & Sorgato, M. (2018). Optimization of mold thermal control for minimum energy consumption in injection molding of polypropylene parts. *Journal of Cleaner Production*, *182*, 217-226. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.258

21.- Ogorodnyk, O., & Martinsen, K. (2018). Monitoring and Control for Thermoplastics Injection Molding A Review. *Procedia CIRP*, *67*, 380-385. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.229

22.- Park, H. S., Phuong, D. X., & Kumar, S. (2019). AI Based Injection Molding Process for Consistent Product Quality. *Procedia Manufacturing*, *28*, 102-106. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.12.017

23.- Rezende, J., Cosgrove, J., Carvalho, S. & Doyle, F. (2018). A case study on the analysis of an injection moulding machine energy data sets for improving energy and production management. Eceee Industrial Summer Study Proceedings. Volume 2018-June, 2018, Pages 231-238.

24.- Romeo, J. (2019). Injection Molding Technology: A New Frontier?: Industry 4.0 is changing the way injection molders fabricate parts. *Plastics Engineering*, *75*(4), 32-37. https://doi.org/10.1002/peng.20107

25.- Siller, H. R., Romero, D., Rabelo, R. J., & Vazquez, E. (2018). Advanced CPS Service Oriented Architecture for Smart Injection Molding and Molds 4.0. *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*, 428-434. https://doi.org/10.1109/IS.2018.8710575

26.- Stankovic, J. (2014, February). Research Directions for the Internet of Things. IEEE Internet of Things Journal, 1(1), 3-9. https://doi:10.1109/JIOT.2014.2312291

27.- Tan, Y. S., Ng, Y. T., & Low, J. S. C. (2017). Internet-of-Things Enabled Real-time Monitoring of Energy Efficiency on Manufacturing Shop Floors. *Procedia CIRP*, *61*, 376-381. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.242

28.- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, *135*(11), 507-511. https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015

29.- Vogel-Heuser, B., & Hess, D. (2016). Guest Editorial Industry 4.0–Prerequisites and Visions. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, *13*(2), 411-413. https://doi.org/10.1109/TASE.2016.2523639

30.- Vrabič, R., Kozjek, D., & Butala, P. (2017). Knowledge elicitation for fault diagnostics in plastic injection moulding: A case for machine-to-machine communication. *CIRP Annals*, *66*(1), 433-436. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.001

31.- Yong Yin, Kathryn E. Stecke & Dongni Li (2018) The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0, International Journal of Production Research, 56:1-2, 848-861, DOI: 10.1080/00207543.2017.1403664

32.- Zhang, S., Dubay, R., & Charest, M. (2014). A principal component analysis model-based predictive controller for controlling part warpage in plastic injection molding. *Expert Systems with Applications*, *42*(6), 2919-2927. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.030

33.- Zheng R., Tanner R.I., Fan XJ. (2011) Introduction. In: Injection Molding. Springer, Berlin, Heidelberg https://doi.org/10.1007/978-3-642-21263-5

Notas Bibliográficas de los Autores:

Nombre: Jesus Ivan Aguilar Lugo
Adscripción: ivan_lugo
Correo electrónico: jesus.aguilar@uabc.edu.mx

"Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma de Baja California, México. Estudiante de Posgrado en Ingeniería y Ciencias por parte de la Facultad de Ingeniería en Universidad Autónoma de Baja California. Actualmente desempeña el cargo de Ingeniero de diseño y manufactura en el área de moldeo por inyección de plásticos donde diseña herramentales, gestiona mejoras en las líneas de producción y automatiza procesos industriales."

Nombre: Jorge Eduardo Ibarra Esquer
Adscripción: jorgeeie
Correo electrónico: jorge.ibarra@uabc.edu.mx

"Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Sonora, México. Maestro en Ciencias de la Computación por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Doctor en Ciencias de la Computación por la Universidad Autónoma de Baja California.

Profesor de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, adscrito al programa educativo Ingeniero en Computación.

Responsable de seguimiento a la trayectoria estudiantil en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California."

Nombre: Marlenne Angulo Bernal
Adscripción: mangulo
Correo electrónico: mangulo@uabc.edu.mx

"Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Sonora, México. Maestra en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Actualmente se encuentra adscrita al programa Ing. en Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. Sus áreas de interés están relacionadas con redes de comunicaciones y ciencia de datos."

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons
Atribución-NoComercial-Compartirlgual 4.0 Internacional.