

Internet Industrial de las Cosas (IIoT) aplicado a Líneas de Manufactura de Moldeo por Inyección de Plástico

Jesús Iván Aguilar Lugo^a, Jorge Eduardo Ibarra Esquer^b.

^a Universidad Autónoma de Baja California, Avenida Álvaro Obregón sin número, Colonia Nueva, C.P. 21100, jesus.aguilar@uabc.edu.mx, Mexicali, Baja California, México.

^b Universidad Autónoma de Baja California, Avenida Álvaro Obregón sin número, Colonia Nueva, C.P. 21100, jorge.ibarra@uabc.edu.mx, Mexicali, Baja California, México.

Resumen

Las tecnologías y procesos de la industria se actualizan a un ritmo el cual las empresas deben seguir para mantenerse competitivas y lograr satisfacer las necesidades de sus clientes. En este sentido, una de las industrias que no se ha quedado atrás es la de moldeo por inyección de plástico, que por su incorporación a la Industria 4.0 es el foco de este documento. Dado que el proceso de implantación es complejo, el uso de herramientas estadísticas que muestran el comportamiento de sus procesos es necesario para que éste se realice de manera exitosa. Es así como se propone implementar estas tecnologías para aumentar la eficiencia, identificar tendencias y optimizar recursos en el proceso de inyección de plástico. Para lograrlo se desarrolla metodológicamente un modelo a la medida de Internet de las Cosas, adaptado a aplicaciones de esta industria e implementado físicamente en las líneas de manufactura. Los resultados arrojados por el análisis de los datos recabados mediante el monitoreo de las líneas de manufactura en tiempo real durante el último trimestre no fueron lo esperado. Por este motivo, se realizó un estudio de capacidad y se decidió expandir el área desarrollando una línea de producción automatizada. De esta manera, se logra uno de los principales objetivos de utilizar modelos de Industria 4.0, que es contribuir a la toma de decisiones para mejora de producción.

Palabras clave— *Internet Industrial de las Cosas, Sobremoldeo por inyección de plástico, Industria 4.0*

Abstract

The technologies and processes of the industry are updated at a rate that companies must continue to stay competitive and meet the needs of their customers. In this sense, one of the industries that has not been left behind is plastic injection molding, which due to its incorporation into Industry 4.0 is the focus of this document. Since the implementation process is complex, the use of statistical tools that show the behavior of your processes is necessary for it to be carried out successfully. This is how it is proposed to implement these technologies to increase efficiency, identify trends and optimize resources in the plastic injection process. To achieve this, a model tailored to the Internet of Things is methodologically developed, adapted to applications in this industry and physically implemented in the manufacturing lines. The results of the analysis of the data collected by

monitoring the manufacturing lines in real time during the last quarter were not what was expected. For this reason, a capacity study was carried out and it was decided to expand the area by developing an automated production line. In this way, one of the main objectives of using Industry 4.0 models is achieved, which is to contribute to decision-making for production improvement.

Keywords— *Industrial Internet of Things, Overmolding injection molding, Industry 4.0*

1. INTRODUCCIÓN

La dinámica de los tiempos actuales impone requerimientos de competitividad y oferta de productos que brinden beneficios a las empresas dentro de una determinada industria. Esto implica que el negocio tenga disponibilidad y acceso a cuanta información sea pertinente al producto desarrollado y a los procesos mediante los cuales se desarrolla. A partir de esta información se pueden implementar acciones minuciosas para evaluación y mejora de los procesos, agregando valor a ellos mismos y a los productos que entregan, a la vez que se establecen controles para la optimización de recursos y parámetros que inciden en los procesos ya sea de manera directa o indirecta.

Una de las tecnologías que recientemente ha generado interés en diferentes ámbitos de la industria es el “Internet of Things” (IoT) [1]. A través del IoT, la industria puede implementar mecanismos adicionales para observar y medir datos de sus procesos en tiempo real, agilizando y haciendo más eficiente la toma de decisiones y brindando una mayor conciencia de los procesos de producción.

Al aplicar las tecnologías asociadas al IoT en contextos industriales, se suele utilizar la denominación de “Industrial Internet of Things” (IIoT). Estas proporcionan, entre otras cosas, la capacidad de visualizar los procesos de manera virtual, mejorar la trazabilidad de los productos a través de los procesos, y administrar de mejor manera los recursos desde materia prima hasta mano de obra [2]. Lo anterior es posible gracias a la adquisición y medición de parámetros de procesos por medio de tecnología del IIoT, minimizando los errores humanos y el mal manejo o interpretación de la información. El IIoT contribuye con: programas de mantenimiento a través del estudio de los datos medidos de los procesos, análisis de tendencias y una mejor comprensión del comportamiento interno de los procesos.

Para producir un bien se tiene que transformar una materia prima a través de procesos en los cuales irá sufriendo cambios hasta convertirse en el producto deseado. Este producto debe de cumplir las necesidades del usuario interesado o cliente verificando que, por medio de patrones maestros, sean conformantes. Entre más productos conformantes se produzcan mayor será la productividad. Dado que los procesos en un principio eran hechos por mano de obra directa, se empezó a buscar la manera de

volver más rápidos los procesos; a esto se le conoce comúnmente como automatización y desde la primera revolución industrial se ha buscado automatizar procesos para reducir costos, aumentar la calidad y desarrollar nuevos métodos de manufactura, evolucionando así en la tecnología que podemos ver plasmada en la actualidad.

El objetivo de la “Industria 4.0” es la representación digital de todos los bienes físicos con su correspondiente integración al sistema global digital, construido a partir de una cadena de suministros. Este concepto está basado en un sistema organizacional complejo y de multinivel que implica la integración de operaciones físicas que acompañan a procesos ya automatizados en un solo grupo de información [3].

Una de las principales ventajas de la visión de Industria 4.0 es la capacidad de integrar un conjunto de tecnologías, virtualizando procesos de producción y buscando su optimización. En la figura 1 se aprecian algunas de las tecnologías que permiten automatizar sistemas bajo este enfoque, como son las de rastreo, comunicación entre máquinas, posible utilización de sistemas robóticos, procesos de recopilación de información automatizados y creación de reportes a partir de esta información.

Fig. 1. Tecnologías para la industria 4.0, Propuesta de arquitectura para soluciones automatizadas en Industria 4.0, Julio 2017.



Fuente: Maicon Saturno, Vinicius Moura Pertel, Fernando Deschamps, Eduardo de Freitas Rocha Loures.(2017), PROPOSAL OF AN AUTOMATION SOLUTIONS ARCHITECTURE FOR INDUSTRY 4.0, 24th International Conference on Production Research

En el caso de interés del presente estudio, el IIoT se aplica dentro de la industria de moldeo por inyección de plástico. Este es un proceso de manufactura donde un polímero fundido es presionado y mantenido en un molde hasta que el polímero en la cavidad del molde se enfría y puede ser expulsado.

Es importante hacer notar que la ganancia principal de este tipo de negocio viene dada por el ciclo de manufactura por pieza ya que el beneficio está en producción a volumen [4]. Realizar un mantenimiento preventivo a equipos y moldes en

este caso específico resulta en un gran apoyo al sistema de producción, puesto que reduce la duración de los tiempos muertos. Los sistemas de producción se han apoyado recientemente de tecnologías de almacenamiento y procesamiento en la nube; ejemplos de ellos son sistemas de comunicación para dar seguimiento al mantenimiento, reparación o rediseño de moldes en caso de piezas no conformantes por medio de herramientas de manufactura en la nube [5]. Es común que se pierda información cuando se tienen múltiples turnos para seguir trabajando en la industria, por lo que el sistema proporciona un mejor seguimiento y certeza en la información recopilada.

En el entorno industrial moderno se necesita obtener resultados rápidamente para mantenerse competitivos, por lo que la rotación de personal, donde llegan trabajadores sin experiencia tanto para la resolución como el análisis de problemas y el envejecimiento de la población [6] son factores con los que se lucha para desempeñar eficientemente los procesos. Es por este tipo de razones que actualmente se está requiriendo el uso de tecnologías con capacidades como las del IoT.

Un uso importante para estas tecnologías es simplificar el procesamiento de la información hacia los altos mandos. Normalmente la información tiene que ser recabada a mano y después transcrita a hojas de cálculo o algún otro medio para generar reportes. Con las tecnologías que ofrece la Industria 4.0 se puede acelerar estos procesos ofreciendo reportes hechos automáticamente, por lo que se tiene especial enfoque en los “Real Time Systems” (RTS).

Actualmente la planta de manufactura en cuestión no cuenta con estas tecnologías, por lo que se plantea implementarlas para mejorar la productividad en las líneas de manufactura por inyección de plástico, implementando mediante el diseño metodológico un modelo de IIoT a la medida.

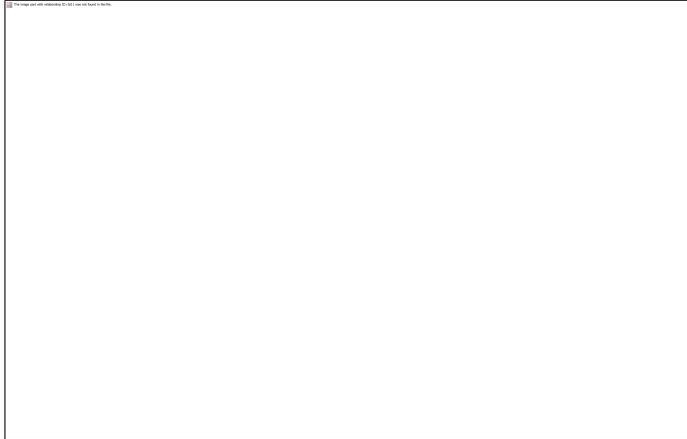
2. CONTENIDO

En el contexto de la manufactura inteligente, se establece a la fábrica inteligente como aquella que busca cumplir con la manufactura avanzada por medio de tecnologías interconectadas y un flujo de datos de manufactura, los cuales incluyen el estatus del proceso y requerimientos especiales de manufactura. Sin embargo, debido a las características propias de los diferentes campos de manufactura y el diverso rango de datos que pueden ofrecer, hay algunos problemas técnicos que deben resolverse, por lo que debe tomarse en cuenta un diseño del sistema como muestra la figura 2 por medio de capas.

La capa física describe los requerimientos para los dispositivos de adquisición de datos y comunicación. Las capas intermedias definen los recursos de conectividad, almacenamiento, acceso y procesamiento de información. En la capa más alta se proporcionan servicios y aplicaciones con la capacidad de analizar la información, así como

generar auto organización, auto aprendizaje y fácil adaptación.

Fig. 2. Arquitectura jerárquica de una “smart factory”.



Fuente: Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2018). Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. IEEE Access, 6, 6505-6519.

Para adoptar este tipo de arquitectura se utilizó la metodología propuesta en [8]. Esta metodología guía la implementación de sistemas en el IoT, y se describe a continuación.

2.1 METODOLOGÍA

PASO 1.- Propósito y requisitos: Definir el propósito y requerimientos del sistema. Entre los requerimientos se incluyen los de recolección y análisis de datos, administración de los requerimientos del sistema, privacidad y seguridad, requerimientos de interfaz de usuario.

PASO 2.- Especificaciones del proceso: En este paso se describen formalmente el uso del sistema IoT y sus derivados a partir del propósito y las especificaciones de los requerimientos.

PASO 3.- Especificaciones del modelo de dominio: Describe los conceptos principales, entidades y objetos en el dominio del sistema IoT a diseñar. Define los atributos de los objetos y su relación entre ellos. Provee una representación abstracta de los conceptos, objetos y entidades en el dominio de IoT, independientemente de terminologías técnicas.

PASO 4.- Especificaciones del modelo de información: Se define la estructura de toda la información en el sistema IoT desde atributos, relaciones, etc. No se especifica cómo se almacena o se representa la información de manera gráfica, se mantiene a nivel conceptual y se enlistan las entidades virtuales previamente definidas en el dominio del modelo.

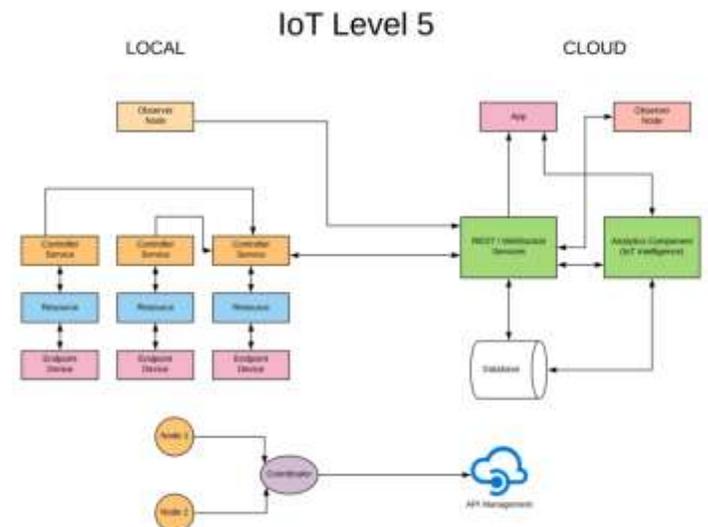
PASO 5.- Especificaciones del servicio: Define los servicios en el sistema IoT, tipos de servicios, entradas y salidas del servicio, ramas del servicio, diagrama del servicio, efectos y

precondiciones. Para cada especificación de proceso y modelo de información se identifican estados y atributos. Para cada atributo se define un servicio, estos cambian el estado o valor del atributo. El servicio también puede grabar el estado o valor del atributo

PASO 6.- Especificación de nivel en IoT: El nivel de despliegue tiene la estructura que se muestra en la Figura 3. De acuerdo con la bibliografía se clasifica como nivel 5 con las siguientes capacidades [8]:

- Tiene múltiples nodos llamados ramas y un nodo llamado coordinador.
- Los nodos ramas pueden tener la capacidad de sensor o actuador.
- El nodo coordinador recolecta la información de los nodos ramas y la envía a la nube.
- La información es guardada y analizada en la nube, convirtiéndose la aplicación en una basada en la nube.
- Son recomendados para soluciones basadas en redes de sensores inalámbricos, donde la información es grande y los requerimientos computacionales son intensivos.

Fig. 3.- Nivel de diseño para despliegue de aplicación IoT.



Fuente: Bahga, A., & Madiseti, V. K. (2014). *Internet of Things: A hands-on approach*. Selbstverl.

PASO 7.- Especificaciones de Vista Funcional: Define las funciones del sistema IoT por medio de varios grupos funcionales. Cada grupo funcional provee funciones para interactuar con los conceptos de las instancias definidas en el modelo de dominio o provee información relacionada a estos conceptos. Los diferentes grupos funcionales son:

- *Grupo Funcional de Dispositivos:* Contiene dispositivos para monitoreo y control, en este caso los nodos ramas y el nodo coordinador.
- *Grupo Funcional de Comunicación:* Administra la comunicación del sistema IoT, incluye los protocolos de comunicaciones que son la estructura

del sistema y habilita la conectividad. Incluye Application Programming Interface (API) de comunicación que es usado por los servicios y aplicaciones para transmisión de información a través de la red. En este caso:

- Nodos Rama: Bluetooth (Link Layer)
- Nodo Coordinador: 802.11 (Link Layer), IPv4/IPv6 (network layer), Hypertext Transfer Protocol (HTTP, application layer).
- **Grupo Funcional de Servicios:** Incluye varios servicios envueltos en el sistema IoT, como son los de monitoreo de dispositivos, control, publicación de información y descubrimiento de dispositivos. En este caso se tienen los servicios locales y remotos.
- **Grupo Funcional de Administración:** Incluye todas las funcionalidades que se necesitan para configurar el sistema IoT. En este caso se refiere a los permisos de administrador del controlador local. Para los dispositivos de nodo rama se requiere una cuenta para administrarlos desde el sitio del proveedor y la aplicación móvil para darlo de alta. Para el servicio en la nube se requiere cuenta en la plataforma ThingSpeak [10].
- **Grupo Funcional de Seguridad:** Este grupo funcional incluye los mecanismos de seguridad para el sistema como autenticación, autorización, seguridad de la información, etc. En este caso la plataforma ThingSpeak proporciona dichos mecanismos.
- **Grupo Funcional de Aplicación:** Incluye las aplicaciones que permiten ver la interfaz a los usuarios para monitorear o controlar aspectos del sistema IoT, así como ver el estatus del sistema y el procesamiento de la información. En este caso la aplicación es desplegada localmente en el dispositivo local de minicomputadora, mientras que la aplicación remota es desplegada por medio de la plataforma ThingSpeak.

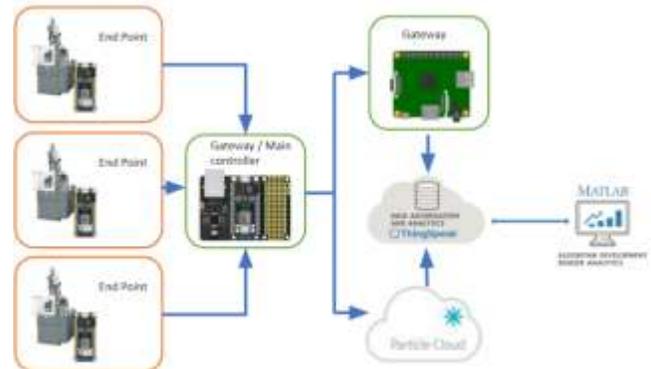
PASO 8.- Especificación de vista operacional: Varias opciones de despliegue pertenecientes al sistema IoT y su operación son definidas. Entre ellas están las opciones de almacenamiento, dispositivos, aplicaciones, etc.

- **Dispositivos:** Raspberry Pi [11], Nodos Rama Particle Xenon [12], Nodo coordinador Particle Argon [13].
- **Comunicación:** Bluetooth Low Energy (BLE), Wireless Fidelity (Wi-Fi), 802-11 b, IPv4, IPv6, Transmission Control Protocol (TCP) y HTTP.
- **Servicios:**
 - Servicio Local: Desplegado en el dispositivo embebido como nativo.
 - Servicio Remoto: Desplegado por medio de la plataforma ThingSpeak.
- **Aplicación:** Plataforma ThingSpeak.
- **Seguridad:**

- Local: Autenticación en dispositivo embebido.
- Remoto: Autenticación y seguridad por ThingSpeak.
- **Administración:**
 - Local: Cuenta de administrador en sistema embebido.
 - Remoto: Cuenta de ThingSpeak y Particle console [14].

PASO 9.- Integración de dispositivos y componentes: Los dispositivos y componentes utilizados para el sistema, en este caso: Raspberry Pi single board computer, Particle Argon, Particle Xenon microcontroller. Dado que las máquinas de inyección de plástico no cuentan con la infraestructura para comunicarse entre ellas se instalaron los nodos rama en cada una de ellas, comunicando al nodo coordinador las señales obtenidas de la máquina.

Fig. 4.- Modelo implementado en piso de producción.



PASO 10.- Desarrollo de aplicación: Desarrollo de interfaz de usuario con controles e indicadores. En este caso el panel local exhibe el estado en tiempo real de la máquina: si está produciendo o está parada, cuánto tiempo tiene operando desde que inició el turno y cuánto tiempo tiene parada, así como un porcentaje del tiempo actual de productividad. En el caso remoto se podrá acceder a la plataforma ThingSpeak para visualizar el tiempo en gráfica de la productividad en horas de la máquina deseada.

2.2 IMPLEMENTACIÓN PILOTO

Una de las metas en las empresas es obtener como resultado la mayor calidad en sus productos, al mismo tiempo que sus procesos se hacen más eficientes y repetibles. Para lograrlo se debe recurrir a herramientas de control estadístico de proceso y el diseño de experimentos. Para este experimento se utiliza el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) [9].

2.2.1 Definir: En el área de sobremoldeo por inyección de plástico a terminales eléctricas automotrices se requiere maximizar la productividad antes de que esta impacte de manera negativa las cadenas de suministros. La unidad de medida utilizada como referencia es el porcentaje del tiempo

total en el que la línea de producción opera, capturando tiempos muertos y tiempos de producción por medio del sistema de monitoreo en tiempo real implementado en piso de producción buscando una tendencia y poder tomar decisiones rápidas y mejorar la productividad. El objetivo del diseño de experimento en cuestión es el utilizar herramientas de Internet Industrial de las Cosas (IIoT) o Industria 4.0 para estudiar la productividad en el área de sobre moldeo por inyección de plástico a terminales automotrices.

2.2.2 Medir: Se identifican diferentes factores, pero se clasifican como principal a la maquinaria, como constante a los días de la semana, operador, turno por día y como aleatorio al número de cambios de modelo y fallas de máquina, tomándose los constantes para el estudio.

2.2.3 Preanálisis: Se caracterizan los factores en valores discretos. Se busca con este diseño estudiar el efecto que tienen los días de la semana sobre las líneas de producción de sobremoldeo. Se quiere encontrar una correlación entre la variable de respuesta que es la productividad y los factores de: máquina, turno y día de la semana. Ya que se tienen 3 factores a estudiar se elige el diseño factorial.

2.2.4 Experimentación: El experimento se realiza bajo condiciones normales en piso de producción para observar los efectos que se tienen en cada uno de los factores. Se toma la medida a las 6 AM cuando finaliza el segundo turno y a las 6 PM cuando termina el primer turno y así evaluar la productividad del turno finalizado. La medida que se toma es de 0 % a 100% de horas máquina en 6 máquinas, por 5 días a la semana, teniendo en cuenta que los operadores no se cambian de máquina y los modelos que se programaron para correr son los asignados normalmente en esas máquinas. El experimento para la primera réplica se llevó a cabo del día 16 de marzo al 20 de marzo del año 2020 y para la segunda del día 18 de mayo al 22 de mayo del año 2020, obteniendo como resultado las horas producidas en las tablas 1 y 2.

2.2.5 Análisis: Codificando los factores para mejor notación, se determina hipótesis y el modelo estadístico en fórmula (1):

- A= Máquinas
- B= Días de la semana
- C= Turno

Tabla 1. Producción en horas de la semana 1.

Horas-productividad	Día de la semana	Turno	Máquina					
			FM1	FM2	FM3	FM17	FM18	FM19
			Lunes	1	0.29	0	7.16	0.31
		2	7.3	10.21	10.65	5.58	11.1	11.35
	Martes	1	10.9	0.49	2.56	0.17	11.25	3.47
		2	10.18	2.3	7.8	1.22	3.59	11.19
	Miércoles	1	6.35	4.48	5.31	4.59	6.28	9.18
		2	2.37	11.3	10.55	7.4	5.52	11.3
	e v	1	7.8	5.8	9.24	10.23	11.1	11.2

		2	3.4	10.15	8.39	4.9	9.56	11.35
	Viernes	1	8.19	8.27	6.49	0.12	2.31	9.4
		2	11	10.3	8.33	8	1.2	11.35

Tabla 2. Producción en horas de la semana 2.

Horas-productividad	Día de la semana	Turno	Máquina					
			FM1	FM2	FM3	FM17	FM18	FM19
			Lunes	1	4.26	3.3	0	.25
		2	3.4	9.5	0	2.18	1.71	11.86
	Martes	1	3	8.01	0	0.383	.183	11.85
		2	8.75	6.16	0	6.86	0	11.86
	Miércoles	1	10.6	1.48	0	9.78	0	11.86
		2	9.8	10.1	0	9.56	0	11.8
	Jueves	1	10.1	.8	5.31	.28	4.3	7.64
		2	11.31	8.32	10.56	11.4	11.19	11.36
	Viernes	1	9.45	7.2	6.5	1.46	7.19	10.51
		2	10.38	3.34	5.39	8.19	10.27	11.33

HIPÓTESIS:

- H0: Efecto A = 0 H0: Efecto B = 0 H0: Efecto AB = 0 H0: Efecto C = 0
- H0: Efecto AB = 0 H0: Efecto AC = 0 H0: Efecto BC = 0
- H0: H0: Efecto ABC = 0
- H1: Efecto A ≠ 0 H1: Efecto B ≠ 0 H1: Efecto C ≠ 0
- H1: Efecto AB ≠ 0 H1: Efecto AC ≠ 0 H1: Efecto BC ≠ 0
- H1: Efecto ABC ≠ 0

MODELO ESTADÍSTICO:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha)_{ik} + (j)_{jk} + (\alpha)_{ijk} + \epsilon_{ijk} \quad (1)$$

En este caso nos interesa la interacción que tienen las variables de respuesta, utilizando el software Minitab [15] se logró realizar el modelo factorial completo general obteniendo los resultados gráficos en las figuras 5 y 6.

Fig. 5.- Grafica de interacción.

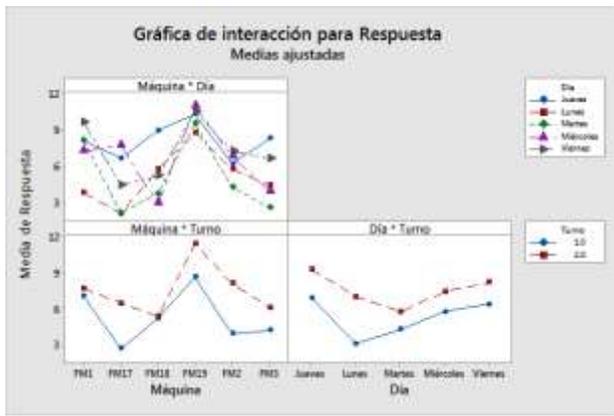
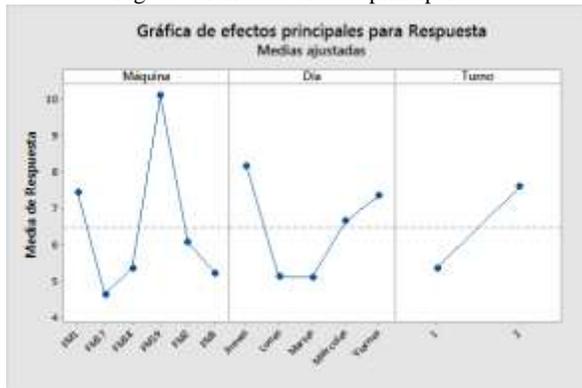


Fig. 6.- Gráfica de efectos principales.



2.3 RESULTADOS

La productividad se midió por máquina, turno y día en porcentajes de horas trabajadas por medio de los dispositivos IoT implementados en cada una de las máquinas, en búsqueda de áreas de oportunidad en piso de producción. Una de estas fue investigar las razones de la menor productividad los lunes y martes, encontrando que al inicio de semana se ejecuta el proceso de arranque de maquinarias; las unidades de inyección necesitan calentarse, purgarse y montar el modelo necesario, por lo que apenas el martes empieza la rampa en producción. Además, a partir de lo observado en las Figuras 4 y 5, se investigaron las razones de la baja productividad de la máquina FM17, encontrando una avería mayor en la unidad de inyección que no le permite producir, ya que no alcanza su temperatura habitual rápidamente y tampoco la mantiene. La productividad en FM3 se vio afectada ya que el operador que la operaba en 1er turno se ausentó varios días por enfermedad lo cual mermó la producción. La maquinaria FM19 tuvo la productividad más alta, ya que solo produjo un mismo número de parte toda la semana, por lo que los paros fueron únicamente para proveer materia prima a la línea y limpieza cada fin de turno. El factor de turno se encuentra como métrico de habilidad para determinar la distribución de carga de trabajo en piso de producción al tener operadores muy

experimentados en uno de los turnos. Hay eventos en el área de producción que no tienen buen seguimiento como averías en equipo, y la pronta respuesta por ausentismo. Teniendo este panorama gracias a los resultados desplegados por la solución IIoT, se logra desarrollar estrategias de mejora y su seguimiento por parte de la dirección de piso de producción.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo de la aplicación de diseño de experimentos aplicando tecnologías de IIoT fue utilizar herramientas estadísticas con los datos recopilados durante el monitoreo de la maquinaria para encontrar las áreas de oportunidad y lograr incrementar la productividad en el área. Así como se utilizaron estas tecnologías para determinar la mejor administración de recurso, también se utilizan las herramientas de cálculo en la nube y el monitoreo en tiempo real para tomar decisiones acertadamente inclusive a la distancia. La ventaja principal para este caso es comunicar el estado de la planta físicamente por medio de sus gemelos virtuales a todas horas y en cualquier lugar, evitando tener que obtener la información de manera manual. Procesarla por medio de hojas de cálculo para visualizarla ahorra tiempo y permite enfocarnos en estrategias para mejorar los resultados. Queda claro que esta herramienta solo es una de muchas que ofrece la industria 4.0 y que si es necesario encontrar la causa raíz a problemáticas más a fondo se podrán utilizar las capacidades que ofrece la flexibilidad de estas tecnologías como son desarrollo de algoritmos con Inteligencia Artificial, la implementación de producción por manufactura aditiva o el rastreo en tiempo real de activos.

4. REFERENCIAS

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2018). Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. *IEEE Access*, 6, 6505-6519.

- [8] Bahga, A., & Madiseti, V. K. (2014). *Internet of Things: A hands-on approach*. Selbstverl.
- [9] Tanco, Martín & Viles, Elisabeth & Ilzarbe, Laura & Alvarez, M.J. (2007). Manufacturing Industries Need Design of Experiment. Lecture Notes in Engineering and Computer Science.
- [10] ThingSpeak IoT Analytics Platform,
https://thingspeak.com/pages/learn_more
- [11] Raspberry Pi Single Board Computer,
<https://www.raspberrypi.org/documentation/>
- [12] Particle Xenon Microcontroller,
<https://docs.particle.io/datasheets/discontinued/xenon-datasheet/>
- [13] Particle Argon Microcontroller,
<https://docs.particle.io/datasheets/wi-fi/argon-datasheet/>
- [14] Particle Console Platform,
<https://docs.particle.io/reference/device-cloud/api/>
- [15] Minitab Statistical Software,
<https://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/>