

**Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ingeniería**

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



TESIS

**Internet Industrial de las Cosas (IIoT) en Líneas de
Manufactura por Proceso de Moldeo por Inyección de
Plástico.**

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

JESÚS IVÁN AGUILAR LUGO

DIRECCIÓN DE TESIS

DR. JORGE EDUARDO IBARRA ESQUER

CODIRECCIÓN DE TESIS

DR. FÉLIX FERNANDO GONZÁLEZ NAVARRO

Agradecimientos

A mi papas José y Gabriela por apoyarme con amor en cada paso que doy en el camino que me propongo seguir siempre confiando en mis decisiones, a mi hermano Pablo por darme palabras de aliento y esperanzas en el futuro para mantener constancia y dedicación, a mi prometida Celinna por estar conmigo en momentos de duda y cansancio para levantarme los ánimos y continuar en la lucha.

Quiero agradecer también a las instituciones que me apoyaron en el desarrollo de este proyecto profesional y personal otorgándome las herramientas necesarias para que se llevara a cabo, y en especial a mi tutor Dr. Jorge Eduardo Ibarra Esquer por tenerme paciencia y guiarme en cada paso fundamental para que los productos del arduo esfuerzo se materializaran de diferentes maneras ya fuese ponencias o publicaciones.

Muchas gracias!

RESUMEN

Las tecnologías de Industria 4.0 se implementan para aumentar la eficiencia, identificar tendencias y optimizar recursos en las líneas de manufactura, en este caso específico siendo de moldeo por 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 en un tiempo de 6 meses para la prueba piloto involucrando un nodo tipo rama en las 5 primeras máquinas de inyección de plástico y un nodo controlador donde llega la información del estado de las máquinas y se despliega visualmente en piso de producción. Junto a estas herramientas se realizó un estudio de capacidad y se decidió expandir el área desarrollando una línea de producción automatizada a las ya existentes. Se efectúan también dos implementaciones en áreas diferentes y su visualización como activo digital, utilizando la misma metodología para identificar las necesidades de las áreas y como interactuarían la información proporcionada de las máquinas al sistema deseado. 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, Internet de las cosas, Moldeo por inyección de plástico.

ABSTRACT

Industry 4.0 technologies are integrated to rise efficiency, identify tendencies, and optimize resources on the manufacture lines, with our specific interest on the injection molding industry. To achieve this, a methodological model based on Internet of Things was customized and developed, adapted to applications within an injection molding industrial environment, and was physically deployed on manufacture lines. A pilot test was conducted for a period of 6 months, involving the installation of an edge node in the first five injection molding machines and a controller node where the status of the machines is received and displayed on production floor. Along with these tools a capacity study was performed, and the decision based on the results was to expand the production workshop by automating another production line. This integration of IIoT technologies was transferred and adapted to other departments to visualize their digital assets on workshop floor, using the methodology to identify the needs of the areas and how the information provided from the machines interacts with the desired system. In this manner fulfilling one of the main goals of using Industry 4.0 models which is to contribute on taking fast and accurate decisions by elevating performance on production floor.

Keywords: Industrial Internet of Things, Internet of Things, Injection Molding.

Índice

Índice	iii
Índice de Figuras	vii
Índice de Tablas	xi
1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	16
1.3 Preguntas de investigación	18
1.4 Objetivos	21
<i>1.4.1 Principal</i>	21
<i>1.4.2 Específicos</i>	22
1.5 Metas	22
1.6 Justificación	22
1.7 Metodología	26
2. Marco teórico	29
2.1 Moldeo por inyección de plástico	30
2.2 Revisión sistemática de literatura al estado del arte	33
<i>2.2.1 Criterios de elegibilidad</i>	33

2.2.2 Fuentes de Información	34
2.2.3 Búsqueda	34
2.2.4 Resultados.....	36
2.2.5 Selección de los estudios	37
2.2.6 Proceso de extracción de datos	39
2.2.7 Casos de aplicación.....	39
2.3 Revisión sistemática al estado de la técnica.....	45
2.3.1 Criterios de elegibilidad.....	46
2.3.2 Fuentes de información	46
2.3.3 Búsqueda	47
2.3.4 Resultados.....	48
2.3.5 Selección de los estudios	50
2.3.6 Análisis de resultados encontrados	55
2.4 Revisión a plataformas de servicios IoT.	58
3. Metodología para implementación de IIoT	63
3.1 Paso 1: Propósito y requisitos	65
3.2 Paso 2: Especificaciones del proceso	66
3.3 Paso 3: Especificaciones del modelo de dominio	68
3.4 Paso 4: Especificaciones del modelo de información	70
3.5 Paso 5: Especificaciones del servicio.....	71

3.6 Paso 6: Especificación de nivel en IoT	73
3.7 Paso 7: Especificaciones de Vista Funcional (FV)	75
3.8 Paso 8: Especificación de vista operacional.....	77
3.9 Paso 9: Integración de dispositivos y componentes	78
3.10 Paso 10: Desarrollo de aplicación	79
4. Aplicación de modelo en piso de producción.....	80
4.1 Aplicación en área de Sobremoldeo.....	80
4.1.1 <i>Despliegue de aplicación IIoT</i>	80
4.1.2 <i>Despliegue de aplicación local</i>	83
4.1.3 <i>Implementación de hardware</i>	89
4.2 Implementaciones en otras áreas.....	94
4.2.1 <i>Tool Room</i>	94
4.2.2 <i>Estampado de terminales eléctricas.</i>	110
5. Resultados.....	135
5.1 Implementación piloto.....	135
5.1.1 <i>Definir</i>	135
5.1.2 <i>Medir</i>	137
5.1.3 <i>Pre-análisis</i>	140
5.1.4 <i>Experimentación</i>	141
5.1.5 <i>Análisis</i>	143

5.2 Implementación a escala	147
5.2.1 Principios.....	147
5.2.2 Caso aplicado	148
6. Conclusiones	158
6.1 Lecciones aprendidas y Beneficios	158
6.2 Contribuciones	159
6.3 Limitaciones	160
6.4 Trabajo Futuro.....	161
7.- Referencias	164

Índice de Figuras

Figura 1.- Línea de tiempo de la industria 1.0 - 4.0 (basado en figura descrita en Yin et al., 2018).	5
Figura 2.- 19-nodos ARPANET mostrada en el Requisito de Cotización original. (Kleinrock, 2010, pág. 30)	9
Figura 3.- Arquitectura jerárquica de una “smart factory” (Chen et al., 2018).	11
Figura 4.- Representación de la visión sobre el traslape entre los conceptos de IoT y CPS (Greer et al., 2019).	12
Figura 5.- Sistema desde el punto de vista de tecnología CPS.	13
Figura 6.- Sistema desde el punto de vista de tecnología IoT.	14
Figura 7.- Tecnologías para la Industria 4.0, Propuesta de arquitectura para soluciones automatizadas en Industria 4.0, Julio 2017, Conferencia: 24th Conferencia Internacional en investigación de producción, At Poznan, Poland.....	15
Figura 8.- Vista previa del proceso de Sobremoldeo por inyección de plástico.....	16
Figura 9.- Vista general de componentes fundamentales que componen el moldeo por inyección de plástico (Zheng et al., 2011).....	31
Figura 10.- Representación esquemática paso a paso del proceso de sobre moldeo (Aliyeva et al., 2021, p. 5).	32
Figura 11.- Diagrama de flujo para la etapa de búsqueda en una revisión sistemática de literatura (Ibarra-Esquer et al., 2017).	35
Figura 12.- Diagrama de flujo para revisión sistemática al estado de la técnica.	47
Figura 13.- Pasos involucrados en la metodología de diseño para un sistema IoT (Bahga & Madisetti, 2014, p. 101)	64

Figura 14.- Especificaciones del proceso.....	67
Figura 15.- Modelo de dominio	69
Figura 16.-Modelo de información.....	71
Figura 17.- Derivación de servicios a partir de especificaciones de proceso y modelo de información.	72
Figura 18.- Especificaciones de servicio.	73
Figura 19.- Nivel de diseño para despliegue de sistema IoT (Bahga & Madisetti, 2014).	75
Figura 20.- Modelo de arquitectura implementada en piso de producción de Sobremoldeo.	81
Figura 21.-Estado de la Máquina FM por servicio ThingSpeak.....	82
Figura 22.- Eficiencia porcentual por equipo FM.....	82
Figura 23.- Flujo de trabajo para nodo en área de Sobremoldeo.	84
Figura 24.- Flujo de trabajo para coordinador en área de Sobremoldeo.....	86
Figura 25.- Estado en tiempo real y eficiencia porcentual de cada equipo en área de Sobremoldeo.	87
Figura 26.- Flujo de trabajo para despliegue local.....	88
Figura 27.- Descripción física del nodo en área de Sobremoldeo.	90
Figura 28.- Descripción esquemática del nodo en área de Sobremoldeo.	91
Figura 29.- Descripción física del coordinador en área de Sobremoldeo.	92
Figura 30.- Descripción esquemática del coordinador en área de Sobremoldeo.....	93
Figura 31.- Descripción esquemática del sistema en área de Sobremoldeo.	94
Figura 32.- Modelo de dominio Tool Room.....	97
Figura 33.- Nivel de diseño para despliegue de aplicación IoT para Tool Room (Bahga & Madisetti, 2014, p. 39).	100

Figura 34.- Modelo de arquitectura implementada en Tool Room.....	104
Figura 35.- Gráficas de comportamiento de maquinaria en Tool Room.	105
Figura 36.- Estado en tiempo real y eficiencia porcentual de cada equipo en Tool Room.	107
Figura 37.- Diagrama esquemático de implementación en Tool Room.	109
Figura 38.- Modelo de dominio área de estampado.....	113
Figura 39.- Nivel de diseño para despliegue de sistema IoT (Bahga & Madisetti, 2014).	116
Figura 40.- Modelo de arquitectura implementada en el área de estampado progresivo.	121
Figura 41.-Estado de la Máquina estampadora por servicio ThingSpeak.	121
Figura 42.- Eficiencia porcentual por máquina estampadora.	122
Figura 43.- Flujo de trabajo para nodo área de estampado.	124
Figura 44.- Flujo de trabajo para coordinador área de estampado.....	126
Figura 45.- Estado en tiempo real y eficiencia porcentual de cada equipo área de estampado. .	127
Figura 46.- Flujo de trabajo para despliegue local área de estampado.	128
Figura 47.- Descripción física del nodo en área de estampado.....	130
Figura 48.- Descripción esquemática del nodo en área de estampado.	131
Figura 49.- Descripción física del coordinador en área de estampado.	132
Figura 50.- Descripción esquemática del coordinador en área de estampado.	133
Figura 51.- Diagrama esquemático general del sistema en área de estampado.	134
Figura 52.- Diagrama Ishikawa para encontrar posibles factores.....	136
Figura 53.- Diagrama de Pareto para efectos de factores.	145
Figura 54.- Gráfica de interacción.	146
Figura 55.- Gráfica de efectos principales.	147
Figura 56.- Desempeño en línea automática de Sobremoldeo en Q3 2020.....	149

Figura 57.- Capacidad de producción con 6 máquinas disponibles 7 días a la semana 2020.....	150
Figura 58.- Capacidad de producción con 7 máquinas disponibles 7 días a la semana 2021.....	152
Figura 59.- Capacidad de producción con 7 máquinas disponibles 5 días a la semana 2021.....	154
Figura 60.- Capacidad de producción con 8 máquinas disponibles 5 días a la semana 2021.....	156
Figura 61.- Desempeño en línea automática de Sobremoldeo en Q1 2021.....	157
Figura 62.- Red Interna Industrial en el área de Sobremoldeo	163

Índice de Tablas

Tabla 1.- Artículos seleccionados en base a títulos. Fecha de consulta: Noviembre 2019.....	36
Tabla 2.- Artículos seleccionados en base a la revisión del resumen. Fecha de consulta: Noviembre 2019.....	36
Tabla 3.- Artículos seleccionados en base a contenido. Fecha de consulta: Noviembre 2019.....	37
Tabla 4.-Artículos seleccionados para la revisión.	38
Tabla 5.-Documentos seleccionados de forma ascendente. Fecha de consulta: Noviembre 2020.	48
Tabla 6.-Documentos seleccionados de forma descendente. Fecha de consulta: Noviembre 2020.	49
Tabla 7.-Documentos seleccionados de forma ascendente después de aplicar filtros de publicaciones duplicadas.	49
Tabla 8.-Documentos seleccionados de forma descendente después de aplicar filtros de publicaciones duplicadas.	49
Tabla 9.- Documentos seleccionados de forma ascendente después de aplicar filtros de publicaciones duplicadas y selección por lectura de resumen.	50
Tabla 10.- Documentos seleccionados de forma descendente después de aplicar filtros de publicaciones duplicadas y selección por lectura de resumen.	50
Tabla 11.- Estudios seleccionados para la revisión	55
Tabla 12.- Patentes generadas por General Electric sobre IIoT.....	56
Tabla 13.- Estudios seleccionados ordenados por aplicación.	58
Tabla 14.- Ejemplo de estructura de base de datos para productividad por turno en área de Sobremoldeo.	89

Tabla 15.- Ejemplo de estructura de base de datos para productividad por turno área de Tool Room.....	107
Tabla 16.- Ejemplo de estructura de base de datos para productividad por turno área de Estampado.....	129
Tabla 17.- Producción en horas de la semana 1.....	142
Tabla 18.- Producción en horas de la semana 2.....	143
Tabla 19.- Tabla ANOVA.....	144
Tabla 20.- Capacidad de producción con 6 máquinas disponibles 7 días a la semana 2020.....	151
Tabla 21.- Capacidad de producción con 7 máquinas disponibles 5 días a la semana 2021.....	154
Tabla 22.- Capacidad de producción con 8 máquinas disponibles 5 días a la semana 2021.....	156

1. Introducción

La industria manufacturera ha sido uno de los principales impulsores de la economía, ofreciendo la creación de productos que satisfacen la necesidad de la población y durante años ha evolucionado gracias al avance tecnológico y a la competencia generada al ofrecer productos de calidad. Una de las industrias que ha impulsado bastante el desarrollo tecnológico y social es la manufactura de moldeo por inyección de plástico, al permitir crear productos cada vez más ligeros, baratos y que por sus cualidades permiten el desarrollo de otras industrias como son la médica, automotriz, electrónica, etc. Debido al incremento y expansión de este tipo de industrias, el ramo se ha vuelto bastante competitivo y la calidad de los productos se ha tenido que aumentar y mantener. Es así como agregamos valor a nuestros procesos que entre más minucioso sea nuestro método para evaluarlos más probable será que podamos establecer controles que nos acerquen a una optimización en la manufactura. Para esto, el presente trabajo plantea utilizar las tecnologías de la información en conjunto con las tecnologías operativas de manufactura que se denominan Internet de las Cosas, identificado por sus siglas en inglés como IoT, y hacerlos trabajar en nuestro favor. Una de las ventajas principales que nos brindan estas nuevas tecnologías es el poder observar los datos en tiempo real de nuestros procesos y estar más consciente de nuestro proceso de producción; así, nos ayudan a tomar decisiones más rápida y eficientemente. En la industria el uso de estas tecnologías IoT tienen el nombre de Internet Industrial de las Cosas, que de ahora en adelante nos referiremos también por sus siglas en inglés IIoT. Estas tecnologías proporcionan la capacidad de visualizar nuestros procesos virtualmente, agregando una mejora en trazabilidad, además de una mejor administración de nuestros recursos desde materia prima hasta mano de obra. Adicionalmente, permite medir de forma más efectiva la productividad de los procesos, y su

posterior mejora, sobre todo en casos donde por factores humanos se introducen errores en la captura de los parámetros de calidad de los procesos. El IIoT funciona como herramienta para mejorar los sistemas de mantenimiento por medio del estudio de los datos recopilados y poder generar un sistema de mantenimientos predictivos (Uhlmann et al., 2017), además de recopilar la información necesaria para poder analizar de manera más cercana tendencias y comprender más a fondo que es lo que está ocurriendo en el proceso.

1.1 Antecedentes

En la historia reciente de la humanidad, la industria ha desempeñado un papel fundamental como impulsor del desarrollo tecnológico, social y económico. Los logros de la industria 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.

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 (Klaus, 2016). 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.

- 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, y encontró su aplicación más fuerte en las fábricas automovilísticas Ford en Estados Unidos al introducir el “Conveyor” o banda automatizada involucrando la energía eléctrica para la producción en masa.
- Tercera revolución industrial: Comenzó en el siglo XX (1969) presentándose el primer Controlador Lógico Programable (PLC) logrando la posibilidad de 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 (Klaus, 2016; ACATECH, 2013; Drath & Horch, 2014).
- 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 por sus siglas en inglés CPS” aplicados al dominio de la manufactura o “Cyber-physical Production Systems por sus siglas en inglés CPPS”. Desde entonces el tema de Industria 4.0 se ha expandido teniendo en cuenta estos principios (Vogel-Heuser & Hess, 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” como se le conoce por su término en inglés que consiste en una colección de conjunto de datos cuyo volumen, velocidad de creación y variedad de tipos es tan grande que es difícil de almacenar, procesar, administrar y analizar usando herramientas tradicionales (Bahga & Madiseti, 2014, p. 37) 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.

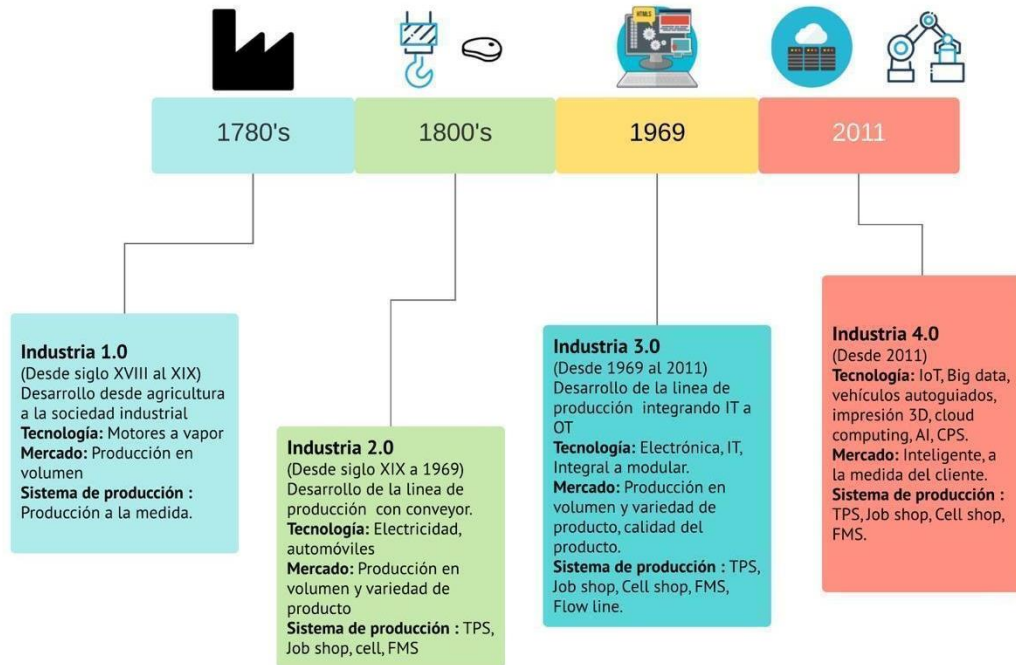


Figura 1.- Línea de tiempo de la industria 1.0 - 4.0 (basado en figura descrita en Yin et al., 2018).

Para ubicarnos en el contexto de la Industria 4.0 también es necesario tener en cuenta ciertos conceptos que se verán normalmente por sus siglas en inglés, como lo son:

1.- Cyber-Physical Systems (CPS): “Son sistemas inteligentes que incluyen interacción de redes compuestas de componentes físicos y computacionales” (Griffor et al., 2017, p. 1). Una definición más completa desde su origen en sistemas de ingeniería y control dada por Greer et al., (2019) 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 (p. 10).

2.- Internet of Things (IoT): Su definición 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. Greer et al., 2019 lo define como: “Es un término utilizado como sombrilla cubriendo varios aspectos relacionados a la extensión del Internet y la Web al mundo físico, por medio de dispositivos estratégicamente distribuidos con identificación embebida, con capacidades de sensado y/o actuación” (p. 10).

3.- Industrial Automation & Control Systems: Conocido como IACS por sus siglas en inglés. 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 et al., 2018, p. 2).

4.- Supervisory Control and Data Acquisition o SCADA por sus siglas en inglés:

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 a grandes rasgos 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 las capacidades como el análisis de información y nivel de conectividad que se encuentra en aplicaciones IIoT hoy en día (Boyes et al., 2018, p. 2).

5.- Industrial Internet: El consorcio del Internet Industrial de las Cosas (Industrial Internet of Things Consortium o IIC) nos da la definición como: “Internet de las cosas, máquinas, computadoras y personas, habilitación de operaciones inteligentes utilizando análisis avanzado de datos para la transformación de resultados en negocios” (Anish et al., 2018, p. 13).

6.- Industrial Internet of Things (IIoT): De acuerdo con Boyes et al., 2018:

El Internet Industrial de las Cosas 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 por su término en inglés o en la rama, Edge por su término en inglés, 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 (p. 3-4).

7.- Sensor: De acuerdo con Greer et al., 2019 se define como: “Elemento que transforma una forma de energía a otro tipo de energía, algunos sensores tienen un conjunto de sensores” (p. 23).

8.- Actuador: Una vez más Greer et al. (2019) se define como: “Dispositivo que realiza una función de salida para controlar un dispositivo externo” (p. 23), por ejemplo: cilindros, luces, sonido, imágenes, etc.

En la industria se busca la producción de un bien a cambio de una remuneración deseada. Para poder producir bienes se necesitan espacios dónde manufacturarlos; estos espacios son lo que llamamos maquiladoras. Para producir un bien, que ahora denominaremos producto, 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, estos cumplan y sean conformantes. Entre más productos conformantes se produzcan mejor será la productividad. Dado que los procesos en un principio eran hechos por mano de obra directa se empezó a buscar la manera de poder prescindir de esta mano de obra y 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.

Para ello, la industria moderna ha hecho uso de herramientas para la programación de tareas en líneas de producción; ejemplo de esto es el PLC, del inglés Programmable Logic Controller, donde se programa una serie de pasos que se validarán por medio de señales de entrada comúnmente siendo emitidas por sensores. Así, activan salidas físicas por medio de relevadores o transistores para controlar actuadores, contadores, sistemas de visualización o simplemente para comunicarse con otras maquinarias. Es en base a estos sensores que podemos decidir y establecer un criterio por medio de la programación del PLC o Controlador y lograr la serie de tareas necesarias para manufacturar un producto. Los sensores nos permiten medir parámetros del mundo físico, por ejemplo, temperatura, presión, flujo de agua, consumo energético, etc. y transformarlo en información que es útil y poderla manipular o transformar de acuerdo con los requerimientos de un proceso o sistema.

La siguiente herramienta importante para el desarrollo de la interconectividad industrial fue la introducción al primer DCS, del inglés Distributed Control System, por Honeywell y Yokogawa en 1975 (Abdeldjalil, 2015). Los conceptos y tecnologías con el tiempo han ido sufriendo cambios; un ejemplo de esto es el esquema que se había planteado para el Internet en un principio con el prototipo de red moderna llamado ARPANET como muestra la figura 2, sin embargo, este está muy lejos de lo que conocemos actualmente como Internet.

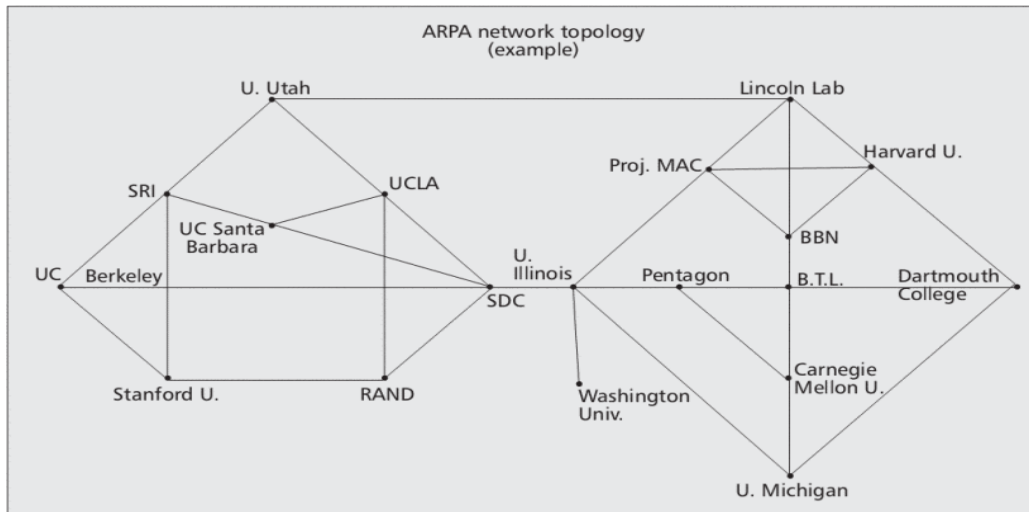


Figura 2.- 19-nodos ARPANET mostrada en el Requisito de Cotización original. (Kleinrock, 2010, pág. 30)

La primera aparición de un dispositivo inteligente como lo conocemos actualmente comenzó en 1980 con la introducción de Ethernet, modificando una máquina expendedora de Coca-Cola ubicada en Carnegie Mellon University, para reportar niveles de inventario y temperaturas del frigorífico (Jordan, 2018). Esto fue un antecedente de lo que se conocería ahora como una aplicación del Internet de las Cosas, propuesto como tal por Kevin Ashton durante su estancia en Procter&Gamble (P&G) durante 1999, mientras fue director ejecutivo del centro Auto-ID establecido en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (Ashton, 2009). El concepto de esta investigación desarrollada en torno a la identificación por radiofrecuencia en red (RFID) y nuevas tecnologías de detección por sensores. Kevin Ashton enfatizaba que por medio de estas tecnologías se podían contar y realizar un seguimiento de las mercancías sin necesidad de intervención humana en la cadena de suministros. Además, afirmó que utilizando estas tecnologías el seguimiento detallado y la posibilidad de reducir los costes y malos usos sería posible.

Si tuviésemos ordenadores que fuesen capaces de saber todo lo que pudiese saberse de cualquier cosa –usando datos recolectados sin intervención humana– seríamos capaces de hacer seguimiento detallado de todo, y poder reducir de forma importante los costes y malos usos. Sabríamos cuándo las cosas necesitan ser reparadas, cambiadas o recuperadas, incluso si están frescas o pasadas de fecha. El **Internet de las Cosas** tiene el potencial de cambiar el mundo como ya lo hizo Internet. O incluso más. (Aston, 2009, párr. 4).

En 2008 el protocolo OPC UA de Arquitectura Unificada es lanzado, habilitando la comunicación segura y remota entre dispositivos, fuentes de datos y aplicaciones (OPC FOUNDATION, 2008). Con el desarrollo de tecnologías nuevas a partir del año 2010 se han reducido los costes de hardware en tecnologías de sensado y recolección de datos para facilitar la aplicación del IIoT. Más recientemente se detecta la necesidad de introducir la ciencia de datos como herramienta para mejorar los modelos de negocio competitivos.

Otro concepto utilizado en la Industria 4.0 es el M2M que según el European Telecommunications Standards Institute discute este concepto de “Machine to Machine communication” conocido por sus siglas en inglés como M2M: “Comunicación entre dos o más entidades que no necesariamente necesitan de intervención humana directa, los servicios M2M intentan automatizar decisiones y procesos de comunicación” (European Telecommunications Standards Institute, 2013, p. 6).

Con el rápido desarrollo de la industria eléctrica, electrónica, de información y manufactura avanzada, el método de manufactura realizado por las empresas está siendo transferido de digital a inteligente. En el contexto de la manufactura inteligente se debe establecer que la fábrica inteligente para cumplir con la manufactura avanzada basada en tecnologías interconectadas y su

flujo de datos de manufactura, así como incluir el estatus del proceso y los requerimientos especiales de manufactura. Sin embargo, debido a las diferentes características de los diversos campos de manufactura y el tipo de datos que pueden ofrecer, hay algunos problemas técnicos que se deben resolver según el diagrama de manufactura inteligente en la figura 3.

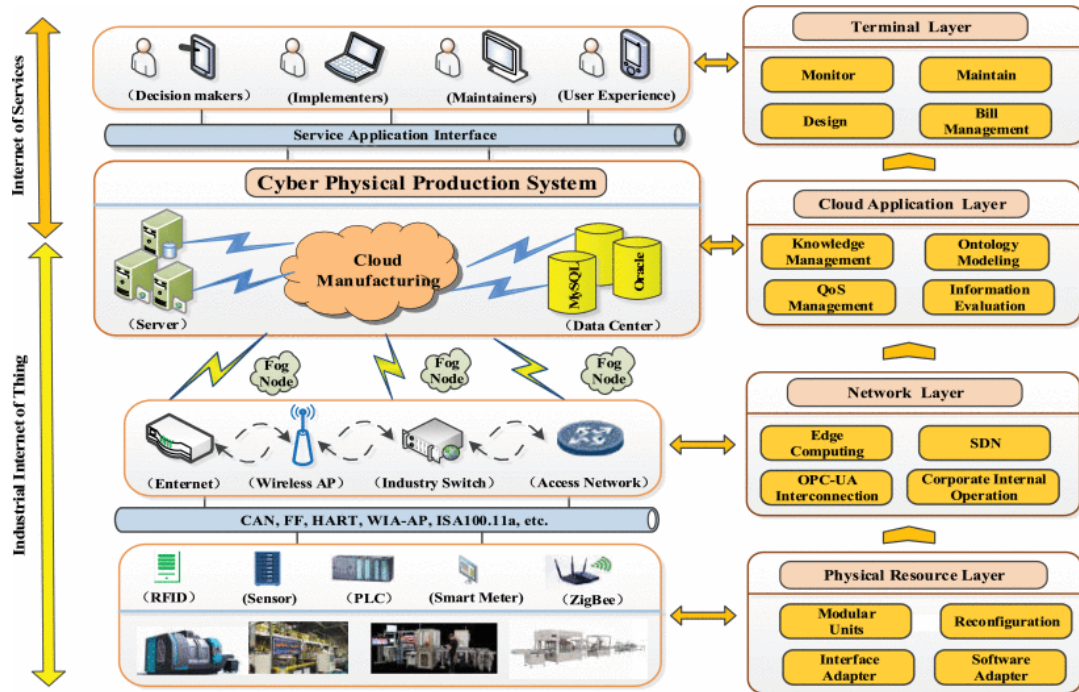


Figura 3.- Arquitectura jerárquica de una “smart factory” (Chen et al., 2018).

En la capa física se deben de tener dispositivos de adquisición de datos y comunicación, en la capa de intercomunicación se debe tener flexibilidad y escalabilidad y en la capa de aplicación se debe tener la capacidad de analizar la información, así como poder generar auto organización, auto aprendizaje y fácil adaptación.

Para el contexto en la aplicación de la investigación y su futura utilización en el rubro industrial se denominará al concepto de CPS y IoT como el modelo donde ambas definiciones llegan a intersecarse como se puede observar más gráficamente en el diagrama de Venn en la figura 4 donde ciertos puntos son utilizados en común debido 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” por su sigla en inglés “Physical”.

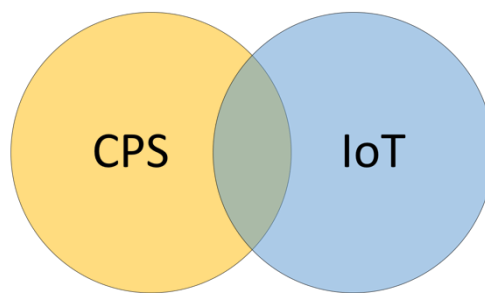


Figura 4.- Representación de la visión sobre el traslape entre los conceptos de IoT y CPS (Greer et al., 2019).

A diferencia de la definición de IoT donde se toma como “Cosa” 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. Ambos puntos de vista tratan de relacionar el mundo físico con el digital a través de sensores y tecnología interactiva. Sin embargo, se diferenciarán en su centro de perspectiva como CPS al sistema que tomará como prioridad el intercambio y retroalimentación de información para el sensado y control de actuadores en el mundo físico. Con el CPS se busca un sistema de ciclo cerrado, tomando a la persona como un factor necesario que interactúa con el sistema, como se puede observar en el diagrama a bloques de la figura 5, donde la función o propósito a realizar por el sistema se denomina “Function Block”, su salida es un actuador físico, la entrada de referencia

es la información proporcionada por el sensor y el elemento de retroalimentación puede ser una persona.

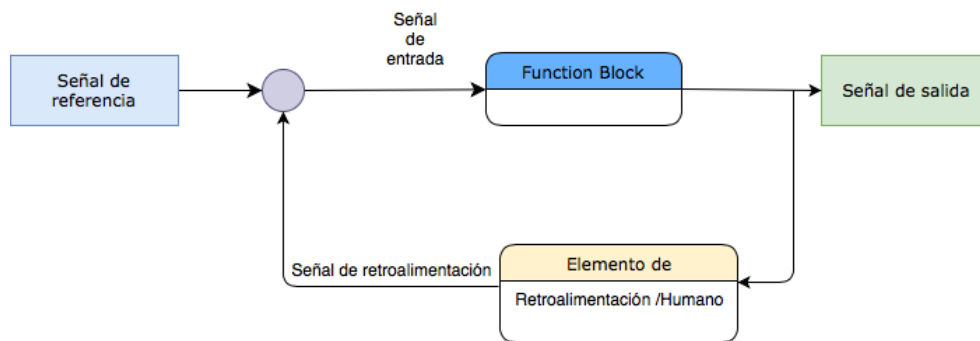


Figura 5.- Sistema desde el punto de vista de tecnología CPS.

Por su parte, el IoT se definirá como el sistema con perspectiva que prioriza la interconexión de todas las cosas en el mundo real y que tiene la flexibilidad de tener una estructura más abierta. Sin embargo, esta pretende eliminar la interacción del humano con el sistema donde no contribuirá a comparación del sistema ilustrado en la figura 5 (Greer et al., 2019). En el sistema desde la perspectiva de IoT ilustrado en la figura 6, donde “Function 2” es una función que puede ser realizada por una persona o sistema con la información proporcionada por “Function 1”. Debe aclararse que la función realizada por el bloque “Function 1” en perspectiva de sistema IoT no incluye la interacción humana para su retroalimentación y la información es recopilada automáticamente en formato puro. Esta se convierte en una señal de salida que el bloque “Function 2” toma como entrada y puede a partir de ella realizar procesamiento o despliegue de la información, retroalimentar otros sistemas o dar una respuesta a un sistema más grande que solicite la corrección en algún actuador, de aquí la flexibilidad que pueda presentar el sistema.

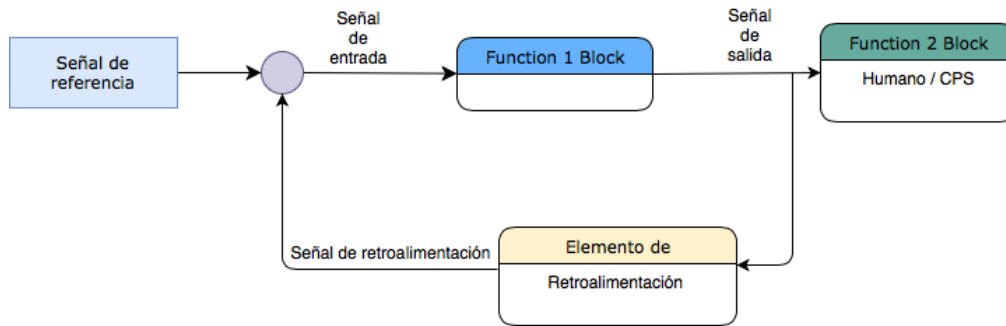


Figura 6.- Sistema desde el punto de vista de tecnología IoT.

Dado que ambos están en la categoría de Sistema de Sistemas, SoS del inglés System of Systems, pueden funcionar a base de módulos, donde un CPS puede tener múltiples CPS o tecnologías IoT (Greer et al., 2019). Por ejemplo, en la figura 6 podemos ver que tenemos un sistema con tecnología desde el punto de vista de IoT y la información hacia la función 2 puede ser un sistema CPS.

El objetivo de “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 (Nezhmetdinov et al., 2018).

Como un ejemplo de estos sistemas ya automatizados en un conjunto se puede observar en la figura 7 al grupo de tecnologías 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, como tecnologías unidas para obtener la virtualización del proceso de producción para la optimización. Esto constituye una de las principales ventajas en la visión de Industria 4.0.

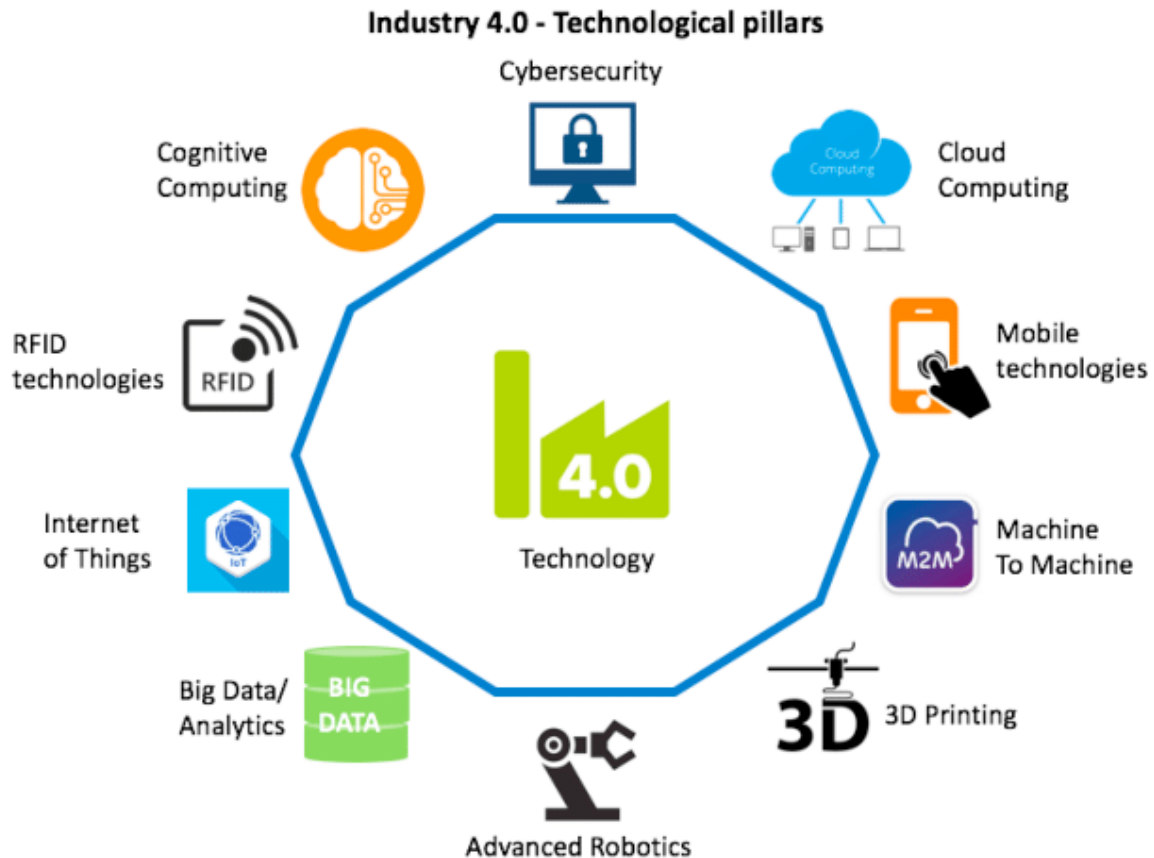


Figura 7.- Tecnologías para la Industria 4.0, Propuesta de arquitectura para soluciones automatizadas en Industria 4.0, Julio 2017, Conferencia: 24th Conferencia Internacional en investigación de producción, At Poznan, Poland.

Muchas organizaciones han empleado estas nuevas tecnologías para describir aplicaciones de IoT que se relacionan con la producción de bienes y servicios en la industria manufacturera. Sin embargo, el empleo de nuevas tecnologías en el transcurso de la historia en la industria ha logrado que se consoliden y siga avanzando el desarrollo en automatización de procesos tanto como procesos específicos, como el conjunto global de cadena de procesos para transformar materia prima en producto final. Es así como la interconexión entre procesos es vital para mantener la estructura de automatización, esta interconexión ha tenido una evolución bastante positiva y práctica.

En la Industria 4.0 estas señales emitidas por sensores son fundamentales para virtualizar los procesos y generar un modelo del proceso de manufactura a desarrollar, así como generalmente se tienen una serie de actuadores que interactuarán con estas señales que proporcionan los sensores para ejecutar una tarea específica y obtener el objetivo que es el producto deseado.

1.2 Planteamiento del problema

En lo particular en la planta manufacturera “Furukawa Automotive Mexico”, el proceso de Sobremoldeo por inyección de plástico a terminales eléctricas se representa por medio de la Figura 8.

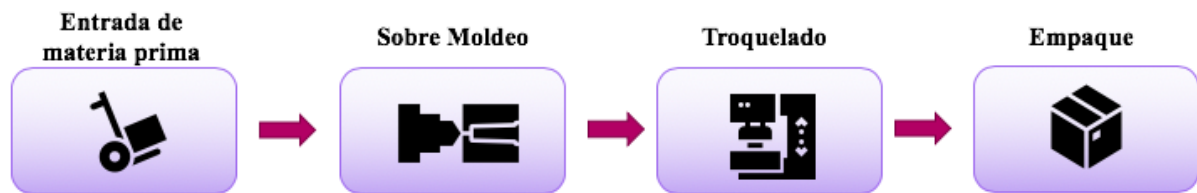


Figura 8.- Vista previa del proceso de Sobremoldeo por inyección de plástico.

1.- Las entradas de materia prima para iniciar el proceso son los siguientes: terminales estampadas y resina para moldear, para que obtengamos el producto deseado, siendo la terminal moldeada.

2.- El segundo bloque es el proceso de Sobremoldeo de terminales. Este proceso como cualquier otro tiene pérdidas o generación de desperdicio; por naturaleza del proceso se tiene cierta cantidad de desperdicio por inicialización o estabilización del mismo, sin embargo, en distintas ocasiones se trata de estabilizar y es posible que a percepción humana el proceso ya esté listo para ser entregado a producción, cuando después de algunas piezas producidas aparecen defectos en las

piezas que pueden o no pueden ser detectados rápidamente por los operadores en la máquina. En este bloque también tenemos el modo de falla por parte del operador de no anotar las piezas que se necesitan producir por inicialización, tiempo muerto de máquina no operable por ajustes, mantenimiento correctivo, falta de materia prima o cambio de modelo. Además, la falta de un número confiable en la productividad del equipo no permite al departamento de Ingeniería mejorar el proceso de forma óptima.

3.- En el tercer bloque es el proceso de troquelado, donde se procesa la terminal moldeada eliminando secciones de metal excedentes para obtener el producto deseado. En este caso el herramental que corta las piezas puede sufrir daños ya sea por mala manipulación, mal posicionamiento o desgaste que no se ha registrado u observado. Produciendo así piezas no conformantes, que si bien se tienen que registrar todas las piezas no conformantes al momento de contabilizar las piezas el operador no registra la cifra correcta.

4.- En el último bloque tenemos el proceso de empaque, este último nos permite contabilizar las piezas producidas y mantener un inventario de terminales moldeadas correctamente. Sin embargo, muchas veces este proceso al ser realizado por operadores no se contabiliza bien, dejando inventarios aparentemente llenos incompletos.

La cuestión en particular es el manejo erróneo de la información y para tener registros confiables es necesario obtener de raíz la información de la producción en tiempo real, y así conocer qué tan productivos son los equipos en las líneas de producción. Misma información que contribuye para la generación de nuevos negocios y las oportunidades para la manufactura de tecnologías de vanguardia, si no se conoce la capacidad actual de producción será muy complicado

que llegue a aprovecharse el recurso para que se pueda aprovechar estas nuevas oportunidades mermando así el corazón del negocio que es la manufactura.

1.3 Preguntas de investigación

Es necesario hacerse ciertas preguntas para partir de nociones ya existentes, ubicarnos en el tiempo y contexto del IIoT referente al campo de moldeo por inyección, y así desarrollar una solución viable.

¿Cuál es el contexto de la tecnología IIoT en la Industria de moldeo por inyección de plástico?

En las industrias siempre se persigue obtener el mejor producto con el menor recurso para optimizar los procesos. Hoy en día la exigencia en la calidad del producto es mayor y la competitividad también va incrementando, las empresas ahora obtienen estos resultados recolectando y analizando grandes cantidades de datos más rápido que antes, adoptando dispositivos inteligentes conectados. A partir de esto han aumentado su productividad, escalabilidad y disminuido la distancia entre usuarios, logrando obtener una visión clara de cómo sus operaciones están evolucionando o ayudándoles a mejorar sus negocios (Park, 2019). Para ello los procesos de manufactura se vuelven flexibles innovando con el uso de las tecnologías asociadas a la Industria 4.0. Lee et al. (2017) se refiere a “El intercambio de información de objetos (máquinas, operadores, etc.) a través de tecnologías de red (nube, redes inalámbricas), Internet y tecnologías de comunicación basadas en el IoT construyendo CPS para lograr toma de decisiones centralizada utilizando tecnologías de Inteligencia Artificial (IA)”, como un conjunto que implementado en un lugar se le conoce como Smart Factory. En los procesos de manufactura, el de moldeo por inyección de plástico es muy popular. Sin embargo, el incremento de la demanda

de productos con calidad genera una presión a los fabricantes para convertirse en los mejores productores de componentes plásticos. Estos productos de calidad son el resultado de múltiples elementos como maquinaria, material y los parámetros del proceso. Es por todas estas nuevas tecnologías y herramientas utilizadas en el campo industrial que ahondamos en el ramo de moldeo por inyección de plástico, particularmente para encontrar cómo se desenvuelven y su utilización desde el piso de producción, mantenimiento y administración del negocio.

¿Qué se ha hecho para resolver problemas de moldeo utilizando IIoT?

Es importante conocer qué soluciones se encuentran en el mercado para solventar la problemática que se pueda presentar en la industria de moldeo y así corregir defectos en los productos, prevenir fallas en los equipos y predecir tendencias en el proceso, todo con el fin de optimizar el proceso y generar el menor tiempo muerto y desperdicio posible. De manera más concreta, en este caso se investiga acerca de soluciones a la manufactura de moldeo por inyección de plástico por medio de tecnologías IoT o de Industria 4.0. El método tradicional es el método analítico para obtener en un proceso de moldeo la receta óptima como el estudio de defectos y problemas en el proceso por medio de estadística, métodos metaheurísticos, control de parámetros derivado de las características principales como defectos del moldeo por inyección, entre otros. Sin embargo, con el avance de la tecnología debemos aprovechar el desarrollo de herramientas innovadoras para obtener resultados más rápidos y certeros con el fin de mantener un proceso estable y dar resolución a problemáticas complejas en manufactura de piezas que anteriormente eran difíciles de procesar, así como manufacturar productos que eran imposibles de crear con el conocimiento técnico con respecto a la naturaleza del proceso de moldeo. Con este fin es necesario

que esta pregunta sea respondida y ampliar el panorama del desarrollo científico en el mundo con respecto al uso de tecnología novedosa de Industria 4.0 para resolver problemas que tal vez sean comunes pero difíciles de corregir.

¿Qué clase de casos de éxito sobre la implementación del IIoT en moldeo por inyección de plástico se han documentado?

Siguiendo la línea de investigación que desata la pregunta anterior, se ahonda en la implementación de las diferentes ramas de tecnologías de IIoT, ya que se debe hacer énfasis en que tiene diferentes características y cada una de las tecnologías puede ser útil en casos específicos o se debe buscar alguna que englobe las soluciones pertinentes según sea el caso. Se debe tener en cuenta que existen las siguientes ramas en herramientas IIoT: “CPPS”, auto organización inteligente, interoperabilidad entre “CPS”, hombre y “CPPS”, fácil adaptación y flexibilidad a los cambios de requerimientos, uso de algoritmos de “Big Data” y tecnologías capaces de procesar en tiempo real, optimización de procesos de manufactura, integración de datos por medio de ingeniería interdisciplinar y comunicación segura a través del Internet, en la nube, por mencionar algunos. Es importante reconocer los logros llevados a cabo y recopilar el conocimiento existente para tener en cuenta qué herramientas son útiles según la naturaleza de cada caso, y así tener una referencia para desarrollar las problemáticas vivenciadas en el piso de producción. Ya obteniendo la información documentada se facilita estandarizar el flujo de trabajo para la solución que se desea obtener.

¿Qué recomendaciones hay para utilizar tecnologías IIoT?

En la industria lo más recomendable serán las soluciones óptimas, un balance entre económico y capaz. De los casos de éxito estudiados se tienen diferentes puntos de vista según el enfoque, sin embargo, hay algunas similitudes entre hallazgos. Por ejemplo, en Gaub (2016): “Entre más suave un sistema corra y más será su índice de utilización y más ganancias generará”. Es importante tener en cuenta la historia ya recorrida por partes interesadas que ya realizaron implementaciones de este tipo de tecnologías y observar su trabajo ya sea que tuvo éxito absoluto o encontrar las razones por las cuales no fue exitoso el proyecto y así no repetir errores que realizaron anteriormente. Cada caso en particular tiene sus puntos de oportunidad y sus fortalezas. Es importante estar lo mejor documentado para seleccionar las herramientas que más se acoplen a la necesidad en mano. Así como también conocer los diferentes dispositivos o plataformas que se vayan desarrollando con el paso del tiempo, ya que el mercado de soluciones industriales constantemente está trabajando en ofrecer soluciones mejores a sus clientes.

1.4 Objetivos

1.4.1 Principal

Diseñar e implementar un sistema basado en el Internet Industrial de las Cosas o IIoT en las líneas de manufactura de Sobremoldeo por inyección de terminales automotrices de “Furukawa Automotive Mexico” para la recopilación, monitoreo y procesamiento de datos de productividad, así como su uso en proyectos de ingeniería.

1.4.2 Específicos

- Desarrollar la arquitectura para recopilación de datos del proceso de Sobremoldeo por inyección y su productividad en “Furukawa Automotive Mexico”.
- Obtener mediciones de la productividad por equipo en tiempo real del piso de producción a través del IoT.
- Generar una base de datos de las líneas de Sobremoldeo por inyección de plástico para mantener registro de eficiencias y su uso como herramienta para los sistemas de producción.

1.5 Metas

- Introducir tecnología de Industria 4.0 en proceso de Sobremoldeo por inyección de terminales automotrices en “Furukawa Automotive Mexico”.
- Aplicar herramientas con tecnologías IIoT para propósitos empresarial y de ingeniería.
- Desarrollar un método para implementar tecnologías IIoT en líneas de manufactura de moldeo por inyección de plástico.

1.6 Justificación

El uso de las tecnologías de la información en pleno siglo XXI se ha vuelto fundamental para el crecimiento de la sociedad. El caso de la industria manufacturera no es distinto, se necesita

el uso de la información para seguir siendo competitivos internamente entre procesos y externamente en el mercado.

Un control de procesos óptimo vuelve rentable el producto que ofrece la industria manufacturera, debido a los requerimientos más estrictos día con día por estándares de gestión, así como de normas emitidas por las instituciones gubernamentales pertinentes nos indican que debemos ser más cuidadosos en nuestros procesos. Por este motivo el uso de tecnologías IoT debe de ser empleado en mejorar sistemas de mantenimiento, mejorar la productividad por medio de análisis de datos recabados de los diferentes procesos a evaluar, manejo de información en tiempo real para mejor toma de decisiones en la planeación de producción, por lo antes descrito en materia de seguridad y medio ambiente.

Las constantes tareas realizadas por el factor humano traen consigo un problema de comunicación, donde la información que se solicita no necesariamente corresponde con la que se proporciona al final. La información sobre la productividad recabada pasa a través de varias etapas, y comúnmente se va deteriorando cada vez que pasa por una de ellas, en este caso registros que son llenados por personas donde una causa de mala recepción puede ser que no sea legible para el lector los registros recabados, no se registre a la hora pertinente la información necesaria provocando un faltante de información o que se llene erróneamente por un descuido de la persona. La implementación del IoT en las líneas de manufactura nos permitirá tener la información relevante sobre la productividad de los equipos para los fines que se necesiten en el momento inmediato de acceso ya sea por medio de dispositivos móviles o de estaciones de trabajo estáticas.

Al implementar nuevos procesos o mejorar los existentes, se requiere información lo más apegada a valores exactos, muchas de las ocasiones se realizan estimaciones basadas en una muestra que puede ocasionar un porcentaje de error considerable. Por medio de las tecnologías

IoT podemos obtener datos sobre las variables que necesitamos para realizar valoraciones y estimaciones lo más acertadas posibles.

Otro aspecto importante de los procesos productivos es el del mantenimiento predictivo y preventivo. Esto constituye una herramienta útil para nuestros procesos, ya que nos ayuda a detectar fallas y corregirlas a tiempo, evitando así problemas mayores con consecuencias tanto en tiempo de producción, como en el recurso monetario necesario para la reparación de equipo dañado. En base a datos históricos es que podemos obtener una mayor efectividad en los mantenimientos predictivos, sin embargo, para cuestiones comunes diarias y simples es que debemos tener un mantenimiento preventivo. El control de este debe ser lo más estricto posible para evitar la necesidad de realizar un mantenimiento correctivo. En ocasiones, si los procesos de recopilación de la información que define cuándo se debe realizar el mantenimiento son altamente dependientes del factor humano, se pueden generar errores u omisiones en esta información, propiciando la vulnerabilidad en el estado del equipo y por ende una falla en nuestro proceso de manufactura. Las tecnologías IoT pueden auxiliar este proceso y proveer por medios automatizados la recopilación y procesamiento de información útil para la toma de decisiones en cuestión de mantenimiento-producción.

Por medio de sistemas automatizados se puede lograr la configuración e inicialización correcta de toda una línea de manufactura, y a partir de la obtención automatizada de los datos adecuados, podemos entonces mejorar esta misma línea de manufactura. Obtener este control por medio de las tecnologías IoT puede ser realmente útil para ayudar al operario de la línea a minimizar errores al momento de realizar su labor diaria, reduciendo además los efectos que puede causar un juicio erróneo.

Además, la recopilación de datos sobre los productos que se estén realizando en el proceso de manufactura pueden favorecer en la detección de defectos comunes que puedan estar vulnerando la calidad de los mismos.

El esquema general de “Furukawa Automotive Mexico” como Smart Factory se desarrollará cumpliendo los requisitos esenciales propuestos para la Industria 4.0 en (Lee et al., 2017).

- Interoperabilidad: Los objetos, que en este caso específico llamaremos máquinas y moldes, y el factor humano que opera la Smart Factory deben ser capaces de comunicarse entre ellos a través del IoT o, por tratarse de una aplicación industrial, del IIoT.
- Virtualización: El método de predicción de problemas en el proceso se atiende conectando los objetos en red y visualizando así el modelo de las máquinas y moldes en tiempo real.
- Descentralización: Distribución de las computadoras en la maquiladora teniendo como objetivo la toma de decisiones. En este caso determinaran cuando un equipo está listo para recibir mantenimiento.
- Capacidades en tiempo real o RTS por sus siglas en inglés Real Time System: Se refiere a la habilidad de adquirir datos en tiempo real de la maquinaria, así como calidad y materia prima. En el caso particular se tomará el tiempo muerto y tiempo operativo de la maquinaria.

- Orientado a servicio: Se refiere a un entorno donde los clientes, en este caso la alta dirección, necesita administración directa en la producción o donde puedan identificar los procesos a través de tecnología de rastreo de información en cuestión de eficiencias.
- Modularidad: Sistema que puede sufrir cambios con facilidad, reconfigurando acorde a la necesidad de los clientes, en este caso la alta dirección. Esto podrá ser llevado a cabo por decisiones que correspondan a la producción, como es el mantenimiento de moldes.

1.7 Metodología

La forma en la cual se abordará este trabajo, en busca de la aplicación exitosa de tecnologías del IIoT a un caso específico dentro de la industria de moldeo por inyección de plástico, se describe a continuación.

- Como etapa inicial se redacta el protocolo para la revisión de antecedentes, especificando las fuentes primarias de búsqueda, validando con ellas si la aplicación o enfoque es lo adecuado para lograr el objetivo principal. En esta etapa se sigue el proceso para la búsqueda y revisión del estado del arte descrito en (Ibarra-Esquer et al., 2017).
- Se analizan los estándares y tecnologías asociadas a la red 4.0 de automatización industrial comerciales que se usan en la actualidad, así como la compatibilidad entre ellos.
- Se analizan los estándares y tecnologías del procesamiento de datos por medio de tecnologías IoT que puedan ser beneficiosas para el objetivo del modelo a desarrollar.

- Se buscan las normas, legislaciones y recomendaciones nacionales e internacionales que puedan estar involucradas para la implementación de una red 4.0.
- Se crea un esquema del alcance que tiene el modelo desarrollado, tomando en cuenta la extensión que se abarca mediante fases o capas. Este modelo se basa en la identificación de necesidades que requiere cumplir el proceso de Sobremoldeo por inyección en terminales automotrices en “Furukawa Automotive Mexico”.

Sobre la implementación del hardware para la adquisición de información necesaria para alimentar el sistema de procesamiento de información:

- Se realiza un modelo donde se identifica globalmente qué tipo de información se obtendrá y cómo se utilizará en los procesos de manufactura modernos. El modelo se implementará físicamente en las líneas de producción de Sobremoldeo de terminales automotrices en “Furukawa Automotive Mexico”.
- Se identifica el hardware necesario para la implementación, partiendo de las opciones de tecnologías IoT que puedan resultar beneficiosas ya sean comerciales o a la medida.

Con respecto a la implementación de la red 4.0:

- Se genera un prototipo interno en la red controlada, antes de que la información sea enviada a la nube, para validar que el modelo está siendo útil a su fin.

Con relación al software utilizado:

- Se genera un bloque en el modelo para poder elegir el que mayor compatibilidad y flexibilidad nos pueda brindar, para la utilización en diferentes aplicaciones.

La integración que se realice en las líneas de producción se documenta por medio de diagramas de los sistemas físicos creados, anexados a los manuales de las máquinas.

El modelo creado por medio del estudio de la adquisición y procesamiento de información requerida por las necesidades encontradas en este caso se documenta a fin de que pueda ser utilizado para otras aplicaciones a modo general y pueda ser rápidamente integrado a cualquier proceso que se tenga, ya sea de nueva creación o uno que se necesite estudiar a fondo por medio de tecnologías IoT.

2. Marco teórico

La economía es un factor importante para el desarrollo de cualquier sociedad, puesto que el comercio es lo que impulsa su crecimiento. Para que este crecimiento se mantenga es necesario innovar y satisfacer las necesidades de la población. Esto se puede observar en la evolución de las revoluciones industriales desde la utilización de motores a vapor en la primera de ellas hasta la continua innovación que está proporcionando el cambio a la cuarta revolución. Una de las principales industrias que sufrió un crecimiento abrupto en el siglo pasado fue el moldeo por inyección de plástico, que a pesar de que se tiene registro de la primera patente en 1872 (Zheng et al., 2011), fue hasta la segunda guerra mundial que tomó un desarrollo más rápido teniendo como resultado en 1946 el uso del tornillo en la unidad de inyección.

En este contexto en específico es que se plantea mejorar la productividad del área de Sobremoldeo por inyección de plástico, que se describe en la sección 2.1. Para identificar las metodologías, técnicas, casos de estudio exitosos, investigaciones e innovaciones por medio de tecnología IIoT se realizó una revisión sistemática de literatura, que se describe en la sección 2.2 misma que se utilizó como base para el artículo por Aguilar et al. (2021, p. 9). Además, esta revisión fue utilizada para responder al contexto planteado por las preguntas de investigación. De manera complementaria, se realizó una revisión al estado de la técnica cuyos resultados se describen en la sección 2.3.

2.1 Moldeo por inyección de plástico

El moldeo por inyección 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. El proceso de inyección de plástico contiene múltiples variables con interacciones complejas entre variables de control y obtención de resultados en proceso.

El ciclo empieza en una tolva donde la resina del polímero es alimentada hacia la máquina. Aquí se muestra la primera variable en el proceso, la termodinámica del polímero se ve afectada por colorantes o resistencia a rayos ultravioletas, así como contaminantes o impurezas en la composición del material cuando se trata 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 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 et al., 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 conformada principalmente por tornillo y barril, así como el molde, como se muestra en la Figura 9.

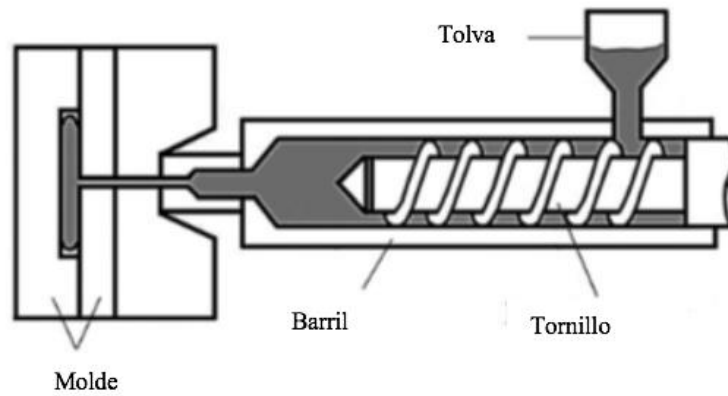


Figura 9.- Vista general de componentes fundamentales que componen el moldeo por inyección de plástico (Zheng et al., 2011).

La técnica de moldeo por inyección llamada “Overmolding” o “Insert molding” por sus términos en inglés se les conoce como “Sobre Moldeo” en la Industria Manufacturera Mexicana, y consiste en eliminar un proceso de ensamble entre 2 materiales puede ser entre 2 polímeros o una unión metal-polímero que es en la que nos centraremos, esto para acortar tiempos de proceso y reducir el posible error humano al agregar a la operación un proceso de ensamble (Wang et al., 2011, p. 1). Esta tecnología se patentó y desarrolló por Bayer (Zoellner and Evans, 2002), donde se presenta el principio de perforado por estampado a una lámina de metal e insertándola en un molde por inyección de plástico para sobre moldearla con resina nylon 6 reforzada con 30% de fibra de vidrio, y crear así una estructura tipo malla de refuerzo. El metal y la resina son unidos por resina fundida que se forma a través de las perforaciones anclando la estructura de metal a la estructura tipo malla (Grujicic et al., 2008, p. 2). En Aliyeva et al. (2021, p. 4) se describe más

visualmente los pasos para sobre moldear láminas de metal preformadas por un proceso de formado o estampado:

- 1) Se preforma el inserto a sobremoldear.
- 2) Se coloca el inserto preformado en la cavidad del molde calentando la superficie, mientras se cierra el molde.
- 3) Se inyecta plástico en la cavidad sobremoldeando el inserto.
- 4) Se remueve la parte sobremoldeada por medio de un mecanismo desmoldeante o evector.

El tiempo para la unión de materiales es rápido; como tiempo de ciclo se tiene menos de 1 minuto. Para eliminar posibles efectos por el encogimiento de la pieza se aplica una presión de empaque durante la etapa de enfriamiento. En la figura 10 se puede observar más fácilmente el proceso de Sobremoldeo.

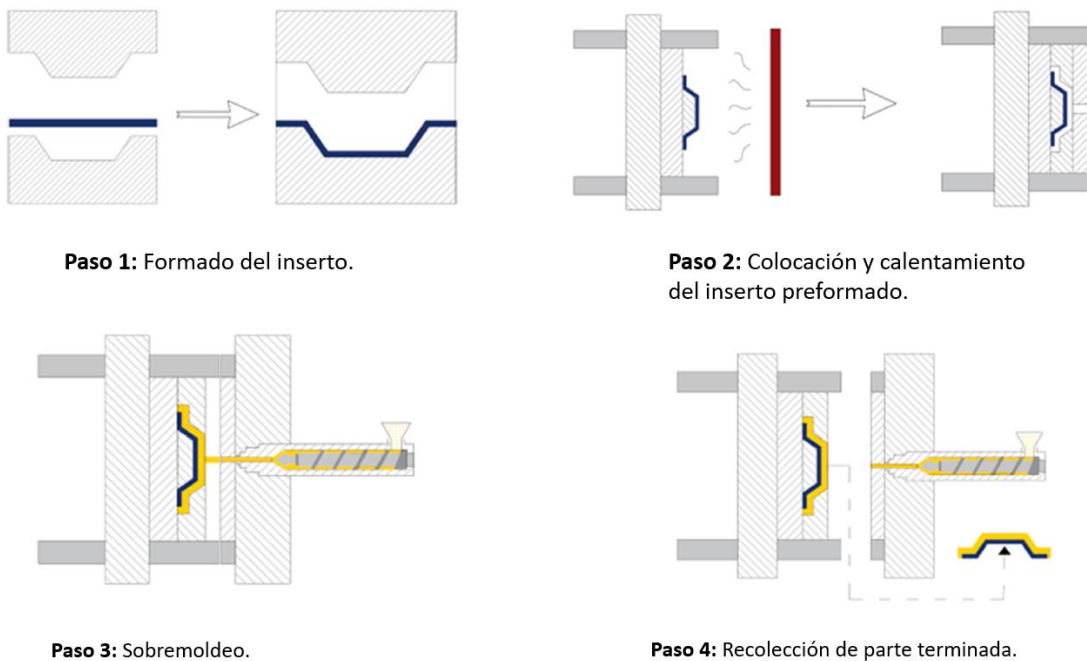


Figura 10.- Representación esquemática paso a paso del proceso de sobre moldeo (Aliyeva et al., 2021, p. 5).

2.2 Revisión sistemática de literatura al estado del arte

La revisión sistemática que se describe a continuación, se realizó basada en la metodología del modelo PRISMA (Urrútia & Bonfill, 2010). A pesar de que se utiliza para temas en cuestión de salud se adaptó para dar una revisión actualizada al contexto de la investigación presente. Se tomaron los apartados que aplican para la revisión sistemática de la siguiente manera:

2.2.1 Criterios de elegibilidad

Se establece que las publicaciones a tomar en cuenta cumplan los siguientes criterios: la principal ventana de antigüedad para la búsqueda en las diferentes bases de datos, repositorios, redes sociales, revistas electrónicas y diversas publicaciones periódicas. Se busca que contengan algunos términos y principios anteriormente mencionados como fundamentales para el IIoT. Se utilizaron las siguientes cadenas de búsqueda, conformadas de la manera mostrada para obtener la cantidad más precisa de resultados y tener un contexto más completo.

Cadenas de búsqueda:

- “Molding 4.0”
- “IIoT”
- “Industry 4.0”
- “Injection Molding” & “Industry 4.0”

Dado que se encontró una cantidad de resultados extensa, se delimitaron a las primeras 10 páginas, con 25 resultados en cada una. y se seleccionaron los documentos que más se asemejan al propósito de esta implementación.

2.2.2 Fuentes de Información

A continuación, se listan las fuentes principales de consulta que se utilizaron para esta búsqueda.

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

De manera complementaria se incluyeron las siguientes fuentes como auxiliares.

- Research Gate
- Google Scholar

2.2.3 Búsqueda

La etapa de búsqueda de la revisión sistemática de literatura se ejecutó según se muestra en el diagrama de flujo de la figura 11 (Ibarra-Esquer et al., 2017), donde:

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

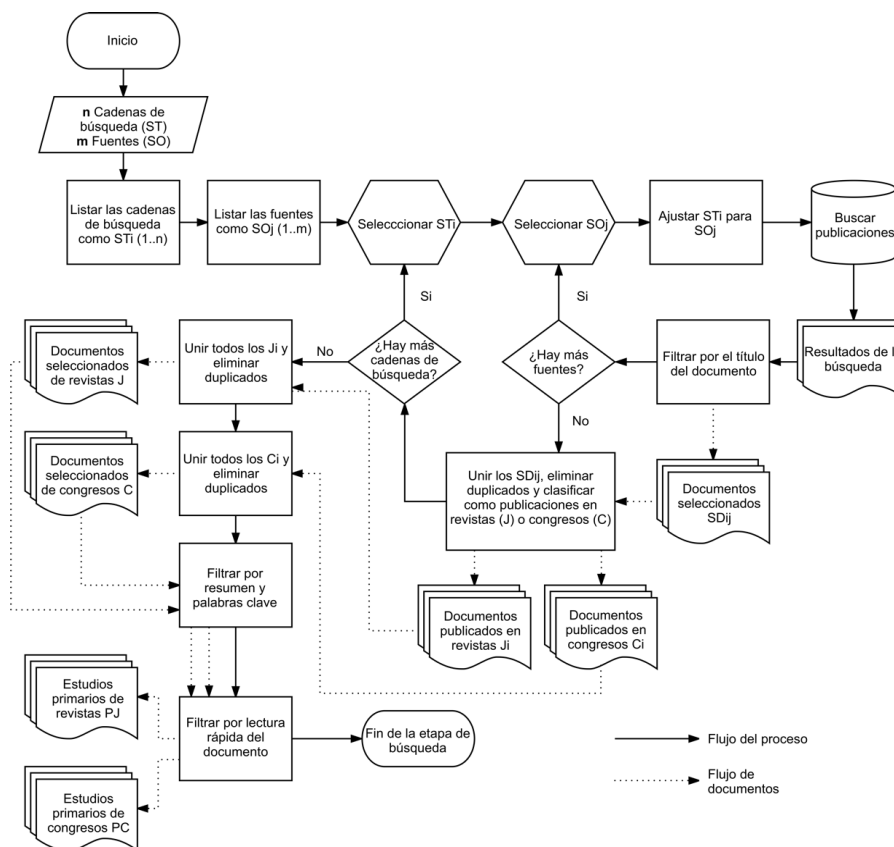


Figura 11.- Diagrama de flujo para la etapa de búsqueda en una revisión sistemática de literatura (Ibarra-Esquer et al., 2017).

Las cadenas de búsqueda o “ST” introducidas en los motores de búsqueda fueron las mismas, adaptadas a cada búsqueda en las fuentes de consulta, empezando por las fuentes primarias y después las auxiliares. Se seleccionaron los documentos que más se asemejan al propósito de esta implementación según el título sea de interés. Procediendo a la identificación de documentos duplicados entre fuentes, eliminando y clasificando por fuente, este proceso se repite cada vez que se utiliza una nueva cadena de búsqueda. Un segundo filtro se aplica y se da una vista previa de los resúmenes que ofrece cada uno de los documentos.

Los artículos de interés encontrados en cada base de datos se capturaron en el buscador de referencias Zotero (Versión 5.0.96.3) utilizando el número de identificación digital de la

publicación, en caso de contar con él. Cuando se introduce y se ve repetido en el listado significa que se ha redescubierto eliminándolo del listado como muestra el diagrama de flujo.

2.2.4 Resultados

La búsqueda de estas implementaciones se realizó como parte de la revisión sistemática de literatura según el diagrama de flujo en la figura 11. Los resultados cuantitativos de la revisión, por cadena de búsqueda y fuente, primaria como auxiliar se presentan en la tabla 1.

Cadenas de búsqueda	Base de datos						
	IEEE Xplore	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
Total	34	23	3	16	2	12	1

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

En la tabla 2 se ve reflejado el resultado numérico después de depurar los resultados al revisar la sección de resumen correspondiente y elegir los que son de interés con casos exitosos.

Cadenas de búsqueda	Base de datos						
	IEEE Xplore	ScienceDirect	Springer Link	Scopus	IOP Scienc	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
Total	14	18	1	16	2	6	1

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

Para finalizar se seleccionan los artículos en base a la revisión completa del contenido, viéndose reflejado en la tabla 3 al conjunto de documentos que se toman en cuenta.

Cadenas de búsqueda	Base de datos					
	IEEE Xplore	ScienceDirect	Springer Link	Scopus	IOP Scienc	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
Total	3	10	0	4	2	1

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

2.2.5 Selección de los estudios

Los resultados de interés son aquellos donde se implementaron tecnologías de Industria 4.0 o IIoT para la industria de moldeo por inyección de plástico. Estos documentos se ordenan cronológicamente para su pronta referencia, por medio de la tabla 4. Así se puede observar la evolución que ha tenido el IIoT en el contexto de moldeo por inyección de plástico.

Año	Título de la publicación	Autor	Fuente
2020	Lean Manufacturing 4.0 of Polymeric Injection Molding Products	Danut-Dorin, 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., & Dubbay, 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 neuronal 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, F., 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.	Vrabic, 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 mode-based predictive controller for controlling part warpage in plastic injection molding	Zhang, S., Dubay, R., & Charest, M.	ELSEVIER: Expert Systems with Applications

Tabla 4.-Artículos seleccionados para la revisión.

2.2.6 Proceso de extracción de datos

Ya aplicados los filtros y con conocimiento del contenido de cada artículo se procede a identificar los objetivos, contratiempos si es que los hay y resultados finales de cada caso, procediendo a la clasificación de la aplicación.

2.2.7 Casos de aplicación

2.2.7.1 El IIoT en la Industria de Moldeo por Inyección de Plástico.

Los resultados encontrados en la búsqueda del contexto de tecnologías IIoT aplicadas en el moldeo por inyección de plástico nos lleva principalmente al estudio del proceso y para esto es necesario diseñar, medir y monitorear el proceso para procesar los parámetros clave (Ageyeva et al., 2019). Esto dará paso a una característica importante para la Industria 4.0 siendo la generación de “big data” y su procesamiento en servicios de la nube. Al adoptar este tipo de tecnologías se facilita la transición de sistemas de manufactura tradicional a sistemas modernos digitalizados que utilizan analítica de datos para producir valor agregado que pueden abrir la posibilidad a nuevas oportunidades de negocios. Así, se mejora la capacidad de tomar decisiones en las celdas o estaciones correspondientes de los procesos de manufactura, lo que puede llevar incluso a la mejora en el diseño de modelos para el futuro, ya que la retroalimentación es llevada a cabo por medio de sensores (Alexopoulos et al., 2018).

Es importante hacer notar que la ganancia principal de este tipo de manufactura viene dada por el ciclo de manufactura por pieza ya que normalmente son tiempos bajos de producción por pieza (Ageyeva et al., 2019). Un mantenimiento preventivo a los moldes en este caso específico resulta en un gran apoyo al sistema de producción, evitando tiempos muertos muy largos. En este

sentido, el uso de tecnologías en la nube ha proporcionado beneficios importantes; una evidencia de esto es el sistema de comunicación para seguimiento al mantenimiento o rediseño de moldes en caso de piezas no conformantes por medio de herramientas de manufactura en la nube descrito en Li et al. (2018). Un problema común en la industria es la pérdida de información cuando se tienen múltiples turnos, por lo que este sistema proporciona un mejor seguimiento y veracidad a la información recopilada.

En el entorno industrial moderno se necesita obtener resultados rápidamente para mantenerse competitivos, por lo que la rotación de personal obteniendo trabajadores sin experiencia, tanto como la capacidad para la resolución y análisis de problemas y el envejecimiento de la población (Lee et al., 2017) son factores con los que se lucha para desempeñar eficientemente los procesos. Es por este tipo de razones que actualmente se está acudiendo al uso de tecnologías con capacidades de IoT.

Un uso importante de estas tecnologías es el de simplificar el procesamiento de la información hacia los altos mandos. Esta información frecuentemente tiene que ser recabada a mano y después transcrita a hojas de cálculo. Con las tecnologías que ofrece la Industria 4.0 se puede acelerar estos procesos ofreciendo reportes hechos automáticamente por las máquinas, integrando todos estos reportes útiles e incrementando así la administración de producción, así como la obtención de información sobre fallos de las máquinas y tiempos muertos. Se tiene especial enfoque en los “Real Time Systems”, así en casos de empresas que forman parte de un corporativo internacional, las otras plantas podrán ver el desempeño entre ellas, permitiendo actuar más rápidamente (Yen et al., 2014).

En Tan et al. (2017) se reporta la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real para mejorar la eficiencia en el área de manufactura con respecto a consumos eléctricos y se

hace hincapié en la manera de utilizar los resultados para una mejor administración de los procesos y productos en el día a día. El uso de tecnologías de Industria 4.0 también puede verse involucrado no solo en el proceso de fabricación del producto sino también en el proceso de fabricación de los herramientas que generan el producto final. De manera frecuente se necesita hacer ajustes en ellos, lo cual es tardado y genera lapsos de tiempo muerto alto. Además, la información se procesa de manera más lenta ya que se recopila después de cada prueba de manera manual. Con tecnologías de Industria 4.0 como se implementa en Jong et al. (2017) permite que la manufactura o rediseño de los herramientas sea más sencillo al alimentar el sistema desde que se están haciendo las pruebas para mejorar el producto final y se va alimentando la base de datos de manera que para futuros proyectos la experiencia se vaya viendo reflejada. Hay casos en el proceso de moldeo por inyección de plástico donde los problemas se dan esporádicamente por mal funcionamiento del equipo, variables en la materia prima imperceptibles por las personas o por errores humanos de imputación de datos. Este tipo de fallos resultan en un mal producto terminado que puede ser detectado o no al final de una inspección. El uso de tecnologías 4.0 en el proceso de moldeo puede llegar a lograr una detección de tendencias en el proceso con el respectivo algoritmo de aprendizaje.

La preparación como acción correctiva para este tipo de eventos comunes no deseables es necesaria (Lee et al., 2017). En Siller et al. (2018) se desarrolla la implementación de moldes inteligentes capaces de monitorear ciertos parámetros de inyección para determinar el resultado de las piezas moldeadas, esto con la finalidad de replantear un método de moldeo más eficiente en base a una base de datos histórica para nuevos productos en el futuro, así como reducir defectos en los productos día a día. Ellos plantean que, dado que la producción de piezas moldeada es de bajo costo a lo largo del tiempo, resulta en gastos amplios por lo que con la implementación de

tecnologías inteligentes se puede llegar a una eficiencia gradual en la industria de moldeo por inyección. Con la introducción de la Industria 4.0 además se busca obtener información, y acciones de decisión. En Charest et al. (2018) se proporciona un caso donde para mejorar el proceso de moldeo se utilizan diferentes motores de inteligencia artificial que están unidos por una red neuronal que es computada a un nivel de rama que luego es transportado a la nube para obtener un resultado al instante del sistema de inyección de la maquinaria y lograr un producto conformante. Dado que la maquinaria produce grandes cantidades de “big data” es muy difícil de validar, por lo que toma mucho tiempo de decisión para mejorar el proceso normalmente, por lo que se introducen algoritmos que son utilizados en computación por medio de la nube. La implementación de IoT en la industria también toma como referencia la calidad de la pieza, con lo que principalmente aumenta el nivel de detección de errores y se garantiza un producto conformante para el cliente, obteniendo así un beneficio para la empresa en relación con su sistema de calidad, principalmente en los llamados “Core Tools” (Automotive Industry Action Group, 2021). De esta manera, los clientes cuentan con la seguridad que sus productos serán útiles pudiendo llevar esa conformancia a nuevos negocios y oportunidades. Adicionalmente, en caso de que los clientes tengan su propio sistema de rastreabilidad en la cadena de suministros, no será tan complicado adaptarse a su cadena con la imputación de datos correspondiente.

2.2.7.2 Aplicaciones documentadas de Industria 4.0 a nivel de gestión.

En los casos documentados se encontró que en términos de análisis de datos las tecnologías se han utilizado para predecir la calidad de los productos moldeados por métodos como GMDH del inglés Group Method of Data Handling (Algoritmos por método de manejo de datos), redes neuronales, lógica difusa; se han optimizado los parámetros usando el método de “K-fold Cross Validation”, se ha monitoreado la calidad de productos hechos a la medida con los datos por medio

del método “Support Vector Regression” basado en el molde, temperaturas, presiones de llenado utilizando el método de diseño de experimentos. Se han estudiado defectos específicos como el grado de deformidad en las piezas por medio de propagación hacia atrás con redes neuronales artificiales, en base a datos históricos del proceso (Lee et al., 2017).

La aplicación de IIoT en la industria de moldeo no solamente observa las variables del proceso en la maquinaria sino también se han investigado e implementado soluciones que involucran las características físicas del molde. Se encuentran casos donde se han instalado sensores directamente en cavidades con capacidades inteligentes, monitoreando las señales como presiones y temperaturas. También existen tecnologías para la correcta gestión y administración de los moldes para tener un control de su posición y su estado actual si están listo para operar o tienen algún desperfecto (Balluf, 2019). Se han desarrollado arquitecturas para su implementación y sus recomendaciones respectivas de acuerdo con los experimentos realizados (Siller et al., 2018; Ageyeva et al., 2019).

Existen modelos de control para describir el proceso de moldeo desde la perspectiva de la maquinaria, tomando fundamentalmente los datos de temperaturas y presiones, y estudiando la calidad final del producto según cada una de las salidas de los bloques que componen el sistema. Estas variables se han estudiado a manera de usar algoritmos genéticos, redes neuronales artificiales, RSM del inglés Response Surface Methodology, RBF del inglés Radial Basis Function, entre otros, esto con el fin de retroalimentar al sistema y ajustar los parámetros logrando un moldeo por inyección inteligente (Ogorodnyk & Martinsen, 2018; Park et al., 2019).

Entre los estudios consultados se encontró información relacionada no sólo a los efectos de los parámetros de inyección en la calidad de la pieza sino también los efectos secundarios que implica la operatividad de un proceso de moldeo por inyección como lo es el gasto energético. Se

debe tomar en cuenta que para que un molde conserve su temperatura se debe alimentar constantemente por medio de flujo de algún líquido o por conducción de energía térmica, llevando así un gasto de energía eléctrica para mantener temperaturas altas. Por medio del análisis de datos obtenidos de sensores inteligentes conectados a los dispositivos que generan esta energía calorífica, así como sensores en el molde, se ha logrado una optimización en los parámetros que provocan tiempo de ciclos altos y un esfuerzo grande. Al igual que la detección en la necesidad de optimizar un sistema de enfriamiento (Lucchetta et al., 2018).

En un nivel de aplicaciones más cercanas al producto, se encuentran desarrollos de plataformas para el proceso de manufactura y validación de nuevos moldes al momento de iniciar la vida de un nuevo producto. La recopilación de datos inicia desde que el cliente solicita el molde para la creación del producto; el sistema requiere información sobre el desarrollo del proyecto como fechas de prueba, tiempos de manufactura, máquinas disponibles, entre otras variables, y se va recopilando la información conforme el molde es creado, hasta llegar a la etapa de validación de calidad de la pieza. Todo esto por medio de tecnologías en la nube que van generando “big data”, logrando un análisis en el negocio de creación de moldes de inyección de plástico (Jong et al., 2017).

En modelos más ambiciosos utilizando el IIoT, se han implementado tecnologías orientadas al servicio tales como manufactura de partes personalizadas por medio de registro de necesidades que los clientes requieren en sus productos. El proceso de manufactura se lleva a cabo desde la alimentación de materia prima del producto hasta su personalización, todo esto perfectamente rastreable en todo momento por el cliente, desde que la orden se procesa hasta que es entregada en sus manos (Gaub, 2016).

Anteriormente se han mencionado algunas aplicaciones de tecnologías de Industria 4.0 para satisfacer necesidades en la industria de moldeo por inyección. Es notable el avance que se ha logrado con ayuda de estas aplicaciones, además, también se han hecho uso de sus características, que son: servicios de orientación “CPPS”, auto organización inteligente, interoperabilidad entre “CPS”, hombre y “CPPS”, fácil adaptación y flexibilidad a los cambios de requerimientos, uso de algoritmos de “Big Data” y tecnologías capaces de procesar en tiempo real, optimización de procesos de manufactura, integración de datos por medio de ingeniería interdisciplinar y comunicación segura a través del Internet, en la nube. Se hace la aclaración que no todos los casos encontrados fueron resultado de todas las características implementadas, algunos casos complementaron sus estudios con el uso de “tecnologías de Industria 4.0”. Podemos ver estas implementaciones documentadas en las diferentes bases de datos, repositorios científicos, redes sociales y fuentes con carácter científico.

2.3 Revisión sistemática al estado de la técnica

En el estado del arte podemos apreciar que se sigue innovando con nuevos métodos, hipótesis y teorías que se estudian en el momento referente al Internet de las Cosas, lo cual crea la incógnita sobre tecnologías ya dominadas y producidas en masa por la industria. Con base en lo encontrado en el estado del arte, podemos observar que las tecnologías de IIoT se utilizan para la industria de moldeo por inyección, por lo que para el estudio del estado de la técnica se busca cómo se ha desarrollado la tecnología del IIoT. Para esta búsqueda se utilizó una metodología similar a la anterior en el estado del arte, se sigue hasta el paso 6 donde se empieza a analizar los resultados. Además, dado que los motores de búsqueda tienen diferentes campos a llenar se especifica más adelante qué campos se llenaron y cómo se llenaron.

2.3.1 Criterios de elegibilidad

La cadena de caracteres para la búsqueda fue "IIoT". Se introdujo en los motores de búsqueda con las opciones de: incluir en todo, idioma inglés, y preferentemente en publicaciones incluidas por el PCT (Tratado de Cooperación en materia de Patentes); los resultados se ordenaron de manera ascendente para visualizar de manera más sencilla el inicio de las publicaciones y su estado actual. Dado que se encontró una cantidad de resultados extensa, se tomaron los primeros 25 para analizar los orígenes del tema en cuestión de patentes, y los 25 más recientes para analizar el estado actual de la técnica y su evolución. Los resultados seleccionados para el análisis se eligieron tras una breve revisión, descartando aquellos que no correspondieran realmente al tema de interés.

Cadenas de búsqueda:

- IIoT

2.3.2 Fuentes de información

Las bases de datos principales que se consideraron para la búsqueda de patentes se listan a continuación:

- PATENTSCOPE por parte de la OMPI (Organización Mundial de Propiedad Intelectual).
- SCOPUS por parte de Science Direct.
- USTPO (United States Patent Office).
- Oficina Española de Patentes y Marcas.
- Patent Lens
- EPO (European Patents Office)
- Google Patents

Se inicia eligiendo la cadena de búsqueda y un conjunto de fuentes de consulta o bases de datos. La cadena se adapta a los requerimientos del motor de búsqueda de cada fuente. Se ordena ascendentemente en un principio para visualizar resultados al inicio de un periodo de tiempo deseado en este caso la ventana de tiempo es de 2010-2020. De los documentos obtenidos se procede a utilizar el buscador de texto para localizar la cadena de texto y corroborar que la patente en efecto es la buscada. Al finalizar con la búsqueda ascendente, se realiza una búsqueda descendente desde la actualidad hasta el periodo deseado. Tras obtener los resultados de todas las fuentes, se identifican documentos duplicados y se eliminan, clasificando por año las patentes. 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.

2.3.4 Resultados

En base a la revisión sistemática del estado de la técnica ilustrado en la figura 12 se obtienen el primer grupo de resultados cuantitativos de la búsqueda en la tabla 5 anotando lo encontrado en los motores de búsqueda en el período 2010 a 2020. Para después aplicar el filtro de lectura al resumen y extraer los documentos de propiedad intelectual pertinentes para el estudio del estado de la técnica.

Cadenas de búsqueda	Base de datos					
	PATENT SCOPE	SCOPUS	Google Patents	USPTO	EPO	LENS
IOT	15	16	24	23	14	23

Tabla 5.-Documentos seleccionados de forma ascendente. Fecha de consulta: Noviembre 2020.

De igual manera se ingresan en la tabla 6 los resultados cuantitativos obtenidos por los motores de búsqueda del más reciente en retrospectiva del año 2020 al 2010.

Cadenas de búsqueda	Base de datos					
	PATENT SCOPE	SCOPUS	Google Patents	USPTO	EPO	LENS
IOT	19	28	25	28	25	25

Tabla 6.-Documentos seleccionados de forma descendente. Fecha de consulta: Noviembre 2020.

Después se implementa el filtro y eliminación de duplicados obteniendo los siguientes resultados del año 2010 a 2020 en la tabla 7.

Cadenas de búsqueda	Base de datos					
	PATENT SCOPE	SCOPUS	Google Patents	USPTO	EPO	LENS
IOT	15	11	23	23	14	19

Tabla 7.-Documentos seleccionados de forma ascendente después de aplicar filtros de publicaciones duplicadas.

De la misma manera que en la tabla 7, se aplican filtros y eliminación de duplicados en la búsqueda ascendente del año 2020 al 2010 obteniendo los siguientes resultados desplegados en la tabla 8.

Cadenas de búsqueda	Base de datos					
	PATENT SCOPE	SCOPUS	Google Patents	USPTO	EPO	LENS
IOT	19	27	25	28	25	20

Tabla 8.-Documentos seleccionados de forma descendente después de aplicar filtros de publicaciones duplicadas.

Después de leer los resúmenes se eligen las siguientes publicaciones para su revisión, del año 2010 al 2020 actual en la tabla 9 y del año 2020 al 2010 en la tabla 10.

Cadenas de búsqueda	Base de datos					
	PATENT SCOPE	SCOPUS	Google Patents	USPTO	EPO	LENS
IOT	5	8	1	22	13	10

Tabla 9.- Documentos seleccionados de forma ascendente después de aplicar filtros de publicaciones duplicadas y selección por lectura de resumen.

Cadenas de búsqueda	Base de datos					
	PATENT SCOPE	SCOPUS	Google Patents	USPTO	EPO	LENS
IOT	12	14	1	18	12	6

Tabla 10.- Documentos seleccionados de forma descendente después de aplicar filtros de publicaciones duplicadas y selección por lectura de resumen.

2.3.5 Selección de los estudios

Siguiendo el diagrama de flujo en la figura 12, de los documentos de interés por contenido se seleccionaron los estudios donde se implementaron tecnologías IIoT. Estos se clasificaron cronológicamente para observar más de cerca la evolución que ha tenido la implementación de dichas tecnologías, como se puede observar en la tabla 11. Estos registros se evaluarán y se tomarán en cuenta para el estudio del estado de la técnica.

Numero de Patente	Título	Año de publicación
CN102176723A	Manufacturing cloud system for supporting on-demand use and dynamic collaboration of manufacturing resources and manufacturing capacities	2011
US20150286663A1	Remote processing of memory and files residing on endpoint computing devices from a centralized device	2014
US20160275628A1	Digital manufacturing system	2016
EP_3291085_A1	Method of displaying data of a data processing system, data processing system operating according to the method and computer program implementing the method	2016

US20170060574A1	Edge Intelligence Platform, and Internet of Things Sensor Streams System	2016
US20170310546A1	Integrated digital network management platform	2016
US20170357250A1	Scalable analytics architecture for automation control systems	2017
EP3355192A1	Methods for provisioning an industrial internet-of-things control framework of dynamic multi-cloud events and devices thereof	2017
EP_3370125_A1	Device and system including multiple devices for supervision and control of machines in industrial installation	2017
CN108156226A	The industrial Internet of Things cognition energy management system and computational methods of a kind of cloud and mist fusion	2017
US20170220011A1	Development platform for industrial internet applications	2017
US20170220012A1	Event processing via industrial asset cloud computing system	2017
US20170220334A1	Mobile management of industrial assets	2017
US20170242555A1	User interface component for browsing industrial assets	2017
US20170302649A1	Systems and methods for segmenting industrial asset services	2017
US20170195331A1	Identity management and device enrollment in a cloud service	2017
US20170195332A1	Device enrollment in a cloud service using an authenticated application	2017
US20170223026A1	System and method for zone access control	2017
US20170366625A1	Software-defined sensors	2017
US2017192628A1	System, method, and machine-readable medium for simultaneously displaying connected industrial assets in multiple display modes	2017
US2017221011A1	System, method, and machine-readable medium for managing	2017

	network-connected industrial assets	
US2017223057A1	System and method for access control services	2017
US2017242935A1	User interface component for managing and presenting data corresponding to industrial assets	2017
US2017255373A1	Method, system, and program storage device for analytics in an industrial internet of things	2017
US20180165070A1	Service broker code generator	2018
US20180173609A1	Certification process for cloud platform	2018
US20180174248A1	Apparatus and Method for Deploying Analytics	2018
US20180183693A1	Determining the health of an iot application	2018
US20180191791A1	Enhanced time-series data streams for transmission to mobile devices	2018
EP3477918A1	Systems and methods for adaptive industrial internet of things (IIoT)	2018
WO2018119235-PAMPH-20180628-9433	Methods and apparatus for aggregating network access within a single unified platform for a myriad of devices	2018
WO2018125233-PAMPH-20180705-9840	Mechanism for efficient data reporting in IIoT WSN	2018
US20180034658A1	Mac and physical layer techniques for enabling communications on shared physical medium with multi-drop capability	2018
US20180069773A1	Data acquisition using remote platform gateways	2018
US20180231962A1	Sensing and computing control system for shaping precise temporal physical states	2018
US20180088540A1	Apparatus And Method for Computer Code Adjustments In An Industrial Machine	2018
US2018315023A1	Subject matter knowledge mapping	2018
US2018330083A1	Anomaly forecasting and early warning generation	2018
WO2018119235A1	Methods and apparatus for aggregating network access	2018

	within a single unified platform for a myriad of devices	
US_2018_0059921_A1	Custom GUI control for visualizing field data	2018
US_2018_0109538_A1	System and method for policy based adaptive application capability management and device attestation	2018
US_2018_0121370_A1	System and method for unified secure remote configuration and management of multiple applications on embedded device platform	2018
US_2018_0139090_A1	Method for secure enrollment of devices in the industrial internet of things	2018
US20180234514A1	Message queue-based systems and methods for establishing data communications with industrial machines in multiple locations	2018
US20180316988A1	Battery management device, battery management system, and battery management method	2018
US20180088540A1	Apparatus And Method for Computer Code Adjustments in An Industrial Machine	2018
EP3588910A1	System for data analytics using a local device and a cloud computing platform	2018
KR102068676B1	The method for scheduling tasks in real time using pattern-identification in multitier edge computing and the system thereof	2018
KR102137642B1	Cps system for smart factories	2019
US20190079504A1	Identity Management and Device Enrollment in a Cloud Service	2019
US20190114168A1	Framework for supporting multiple analytic runtimes	2019
US20190020649A1	Apparatus and method for obtaining up-to-date security credentials	2019
US20190034512A1	Subject matter expert knowledge mapping using dynamic clustering	2019

US20190129387A1	Slicing and merging production events	2019
US20190065053A1	Systems and methods for data frame representation	2019
US20190109872A1	Intelligent automated security vulnerability detection and analysis for industrial internet of things (IIoT) devices	2019
US20190155262A1	Digital manufacturing	2019
US20190324838A1	Systems and methods for monitoring input data and model scores in analytical models for iot (internet of things) devices	2019
US20190141058A1	Detection of adversary lateral movement in multi-domain IIoT environments	2019
WO2019243454A1	Cloud gateway device and method for operating a cloud gateway device	2019
US20200084277A1	Building technology device communication system with IoT-network devices	2020
WO2020166395-PAMPH-20200820-2342	Transmission device and reception device	2020
US20200133224A1	Cloud-Controlled Manufacturing Execution System (CLO-cMES) for use in pharmaceutical manufacturing process control, methods, and systems thereof	2020
KR20200084424A	Industrial IoT system	2020
EP3726321A1	A method to collect labels for semi-supervised machine learning algorithms using natural language and debug / online mode of plc engineering software	2020
US2020311737A1	Industrial Internet of Things (IIoT) Method for Customer Alerts Pertaining to Instrumentation	2020
US20200327371A1	Intelligent Edge Computing Platform with Machine Learning Capability	2020
US20200333765A1	Subscription-based services using industrial blockchains	2020
US20200334035A1	Methods, systems, and computer programs for	2020

	implementing industrial IoT based collaborative platforms	
US2020021488A1	Systems and methods for autonomous creation of a domain specific industrial internet of things gateway using a conversational interface	2020
US2020103857A1	Management platform for additive manufacturing production line	2020
US2020358656A1	Methods and systems for provisioning and commissioning an industrial gateway	2020
WO2020005048A1	Method for verifying drone included in industrial internet of things system, by using petri-net modeling	2020
US20200084113A1	Systems and methods for contextual transformation of analytical model of iot edge devices	2020

Tabla 11.- Estudios seleccionados para la revisión

2.3.6 Análisis de resultados encontrados

El Internet Industrial de las Cosas hace su aparición como estado de la técnica en 2011 en los registros de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual por parte de China, como un sistema flexible de gestión de datos de manufactura por medio de la nube. Seguido de aplicaciones basadas en software en específico de plataformas o programas para diseñar sistemas IIoT, principalmente el desarrollado por General Electric quien fue el padre del término “IIoT” donde hasta la fecha sigue mejorando su sistema. Esta familia de patentes se engloba en la tabla 12. En los resultados podemos ver que dentro de las instituciones reconocidas están las compañías SIEMENS, HONEYWELL y ROCKWELL AUTOMATION, compañías que se dedican a la manufactura y servicios relacionados con la automatización y soluciones industriales. También encontramos compañías o instituciones pequeñas que no tienen tanto impacto fuera de su país por

lo que solo aparecen en las bases de datos tanto China o en Europa por los resultados que arroja en sus sitios de búsqueda.

Numero de Patente	Titulo
US20170220011A1	Development platform for industrial internet applications
US20170220012A1	Event processing via industrial asset cloud computing system
US20170220334A1	Mobile management of industrial assets
US20170242555A1	User interface component for browsing industrial assets
US20170302649A1	Systems and methods for segmenting industrial asset services
US20170195331A1	Identity management and device enrollment in a cloud service
US20170195332A1	Device enrollment in a cloud service using an authenticated application
US20170223026A1	System and method for zone access control
US20170366625A1	Software-defined sensors
US2017192628A1	System, method, and machine-readable medium for simultaneously displaying connected industrial assets in multiple display modes
US2017221011A1	System, method, and machine-readable medium for managing network-connected industrial assets
US2017223057A1	System and method for access control services
US2017242935A1	User interface component for managing and presenting data corresponding to industrial assets
US2017255373A1	Method, system, and program storage device for analytics in an industrial internet of things
US20180165070A1	Service broker code generator
US20180173609A1	Certification process for cloud platform
US20180174248A1	Apparatus and Method for Deploying Analytics
US20180183693A1	Determining the health of an IoT application
US20180191791A1	Enhanced time-series data streams for transmission to mobile devices
US20180231962A1	Sensing and computing control system for shaping precise temporal physical states
US20180088540A1	Apparatus and Method for Computer Code Adjustments in An Industrial Machine
US20180234514A1	Message queue-based systems and methods for establishing data communications with industrial machines in multiple locations
US20190079504A1	Identity Management and Device Enrollment in A Cloud Service
US20190114168A1	Framework for supporting multiple analytic runtimes
US20190020649A1	Apparatus and method for obtaining up-to-date security credentials
US20190034512A1	Subject matter expert knowledge mapping using dynamic clustering
US20190129387A1	Slicing and merging production events
US20190065053A1	Systems and methods for data frame representation

Tabla 12.- Patentes generadas por General Electric sobre IIoT.

De acuerdo con el tipo de aplicación al que se refieren los objetos de las patentes se reorganizan las patentes para su análisis más simple, como plataforma, dispositivo o software. Se logró clasificar de esta manera ya que en la descripción de la patente para hacer referencia a la plataforma lo describe como un sistema que se comunica a través de otros sistemas físicos y digitales con capacidades para desplegar una interfaz de usuario que también comunica unidades físicas o actuadores que cuentan con capacidades para guardar información y transformarla. Este tipo de características resultan las más completas para describir una plataforma. Se puede identificar a los dispositivos de manera simple, ya que la descripción requiere que se llame a la invención como aparato o dispositivo y para identificar a software la descripción aparece ya sea como software, proceso de gestión de información, interfaz de usuario o método. Esta clasificación se puede observar en la tabla 13.

PLATAFORMA	DISPOSITIVO	SOFTWARE
CN102176723A	EP_3370125_A1	EP_3291085_A1
US20150286663A1	US20180069773A1	EP3355192A1
US20160275628A1	WO2018119235A1	EP3477918A1
US20170060574A1	US20180316988A1	WO2018125233- PAMPH-20180705- 9840
US20170310546A1	US20180088540A1	US20180034658A1
US20170357250A1	KR102137642B1	US2018315023A1
CN108156226A	US20190109872A1	US2018330083A1
WO2018119235- PAMPH-20180628- 9433	WO2019243454A1	US_2018_0059921_A1
US20180069773A1	WO2020166395- PAMPH-20200820- 2342	US_2018_0059921_A1
WO2018119235A1	KR20200084424A	US_2018_0109538_A1
US_2018_0109538_A1	US2020358656A1	US_2018_0121370_A1

US_2018_0121370_A1	US_2018_0139090_A1
EP3588910A1	US20180088540A1
KR102137642B1	KR102068676B1
US20190155262A1	US20190141058A1
US20190324838A1	EP3726321A1
US20200084277A1	US2020311737A1
US20200133224A1	US20200334035A1
US20200327371A1	US2020021488A1
US20200333765A1	WO2020005048A1
US2020021488A1	US20200084113A1
US2020103857A1	

Tabla 13.- Estudios seleccionados ordenados por aplicación.

De esta búsqueda podemos encontrar que se han registrado 22 plataformas de diferentes instituciones, con o sin servicios de suscripción, 11 dispositivos con funciones exclusivas para fungir como dispositivos con aplicaciones industriales y 21 software con capacidades para crear redes industriales para el Internet de las Cosas, configuración y programación de dispositivos, visualización de información en tiempo real y expansión flexible del sistema creado.

2.4 Revisión a plataformas de servicios IoT.

Una vez en contexto con las tecnologías IoT en el mercado se toman en cuenta las plataformas que nos den cierta flexibilidad al momento de implementar soluciones a la medida. Si bien General Electric y SIEMENS tienen gran variedad de soluciones industriales confiables, estos solicitan el uso de sus tecnologías desplegadas en piso de producción para poder utilizar la plataforma según cada proveedor.

Para esto se planteó revisar las tecnologías más populares en el mercado (Pflanzner & Kertesz, 2016) siendo estas:

- Google Cloud Platform
- Azure IoT Hub
- Amazon Web Services
- IBM Bluemix

Además, se buscó que los servicios en la nube fueran flexibles para su codificación a la medida y tuvieran elementos de seguridad confiables.

Tomando en cuenta estos servicios se buscaron controladores que convirtieran máquinas “Legacy” o no inteligentes en máquinas inteligentes capaces de transmitir información del estado de la maquinaria con protocolos universales entre ellas y hacia servicios en el Internet. Un aspecto importante fue la compatibilidad con este tipo de servicios en la nube modernos.

Se busca un controlador que tenga soporte en la nube con sus propios servicios dedicados, soporte de ingeniería en aplicaciones de Industria 4.0 documentadas y con colaboración con grandes servicios como los antes enlistados, que sea de acceso libre y bajo costo con libertad de generar productos prototipos de Internet de las Cosas. Bajo estos criterios se encuentra a “Particle” (Particle Console, 2019) como el proveedor predilecto para esta tarea con su tercera generación de microcontroladores con capacidad de generar redes en “malla” con protocolos de comunicación WPAN del inglés Wireless Personal Area Network (Bahga & Madiseti, 2014, p. 25), que también cuenta con su propia plataforma de productos IoT que el usuario propietario de la cuenta requiera

liberar al mercado, tanto a los prototipos desplegados como a productos liberados en masa. Tiene la capacidad de dar soporte y desplegar código OTA del inglés “Over The Air” desde cualquier lugar con una conexión a Internet por medio de su plataforma, cuenta con una biblioteca de documentación con respecto a sus servicios, hoja de datos para su hardware y tutoriales de implementaciones básicas para principiantes y avanzados. También cuenta con la integración de servicios de su nube a servicios a terceros como Google, Azure y el uso de Websockets para servicios a terceros más especializados.

En este caso los servicios IoT mencionados anteriormente cuentan con diferentes tipos de suscripciones como se espera de compañías con peso y experiencia. Dado que un objetivo es la visualización de los datos remotamente de piso de producción, no es suficiente con que la información se guarde en la nube del proveedor Particle, por lo que se necesitan servicios de visualización. Tanto Google (Google Cloud Services, 2020) como AWS (Amazon Web Services, 2020) cuentan con un periodo de 60 días de prueba para desplegar prototipos, lo cual resta bastante flexibilidad para desarrollar prototipos de productos IoT. Si bien son plataformas con bastante potencial técnico para los propósitos de este proyecto quedan descartados, mientras que las plataformas de IBM (IBM Cloud, 2020) y Microsoft (Microsoft Azure, 2020) tienen un periodo de 30 días y un servicio de “Pay as you go” que significa que se hará un cargo por el tipo de servicios que se requiera en este caso se enfoca la búsqueda en la administración de dispositivos por lo que para los controladores Particle la utilización de plataforma para terceros está ligada de manera más amigable a la plataforma Microsoft Azure, quedando descartada la plataforma IBM. El prototipo que se empieza a desarrollar en un principio dado que es de un proveedor más estable siendo la plataforma Azure por Microsoft que cuenta con una suscripción gratis por 1 dispositivo IoT para su correcto manejo y dominio, proporcionando acceso a su base de datos en la nube,

servicios de análisis de datos, algoritmos de inteligencia artificial, conversión a diferentes formatos para su posterior análisis en aplicaciones enfocadas a negocios. Lo interesante de esta plataforma es que despliega bastante claro el consumo según lo que vas necesitando en cuestión de recursos tanto en transferencia de datos, capacidad de almacenamiento en la nube, uso de servicios “plus” de cada uno de los productos o dispositivos IoT activos y ligados a este servicio, y reiterando que lo más interesante es el vínculo entre los controladores Particle y el servicio Azure es relativamente fácil de establecer, puesto que Particle tiene dado de alta este servicio en su plataforma como integración de servicios a terceros. Siendo este servicio una excelente opción para un producto IoT con un despliegue global y con alcances industriales amplios.

Sin embargo, dado que los servicios para su visualización están ligados a su pago por suscripción, el costo de desarrollo de prototipos sigue siendo alto. Por lo que se buscan opciones de “Open Source” o con más libertad para hacer prototipos de manera económica y con capacidades que satisfacen la necesidad de visualización y despliegue de la información en tiempo real que es el objetivo primordial en la implementación, encontrando con una amplia variedad (Ray, 2016) se decide utilizar la plataforma de ThingSpeak (Mathworks, 2020), plataforma desarrollada por MATHWORKS, mismo proveedor que desarrolla MATLAB, software de análisis y simulación matemática avanzada. Este servicio permite al usuario dueño de una cuenta tener hasta 4 dispositivos activos de forma gratuita, donde principalmente se comunica por envío de información por medio de archivos JSON de bajo consumo y fácil interpretación; tiene la capacidad de realizar cálculos computacionales sencillos en la nube por medio de MATLAB Online, despliega la información recibida de estos archivos enviada por los dispositivos en gráficas, según se necesite presentar con ayuda del cálculo matemático apropiado.

Con respecto al hardware para el despliegue de información en piso de producción, se incursiona en tecnologías de IIoT con propiedades para desarrollo de prototipos. Si bien se buscan proveedores de tecnología gateway en soluciones de computación de Industria 4.0 confiables como Intel, Dell, Hp, entre otros, que se han hecho presentes en venta de equipo de cómputo por muchos años que ofrecen sus productos. Sin embargo, estos suelen ser de alto costo y para soluciones de alto impacto o de trabajo rudo. Por lo tanto, se consideran tecnologías de bajo costo, flexibles y al mismo tiempo compatibles con los servicios en la nube antes descritos.

Para lograr el propósito de la implementación que se está trabajando se buscan dispositivos embebidos con capacidades de análisis de datos flexible y de despliegue visual, siendo la computadora embebida Raspberry Pi (The Raspberry Pi Foundation, 2019) la opción más viable por su flexibilidad y capacidad de realizar soluciones a la medida con capacidades para programar en múltiples lenguajes de programación. Además, tiene la capacidad de comunicarse con los servicios en la nube que se enlistaron anteriormente.

3. Metodología para implementación de IIoT

Se utilizó la metodología propuesta por Bahga & Madiseti (2014, p. 100) para el diseño del sistema IIoT que desencadena la implementación física en piso de producción, cuyo objetivo es monitorear el estado de las máquinas y guardar la información en el tiempo. La ventaja de utilizar esta metodología es que se hace un mapeo del proceso de forma digital para poder separar los activos físicos de los digitales y relacionarlos para después integrarlos. Además, permite la flexibilidad de incluir el hardware que se adapte a las necesidades sin necesidad de que se vea afectada en pasos subsecuentes el diseño, permitiendo inclusive evaluar y comparar los equipos que se intenten incluir en la integración. Es importante seguir un proceso bien definido que guíe en cada una de las decisiones de diseño y desarrollo que se tomen, dicha guía que se describe a continuación y se ve reflejada en la figura 13:

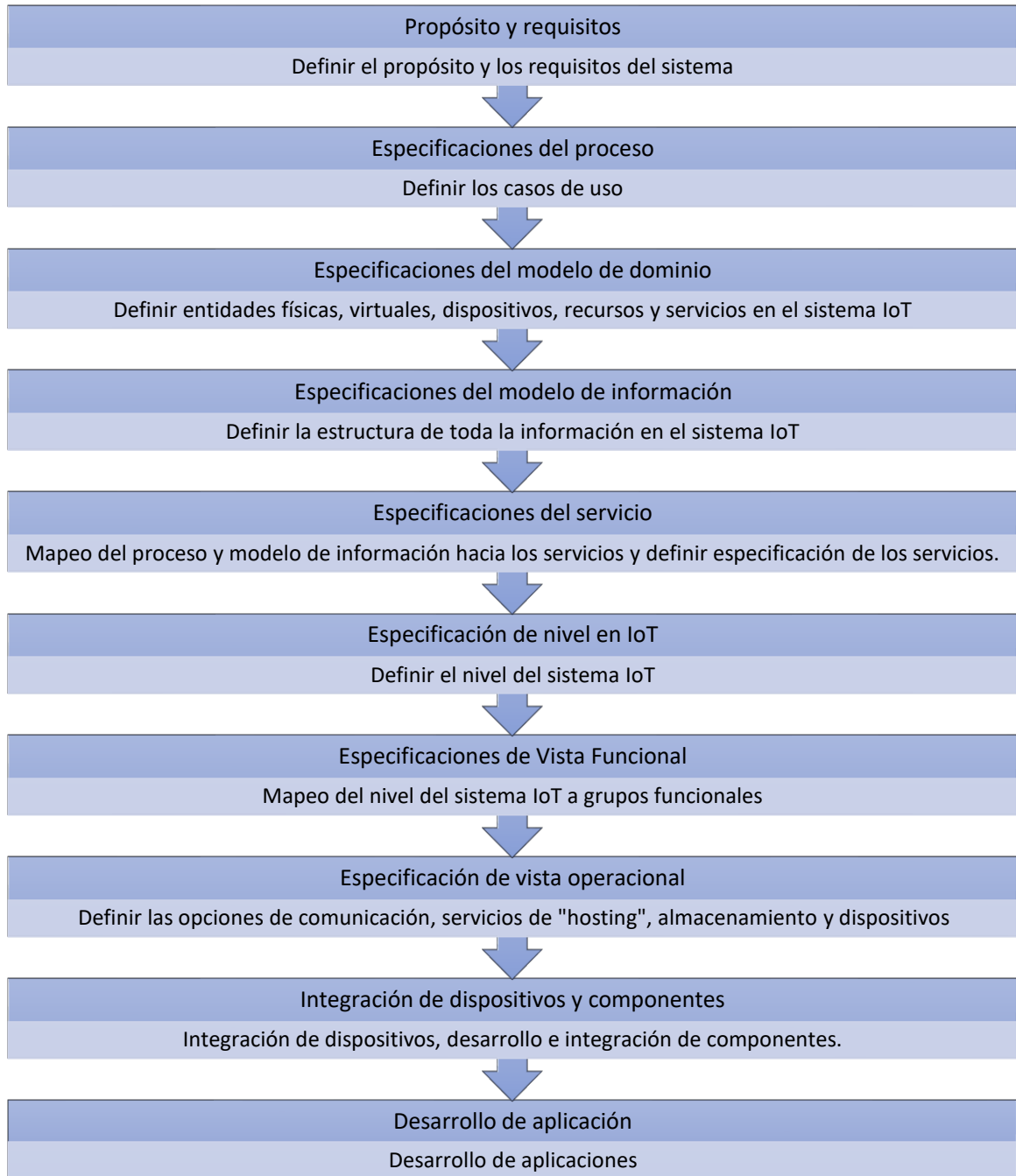


Figura 13.- Pasos involucrados en la metodología de diseño para un sistema IoT (Bahga & Madiseti, 2014, p. 101)

3.1 Paso 1: Propósito y requisitos

En este paso el propósito, comportamiento y requerimientos del sistema son recopilados (Requisitos de recolección de datos, análisis de datos, administración de los requerimientos del sistema, privacidad y seguridad, requerimientos de interfaz de usuario).

- **Propósito:** Implementar un sistema para la visualización de la eficiencia en piso de producción local y remota en las líneas de producción de moldeo por inyección de plástico en tiempo real, localmente en el dispositivo y remotamente por medio de ThingSpeak.
- **Comportamiento:** En una primera etapa, el sistema mostrará en tiempo real qué máquinas están trabajando y qué máquinas están en espera, recabando cuanta eficiencia operativa del equipo está en uso hasta el momento, dejando una memoria desde que empezó el turno.
- **Requisitos para la administración del sistema:** El sistema permitirá la visualización remota por medio de la plataforma ThingSpeak y sus gráficos correspondientes.
- **Requisitos para el análisis de datos:** El sistema procesará los datos localmente para su visualización en un panel local, así como remotamente por medio de gráficos en la plataforma de ThingSpeak.
- **Requisitos en el despliegue de la aplicación:** La aplicación podrá ser accedida remotamente por medio de la app o en la página del portal de ThingSpeak por medio de un número de canal asignado previamente.

- **Requisitos de seguridad:** El sistema de seguridad estará regido por los términos y condiciones para utilizar la plataforma ThingSpeak.

3.2 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. El diagrama de la figura 14 muestra las etapas de este proceso y la secuencia de ejecución se explica a continuación:

Al iniciar el sistema los valores se restablecen a 0 en todos los registros, después busca las conexiones con las máquinas para registrar el estado de la máquina cada 30 segundos. Para desplegar los datos localmente en pantalla se refleja los tiempos activos e inactivos de cada máquina en un periodo de 24 horas, haciendo un cálculo de eficiencia real hasta el momento del cálculo. Para desplegar los datos remotamente manda información el sistema a los servicios de ThingSpeak para registrar el estado de la máquina cada 30 segundos desplegando el estado en una gráfica discreta de 2 valores y visualizando las últimas 24 horas de comportamiento, se realiza un cálculo en la nube para desplegar también la eficiencia hasta el momento del último dato monitoreado. Cuando llega la hora de cambio de turno los valores se restablecen a 0 para volver a iniciar el ciclo de despliegue de información.

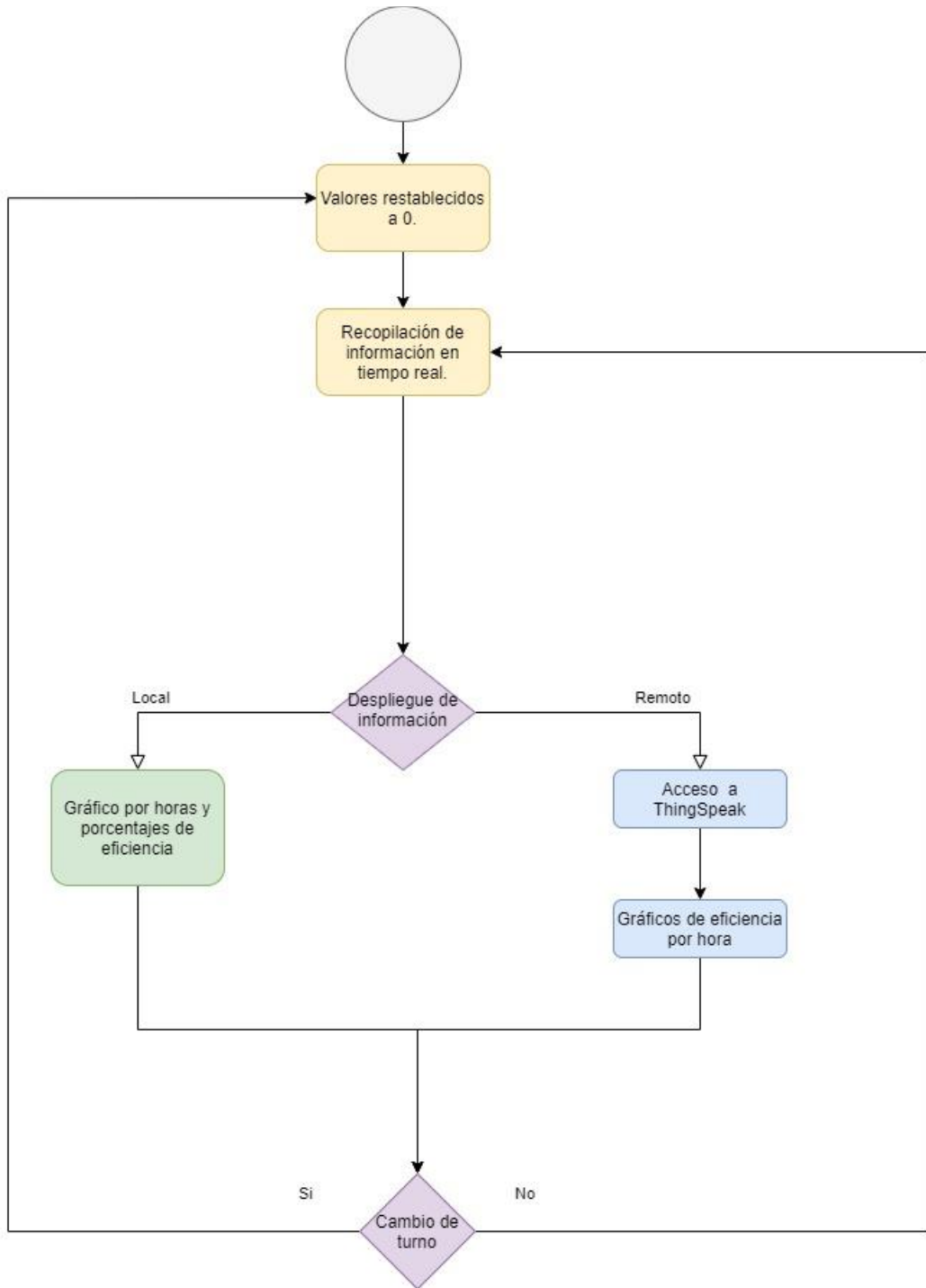


Figura 14.- Especificaciones del proceso.

3.3 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. Con esto se puede apreciar el dominio que tendrá el IoT en el sistema a diseñar, como se muestra en la figura 15.

- Entidad física: Máquinas de moldeo por inyección.
- Entidad virtual: Gráfica de eficiencia por máquina, porcentaje de productividad.
- Dispositivo:
 - 1) Microcontrolador con módulos de comunicación.
 - 2) Computadora Embebida.
- Recursos:
 - 1) Firmware para microcontrolador.
 - 2) Plataforma de monitoreo en la nube por proveedor de microcontrolador.
 - 3) Plataforma de monitoreo web.
 - 4) Sistema operativo local en computadora embebida.
- Servicios:
 - 1) Servicio de recopilación de estado de máquina (Operativa / No operativa).
 - 2) Servicio de envío de estado a la nube.
 - 3) Servicio de comunicación entre microcontroladores.
 - 4) Servicio de despliegue de información en pantalla gráficamente.
 - 5) Servicio de acceso a la plataforma ThingSpeak.
 - 6) Servicio de despliegue de información gráficamente por plataforma ThingSpeak.

- 7) Servicio de recopilación de información en base de datos.

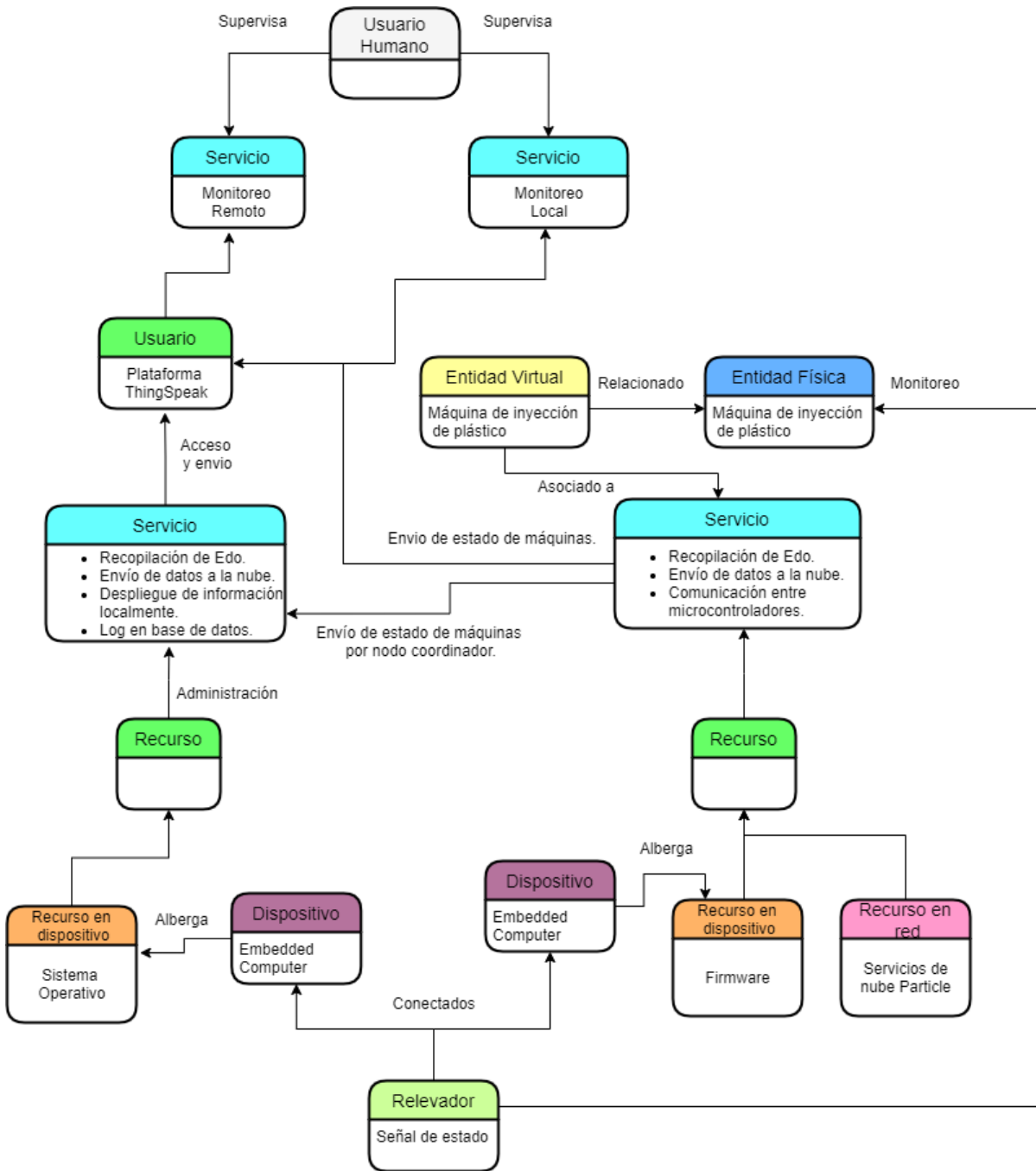


Figura 15.- Modelo de dominio

3.4 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. Agregando detalle a las entidades virtuales al definir sus atributos y relaciones, dicho detalle se observa visualmente en la figura 16.

Entidad virtual: Gráfica de estado en tiempo real por máquina

Atributos: Estado operativo.

Tipo de atributo: Nivel

- Nivel 0 = No operativa
- Nivel 1= Operativa

Entidad virtual: Tablero de productividad.

Atributos: Porcentaje numérico de tiempo productivo de la máquina.

Tipo de atributo: Numérico continuo.

- Valores: 0 a 100 %

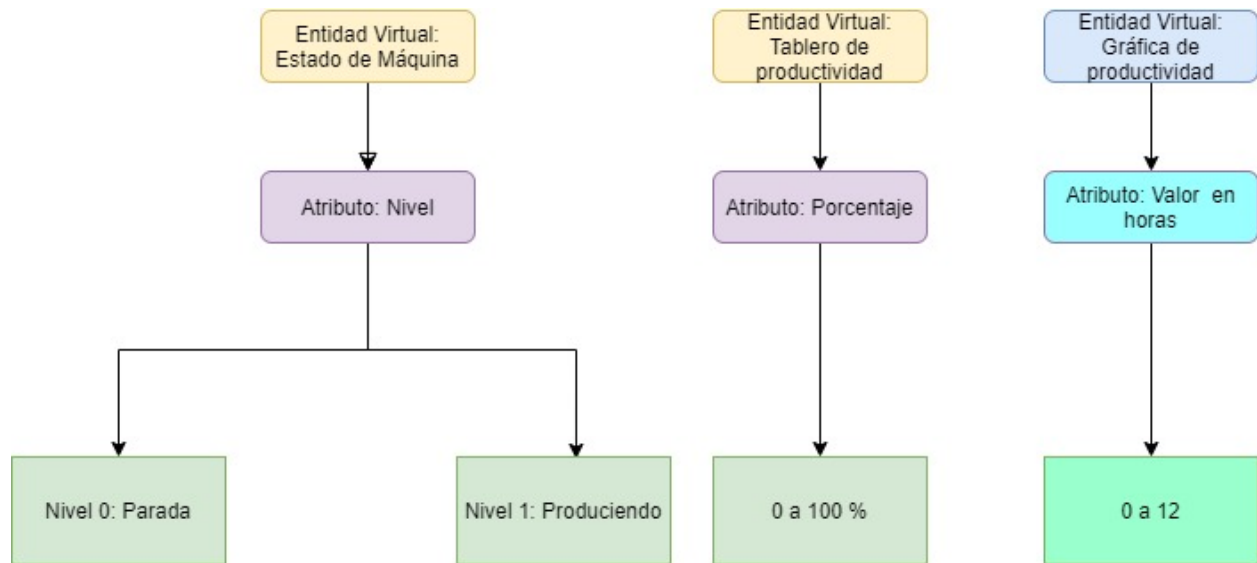


Figura 16.-Modelo de información.

3.5 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, se puede observar descriptivamente cada uno de los servicios en la figura 17, así como también se puede observar el diagrama de especificaciones de servicio en la figura 18, funcionando como administrador de los estados discretos “Operando” / “No Operando”, liga los aspectos de entrada, salida y tareas que necesitará llevar a cabo en este caso mantener sincronía del estado de la máquina y guardar información en base de datos, despliegue del estado cada minuto, así como también el envío de datos a la nube.

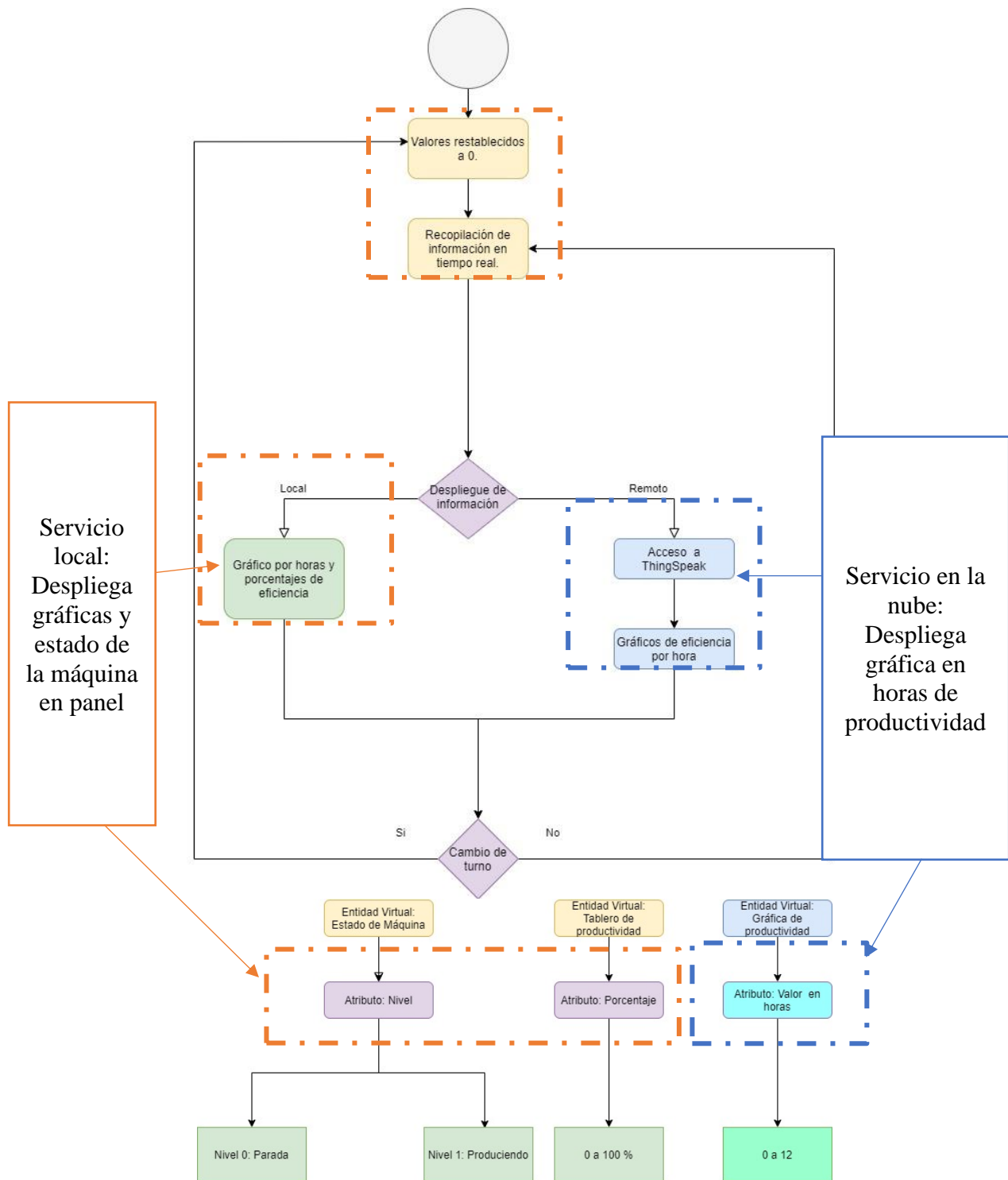


Figura 17.- Derivación de servicios a partir de especificaciones de proceso y modelo de información.

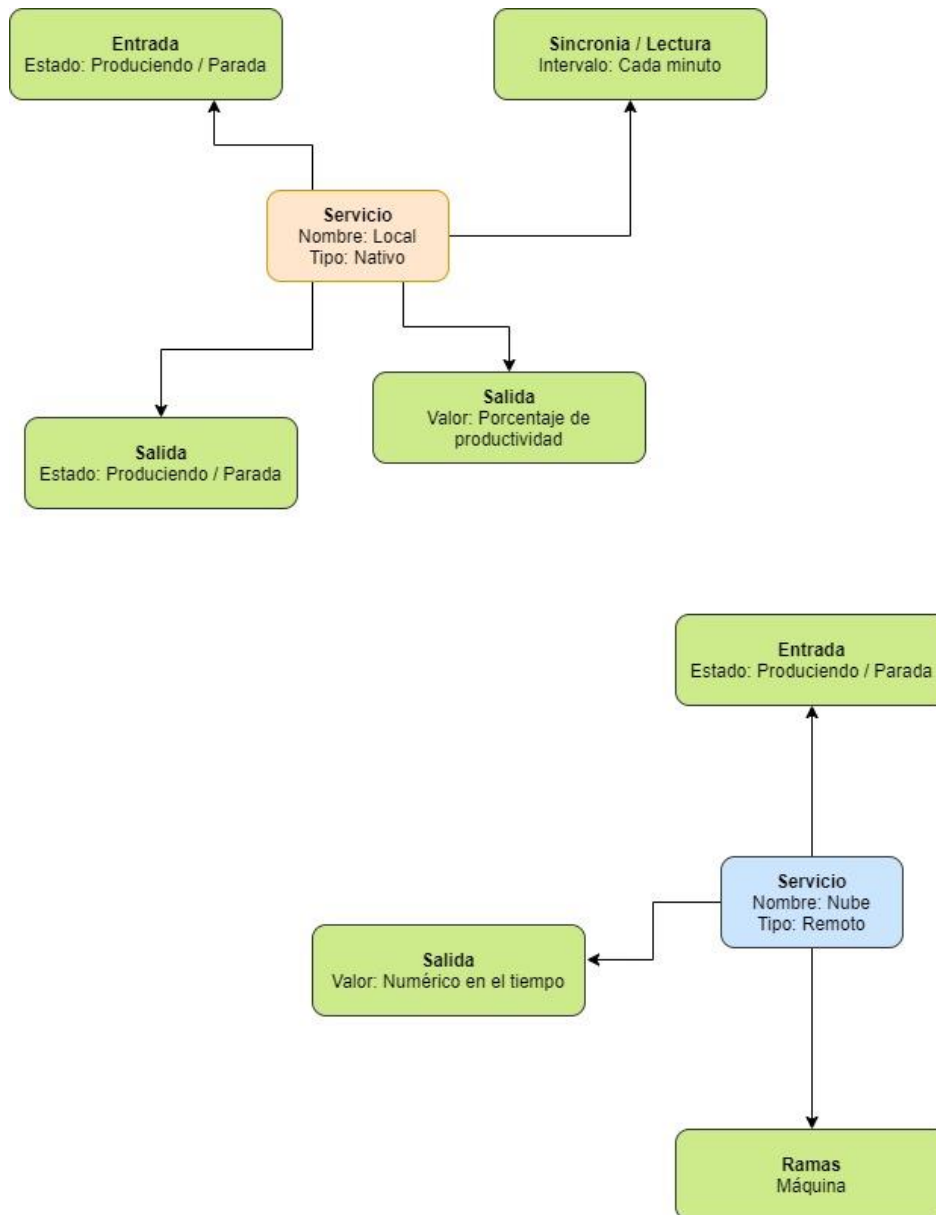


Figura 18.- Especificaciones de servicio.

3.6 Paso 6: Especificación de nivel en IoT

El nivel de despliegue del sistema IoT tiene la estructura que se muestra en la figura 19. De acuerdo con lo planteado en Bahga & Madiseti (2014, p. 43) se clasifica como un sistema nivel 5. Sus características y capacidades se listan a continuación:

- Tiene múltiples nodos llamados ramas en este caso controladores Particle Xenon y un nodo llamado coordinador que en este caso es un controlador Particle Argon.
- Los nodos ramas pueden tener la capacidad de sensor o actuador, dada la definición que tenemos de transductor como sensor en este caso tenemos un relevador como un transformador de energía o señal de 24 voltios de la máquina de inyección de plástico a una señal de 5 voltios para la lectura por el controlador Particle Xenon.
- 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 convirtiendo el sistema en uno basado en la nube.
- Son recomendados para soluciones basadas en redes de sensores inalámbricos, donde la información es grande y los requerimientos computacionales son intensivos, que para implementaciones futuras nos dan la flexibilidad de poder instalar este tipo de tecnologías que pueden ser de gran ayuda para monitorear parámetros que influyen en el proceso más detalladamente.

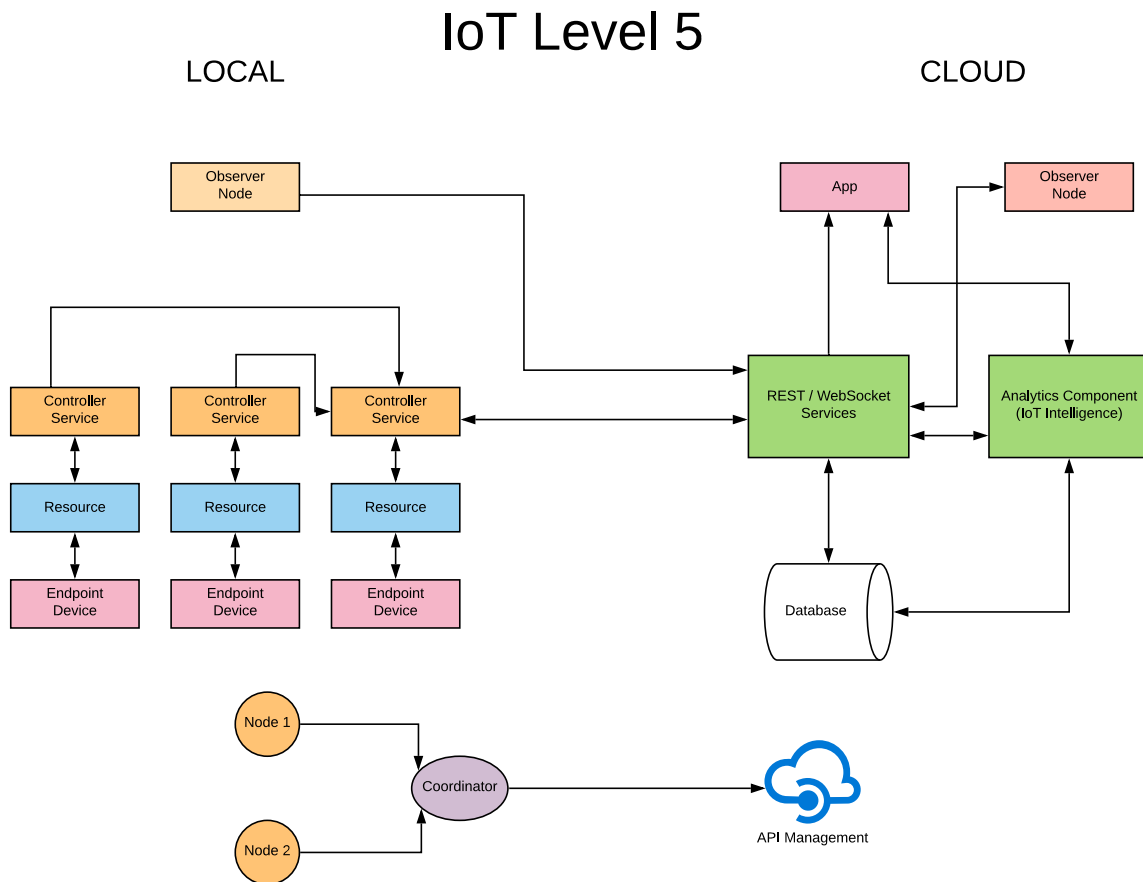


Figura 19.- Nivel de diseño para despliegue de sistema IoT (Bahga & Madiseti, 2014).

3.7 Paso 7: Especificaciones de Vista Funcional (FV)

Define las funciones del sistema IoT agrupadas en varios Grupos Funcionales (FG). 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 Particle Xenon y el nodo coordinador Particle Argon, así como la computadora embebida Raspberry Pi.

- **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 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: 802.15.4 WPAN (Link Layer)
 - Nodo Coordinador: 802.11 (Link Layer), IPV4/IPv6(network layer), HTTP (application layer).
- **Grupo Funcional de Servicios:** Incluye varios servicios envueltos en el sistema IoT como servicios de monitoreo de dispositivos, control, publicación de información y descubrimiento de dispositivos. En este caso se tienen los servicios locales y remotos mostrados en la Figura 18.
- **Grupo Funcional de Administración:** Incluye todas las funcionalidades que se necesitan para configurar el sistema IoT, es decir, los permisos de administrador del controlador local. En el caso de los dispositivos de nodo rama, se requiere la cuenta para administrarlos en la página del proveedor y la aplicación móvil para darlo de alta. Para servicio en la nube se requiere cuenta en plataforma ThingSpeak.
- **Grupo Funcional de Seguridad:** Este grupo funcional incluye los mecanismos de seguridad para el sistema como autenticación, autorización, seguridad de la información, etc. La plataforma ThingSpeak proporciona con 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 computadora embebida Raspberry Pi, mientras que la aplicación remota es desplegada por medio de la plataforma ThingSpeak.

3.8 Paso 8: Especificación de vista operacional

Varias opciones de despliegue pertenecientes al sistema IoT y su operación son definidas, como lo son opciones de almacenamiento, dispositivos, aplicaciones, etc.

- **Dispositivos:** Computadora embebida Raspberry Pi, Particle Argon, Particle Xenon microcontroller. Máquina Moldeadora por Inyección de Plástico, relevador de 24 Voltios, fuente de poder de 5 Voltios, clemas para conexión, cable plano, PCB para conexión modular de microcontrolador, fixtura para instalación de microcontrolador a medida y monitor para despliegue local.
- **Comunicación:** WPAN, Wi-Fi 802-11 b, IPv4, IPv6, TCP, HTTP.
- **Servicios:**
 - Servicio Local: Desplegado en el dispositivo embebido como nativo.
 - Servicio Remoto: Desplegado por medio de 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.

3.9 Paso 9: Integración de dispositivos y componentes

Los dispositivos y componentes utilizados para el sistema, en este caso: Computadora embebida Raspberry Pi, Particle Argon, Particle Xenon microcontroller. Máquina Moldeadora por Inyección de Plástico, relevador de 24 Voltios, fuente de poder de 5 Voltios, clemas para conexión, cable plano, PCB para conexión modular de microcontrolador, fixtura para instalación de microcontrolador a medida y monitor para despliegue local. En la sección 4 se muestra más detalladamente las conexiones físicas y diagramas esquemáticos de la integración, así como un detalle más profundo en como se muestra y funcionan los sistemas remoto y local. Sin embargo, de forma generalizada se tienen los dispositivos rama que están conectados para hacer interfaz entre la máquina de moldeo y el nodo coordinador; el nodo coordinador envía la información de cada máquina en piso de producción de dos métodos: por medio de los servicios en la nube de Particle a su plataforma y a través de sus terminales físicamente para que la computadora Raspberry Pi pueda desplegar el estado de cada máquina localmente en un monitor en piso de producción. La computadora Raspberry Pi por medio de servicios creados a través de scripts Python envía la información a la plataforma de ThingSpeak para su visualización remota, además se tiene un servicio de despliegue gráfico para visualizar el estado de las máquinas en tiempo real como se explica más detalladamente en la sección 4.2.

3.10 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 hasta el 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.

4. Aplicación de modelo en piso de producción

En esta sección se aborda la etapa de despliegue de hardware y se pone en práctica lo descrito en el capítulo 3 sobre la metodología prevista para que el proyecto pueda realizarse. Se presentan dos tipos de implementación donde la primaria es el caso de estudio fundamental siendo el del área de Sobremoldeo de donde se toma la explicación del capítulo 3 y están las implementaciones secundarias aplicadas para otras áreas que tenían la misma necesidad de recabar información de su productividad. De estas implementaciones hay ciertas diferencias en el modelo planteado en ciertos pasos, las cuales se abordarán en la sección pertinente.

4.1 Aplicación en área de Sobremoldeo

Según lo planteado en el capítulo 3, tenemos que un sistema IoT de nivel 5, caracterizado porque el coordinador sube a la nube la información recabada en los nodos.

4.1.1 Despliegue de aplicación IIoT

En la figura 20 se muestra la arquitectura implementada específicamente para esta aplicación, adaptando el modelo descrito en el capítulo de metodología. La flexibilidad del hardware nos brinda la posibilidad de asignar como coordinador el microcontrolador Argon de Particle para transmitir la información por parte de la plataforma de Particle al servicio de ThingSpeak.

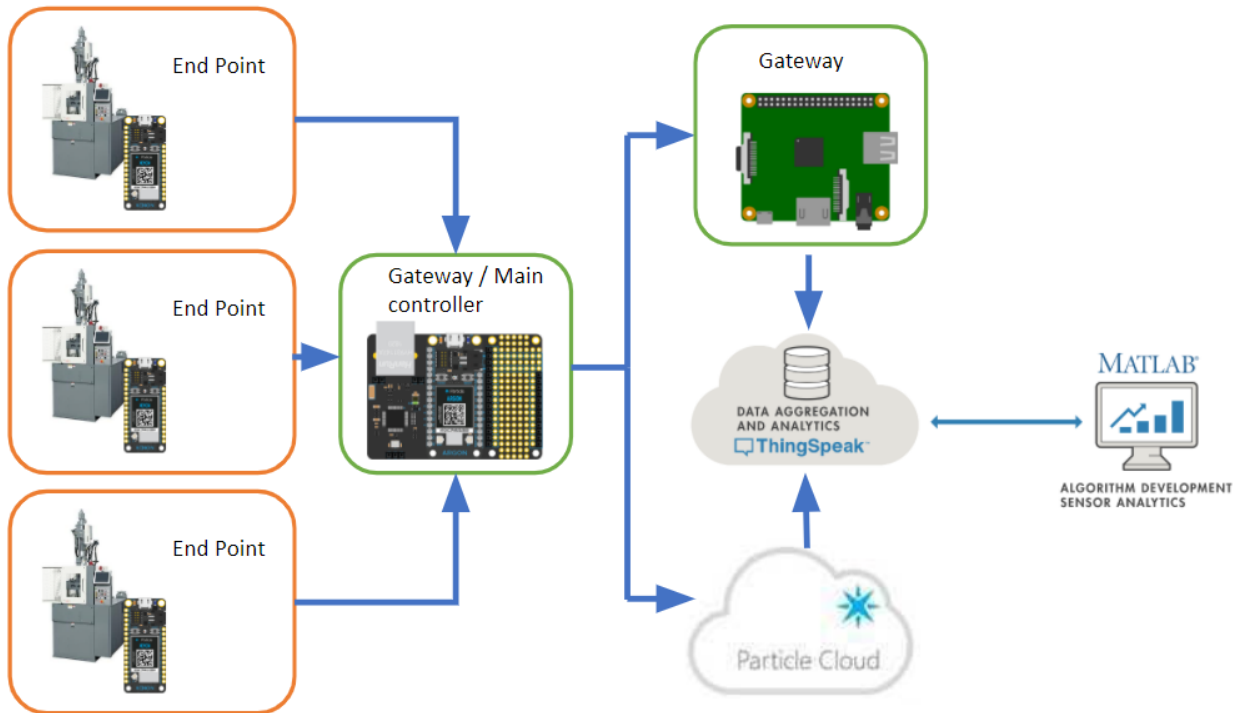


Figura 20.- Modelo de arquitectura implementada en piso de producción de Sobremoldeo.

También se emite la información del estado alto como valor numérico 10, mientras que el valor 0 muestra cuando está en reposo la máquina. Esto en un intervalo de muestreo equivalente a un segundo, y se envía a la computadora embebida Raspberry Pi. Esta computadora a su vez, por medio de servicios HTTP en tiempo real, envía la información del equipo a los websockets correspondientes en el servicio de ThingSpeak, pudiendo visualizar de esta manera el comportamiento de la máquina si esta activa o inactiva por medio de la gráfica de la plataforma de ThingSpeak por cada máquina. En la figura 21 se puede visualizar un ejemplo de cómo se ve el comportamiento en las 24 horas anteriores según fue el requisito del sistema.

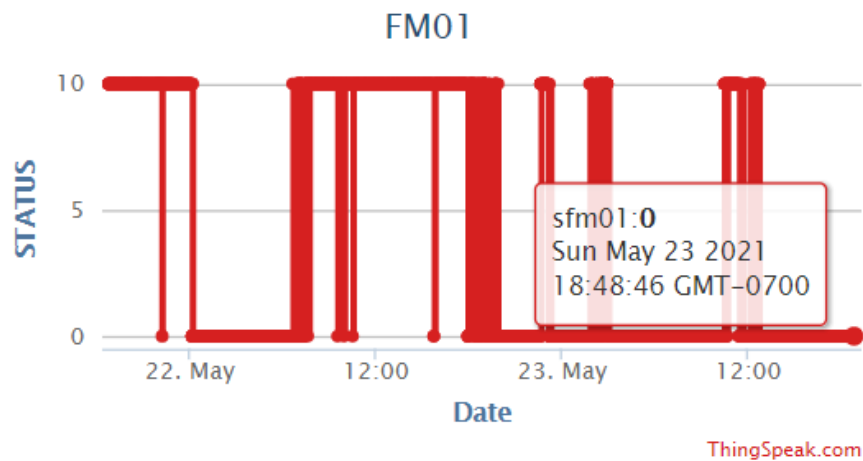


Figura 21.-Estado de la Máquina FM por servicio ThingSpeak.

Además, por medio de los servicios de procesamiento en la nube se realiza un análisis porcentual de la eficiencia de cada máquina en tiempo real haciendo la operación entre el tiempo total transcurrido hasta el momento. De esta manera, se pueden visualizar tendencias que ayudan a interpretar el comportamiento de piso de producción. Un ejemplo de cómo se ve la gráfica de eficiencia se presenta en la figura 22.

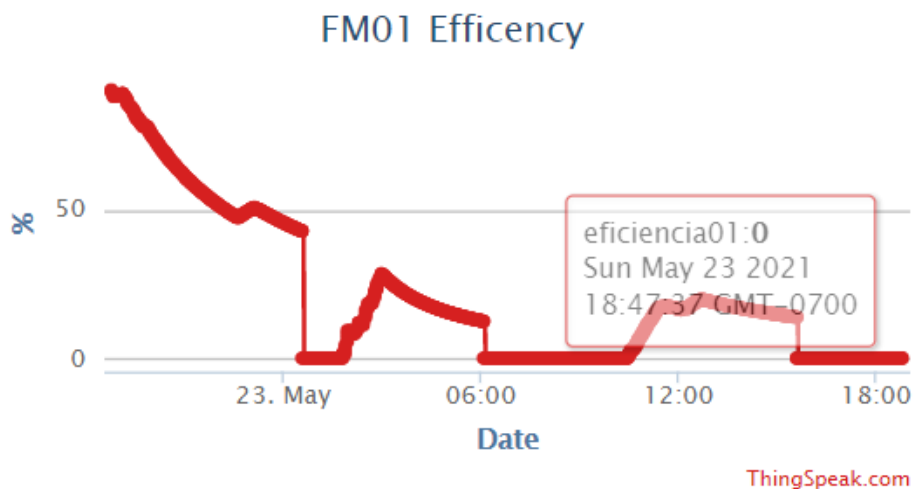


Figura 22.- Eficiencia porcentual por equipo FM.

4.1.2 Despliegue de aplicación local

El despliegue de la aplicación a nivel local en piso de producción está a la cabeza del área de Sobremoldeo, siendo innecesario recorrerla en su totalidad para reconocer que se tienen equipos en espera. El despliegue local está implementado gráficamente por la computadora embebida Raspberry Pi a través de la aplicación ejecutable previamente compilada en lenguaje C++ para su uso en sistema operativo de Raspberry Pi por medio del software QT Designer. Se presenta al usuario una interfaz gráfica que permite visualizar el estado actual de la maquinaria y el historial de las 48 horas previas, lo que permite establecer una comparativa con el día anterior. Además, en la interfaz se muestra la eficiencia en tiempo real de la maquinaria. La aplicación se comunica con los microcontroladores Particle utilizando un esquema de comunicación M2M mediante redes WPAN, a fin de que cada uno de los nodos implementado por un microcontrolador, envíe la información del estado de cada máquina. En el diagrama de flujo de la figura 23 se muestra el flujo de trabajo para los nodos. Inicialmente los valores se establecen a 0, representando un estado inactivo, y tras verificar la conexión del nodo a la red se lee de manera iterativa el estado de la máquina, enviando este valor al microcontrolador que realiza funciones de coordinador. Cuando se determina que el estado de la máquina es activo se envía un valor de 10, mientras que en inactividad el valor es 0.

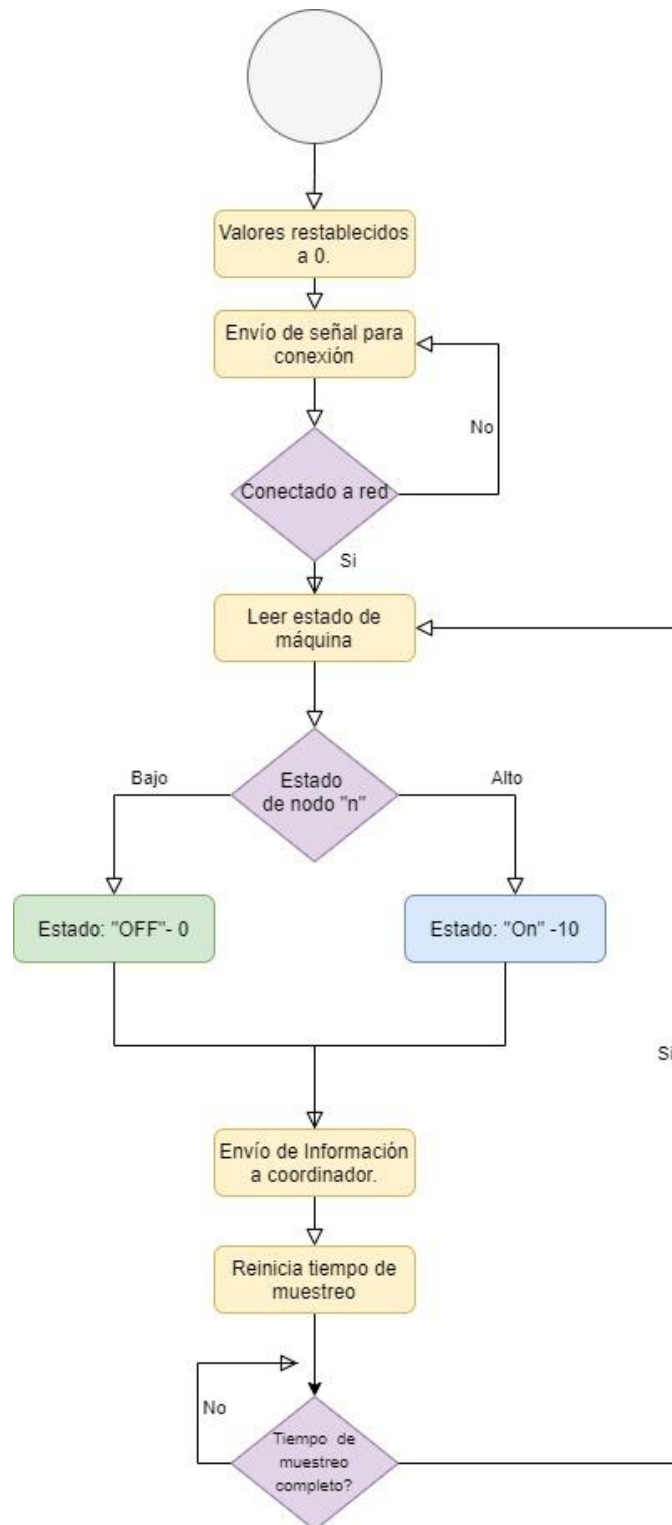


Figura 23.- Flujo de trabajo para nodo en área de Sobremoldeo.

El ciclo de lectura se repite cada 200 ms, asegurando así la emisión del estado en tiempo real. En la figura 24 se muestra el flujo de trabajo dentro del coordinador, administrando la información recibida en las funciones grabadas para recibir los mensajes referentes a cada máquina, empieza por preestablecer los valores en 0, seguido de la conexión a la red, para después establecer conexión con todos los nodos. Una vez que establece conexión con el nodo espera a recibir el mensaje pertinente; si no encuentra un nodo se pasa al siguiente y en el ciclo de muestreo siguiente vuelve a buscar los nodos. Dependiendo del estado de cada máquina este emite por sus salidas señales discretas con el estado de las máquinas. Para no saturar al sistema se procede a realizar un muestreo cada minuto, las salidas digitales son interconectadas a los GPIO de la computadora embebida físicamente, leyendo por su parte la Raspberry Pi en un intervalo de un segundo el estado de las señales que le son alimentadas, actualizando así la interfaz de usuario (figura 25). Los valores para retomar la producción al final de turno de producción son reestablecidos a 0.

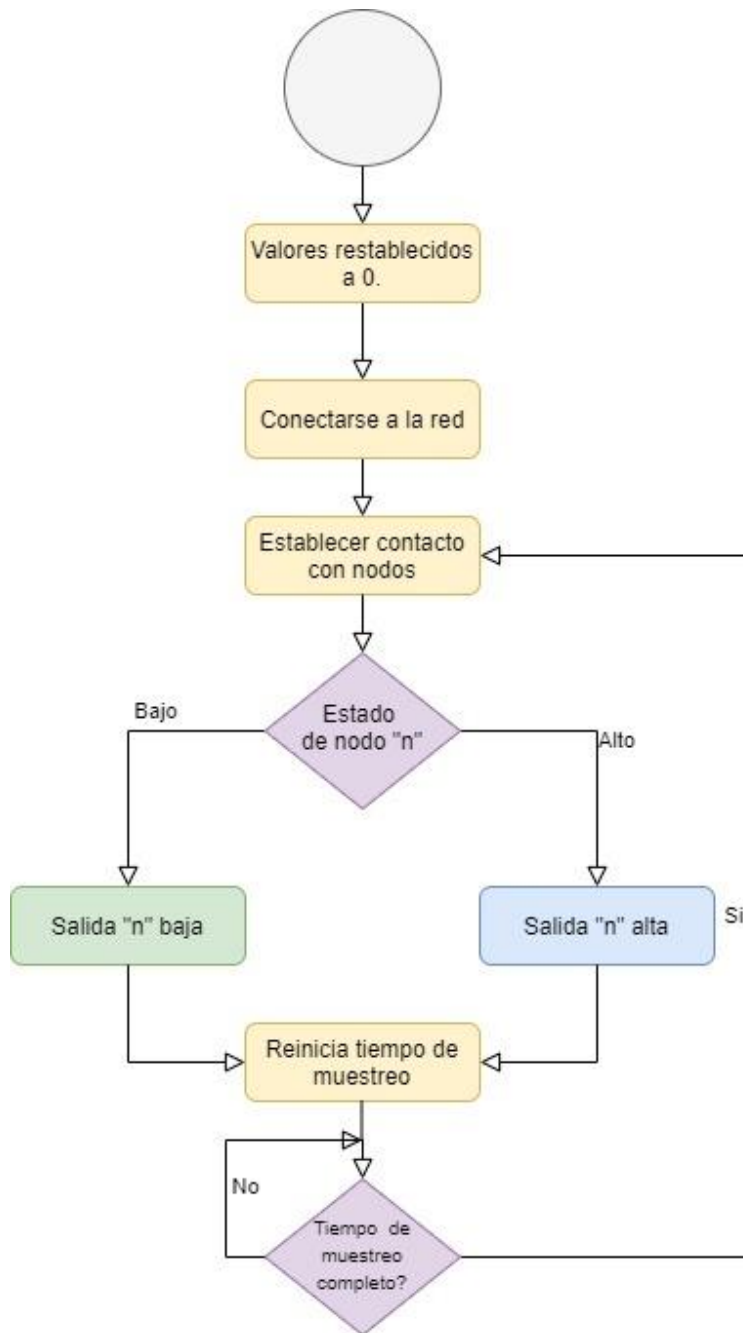


Figura 24.- Flujo de trabajo para coordinador en área de Sobremoldeo.

La interfaz de usuario local nos muestra más detalladamente el estado de las máquinas representadas en renglones con 48 cuadros por intervalos de 30 minutos gráficamente, además de un led que se colorea verde si el equipo está operando y rojo si no lo está. Si la maquina no está trabajando durante la media hora actual, el cuadro se colorea de color rojo y si está operando será verde. También muestra en la sección de “UPTIME” el tiempo en horas del equipo operando y en la sección de “DOWNTIME” el tiempo no operado. Para una rápida referencia de la eficiencia del equipo por turno se tiene una columna con el valor porcentual calculado en tiempo real de la eficiencia con respecto al tiempo del equipo. El algoritmo para el servicio de despliegue administrado por la computadora embebida Raspberry Pi puede verse en la figura 26.



Figura 25.- Estado en tiempo real y eficiencia porcentual de cada equipo en área de Sobremoldeo.

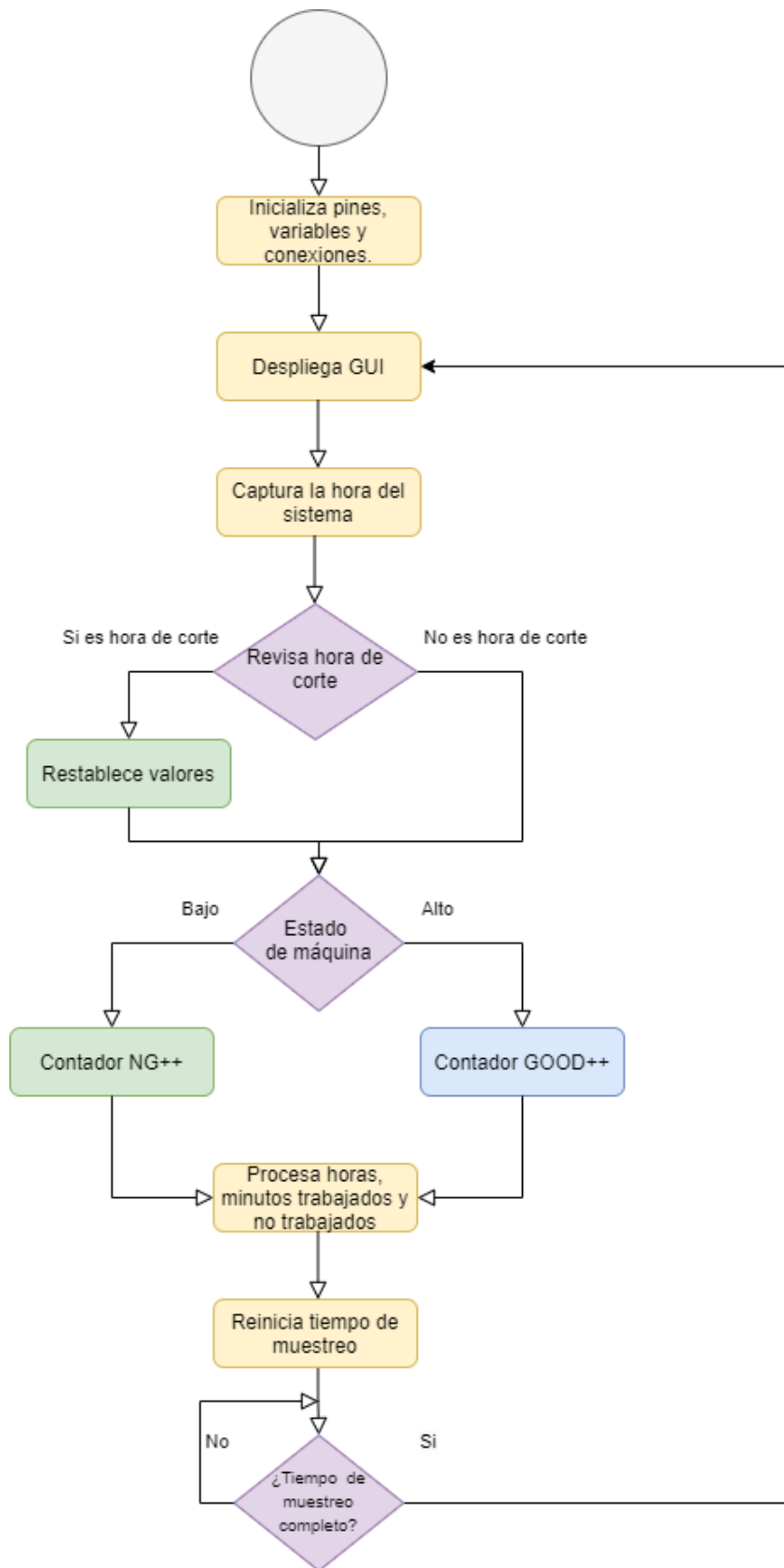


Figura 26.- Flujo de trabajo para despliegue local

La información de las máquinas se almacena en la base de datos, y se despliega resumida y ordenada en renglones por la fecha en la que se tomó la lectura de la productividad por turno. En este caso, el primer turno comprende el horario de 6:00 am a 3:30 pm, el segundo turno el horario comprende el horario de 3:35 pm a 12:30 am y el tercer turno de 12:35 am a 6:00 am. En cada columna se indica la máquina en piso de producción, como se puede ver en la estructura de la tabla 14.

Fecha	FM 1	FM 2	FM 3	FM 17	FM 18	FM19	FM 20
dd/mm/año hh:mm	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno
18/03/2021 15:36	3.416	7.583	0	6.7	8.517	6.716	1.767
19/03/2021 00:37	5.667	3.183	0	7.116	7.316	6.1	5.583
19/03/2021 06:06	4.883	0.566	0	3.161	2.533	4.416	0.516
dd/mm/año hh:mm	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno	Horas productivas p/turno

Tabla 14.- Ejemplo de estructura de base de datos para productividad por turno en área de Sobremoldeo.

4.1.3 Implementación de hardware

4.1.3.1 Nodos.

Se implementa en cada máquina de inyección un nodo “Particle Xenon” insertado en una placa impresa, que a su vez está insertada en una fixtura atornillada a una placa de montaje en un gabinete eléctrico. Con esto se brindan características de inteligencia a la máquina de interés. El nodo se energiza por medio de una fuente de poder externa de 5 voltios, adaptando la señal emitida

por la máquina, la cual es de 24 voltios, por medio de relevadores electromagnéticos cuando cambia de estado entre activa e inactiva. De esta manera se alimenta la entrada digital D0 del microcontrolador, que es utilizada para leer la señal de actividad o inactividad. Al mismo tiempo se dispone una salida digital D2 para observación o medición del estado reconocido por el controlador sobre la máquina a manera de servicio, como se puede observar en la figura descriptiva 27 y la figura esquemática 28.

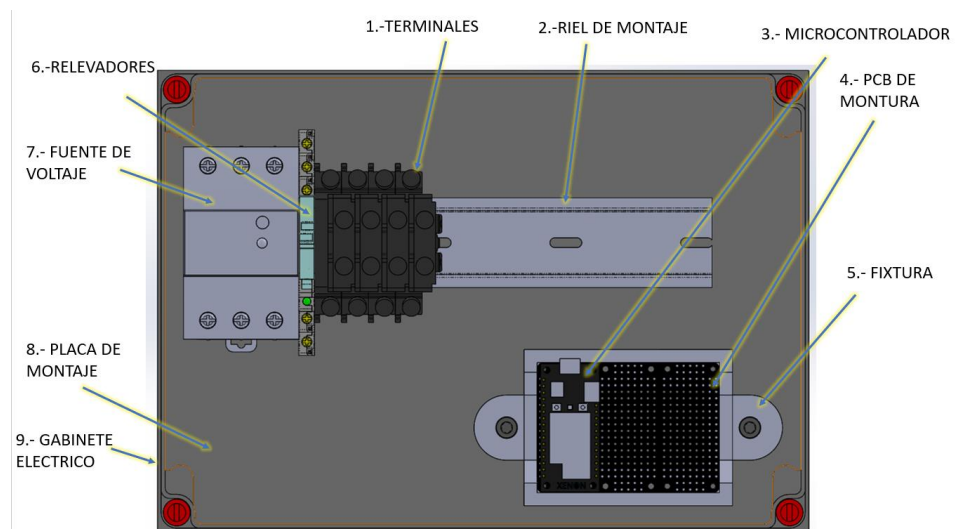


Figura 27.- Descripción física del nodo en área de Sobremoldeo.

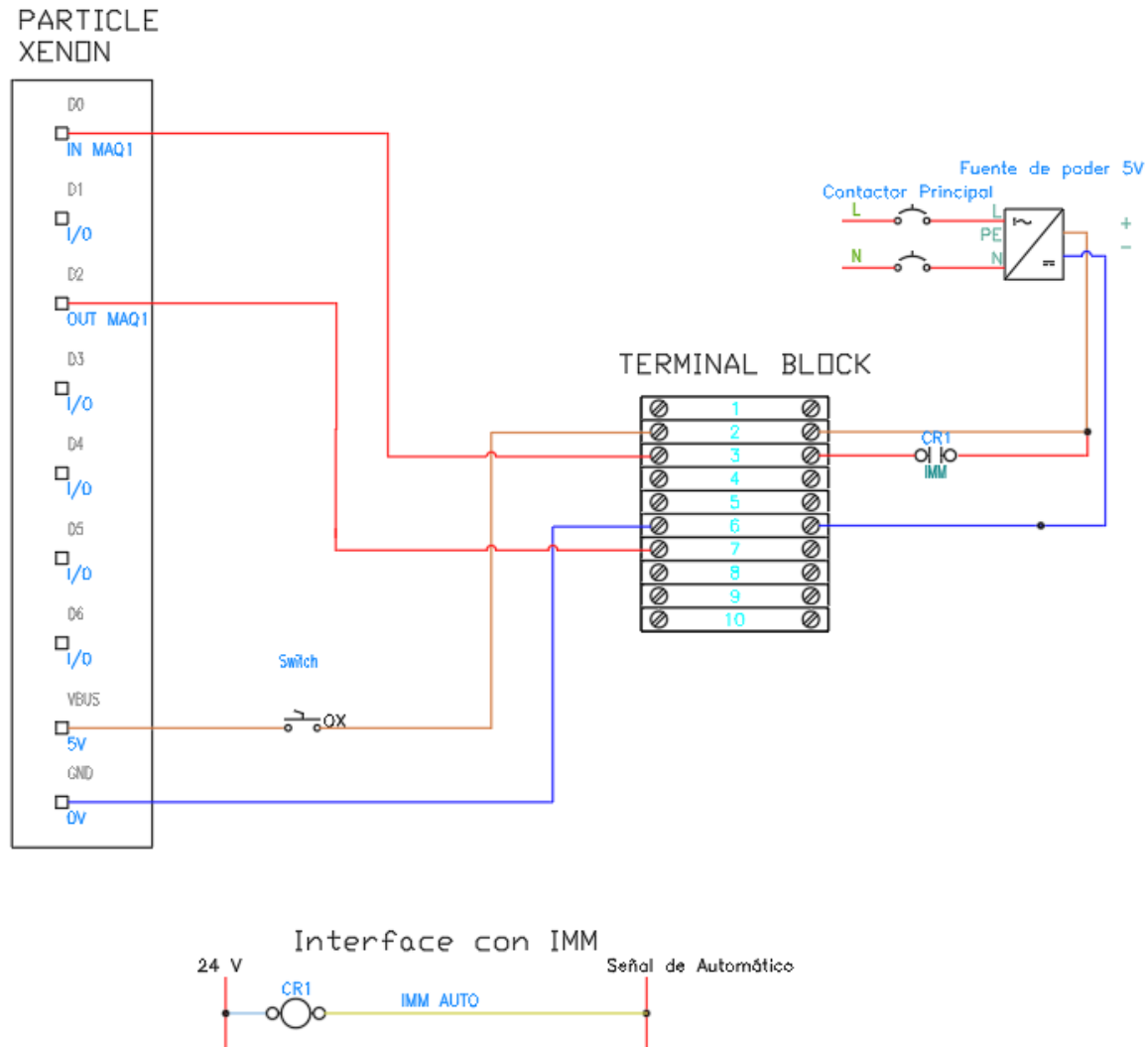


Figura 28.- Descripción esquemática del nodo en área de Sobremoldeo.

4.1.3.2 Coordinador

Se implementa un microcontrolador “Particle Argon” como coordinador de los nodos instalados en las máquinas. Este se energiza por medio de la fuente de servicio habilitada del computador embebido Raspberry Pi que emite 5 volts. El microcontrolador coordinador emite señales representando el estado de las máquinas donde están instalados los nodos, por medio de sus salidas digitales D0 a D7. Cada una de estas salidas es utilizada para cada una de las máquinas conectadas en la red tipo WPAN desplegada por los microcontroladores “Particle”.

4.1.3.3 Computadora embebida

La computadora embebida es implementada como el principal administrador de los datos emitidos por el microcontrolador coordinador. Es energizada con su propio adaptador incluido por el proveedor original y por medio de sus puertos GPIO puede leer el estado de las salidas digitales del microcontrolador “Particle Argon” utilizado como coordinador.

El despliegue físico de la unidad principal donde está incluida la computadora embebida y el nodo coordinador se puede observar en la figura 29 y su descripción esquemática en la figura 30.

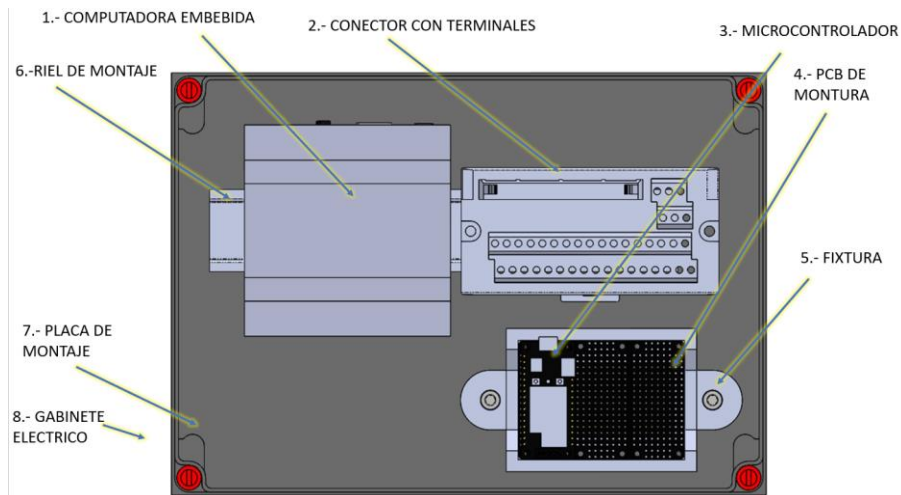


Figura 29.- Descripción física del coordinador en área de Sobremoldeo.

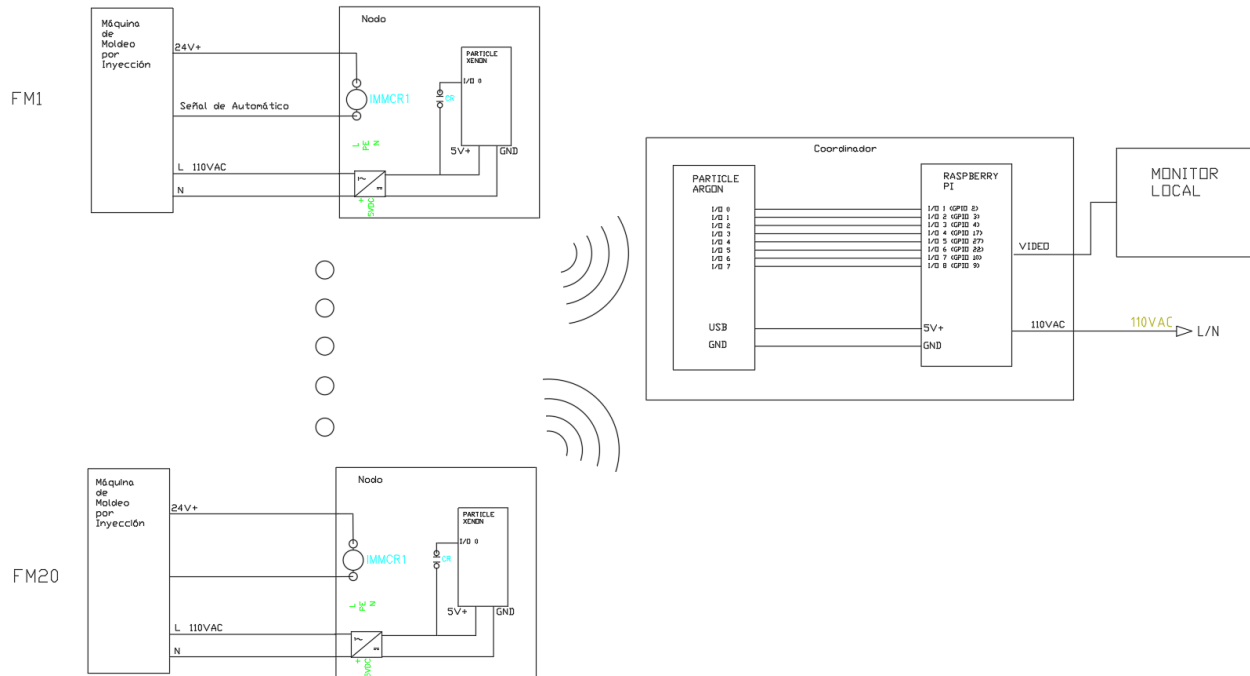


Figura 31.- Descripción esquemática del sistema en área de Sobremoldeo.

4.2 Implementaciones en otras áreas

Dado que el resultado en el área de Sobremoldeo de terminales fue satisfactorio para la alta dirección, se solicitó desarrollar una implementación de tecnologías IIoT en el área de “Tool Room” donde se crean por medio de maquinado de Electroerosión o EDM por sus siglas en inglés, refacciones para cavidades de moldes de alta precisión. Además de incluir el área de estampado de terminales eléctricas por medio de prensas para dados progresivos.

Se hace énfasis en el que el desarrollo del sistema es igual para ambas áreas con diferencia en ciertos pasos, para los pasos similares se hará referencia al capítulo 3.

4.2.1 Tool Room

Se utilizó la misma metodología (Bahga & Madiseti, 2014, p. 100) con la cual se construyó el modelo para el área de Sobremoldeo descrito en el capítulo 3. La necesidad es la misma: tener

un registro del estado de las máquinas del área Tool Room a través del tiempo en base de datos para su posterior análisis, así como la visualización en tiempo real remota y localmente.

Siguiendo el desarrollo para construir el modelo seguimos los mismos pasos:

Paso 1: Propósito y requisitos

- **Propósito:** Implementar un sistema para la visualización de la eficiencia en piso de producción local y remota en las máquinas de corte en tiempo real, localmente en el dispositivo y remotamente por medio de ThingSpeak.
- **Comportamiento:** En una primera etapa, el sistema mostrará en tiempo real qué máquinas están trabajando y qué máquinas están en espera, recabando cuanta eficiencia operativa del equipo está en uso hasta el momento, dejando una memoria desde que empezó el turno.
- **Requisitos para la administración del sistema:** El sistema permitirá la visualización remota por medio de la plataforma ThingSpeak y sus gráficos correspondientes.
- **Requisitos para el análisis de datos:** El sistema procesará los datos localmente para su visualización en un panel local, así como remotamente por medio de gráficos en la plataforma de ThingSpeak.
- **Requisitos en el despliegue de la aplicación:** La aplicación podrá ser accedida remotamente por medio de la app o en la página del portal de ThingSpeak por medio de un número de canal asignado previamente.
- **Requisitos de seguridad:** El sistema de seguridad estará regido por los términos y condiciones para utilizar la plataforma ThingSpeak.

Paso 2: Especificaciones del proceso

Dado que el sistema funciona de la misma manera que el del modelo en el área de Sobremoldeo el diagrama de la figura 14 muestra las etapas de este proceso y la secuencia de ejecución.

Paso 3: Especificaciones del modelo de domino

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 domino de IoT, independientemente de terminologías técnicas. Con esto se puede apreciar el dominio que tendrá el IoT en el sistema a diseñar, como se muestra en la figura 32.

- Entidad física: Máquinas de corte de material.
- Entidad virtual: Gráfica de eficiencia por máquina, porcentaje de productividad.
- Dispositivo:
 - Computadora Embebida.
- Recursos:
 - 1) Plataforma de monitoreo web.
 - 2) Sistema operativo local en computadora embebida.
- Servicios:
 - 1) Servicio de recopilación de estado de máquina (Operativa / No operativa).
 - 2) Servicio de envío de estado a la nube.
 - 3) Servicio de despliegue de información en pantalla gráficamente.
 - 4) Servicio de acceso a la plataforma ThingSpeak.

- 5) Servicio de despliegue de información gráficamente por plataforma ThingSpeak.
- 6) Servicio de recopilación de información en base de datos.

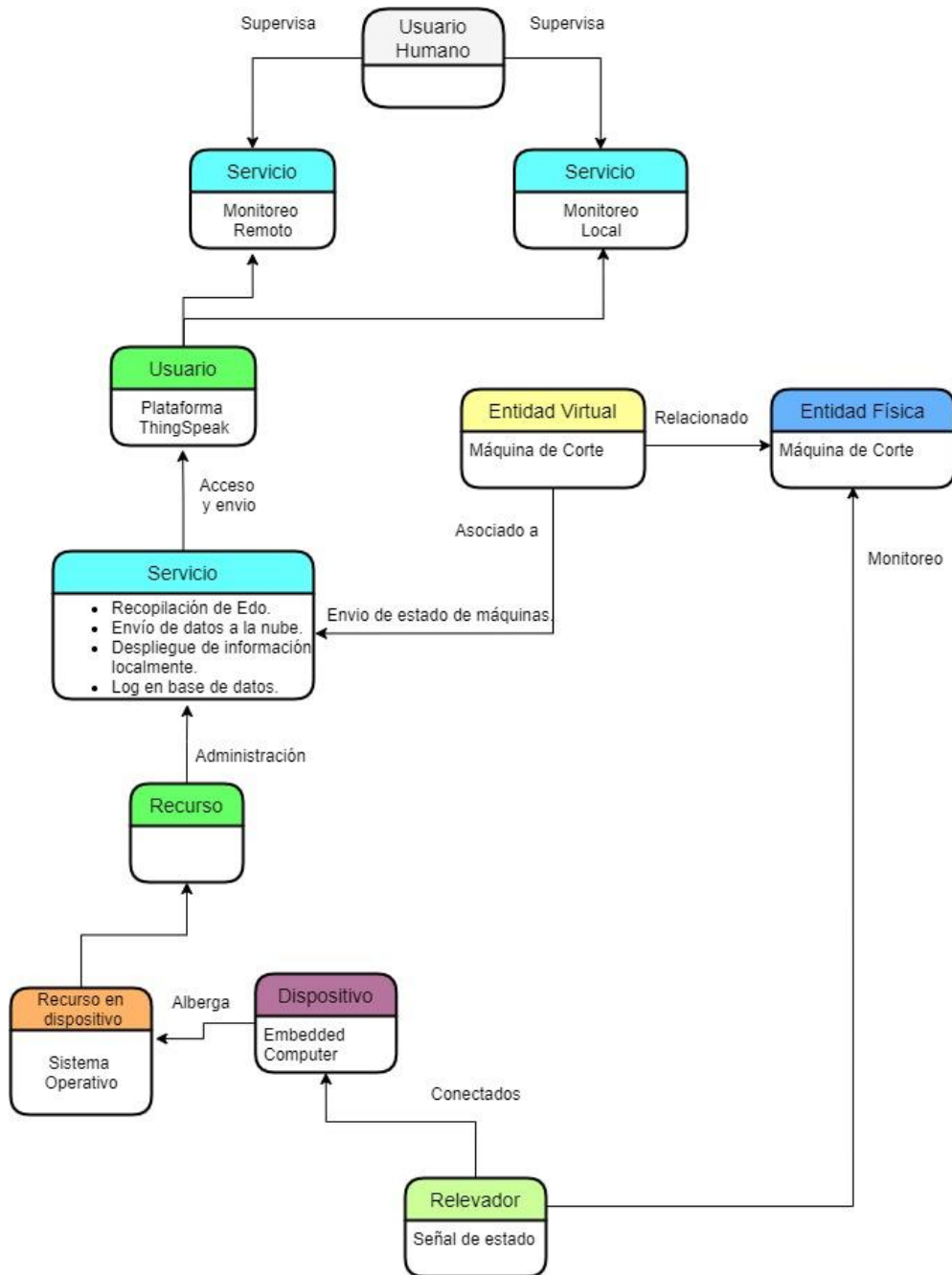


Figura 32.- Modelo de dominio Tool Room

Paso 4: Especificaciones del modelo de información

Dado que el objetivo es el mismo que el modelo del área de Sobremoldeo, los detalles de las entidades virtuales al definir sus atributos y relaciones son los mismos que se presentaron en la figura 16.

Entidad virtual: Gráfica de estado en tiempo real por máquina

Atributos: Estado operativo.

Tipo de atributo: Nivel

- Nivel 0 = No operativa
- Nivel 1= Operativa

Entidad virtual: Tablero de productividad.

Atributos: Porcentaje numérico de tiempo productivo de la máquina.

Tipo de atributo: Numérico continuo.

- Valores: 0 a 100 %

Paso 5: Especificaciones del servicio

Los detalles en este paso del desarrollo del modelo son idénticos a los del área de Sobremoldeo, puesto que los objetivos y requisitos son de la misma naturaleza. La descripción de cada uno de los servicios se puede observar en la figura 17, mientras que el diagrama de especificaciones de servicio es correspondiente con el de la figura 18, fungiendo como administrador de los estados discretos “Operando” / “No Operando”, y enlazando los aspectos de entrada, salida y tareas que necesitará llevar a cabo, que consisten en mantener sincronía del estado de la máquina y guardar información en base de datos, despliegue del estado cada minuto, así como también el envío de datos a la nube.

Paso 6: Especificación de nivel en IoT

La diferencia con el modelo del área de Sobremoldeo es que el modelo de IIoT que se necesita para esta implementación es de nivel 1 (Bahga & Madiseti, 2014, p. 39), como se muestra en la figura 33. Sus características y capacidades se listan a continuación:

- Tiene un nodo llamado coordinador que en este caso es la computadora embebida Raspberry Pi.
- El nodo puede tener la capacidad de sensor o actuador. Dada la definición que tenemos de transductor como sensor en este caso tenemos un relevador como un transformador de energía o señal de 24 voltios de la máquina de corte a una señal de 5 voltios para la lectura por la computadora embebida.
- La información es enviada, guardada en una base de datos local y analizada en la nube convirtiendo el sistema en uno basado en la nube.
- Son recomendados para soluciones basadas en implementaciones de bajo costo donde no se requiere analítica de “big data”.

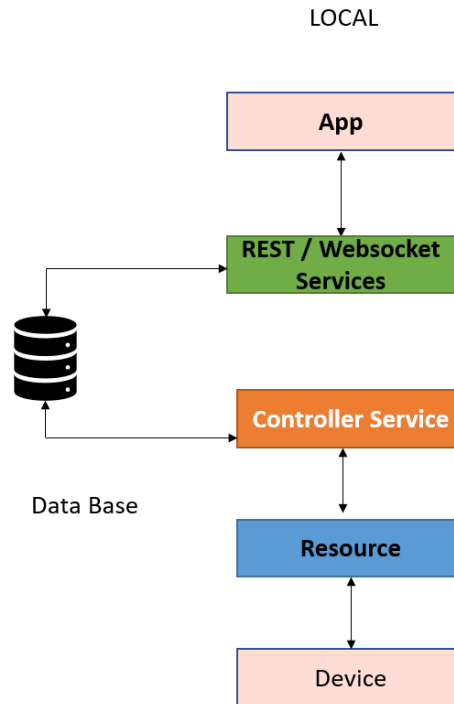


Figura 33.- Nivel de diseño para despliegue de aplicación IoT para Tool Room (Bahga & Madiseti, 2014, p. 39).

Paso 7: Especificaciones de Vista Funcional (FV)

Para este caso los diferentes grupos funcionales son:

- **Grupo Funcional de Dispositivos:** Computadora embebida Raspberry Pi.
- **Grupo Funcional de Comunicación:** En este caso:
 - Nodo Coordinador: 802.11 (Link Layer), IPV4/IPv6(network layer), HTTP (application layer).
- **Grupo Funcional de Servicios:** Incluye varios servicios envueltos en el sistema IoT como servicios de monitoreo de dispositivos, control, publicación de información y descubrimiento de dispositivos. En este caso se tienen los servicios locales y remotos mostrados en la Figura 18.

- **Grupo Funcional de Administración:** Incluye todas las funcionalidades que se necesitan para configurar el sistema IoT, es decir, los permisos de administrador del controlador local. Para servicio en la nube se requiere cuenta en plataforma ThingSpeak.
- **Grupo Funcional de Seguridad:** Este grupo funcional incluye los mecanismos de seguridad para el sistema como autenticación, autorización, seguridad de la información, etc. 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 computadora embebida Raspberry Pi, 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, como lo son opciones de almacenamiento, dispositivos, aplicaciones, etc.

- **Dispositivos:** Computadora embebida Raspberry Pi, Máquina de corte de material, relevador de 24 Voltios, Fuente de poder de 5 Voltios, clemas para conexión, cable plano y monitor para despliegue local.
- **Comunicación:** 802.3 IEEE, IPv4, IPv6, TCP, HTTP.
- **Servicios:**
 - Servicio Local: Desplegado en el dispositivo embebido como nativo.
 - Servicio Remoto: Desplegado por medio de 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

Paso 9: Integración de dispositivos y componentes

Los dispositivos y componentes utilizados para el sistema, en este caso: Computadora embebida Raspberry Pi, Máquina de corte, relevador de 24 Voltios, fuente de poder de 5 Voltios, clemas para conexión y monitor para despliegue local. En la sección de integración de hardware se muestra más detalladamente las conexiones físicas y diagramas esquemáticos de la integración, así como un detalle más profundo sobre el funcionamiento de los sistemas remoto y local. Sin embargo, de forma generalizada se tienen conectadas por medio de relevadores las señales de trabajo de las máquinas a la computadora Raspberry Pi y esta pueda desplegar el estado de cada máquina localmente en un monitor en piso de producción. La computadora Raspberry Pi por medio de servicios creados a través de scripts Python envía la información a la plataforma de ThingSpeak para su visualización remota, además se tiene un servicio de despliegue gráfico para visualizar el estado de las máquinas en tiempo real como se explica más detalladamente en la sección de despliegue de la aplicación local.

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 hasta el 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.

4.2.1.1 Despliegue de aplicación IIoT.

Al estar las máquinas en un espacio más reducido, se pudo realizar el cableado a pocos metros. La arquitectura de implementación se ve reflejada en la figura 34 donde se conectan las máquinas por medio de un relevador. En esta arquitectura se conectaron máquinas con capacidad de comunicar cierta información por medio de protocolos TCP/IP, sin embargo, también se conectaron máquinas sin esta capacidad dado que son tecnología “Legacy” o antigua. Para unificar la información que nos pueden compartir estas máquinas se utilizó como cómputo central la unidad Raspberry Pi, volviéndose el corazón de Tool Room como Smart Factory, conectando nuestros activos en la plataforma ThingSpeak virtualizándolos en tiempo real como Gateway.

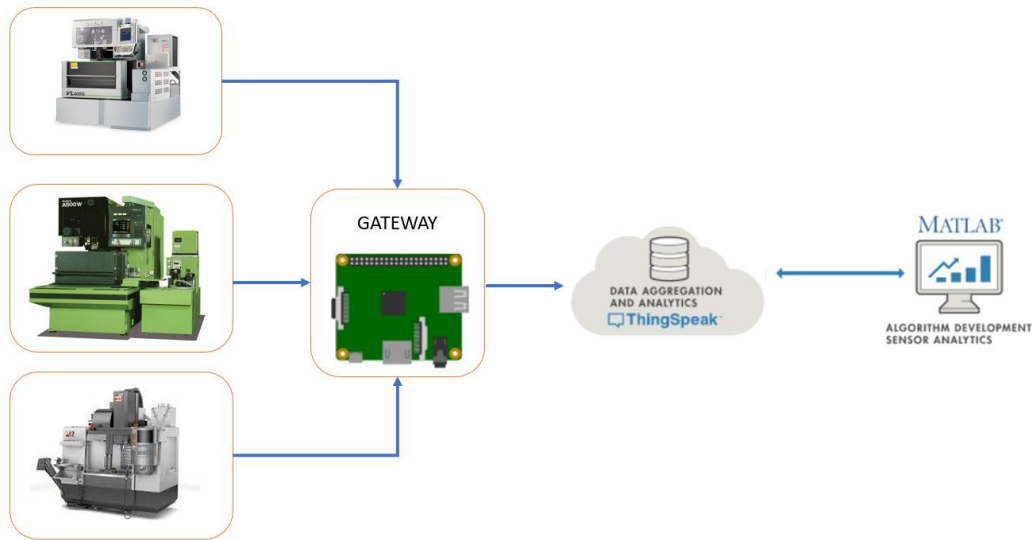


Figura 34.- Modelo de arquitectura implementada en Tool Room.

De esta manera, se cumplen los requerimientos de visualización local y remota, donde se visualiza el comportamiento de las máquinas de corte por hilo en un período de 24 horas para igualar el despliegue de información en el monitor local y su cómputo de eficiencia en tiempo real, así como el registro en base de datos del comportamiento de la maquinaria. El controlador principal puede ser capaz de interactuar con la maquinaria simplemente realizando el cableado apropiado, comunicando la maquinaria por medio de esquema M2M.

Se emite la información del estado alto como valor numérico 10, mientras que el valor 0 muestra cuando está en reposo la máquina. Esto en un intervalo de muestreo equivalente a un segundo, y se envía a la computadora embebida Raspberry Pi, esta computadora a su vez por medio de servicios HTTP en tiempo real envía la información del equipo a los websockets correspondientes en el servicio de ThingSpeak, pudiendo visualizar de esta manera el comportamiento de la máquina si esta activa o inactiva por medio de la gráfica de la plataforma de ThingSpeak por cada máquina. En la figura 35 se puede visualizar el comportamiento en las 24 horas anteriores según fue el requisito del sistema.

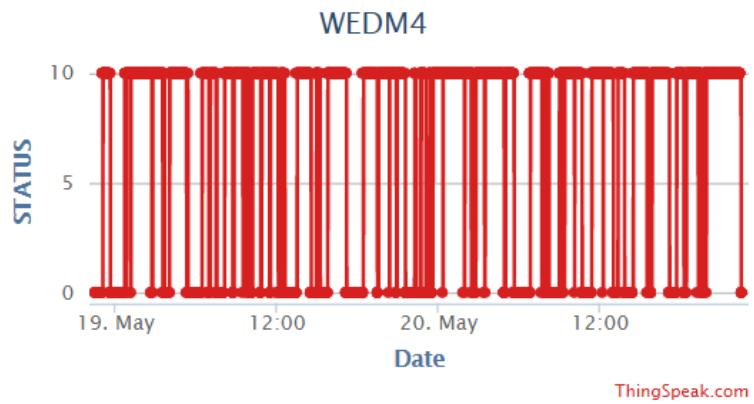
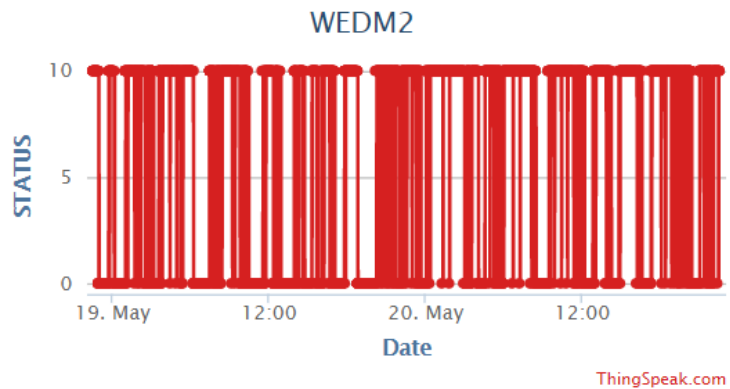
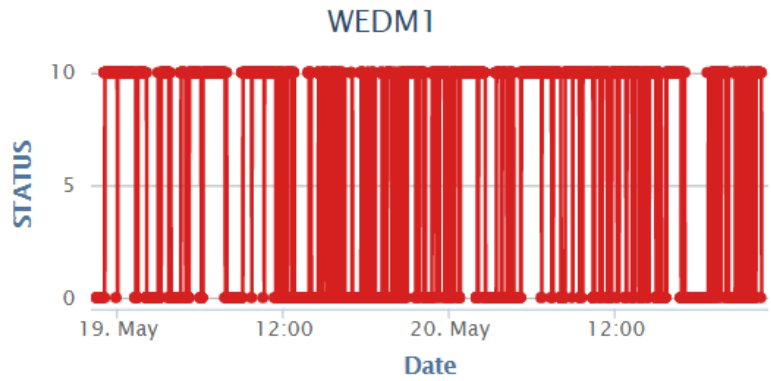


Figura 35.- Gráficas de comportamiento de maquinaria en Tool Room.

Con esta herramienta el supervisor de Tool Room puede hacer su cálculo de eficiencia dentro de su presupuesto anual otorgado y mantener sus métricos de control más justos, desarrollar estrategias para optimizar el uso de su maquinaria en turno y gestionar mejor el flujo de materia prima y ordenes de trabajo en proceso.

4.2.1.2 Despliegue de aplicación local.

El despliegue de la aplicación a nivel local en piso de producción está a la entrada del área de Tool Room, siendo innecesario recorrerla en su totalidad para reconocer que se tienen equipos en espera. El despliegue local está implementado gráficamente por la computadora embebida Raspberry Pi a través de la aplicación ejecutable previamente compilada en lenguaje C++ para su uso en sistema operativo de Raspberry Pi por medio del software QT Designer. Se presenta al usuario una interfaz gráfica que permite visualizar el estado actual de la maquinaria y el historial de las 24 horas previas, lo que permite establecer una comparativa con el día anterior. Además, en la interfaz se muestra la eficiencia en tiempo real de la maquinaria.

La interfaz de usuario local nos muestra más detalladamente el estado de las máquinas representadas en renglones con 48 cuadros por intervalos de 30 minutos gráficamente como observa en la figura 36, además de un led que se colorea verde si el equipo está operando y rojo si no lo está. Si la maquina no está trabajando durante la media hora actual, el cuadro se colorea de color rojo y si está operando será verde. También muestra en la sección de “UPTIME” el tiempo en horas del equipo operando y en la sección de “DOWNTIME” el tiempo no operado. Para una rápida referencia de la eficiencia del equipo por turno se tiene una columna con el valor porcentual calculado en tiempo real de la eficiencia con respecto al tiempo del equipo. El algoritmo para el servicio de despliegue administrado por la computadora embebida Raspberry Pi puede verse en la

figura 26 siendo la misma aplicación que en el sistema implementado en el área de Sobremoldeo con la única diferencia de que se etiquetan los activos físicos de acuerdo con el nombre de la maquinaria a monitorear.

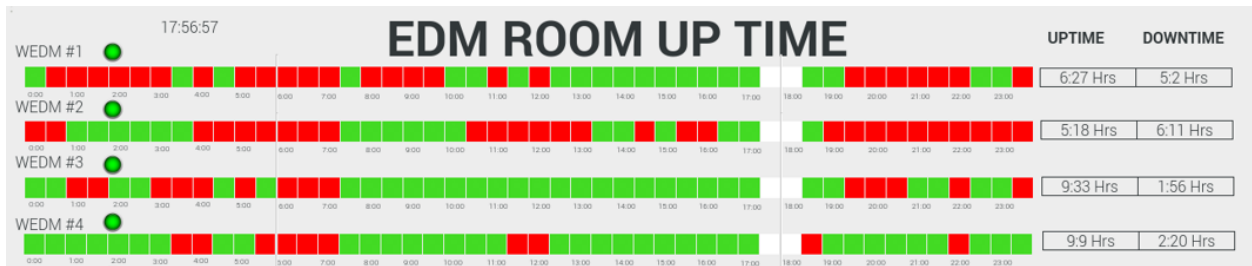


Figura 36.- Estado en tiempo real y eficiencia porcentual de cada equipo en Tool Room.

La información de las máquinas se almacena en la base de datos y se despliega ordenada por fecha con una estructura como la mostrada en la tabla 15. En los renglones se muestra la fecha y hora en la que se tomó la lectura de la productividad por turno, en este caso el primer turno comprende un horario de 6:00 am a 6:10 pm y para el segundo turno el horario es de 6:00 pm a 6:10 am y en columnas la máquina en piso de producción.

Fecha	WEDM 1	WEDM 2	WEDM 3	WEDM 4
dd/mm/año hh:mm	Horas productivas p/ turno	Horas productivas p/ turno	Horas productivas p/ turno	Horas productivas p/ turno
19/03/2021 06:10	8.98	9.333	8.033	7.716
19/03/2021 18:10	4.1833	3.033	3.65	8.15
dd/mm/año hh:mm	Horas productivas p/ turno	Horas productivas p/ turno	Horas productivas p/ turno	Horas productivas p/ turno

Tabla 15.- Ejemplo de estructura de base de datos para productividad por turno área de Tool Room.

4.2.1.3 Implementación de hardware

Computadora embebida

La computadora embebida es implementada como el principal administrador de los datos como nodo coordinador. Es energizada con su propio adaptador incluido por el proveedor original una fuente de voltaje de 5 Voltios y por medio de sus puertos GPIO puede leer el estado de las máquinas conectadas.

La interfaz de las máquinas se puede apreciar en el diagrama esquemático de la figura 37, donde se separa la señal de corte de material por medio del relevador, energizando la bobina con 24 voltios cada vez que la maquina está activa. Esto provoca que el contacto normalmente abierto se cierre y deje pasar la señal a las terminales de la computadora embebida.

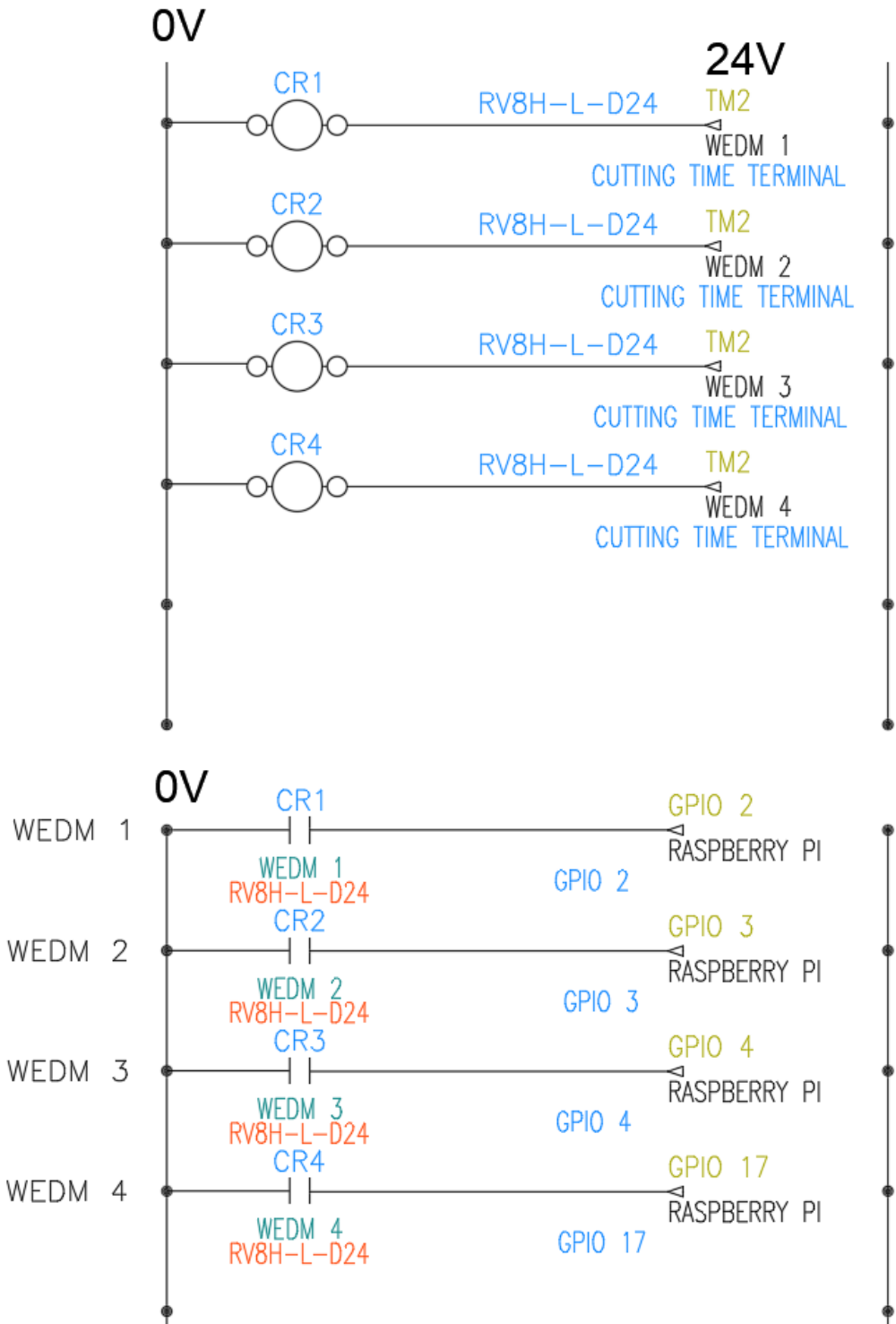


Figura 37.- Diagrama esquemático de implementación en Tool Room.

4.2.2 Estampado de terminales eléctricas.

Se utilizó la misma metodología (Bahga & Madiseti, 2014, p. 100) con la cual se construyó el modelo para el área de Sobremoldeo. La necesidad es la misma: tener un registro del estado de las máquinas del área de estampado de terminales eléctricas a través del tiempo en base de datos para su posterior análisis, así como el despliegue de la visualización en tiempo real remota y localmente. Siguiendo el desarrollo para construir el modelo seguimos los mismos pasos:

Paso 1: Propósito y requisitos

En este paso el propósito, comportamiento y requerimientos del sistema son recopilados (Requisitos de recolección de datos, análisis de datos, administración de los requerimientos del sistema, privacidad y seguridad, requerimientos de interfaz de usuario).

- **Propósito:** Implementar un sistema para la visualización de la eficiencia en piso de producción local y remota en las líneas de producción de estampado de terminales en tiempo real, localmente en el dispositivo y remotamente por medio de ThingSpeak.
- **Comportamiento:** En una primera etapa, el sistema mostrará en tiempo real qué máquinas están trabajando y qué máquinas están en espera, recabando cuanta eficiencia operativa del equipo está en uso hasta el momento, dejando una memoria desde que empezó el turno.
- **Requisitos para la administración del sistema:** El sistema permitirá la visualización remota por medio de la plataforma ThingSpeak y sus gráficos correspondientes.

- **Requisitos para el análisis de datos:** El sistema procesará los datos localmente para su visualización en un panel local, así como remotamente por medio de gráficos en la plataforma de ThingSpeak.
- **Requisitos en el despliegue de la aplicación:** La aplicación podrá ser accedida remotamente por medio de la app o en la página del portal de ThingSpeak por medio de un número de canal asignado previamente.
- **Requisitos de seguridad:** El sistema de seguridad estará regido por los términos y condiciones para utilizar la plataforma ThingSpeak.

Paso 2: Especificaciones del proceso

Dado que el sistema funciona de la misma manera que el del modelo en el área de Sobremoldeo, el diagrama de la figura 14 muestra las etapas de este proceso y la secuencia de ejecución.

Paso 3: Especificaciones del modelo de dominio

Provee una representación abstracta de los conceptos, objetos y entidades en el dominio de IoT, independientemente de terminologías técnicas. Con esto se puede apreciar el dominio que tendrá el IoT en el sistema a diseñar, como se muestra en la figura 38.

- Entidad física: Prensa estampadora.
- Entidad virtual: Gráfica de eficiencia por máquina, porcentaje de productividad.
- Dispositivo:
 - 1) Microcontrolador con módulos de comunicación.
 - 2) Computadora Embebida.

- Recursos:
 - 1) Firmware para microcontrolador.
 - 2) Plataforma de monitoreo en la nube por proveedor de microcontrolador.
 - 3) Plataforma de monitoreo web.
 - 4) Sistema operativo local en computadora embebida.

- Servicios:
 - 1) Servicio de recopilación de estado de máquina (Operativa / No operativa).
 - 2) Servicio de envío de estado a la nube.
 - 3) Servicio de comunicación entre microcontroladores.
 - 4) Servicio de despliegue de información en pantalla gráficamente.
 - 5) Servicio de acceso a la plataforma ThingSpeak.
 - 6) Servicio de despliegue de información gráficamente por plataforma ThingSpeak.
 - 7) Servicio de recopilación de información en base de datos.

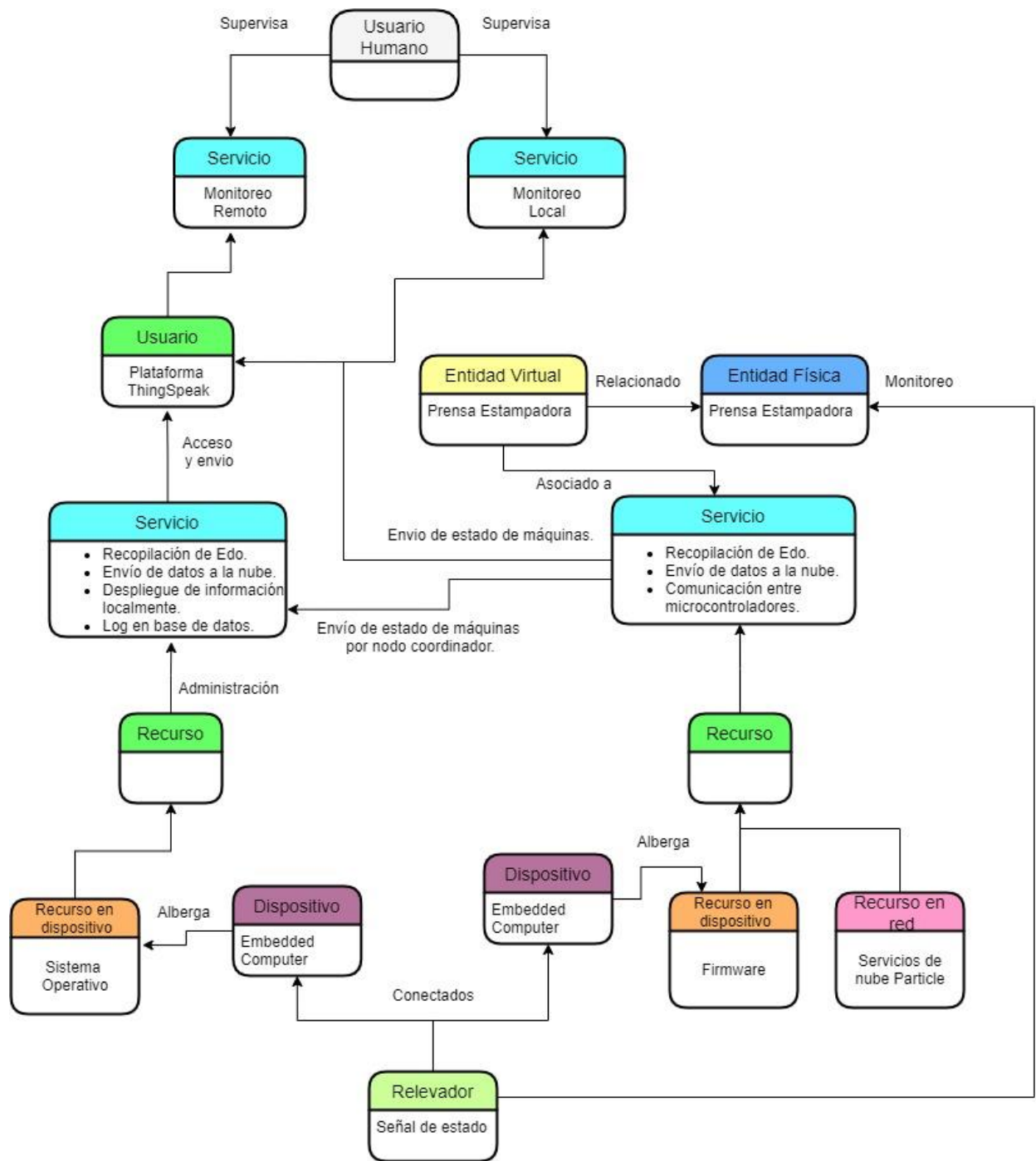


Figura 38.- Modelo de dominio área de estampado

Paso 4: Especificaciones del modelo de información

Dado que el objetivo es el mismo que el modelo del área de Sobremoldeo, los detalles de las entidades virtuales al definir sus atributos y relaciones se observan en la figura 16.

Entidad virtual: Gráfica de estado en tiempo real por máquina

Atributos: Estado operativo.

Tipo de atributo: Nivel

- Nivel 0 = No operativa
- Nivel 1= Operativa

Entidad virtual: Tablero de productividad.

Atributos: Porcentaje numérico de tiempo productivo de la máquina.

Tipo de atributo: Numérico continuo.

- Valores: 0 a 100 %

Paso 5: Especificaciones del servicio

Los detalles en este paso del desarrollo del modelo son idénticos a los del área de Sobremoldeo, puesto que los objetivos y requisitos son de la misma naturaleza. La descripción de cada uno de los servicios se puede observar en la figura 17, mientras que el diagrama de especificaciones de servicio es correspondiente con el de la figura 18, fungiendo como administrador de los estados discretos “Operando” / “No Operando”, y enlazando los aspectos de entrada, salida y tareas que necesitará llevar a cabo, que consisten en mantener sincronía del estado de la máquina y guardar información en base de datos, despliegue del estado cada minuto, así como también el envío de datos a la nube.

Paso 6: Especificación de nivel en IoT

El nivel de despliegue del sistema IoT tiene la estructura que se muestra en la figura 39. De acuerdo con lo planteado en Bahga & Madiseti (2014, p. 43) se clasifica como un sistema nivel 5. Sus características y capacidades se listan a continuación:

- Tiene múltiples nodos llamados ramas en este caso controladores Particle Xenon y un nodo llamado coordinador que en este caso es un controlador Particle Argon.
- Los nodos ramas pueden tener la capacidad de sensor o actuador, dada la definición que tenemos de transductor como sensor en este caso tenemos un relevador como un transformador de energía o señal de 24 voltios de la máquina de inyección de plástico a una señal de 5 voltios para la lectura por el controlador Particle Xenon.
- 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 convirtiendo el sistema en uno basado en la nube.
- Son recomendados para soluciones basadas en redes de sensores inalámbricos, donde la información es grande y los requerimientos computacionales son intensivos, que para implementaciones futuras nos dan la flexibilidad de poder instalar este tipo de tecnologías que pueden ser de gran ayuda para monitorear parámetros que influyen en el proceso más detalladamente.

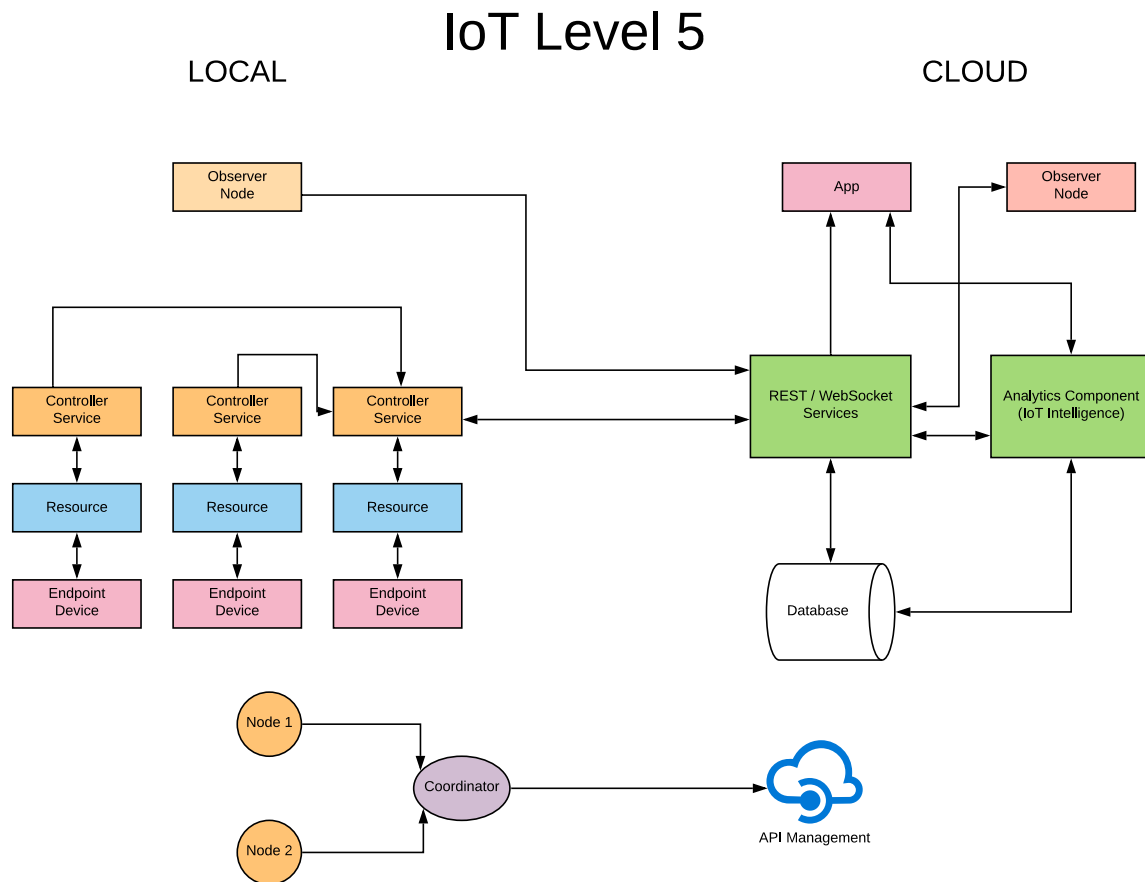


Figura 39.- Nivel de diseño para despliegue de sistema IoT (Bahga & Madiseti, 2014).

Paso 7: Especificaciones de Vista Funcional (FV)

Los diferentes grupos funcionales son:

- **Grupo Funcional de Dispositivos:** Contiene dispositivos para monitoreo y control, en este caso los nodos ramas Particle Xenon y el nodo coordinador Particle Argon, así como la computadora embebida Raspberry Pi.
- **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 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: 802.15.4 WPAN (Link Layer)
 - Nodo Coordinador: 802.11 (Link Layer), IPV4/IPv6(network layer), HTTP (application layer).
- **Grupo Funcional de Servicios:** Incluye varios servicios envueltos en el sistema IoT como servicios de monitoreo de dispositivos, control, publicación de información y descubrimiento de dispositivos. En este caso se tienen los servicios locales y remotos mostrados en la Figura 18.
 - **Grupo Funcional de Administración:** Incluye todas las funcionalidades que se necesitan para configurar el sistema IoT, es decir, los permisos de administrador del controlador local. En el caso de los dispositivos de nodo rama, se requiere la cuenta para administrarlos en la página del proveedor y la aplicación móvil para darlo de alta. Para servicio en la nube se requiere cuenta en plataforma ThingSpeak.
 - **Grupo Funcional de Seguridad:** Este grupo funcional incluye los mecanismos de seguridad para el sistema como autenticación, autorización, seguridad de la información, etc. 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 computadora embebida Raspberry Pi, 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, como lo son opciones de almacenamiento, dispositivos, aplicaciones, etc.

- Dispositivos: Computadora embebida Raspberry Pi, Particle Argon, Particle Xenon microcontroller. Prensa estampadora, relevador de 24 Voltios, fuente de poder de 5 Voltios, clemas para conexión, cable plano, PCB para conexión modular de microcontrolador, fixtura para instalación de microcontrolador a medida y monitor para despliegue local.
- Comunicación: WPAN, Wi-Fi 802-11 b, IPv4, IPv6, TCP, HTTP.
- Servicios:
 - Servicio Local: Desplegado en el dispositivo embebido como nativo.
 - Servicio Remoto: Desplegado por medio de 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.

Paso 9: Integración de dispositivos y componentes

Los dispositivos y componentes utilizados para el sistema, en este caso: Computadora embebida Raspberry Pi, Particle Argon, Particle Xenon microcontroller. Prensa estampadora, relevador de 24 Voltios, fuente de poder de 5 Voltios, clemas para conexión, cable plano, PCB para conexión modular de microcontrolador, fixtura para instalación de microcontrolador a medida y monitor para despliegue local. En la siguiente sección se muestra más detalladamente las conexiones físicas y diagramas esquemáticos de la integración, así como un detalle más profundo del funcionamiento de los sistemas remoto y local. Sin embargo, de forma generalizada se tienen los dispositivos rama que están conectados para hacer interfaz entre la prensa estampadora y el nodo coordinador. El nodo coordinador envía la información de cada máquina en piso de producción de dos métodos: por medio de los servicios en la nube de Particle a su plataforma y a través de sus terminales físicamente para que la computadora Raspberry Pi pueda desplegar el estado de cada máquina localmente en un monitor en piso de producción. La computadora Raspberry Pi por medio de servicios creados a través de scripts Python envía la información a la plataforma de ThingSpeak para su visualización remota, además se tiene un servicio de despliegue gráfico para visualizar el estado de las máquinas en tiempo real como se explica más detalladamente en la sección de implementación.

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 hasta el 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.

4.2.2.1 Despliegue de aplicación IIoT

De igual manera que el modelo del área de Sobremoldeo, se instalaron en las prensas con características “Legacy” microcontroladores “Particle Xenon” para otorgarle la característica de nodo rama a las máquinas que posteriormente se comunican al nodo coordinador, cuya característica es mandar datos al servicio de nube “Particle”, además de comunicar a la unidad de cómputo local “Raspberry Pi” que despliega en piso de producción localmente la visualización del estado de las máquinas. Este proceso se realiza de la misma forma que en el modelo usado en el área de Sobremoldeo, como se observa en la figura 40, con la única diferencia que el ciclo de escaneo es mucho menor que el del área de Sobremoldeo ya que la prensa trabaja a ciclos de velocidad muy altos, produciendo hasta 200 piezas por minuto a comparación del área de Sobremoldeo donde se obtienen hasta 12 piezas por minuto.

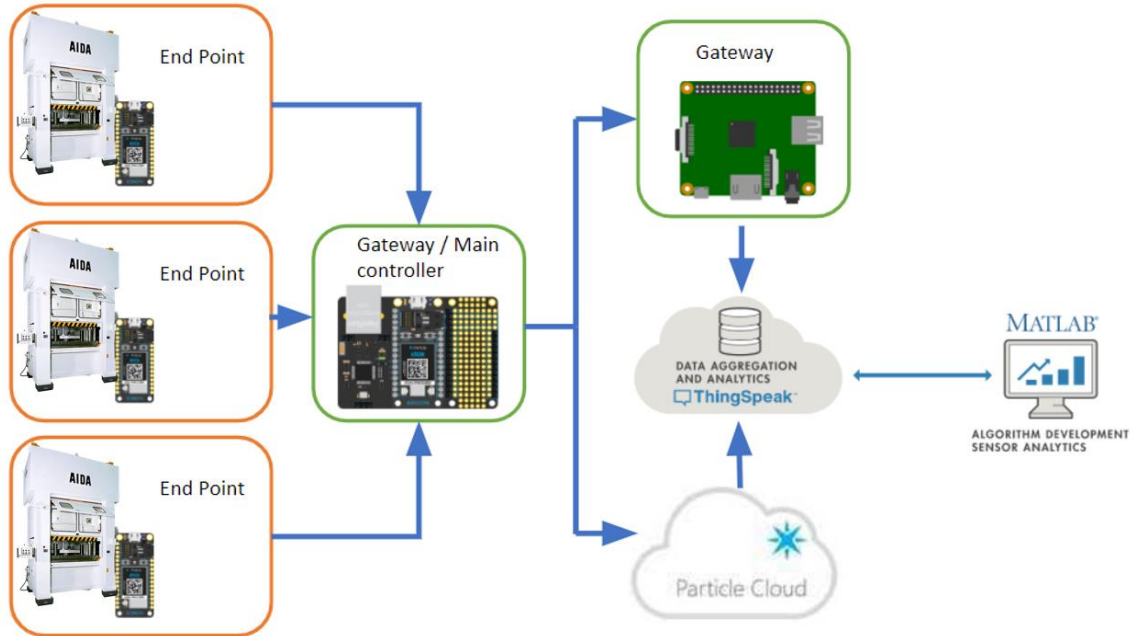


Figura 40.- Modelo de arquitectura implementada en el área de estampado progresivo.

Debido al consumo de datos alto en esta área, los microcontroladores envían información de la máquina cada 30 segundos, grabando en la base de datos un tiempo de trabajo más preciso.

También se utilizó un canal del servicio de la plataforma ThingSpeak desplegando el estado de las máquinas junto con su eficiencia en tiempo real y el comportamiento en las 24 horas anteriores según fue el requisito del sistema cómo se observa en el ejemplo de una máquina en las figura 41.

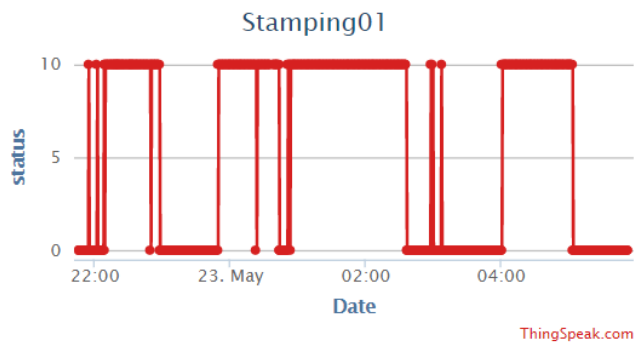


Figura 41.-Estado de la Máquina estampadora por servicio ThingSpeak.

Además, por medio de los servicios de procesamiento en la nube se realiza un análisis porcentual de la eficiencia de cada máquina en tiempo real haciendo la operación entre el tiempo total transcurrido hasta el momento, por lo que se puede visualizar tendencias que pueden ayudar a interpretar el comportamiento de piso de producción. En la figura 42 se puede visualizar un ejemplo de la gráfica de eficiencia.

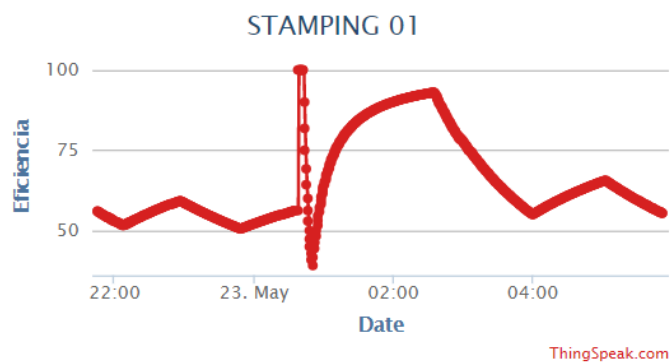


Figura 42.- Eficiencia porcentual por máquina estampadora.

El principal objetivo en esta área es la de acortar los largos tiempos muertos en la maquinaria, gestionando de manera más eficiente los cambios de modelo ya que los ajustes iniciales de set up son muy tardados al ser de alto riesgo la producción de estampado de terminales. Es recurrente que bajen los herramentales a taller para ajustes y las máquinas queden en espera de montar algún otro modelo o de esperar al modelo que recién se bajó a ajustes por parte de taller de dados de corte. La velocidad de reacción por parte de supervisión de producción debe ser mayor por lo que se necesita visualizar el tiempo invertido en espera y el tiempo producido de manera instantánea.

4.2.2.2 Despliegue de aplicación local

El despliegue de la aplicación a nivel local en piso de producción está a la cabeza del área de estampado, siendo innecesario recorrerla en su totalidad para reconocer que se tienen equipos en espera. El despliegue local está implementado gráficamente por la computadora embebida Raspberry Pi a través de la aplicación ejecutable previamente compilada en lenguaje C++ para su uso en sistema operativo de Raspberry Pi por medio del software QT Designer. Se presenta al usuario una interfaz gráfica que permite visualizar el estado actual de la maquinaria y el historial de las 24 horas previas, lo que permite establecer una comparativa con el día anterior. Además, en la interfaz se muestra la eficiencia en tiempo real de la maquinaria. La aplicación se comunica con los microcontroladores Particle utilizando un esquema de comunicación M2M mediante redes WPAN, a fin de que cada uno de los nodos implementado por un microcontrolador, envíe la información del estado de cada máquina. En el diagrama de flujo de la figura 43 se muestra el flujo de trabajo para los nodos. Inicialmente los valores se establecen a 0, representando un estado inactivo, y tras verificar la conexión del nodo a la red se lee de manera iterativa el estado de la máquina, enviando este valor al microcontrolador que realiza funciones de coordinador. Cuando se determina que el estado de la máquina es activo se envía un valor de 10, mientras que en inactividad el valor es 0.

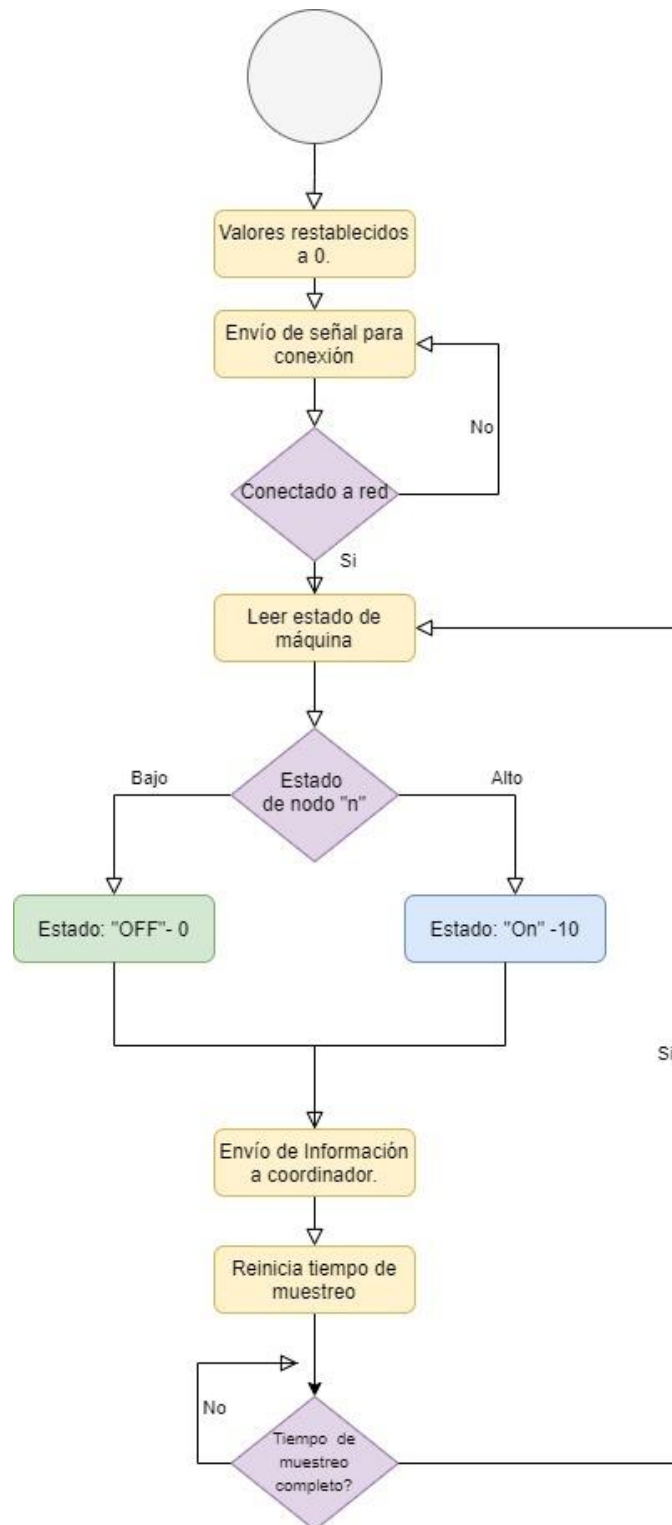


Figura 43.- Flujo de trabajo para nodo área de estampado.

El ciclo de lectura se repite cada 200 ms, asegurando así la emisión del estado en tiempo real. En la figura 44 se muestra el flujo de trabajo dentro del coordinador, administrando la información recibida en las funciones grabadas para recibir los mensajes referentes a cada máquina, empieza por preestablecer los valores en 0, seguido de la conexión a la red, para después establecer conexión con todos los nodos. Una vez que establece conexión con el nodo espera a recibir el mensaje pertinente; si no encuentra un nodo se pasa al siguiente y en el ciclo de muestreo siguiente vuelve a buscar los nodos. Dependiendo del estado de cada máquina este emite por sus salidas señales discretas con el estado de las máquinas. Para no saturar al sistema se procede a realizar un muestreo cada minuto, las salidas digitales son interconectadas a los GPIO de la computadora embebida físicamente, leyendo por su parte la Raspberry Pi en un intervalo de un segundo el estado de las señales que le son alimentadas, actualizando así la interfaz de usuario (figura 45). Los valores para retomar la producción al final de turno de producción son reestablecidos a 0.

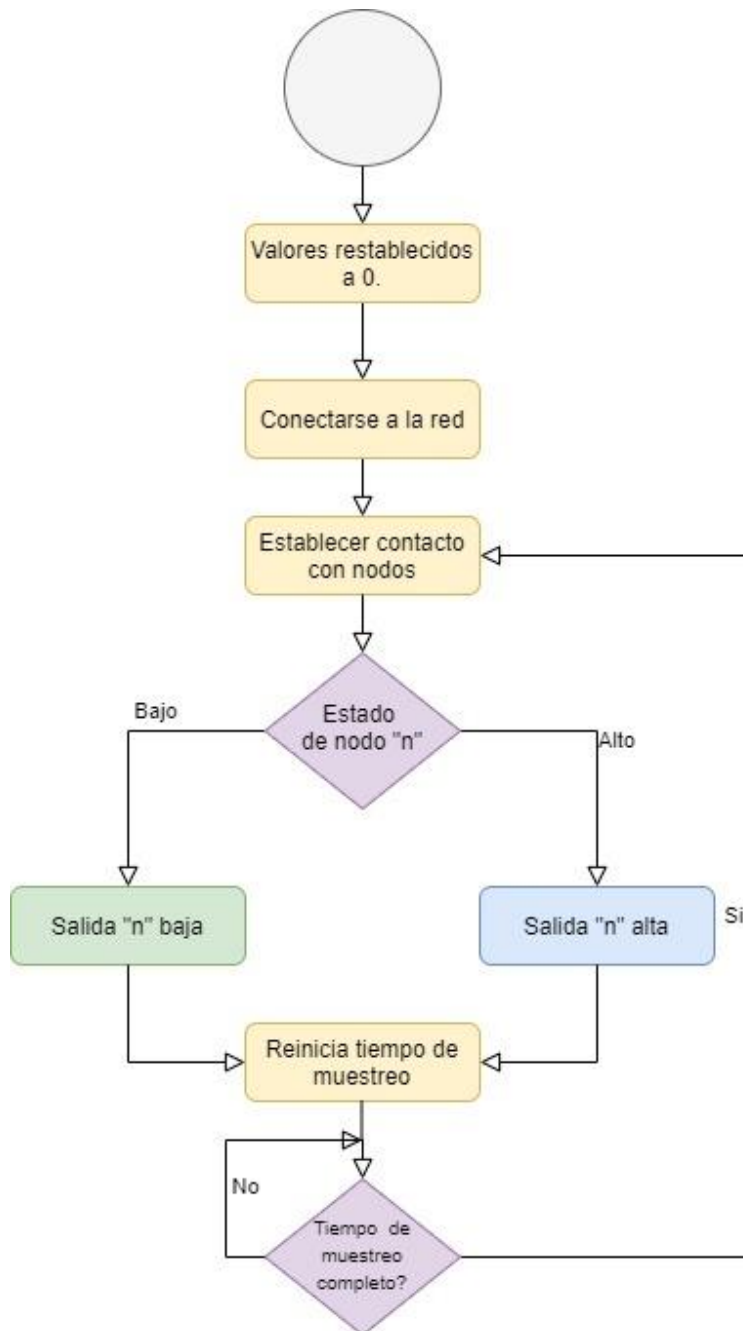


Figura 44.- Flujo de trabajo para coordinador área de estampado.

La interfaz de usuario local nos muestra más detalladamente el estado de las máquinas representadas en renglones con 48 cuadros por intervalos de 30 minutos gráficamente, además de un led que se colorea verde si el equipo está operando y rojo si no lo está. Si la maquina no está trabajando durante la media hora actual, el cuadro se colorea de color rojo y si está operando será verde. También muestra en la sección de “UPTIME” el tiempo en horas del equipo operando y en la sección de “DOWNTIME” el tiempo no operado. Para una rápida referencia de la eficiencia del equipo por turno se tiene una columna con el valor porcentual calculado en tiempo real de la eficiencia con respecto al tiempo del equipo. El algoritmo para el servicio de despliegue administrado por la computadora embebida Raspberry Pi puede verse en la figura 46.



Figura 45.- Estado en tiempo real y eficiencia porcentual de cada equipo área de estampado.

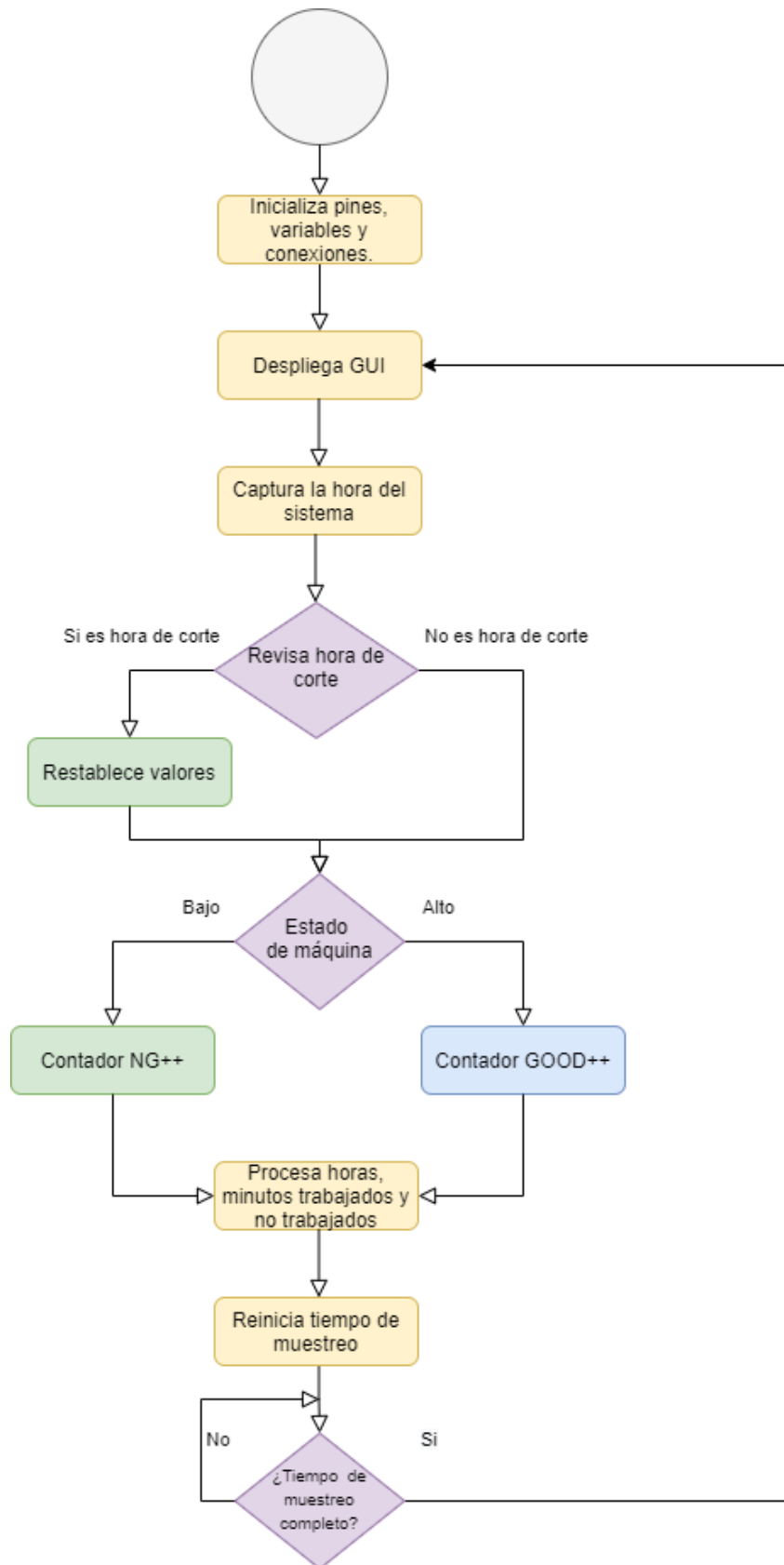


Figura 46.- Flujo de trabajo para despliegue local área de estampado.

La información de las máquinas se almacena en la base de datos, y se despliega resumida y ordenada en renglones por la fecha en la que se tomó la lectura de la productividad por turno. En este caso, el primer turno comprende el horario de 6:00 am a 3:30 pm, el segundo turno el horario comprende el horario de 3:35 pm a 12:30 am y el tercer turno de 12:35 am a 6:00 am, como se muestra en la tabla 16.

Fecha	ST 1	ST 2
dd/mm/año hh:mm	Horas productivas p/ turno	Horas productivas p/ turno
18/03/2021 15:36	3.866	4.091
19/03/2021 00:37	1.916	2.833
19/03/2021 06:06	3.758	0.883
dd/mm/año hh:mm	Horas productivas p/ turno	Horas productivas p/ turno

Tabla 16.- Ejemplo de estructura de base de datos para productividad por turno área de Estampado.

4.2.2.3 Implementación de hardware

Nodos.

Se implementa en cada máquina de inyección un nodo “Particle Xenon” insertado en una placa impresa, que a su vez está insertada en una fixtura atornillada a una placa de montaje en un gabinete eléctrico. Con esto se brindan características de inteligencia a la máquina de interés. El nodo se energiza por medio de una fuente de poder externa de 5 voltios, adaptando la señal emitida por la máquina, la cual es de 24 voltios, por medio de relevadores electromagnéticos cuando cambia de estado entre activa e inactiva. De esta manera se alimenta la entrada digital D0 del microcontrolador, que es utilizada para leer la señal de actividad o inactividad. Al mismo tiempo

se dispone una salida digital D2 para observación o medición del estado reconocido por el controlador sobre la máquina a manera de servicio, como se puede observar en la figura descriptiva 47 y la figura esquemática 48.

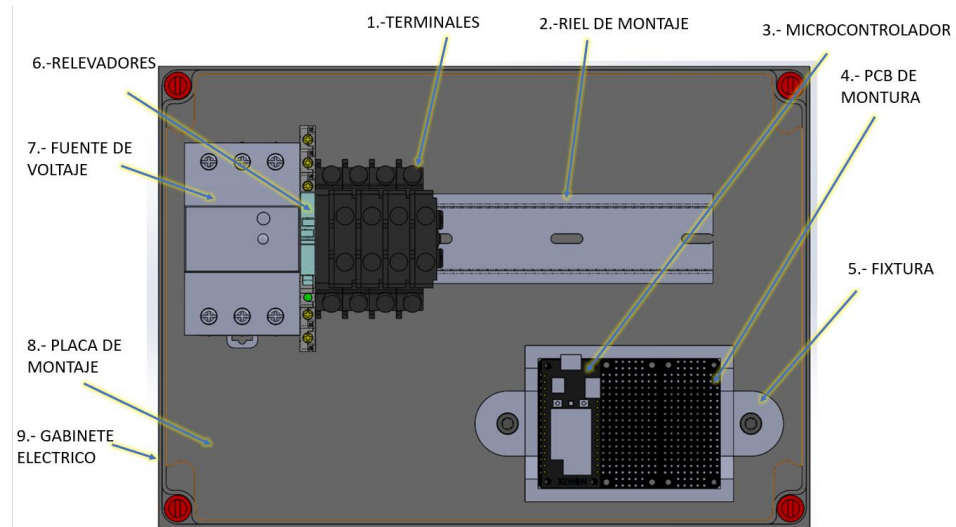


Figura 47.- Descripción física del nodo en área de estampado.

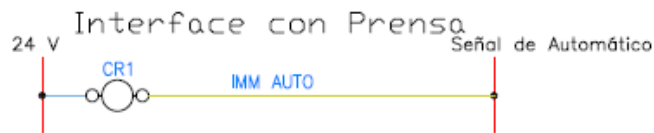
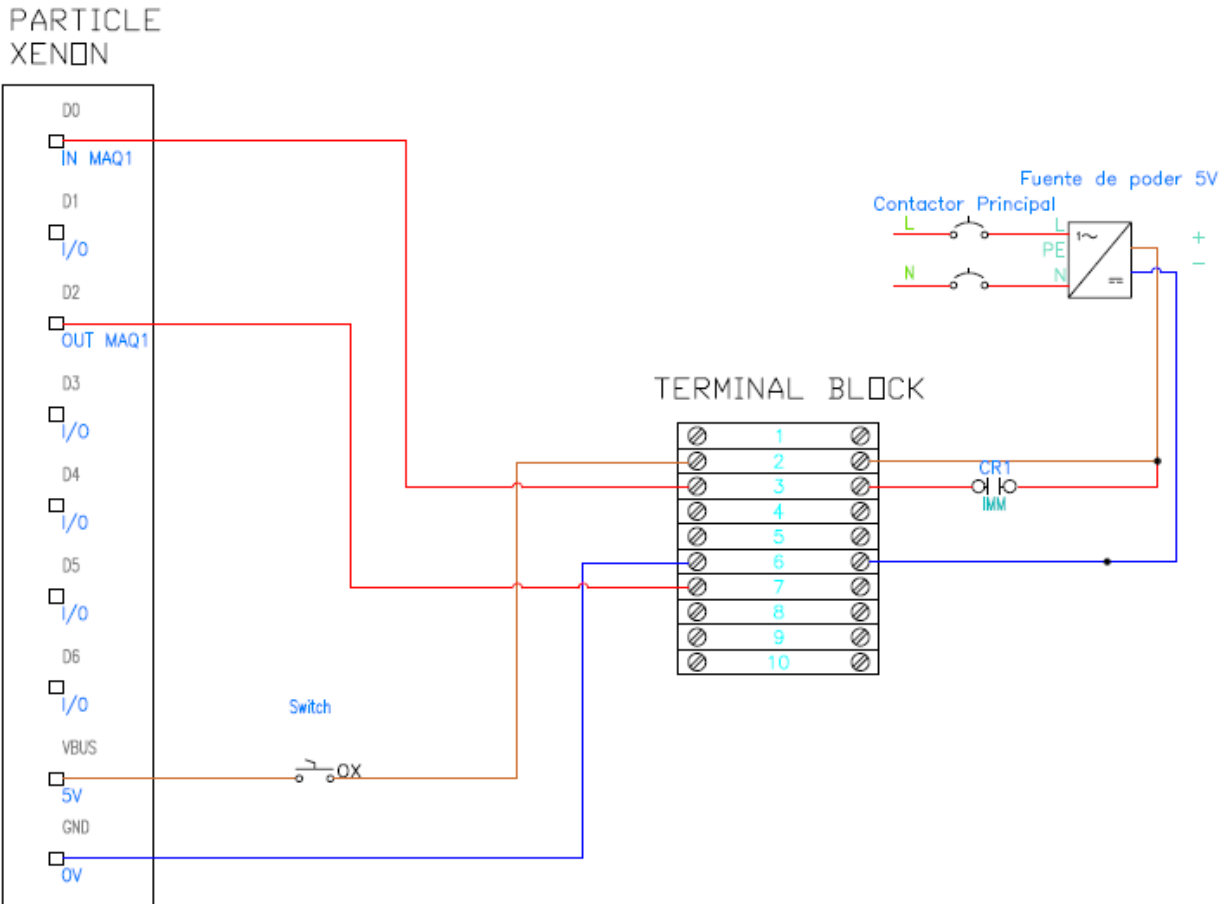


Figura 48.- Descripción esquemática del nodo en área de estampado.

Coordinador

Se implementa un microcontrolador “Particle Argon” como coordinador de los nodos instalados en las máquinas. Este se energiza por medio de la fuente de servicio habilitada del computador embebido Raspberry Pi que emite 5 volts. El microcontrolador coordinador emite señales representando el estado de las máquinas donde están instalados los nodos, por medio de

sus salidas digitales D0 a D7. Cada una de estas salidas es utilizada para cada una de las máquinas conectadas en la red tipo WPAN desplegada por los microcontroladores “Particle”.

4.1.3.3 Computadora embebida

La computadora embebida es implementada como el principal administrador de los datos emitidos por el microcontrolador coordinador. Es energizada con su propio adaptador incluido por el proveedor original y por medio de sus puertos GPIO puede leer el estado de las salidas digitales del microcontrolador “Particle Argon” utilizado como coordinador.

El despliegue físico de la unidad principal donde está incluida la computadora embebida y el nodo coordinador se puede observar en la figura 49 y su descripción esquemática en la figura 50.

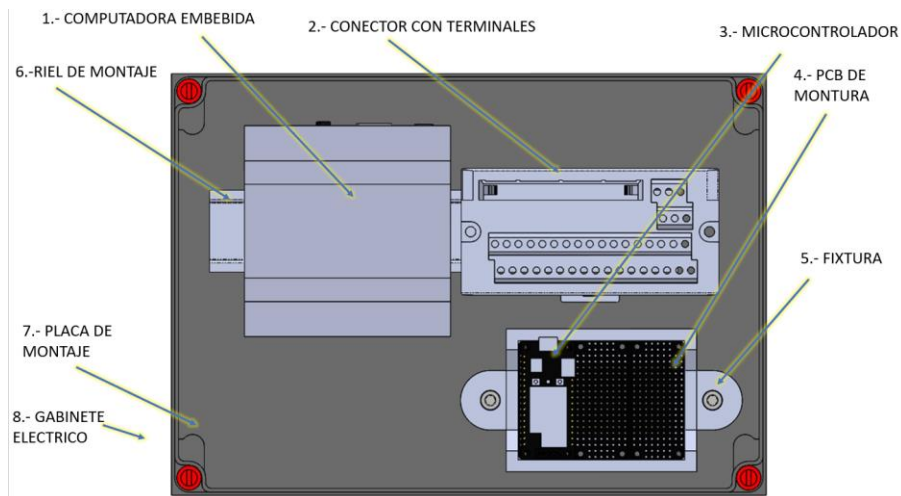


Figura 49.- Descripción física del coordinador en área de estampado.

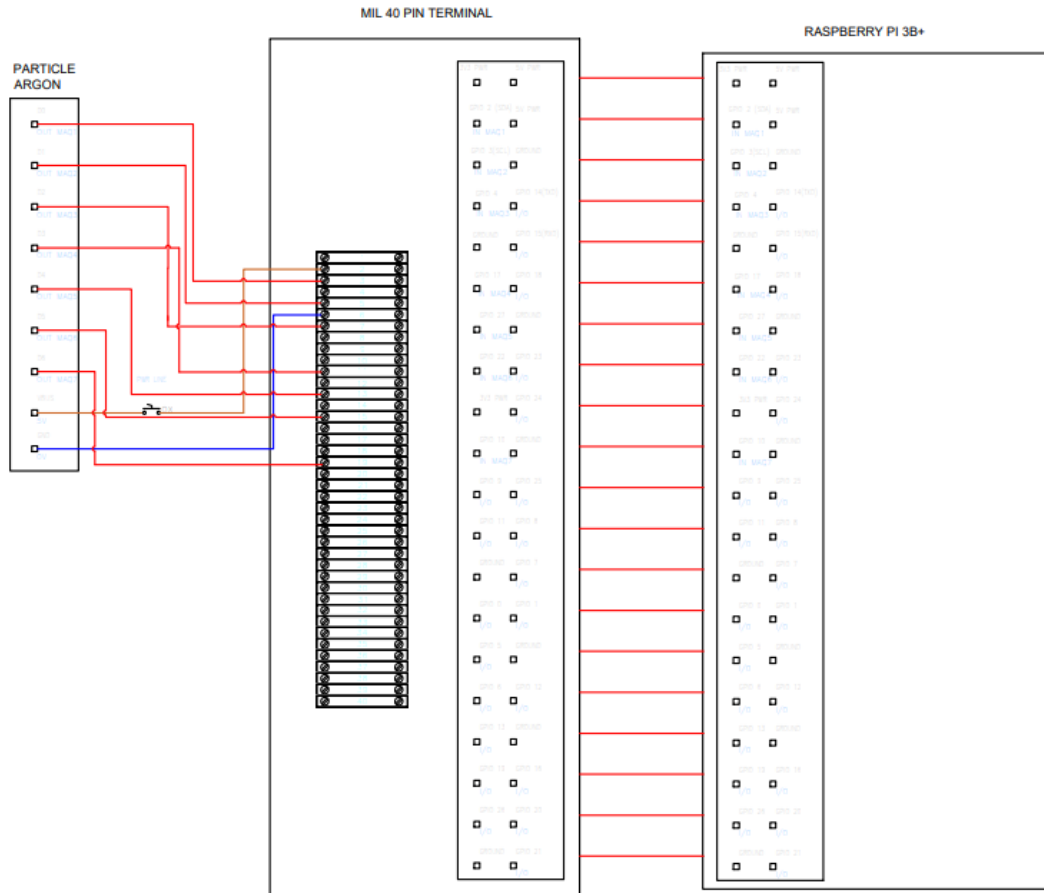


Figura 50.- Descripción esquemática del coordinador en área de estampado.

El despliegue en piso de producción se puede observar en el diagrama esquemático de la figura 51. Dado que el área es pequeña solo cuenta con 3 líneas de manufactura con prensas: ST1, ST2 y ST3, trabajando rutinariamente 2 prensas casi todo el tiempo por requerimientos de producción. Al igual que la implementación en el área de moldeo la interfaz entre el sistema IIoT y la máquina está separada por medio de un relevador energizado por la prensa con 24 Voltios cuando está trabajando y en sus contactos viaja la señal que llega a las terminales del dispositivo nodo que posteriormente transmite el estado de la máquina al dispositivo coordinador, este último está conectado a las terminales de la computadora embebida que despliega el estado de las máquinas en un monitor local instalado en piso de producción.

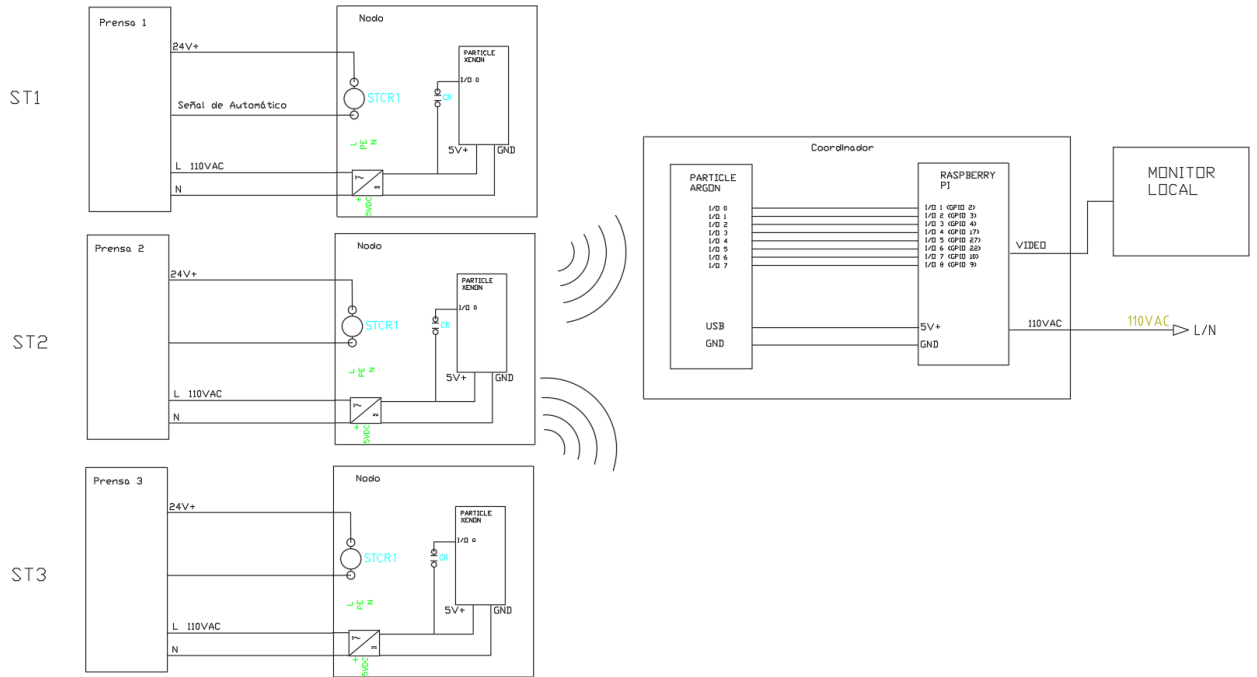


Figura 51.- Diagrama esquemático general del sistema en área de estampado.

5. Resultados

5.1 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. En este caso para la aplicación prototipo y su despliegue se utiliza el diseño de experimentos y validar que el sistema está administrando la información de acuerdo con lo planteado teóricamente en las secciones anteriores. Para este experimento se utiliza el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) para llevar a cabo el diseño de experimentos, basados en (Tanco, 2007), con el soporte de la herramienta de software Minitab.

5.1.1 Definir

- Formulación del problema:

En el área de Sobremoldeo por inyección de plástico a terminales eléctricas automotrices se tiene una variación amplia de productividad en diferentes turnos. Se requiere mantener la productividad de acuerdo con lo estipulado en los planes de producción a la brevedad posible antes de que sea demasiado tarde e impacte cadenas de suministros.

- Planteamiento del problema:

Se utilizó un diagrama ISHIKAWA formulado en la figura 52 como herramienta para identificar el problema y sus posibles causas. Este diagrama originalmente se utiliza como herramienta para el cumplimiento de la calidad: se identifican los problemas principales y

se ubican en los “Huesos primarios” y se identifican las causas de estos problemas ubicándolos en los “Huesos pequeños” que se desprenden de las ramas principales (Zapata et al., 2006, p. 47), el problema anotado es “Tiempo muerto en Maquinaria Alto”, seguido por la rama que intercepta los huesos primarios. En este caso un hueso primario se despliega como “Mano de obra” y los tópicos causas se describen como “Experiencia en línea” y “Disciplina” en sus huesos pequeños.

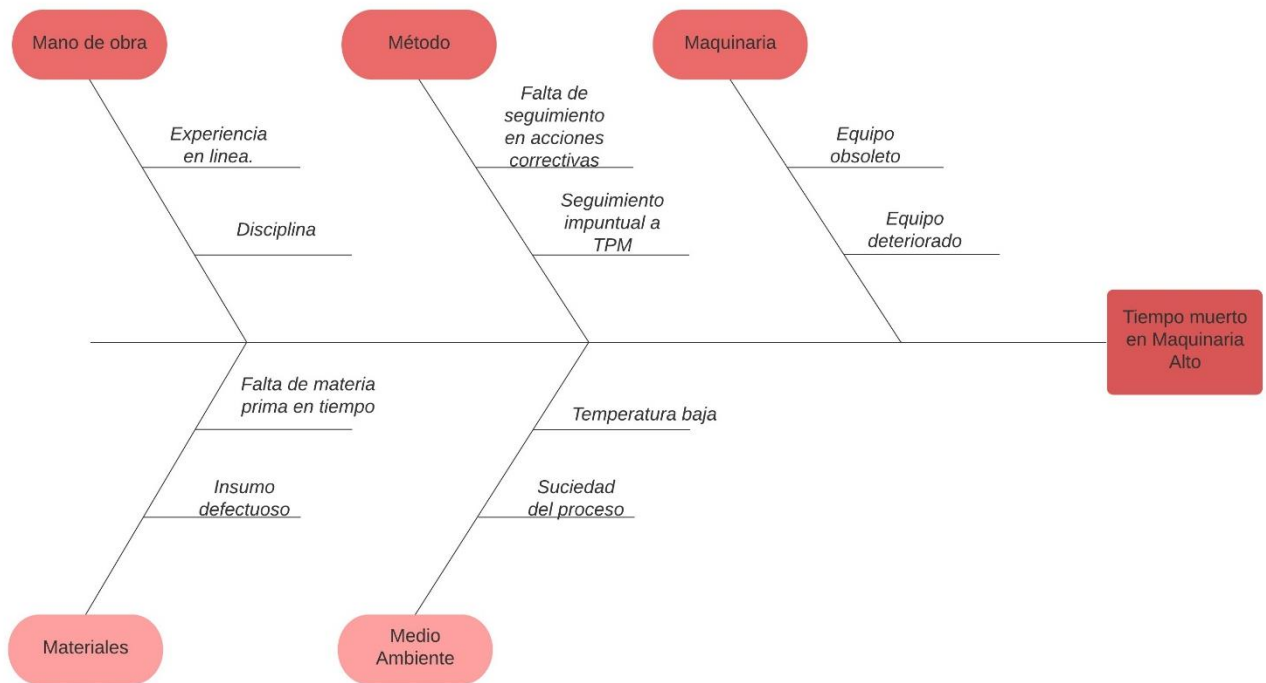


Figura 52.- Diagrama Ishikawa para encontrar posibles factores.

- Selección de la variable de respuesta:

La unidad de medida es el porcentaje del tiempo total en el que la línea de producción opera, capturando tiempos muertos y tiempos de producción para desarrollar un estudio de tendencias y poder tomar decisiones rápidas y mejorar la productividad.

- Objetivo:

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 producción de Sobremoldeo por inyección de plástico a terminales automotrices. Desarrollar un estudio de tendencias y poder tomar decisiones rápidas que lleven a mejorar la productividad.

5.1.2 Medir

Los factores que se buscan son los que interactúan con las posibles causas de falla como se plasma en el diagrama Ishikawa usado como herramienta para iniciar el diseño de experimentos en la sección anterior. Esto es, operadores por línea de producción en días laborales comunes seccionado por turnos, así como tomar en cuenta los fallos de máquina, modelos producidos y sus cambios de modelo correspondientes en los días laborados. Para tener una mejor claridad, se enlistan a continuación.

- Identificación de factores:

- Línea.
- Días de la semana.
- Turno por día.

- Modelo producido.
- Número de cambios de modelo.
- Operador.
- Falla en maquinaria.

➤ Clasificar factores

- Principal: Maquinaria.
- Constante: Días de la semana, operador, turno por día.
- Variable-aleatorio: Número de cambios de modelo, fallas en maquinaria.

➤ Validar sistemas de medición

El método de validación en la medición de la productividad es por medio de una señal emitida por la máquina usando un Controlador Lógico Programable (PLC) trabajando en conjunto con un sistema que determina el porcentaje de horas trabajadas al turno.

➤ Seleccionar estrategias para las variables de ruido.

Automáticamente los factores que se bloquean son el día de la semana, turno y operador, ya que estos se mantienen constantes.

Las fuentes de variación aleatorias o no controlables que pueden tener efecto sobre la variable de respuesta son fallas en maquinaria y número de cambios de modelo, por lo que se correlacionará con los registros el factor que influyó más en la productividad con el tipo de defecto, para determinar el origen del tiempo muerto.

➤ Escoger rangos y niveles:

- Principal:

Maquinaria:

- ✓ FM1
- ✓ FM2
- ✓ FM3
- ✓ FM17
- ✓ FM18
- ✓ FM19

- Constante:

Días de la semana:

- ✓ Lunes
- ✓ Martes
- ✓ Miércoles
- ✓ Jueves
- ✓ Viernes

- Turno:

- ✓ 1ero
- ✓ 2ndo

- Variable-aleatorio:

Número de cambios de modelo, fallas en maquinaria y modelo producido.

5.1.3 Pre-análisis

- Caracterización de los factores:

- Principal: Maquinaria (valores discretos, cada una puede clasificarse de nivel 1 al 6)

- ✓ FM1

- ✓ FM2

- ✓ FM3

- ✓ FM17

- ✓ FM18

- ✓ FM19

- Constante: (valores discretos, cada una puede clasificarse de nivel 1 al 5)

- Días de la semana:

- ✓ Lunes

- ✓ Martes

- ✓ Miércoles

- ✓ Jueves

- ✓ Viernes

- Turno: (valores discretos, cada una puede clasificarse de nivel 1 al 2)

- ✓ 1ero

- ✓ 2ndo

- Definición de las características necesarias para el diseño

El objetivo de este diseño es el estudiar el efecto que tiene los días de la semana sobre las líneas de producción de moldeo, teniendo en cuenta que los operadores no cambian. Se tienen dos turnos al día y se corren cinco días a la semana. Se busca encontrar una correlación entre la variable de respuesta que es la productividad y los factores de: máquina, turno y día de la semana. Una vez que se tienen 3 factores a estudiar se procede a elegir el diseño.

➤ Selección del diseño experimental

Se requiere encontrar el efecto de varios factores sobre la variable de respuesta. Por lo tanto, se elige el diseño factorial, teniendo el mismo interés sobre todos los factores.

➤ Selección de niveles

Factores:

- ✓ Máquina: FM1, FM2, FM3, FM17, FM18, FM19
- ✓ Días de la semana: Lunes, Martes, Miércoles, Jueves, Viernes
- ✓ Turno: 1ero y 2ndo

5.1.4 Experimentación

➤ Descripción del experimento.

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 2do y a las 6 PM cuando termina 1er turno para 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.

➤ Aleatorización de las corridas

Las corridas en las máquinas se llevarán a cabo de acuerdo con los planes de producción en la semana normal, como comúnmente se llevan a cabo, y los operadores que usan el equipo no se cambiarán.

➤ Corridas preliminares

Las corridas preliminares se dan para corroborar que los equipos estén funcionando correctamente, haciendo un muestreo de las mediciones al inicio, mitad y final del turno.

➤ Realización del experimento y recolección de datos y presentación de la tabla de datos con los factores, niveles de cada factor y réplicas.

El experimento para la primera réplica se llevó a cabo del día 16 de marzo al 20 de marzo del año 2020 y se recopilaron los datos desplegados en la tabla 17.

	Día de la Semana	Turno	Máquina					
			FM1	FM2	FM3	FM17	FM18	FM19
Horas-productividad	Lunes	1	0.29	0	7.16	0.31	10.22	7.22
		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
	Jueves	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 17.- Producción en horas de la semana 1.

El experimento para la segunda réplica se llevó a cabo del día 23 de marzo al 27 de marzo del año 2020 y se recopilaron los datos desplegados en la tabla 18.

Horas-productividad	Día de la Semana	Turno	Máquina					
			FM1	FM2	FM3	FM17	FM18	FM19
Lunes	1	4.26	3.3	0	.25	0	4.83	
	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	

Tabla 18.- Producción en horas de la semana 2.

5.1.5 Análisis

Codificando los factores para mejor notación:

A= Máquinas

B= Días de la semana

C= Turno

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 \neq 0 H1: Efecto B \neq 0 H1: Efecto C \neq 0

H1: Efecto AB \neq 0 H1: Efecto AC \neq 0 H1: Efecto BC \neq 0 H1: Efecto ABC \neq 0

Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

Se realiza un estudio de Análisis de varianza (ANOVA) para determinar el efecto de los factores en la respuesta obteniendo una tabla para su análisis, misma que se puede observar cómo tabla 19.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	59	1184.07	20.069	1.43	0.084
Lineal	10	737.90	73.790	5.26	0.000
Máquina	5	409.55	81.910	5.84	0.000
Día	4	176.87	44.218	3.15	0.020
Turno	1	151.48	151.482	10.81	0.002
Interacciones de 2 términos	29	306.90	10.583	0.76	0.794
Máquina*Día	20	216.38	10.819	0.77	0.735
Máquina*Turno	5	67.11	13.423	0.96	0.451
Día*Turno	4	23.41	5.853	0.42	0.795
Interacciones de 3 términos	20	139.27	6.963	0.50	0.958
Máquina*Día*Turno	20	139.27	6.963	0.50	0.958
Error	60	840.97	14.016		
Total	119	2025.04			

Tabla 19.- Tabla ANOVA

El efecto principal está dado por los factores Máquina, Turno, Día como se puede apreciar en el diagrama de Pareto (Minitab, 2021) de la figura 53:

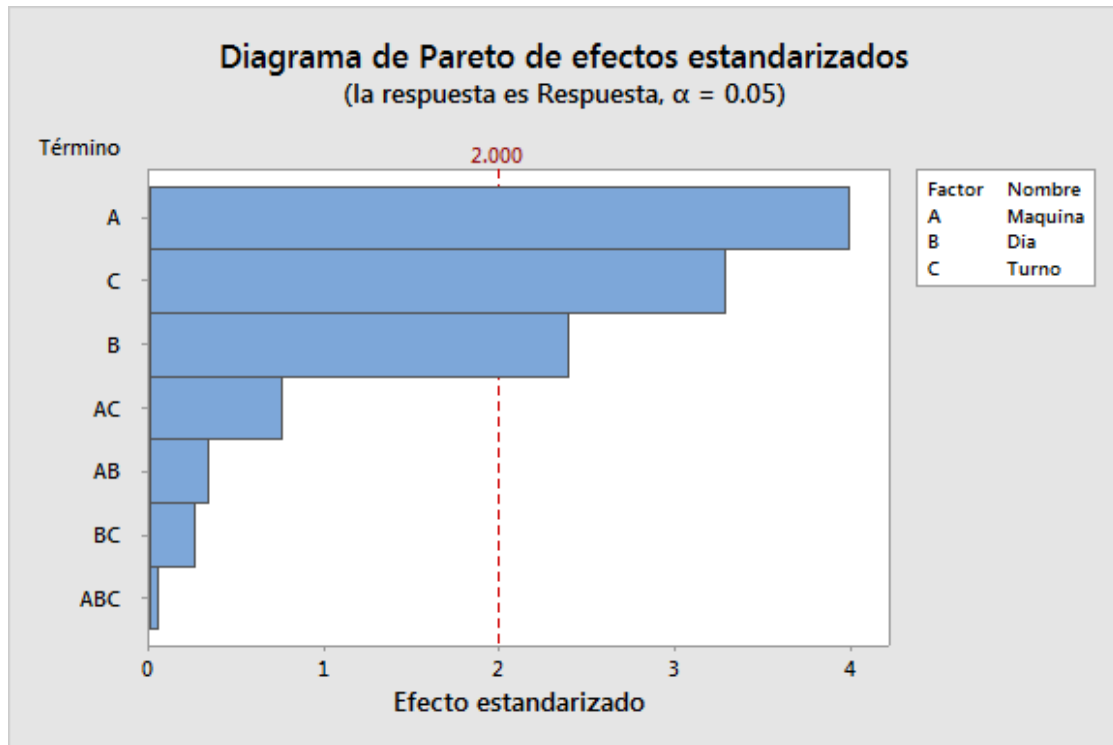


Figura 53.- Diagrama de Pareto para efectos de factores.

Se rechaza la hipótesis de que los factores no afectan la respuesta y se acepta que la interacción no afecta la respuesta por lo que no tienen nada que ver el día de la semana o el turno para que la productividad se vea afectada.

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 54 y 55, 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.

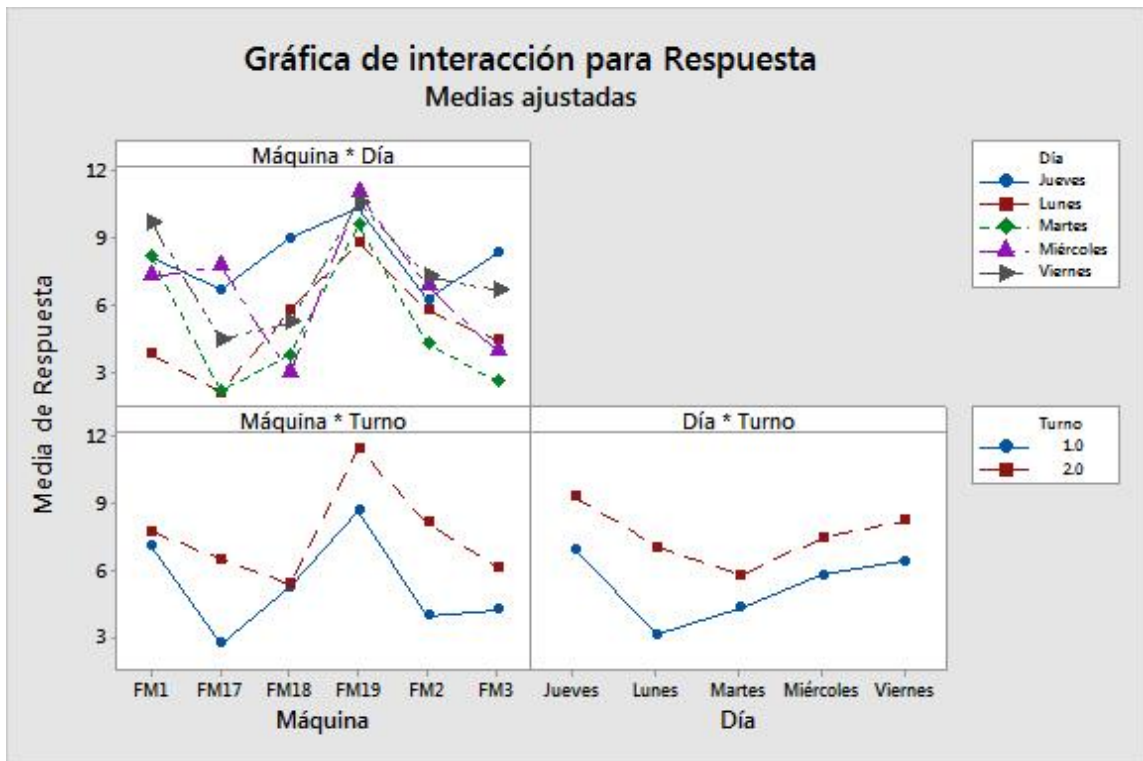


Figura 54.- Gráfica de interacción.

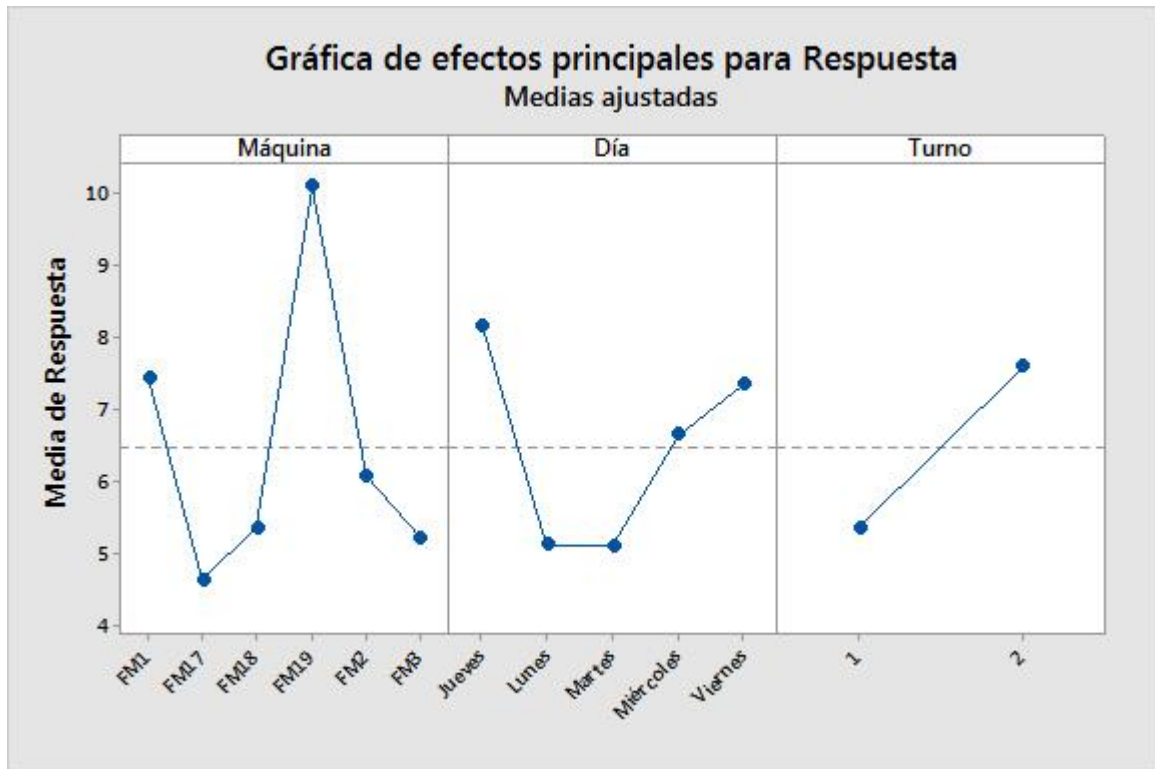


Figura 55.- Gráfica de efectos principales.

5.2 Implementación a escala

5.2.1 Principios

La implementación piloto fue desarrollada como un medio para realizar un diseño de experimentos, demostrando ser una herramienta útil, donde se toman como gráficos de control al desempeño mensual de cada línea de Sobremoldeo de terminales, comprendiendo su desempeño por día, turno y máquina. Tomando esta nueva herramienta de Industria 4.0 para obtener la información pertinente sobre el comportamiento de piso de producción y precisar las acciones a tomar por los diferentes equipos que dan soporte al área. Una vez demostrado a baja escala las

respuestas que se obtienen del diseño de experimentos se procede a tomar la información y evaluarla de acuerdo con el criterio siguiente.

Los resultados se evaluarán de manera periódica tres veces al año:

Q1: Enero, Febrero, Marzo, Abril.

Q2: Mayo, Junio, Julio, Agosto.

Q3: Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre.

Con respecto a los tres gráficos de desempeño principales, estos se registran todos los días a final de cada turno por máquina, generando así la base de datos de desempeño en el piso de producción. El análisis de la información y su tratamiento son generados a final de mes para evaluar acciones correctivas o preventivas para mejorar el desempeño de la producción.

5.2.2 Caso aplicado

La implementación a escala se completó en el último periodo cuatrimestral de 2020 (Q3), dando a conocer por medio de datos ya existentes aunado a los datos generados en los meses de septiembre y octubre, como se puede observar en la figura 56, encontrando que la productividad no es suficiente teniendo un porcentaje menor al 75% general y que la capacidad en el área de producción con 6 máquinas está sobrepasada aun cuando se instauran turnos 24/7.

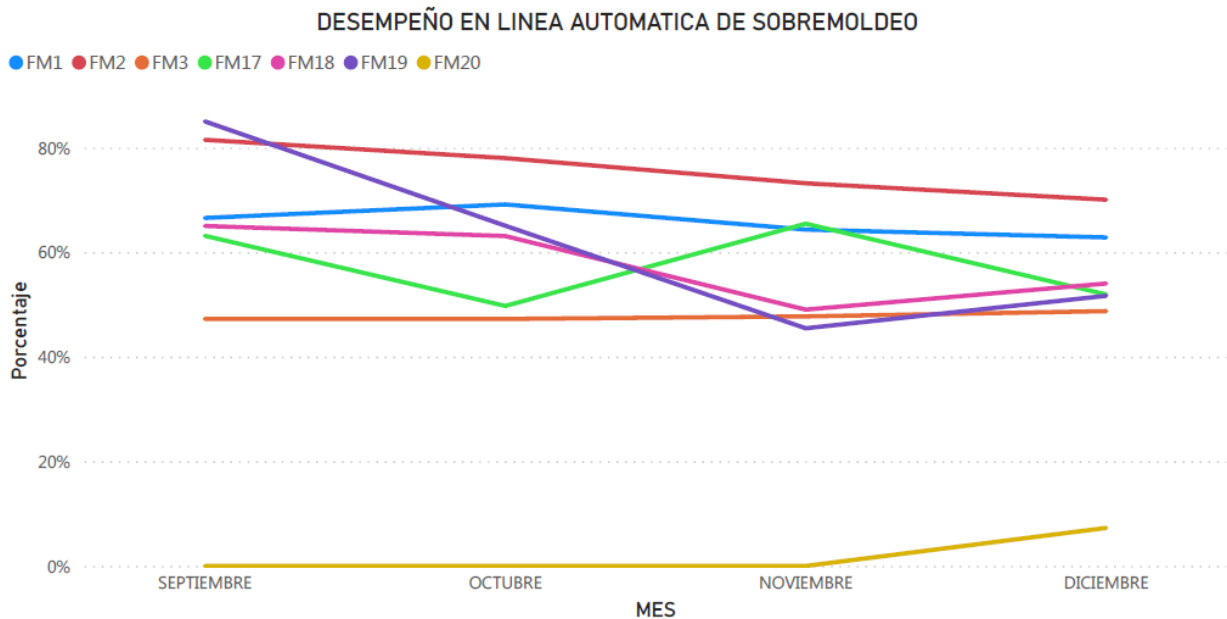


Figura 56.- Desempeño en línea automática de Sobremoldeo en Q3 2020.

Para esto se realiza un pronóstico con la capacidad actual de procesamiento de partes, tomando en cuenta que no están al máximo dado que los herramientas están dañados y trabajan a un porcentaje de su capacidad máxima. Como se puede observar en la figura 57, donde a 7 días a la semana se tiene un exceso de horas de trabajo asignadas a ciertas máquinas, el departamento de Ingeniería de Procesos decide realizar una asignación de maquinaria incluyendo una máquina más en piso de producción observada en la tabla 20. Se debe aclarar que para la asignación de modelos en las máquinas se toman en cuenta los requisitos específicos de cada cliente por lo que no todas las máquinas pueden producir los mismos números de parte. La alta dirección decide incrementar la capacidad de producción adicionando una línea automatizada de Sobremoldeo de terminales eléctricas (FM20), misma que se entregó a producción en masa a finales del año 2020.

Capacidad de producción 2020

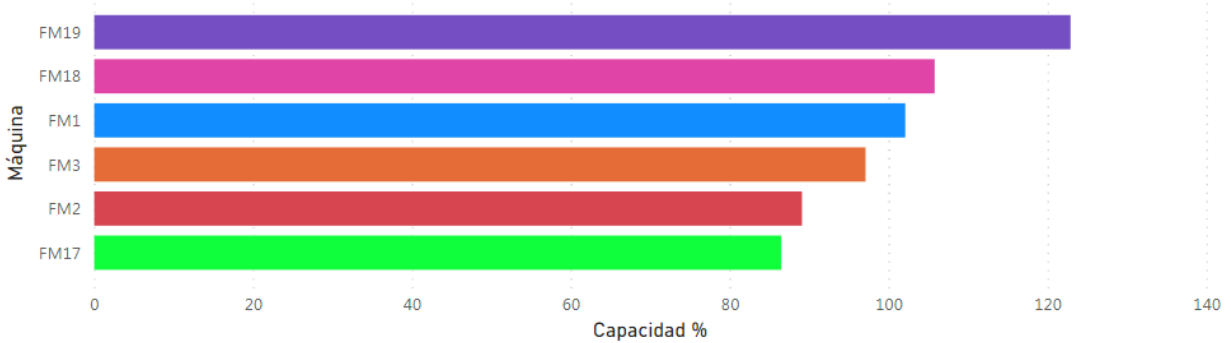


Figura 57.- Capacidad de producción con 6 máquinas disponibles 7 días a la semana 2020.

Máquina	Modelo	Tiempo de ciclo (seg.)	Cavidades	Horas-Día	Días-Semana	Producti-vidad	Demanda Semanal	Uso de máquina %	Horas-Máquina	Tiempo máquina por semana	Total %	Total HRS
FM1	RW0871	17.00	4	24.00	7.0	75.0%	14,130	15.2%	25.46	168	102.1 %	171.51
	RW0883	21.20	4	24.00	7.0	75.0%	37,764	45.8%	76.87			
	RW0886	22.10	2	24.00	7.0	75.0%	9,330	24.7%	41.57			
	RW0887	28.20	4	24.00	7.0	75.0%	9,330	16.4%	27.61			
FM2	RW0677	22.00	4	24.00	7.0	90.0%	8,280	9.3%	15.70	168	89.2%	149.88
	RW0885	22.00	4	24.00	7.0	75.0%	37,764	48.0%	80.70			
	RW0848	22.00	2	24.00	7.0	75.0%	7,200	18.2%	30.63			
	RW0850	23.17	4	24.00	7.0	75.0%	4,035	6.4%	10.74			
	RW6012	17.00	4	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.02			
	RW6010	17.60	4	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.02			
	RW6013	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.02			
	RW0805	24.00	6	24.00	7.0	75.0%	10	0.6%	1.01			
	RW0826	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	10	0.6%	1.02			
	RW0804	24.00	6	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.01			
	RW0806	24.00	6	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.01			
FM3	RW0872	21.92	4	24.00	7.0	75.0%	14,130	18.4%	30.97	168	97.2%	105.94
	RW0870	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	14,130	20.7%	34.71			
	RW0850	23.17	4	24.00	7.0	75.0%	4,035	6.4%	10.74			
	RW0854	22.80	4	24.00	7.0	75.0%	10	0.6%	1.02			
	RW0807	23.10	6	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.01			
	RW0808	24.00	6	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.01			
	RW0831	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.02			
	RW0833	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.02			
	RW0835	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.02			
	RW0803	24.00	6	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.01			
	RW0809	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	64	1.3%	2.14			
	RW0839	22.08	4	24.00	7.0	75.0%	4,950	7.3%	12.22			

	RW6011	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	10	1.2%	2.02			
	RW0322/ 323	22.00	4	24.00	7.0	75.0%	12,492	17.1%	28.70			
	RW0327	22.00	4	24.00	7.0	75.0%	12,492	17.1%	28.70			
FMI	RW0875/ 76	21.60	2	24.00	7.0	75.0%	8,040	20.5%	34.48	168	93.4%	138.31
7	RW0810	21.90	4	24.00	7.0	75.0%	2,464	4.2%	7.05			
	RW0849	22.23	4	24.00	7.0	75.0%	16,530	21.6%	36.36			
	RW0855/ 56	21.60	2	24.00	7.0	75.0%	14,460	36.0%	60.42			
	RW0854	22.80	4	24.00	7.0	75.0%	8,265	11.1%	18.62			
FMI	RW0851/ 52	21.00	2	24.00	7.0	75.0%	14,460	34.4%	57.80	168	105.8	89.16
8	RW0869/ RW1854	22.60	4	24.00	7.0	75.0%	14,130	18.7%	31.36		%	
	RW0873/ 74	21.00	2	24.00	7.0	75.0%	8,040	20.0%	33.58			
	RW0321	22.00	4	24.00	7.0	75.0%	12,492	17.1%	28.70			
	RW0326	20.00	4	24.00	7.0	75.0%	12,492	15.7%	26.36			
	RW0328	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	12,492	17.9%	30.04			
FMI	RW0696	29.00	4	24.00	7.0	75.0%	45,000	73.8%	124.04	168	122.9	124.04
9	RW1847	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	1,020	2.6%	4.29		%	
	RW1848	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	14,000	19.9%	33.42			
	RW1846	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	14,000	0.0%	33.42			
	RW1845	24.00	4	24.00	7.0	75.0%	2,040	3.9%	6.58			
	CI0505	28.00	4	24.00	7.0	75.0%	2,592	5.8%	9.79			
	CI0506	28.00	4	24.00	7.0	75.0%	2,592	5.8%	9.79			
	RW0854	22.80	4	24.00	7.0	75.0%	8,265	11.1%	18.62			

Tabla 20.- Capacidad de producción con 6 máquinas disponibles 7 días a la semana 2020

Con la nueva máquina instalada para la producción establecida para 2021 se hace el estudio de capacidad, donde se encontró que a 24 horas 7 días a la semana se tiene capacidad en todas las máquinas para producir sus modelos asignados como se observa en la figura 58.

Capacidad de Producción 2021

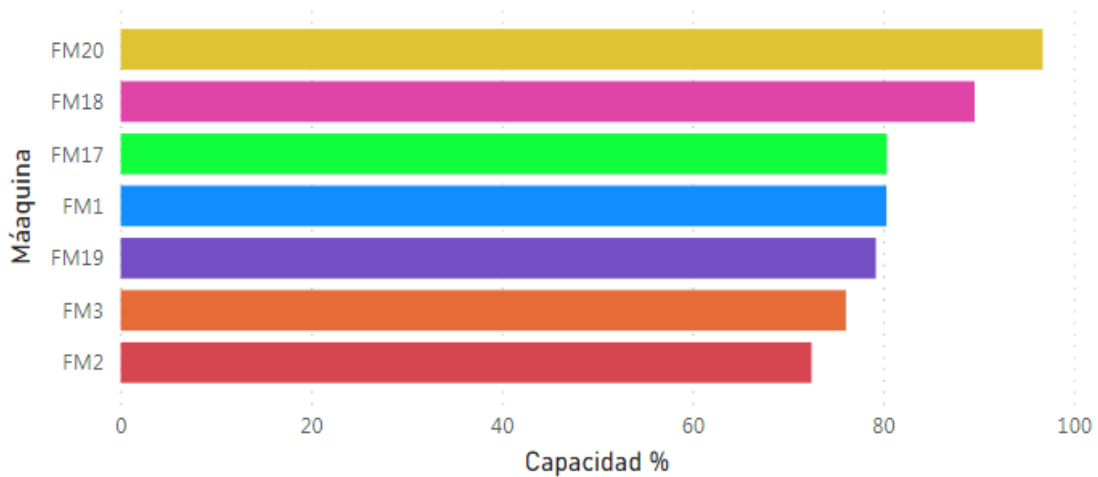


Figura 58.- Capacidad de producción con 7 máquinas disponibles 7 días a la semana 2021.

Sin embargo, la empresa desea operar 5 días a la semana dejando días disponibles, en este caso fines de semana, para casos extraordinarios donde la demanda mensual suba o las herramientas no estén trabajando al 100% de su capacidad y consuman más capacidad de la maquinaria. Además, se toman de nuevo en el primer cuatrimestre que comprende desde enero hasta abril y se observa que el desempeño no se ha incrementado por máquina. Lo que se busca es dejar de hacer muchos cambios de modelos asignados por día en la maquinaria para evitar tiempos muertos por arranques, esto está demostrado en la implementación piloto donde una máquina solo tuvo dos cambios de modelo y los paros efectuados al proceso fueron para cargar materia prima a la línea de moldeo. Para esto se vuelve a hacer un estudio de capacidad como se muestra en la tabla 21.

Máquina	Modelo	Tiempo de ciclo (seg.)	Cavidades	Horas-Día	Días-Semana	Productividad	Demanda Semanal	Uso de máquina %	Horas-Máquina	Tiempo máquina por semana	Total %	Total HRS		
FM1	RW0871	17.00	4	24.00	5.0	75.0%	4,620	7.5%	8.94	120	112.49 %	134.99		
	RW0883	20.00	4	24.00	5.0	75.0%	36,000	57.4%	68.93					
	RW0886	21.00	2	24.00	5.0	75.0%	9,000	30.8%	36.95					
	RW0887	23.00	4	24.00	5.0	75.0%	9,000	16.8%	20.16					
FM2	RW0677	22.00	4	24.00	5.0	75.0%	9,000	16.1%	19.32	120	101.59 %	121.90		
	RW0885	22.30	4	24.00	5.0	75.0%	23,616	41.7%	50.05					
	RW0848	22.00	2	24.00	5.0	75.0%	3,300	12.0%	14.38					
	RW1848	18.00	4	24.00	5.0	75.0%	20,220	29.0%	34.84					
	RW6012	17.00	4	24.00	5.0	75.0%	10	0.0%	0.02					
	RW6010	17.60	4	24.00	5.0	75.0%	10	0.0%	0.02					
	RW6013	24.00	4	24.00	5.0	75.0%	10	0.0%	0.02					
	RW0805	24.00	6	24.00	5.0	75.0%	10	0.7%	0.81					
	RW0826	24.00	4	24.00	5.0	75.0%	10	0.7%	0.82					
	RW0804	24.00	6	24.00	5.0	75.0%	10	0.7%	0.81					
	RW0806	24.00	6	24.00	5.0	75.0%	10	0.7%	0.81					
	FM3	RW0850	23.17	4	24.00	5.0	75.0%	3,300	6.6%				7.95	120
RW0854		22.80	4	24.00	5.0	75.0%	12,300	22.5%	27.03					
RW0871		17.00	4	24.00	5.0	75.0%	8,400	11.8%	14.15					
RW0807		23.10	6	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02					
RW0808		24.00	6	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02					
RW0831		24.00	4	24.00	5.0	70.0%	3,240	7.2%	8.59					
RW0833		24.00	4	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02					
RW0835		24.00	4	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02					
RW0803		24.00	6	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02					
RW0809		24.00	4	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02					
RW0839		22.08	4	24.00	5.0	75.0%	2,880	5.6%	6.75					
RW6011		24.00	4	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02					
RW0322/ 323		22.00	4	24.00	5.0	70.0%	14,004	26.4%	31.67					
RW0327		22.00	4	24.00	5.0	70.0%	14,004	26.4%	31.67					
RW0873/ 74		21.00	2	24.00	5.0	75.0%	11,700	39.6%	47.56	112.6 %	135.08			
RW0810		21.90	4	24.00	5.0	75.0%	6,420	11.6%	13.95					
RW0849		22.70	4	24.00	5.0	75.0%	12,600	23.6%	28.35					
RW0855/ 56		21.60	2	24.00	5.0	75.0%	10,800	37.7%	45.23					
FM18	RW0851/ 52	21.00	2	24.00	5.0	75.0%	10,800	36.0%	43.22			120	125.44 %	150.53
RW0869/ RW1854	22.60	4	24.00	5.0	75.0%	13,020	24.3%	29.12						
RW0810	21.90	4	24.00	5.0	75.0%	7,200	12.3%	14.75						
RW0321	22.00	4	24.00	5.0	75.0%	14,004	25.3%	30.41						
RW0328	24.00	4	24.00	5.0	75.0%	14,004	27.5%	33.03						
	RW0696	31.00	4	24.00	5.0	75.0%	36,570	89.7%	107.62	120.00		129.83		

FM19	RW1847	23.00	4	24.00	5.0	75.0%	3,600	6.5%	7.74	108.19	%	
	CI0506	28.00	4	24.00	5.0	75.0%	4,068	9.8%	11.75			
	RW0736	24.00	4	24.00	5.0	75.0%	720	2.3%	2.72			
FM20	RW0326	17.00	4	24.00	5.0	75.0%	14,004	19.9%	23.86	120.00	134.11	%
	RW1846	21.00	4	24.00	5.0	75.0%	20,220	34.4%	41.31			
	RW1845	24.00	4	24.00	5.0	75.0%	7,200	13.5%	45.38			
	RW0875/76	30.00	2	24.00	5.0	75.0%	11,700	55.6%	66.75			
	CI0505	28.00	4	24.00	5.0	75.0%	4,068	10.7%	12.85			

Tabla 21.- Capacidad de producción con 7 máquinas disponibles 5 días a la semana 2021.

Se encuentra que con la nueva demanda que se tiene prevista para el año 2021 trabajando 5 días a la semana 24 horas con 7 máquinas no es suficiente para solventar los planes de producción, como se observa en la figura 59, por lo que se hace un estudio de capacidad agregando otra máquina más al piso de producción asignando los modelos nuevos que empiezan a producir en 2021.

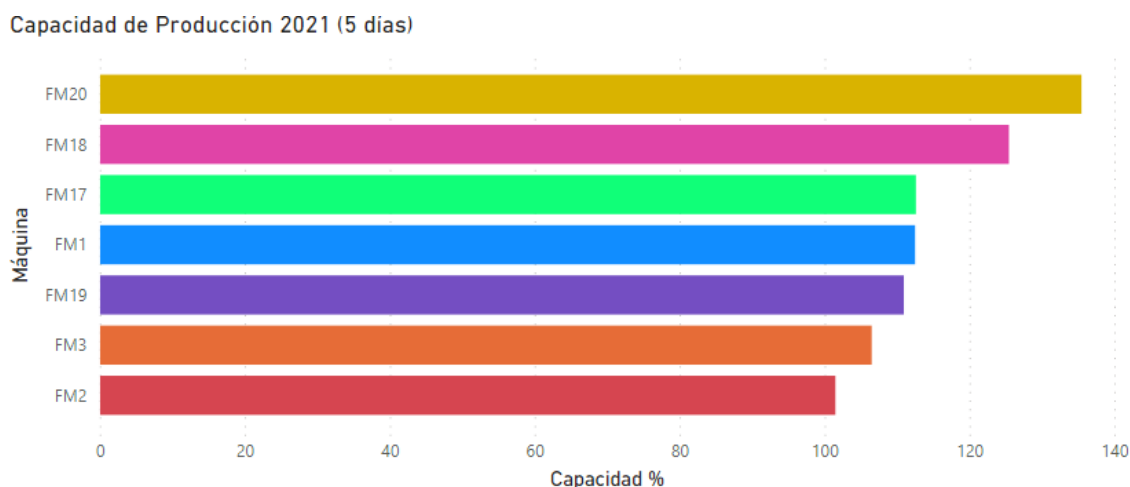


Figura 59.- Capacidad de producción con 7 máquinas disponibles 5 días a la semana 2021.

Se demuestra que de esta manera se podrá alcanzar el objetivo de trabajar 5 días dejando de holgura fines de semana para eventos extraordinarios y producción urgente para fin de semana según la tabla 22 y la figura 60.

Máquina	Modelo	Tiempo de ciclo (seg.)	Cavidades	Horas-Día	Días-Semana	Productividad	Demanda Semanal	Uso de máquina %	Horas-Máquina	Tiempo máquina por semana	Total %	Total HRS
FM1	RW0871	17.00	4	24.00	5.0	75.0%	4,620	7.5%	8.94	120	95.69 %	114.83
	RW0883	20.00	4	24.00	5.0	75.0%	36,000	57.4%	68.93			
	RW0886	21.00	2	24.00	5.0	75.0%	9,000	30.8%	36.95			
FM2	RW0677	22.00	4	24.00	5.0	75.0%	9,000	16.1%	19.32	120	101.59 %	121.90
	RW0885	22.30	4	24.00	5.0	75.0%	23,616	41.7%	50.05			
	RW0848	22.00	2	24.00	5.0	75.0%	3,300	12.0%	14.38			
	RW1848	18.00	4	24.00	5.0	75.0%	20,220	29.0%	34.84			
	RW6012	17.00	4	24.00	5.0	75.0%	10	0.0%	0.02			
	RW6010	17.60	4	24.00	5.0	75.0%	10	0.0%	0.02			
	RW6013	24.00	4	24.00	5.0	75.0%	10	0.0%	0.02			
	RW0805	24.00	6	24.00	5.0	75.0%	10	0.7%	0.81			
	RW0826	24.00	4	24.00	5.0	75.0%	10	0.7%	0.82			
	RW0804	24.00	6	24.00	5.0	75.0%	10	0.7%	0.81			
	RW0806	24.00	6	24.00	5.0	75.0%	10	0.7%	0.81			
	FM3	RW0850	23.17	4	24.00	5.0	75.0%	3,300	6.6%			
RW0854		22.80	4	24.00	5.0	75.0%	12,300	22.5%	27.03			
RW0871		17.00	4	24.00	5.0	75.0%	8,400	11.8%	14.15			
RW0807		23.10	6	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02			
RW0808		24.00	6	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02			
RW0831		24.00	4	24.00	5.0	70.0%	3,240	7.2%	8.59			
RW0833		24.00	4	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02			
RW0835		24.00	4	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02			
RW0803		24.00	6	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02			
RW0809		24.00	4	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02			
RW0839		22.08	4	24.00	5.0	75.0%	2,880	5.6%	6.75			
RW6011		24.00	4	24.00	5.0	70.0%	10	0.0%	0.02			
RW0322/323		22.00	4	24.00	5.0	70.0%	14,004	26.4%	31.67			
RW0327		22.00	4	24.00	5.0	70.0%	14,004	26.4%	31.67			
FM1 7	RW0873/74	21.00	2	24.00	5.0	75.0%	11,700	39.6%	47.56	120.00	105.7 %	106.74
	RW0810	21.90	4	24.00	5.0	75.0%	6,420	11.6%	13.95			
	RW0855/56	21.60	2	24.00	5.0	75.0%	10,800	37.7%	45.23			
	RW0887	23.00	4	24.00	5.0	75.0%	9,000	16.8%	20.16			
FM1 8	RW0851/52	21.00	2	24.00	5.0	75.0%	10,800	36.0%	43.22	120	101.17 %	43.22
	RW0810	21.90	4	24.00	5.0	75.0%	7,200	12.3%	14.75			
	RW0321	22.00	4	24.00	5.0	75.0%	14,004	25.3%	30.41			
	RW0328	24.00	4	24.00	5.0	75.0%	14,004	27.5%	33.03			
FM1 9	RW0696	31.00	4	24.00	5.0	75.0%	36,570	89.7%	107.62	120.00	96.14 %	115.36
	RW1847	23.00	4	24.00	5.0	75.0%	3,600	6.5%	7.74			

FM2 0	RW0326	17.00	4	24.00	5.0	75.0%	14,004	19.9%	23.86	120.00	99.69 %	119.63
	RW1845	24.00	4	24.00	5.0	75.0%	7,200	13.5%	16.16			
	RW0875/ 76	30.00	2	24.00	5.0	75.0%	11,700	55.6%	66.75			
	CI0505	28.00	4	24.00	5.0	75.0%	4,068	10.7%	12.85			
FM2 3	RW1846	24.00	4	24.00	5.0	75.0%	20,220	39.5%	47.38		99.4%	75.73
	RW0849	22.70	4	24.00	5.0	75.0%	12,600	23.6%	28.35			
	RW0869/ RW1854	22.60	4	24.00	5.0	75.0%	13,020	24.3%	29.12			
	CI0506	28.00	4	24.00	5.0	75.0%	4,068	9.8%	11.75			
	RW0736	24.00	4	24.00	5.0	75.0%	720	2.3%	2.72			

Tabla 22.- Capacidad de producción con 8 máquinas disponibles 5 días a la semana 2021.

Capacidad de Producción 2021 Propuesta

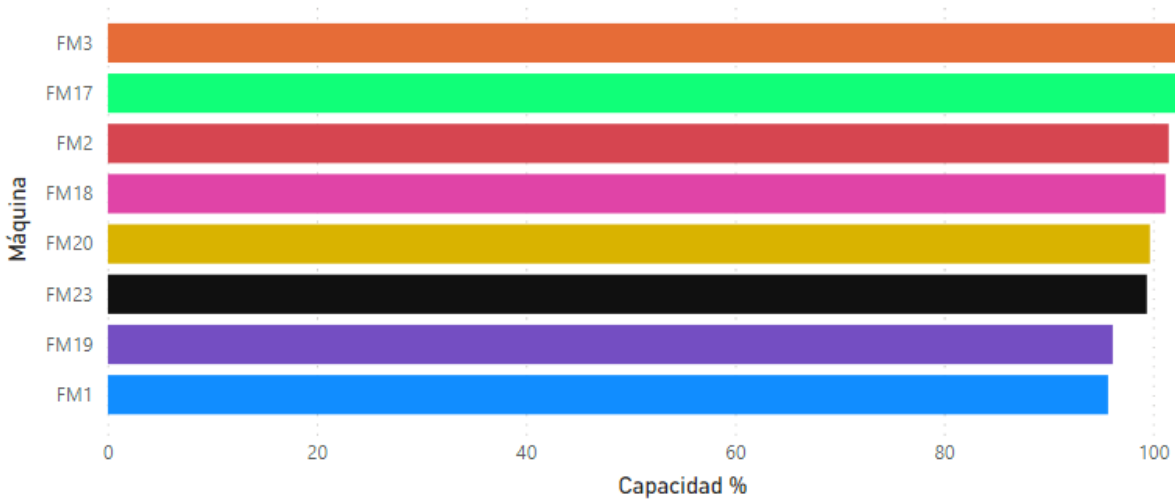


Figura 60.- Capacidad de producción con 8 máquinas disponibles 5 días a la semana 2021.

Además, como se muestra en la figura 61 se ha evaluado en el primer cuarto del año 2021 la productividad del equipo FM20 puesto en operación desde finales del año 2020, el cual ha mantenido un promedio de 53% claramente denotando que se necesita recuperar el 22% que está programado para esa máquina y que no está logrando para poder mantener la demanda que requieren los clientes para la producción de sus productos.

Por lo que se decide iniciar con el proyecto de adquirir un nuevo equipo de moldeo vertical con capacidades para la integración necesaria del mecanismo de alimentación de terminales estampadas hacia dentro del molde y su salida directo a la prensa de corte.

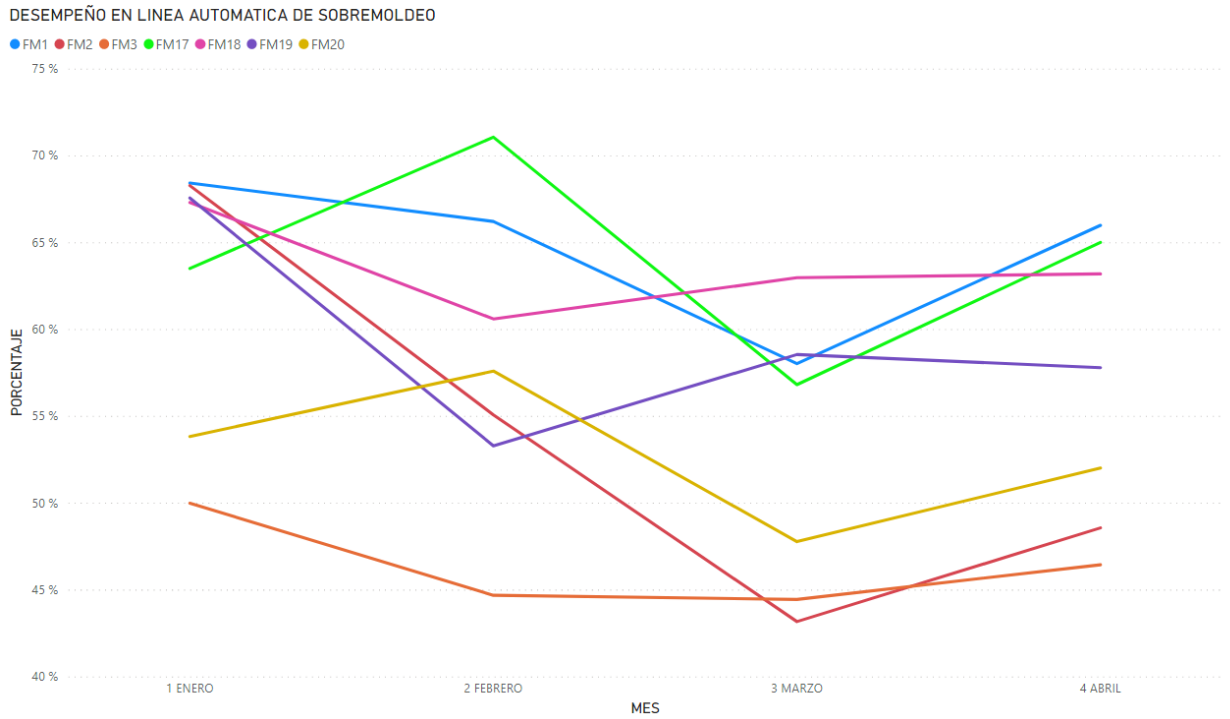


Figura 61.- Desempeño en línea automática de Sobremoldeo en Q1 2021.

6. Conclusiones

6.1 Lecciones aprendidas y Beneficios

La incorporación de tecnologías de Internet Industrial de las Cosas a los procesos productivos de la planta manufacturera de Moldeo por Inyección de Plástico para la visualización del estado de los activos fijos de la empresa permitió generar una conciencia de evaluación del desempeño en el piso de producción al compararlo con lo que se había pronosticado, obteniendo resultados más certeros al provenir directamente de la maquinaria. Las herramientas implementadas generaron interés en los departamentos de producción e ingeniería, donde se evalúa el desarrollo dentro de sus respectivas áreas y la necesidad de contar con equipo disponible para futuros proyectos y atender requerimientos especiales por parte de los clientes y de sus productos.

Por medio de tecnología IIoT se automatizó el método de registro de productividad, que ahora se calcula y obtiene a partir del registro en una base de datos que se actualiza al finalizar cada turno. Esta primera implementación, sustentada en monitorear en tiempo real el estado de las máquinas, deja sentadas las bases para la integración de nuevos elementos tecnológicos, como pueden ser sensores inteligentes, a partir de los cuales extender el monitoreo hacia parámetros específicos del proceso que proporcionen más información acerca de la eficiencia tanto del proceso como de las máquinas. El sistema instalado en las máquinas cuenta con capacidades de comunicación y procesamiento, en particular los microprocesadores Particle, cuentan con las características suficientes para acoplar señales que emita la maquinaria en cuestión por medio de sensores o protocolos de información directa con la máquina propiciando la implementación y ejecución de algoritmos inteligentes que permitan la identificación de potenciales fallas y agilicen

las acciones de prevención y corrección, a fin de mantener los procesos productivos. De tal manera, resulta conveniente en caso de realizar una expansión al sistema.

El modelo de implementación generado para el área de Sobremoldeo por inyección de plástico dio resultados que despertaron el interés en la tecnología IIoT por las áreas de Estampado de terminales y Tool Room. A solicitud de los responsables de esas áreas, se realizaron adaptaciones al modelo para implementarlo en sus procesos, lo cual se logró de manera exitosa demostrando así la flexibilidad y capacidades del trabajo realizado.

La metodología para implementar sistemas con tecnologías del IoT resultó adecuada para su aplicación en proyectos de la industria. Esta permite evaluar de manera precisa y paso a paso los detalles de cada una de las implementaciones desarrolladas, a la vez que se define el contexto de las mismas, siguiendo un modelo bien definido. Lo anterior facilita la implementación y adaptación al área específica a la que se dirige el proyecto, que en este caso se trató de tres áreas de la empresa con procesos totalmente diferentes. La primera implementación se validó mediante una metodología de diseño de experimentos, encontrando que los datos tomados en cuenta fueron los correctos para llegar al resultado deseado el cual se vio desplegado de manera visual y fácil de entender para el personal operativo logrando el enfoque en los equipos que necesitan atención por su bajo desempeño mediante el procesamiento satisfactorio de tales datos. Esto permitió una etapa de expansión a gran escala, incorporando los nodos a las máquinas nuevas que se integraron a piso de producción.

6.2 Contribuciones

Dado que una de las metas era la introducción de tecnologías de industria 4.0 a la empresa en cuestión, en el área de moldeo por inyección de plástico se buscó el conocimiento publicado respecto a esta aplicación en específico y se encontró muy poco material clasificado como

recopilación, enfocándose más a tecnologías que podrían servir para el impulso de la industria 4.0 en este rubro. Así, se tomó esta como un área de oportunidad, realizando una revisión sistemática documentada en Aguilar et al. (2021) y publicándola en una base de datos importante como es Latindex (Universidad Autónoma Nacional de México, 2021) por medio de la revista ReCIBE por sus siglas Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica. Donde está incluido parte del trabajo también aquí mostrado como parte de la investigación del contexto del IIoT en la industria de moldeo por inyección de plástico que son la sección 1 y 2 del presente documento. Esto con la finalidad de crear más material que las personas interesadas en este rubro puedan conocer y aplicar en su campo laboral y de estudio, cumpliendo con la meta de introducir tecnologías de industria 4.0 con respecto al rubro de moldeo por inyección de plástico a la empresa en cuestión. También se cuenta con la difusión de este proyecto ante el público presente en el Congreso Internacional de Investigación en Tijuana (CI2T) llevado a cabo el 12 y 13 de mayo del 2021 por parte de la Universidad Autónoma de Baja California, donde se expuso el trabajo realizado en Aguilar & Ibarra (2021a) sobre la implementación piloto en área de Sobremoldeo, mismos resultados que se encuentran en la sección 5 del presente documento. De manera adicional, se tiene un registro de propiedad intelectual (Aguilar & Ibarra, 2021b) por la investigación realizada al proteger una compilación con la información resumida de la implementación llevada hasta la etapa de prototipo donde se tiene registro como Titular a la Universidad Autónoma de Baja California, quedando un registro de que hay un antecedente de la implementación del IIoT para las bases de datos de carácter gubernamental y de derechos de autor.

6.3 Limitaciones

El desarrollo del proyecto en el área de Sobremoldeo de terminales lleva como limitante que para expandir la capacidad de visualización en tiempo real de la maquinaria es necesario

generar otro canal en la plataforma ThingSpeak, ya que establece un límite de 8 máquinas. La cuenta gratuita está limitado a 4 canales y dado que 1 canal fue utilizado para desplegar el estado de la máquina y otro para respectiva eficiencia, solo quedan 2 disponibles para otras 8 máquinas. De verse en la necesidad de utilizar más canales se necesitará la compra de los canales excedentes. Además, las máquinas no pueden estar separadas a más de 10 metros entre ellas ya que la señal de la comunicación WPAN está limitada a esa distancia en caso de utilizar los microcontroladores Particle, por lo que la señal se vería disminuida al no cumplir con esta distancia. Se debe tener en consideración que si se requiere más información de parte de la maquinaria se tienen que adherir los relevadores de acoplamiento de señal necesarios ya que el voltaje de entrada para los dispositivos de computadora embebida como los microcontroladores es de máximo 5 voltios. Se debe considerar otra limitante también a la capacidad de administrar el sistema ya que el personal encargado de esta actividad debe poseer todos los conocimientos expuestos y tener las capacidades para programar en los lenguajes que se mencionan en el presente documento.

6.4 Trabajo Futuro

La Industria 4.0 tiene herramientas que siguen en constante desarrollo, por lo que el uso de IIoT para la virtualización de los activos de una empresa abre la puerta para el análisis de su desempeño a partir de los datos que estos generan. Las capacidades de inteligencia que se agregan mediante dispositivos IIoT posibilitan el uso de estos datos en algoritmos de mantenimiento predictivo y preventivo, así como integraciones para sistemas de calidad al monitorear el estado del producto y controlar el estado del proceso de forma automatizada y a través de tecnologías desplegadas en la nube. La experiencia y conocimiento adquiridos con esta implementación, así como los resultados satisfactorios reportados en las diferentes áreas donde se llevó a cabo, permiten establecer como trabajo a futuro la incorporación de estos elementos tecnológicos y

herramientas propios de la Industria 4.0 adicionales en los procesos productivos, a fin de ampliar el alcance de la implementación IIoT y de generar a través de esta una información más puntual y completa para el análisis de mejora en los procesos. La incorporación de herramientas de descubrimiento en base de datos como son las implementaciones de algoritmos de IA por sus siglas Inteligencia Artificial a compendios de información clasificada como Big Data, donde la evaluación de la misma no es posible hacerse de manera tradicional es el área de oportunidad latente después de generar la base de datos de productividad por equipo. Además, el darse a conocer este tipo de herramientas en el rubro permite que demás personal de Ingeniería pueda incorporarlo a su área respectiva donde mientras se tenga información se podrá implementar, según sea el caso, herramientas de industria 4.0 para recabar información de interés que después pueda ser analizada por algoritmos que permitan obtener riqueza logrando algún descubrimiento de tendencias, predicción en el comportamiento de alguna característica o la clasificación de productos según se busque un atributo en específico.

Lo anterior propuesto podrá ser posible y de fácil acceso para personal que no está familiarizado con integraciones que tengan que ver con hardware especializado cuando la infraestructura para emplear tecnologías de alto nivel IIoT, que está definida de acuerdo con la figura 62, sea integrada en la planta manufacturera a nivel sistema incluidas las responsabilidades a cada parte de los departamentos involucrados y su nivel de administración, así como las salidas que el mismo sistema genere. Esta infraestructura considera el uso del PLC predeterminado incluido en la maquinaria de moldeo por inyección de plástico, del que por medio de las tecnologías del mismo fabricante del controlador industrial es posible recabar información del equipo en tiempo real y observar por medio de paquetería Microsoft Office Excel la información de interés. Sumando su fácil acceso a una paquetería comercial para fines de negocios

se decide incluirla a un servidor en la red local de la empresa donde quedará instalado el complemento ligado a la máquina virtual para acceso del personal interesado. Sin embargo, para que esto suceda se siguen adquiriendo los elementos faltantes de infraestructura física que limitan la conclusión de esta puesta en marcha. Ya que, al ser una red de Internet Industrial de las Cosas, se debe tener en cuenta que los elementos cuentan con direcciones IP apegadas a cada entidad física lo cual amerita que se tenga especial cuidado en la distribución de estas direcciones, ya que la maquinaria dejaría de funcionar si la dirección IP llegaría a cambiar, lo cual la administración de este sistema conlleva servicios de costo agregado, así como la adquisición de hardware para la conexión a la red interna.

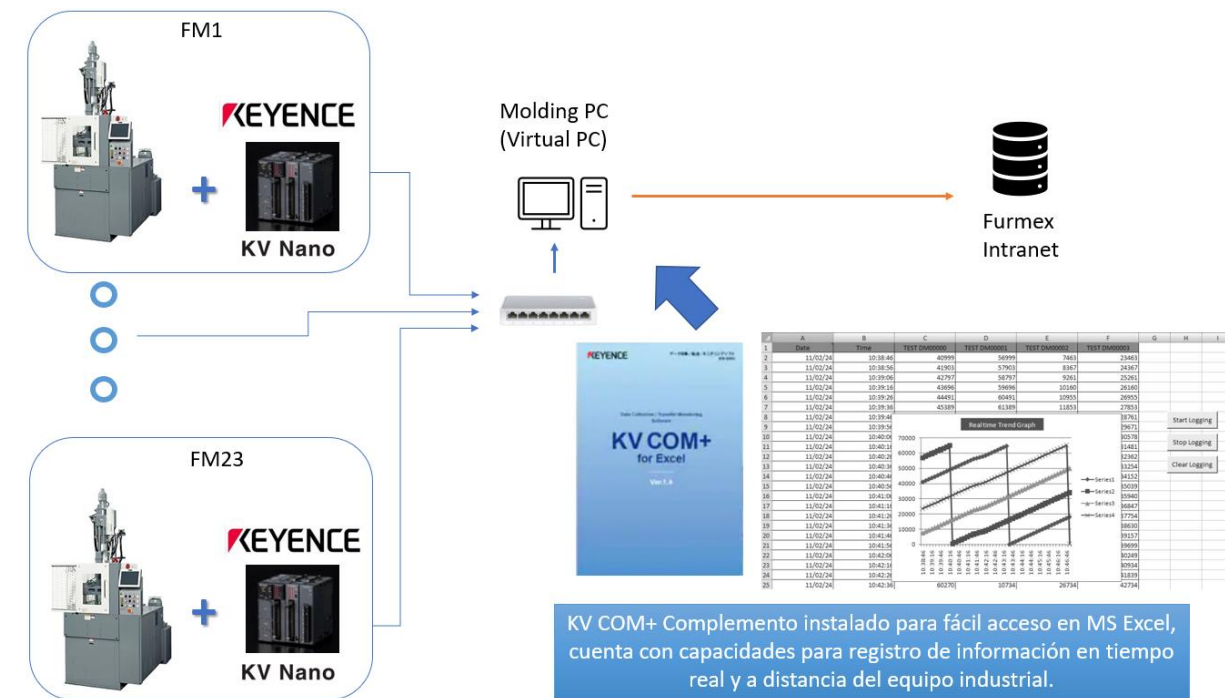


Figura 62.- Red Interna Industrial en el área de Sobremoldeo

7.- Referencias

Abdeldjalil Achour. (2015). Distributed Control System (DCS) An application on Yokogawa CENTUM VP. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34828.72327>

ACATECH (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING). (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Forschungsunion.

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>

Aguilar Lugo, J. I. & Ibarra Esquer, J. E. (2021a). Internet Industrial de las Cosas (IIoT) aplicado a Líneas de Manufactura de Moldeo por Inyección de Plástico. *4th Conference on Computer Science and Computer Engineering (CoCSCE 21)*.

Aguilar Lugo, J. I. & Ibarra Esquer, J. E. (2021b). Aplicación del Internet Industrial de las Cosas (IIoT) para análisis, monitoreo y desarrollo de mejora continua en líneas de manufactura por proceso de moldeo por inyección de plástico. *Registro Público del Derecho de Autor*. Número de Registro: 03-2021-040813380900-01.

Aguilar Lugo, J. I., Ibarra Esquer, J. E, Bernal, M. A., & Universidad Autonoma de Baja California (2021). Aplicación del internet industrial de las cosas(IoT)en líneas de manufactura por proceso de moldeo por inyección de plástico. *RECIBE, Revista ELECTRÓNICA DE COMPUTACIÓN, INFORMÁTICA, BIOMÉDICA Y ELECTRÓNICA*, 9(2), C1-C22.
<https://doi.org/10.32870/recibe.v9i2.160>

Alexopoulos, K., Koukas, S., Boli, N., & Mourtzis, D. (2018). Architecture and development of an Industrial Internet of Things framework for realizing services in Industrial Product Service Systems. *Procedia CIRP*, 72, 880-885.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.152>

Aliyeva, N., Sas, H. S., & Saner Okan, B. (2021). Recent developments on the overmolding process for the fabrication of thermoset and thermoplastic composites by the integration of nano/micron-scale reinforcements. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 149, 106525. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106525>

Amazon Web Services. (s.f.). Recuperado en Febrero 2020 de <https://aws.amazon.com/es/>

Anish, K., Frederick, H., Erin, B., Marcellus, B., Eric, S., Will, S., Rajive, J., Sven, S., Shi-Wan, L., Jesus, M., Tom, R., Bradford, M., Jacques, D., Paul, D., Amine, C., Reinier, T., David, D., Robert, M., Graham, B., ..., David, M. (2018). The Industrial Internet of Thing, Volume G8: Vocabulary,

https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_Vocab_Technical_Report_2.1.pdf (Recuperado: Diciembre 2019)

Ashton, K. (2009, 22 Junio). That 'Internet of Things' Thing

<http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>.

Automotive Industry Action Group. (s.f.). *Automotive Core Tools*.

<https://www.aiag.org/quality/automotive-core-tools>

Bahga, A., & Madiseti, V. K. (2014). *Internet of things: A hands-on approach*, Vpt.

Balluff. (2019). Mold ID Mold Die Tracking System. Recuperado el 21 Noviembre 2019, de

https://assets.balluff.com/WebBinary1/LIT_BRO_MOLD_ID_EN_H17_DRW_920549_02_000.pdf.

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>

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>

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.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682>

Corporation for Digital Scholarship, *Zotero* (5.0.96.3). <https://www.zotero.org/>

Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56-58. <https://doi.org/10.11A09/MIE.2014.2312079>

European Telecommunications Standards Institute. (2013). ETSI TS 102 689 V1.2.1 (2013-06), Machine-to-Machine communications (M2M); M2M service requirements. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102689/01.02.01_60/ts_102689v010201p.pdf (Recuperado: 10 Octubre 2020).

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>

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>

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>

Grujicic, M., Sellappan, V., Omar, M. A., Seyr, N., Obieglo, A., Erdmann, M., & Holzleitner, J. (2008). An overview of the polymer-to-metal direct-adhesion hybrid technologies for load bearing automotive components. *Journal of Materials Processing Technology*, 197(1-3),

363-373. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.06.058>

Google Cloud Services. (s.f.). Recuperado en Febrero 2020 en <https://cloud.google.com/>

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>

IBM Cloud. (s.f.). Recuperado en Febrero 2020 en <https://www.ibm.com/cloud>

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>

Jordan Teicher. (2018). “The little-known story of the first IoT device”. Recuperado el February 7, 2018 en <https://www.ibm.com/blogs/industries/little-known-story-first-iot-device/>

Klaus Schwab (2016). La cuarta revolución industrial, Penguin Random House Grupo Editorial España,

Kleinrock, L. (2010). An early history of the internet [History of Communications]. IEEE Communications Magazine, 48(8), 26-36. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2010.5534584>

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>

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>

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>

Mathworks, ThingSpeak IoT Analytics Platform. Recuperado en Octubre 2020 de https://thingspeak.com/pages/learn_more

Microsoft Azure (s.f.). Recuperado en Febrero 2020 de <https://azure.microsoft.com/es-es/>

Minitab Statistical Software. Recuperado en Mayo 2021 de

<https://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/>

Nezhmetdinov, R. A., Nikishechkin, P. A., & Nikich, A. N. (2018). Approach to the Construction of Logical Control Systems for Technological Equipment for the Implementation of Industry 4.0 Concept. *2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501768>

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>

OPC FOUNDATION (2008), <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>

Park, J. (2019). Advances in Future Internet and the Industrial Internet of Things. *Symmetry*, 11(2), 244. <https://doi.org/10.3390/sym11020244>

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>

Ray, P. P. (2016). A survey of IoT cloud platforms. *Future Computing and Informatics Journal*, 1(1-2), 35-46. <https://doi.org/10.1016/j.fcij.2017.02.001>

Particle Argon Microcontroller. (s.f.) Recuperado en Diciembre 2019 de <https://docs.particle.io/datasheets/wi-fi/argon-datasheet/>

Particle Console Platform. (s.f.). Recuperado en Diciembre 2019 de <https://docs.particle.io/reference/device-cloud/api/>

Particle Xenon Microcontroller. (s.f.) Recuperado en Diciembre 2019 de <https://docs.particle.io/datasheets/discontinued/xenon-datasheet/>

Pflanzner, T., & Kertesz, A. (2016). A survey of IoT cloud providers. 2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 730-735. <https://doi.org/10.1109/MIPRO.2016.7522237>

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>

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>

Tanco, Martín & Viles, Elisabeth & Ilzarbe, Laura & Alvarez, M.J.. (2007). Manufacturing Industries Need Design of Experiment. Lecture Notes in Engineering and Computer Science.

The Raspberry Pi Foundation. (s.f.). Recuperado en Diciembre 2019 de

<https://www.raspberrypi.org/documentation/>

Uhlmann, E., Laghmouchi, A., Geisert, C., & Hohwieler, E. (2017). Decentralized Data Analytics for Maintenance in Industrie 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 1120-1126.

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.233>

Universidad Autónoma Nacional de México (2021). Latindex: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

<https://www.latindex.org/latindex/descripcion>

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>

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>

- Wang, J.-C., Li, A.-T., Tsai, Y.-P., & Hsu, R.-Q. (2011). Analysis for diving regulator applying local heating mechanism of vapor chamber in insert molding process. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38(2), 179-183. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.11.023>
- Yen, C.-T., Liu, Y.-C., Lin, C.-C., Kao, C.-C., Wang, W.-B., & Hsu, Y.-R. (2014). Advanced manufacturing solution to industry 4.0 trend through sensing network and Cloud Computing technologies. *2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 1150-1152. <https://doi.org/10.1109/CoASE.2014.6899471>
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>
- Zapata Carlos Mario, Sandra Milena Villegas & Fernando Arango I. (2006) Reglas de consistencia entre modelos de requisitos de un método, Medellín-Colombia, *Universidad EAFIT, 2006*, pp. 40-59. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/215/21514104.pdf>
- 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>
- Zoellner, O.J., Evans, J.A., 2002. Plastic-metal hybrid. A new development in the injection molding technology. In: *ANTEC 2002 Annual Technical Conference*, San Francisco, CA, pp. 1–4.