

# Implementation of RFID Middleware Based on Client-Multiserver Architecture for Traceability of Autoparts

D. Henao-Jaramillo, D. Montoya-Tamayo, Y. Álvarez-Ríos, and V. Aristizabal-Tique

**Abstract**—The implementation of RFID systems allows automation of information flow along the production chains. This is a desirable condition for increasing efficiency, productivity and management, and it simplifies other activities such as traceability records along these supply and production chains, especially in the automobile assembly supply chain as in the case of Renault-SOFASA-Colombia, where the traceability of automotive parts is realized manually by means of mobile terminals, which is time consuming and laborious, with low automotive parts rate and high error rate. In this work, a RFID solution for the traceability of automotive parts in real time in Renault-SOFASA-Colombia is implemented, where a middleware under client-multiserver architecture for Siemens readers is developed. The terminal, where the middleware is located, behaves like a client and links to several RFID readers which behave like servers, forming a star type network topology. This architecture allows a cost reduction in the implementation and operation of RFID solutions by reducing hardware acquisition and energy consumption, being an alternative that can compete with the solution provided by a manufacturer as Siemens without neglecting the robustness and the proper functioning of the system. Moreover, the proposed solution concentrates all the maintenance efforts of the system at a single point, which is due to the fact that a terminal attends all RFID portals. The tests performed, where the transport carts with the automotive parts and their respective RFID tags are passed through the RFID portals of the assembly plant, are in agreement with the results reported by the developed middleware.

**Index Terms**—RFID, Middleware, Radio Frequency Identification, Object Identification, Production Line.

## I. INTRODUCCIÓN

En Renault-SOFASA-Colombia, quien es una empresa ensambladora de automóviles, existen procesos de suministro de materiales que contemplan operaciones de notificación en el sistema ERP SAP R/3® que informan el estado de suministro de un material.

D. Henao-Jaramillo y D. A. Montoya-Tamayo son de JDL-SOLUTIONS S.A.S., Medellín, Colombia (e-mail: daniel.montoya@jdl-solutions.co; daniel.montoyat@campusucc.edu.co).

Y. Álvarez-Ríos es de la Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín, Colombia (e-mail: yolandaalvarez@itm.edu.co).

V. H. Aristizabal-Tique es de la Facultad de Ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia (UCC), A.A. 50630 Medellín, Colombia (e-mail: vharisti@yahoo.com.co; victor.aristizabalt@campusucc.edu.co).

Estas operaciones, llamadas puntos de operación, se realizan manualmente en terminales móviles o pockets y dependen completamente del seguimiento del estándar por parte de quienes ejecutan la tarea. En la Fig. 3 se puede observar que la flecha naranja, que se marca entre el PIP (Parque Industrial de Proveedores) y la línea de producción, es una posible trayectoria que siguen las autopartes y pasa por las puertas A y B donde se ubican los puntos de operación, los cuales son zonas de parada en la línea de suministro donde se pierde tiempo debido a que la notificación se hace de forma manual.

LA tecnología de identificación por radiofrecuencia, también conocida como RFID (Radio Frequency Identification), es una tecnología de identificación automática de objetos y colección de datos [1]. Entre las ventajas que ofrece esta tecnología se destacan el incremento en la eficiencia de identificación y en la velocidad de procesamiento de los datos, por consiguiente, estas ventajas tienen una incidencia directa en la disminución de los errores humanos y costos laborales volviendo más rápida, eficiente y precisa la trazabilidad de procesos al interior de una organización [2]–[4]. Debido a las ventajas mencionadas anteriormente, esta tecnología se ha venido implementando frecuentemente en campos industriales y de servicio como la medicina [5], la farmacéutica [6], la construcción [7], la de petróleo y gas [8], la minería subterránea [9], la industria automotriz [10], la industria de alimentos y de carga [11], [12], el control de inventarios [13]–[15], la toma de decisiones [16], la trazabilidad de productos u objetos como el de equipaje en aeropuertos [17], [18], los libros en las bibliotecas [19], los equipos en laboratorios [20], entre otros. Además, debido a la implementación masiva de sistemas RFID en los diferentes ámbitos, es necesario mejorar continuamente su seguridad [21]–[23].

Un sistema RFID convencional está compuesto básicamente por cuatro elementos: las etiquetas RFID (también conocidas como transponders o tags), los portales de lectura/escritura (lector RFID + Antenas), el middleware RFID [2], [24], [25] y la aplicación, tal como se muestra en la Fig. 1. Una etiqueta RFID, generalmente está provista de un microchip conectado a una antena para recibir y emitir información al portal. Hay dos tipos de etiquetas, las activas y las pasivas. Las etiquetas activas tienen su propia fuente de

alimentación, lo que les permite transmitir señales de radiofrecuencia, mientras que las etiquetas pasivas solo se activan si están dentro del rango de acción del portal de lectura/escritura y son alimentadas por el campo de ondas de radio que emite dicho portal. Usualmente estas etiquetas son pequeñas y delgadas, posibilitando que sean adheridas o incorporadas a un producto, un animal o una persona para su rastreo. Un portal de lectura/escritura está compuesto por un lector RFID que se conecta a unas antenas para recibir y emitir datos a las etiquetas RFID, mediante ondas de radio. Un middleware RFID es un tipo de software alojado en el sistema operativo de un computador o terminal, y su función principal es la comunicación, el manejo y la recolección de datos entre las etiquetas RFID y el portal de lectura/escritura, para posteriormente ser enviados, almacenados permanentemente y tratados por diferentes aplicaciones empresariales, como podría ser el caso de un ERP (Enterprise Resource Planning) corporativo.

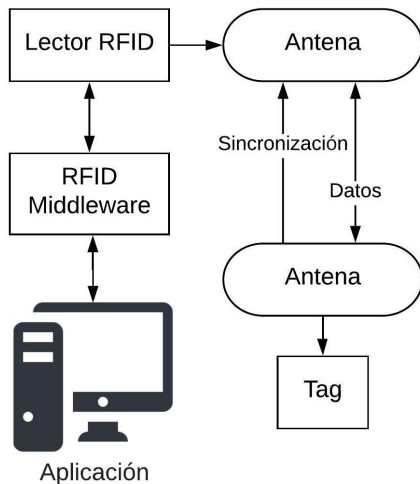


Fig. 1. Estructura de RFID convencional [1].

Usualmente las operaciones entre las etiquetas y los lectores RFID son bastante simples, mientras que los procedimientos más complejos son implementados en sistemas back-end [26], entre los cuales se encuentra el middleware RFID.

Además, se puede ver una solución típica que ofrecería un fabricante (como Siemens) que utiliza la arquitectura dada en la Fig. 2, donde se muestra que para implementar la solución RFID utilizando los componentes que ofrece el fabricante, la solución aumenta considerablemente su costo debido a que se tiene que adquirir un PLC (Programmable Logic Controller), un OPC (Object Linking and Embedding for Process Control) y un MES (Manufacturing Execution System) para escalar los datos al ERP.

Por lo general en un sistema de RFID convencional, como el que se muestra en la Fig. 1, cada lector RFID necesita de un terminal con su respectivo middleware, siendo la solución de la Fig. 1 más flexible y económica que la de la Fig. 2 debido a que no depende exclusivamente de un fabricante, dejando así

en evidencia, en una primera instancia, la necesidad de desarrollar middlewares ajustados a las necesidades particulares de la aplicación.

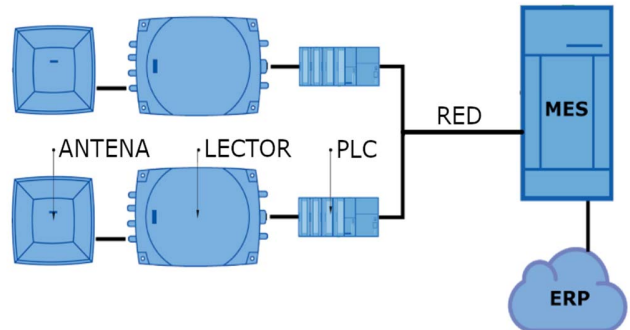


Fig. 2. Estructura RFID ofrecida por un fabricante como Siemens.

En este trabajo se desarrolla un middleware RFID basado en el sistema de RFID convencional de la Fig. 1, pero aquí en vez de un terminal con su respectivo middleware por cada lector RFID, se implementa una arquitectura cliente-multiservidor en una topología de red tipo estrella, donde los lectores RFID se comportan como servidores a la espera de peticiones TCP/IP por parte del middleware, de modo que el middleware actúa como cliente, teniendo una solución más flexible y económica que la de la Fig. 2 debido a que no depende exclusivamente de un fabricante. Además, los módulos que se muestran en la Fig. 3 son estrechos y que al ser los espacios físicos disponibles que tienen Renault-SOFASA-Colombia para la instalación de los puntos de notificación manejados por sistemas RFID, se dificulta utilizar las estructuras mostradas en las Figs. 1 y 2 debido a que se necesitaría un equipo terminal o un PLC por cada portal, reforzando aún más, la pertinencia de la propuesta que se plantea en este documento.

Este artículo se encuentra estructurado de la siguiente forma. En la sección II, se hace una descripción de la plataforma propuesta donde se presenta el hardware empleado y el middleware RFID desarrollado. En la sección III, se muestran los resultados obtenidos en varias pruebas. Finalmente, en la sección IV se presenta las principales conclusiones y perspectiva.

II. SISTEMA DESARROLLADO

Los puntos de notificación donde se instalan los portales de lectura RFID son mostrados en la Fig. 3. Allí, se puede ver una flecha naranja entre el PIP y la línea de producción, la cual indica una posible trayectoria de las piezas identificadas por etiquetas RFID que serán leídas por los portales y posteriormente notificadas al ERP.

En este trabajo, se implementa la arquitectura cliente-multiservidor donde el terminal, en el cual se aloja la aplicación middleware, se conecta a varios lectores que actúan como servidores, dispuestos en relación uno a varios (topología tipo estrella) tal como se muestra en la Fig. 4.

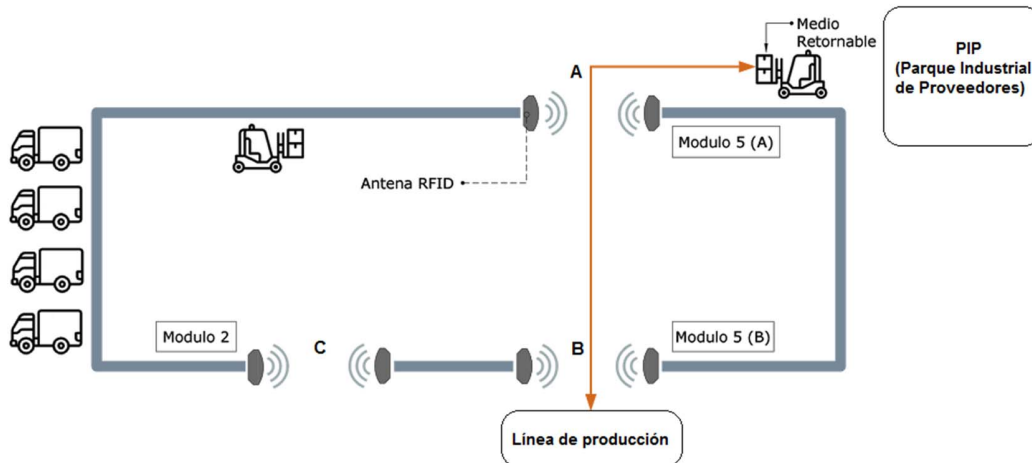


Fig. 3. Línea de proceso y ubicación de los portales RFID en los módulos del proceso. Cada módulo tiene ubicado un portal de RFID.

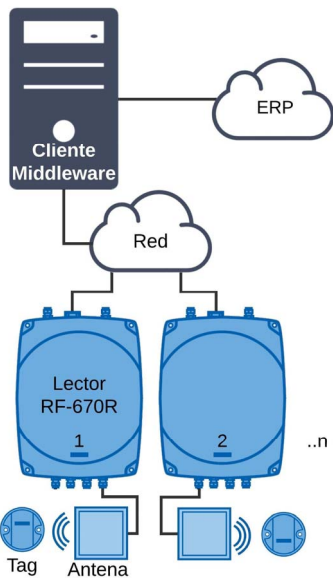


Fig. 4. Arquitectura Cliente-Multiservidor propuesta en este trabajo.

Una de las razones principales para proponer este tipo de solución se debe a que los lectores RF670R de Siemens, con los cuales cuenta Renault-SOFASA-Colombia, necesitan recibir peticiones bajo comunicación Ethernet TCP/IP para enviar la información almacenada que tienen el dispositivo de las etiquetas RFID que ha leído, comportándose de esta manera como servidores y el middleware como cliente.

**A. Hardware Empleado**

Para la implementación del middleware RFID, se requiere de la puesta a punto de la arquitectura cliente- multiservidor en una topología de red tipo estrella. Se dispone de un terminal físico en el que se instala el middleware RFID, un router Scalance W780, tres lectores RF670R, tres antenas Simatic-RF660A y varias etiquetas Simatic RF-620T y RF-640T.

Se utiliza un portal de lectura/escritura tal como se muestra en la Fig. 5, donde solo se pueden observar las antenas RF660A porque el lector RFID RF670R está detrás de la pared en el RAC de comunicaciones. Se asigna una dirección IP, un

nombre de lector, una potencia y un puerto habilitado para cada lector mediante la interfaz de configuración Simatic RF-Manager RF670R. En la Fig. 6 se observan las etiquetas posicionadas en los transportadores que pasarán por los portales de lectura.



Fig. 5. Antenas Simatic-RF660A en el portal de lectura RFID.



Fig. 6. Etiquetas RF620T reutilizables ubicadas en los transportadores de piezas y señaladas por el rectángulo rojo.

### B. Middleware Desarrollado

El middleware propuesto garantiza que los procesos de ingreso y notificación de materiales sean acordes al momento en que se realiza la operación físicamente, alineando así la información suministrada por la operación. Este proceso deberá realizarse de forma automática en el momento en que los materiales identificados con las etiquetas RFID pasen por los portales. Este middleware cuenta con las capas necesarias para su buen funcionamiento: Una capa de manejo de información, una capa de notificación y consumo de web-services, una capa de filtro de información y una capa de comunicación con los dispositivos externos, en este caso los lectores RFID. Algunos autores llaman esta última capa como “adaptador de lector”, en la cual se pueden adaptar lectores de diferentes fabricantes y utilizar las demás funcionalidades del middleware normalmente [2].

Se implementa la arquitectura cliente-multiservidor, similar a la arquitectura de un sistema multi-heterogéneo [27], pero no orientado a servicios web SOAP (Simple Object Access Protocol) [28], en su lugar, el middleware consume recursos web-service vía REST (Representational State Transfer) [29] y ejecuta todas las operaciones del cliente. Entonces, los lectores RFID se comportan como servidores a la espera de peticiones TCP/IP por parte del middleware, de modo que el middleware actúa como cliente. Además, esta arquitectura ofrece varios beneficios: la centralización de operaciones a nivel del cliente y la reducción de costos asociados a la disminución de hardware.

Uno de los principales aspectos de la estructura convencional del sistema RFID es la limitación de poder manejar múltiples lectores [30]. Se han investigado formas y desarrollado algoritmos que permiten la detección y el manejo de arquitecturas que soporten múltiples lectores que trabajan como “servidores”, enviando comandos de prueba y recibiendo la respuesta de dicho lector como lo muestra el trabajo de Hashim et al. [10]. Sin embargo, los dispositivos expuestos en su trabajo, se comunicaban por protocolos seriales RS232, mientras los expuestos en este trabajo, son bajo comunicación Ethernet TCP/IP.

Un middleware, en la mayoría de los casos está alojado en un computador o terminal dentro de una red corporativa, pero en algunas aplicaciones se proponen soluciones utilizando un middleware embebido, y se define como un tipo de software alojado en el sistema operativo de un dispositivo embebido que permite usar las funciones básicas y servicios ofrecidos por dicho dispositivo, permitiendo comunicación con las aplicaciones de más alto nivel como un ERP corporativo [31]. Sin embargo, este tipo de soluciones usualmente implican un presupuesto mucho más alto y desafíos como los problemas de infraestructura de red, espacio y consumo de energía, entre otros.

El middleware (cliente) desarrollado en este trabajo, es capaz de soportar varios portales de lectura/escritura RFID (servidores) instalados, contando solo con un terminal físico en el cual está alojado el software, reduciendo así, los costos de la solución en cuanto a equipos adicionales, tiempo y espacio

utilizados, teniendo en cuenta como limitante, solamente la capacidad física del terminal en el cual está instalado el software.

#### 1) Recursos de software

El desarrollo del middleware se realiza bajo el lenguaje de programación Java, mediante el API JAVA SE Development kit 8 y el ambiente de ejecución para java JRE 8. Se emplea el modelo arquitectural cliente/servidor, el patrón de diseño por factorías y los patrones elementales (idioms): modularidad, interfaces mínimas, encapsulamiento, acción-evento y concurrencia. Se requirieron las interfaces de programación de aplicaciones (APIs) detalladas en la Tabla I.

TABLA I  
INTERFACES DE PROGRAMACIÓN (APIs)

Capa	API
Persistencia de datos.	Hibernate ORM 4.3
Interfaz de usuario.	Java Swing
Reflexión de clases y objetos en tiempo de ejecución.	Reflection.
Manejo de hilos.	Java Threads.
Conexiones mediante sockets.	Java Net.

En principio, la elección de Java para el caso Renault-SOFASA-Colombia obedece principalmente a que solo se contaba al momento del desarrollo de este trabajo, homologadas desde Renault-Francia, con las tecnologías .NET (C#) y Java como tecnologías base a usar en sus servidores. Además, Java es multiplataforma, relativamente fácil de aprender, de código robusto, orientada a objetos, gran funcionalidad de base y mucho código Open Source debido a que tiene una comunidad mundial enorme y muy activa, aparte de la gran demanda existente en empresas e instituciones.

Otra razón, es que para el caso específico del lector RFID de este trabajo, se tenía la posibilidad de integrar el tratamiento de datos adquiridos en la capa de adquisición de RFID por medio de un API XML, lo cual es más fácil de integrar y manejar utilizando un lenguaje de alto nivel como este, de lo contrario, de usar un lenguaje como C++ o C, se estaría obligado a utilizar más tiempo de ingeniería en el diseño, incluso, ser cuidadosos en el mismo uso de los recursos del servidor, al tener que estar alertas con la liberación de memoria y demás factores técnicos que involucran usar lenguajes de más bajo nivel.

#### 2) Arquitectura cliente-multiservidor

Se implementa la arquitectura cliente-multiservidor donde el terminal, en el cual se aloja la aplicación middleware se conecta a varios lectores que actúan como servidores, dispuestos en relación uno a muchos, es decir, es una topología tipo estrella tal como se muestra en la Fig. 4.

La aplicación cliente (middleware) realiza peticiones (bajo el protocolo TCP/IP) de lectura o escritura de etiquetas a los lectores conectados al middleware, quienes retornan respuestas al middleware en formato XML (*eXtensible Markup Language*) con el formato EPC (*Electronic Product Code*) global. Cada lector tiene asociado un rol que puede ser de

lectura o escritura, las peticiones de lectura desde el cliente se realizan de manera discreta en un intervalo de tiempo predefinido (heart beat), mientras permanece conectado vía socket TCP/IP de modo que cada lector puede operar con un rol (lectura/escritura) diferente y en paralelo.

El middleware puede controlar  $n$  conexiones con los diferentes lectores, tantos como el hardware lo permita. En este caso se conectan un máximo de tres lectores realizando operaciones de lectura y escritura simultáneamente. A cada lector se le asigna una IP, un nickname y un rol (escritura/lectura), de modo que permita crear una nueva conexión middleware-lector.

### 3) Patrón de diseño multihilo

Cada lector tiene asociado un hilo de ejecución en la aplicación cliente (middleware), así que cada vez que se establece una conexión a un lector, también se crea un nuevo hilo (thread) de ejecución asociado, lo cual permite el manejo y gestión de varias conexiones a lectores de manera paralela mediante componentes lógicos (ver Fig. 7), es decir, los procesos de lectura y escritura se realizan de forma paralela, de esta forma las antenas pueden continuar su proceso normal de lectura, además de notificar la información sin riesgo de colisión o duplicidad de información, permitiendo un mayor control, lo que es una característica típica en sistemas multihilo.

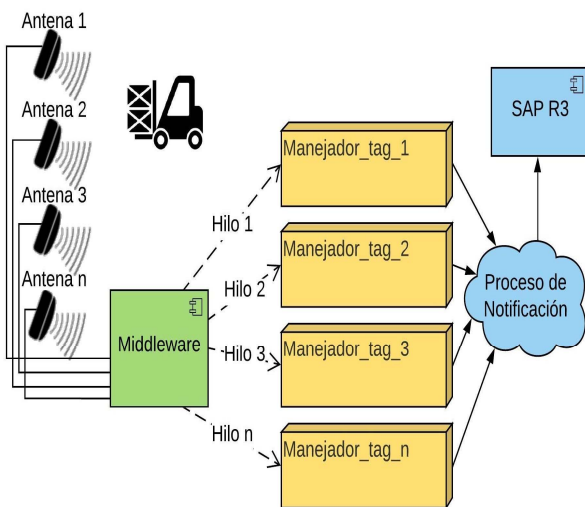


Fig. 7. Hilos creados en el middleware asociados a cada lector.

El patrón de diseño multihilo (multithread) permite el funcionamiento de varios componentes lógicos de tipo cliente de manera paralela, que emplean varias conexiones bajo el patrón arquitectural cliente-servidor. Por cada nuevo hilo se establece una nueva conexión socket cliente.

En términos generales se, estableció un hilo por cada lector conectado al middleware, en este caso se crearon un máximo de tres hilos para los tres lectores correspondientes.

## III. RESULTADOS

En la Tabla II se muestra una comparación económica y de

consumo de energía para las tres estructuras RFID tratadas en el documento: La típica propuesta por el fabricante Siemens (ver Fig 2), la convencional (ver Fig. 1) y la cliente-multiservidor (ver Fig. 4). Allí se puede observar que el costo de la arquitectura ofrecida por Siemens supera en más del doble a las otras dos opciones. Además, la arquitectura cliente-multiservidor consume menos energía que las demás y se va abaratando a medida que se conectan más lectores porque no hay necesidad de adquirir más licencias, ni terminales o PLC.

Se realizan varias pruebas experimentales que consisten en pasar los transportadores de autopartes, con sus respectivas etiquetas RFID, por los portales de lectura ubicados en la planta de Renault-SOFASA-Colombia, que se muestran en la Fig. 3. Los resultados obtenidos en la Fig. 8 son visualizados prácticamente en tiempo real y están de acuerdo con las pruebas experimentales realizadas.

Los portales 1, 2 y 3 de la Fig. 8 corresponden a los Módulos 5 (A), 5 (B) y 2 de la Fig. 3, respectivamente. En la Fig. 8, también se puede observar que el campo "Centro" reconoce cual es el portal que realiza la lectura y asocia la información de la etiqueta en la tabla, mostrando que la notificación de la información no presenta errores debido a la colisión de información, duplicidad u otro error porque los resultados obtenidos están de acuerdo con las pruebas realizadas, validando así, el correcto funcionamiento y confiabilidad del middleware desarrollado.

Finalmente, esta información es subida al ERP empresarial, en este caso SAP ®, donde es procesada por los analistas del sistema.

## IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se propone una solución RFID para la trazabilidad en tiempo real de autopartes en una empresa ensambladora de automóviles, donde se desarrolla un middleware basado en la arquitectura cliente-multiservidor para portales de lectura/escritura que usen equipos Siemens. Esta arquitectura tiene como ventaja principal la reducción de costos de implementación y operación de una solución RFID, debido a que disminuye la adquisición de hardware y utilización de recursos físicos, sin descuidar la robustez y el correcto funcionamiento del sistema.

Se puede observar que el costo de la solución RFID basada en la arquitectura propuesta en este documento, es menos de la mitad que la ofrecida por Siemens, al mismo tiempo que consume menos energía. Más aún, la arquitectura cliente-multiservidor se va abaratando mucha más a medida que se conectan más portales de lectura RFID porque no hay necesidad de adquirir más licencias, ni terminales o PLC.

Finalmente, la arquitectura planteada aquí logra concentrar todos los esfuerzos de mantenimiento del sistema en un solo punto, debido a que solo hay un terminal que atiende todos los portales de lectura/escritura, evitando así múltiples instalaciones de hardware/software y reduciendo el tiempo en desplazamientos físicos y esfuerzos de mantenimiento del sistema general.

TABLA II  
COMPARACIÓN ECONÓMICA Y ENERGÉTICA DE LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS RFID

Componente	Arquitectura Fabricante (Siemens)	Arquitectura convencional	Arquitectura Cliente-Multiservidor	Valor SCOP	Datos eléctricos	Consumo Energía max kWh*
Lector RF670R x portal	SI	SI	SI	\$ 9,000,000	DC 24V - Consumo típico 0.5A, max 2A	0.384
Antena RF660A	SI	SI	SI	\$ 6,000,000	I.N.D.	I.N.D.
Cables (4)	SI	SI	SI	\$ 1,750,000	I.N.D.	I.N.D.
Fuente portal RFID	SI	SI	SI	\$ 1,200,000	Tensión de salida / con DC / valor nominal 24 V /salida: 3A	0.576
ASM 456 (módulo de comunicación)	SI	NO	NO	\$ 3,900,000	DC 24V - Consumo típico 0,08A, max 0,85A	0.1632
PLC S7-1200 CPU 1214C	SI	NO	NO	\$ 1,400,000	DC 24V - Consumo típico 500 mA, max 1500 mA	0.288
Cables PLC	SI	NO	NO	\$ 600,000	I.N.D.	I.N.D.
PC x Portal RFID	NO	SI	NO	\$ 2,500,000	100 W	0.8
Licencia Middleware x PC	NO	SI	NO	\$ 8,000,000	I.N.D.	I.N.D.
Licencia SCADA WINCC	SI	NO	NO	\$ 22,000,000	I.N.D.	I.N.D.
Licencia Middleware Servidor**	NO	NO	SI	\$ 16,000,000	I.N.D.	I.N.D.
Sistema MES	SI	NO	NO	\$ 50,000,000	I.N.D.	I.N.D.
Servidor	SI	SI	SI	\$ 7,000,000	200 W	1.6
<b>Costo \$COP</b>	<b>\$ 102,850,000</b>	<b>\$ 35,450,000</b>	<b>\$ 40,950,000</b>			
<b>Consumo energía kWh*</b>	<b>3.01</b>	<b>3.36</b>	<b>2.56</b>			

I.N.D.=Información No Disponible, \*los consumos son para una jornada de 8 horas, \*\*con una licencia se manejan varios Lectores

TAG_ID	Proveedor	Pedido	Posicion	Centro	Referencia	Descripcion	Cantidad	Ran	Fecha_Escritura	Secuencia
0BAB0D74FC34...	890906197	1	1	Portal1	8200814411	MM	55	2	2015-08-12 16:...	1
FC2D7B30661C...	890906197	7	7	Portal2	8200814411	MM	55	56	2015-08-12 16:...	2
ECEB55FAAE66...	890906197	9	8	Portal2	8200814411	MM	55	5678	2015-08-12 16:...	3
17ACEEB04E2E9...	890906197	2	2	Portal3	8200814411R	MM	2	34	2015-08-12 16:...	4
8172E353469E9...	890906197	3	3	Portal1	8200814412	MM	3	45	2015-08-12 16:...	5
92B62CC039C9...	890906197	4	4	Portal1	545011697R	MM	2	76	2015-08-12 16:...	6
457E8D755BC70...	890906197	5	5	Portal3	545011697	MM	3	89	2015-08-12 16:...	7
5FE5904A85AF...	890906197	5	6	Portal1	545011697U	MM	1	85	2015-08-12 16:...	8

Fig. 8. Pantallazo que muestra la información reflejada en tabla SQL después de la lectura de las etiquetas en los diferentes portales. La columna cantidad representa la cantidad de piezas que un solo TAG\_ID representa para procesarlas en su lectura.

Como trabajo futuro, se espera ampliar el middleware e integrar dispositivos RFID de otros fabricantes diferentes a Siemens, a la solución RFID propuesta en este trabajo para el trazado de autopartes en una línea de producción de una fábrica de ensamble de automóviles, como es el caso de Renault-SOFASA-Colombia.

AGRADECIMIENTOS

V.H. Aristizabal-Tique agradece el apoyo parcial de la Universidad Cooperativa de Colombia mediante el proyecto INV1529.

REFERENCIAS

[1] Z. Mingxiu, F. Chunchang, and Y. Minggen, "The Application used RFID in Third Party Logistics," *Phys. Procedia*, vol. 25, pp. 2045–2049,

2012.  
 [2] A. Prakasam, P. Renold, and B. Venkatalakshmi, "Architecting Reader Adapter in RFID Systems," in *International Conference on Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM)*, 2012, pp. 423–425.  
 [3] C. C. Song, Y. C. Hsu, C. C. Cheng, H. L. Ke, and D. C. Liaw, "Study and implementation of a networking information platform for RFID system," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2008, pp. 1–6.  
 [4] O. Gogliano and C. Eduardo Cugnasca, "An Overview Of The EPCglobal Network," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 11, no. 4, pp. 1053–1059, Jun. 2013.  
 [5] M. Gaynor, "Design Framework for Sensors and RFID Tags with Healthcare Applications," *Heal. Policy Technol.*, Jul. 2016.  
 [6] M. Chamekh, S. El Asmi, M. Hamdi, and T. H. Kim, "Context aware middleware for RFID based pharmaceutical supply chain," in *2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC 2017*, 2017, pp. 1915–1920.  
 [7] A. Montaser and O. Moselhi, "RFID indoor location identification for construction projects," *Autom. Constr.*, vol. 39, pp. 167–179, Apr. 2014.  
 [8] F. Badalotti Brandao et al., "RFID Technology as a Life Cycle

- Management Tool in the Liquefied Petroleum Gas Industry," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, no. 2, pp. 391–397, 2018.
- [9] J. P. Ferreira Centeno, V. F. Navarro Torres, and L. Silveira, "Tecnología de Identificación por Radio Frecuencia (RFID) aplicada en minería subterránea," *Rev. medio Ambient. Min. y minería*, no. 5, pp. 59–67, 2018.
- [10] S. Z. M. Hashim, Mardiyono, W. M. Nasir, W. Kadir, and N. Anuar, "Multi readers detection in adaptive RFID middleware," in *Proc. 9th ACIS Int. Conf. Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, SNPDP 2008 and 2nd Int. Workshop on Advanced Internet Technology and Applications*, 2008, vol. 34, no. 3, pp. 858–863.
- [11] D. Tanner, "Applications for RFID Technologies in the Food Supply Chain," in *Reference Module in Food Science*, Elsevier, 2016.
- [12] A. G. Foina, F. J. Ramirez-Fernandez, and S. E. Barbin, "An RFID bulk cargo supervising system," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 7, no. 6, pp. 688–693, 2009.
- [13] T.-J. Fan, X.-Y. Chang, C.-H. Gu, J.-J. Yi, and S. Deng, "Benefits of RFID technology for reducing inventory shrinkage," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 147, pp. 659–665, Jan. 2014.
- [14] H. Liu, Z. Yao, L. Zeng, and J. Luan, "An RFID and sensor technology-based warehouse center: assessment of new model on a superstore in China," *Assem. Autom.*, vol. 39, no. 1, pp. 86–100, Feb. 2019.
- [15] S.-L. Peng, C.-J. Liu, J. He, H.-N. Yu, and F. Li, "Optimization RFID-enabled Retail Store Management with Complex Event Processing," *Int. J. Autom. Comput.*, vol. 16, no. 1, pp. 52–64, Feb. 2019.
- [16] H.-L. Chan, "Using radiofrequency identification (RFID) technologies to improve decision-making in apparel supply chains," in *Information Systems for the Fashion and Apparel Industry*, Elsevier, 2016, pp. 41–62.
- [17] H. Baskoro, H. Prabowo, A. Trisetiyarso, Meyliana, and A. N. Hidayanto, "Design considerations of RFID based baggage handling system, a literature review," in *2017 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, 2017, pp. 210–214.
- [18] Y. Rouchdi, A. Haibi, K. El Yassini, M. Boulmalf, and K. Oufaska, "RFID Application to Airport Luggage Tracking as a Green Logistics Approach," in *2018 IEEE 5th International Congress on Information Science and Technology (CiSt)*, 2018, pp. 642–649.
- [19] J. F. Zhang and C. J. Wen, "The university library management system based on radio frequency identification," in *2017 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)*, 2017, pp. 1–6.
- [20] X.-X. Liao, S.-L. Sun, G. Jin, H.-F. Yang, and P.-Y. Lv, "Design and implementation of intelligent equipment information management system for aerospace laboratory," in *2017 3rd International Conference on Information Management (ICIM)*, 2017, pp. 232–237.
- [21] H. Xu, X. Chen, P. Li, J. Ding, and C. Eghan, "A Novel RFID Data Management Model Based on Quantum Cryptography," in *Third International Congress on Information and Communication Technology*, 2019, pp. 437–445.
- [22] K. Zang, H. Xu, F. Zhu, and P. Li, "Analysis and Design of Group RFID Tag Security Authentication Protocol," in *Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems*, 2019, pp. 637–645.
- [23] A. Cherif, M. Belkadi, and D. Sauveron, "A Lightweight and Secure Data Collection Serverless Protocol Demonstrated in an Active RFIDs Scenario," *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.*, vol. 18, no. 3, pp. 1–27, Apr. 2019.
- [24] T. Bouhouche, M. A. El Khaddar, M. Boulmalf, M. Bouya, and M. Elkoutbi, "A new middleware architecture for the integration of RFID technology into information systems," in *2014 International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, 2014, pp. 1025–1030.
- [25] V. Vimos and E. J. Sacoto Cabrera, "No Results of the implementation of a sensor network based on Arduino devices and multiplatform applications using the standard OPC UA," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, no. 9, pp. 2496–2502, 2018.
- [26] E. Tudora and A. Alexandru, "Methods and Software Architecture for Managing a System for Verifying the Authenticity of Branded Products," in *The 15th WSEAS International Conference on COMPUTERS*, 2011, pp. 15–17.
- [27] C. Y. Chen and P. W. Tsai, "A design of multi-heterogeneous system using SOA and RFID middleware platform," in *2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, IEEE, ICMCLC 2010*, 2010, vol. 6, pp. 2956–2961.
- [28] H. Liu, J. Li, J. Zhang, and X. C. Bai, "A performance improvement to

the web services-based RFID middleware," in *Proceedings - 2008 International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, ICACTE 2008*, 2008, pp. 657–661.

- [29] D. Guinard, M. Mueller, and J. Pasquier-Rocha, "Giving RFID a REST: Building a web-enabled EPCIS," in *2010 Internet of Things, IoT 2010*, 2010.
- [30] B. Feng, J. T. Li, P. Zhang, J. B. Guo, and Z. H. Ding, "Study of RFID middleware for distributed large-scale systems," in *Proceedings - 2006 International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, ICTTA 2006*, 2006, vol. 2, pp. 2754–2759.
- [31] L. Zhen-xiang and Z. Yu-xiang, "Design and Implementation of Embedded RFID Middleware," *Phys. Procedia*, vol. 33, pp. 587–596, 2012.



**Daniel Henao-Jaramillo** obtuvo su grado en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa De Colombia (2015). Actualmente se desempeña como desarrollador y representante legal de JDL-SOLUTIONS S.A.S. Hizo parte del grupo de investigación SODA de la Universidad Cooperativa de Colombia durante los años 2012 a 2014. Áreas de interés: Sistemas de identificación por radiofrecuencia, Redes de comunicaciones y desarrollo de software, arquitecturas micro servicios.



**Daniel A. Montoya-Tamayo** obtuvo su grado en Ingeniería De Sistemas de la Universidad Cooperativa De Colombia (2015). Actualmente se desempeña como desarrollador de JDL-SOLUTIONS S.A.S. Hizo parte del grupo de investigación SODA de la Universidad Cooperativa de Colombia durante los años 2013 a 2014. Áreas de interés: Sistemas de identificación por radiofrecuencia, Redes de comunicaciones y desarrollo de software.



**Yolanda Álvarez-Ríos** es Matemática de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Magister en Ciencias Económicas de la Universidad de Antioquia. Profesora asociada del Instituto Tecnológico Metropolitano. Actualmente es Decana de la Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas del ITM. Investigadora del grupo Davinci. Áreas de trabajo: modelamiento y simulación, pedagogía y didáctica.



**Victor H. Aristizabal-Tique** obtuvo su grado en Ingeniería Física de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín (2004) y una Maestría en Ciencias-Física (2008) de la misma universidad. Actualmente es candidato a doctor en Ingeniería de la Universidad EAFIT. Es profesor-investigador de la Facultad de Ingeniería y miembro del grupo de investigación TERMOMECE de la Universidad Cooperativa de Colombia. Áreas de interés: Simulación electromagnética analítica y computacional, Modelado y simulación de ondas sísmicas, Redes de comunicaciones y de sensores de fibra óptica, Monitoreo y simulación estructural.