

***Industria 4.0* en el Grado de Ingeniería Electrónica y Automática.**

Carlos Catalán, Félix Serna
Dpto. de Informática e Ingeniería de Sistemas
Universidad de Zaragoza
E. U. Politécnica de Teruel
ccatalan, fserna@unizar.es

Alfonso Blesa
Dpto. de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones
Universidad de Zaragoza
E. U. Politécnica de Teruel
ablesa@unizar.es

Resumen

Recientemente ha surgido el término *Industria 4.0* aplicado a factorías que pretenden ser más ágiles y eficientes en sus procesos de manufactura. Esta agilidad y eficiencia es posible por el uso masivo de las tecnologías de la información y las comunicaciones. En este trabajo se analizan planes de estudio del Grado de Ingeniería Electrónica y Automática de varias universidades del estado, comprobando que estos titulados pueden no recibir los conocimientos en el ámbito de la informática necesarios para su desempeño profesional en esta nueva industria. Ante este hecho, se proponen algunos cambios en materias obligatorias y optativas en estos planes.

Abstract

The term *Industry 4.0* has recently emerged applied to factories that deal with more agile and efficient manufacturing processes. This agility and efficiency is possible by the widespread use of information and communications technologies. This paper analyses the curriculum of Electrical Engineering and Automation Degree at several universities in the state, proving that these graduates can not receive the necessary knowledge on computer science for their professional performance in this new industry. In view of this fact, some changes are proposed on both obligatory and optative subjects of these degrees.

Palabras clave

Industria 4.0, Internet of Things, Cyber Physical Systems, Cloud Manufacturing, Grado de Ingeniería Electrónica y Automática.

1. Motivación

La industria de manufactura está experimentando una rápida evolución (o revolución) hacia lo que algunos han denominado *Industria 4.0*¹ [1]. En este nuevo paradigma las factorías están altamente automatizadas e informatizadas, todos sus procesos se encuentran conectados e interactúan entre sí y con procesos externos.

En una factoría de este tipo, los elementos tradicionales conocidos por el ingeniero de control en un sistema de automatización y control; esto es, sistemas de instrumentación, PLCs (*Programmable Logic Controllers*, CNCs (*Computer Numerical Control*), robots, etc., se encuentran integrados en red dentro del sistema de información de la compañía. En esta red se generan grandes cantidades de datos que deben ser manipulados para convertirlos en información útil en cada uno de los diversos niveles del sistema de fabricación: máquina, celda de fabricación, línea de montaje, oficina técnica, gestión de producción, etc.

Como consecuencia, los sistemas y plataformas que soportan todos estos niveles deben ser cada vez más complejos. En las factorías de la *Industria 4.0* el ingeniero de control debe estar familiarizado con términos como *Computer Integrated Manufacturing (CIM)*, *Agile Manufacturing (AM)*, *Networked Manufacturing (NM)*, *Manufacturing Grid (MG)* o *Cloud Manufacturing*, entre otros [2].

El principal aspecto que caracteriza estos términos es el software, que toma una importancia todavía mayor de la que ya tiene en las factorías tradicionales. Algunas estimaciones [3] indican que si en la actualidad el peso del software en los costes de desarrollo es del 40 al 50 %, puede llegar a ser hasta del 80 % en estas nuevas factorías. Las mismas estimaciones indican que las tecnologías informáticas necesarias para estos desarrollos tienen que ver, entre otros, con: las metodologías de la ingeniería de software, el uso de componentes software, las redes de computadores o los nuevos estándares y sistemas abiertos de automatización.

¹<http://www.bmbf.de/de/9072.php>

Ante este escenario, es conveniente plantearse en qué medida estos conocimientos son impartidos en los actuales, y recientes, planes de estudio del Grado de Ingeniería Electrónica y Automática (GIEA), donde se forman los ingenieros que deben contribuir, en gran medida, al desarrollo de sistemas en las factorías de la *Industria 4.0*.

En este trabajo, se presenta un breve análisis de dichos planes de estudio para comprobar si la formación que reciben estos titulados es adecuada para responder a este nuevo escenario. En concreto, en la sección 2 se describen los retos a los que se enfrenta un ingeniero de control en una factoría con las características indicadas, y se propone un ejemplo que lo ilustra. En la sección 3 se analiza brevemente la carga docente asociada en los actuales grados, y en la sección 4 se realizan algunas propuestas de modificación en los planes de estudio. Por último, se destacan las conclusiones más relevantes del trabajo.

2. Retos para el ingeniero en electrónica y automática en la *Industria 4.0*

En la Figura 1 se representa un posible sistema de automatización y control distribuido en una factoría de la *Industria 4.0*. Diversos controladores conectados entre sí mediante una red de tiempo real, y a la vez conectados con una segunda red a aplicaciones locales y/o remotas de HMI (*Human Machine Interface*), SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), MES (*Manufacturing Execution System*), etc. Además, cada controlador tiene también su propia red de comunicación con sensores y actuadores (bus de campo). La complejidad del sistema se ve incrementada por otras características como la reconfigurabilidad, la portabilidad, la interoperabilidad, etc.

2.1. Automatización en la *Industria 4.0*

Existen tecnologías maduras para la automatización industrial como los PLCs y su estándar de programación IEC 61131. En la actualidad se reconoce que este estándar tiene carencias debidas a su antigüedad (está definido hace más de 20 años). Estas carencias indican que puede no ser adecuado para abordar las necesidades de los sistemas de automatización de las nuevas factorías [4]. Los paradigmas enunciados en el Apartado 1, por ejemplo, *Agile Manufacturing* introducen conceptos como la reconfiguración dinámica de los sistemas de fabricación, y en particular del software, un medio para adaptar la fabricación de manera muy rápida a cambios de producción. En este sentido, ha surgido un nuevo estándar para la programación de los siste-

mas de automatización, el IEC 61499 [5], cuya primera versión data de 2005 y la segunda de 2012. El estándar requiere que este ingeniero tenga conocimientos, entre otros, de modelado de sistemas con UML (*Unified Modeling Language*), uso de patrones de diseño, programación orientada a componentes y a eventos.

Otro aspecto a tener en cuenta radica en que las aplicaciones de control se han ejecutado, tradicionalmente, sobre plataformas propietarias (PLC o hardware específico), o sobre arquitecturas basadas en procesadores (o microcontroladores) dedicados. En la actualidad, se está produciendo una convergencia al uso de estándares y sistemas abiertos como arquitecturas PC y sistemas Linux, cuyo conocimiento interno también es requerido por este ingeniero.

Un ejemplo ilustrativo es un sistema de control de una máquina herramienta presentado en [6]. El controlador es un PC industrial con sistema operativo Linux y su extensión de tiempo real RTAI (*RealTime Application Interface for Linux*), conectado a I/O digitales, servomotores, etc. mediante un bus de campo EtherCAT (*Ethernet for Control of Automation Technology*)². Este bus de campo es un estándar abierto cada vez más usado, debido a la disminución de costes por el empleo de hardware *Ethernet commodity* (i.e. muy barato), al que se le añade software que implementa un protocolo específico de tiempo real. El *driver* Linux para la interfaz entre la aplicación de control indicada y el bus de campo ha sido desarrollado por un tercero, con licencia de software abierto.

El desarrollo de un sistema de este tipo, utilizando estándares y sistemas abiertos, implica que el ingeniero de control debe tener, entre otros, conocimientos de: sistemas de tiempo real, funcionamiento *kernel* de Linux, programación con *threads*, I/O Linux *drivers* o del protocolo *Ethernet*.

2.2. Conectividad en la *Industria 4.0*

Pero la revolución más importante se encuentra en la conectividad con sistemas de información propios y externos de la compañía. Los avances en las comunicaciones y la informática han permitido manejar grandes cantidades de datos desde y hacia los dispositivos, máquinas, celdas e incluso productos que utilizan, diseñan, fabrican y comercializan. Para poder manipular toda esta información han surgido tecnologías objeto de interés en el ámbito industrial y agrupadas en términos como *Big Data* [7], *Internet of Things (IoT)* [8], *Cyber Physical Systems*. Sistemas que permiten integrar capacidades computacionales y físicas en y para el mundo real [9]. El paradigma *Cloud Manufacturing* [2] contempla el uso de computación en red, las tecnologías orientadas a servicios y la *IoT* [10] para resolver,

²www.ethercat.org

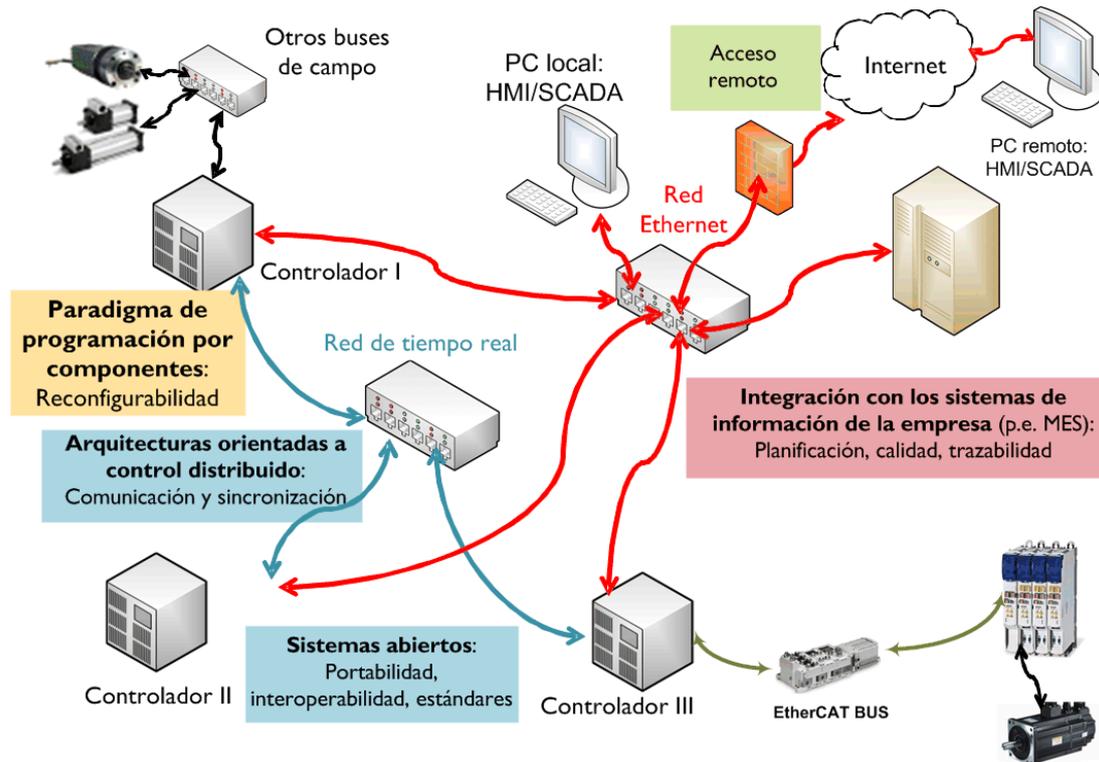


Figura 1: Sistema de automatización y control distribuido en una *Industria 4.0*

por ejemplo, cuellos de botella que surgen en los procesos de fabricación. La *Industria 4.0* se basa en estas tecnologías para permitir que objetos físicos (*things*) puedan cooperar y comunicarse con el fin de alcanzar objetivos comunes.

3. Planes de estudio

Los planes de estudio del Grado de Ingeniería Electrónica y Automática responden a las directivas definidas en las memorias de grado que cada universidad presenta. En la actualidad este grado se imparte en 43 centros universitarios, con una distribución de 60 créditos de formación básica, y el resto se distribuye en 140 créditos de formación obligatoria, en los que se incluyen los correspondientes a la formación común de la rama industrial y los contenidos de formación específicos; aquí también se incluyen los créditos dedicados a prácticas externas obligatorias, en el caso que estén previstos. Se suele disponer de 30 créditos para asignaturas optativas y 12 créditos asignados al proyecto fin de grado. Estos datos pueden variar ligeramente en función de cada Universidad.

Un sencillo análisis de la distribución de materias permite concluir lo siguiente:

- **Módulo de formación Básica:** Se suele distribuir en asignaturas cuatrimestrales de 6 créditos, en los cursos primero y segundo del grado. Además, la procedencia de los alumnos de nuevo ingreso suele ser múltiple (diferentes ramas de bachillerato, módulos de formación profesional), por lo que el nivel es muy dispar, lo que dificulta la labor del docente y el proceso de aprendizaje del alumno. En todos los casos analizados encontramos que se asignan 6 créditos a la materia de fundamentos de informática.
- **Módulo Común a la rama Industrial:** En este módulo se deben atender a múltiples disciplinas, dificultando el proceso de aprehensión de conocimientos. Encontramos que, en la mayoría de los centros analizados, apenas se puede dedicar una asignatura de 6 créditos a materias relacionadas con la automatización industrial.
- **Módulo de especialidad Electrónica y Automática:** De nuevo, encontramos que las asignaturas obligatorias en este módulo deben atender a múltiples disciplinas, en constante evolución. Según el plan de estudios se encuentran diferentes agrupaciones, pero podríamos destacar las siguientes: Electrónica, Automática, Informática Industrial, Robótica e Instrumentación. Estas asignaturas se suelen impartir, mayoritariamente, en el segundo semestre de segundo curso y tercer curso. Suelen

ser asignaturas de fundamentos tecnológicos (p.e. introducción a los microprocesadores), que asientan las bases de las materias que el futuro titulado va a necesitar en su desempeño profesional pero que, esencialmente por limitaciones temporales, no permiten abarcar en profundidad dichas materias.

- *Módulo de optatividad*: El alumno dispone apenas de un curso académico (incluyendo su Trabajo Fin de Grado) para conocer y utilizar tecnologías que deriven de las anteriores. El grado de libertad que tiene cada centro para organizar la optatividad es muy alto, por lo que es muy difícil encontrar patrones comunes a todas las titulaciones.

En este escenario y recordando que uno de los objetivos del grado es, con diferentes redacciones según las memorias, “Capacitar para diseñar sistemas de control y automatización industrial”, los planes de estudio atienden a este objetivo con varias estrategias.

- *Itinerarios formativos o menciones*: Con esta estrategia se disminuyen, en la medida de lo posible, los créditos asociados a las asignaturas obligatorias y se definen itinerarios formativos que buscan la especialización en ámbitos profesionales definidos. Estos itinerarios especializan al alumno en una rama a costa de tener sólo los conocimientos básicos en el resto.
- *Doble titulación*: El Grado de Ingeniería Electrónica y Automática se imparte junto con otro título de grado de Ingeniería Informática.
- *Máster de especialización*: A partir de la formación recibida en el grado, en el máster se complementa la formación del titulado. Encontramos como paradoja que determinados contenidos previstos en el grado y que no se pueden desarrollar, se encuentran de nuevo en másteres. En esta situación el grado pierde parcialmente el objetivo de “capacitar al titulado en la actividad profesional que le es propia”.

En la Figura 2 se muestra la disparidad de créditos, sobre todo optativos, asociados a automatización e informática industrial de once universidades que entendemos representativas en el conjunto del estado. El promedio de créditos obligatorios es 33.6, mientras que buscando el mejor de los casos (incluyendo optativas relacionadas) el promedio de créditos que puede cursar un alumno es de 53. Para el cómputo de estos créditos se han tenido en cuenta las materias descritas en el Cuadro 1.

En los planes de estudio se encuentran asignaturas clásicas, reconocidas y necesarias para la formación de este ingeniero. En el Cuadro 1 se compilan las materias que aparecen en el plan de estudios de este grado. No

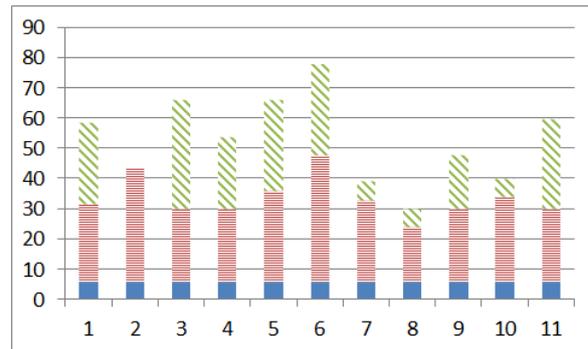


Figura 2: Créditos relacionados con *Industria 4.0* en varios centros universitarios. En azul-sólido los créditos de formación básica, en rojo-líneas-horizontales los créditos obligatorios del módulo común a la rama industrial y del módulo de la especialidad. En verde-líneas-diagonales se muestran los créditos optativos que el alumno podría cursar. La muestra se ha elegido con objeto de reflejar el global de las opciones que ofrecen las memorias de grado.

pretende ser una descripción exhaustiva de las materias, dada la dificultad de comparar planes de estudio, pero permite dar una idea bastante precisa de los contenidos asociados. Llama la atención el número mínimo de créditos de fundamentos informáticos, 6 créditos, en el plan de estudios ante una materia básica para estos titulados.

La Figura 3 nos da información del peso relativo que tiene esta formación (teniendo en cuenta los créditos totales o sólo los obligatorios y de formación básica) sobre el resto del grado. El valor promedio para los créditos obligatorios es del 14 %, mientras que el valor promedio para el mejor caso, incluyendo optatividad, es del 20 %. Atendiendo a esta gráfica no se puede afirmar que el peso relativo sea bajo. El resto de tecnologías se encuentran en una situación equivalente a la descrita en este trabajo. Es aceptado el poco tiempo que hay para aprender los conocimientos relacionados con todas las disciplinas incluidas en el grado.

Aceptando las limitaciones de este análisis debemos considerar que, en la actualidad, los titulados en el Grado de Ingeniería Electrónica y Automática tienen un conocimiento limitado en materias necesarias para la *Industria 4.0*, como la ingeniería de software, programación orientada a componentes, redes o arquitectura de computadores, sistemas operativos; entre otras. A continuación se presenta una propuesta para incorporar estos contenidos en los planes de estudio de dicho grado.

Asignatura	Tipología
Fundamentos de programación	Básica
Fundamentos de control	Común
Informática industrial	Especialidad
Microprocesadores	Especialidad
Automatización industrial	Especialidad
Optatividad	
Sistemas empotrados	Optativa
Comunicaciones industriales	Optativa
Sistemas de tiempo real	Optativa
Control por computador	Optativa

Cuadro 1: Materias relacionadas con *Industria 4.0*. “Básica”: materia de formación básica. “Común”: Materia o asignatura común a la rama industrial. “Especialidad”: materia, habitualmente obligatoria del grado de electrónica y automática industrial. “optativa” Materia que se encuentra habitualmente entre la oferta de optatividad de este grado.

4. Propuesta para *Industria 4.0* en el Grado de Ingeniería Electrónica y Automática

4.1. Módulo de especialidad

Aunque puede ser necesaria alguna nueva asignatura, especialmente deben actualizarse los contenidos de las existentes de forma que tengan en cuenta las necesidades indicadas anteriormente. Algunos ejemplos son:

- *Fundamentos de programación*. Los fundamentos de esta materia que estos titulados requieren difícilmente pueden impartirse en 6 créditos, es necesario incluir también conocimientos básicos de arquitectura de computadores y sistemas operativos.
- *Microprocesadores*: Las arquitecturas de 8 bits deben ser únicamente una plataforma para introducir al alumno en esta materia. En el catálogo actual de cualquier fabricante hay dispositivos de 16, 32 o incluso 64 bits; que soportan sistemas operativos como Linux y permiten la conexión a redes TCP/IP. En realidad, es necesario que el alumno deje de considerar en el componente microprocesador, y pase a pensar en el componente computador. Un claro ejemplo es la aparición de plataformas como Raspberry Pi ³, desarrollada precisamente para el ámbito docente. Su uso debe apoyarse en los conocimientos impartidos en los fundamentos de programación, arriba indicados.

³<http://www.raspberrypi.org/>

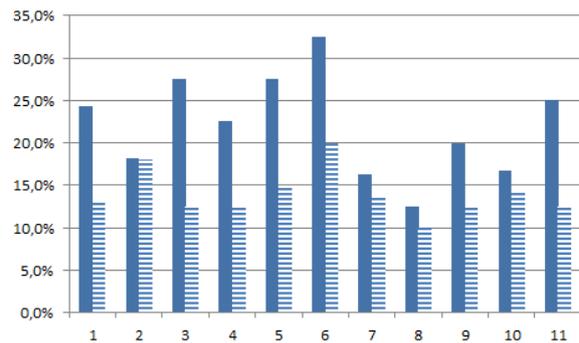


Figura 3: Peso relativo de créditos relacionados con automatización e informática con respecto al total de créditos del grado. Las barras sólidas contempla en mejor caso posible incluyendo asignaturas optativas. Las barras con trazo horizontal contemplan únicamente créditos obligatorios. De nuevo se han tomado los datos de varios centros universitarios que reflejan la mayoría de las situaciones del grado.

- *Comunicaciones industriales*: En este caso es necesario que, junto con los sistemas de comunicación industrial estándar clásicos (p.e. CAN, PROFIBUS), el alumno conozca los sistemas basados en estándares abiertos como el mencionado anteriormente EtherCAT.
- *Automatización y control*: Además de la tradicional programación de PLCs mediante IEC 61131 el alumno debe conocer nuevos estándares en este ámbito, como IEC 61499. Surgido para permitir el desarrollo de sistemas de automatización y control distribuidos y reconfigurables.

4.2. Materias optativas

Las asignaturas optativas son una buena opción para ofertar una formación introductoria a los futuros titulados en las materias de ámbito más informático que constituyen la base de las tecnologías utilizadas en la *Industria 4.0*, ejemplos de estas materias son:

- *Redes de computadores*. En particular, arquitectura de redes y protocolo TCP/IP.
- *Programación concurrente y de sistemas distribuidos de tiempo real*.
- *Programación orientada a objetos y a eventos, componentes software*.
- *Ingeniería de software*. Metodologías de análisis, diseño y pruebas de software; lenguaje UML.

Estos listados están lejos de ser exhaustivos. La decisión final de las materias susceptibles de ser incorporadas en el grado dependerá de otros factores (p.e. entorno económico-industrial del centro, estructura departamental, etc.), pero se consideran un mínimo co-

mún denominador para la formación del futuro titulado de este grado.

5. Conclusiones

Al igual que en otros campos, la industria de manufactura está experimentando grandes cambios derivados del uso masivo de las tecnologías de la información y las comunicaciones. Estas tecnologías se agrupan en términos como *Big Data*, *Internet of Things*, etc.

Aplicadas a esta industria dichas tecnologías han hecho surgir, entre otros, los paradigmas *Agile Manufacturing* o *Cloud Manufacturing*; agrupados en lo que se denomina *Industria 4.0*. Este es el escenario donde los titulados del Grado de Ingeniería Electrónica y Automática van a desempeñar su profesión los próximos años. En este trabajo se han analizado un conjunto de planes de estudio actuales de este grado en diferentes universidades, comprobando que estos titulados no adquieren los conocimientos informáticos requeridos por esta nueva industria.

Como consecuencia, creemos que deben hacerse algunos cambios en las materias obligatorias y optativas de este grado, encaminados a dar una adecuada respuesta al escenario planteado. Sin duda, esta propuesta puede ser difícil de llevar a cabo, más todavía ante un previsible cambio en la duración de los grados.

Este trabajo, entonces, pretende poner el foco en un debate que los actuales y futuros sistemas de automatización y control van a imponer en la actividad docente de nuestras escuelas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente mediante el contrato OTRI 0079/2013 y por la Fundación Universitaria Antonio Gargallo en el Proyecto 2013/B009.

Referencias

[1] H. Kagermann, W. D. Lukas y W. Wahlster. *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolu-*

tion. *VDI Nachrichten*. Abr. de 2011. URL: <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-InternetDinge-Weg-4-industriellen-Revolution>.

- [2] Lin Zhang y col. «Cloud manufacturing: a new manufacturing paradigm». En: *Enterprise Information Systems* 8.2 (2014), págs. 167-187.
- [3] T. Strasser, C. Sunder y A. Valentini. «Model-driven embedded systems design environment for the industrial automation sector». En: *Industrial Informatics, 2008. INDIN 2008. 6th IEEE International Conference on*. 2008, págs. 1120-1125.
- [4] A. Zoitl y V. Vyatkin. «Face to Face: IEC 61499 Architecture for Distributed Automation: The Glass Half Full View?». En: *IEEE Industrial Electronics Magazine* (2009).
- [5] IEC. *Function blocks Part 1: Architecture IEC 61499-1. 2.0*. International Electrotechnical Commission. 2005.
- [6] A. Blesa y col. «Integrating EtherCAT fieldbus on function blocks based automation applications». En: vol. IEEE Int. Conf. on Industrial Technologies. 2015.
- [7] Hung-An Kao Jay Lee Behrad Bagheri. «Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in Industrial Informatics». En: *Proceeding of Int. Conference on Industrial Informatics*. 2014.
- [8] R. van Kranenburg. «The Internet of Things: A Critique of Ambient Technology and the All-Seeing Network of RFID». En: ed. por Institute of Network Cultures. 2007.
- [9] Rui Tan y col. «Adaptive Calibration for Fusion-based Cyber-physical Systems». En: *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.* 11.4 (ene. de 2013), 80:1-80:25. DOI: 10.1145/2362336.2362347.
- [10] Shancang Li Li Da Xu Wu He. «Internet of Things in Industries: A Survey». En: *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 10.4 (nov. de 2014), págs. 2233-2243.