

ESTRUCTURA FLEXIBLE PARA INTEGRACIÓN DE PISO DE PRODUCCIÓN DIRIGIDA A INDUSTRIA 4.0

Acosta-Cano-de-los-Rios, José Eduardo, Morales-Pérez, Luis Manuel
Tecnológico Nacional de México/I.T. Chihuahua
Laboratorio de Automática e Informática Industrial.
Ave. Tecnológico No. 2909, 31310, Chihuahua, Chih. México.
(614)2026511
jacosta@itchihuahua.edu.mx, lmmorales@itchihuahua.edu.mx

RESUMEN.

El presente trabajo expone los antecedentes para los enfoques de la industria 4.0 tomando como referencia el modelo de RAMI4.0 como fundamento para la integración de pisos de producción. Se propone una estructura para la integración de los elementos del sistema de producción con base en la dimensión jerárquica propuesta en RAMI 4.0. Se desarrolló una estructura de integración entre los niveles de dispositivos de campo, dispositivos de control, estaciones de trabajo, células de producción y empresa conectada. A su vez la estructura desarrollada se implementó en los entornos de PC y sistemas embebidos como Raspberry Pi. La estructura desarrollada provee una base para procesos dirigidos por modelo, virtualización de pisos de producción, minería de datos o la posible implementación de inteligencia artificial. Con esto se logra aumentar la autonomía de los sistemas de producción y la flexibilidad para sistemas en IoT.

Palabras Clave: RAMI4.0, Automatización, IoT, Virtualización

ABSTRACT.

The present work exposes the background for the industry 4.0 approaches taking as a reference the RAMI4.0 model as a basis for production floors implementation. An architecture for element production system integration based on the RAMI 4.0 dimension is proposed. It is also developed an integration architecture among levels such as field devices, control devices, work stations, production cells and connected enterprises. The developed architecture is implemented in environments such as PC and embedded systems like Raspberry Pi. The developed architecture creates a base for model driven processes, production floor virtualization, data mining as well as the possibility for artificial intelligence implementation. The proposed applications and architecture supports the autonomy of production systems and flexibility for IoT systems.

Keywords: RAMI4.0, Automatization, IoT, Virtualization

1. INTRODUCCIÓN

Los descubrimientos tecnológicos realizados en el último siglo han impactado en requerimientos sobre tecnologías de producción. Uno de los principales resultados es el eventual cambio de un enfoque relacionado al uso de la mano de obra donde el capital humano es valuado respecto a la capacidad física, a un enfoque donde dicho capital se enfoca en operaciones más especializadas y el traslado a puestos de mayor valor agregado como el desarrollo, análisis y diseño. Por otra parte los retos industriales actuales requieren una industria

con la capacidad de adaptarse a los cambios en el mercado de forma ágil. En ambos casos resulta en esfuerzos sobre la implementación de sistemas automáticos por una parte y por otra un mayor grado de flexibilidad del sistema. Sin embargo, para la solución de los retos planteados en la industria se han establecido una serie de objetivos en diversos trabajos [1], entre los cuales se destacan la seguridad, interoperabilidad, escalabilidad y flexibilidad. Para lograr los objetivos, se requiere el desarrollo de un esquema en general para definir la responsabilidad e interacción de una empresa moderna. Un esquema de este tipo se plantea en RAMI4.0 [2], el cual plantea a la industria en un enfoque de tres dimensiones, las cuales contemplan las capas que componen a la industria, el ciclo de vida del producto y el nivel de jerarquía, este último es conocido además como el enfoque horizontal para la industria. El objetivo del presente trabajo es el planteamiento de una estructura con fundamento en la arquitectura de RAMI4.0 con enfoque en flexibilidad para la integración de los sistemas de producción desde el nivel de dispositivos de control como PLCs o dispositivos embebidos como sería el caso de tarjetas de desarrollo Raspberry Pi 3B, hasta el nivel de empresa conectada (nube). La estructura propuesta en el presente trabajo aporta flexibilidad para integración de dispositivos y protocolos, en los diferentes niveles de la estructura como un beneficio evidente, además de servir como plataforma para la integración de tecnologías como la minería de datos que da paso a la implementación de novedosas técnicas de inteligencia artificial, o bien el modelado y reconfiguración del sistema de producción desde un entorno virtual. El presente documento está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se presentan reportes de estudios relevantes en el tema de industria 4.0, la sección 3 presenta el desarrollo de la arquitectura base propuesta, su implementación y posibles aplicaciones. Finalmente en la sección 4 se presentan las conclusiones del presente trabajo de investigación.

2. REVISION DE LA LITERATURA

Parte de los reportes en la literatura enfocan su atención en el proveer herramientas de desarrollo, proponer implementaciones prácticas y en ciertos casos se plantean mecanismos para operaciones dirigidas por modelo de referencia resultando en meta modelos aplicables en el diseño de aplicaciones de IoT. A

continuación se muestra una revisión de la literatura sobre el tema.

En [3] se explica una metodología para la integración de la arquitectura de SoA para una operación dirigida por modelo en aplicaciones de IoT. Inicialmente se expone que la arquitectura de un sistema de IoT debe garantizar la operación de las cosas asociadas a la arquitectura permitiendo un puente entre el entorno físico y el mundo virtual de IoT.

A manera alternativa, en [4] se da un enfoque relacionado con los objetos inteligentes, el enfoque se orienta a los sistemas de IoT de misión crítica MC-IoT. En este enfoque, las aplicaciones no solo requieren gran disponibilidad, robustez, seguridad y fiabilidad si no que sean acordes a los estándares, permitan escalabilidad de la aplicación y que estén disponibles como servicios. Además se deben tener consideraciones adicionales ya que el entorno de aplicaciones está expuesto a incertidumbre y variabilidad. El diseño dirigido por modelo es un candidato para cumplir estos retos.

Por su parte en [5] se presenta un software con un marco de trabajo para el manejo de la complejidad en entornos de internet de las cosas, esto permite el diseño de un modelo que a su vez es traducido a un proceso para su posterior implementación.

Con una perspectiva similar al caso anterior, en [6] se establece una manera de organizar sistemas en relación al posible comportamiento que se requiere y la estructura organizacional necesaria, en este caso se propone herramientas para la organización automática de las estructuras en IoT.

3. DESAROLLO

3.1. Arquitectura base propuesta para la implementación de IoT.

En la figura 1 se muestra una abstracción de la estructura propuesta en RAMI 4.0, donde se contemplan los niveles desde los dispositivos de campo hasta la empresa y el mundo conectado. En [7] se presenta un estudio detallado sobre los retos de integración para las tecnologías de IoT en manufactura donde se analizan diversas estructuras desde modelos simples de comunicación entre dispositivos en la nube, hasta arquitecturas de comunicación más avanzadas para la organización de los dispositivos en la red; así mismo se propone una serie de herramientas para el manejo de protocolos de bajo nivel y herramientas para la comunicación de dispositivos de campo con niveles superiores los cuales se asocian a las estaciones de trabajo.

Abstracción de la etapa de dispositivos de control.

Los dispositivos de control mantienen el estado de las variables asociadas a los dispositivos de campo bajo control, o bien proveen un informe sobre los datos de operación. En la figura 2, se muestra un modelo de controlador virtual, el cual emplea los dispositivos de campo virtuales como sensores o actuadores para crear un lazo de control cerrado. Se considera en este caso a la virtualización de un dispositivo como la representación

abstracta de las características y funcionalidades físicas en un entorno virtual con el objetivo de representar el comportamiento físico de manera independiente a los protocolos que se emplean para la comunicación con el dispositivo. La separación entre el controlador virtual y los dispositivos de campo (sensor o actuador) permite compartir un protocolo de comunicación con varios dispositivos de campo, al tiempo en que se desacopla el protocolo del comportamiento del dispositivo de campo.

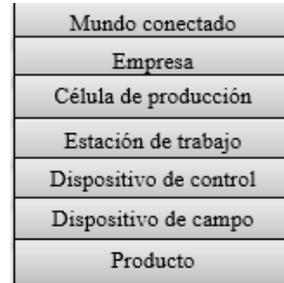


Figura 1 Arquitectura para el piso de producción en RAMI 4.0.

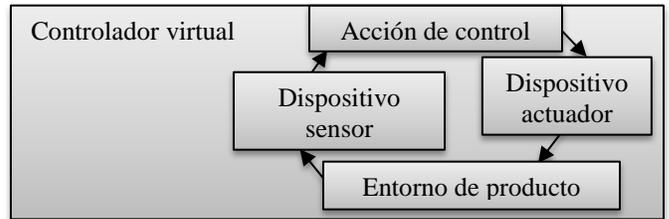


Figura 2 Representación virtual del lazo de control.

La estructura propuesta del controlador virtual para su integración con dispositivos de campo, se muestra en la figura 3. En el nivel aplicación se puede acceder a un dispositivo actuador o sensor por medio del respectivo representante, con lo cual se puede formar el lazo de control de la figura 2. La aplicación del lazo de control puede tener en ciertos casos un sistema de memoria que permita la inicialización de los controladores virtuales disponibles con las configuraciones seleccionadas.

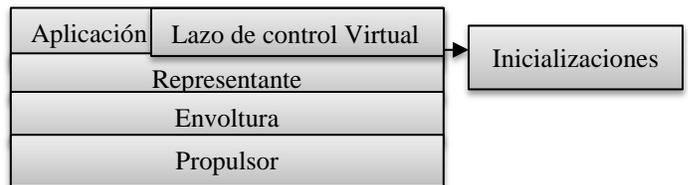


Figura 3 Niveles de abstracción del dispositivo de control desde los propulsores hasta la etapa de aplicación.

La etapa de representante provee funcionalidades para la presentación virtual del dispositivo de campo (sensor/actuador) en los recursos de la aplicación del dispositivo de control. La envoltura permite generar neutralidad respecto a los protocolos para comunicación entre los dos niveles. La capa propulsor comprende los procedimientos para la transferencia y recepción de datos utilizando los protocolos de la plataforma, en este punto los protocolos están orientados a la comunicación entre dispositivos.

Abstracción del nivel estación de trabajo

Con base en la estructura RAMI 4.0, el nivel jerárquicamente superior al nivel de dispositivo de control es el nivel denominado estación de trabajo. La finalidad de la estación de trabajo es la implementación de un nodo para elementos en el nivel dispositivo de control en un entorno de trabajo, por tanto, para cada estación de trabajo se tienen asociados un grupo de dispositivos de control que a su vez asocian a un grupo de dispositivos de campo, figura 4. Se puede apreciar que las tecnologías para los distintos dispositivos de control se pueden componer de sistemas embebidos como una tarjeta Raspberry Pi 3B, o bien sistemas industriales como un PLC. La amplia variedad de fabricantes y protocolos disponibles en el mercado, presenta un alto grado de dificultad para mantener un entorno de trabajo con componentes de un mismo fabricante tomando como consideración el objetivo de interoperabilidad y flexibilidad en la estructura de RAMI 4.0, el nivel de la estación de trabajo debe tener la capacidad de adaptarse con facilidad a cambios en protocolos o tecnologías disponibles.

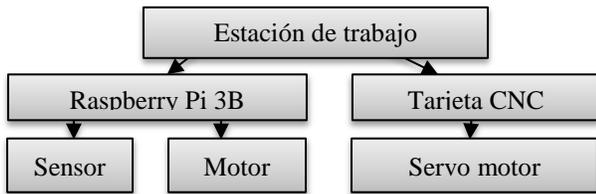


Figura 4 Niveles de jerarquía: dispositivos de campo, de control y estación de trabajo.

La estación de trabajo además de ser capaz de manejar protocolos de comunicación próximos a nivel medio físico como puede ser: Ethernet, Bluetooth, RS488 (mediante OPC, Socket o Serial), entre otros; requiere también transmitir comandos propios de los dispositivos de control mediante el medio físico de comunicación. Los comandos a manejar dependen del fabricante y tipo de dispositivo. Colocar en código tales comandos implica rigidez al sistema, por tanto para la ejecución de una operación en un dispositivo de control comandada por la estación de trabajo, se propone utilizar un archivo con el grupo de comandos a ejecutar por el dispositivo de control en determinado proceso, así una adaptación requerida del conjunto de comandos es simplificada sin necesidad de modificaciones en el código fuente. Así, de

manera independiente del código de la estación de trabajo, en una base de datos se indica el proceso de fabricación a realizar, y el archivo con los comandos asociados al dispositivo de control que realizará su ejecución. En la figura 5 se muestra de forma sintetizada este procedimiento. De esta manera se favorece la flexibilidad respecto al conjunto de dispositivos de control, y los procedimientos de ejecución. Así es posible crear un grupo de comandos definido para un dispositivo y ser manejado por la estación de trabajo de manera independiente del fabricante del dispositivo y del protocolo de comunicación. En la figura 6 se muestra la estructura propuesta para la estación de trabajo, se puede apreciar que se sigue una estructura similar a la estructura del dispositivo de control. En este caso los propulsores se orientan a protocolos de comunicación por red o puertos físicos de comunicación propios del ambiente PC.

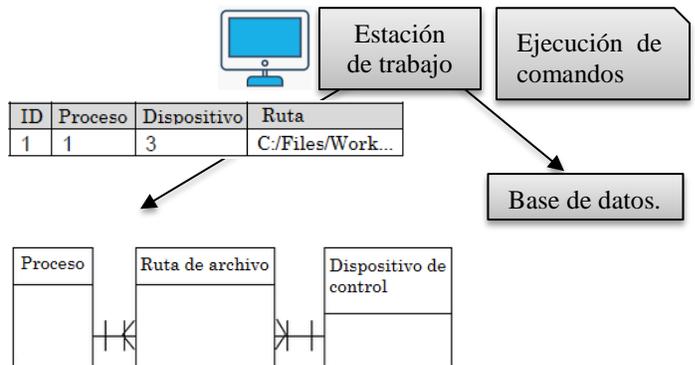


Figura 5 Proceso de ejecución de instrucciones que inicia con la selección del archivo de instrucciones específico.

La capa inmediata superior al nivel propulsor corresponde a la capa envoltura, la cual conforma una estructura de desacoplamiento (interfaz neutral) de los procedimientos de comunicación. La capa representante presenta una vista genérica de dispositivo de control, de manera que la aplicación de estación de trabajo se encuentra conectada a un dispositivo de control genérico. La capa representante contiene la información genérica del dispositivo de control asociado, la cual corresponde a una representación virtual del dispositivo de control específico. En el nivel superior a la capa representante, se encuentra la capa de aplicación, la cual lleva a cabo la función de coordinación de dispositivos de control, mediante el procesamiento de las instrucciones y mensajes a los dispositivos de control y ordenes de operación procedentes de los niveles superiores.

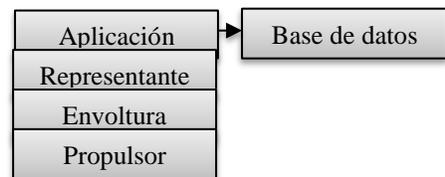


Figura 6 Niveles de abstracción de la estación de trabajo.

Abstracción de la célula de producción

En la figura 7 se muestra un ejemplo de célula de producción. A diferencia de la estación de trabajo, el inconveniente presentado por la diversidad de los dispositivos de control no sigue presente en este nivel ya que las aplicaciones de las estaciones de trabajo y célula de producción son similares en estructura. En ambos casos, las aplicaciones de la estructura de trabajo y la célula de producción se encuentran implementadas en tecnología basada en PC. La estructura de la célula de producción es similar a la presentada en la figura 6, con la diferencia de que los propulsores se comunican con aplicaciones informáticas por medio de protocolos de red. La principal funcionalidad de una aplicación en este nivel es la orquestación de las estaciones de trabajo asociadas para la ejecución de procesos de producción dependiendo de las capacidades asociadas o recursos disponibles. El esquema de la base de datos propuesto es similar a la encontrada en las estaciones de trabajo, en donde los registros identifican a las estaciones de trabajo, las operaciones a realizar y los archivos que contienen las secuencias para los procesos de producción.

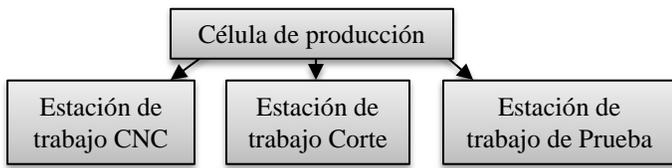


Figura 7 Nivel jerárquico de la célula de producción conformado por estaciones de trabajo de propósito específico.

El piso de producción, la empresa y el mundo conectado

En la arquitectura RAMI 4.0, el nivel inmediato superior a célula de producción es el nivel del piso de producción. La estructura básica hasta aquí propuesta define un piso de producción virtual acoplado a los elementos reales de producción, cuya información está contenida a detalle en cada nivel. Otro nivel de integración posible es la empresa con el mundo conectado. Esta integración en términos generales desde la perspectiva de flexibilidad en protocolos de integración, puede ser entendida como integración empresa con la nube. La empresa y el mundo conectado sigue la misma estructura de acoplamiento débil planteada en los niveles inferiores hasta aquí abstraídos. Entre las acciones que se pueden realizar por parte de la empresa con la comunicación en la nube se encuentra la ejecución de procesos sobre demanda (productos sobre pedido), establecimiento de procesos de producción o el monitoreo y verificación de datos sobre la producción en tiempo real que involucra además el diagnóstico de problemas en los procesos asociados. En la figura 8 se

muestra un modelo jerárquico común de empresa con base en las tecnologías en la nube, donde múltiples clientes (mundo conectado) realizan pedidos para un producto, la empresa reacciona a los pedidos con la ejecución de los procesos pertinentes de producción al tiempo en que los datos de las compras son registrados en una base de datos y existe un monitoreo en tiempo real sobre la producción. La integración del modelo de piso de producción propuesto aporta flexibilidad para responder a los requisitos de producción en relación a la demanda (cambios) de mercado, así mismo permite la identificación de fallas durante el proceso de manufactura.

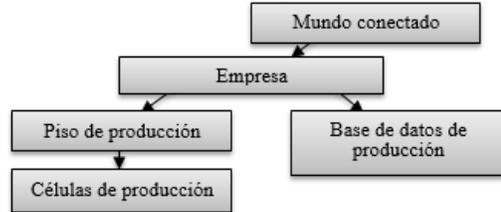


Figura 8 Relación de la empresa con el entorno exterior o mundo conectado y el entorno interno relacionado al piso de producción.

3.2. Implementación de la estructura base propuesta.

En esta sección se presenta la implementación de la estructura propuesta utilizando las plataformas Windows IoT y Windows, las cuales ofrecen herramientas por medio de marcos de trabajo *Universal Windows Platform* y *Net Framework*.

La figura 9 muestra el diagrama de clases (UML) de la estructura para la implementación del mecanismo de acoplamiento débil entre el dispositivo de control y dispositivo de campo. El representante provee acceso a la información y los propulsores bajo un formato común que permite la creación de objetos virtuales como sensores, lazos de control y actuadores, los cuales son independientes de los detalles de implementación del propulsor. La envoltura desacopla al propulsor resultando en un objeto que permite la inicialización del propulsor en tiempo de ejecución. Para lograr flexibilidad en protocolos, las funciones nativas son incluidas como parte de un propulsor de comandos específico, el propósito de la conversión a comandos específicos radica en mantener un grupo común de funciones para la operación del propulsor, mientras que los argumentos del comando contienen los parámetros asociados a los detalles. El propósito es emplear un conjunto de comandos neutro (independiente de fabricante y tipo de propulsor) para los propulsores de comunicación como lectura o escritura, al tiempo en que se pueden definir comandos más específicos para conservar las capacidades específicas del protocolo, sea por ejemplo la capacidad de transmisión simultánea de SPI o la recepción de manera asíncrona de los protocolos Serial. Finalmente, el propulsor provee las funcionalidades de inicialización del protocolo específico y transferencia de datos, mientras que el propulsor

de comandos convierte las funciones nativas en comandos y argumentos propios del dispositivo de control específico. Los protocolos de comunicación implementados en el presente proyecto comprenden SPI, I2C, GPIO, Serial y CAN. En la plataforma e Windows IoT en una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 B+. Además, los protocolos de comunicación por red desarrollados comprenden Sockets, MQTT y HTTP. La arquitectura propuesta en combinación con las bibliotecas de enlace dinámico permite el desarrollo de manera independiente del fabricante y tipo de dispositivo de control. A modo de ejemplificación, la organización propuesta permite por ejemplo tener un sensor de temperatura conectado por un puerto de I2C, o bien el mismo sensor conectado por medio de un protocolo de red. Además de la estructura de acoplamiento descrita, la aplicación contiene módulos para la flexibilidad y la disponibilidad de funcionalidades para la implementación de procesos y ejecución de instrucciones de los niveles superiores.

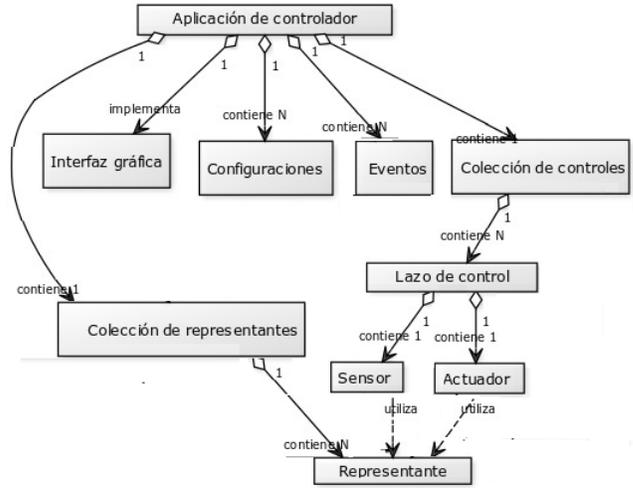


Figura 10 Estructura de la aplicación en el dispositivo de control.

En conjunto los sistemas de administración de mensajes y notificación de eventos procesan los datos intercambiados entre los diferentes dispositivos, por otra parte se cuenta con una colección de objetos, la cual contiene a los representantes del dispositivo. Se cuenta además con una colección que contiene las instancias de los lazos de control virtuales para los procesos. En la aplicación del dispositivo de control, los objetos como sensores y actuadores definen el comportamiento y las propiedades del dispositivo de manera virtual. Cabe aclarar que los dispositivos de control no cuentan con capacidades de incorporación dinámica de código, en caso de contar con esta facilidad, la flexibilidad para la incorporación de protocolos al nivel de dispositivo de campo se incrementaría. A continuación en la figura 11 se muestra la estructura de la estación de trabajo, la cual es similar a la estructura de la célula de producción. El representante tiene la misma funcionalidad que el nivel de dispositivo de control al proveer las funcionalidades e información de estado de los recursos del sistema. En este punto para la flexibilidad se cuenta con una herramienta de carga de código dinámico, de esta manera, se puede incorporar una biblioteca de código dinámico (en tiempo de ejecución) para el control de las funcionalidades de la plataforma sin la necesidad de compilar la aplicación por completo, siendo posible la obtención de librerías y actualizaciones en sistemas ya instalados en un entorno. La capa de envoltura estandariza y desacopla los procedimientos en un grupo de funciones, ambas clases se encuentran contenidas en una biblioteca de enlace dinámico, con lo cual es posible el desarrollo independiente del propulsor y la posterior incorporación de la biblioteca en tiempo de ejecución. El protocolo físico disponible para un equipo de cómputo de propósito general es el puerto serial. Por otra parte los protocolos de red disponibles se componen de Socket,

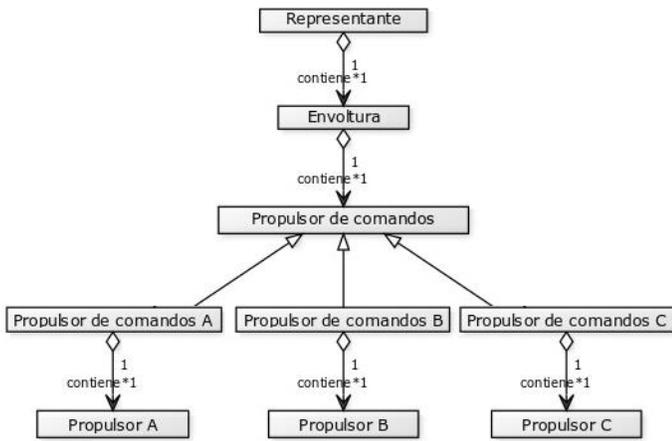


Figura 9 Estructura desde los propulsores hasta los representantes del protocolo.

En la figura 10 la estructura de la aplicación, la cual contiene una interfaz gráfica, un sistema de configuraciones para inicialización y un sistema de administración de mensajes y notificación de eventos.

MQTT, MSMQ y OPC para la comunicación con dispositivos de PLC.

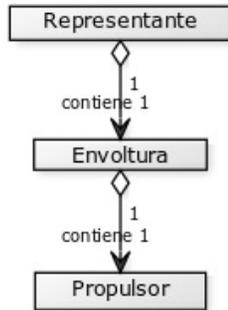


Figura 11 Estructura desde los propulsores hasta los representantes de la estación de trabajo.

En la figura 12 se muestra la estructura de la aplicación para las estaciones o células de trabajo, en este caso se cuenta con una base de datos para el inicio y carga de operaciones, una interfaz gráfica de usuario, un sistema de administración de mensajes y comandos y una colección de representantes para dispositivos de control y células de producción, en el caso de la célula de producción, los representantes de la célula de producción pasan a ser los sistemas en el nivel inmediato superior. A diferencia de la aplicación del dispositivo de control, se toma a cada representante como un objeto que representa ya sea a un dispositivo de control o a una célula de producción, el representante cuenta además con un sistema de procedimiento de mensajes que permite el intercambio de información relevante sobre los procesos que suceden en los dispositivos de control, cada nuevo mensaje es incorporado a una cola de mensajes que a su vez es servida por un subproceso que ejecuta cada instrucción de mensaje procedente de los dispositivo asociados. Cada representante incorpora además un mecanismo que indica si el recurso del propulsor está libre o en uso para evitar colisiones en la transferencia de mensajes. Por otra parte el sistema de inicio y carga de operaciones incorpora los mecanismos para la ejecución de procesos, los cuales se describieron en la figura 5, esto resulta en un archivo de instrucciones que es ejecutado por el dispositivo de control para llevar a cabo un proceso, una vez finalizado el dispositivo de control notifica a la aplicación la cual informa a la célula de producción o al mundo conectado que el proceso ha sido ejecutado correctamente.

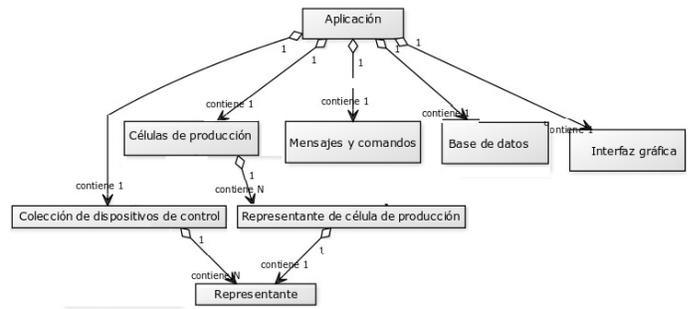


Figura 12 Estructura de la aplicación para la estación de trabajo o célula de producción.

3.3. Aplicaciones para la estructura implementada.

En secciones anteriores se concluye la propuesta planteada en [7] respecto a las tecnologías e integración en industria 4.0. Con base en la estructura propuesta que relaciona el piso de producción y el mundo conectado de la industria, se propone la implementación de tecnologías para el incremento de la autonomía en el sistema de producción. Las posibles aplicaciones incluyen el monitoreo, modelado y reconfiguración en línea del piso de producción, así como otros enfoques como minería de datos y la introducción de la inteligencia artificial en los sistemas de producción.

Monitoreo en línea del piso de producción

Las aplicaciones de monitoreo permiten la presentación de los datos obtenidos en línea. Por tanto, es posible la realización de estudios con mayor grado de precisión, o la identificación y resolución de fallas en las cadenas de producción.

Modelado y reconfiguración de los sistemas de producción

La estructura propuesta de implementación para RAMI 4.0 permite el establecimiento de las reglas de operación para el sistema de producción. De esta manera, es posible la definición de un comportamiento para el piso de producción frente a un grupo de características o parámetros. En este punto se integran las operaciones dirigidas por modelo, donde el modelo se desarrolla con relación a los recursos disponibles en el piso de producción. Ejemplos de estos procedimientos se pueden encontrar en el Integrador modular de recursos de producción [8] con el cual es posible el modelado de las reglas y el sistema de producción de manera gráfica cuyo resultado permite la generación de las instrucciones necesarias para la producción.

3.4. Otros enfoques.

La estructura propuesta permite la implementación de tecnologías y enfoques de estudio basados en técnicas de análisis de datos. Uno de estos enfoques es la inteligencia artificial [9] que incluye técnicas basadas en redes neuronales [10] para el procesamiento de los datos de entrada y la ejecución de las respuestas de salida. En los sistemas de producción, se contempla la intervención de un individuo para

la interpretación de la información y la toma de decisiones, sin embargo las tecnologías como las redes neuronales permiten un cierto grado de autonomía. Otra técnica estudiada de un esquema recientemente aceptado involucra la integración de redes orientadas a servicios con la incorporación de agentes inteligentes [11]. Por otra parte el enfoque de la minería de datos [12] es un tema que ha tomado auge recientemente gracias a la gran cantidad de información disponible en los sistemas de comunicación. Con base en la estructura presentada, es posible la realización de un análisis de datos que contempla información exterior e interior al entorno de la empresa.

4. CONCLUSIONES.

La estructura desarrollada coadyuva a las características de interoperabilidad, flexibilidad y escalabilidad de la organización de los dispositivos y sistemas en ambientes industriales y de automatización, bajo los lineamientos de la infraestructura del modelo RAMI 4.0. Así mismo la estructura permite desarrollos dirigidos a posibles aplicaciones que involucran enfoques identificados con retos reportados en la literatura como el monitoreo en tiempo real, el proceso de minería de datos y la introducción a posibles técnicas de inteligencia artificial. Se planteó además la infraestructura como base para la operación del sistema de producción dirigido por modelo. Finalmente los resultados obtenidos constan de estructuras para los niveles de dispositivos de control, estaciones de trabajo y células de producción con flexibilidad para la incorporación de protocolos de comunicación en los niveles más bajos, así como procedimientos de operación en los niveles superiores que corresponden a las bases de datos. Trabajo Futuro. Implementación particular del esquema propuesto en un caso específico de piso de producción, además de investigación de temas como minería de datos e inteligencia artificial dada la relevancia actual de estas áreas.

5. REFERENCIAS

- [1] PEDONE, Gianfranco; MEZGÁR, István. Model similarity evidence and interoperability affinity in cloud-ready Industry 4.0 technologies. *Computers in industry*, 2018, vol. 100, p. 278-286.
- [2] K. Suri, J. Cadavid, M. Alferez, S. Dhoubi and S. Tucci-Piergiorganni, "Modeling business motivation and underlying processes for RAMI 4.0-aligned cyber-physical production systems," 2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Limassol, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ETFA.2017.8247702.
- [3] SOSA-REYNA, Claudia M.; TELLO-LEAL, Edgar; LARA-ALABAZARES, David. Methodology for the model-driven development of service oriented IoT applications. *Journal of Systems Architecture*, 2018, vol. 90, p. 15-22.
- [4] F. Ciccozzi, I. Crnkovic, D. Di Ruscio, I. Malavolta, P. Pelliccione and R. Spalazese, "Model-Driven Engineering for Mission-Critical IoT Systems," in *IEEE Software*, vol. 34, no. 1, pp. 46-53, Jan.-Feb. 2017.
- [5] X. T. Nguyen, H. T. Tran, H. Baraki and K. Geihs, "FRASAD: A framework for model-driven IoT Application Development," 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Milan, 2015, pp. 387-392, doi: 10.1109/WF-IoT.2015.7389085.
- [6] F. Oquendo, "Software architecture of self-organizing systems-of-systems for the Internet-of-Things with SosADL," 2017 12th System of Systems Engineering Conference (SoSE), Waikoloa, HI, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/SYSE.2017.7994959.
- [7] J. Acosta, L. Morales, "IoT en manufactura, retos de integración" Oct 2019 41 congreso electro, Chihuahua Chih. ISSN 1405 2172.
- [8] ONTIVEROS ROACHO, CARLOS IVÁN. DESARROLLO DE UN EMULADOR DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DISCRETA CON BASE EN IMRP UTILIZANDO LA OPERACIÓN DIRIGIDA POR MODELO. 2017. Tesis Doctoral. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIHUAHUA.
- [9] R. Ke, Y. Zhuang, Z. Pu and Y. Wang, "A Smart, Efficient, and Reliable Parking Surveillance System With Edge Artificial Intelligence on IoT Devices," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, doi: 10.1109/TITS.2020.2984197.
- [10] A. B. Khudhair and R. F. Ghani, "IoT Based Smart Video Surveillance System Using Convolutional Neural Network," 2020 6th International Engineering Conference "Sustainable Technology and Development" (IEC), Erbil, Iraq, 2020, pp. 163-168, doi: 10.1109/IEC49899.2020.9122901.
- [11] M. O. Shafiq, Y. Ding and D. Fensel, "Bridging Multi Agent Systems and Web Services: towards interoperability between Software Agents and Semantic Web Services," 2006 10th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC'06), Hong Kong, 2006, pp. 85-96.
- [12] JOSHI, Jitendra. A Survey on Uses of Data Mining Technology for IoT Services. *International Journal of Innovative Computer Science & Engineering*, 2020, vol. 7, no 2.