

## IoT EN MANUFACTURA: RETOS DE INTEGRACIÓN

José Eduardo Acosta Cano de los Ríos, Luis Manuel Morales Pérez  
Oscar Chávez López  
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](mailto:jacosta@itchihuahua.edu.mx), [lmorales@itchihuahua.edu.mx](mailto:lmorales@itchihuahua.edu.mx)

### RESUMEN.

La tendencia a interconectar dispositivos en red con un funcionamiento autónomo ha tomado auge en los últimos años. Movimientos como el Internet de las cosas (IoT), ha impulsado iniciativas como Industry 4.0 y Society 5.0. Sin embargo los principales problemas a afrontar al implementar estructuras de interconexión en manufactura implican la unificación de las tecnologías existentes debido a la variedad de opciones disponibles, además de requerir flexibilidad para enfrentar variaciones impuestas por la turbulencia del mercado y avances de la tecnología. El presente trabajo presenta una revisión de la literatura respecto a propuestas de solución para la integración de sistemas. Así mismo se muestran avances en el desarrollo de módulos para aplicaciones de IoT basados en la plataforma Windows IoT con implementación en una Raspberry Pi. Palabras Clave: IoT, Industry 4.0, Escalabilidad

### ABSTRACT.

The tendency to establish communication between networks enabled devices with non-user intervention has grown in the latest years. Movements like IoT had encouraged enterprises like Industry 4.0 and Society 5.0. However the main challenges when trying to implement those structures in manufacturing industry are the unification of existing technologies due to available variety and keep devices flexible for ease of adaptation in market changes and new technologies. This paper presents a literature and research revision about the structure integration in order to achieve those objectives and also presents the current state in the IoT modules development based on UWP (Universal Windows Platform) for a Raspberry Pi.

Keywords: IoT, Industry 4.0, Scalability

### 1. INTRODUCCIÓN

El paso de los años ha permitido el surgimiento de nuevas tecnologías en aplicaciones más cercanas al usuario. Internet ha sido un ejemplo de cambio recientemente, inicialmente se proyectaba el Internet como una red para la coordinación de diferentes departamentos de defensa, su posterior integración en aplicaciones más comerciales dio lugar a modelos establecidos como el SNA de IBM o el modelo OSI [1]. Al incrementar la disponibilidad de los dispositivos con acceso a internet, no solo las empresas disponían de acceso si no también los usuarios comunes. Actualmente con el incremento en el número de dispositivos, Intel© especula que para el año 2020 se podrían tener hasta 200 billones de dispositivos conectados a Internet [2],

el esquema pasa a ser una conexión dispositivos a dispositivos (conocido como internet de las cosas).

Por su parte en la industria, la tecnología ha evolucionado desde la invención de la máquina de vapor, implementación de la producción en masa, desarrollo de máquinas herramientas y control numérico, posteriormente su tercera etapa con la integración al sistema de manufactura de procesos por computadora y automatización para actualmente dar lugar a interconexión a nivel global de recursos de producción, dando lugar al concepto planteado como Industria 4.0 [3], donde el sector de producción puede ser monitoreado en línea y permitir la incorporación de tecnologías de procesamiento y coordinación de los recursos con base en datos como es el concepto Big Data y los procesos de manufactura inteligente [4].

No solo en los sectores de manufactura y redes sino también en la sociedad han existido cambios en su estructura influenciados por factores externos como la tecnología y descubrimientos científicos, en este sentido los hitos planteados son el inicio de la sociedad como la agrupación de cazadores que posteriormente evolucionó a una sociedad sedentaria basada en la agricultura llegando a su siguiente etapa con la introducción de la industria hacia el siglo 18; la época actual se encuentra influenciada por los medios de comunicación conocida como Sociedad 4.0 y se proyecta su siguiente etapa como Sociedad 5.0 al implementar en la vida cotidiana tecnologías como inteligencia artificial e IoT [5].

Actualmente la integración del IoT es la base para la concepción e implementación del concepto Industria 4.0 y en un futuro el concepto de Sociedad 5.0. Conceptos que han polinizado diversos sectores de la sociedad, como es el caso de la iniciativa Chihuahua Futura [6] donde se pretende impulsar la economía de la región basado en tecnologías con base en IoT. El objetivo del presente trabajo es identificar aspectos de relevancia presentes en el problema de integración de un sistema desde nivel sensores/actuadores hasta el nivel de la nube, bajo la perspectiva de IoT e Industria 4.0; así mismo implementar una solución para la integración de los primeros niveles de la estructura. Para tal efecto se emplea la plataforma de Windows IoT operando en un sistema Raspberry Pi. La revisión de la literatura realizada soporta la identificación de oportunidades para futuras investigaciones y proyectos en el área de integración procesos de manufactura.

El presente documento está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se muestran los principales resultados de la revisión de literatura. En la sección 3 se describe el desarrollo de un ejercicio de integración entre dispositivos de campo, controlador y estación de trabajo. Las conclusiones se muestran en la sección 4.

## **2. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

### **2.1. Características de Internet de las cosas y necesidades futuras**

Las tecnologías relacionadas en IoT (Internet of Things) se han implementado para diferentes propósitos en sectores como la medicina, la industria o el transporte público entre otros.

Los retos en estos sectores se han analizado en distintos trabajos en los últimos años.

En [7] se hace una revisión sobre las herramientas como arquitecturas, protocolos e implementaciones; que da como resultado los posibles retos de las nuevas aplicaciones de IoT en el futuro, entre los retos planteados se habla de Escalabilidad, Auto organización e Interpretación de datos entre otros puntos. Este enfoque revela las primeras características necesarias para un sistema de IoT.

#### **Enfoques de aplicación de Internet de las cosas**

Las características específicas dependerán de los enfoques de aplicación a los que la red de IoT se somete, dichas características tienden a ser variadas. A continuación se hace un análisis de algunas propuestas de IoT en diferentes aplicaciones donde se analizan los beneficios y se resaltan las necesidades.

Un primer enfoque de aplicación se aborda en [8] donde se hace una revisión de las características de una red de IoT para vehículos. Se habla de ventajas de IoT en vehículos como: transportación de alta eficiencia, reducción de la congestión vehicular y eficiencia en consumo de energía. Así mismo se explica que entre los principales retos de la tecnología propuesta para un entorno vehicular implicaría la administración de redes dinámicas en el tiempo, manejo de desconexiones repentinas y la integración de componentes de hardware y software heterogéneos.

Otro enfoque es el propuesto en [9] donde se exploran los dominios de aplicación que se pueden tener haciendo énfasis en el ámbito industrial y relacionándolo con el concepto Industry 4.0. Se hace referencia a los beneficios que se pueden obtener al implementar tecnologías de comunicación en la nube, describiendo escenarios como Producción de energía, Monitoreo y tráfico, Seguridad, entre otros. Se concluye de la investigación que con la combinación de las tecnologías se pueden reducir costos y aumentar el nivel competitivo de las empresas pero se hace énfasis en incorporación de características de seguridad y privacidad en la comunicación.

En [10] se profundiza el concepto de IoT como parte de una red para la obtención de requerimientos con base en las necesidades de los clientes para la industria automotriz. Dicha información es obtenida desde el sistema de comunicaciones del vehículo y posteriormente es transmitida por la red. Los datos obtenidos prueban su capacidad para proveer al fabricante la estructura de

información necesaria sobre el vehículo para el desarrollo de soporte y actualizaciones. Las características necesarias de esta topología es la compatibilidad, almacenamiento de información y datos de emisiones de CO2 entre otras.

El enfoque analizado en [11] se basa en una revisión sobre los posibles retos que se pueden afrontar al intentar desplegar sitios inteligentes. En la revisión de referencia, se buscó obtener la información sobre las características que un “espacio” inteligente debe contener, de esto se obtuvo una lista de requisitos entre los que destacan conceptos como seguridad, procesamiento de información e interoperabilidad.

Por lo tanto la información que requieren los diferentes enfoques es variada y exige características especiales en algunos casos que no son tan relevantes como en otros.

#### **Estructuras generales para la implementación de aplicaciones en IoT**

Con base en las aplicaciones ya realizadas para IoT se han planteado diferentes esquemas para obtener las características deseadas en cada caso.

En [12] se hace énfasis en el concepto de interoperabilidad donde se describe como la habilidad de un sistema para trabajar con los componentes de otro sistema. Debido a que la cantidad de dispositivos involucrados y la variedad de los mismos en IoT es amplia se reafirma la necesidad de estructuras de organización. El resultado del trabajo presentado resalta cuatro niveles de interoperabilidad que son: Interoperabilidad Tecnológica, de sintaxis, semántica y organizacional.

Con base en lo anterior es claro que un incremento en la cantidad de dispositivos implica estructuras de orden y optimización. En este sentido en [13] se hace una revisión de la literatura de los paradigmas de organización en los dispositivos de IoT en cuanto a distribución resultando en niveles de cercanía tales como la nube (Cloud), el centro (Fog) y el borde (Edge) respecto a la ubicación geográfica. Se concluye que de no tomar en cuenta la descentralización de las tareas en una red, una estructura de IoT será insostenible a largo plazo.

Con base en la investigación realizada sobre los niveles de distribución en [14] se confirma el impacto en el aumento de dispositivos mencionado anteriormente y se explica que actualmente el paradigma dominante es el nivel de la nube, por tanto en un futuro dicho esquema de servicios tendera a saturarse si no se distribuyen las capacidades de computación.

Respecto a las características de IoT para vehículos [15] trabaja en este concepto y establece que los protocolos de red existentes no poseen soporte para sistemas móviles. Por lo tanto propone una arquitectura centrada en la movilidad a la cual se le denomina MF-IoT (Internet de las cosas basado en la movilidad). MF-IoT emplea herramientas de reconfiguración dinámica, además de mecanismos que permiten el Alcance global del vehículo. Con esto se permite localizar a un dispositivo conectado a la red en cualquier ubicación.

Tomando en cuenta el nivel de organización y las propuestas de un concepto de red alternativo para movilidad, es necesario el establecimiento de reglas de diseño para la conformación de un

estándar. En [16] se revisan los patrones de diseño basados en los patrones de desarrollo de aplicaciones de software propuestos en [17] y [18], afirmando con esto la posible extrapolación de los métodos de desarrollo como los patrones orientados a agentes por ejemplo para la obtención de aplicaciones de IoT más consistentes, como base de conocimiento sobre las posibles herramientas de desarrollo.

De manera más general, en [19] se hace una revisión que resulta en los patrones de implementación de aplicaciones de IoT más comunes y el mejor escenario que se puede dar a cada uno. La investigación resulta en la obtención de patrones como: Bucle cerrado, Bucle abierto, Publicador, Bucle en la nube, Bucle sobre la nube Y Dispositivo a Dispositivo (D2D).

En un enfoque cercano pero referente a las aplicaciones en el borde, en [20] se habla de los patrones de diseño para la implementación de aplicaciones en IoT cercanas al usuario, este término se denomina “Edge Computing”, en este trabajo, se explica que la idea de un patrón de diseño es la obtención de soluciones robustas y reutilizables entre plataformas, esto dado que IoT tiende a introducir diversidad no solo de plataformas sino también de protocolos empleados, métodos, potencia y almacenamiento. El aporte propuesto es la incorporación de ventajas como actualización de código en tiempo de ejecución a múltiples dispositivos. Para esto, se propone la incorporación de virtualización basada en contenedores (Docker) y la utilización de Git para actualización de código, semejante a la búsqueda de actualizaciones automáticas de los sistemas operativos, y que no exige la participación directa del usuario.

En [21] se propone la unificación de los paradigmas de la nube, el centro y el borde de los dispositivos de IoT (nombrados así por su cercanía con el usuario) para facilitar la integración de servicios inteligentes e interoperables no solo en situaciones industriales si no en escenarios domésticos, logrando estos objetivos con una estructura que incorpora identificaciones para los servicios propuestos y una estructura jerárquica basada en nodos, esto concuerda con lo propuesto en puntos anteriores referente a MF-IoT pero consolidándolo en aplicaciones de servicios domésticos como monitoreo de temperatura, consumo energético, generación de energía entre otros.

En [22] se propone un framework para realizar pruebas a aplicaciones de IoT, este funciona con base en los requerimientos establecidos para una aplicación como tiempos de respuesta, datos a obtener y otorga resultados como la identificación de cuellos de botella en la transmisión de información, siendo útil para la optimización de procesos de IoT y predicción de comportamiento de futuras aplicaciones.

### Acoplamiento rígido en IoT

Las estructuras propuestas anteriormente sirven como base para el desarrollo de un sistema de IoT si ya se conocen los protocolos y estándares necesarios, sin embargo complica la integración de un sistema al intentar integrar protocolos no contemplados originalmente. De esta manera un sistema de IoT que depende de un servidor de IoT, un protocolo de comunicación, un medio físico o una plataforma se podría denominar un sistema

rígidamente acoplado que dependerá de estos parámetros y será complejo de adaptar a aplicaciones futuras.

### Acoplamiento débil en IoT

El concepto de acoplamiento débil implica el seccionamiento de aplicaciones en bloques funcionales reduciendo la dependencia de los mismos respecto a los recursos provistos por otros. En un enfoque general implica que el funcionamiento de un sistema se puede separar en N módulos, donde cada cual trabaja con la información necesaria aportada por el enlace del módulo sin tener que conocer información adicional de su contraparte, [23]. Respecto al enfoque de IoT, en [24] se hace una relación entre el concepto de IoT y el acoplamiento débil, se habla del problema de diseñar una capa de comunicación con flexibilidad, acoplamiento débil y versatilidad ya que una red de IoT es heterogénea en cuanto a protocolos, plataformas, requisitos etc. Para la solución de los problemas a futuro se plantea la implementación del esquema de acoplamiento débil en los distintos niveles del sistema de IoT para lograr un acoplamiento débil entre protocolos de comunicación, estructuras y plataformas.

## 2.2. Modelo de arquitectura de referencia e Industria 4.0

La creación de nuevas oportunidades de negocio implica la incorporación del intercambio de información. En el contexto de industria 4.0, se propone el modelo de RAMI4.0 para lograr la interoperabilidad para un sistema; se presentan los enfoques de negocios, funcionalidad e información. Esto se basa en el estándar IEC 62262 para sistemas de manufactura [25]. Los enfoques implican la conformación de un bloque funcional como un conjunto influenciado por el ciclo de vida del producto, el producto y como se llevó a cabo dicho producto [26] En la figura 1 se muestra el esquema propuesto de arquitectura de referencia RAMI4.0 propuesto en [27].

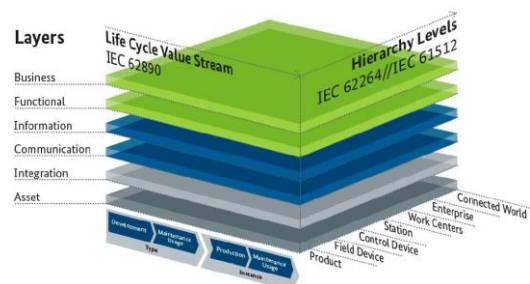


Figura 1 Cubo de RAMI4.0.

- *Mundo Conectado*  
Es la interfaz de la industria con la sociedad además de la interfaz para adquirir información global sobre las tendencias, retroalimentación sobre los productos y el impacto de las decisiones tomadas.
- *Empresa*

Implica la toma de decisiones con base en la información con la que se cuenta tanto interna como externa a la empresa.

- *Centro de trabajo*  
Una planta o un sector de producción dependiendo del ramo y las decisiones operativas para su funcionamiento.
- *Estación*  
Controla a un grupo de sistemas que realizan múltiples tareas para obtener un producto.
- *Dispositivo de control*  
Controla las condiciones o ejecuta las instrucciones para la obtención de un producto en base a una instrucción.
- *Dispositivo de campo*  
Obtiene la información del entorno y o modifica una condición.
- *Producto*  
Elemento que se obtiene del proceso de manufactura.

### 3. DESARROLLO: RETOS DE INTEGRACIÓN

A partir de la revisión de literatura es posible identificar los principales retos de implementación como:

- Integración de dispositivos
- Optimización del sistema
- Soporte para movilidad

#### *Integración de dispositivos*

En la práctica los dispositivos que se incorporan al sistema de red existen en la empresa y no es viable el reemplazo de los sistemas existentes. Es necesario por tanto adaptar los protocolos y dispositivos. Por lo tanto el reto en este nivel se traduce en flexibilidad de operación entre diferentes protocolos (estándares).

#### *Optimización del sistema*

Aplicar las estructuras y tecnologías óptimas para una comunicación fluida con los dispositivos vecinos, mediante el uso de esquemas como IoT en el Borde [28].

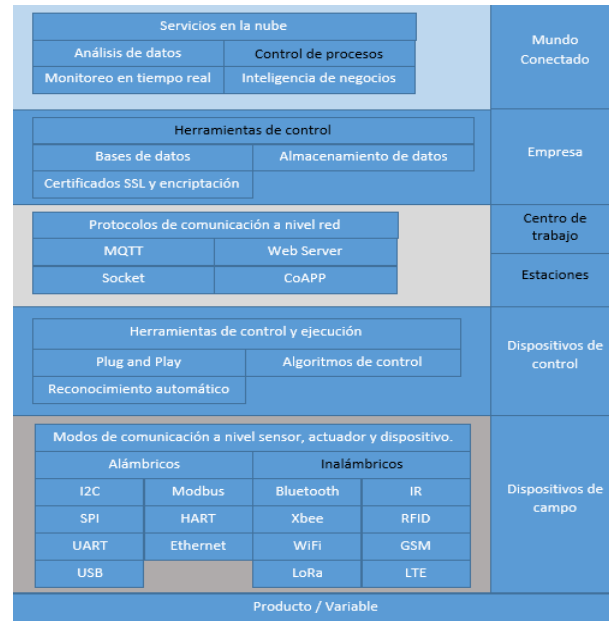
#### *Soporte para movilidad*

Las aplicaciones no solo implicaran dispositivos fijos como estaciones de trabajo si no plataformas móviles por lo tanto es necesario tecnologías para la consideración de este tipo de plataforma en un esquema unificado [29].

### 3.1 Incorporación de IoT en el ámbito de manufactura.

Los seis niveles planteados en la jerarquía RAMI 4.0, que incluye desde nivel dispositivos de campo hasta mundo conectado, son utilizados en el presente reporte para identificar y ubicar diferentes protocolos y/o tecnologías de utilidad en la integración de un sistema de manufactura a IoT.

En el diagrama de la figura 1 se plantean distintas tecnologías y protocolos adaptables a IoT para la conexión sistemática de un sistema de manufactura a IoT.



**Figura 2** Relación de RAMI4.0 con las tecnologías existentes en IoT.

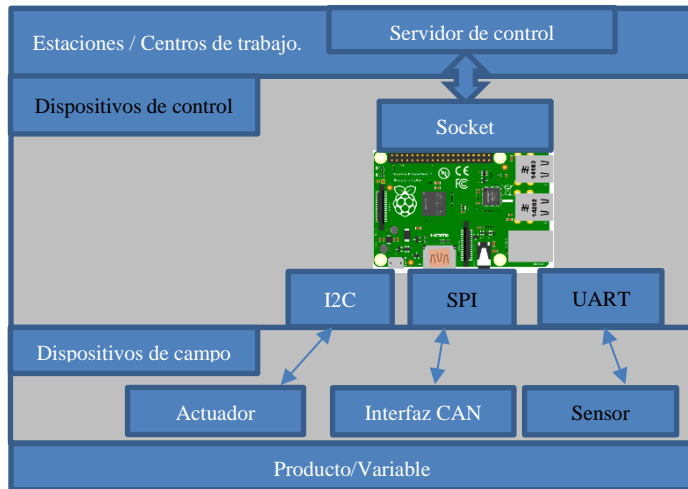
A continuación se explica la accesibilidad y los puntos clave en cada nivel de jerarquía:

- **Mundo conectado**  
La toma de decisiones estará influenciada por los resultados que se obtengan a corto, mediano y largo plazo, tecnologías como Big Data, Cloud Computing, AI.
- **Empresa**  
En esta etapa se debe de contar no solo con la información exterior si no con la interior, en este punto se incorporan tecnologías de bases de datos sobre historiales y se toman en cuenta las cuestiones de seguridad informática como los certificados SSL.
- **Centro de trabajo y estaciones**  
En este punto se debe de contar con tecnologías que permitan la comunicación de manera fluida entre centros de trabajo y estaciones, así como proveer información útil para la toma de decisiones en la empresa respecto a costos.  
Para comunicación en dispositivos más compactos se pueden emplear protocolos como MQTT y se puede disponer de servidores más completos para transacciones más complejas.
- **Dispositivos de control**  
Incorporan dependiendo del tamaño computadoras para el análisis de datos, en este punto se deben de tener tecnologías de control para mantener condiciones ideales en uno o varios sistemas.
- **Dispositivos de campo**  
Incorporan la mayor cercanía con el producto y se pueden componer de sensores y actuadores inteligentes,

PLCs o sistemas embebidos. En esta etapa las comunicaciones deben ser en tiempo real y emplear protocolos ligeros debido al número de dispositivos involucrados.

### 3.1. Ejercicio de integración dispositivo de campo/dispositivo de control.

En la presente sección se describe un ejercicio de integración entre dispositivos de campo y dispositivos de control empleando diversos protocolos. Como caso específico se toma la plataforma Windows 10 IoT [30] operando en un sistema Raspberry Pi. La figura 3 muestra un esquema con los protocolos implementados y su relación en los niveles planteados anteriormente.



**Figura 3** Esquema de interfaz entre los niveles de control y campo.

#### Dispositivos de campo

Se componen de sensores y actuadores. Estos requieren el desarrollo de interfaces que faciliten la disposición de los recursos hacia los dispositivos de control.

#### Dispositivos de control

Se componen de microcontroladores u otros dispositivos tales como PLCs. Administran varios dispositivos de campo acoplados por medio de las interfaces y pueden llevar a cabo acciones de control como la implementación de controladores PID [31].

#### Estaciones y centros de trabajo

Se emplean para el control de los parámetros en la operación de los dispositivos de control, las interfaces de comunicación se componen de servidores socket para la transferencia de grandes cantidades de datos y MQTT para el intercambio de datos de menor tamaño.

### 3.2. Implementación de la estructura de integración en una Raspberry Pi.

El caso de estudio de diversidad de protocolos y tecnologías disponibles que se presenta en este artículo emplea la plataforma de Raspberry pi. Estas tecnologías son la comunicación con sensores y actuadores por UART, I2C y SPI. Así mismo se

realiza la comunicación con el nivel estación de trabajo mediante una red Ethernet y Wifi.

La estructura se compone de módulos de comunicación con dispositivos de campo y módulos de comunicación en la red Ethernet y Wifi. Para tal efecto se desarrollaron librerías para el manejo de datos y abstracción de funciones.

#### Módulos de comunicación con dispositivos de campo.

Se refieren al uso de las interfaces de hardware que permitirán la comunicación con dispositivos externos. En la plataforma de Windows IoT, las dependencias necesarias para la inicialización y uso de los dispositivos se encuentran en la librería Windows.Devices [32] de la cual las dependencias necesarias son Spi, I2c, SerialCommunication para el control de los periféricos y así como la dependencia Enumeration para la búsqueda de los recursos de sistema. A continuación se describen los pasos de inicialización para el uso de un periférico, y en cada caso se emplearan las dependencias de la librería Enumeration para listar las interfaces disponibles en el sistema:

- Reconocimiento de la interfaz  
Empleando el selector de dispositivos provisto en el sistema operativo GetDeviceSelector se obtiene una Cadena de identificación AQS (Sintaxis de consulta avanzada) que direcciona al periférico a emplear de manera dinámica e independiente del Hardware.
- Configuración  
La obtención de una AQS permite al método FindAllAsync de la clase DeviceInformation retornar un objeto identificador, dicho objeto permitirá al método FromIdAsync generar un objeto que a su vez habilitara el uso de la interfaz correspondiente (SPI, I2C, UART etc.).
- Inicialización  
Se configuran las interfaces de acuerdo a los parámetros.

La selección de los parámetros dependerá de la interfaz. A continuación se explican los parámetros principales en la configuración de las interfaces:

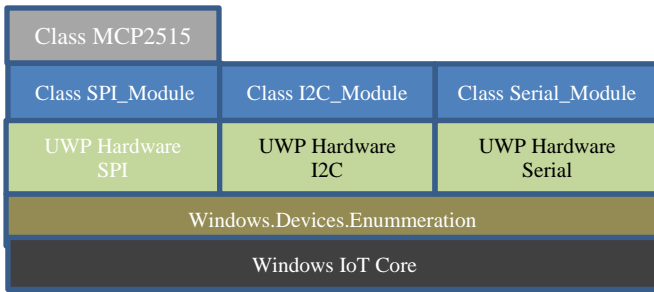
SPI: Initialise(int ChipSelectId,int Frec,SpiMode Mode,int BitLength)

I2C: I2C\_Module(I2cBusSpeed Speed)

UART: Set\_port(uint BaudRate,uint Buffer\_length)

En este punto se puede emplear la interfaz dependiendo de la aplicación esperada.

En la figura 4 se muestra un diagrama de los módulos y su relación con las dependencias del sistema operativo de Windows IoT descritas anteriormente. Los módulos listados en azul se desarrollaron específicamente para abstraer los recursos de Hardware de comunicación e inicialización, así mismo se desarrolló un módulo compuesto para la comunicación CAN.



**Figura 4** Módulos de abstracción para los periféricos.

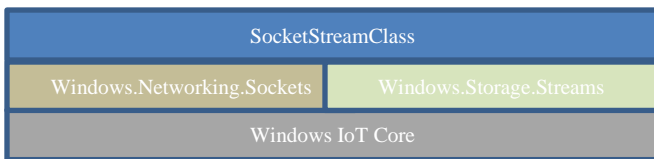
#### Integración dispositivo de control/estación de trabajo.

Para la comunicación con dispositivos de control en la red se propone el módulo `StreamSocketClass`, este permite la comunicación entre dispositivos empleando la red por el esquema de comunicación Cliente-Servidor. Para la inicialización se requiere una IP de un dispositivo y un puerto en caso de ser cliente y solo un puerto en caso de ser servidor.

Las dependencias para el uso de los servidores socket se encuentran en `Windows.Networking.Sockets` [33], y en [34] para la recepción de mensajes en `Windows.Storage.Streams`. En la inicialización de un servidor se emplea el tipo: `StreamSocketListener` que crea un objeto para administrar la recepción de datos por la red por medio de un subproceso con el método `BindServiceNameAsync` que acepta un puerto como parámetro, así mismo el objeto `StreamSocketListener` requiere asignar una función a ser llamada cuando el evento de recepción suceda, esta se asigna en el parámetro `ConnectionReceived`.

Por su parte para la transmisión y recepción de datos se emplean las clases `DataWriter` y `DataReader` respectivamente y que reciben como argumento la interfaz de salida (`Socket.OutputStream`) y entrada del socket (`Socket.InputStream`).

En la figura 5, se muestran las dependencias, en azul el módulo desarrollado para simplificación y abstracción de los recursos de inicialización y los procesos asíncronos de lectura de mensajes.



**Figura 5** Diagrama de módulo de comunicación por sockets.

La tecnología no está limitada al protocolo pero permite la integración posterior de comunicación por la red dada su amplia aceptación en aplicaciones existentes.

## 4 CONCLUSIONES

Se identificaron los retos propios para la integración de dispositivos en el entorno de trabajo desde la etapa de Sensores/actuadores hasta la nube resultando en una solución para la integración de los primeros niveles de la estructura de Rami 4.0 con el esquema de IoT en la plataforma de Windows

IoT. El análisis de los retos de integración y la implementación realizada con base en la estructura RAMI 4.0 coadyuva en el desarrollo de proyectos en el área de manufactura que compartan la plataforma de Windows IoT.

## REFERENCIAS

- [1] Daniel T. Miklovic, Real-Time Control Networks 1993, p. 185.
- [2] K. Claveria, "13 stunning stats on the Internet of Things", Vision Critical, 2018. [Online]. Available: <https://www.visioncritical.com/internet-of-things-stats/>. [Accessed: 02- Nov- 2018].
- [3] N. Jazdi, "Cyber physical systems in the context of Industry 4.0," 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, Cluj-Napoca, 2014, pp. 1-4.
- [4] K. Zhou, Taigang Liu and Lifeng Zhou, "Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges," 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Zhangjiajie, 2015, pp. 2147-2152.
- [5] Y. Shiroishi, K. Uchiyama and N. Suzuki, "Society 5.0: For Human Security and Well-Being," in Computer, vol. 51, no. 7, pp. 91-95, July 2018.
- [6] "Chihuahua Futura," Facebook. [Online]. Available: <https://es-la.facebook.com/pg/ChihuahuaFutura/posts/>. [Accessed: 04-Jul-2019].
- [7] Smaranika Mohapatra et al, International Journal of Computer Science and Mobile Applications, National Conference on "The Things Services and Applications of Internet of Things", Gandhi Institute for Education and Technology (GIET) Baniatangi, 23-24 March 2018, pp. 72-78.
- [8] Y. U. Devi and M. S. S. Rukmini, "IoT in connected vehicles: Challenges and issues — A review," 2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPEs), Paralakhemundi, 2016, pp. 1864-1867.
- [9] LAMPROPOULOS, Georgios; SIAKAS, Kerstin; ANASTASIADIS, Theofylaktos. Internet of Things (IoT) in Industry: Contemporary Application Domains, Innovative Technologies and Intelligent Manufacturing. International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering, 2018, vol. 4.
- [10] SILVA, Marianne, et al. A Customer Feedback Platform for Vehicle Manufacturing Compliant with Industry 4.0 Vision. Sensors, 2018, vol. 18, no 10, p. 3298.
- [11] KORZUN, Dmitry G.; BALANDIN, Sergey I.; GURTOV, Andrei V. Deployment of Smart Spaces in Internet of Things: Overview of the design challenges. En Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 48-59.
- [12] G. Hatzivasilis et al., "The Interoperability of Things: Interoperable solutions as an enabler for IoT and Web 3.0," 2018 IEEE 23rd International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), Barcelona, 2018, pp. 1-7.
- [13] K. Yeow, A. Gani, R. W. Ahmad, J. J. P. C. Rodrigues and K. Ko, "Decentralized Consensus for Edge-Centric Internet of Things: A Review, Taxonomy, and Research Issues," in IEEE Access, vol. 6, pp. 1513-1524, 2018.
- [14] DASGUPTA, Avirup; GILL, Asif Qumer. Fog computing challenges: a systematic review. En Australasian Conference on Information Systems Dasgupta & Gil 2017. 2017.
- [15] S. Li et al., "MF-IoT: A MobilityFirst-Based Internet of Things Architecture with Global Reach-Ability and Communication Diversity," 2016 IEEE First International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI), Berlin, 2016, pp. 129-140.
- [16] R. Tkaczyk et al., "Cataloging Design Patterns for Internet of Things Artifact Integration," 2018 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), Kansas City, MO, 2018, pp. 1-6.
- [17] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and J. Vlissides, "Design Patterns: Elements of Reusable Object oriented Software", 1995 Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

- [18] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, L. O'Brien, "Design Patterns 15 Years Later: An Interview with Erich Gamma, Richard Helm, and Ralph Johnson", 2009 Software Development & Management.
- [19] G. Bloom, B. Alsulami, E. Nwafor and I. C. Bertolotti, "Design patterns for the industrial Internet of Things," 2018 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS), Imperia, 2018, pp. 1-10.
- [20] S. Qanbari et al., "IoT Design Patterns: Computational Constructs to Design, Build and Engineer Edge Applications," 2016 IEEE First International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI), Berlin, 2016, pp. 277-282.
- [21] FERRÁNDEZ-PASTOR, Francisco-Javier, et al. Deployment of IoT edge and fog computing technologies to develop smart building services. Sustainability, 2018, vol. 10, no 11, p. 3832.
- [22] B. Ramprasad, J. Mukherjee and M. Litoiu, "A Smart Testing Framework for IoT Applications," 2018 IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing Companion (UCC Companion), Zurich, 2018, pp. 252-257.
- [23] ACOSTA-CANO, J.; SASTRÓN-BÁGUENA, Francisco. Loose coupling based reference scheme for shop floor-control system/production-equipment integration. Journal of applied research and technology, 2013, vol. 11, no 3, p. 447-468.
- [24] W. Zhiliang, Y. Yi, W. Lu and W. Wei, "A SOA based IOT communication middleware," 2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), Jilin, 2011, pp. 2555-2558.
- [25] K. Suri, J. Cadavid, M. Alferéz, S. Dhoub 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.
- [26] WANG, Yübo; TOWARA, Thilo; ANDERL, Reiner. Topological Approach for mapping technologies in reference architectural model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). 2017 En Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science.
- [27] Platform's Project Office, RAMI4.0 a reference framework for digitalisation , Plattform Industrie 4.0, Geschäftsstelle Bertolt Brecht Platz 3 D 10117 Berlin.
- [28] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li and L. Xu, "Edge Computing: Vision and Challenges" in IEEE Internet of Things Journal, Vol. 3, No. 5, octubre 2016, pp. 637- 646.
- [29] S. Wang, Y. Hou, F. Gao and X. Ji, "A novel IoT access architecture for vehicle monitoring system," 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Reston, VA, 2016, pp. 639-642.
- [30] "Windows.Devices Namespace - Windows UWP applications", Docs.microsoft.com, 2019. [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/uwp/api/windows.devices>. [Accessed: 01- Mar- 2019].
- [31] P. Gahlyan and S. Narayan Singh, "Analysis of Catalogue of GoF Software Design Patterns," 2018 8th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence), Noida, 2018, pp. 814-818.
- [32] "Windows.Devices Namespace - Windows UWP applications", Docs.microsoft.com, 2019. [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/uwp/api/windows.devices>. [Accessed: 15- Aug- 2019].
- [33] "Windows.Networking.Sockets Namespace - Windows UWP applications", Docs.microsoft.com, 2019. [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/uwp/api/windows.networking.sockets>. [Accessed: 15- Aug- 2019].
- [34] "Windows.Storage.Streams Namespace - Windows UWP applications", Docs.microsoft.com, 2019. [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/uwp/api/windows.storage.streams>. [Accessed: 15- Aug- 2019].