

07-009

MATERIALS MONITORING AND CONTROL SYSTEM IN WORKS USING THE INTERNET OF THINGS (IOT)

Rocha Chiu, Luis Antonio (1); Silva López, Rafaela Blanca (1); Guerrero Silva, Luz Elisa (1); Ortega López, Eduardo Uriel (1)

(1) Universidad Autónoma Metropolitana

Industry 4.0 is characterized by the technical integration of cyber-physical systems in logistics and manufacturing processes, as well as using the Internet of Things (IoT), big data, cloud computing, simulation, and virtual reality. The fourth industrial revolution began in the manufacturing and has been spreading to other economy sectors; in civil engineering it is possible to automate the control of the construction materials using the Internet of Things (IoT) by remote monitoring with sensors of the materials availability in real time. The methodology contemplates the work planning in which the availability and use of materials through a prototype was automated by means of sensors. Material input and output information is collected from the warehouse through sensors. The data is transmitted via the internet to a server where the thresholds that trigger notifications of material purchase are verified, a report is generated in which the materials used are identified and the work supervisor reviews the data. The project allows to maintain updated records of the units in existence of the materials in real time, guarantees the availability of materials by generating alarms when the minimum level of inventory is reached.

Keywords: Internet of Things; Materials Control; Construction; Industry 4.0

SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE MATERIALES EN OBRAS UTILIZANDO INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

La industria 4.0 se caracteriza por la integración técnica de sistemas ciber-físicos en los procesos de logística y manufactura, así como también por el uso del internet de las cosas, análisis de datos, computación en la nube, simulación y realidad virtual. La cuarta revolución industrial inició en la manufactura y se ha ido extendiendo a otros sectores de la economía; en ingeniería civil es posible automatizar el control de los materiales de una construcción con el uso del Internet de las Cosas (IoT) mediante la monitorización remota con sensores de la disponibilidad de materiales en tiempo real. La metodología contempla la planeación de una obra en la que se automatizó por medio de sensores la disponibilidad y uso de materiales a través de un prototipo. Se recopila la información de entrada y salida de material del almacén a través de sensores. Los datos se transmiten por medio de internet a un servidor donde se verifican los umbrales que disparan notificaciones de compra de material, se genera un informe en el que se identifican los materiales utilizados y el supervisor de la obra revisa los datos.

Palabras clave: Internet de la cosas; control de materiales; construcción; industria 4.0

Correspondencia: Luis Rocha Chiu Correo: rcla@azc.uam.mx



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

A lo largo de la historia, el desarrollo tecnológico ha tenido un impacto importante en los sistemas de manufactura, primero con la máquina de vapor y la mecanización de los procesos, luego con la producción en masa, la automatización y robótica, más recientemente, con la que ha sido llamada “industria 4.0”, considerada como la cuarta revolución industrial, debido a su potencial y beneficios relacionadas con la integración, innovación y autonomía de los procesos.

Los conceptos de industria 4.0 y la manufactura inteligente, son relativamente nuevos y contemplan la introducción de las tecnologías digitales en la industria de la fabricación. Es decir, la incorporación al ambiente de manufactura de tecnologías como: análisis de datos masivos (big data), robótica, simulación, sistemas de integración horizontal y vertical, internet de las cosas, ciber seguridad, computación en la nube (cloud computing), manufactura aditiva y realidad aumentada. En el entorno actual de competencia global, desarrollo tecnológico e innovación, las empresas se ven forzadas a reconfigurar sus procesos, es por ello que la industria 4.0 y la manufactura inteligente son parte de esta cuarta revolución industrial en la que las tecnologías de fabricación y de la información se han integrado para crear innovadores sistemas de manufactura, gestión y formas de hacer negocios, que permiten optimizar los procesos de fabricación, alcanzar una mayor flexibilidad, eficiencia y generar una propuesta de valor para sus clientes, así como responder de una forma oportuna a las necesidades del mercado (MTIC, 2019).

Esta cuarta revolución industrial está produciéndose todavía en este momento y existen sectores que están cambiando de manera más pronunciada y rápida, como la manufactura, que otros, como el sector de la construcción. Sea como fuere, en todos los ámbitos se están introduciendo los objetos físicos, máquinas, procesos y sistemas de producción dentro de una red de información conectada a internet.

Por ejemplo, una aplicación en la ingeniería civil de estas nuevas tecnologías es el modelado de información de construcción (Building Information Modeling-BIM), que es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción que se trabaja en tiempo real mediante el apoyo del Internet de las Cosas (Internet of things-IoT) (Tang et al, 2019). También, mediante IoT se han desarrollado proyectos para la monitorización de diferentes tipos de construcción como: taludes, estructuras, túneles y edificaciones; brindando un valor adicional a las empresas de conservación y mantenimiento.

La industria 4.0 es un fenómeno que está impactando en todos los sectores productivos, su aplicación facilita la automatización de ciertos procesos, desde actividades sencillas en el hogar hasta distintas líneas del sector industrial. El IoT es la integración de diferentes tecnologías para enriquecer objetos con la finalidad de orientarlos al desarrollo y construcción de ciudades inteligentes, tiene como objetivo ofrecer nuevas aplicaciones y servicios que sirvan de puente entre el mundo físico y el virtual; es decir, es la interconexión de dispositivos que generan o intercambian datos a través de Internet (Ecotec, 2019).

En un contexto amplio, el Internet de las Cosas (IoT) es la utilización de dispositivos para mantener un enlace directo con un sistema que permite la recolección de información. El término IoT hace referencia a los sistemas físicos que reciben y transfieren datos a través de redes inalámbricas con poca intervención humana y esto se debe gracias a la integración de los dispositivos informáticos. Por lo general, el IoT resulta atractivo para personas que buscan la reducción de tiempos para aspectos de la vida cotidiana por medio de la utilización de tecnología, pero existen aplicaciones en el sector industrial donde el IoT aporta mejoras en los procesos de producción que benefician a las empresas y a los consumidores.

El Internet de las Cosas (IoT) está revolucionando a la sociedad, su carácter disruptivo permite optimizar todo tipo de procesos y, en el marco de la innovación digital, la construcción es uno

de los sectores con más potencial para aplicarlo en las diferentes etapas del proceso de construcción, por ejemplo, la monitorización remota del material existente en tiempo real mediante el uso de sensores.

La industria 4.0 tiene un impacto en todos los sectores productivos, incluyendo la ingeniería civil, donde es importante automatizar las actividades de construcción, tales como llevar el control de los materiales, enviar notificaciones cuando cierto material llega a un umbral de existencia y gestionar su uso, conocer esta información en todo momento y de forma precisa ayuda en la gestión eficiente de los recursos las obras. Los materiales de construcción constituyen uno de los recursos más importantes de cualquier obra, en un estudio realizado en el sureste de México (Alcudia, 2002) se reporta que el 67% de las empresas elaboran sus programas de uso de materiales antes de la ejecución de la obra; sin embargo, el 71% de las empresas no analizan a detalle los procesos constructivos, por lo que la administración de los materiales fue deficiente. Es de vital importancia controlar estos recursos, un suministro oportuno y adecuado de los materiales repercute directamente en la buena ejecución de la obra, asegurando su continuidad (Vilchis, 2007). El inadecuado control en el manejo de los materiales en el almacén de obra puede originar extravíos y pérdidas excesivas aumentando el costo de los proyectos.

La ingeniería civil, requiere de aplicaciones que automaticen y controlen las actividades en de las construcciones, desde la planificación hasta la ejecución. En toda obra es fundamental llevar un control de los insumos empleados, debido a las grandes cantidades y diversidad de materiales que se utilizan, éstos constituyen un porcentaje considerable respecto a los costos del proyecto, por que es necesario que las empresas constructoras cuenten con sistemas de información cuyo objetivo sea administrar adecuadamente los recursos utilizados minimizando las pérdidas (Solís et. al., 2009). El concepto de pérdidas de materiales dentro de las obras de construcción se asocia a las ineficiencias que se presentan en cualquiera de las etapas del proyecto, de esta forma, las pérdidas abarcan la producción de desperdicios de materiales, y además la ejecución de trabajos innecesarios o evitables que generan costos adicionales (Elgueta, 2018).

La disponibilidad de los materiales para la realización del proyecto repercute directamente en la buena ejecución de los trabajos, influyendo en la productividad en la medida que se proporciona al obrero los recursos necesarios y a tiempo para realizar sus actividades. Contar con el material idóneo en cantidad suficiente asegura la continuidad de la obra de acuerdo con el programa preestablecido. Por el contrario, la falta de suministro del material provoca la discontinuidad de los trabajos, la disminución del rendimiento de los trabajadores, el desorden en la ejecución y la presencia de tareas incompletas, suscitándose problemas de calidad, aumento del costo y retrasos de obra (Salazar, 2007).

La tecnología IoT aplicada a la construcción no deja de tener como fin último a las personas y beneficia, de hecho, a todos los que intervienen en el proceso de construcción. Los arquitectos e ingenieros ven facilitado su trabajo gracias a la conectividad entre las oficinas y el terreno de construcción; los técnicos y operarios de la obra se benefician de una mayor seguridad y precisión en su trabajo y el consumidor final disfruta, gracias a todo ello, de una mayor calidad y eficiencia en las obras. Una de las necesidades del sector industrial es contar con sistemas de pesaje que se caractericen por ser prácticos y de alta precisión, uno de ellos es el sensor de peso, también conocido como celda de carga, elemento básico fundamental de las básculas o balanzas empleadas en la industria química, farmacéutica, alimenticia, automotriz y del cemento, entre otras (Ecotec, 2019). Con el uso de estos sensores se logra optimizar el empleo de recursos para el control de inventarios, enviando notificaciones cuando el material llega a un umbral de inventario establecido y documentando la cantidad de recursos y desperdicios de las obras.

En la industrias de la construcción ahora son conscientes de la necesidad y las oportunidades de la digitalización, una investigación de Klynveld-Peat MarwickGoerdeler indica que el 95% de las empresas constructoras reconocen el desarrollo de tecnologías IoT y confían en que pueden aumentar su productividad. Ésta creciente confianza de las empresas constructoras en IoT ha llevado a más partes interesadas a incorporar esta tecnología en forma permanente, beneficiando al sector, abaratando los gastos funcionales, mejorando la productividad y aumentando la eficacia en la administración de la construcción. Esto ha provocado un gran aumento de empresas constructoras que emplean el Internet de las cosas, se anticipa que la escala comercial de IoT en la construcción será de aproximadamente 19 mil millones de dólares en 2027 (MOKOSmart, 2022).

En este trabajo se presenta el desarrollo de un dispositivo para el control de los materiales de construcción, a través de sistemas automatizados, lo que permite verificar en tiempo real la existencia y disponibilidad de material, facilitando un mayor grado de libertad en la toma de decisiones relacionadas con el aprovisionamiento de materiales de obra, de la misma manera apoya la gestión contable, puesto que permite establecer los recursos empleados en la obra.

2. Objetivo general

El objetivo del proyecto fue monitorear y controlar el material en una construcción mediante el uso del IoT, implementando sensores para administrar el material de manera eficiente, recopilando, procesando y analizando la información generada por los mismos para la toma de decisiones. Los dispositivos permiten mantener registros actualizados de las unidades en existencia de los materiales en tiempo real, garantiza la disponibilidad de los mismos mediante la generación de alarmas cuando se llega a un nivel mínimo de existencia preestablecida en el control de inventarios.

3. Metodología

La metodología contempla la planeación de una obra de construcción en la que se automatiza por medio de sensores la disponibilidad y uso de materiales. Se recopila la información de entrada y salida de materiales del almacén a través de sensores, los datos se transmiten por medio de internet a un servidor donde se verifican los umbrales que disparan las notificaciones de existencia, generando un informe en el que se identifican los materiales utilizados para comparar con las cantidades previstas en el proyecto original. Se desarrolla un prototipo para validar la prueba de concepto, aplicando el método cuantitativo para determinar el uso de materiales en una construcción.

Este proceso metodológico esta sustentado en los modelos para la construcción de proyectos en IoT que se basan en una estructura por niveles, denominada arquitectura en la que se especifican los elementos que componen cada capa y su esquema de interoperatividad (Romo y Villalobos, 2019).

4. Desarrollo del proyecto

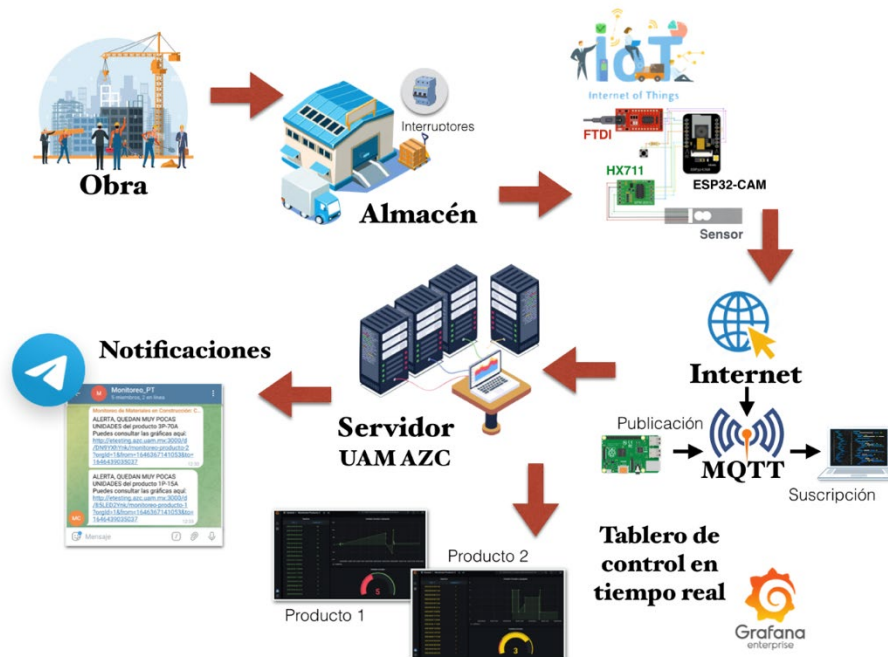
El proyecto se organiza en tres apartados: en el primero, se integra un diagrama a bloques de la solución propuesta; en el segundo, se presenta el material utilizado para la automatización del monitoreo de los materiales; y, en el tercero, se incluye el circuito propuesto para el prototipo de la prueba de concepto.

Para la realización del proyecto se determinó hacer la prueba de concepto con un prototipo que monitorea dos tipos de interruptores termomagnéticos, sin embargo, bajo la lógica de este concepto de monitoreo es factible escalarlo a un vasto catálogo de materiales que se utilizan en una obra.

4.1. Diagrama a bloques

Dentro de la obra se ubica el almacén donde se resguardan los materiales utilizados para la ejecución de la obra, se identifican los materiales que se desea monitorear, se instalan las básculas correspondientes con los sensores integrados al sistema mínimo (circuito encargado de la recolección de datos). Los datos son transmitidos por internet al MQTT (protocolo de comunicación entre máquinas), desde ahí se envían al servidor de la Universidad Autónoma Metropolitana campus Azcapotzalco (UAM-Azc.) donde son procesados para determinar en qué momento se envían notificaciones vía Telegram (sistema de mensajería instantáneo) y se muestran en tiempo real en un tablero de control desde internet (Figura 1).

Figura 1. Diagrama a bloques de la solución.



4.2. Material utilizado

Los componentes necesarios para la implementación de la solución son:

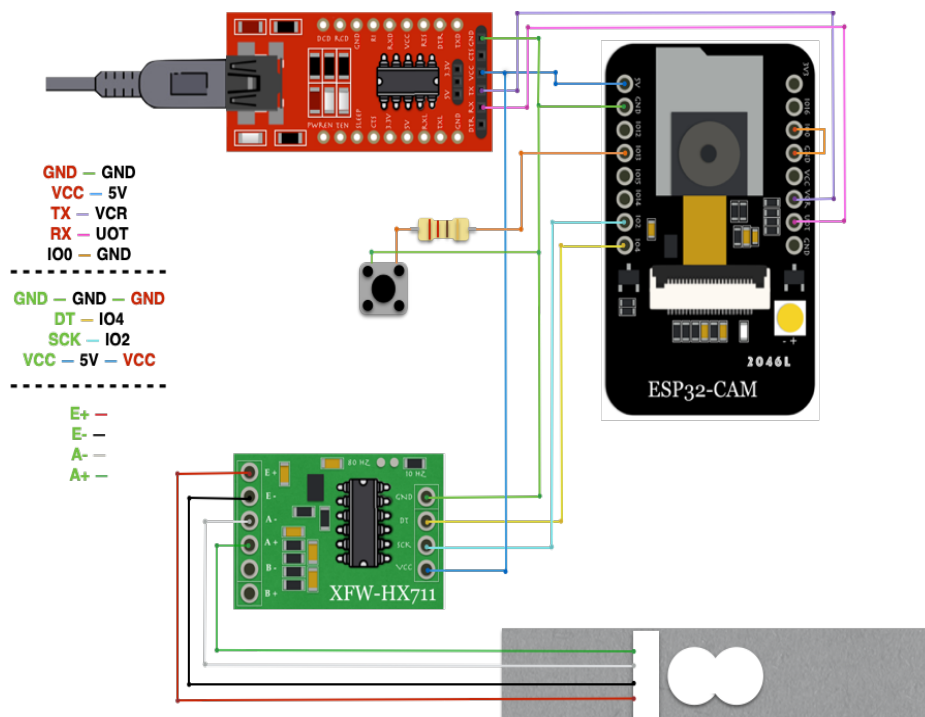
- ESP32-CAM
- Celdas de carga de 10 Kg
- Modulo Amplificador de carga HX711
- FTDI
- Protoboard
- Cable USB Tipo A
- Jumpers Hembra-Macho, Macho-Macho
- Herramientas computacionales
 - *Hardware*
 - Computadora Local con Sistema Operativo de Linux.

- Computadora Externa con Sistema Operativo de Linux para la conexión con Broker en Node-Red.
- *Software*
 - Máquina Virtual
 - Node-Red
 - Grafana
 - Arduino
 - Mysql

4.3. Circuito propuesto para el prototipo

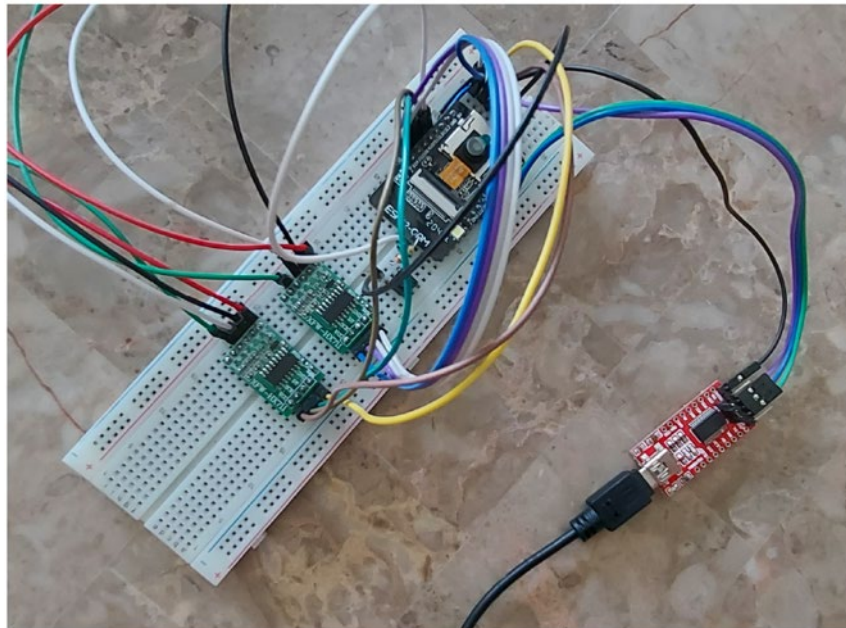
El circuito electrónico encargado de la recolección de datos asociados con la existencia de interruptores se muestra en forma esquemática (Figura 2).

Figura 2. Circuito propuesto.



También, en forma física (Figura 3) se muestran las conexiones del circuito electrónico propuesto vinculado al prototipo que mide el peso de los materiales (interruptores).

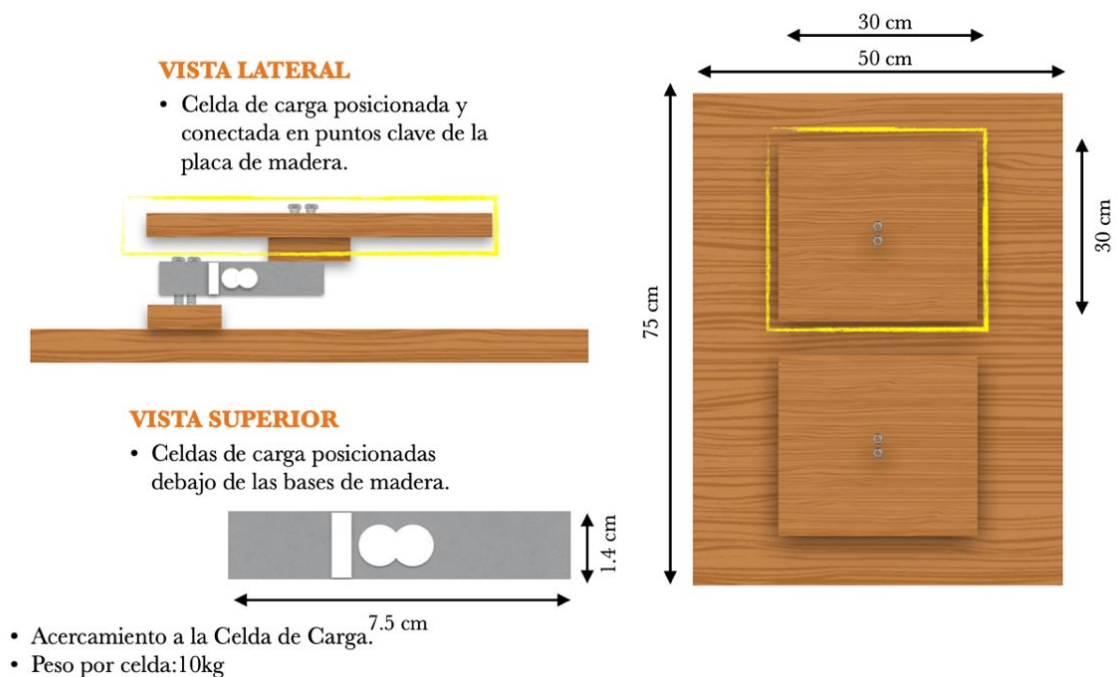
Figura 3. Fotografía del circuito electrónico.



La lógica del proyecto se rige a través de la detección de las variantes en intensidad de fuerza o peso aplicado sobre la báscula y convertidas por el amplificador de carga en una señal eléctrica que se transmite al microcontrolador o indicador de peso de dicha báscula.

El prototipo para las pruebas de detección de materiales tiene una celda de carga conectada en puntos específicos a una placa de madera (Figura 4).

Figura 4. Prototipo propuesto para la medición del peso de los interruptores termomagnéticos



5. Resultados

El diseño de experimentos considero solamente dos materiales (interruptores termomagnéticos), en el primer caso se realiza la prueba con exceso de unidades para tener un informe de la cantidad disponible y en el segundo caso la cantidad de unidades es cercana al umbral para probar la alerta del material (Tabla 1).

Tabla 1. Diseño de experimentos.

Producto	Tipo de material	Peso	Calibración sensor	Umbral
1	Interruptor Termomagnético 1P-15A Q0215	0.118 kg	11	< 30%
2	Interruptor Termomagnético 3P-70A Q0370	0.315 kg	3	< 30%

Previamente se hacen las pruebas preliminares para ajustar los indicadores de las básculas.

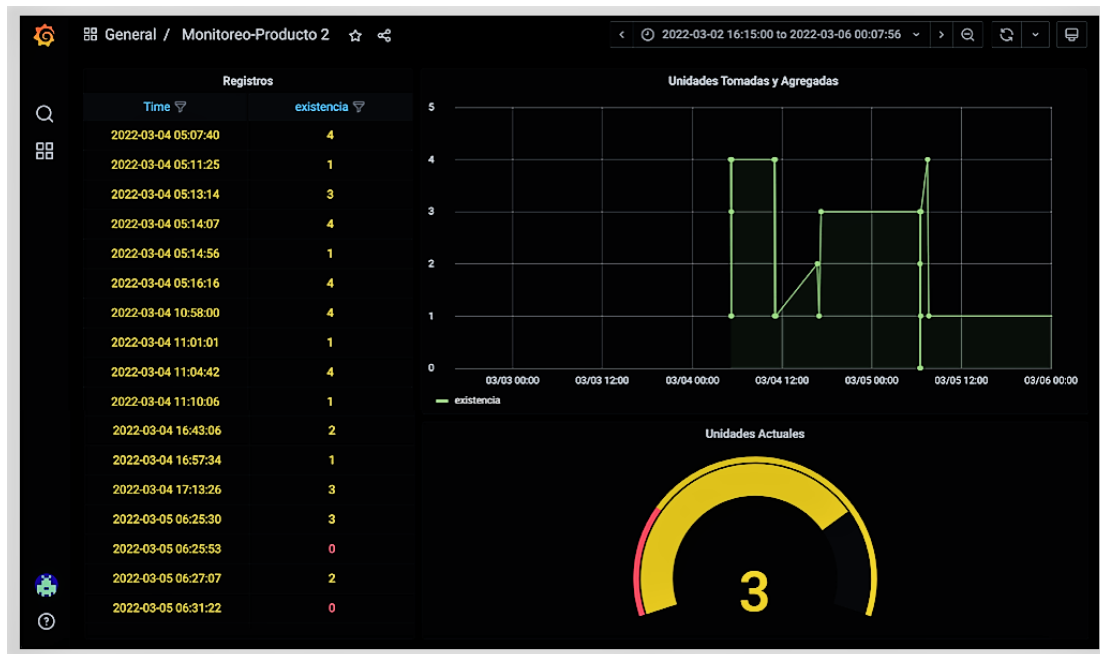
Producto 1. Se coloca la cantidad de 11 interruptores tipo 1P-15A Q0215 en la báscula 1, los datos son censados y enviado a internet a través del MQTT se envían al servidor, donde se almacenan en una base de datos. Se integra una tabla que se actualiza en tiempo real en el tablero de control, se observa no se ha rebasado el umbral pre-configurado, por tanto, no se envían notificaciones a Telegram (Figura 5).

Figura 5. Tablero de control Producto 1.



Producto 2. Se coloca la cantidad de 3 interruptores tipo 3P-70A Q0370 en la báscula 2, los datos son censados y enviado a internet a través del MQTT se envían al servidor, donde se almacenan en una base de datos. Se integra una tabla que se actualiza en tiempo real en el tablero de control. Se colocan menos interruptores para sobrepasar el umbral preconfigurado (Figura 6).

Figura 6. Tablero de control Producto 2.



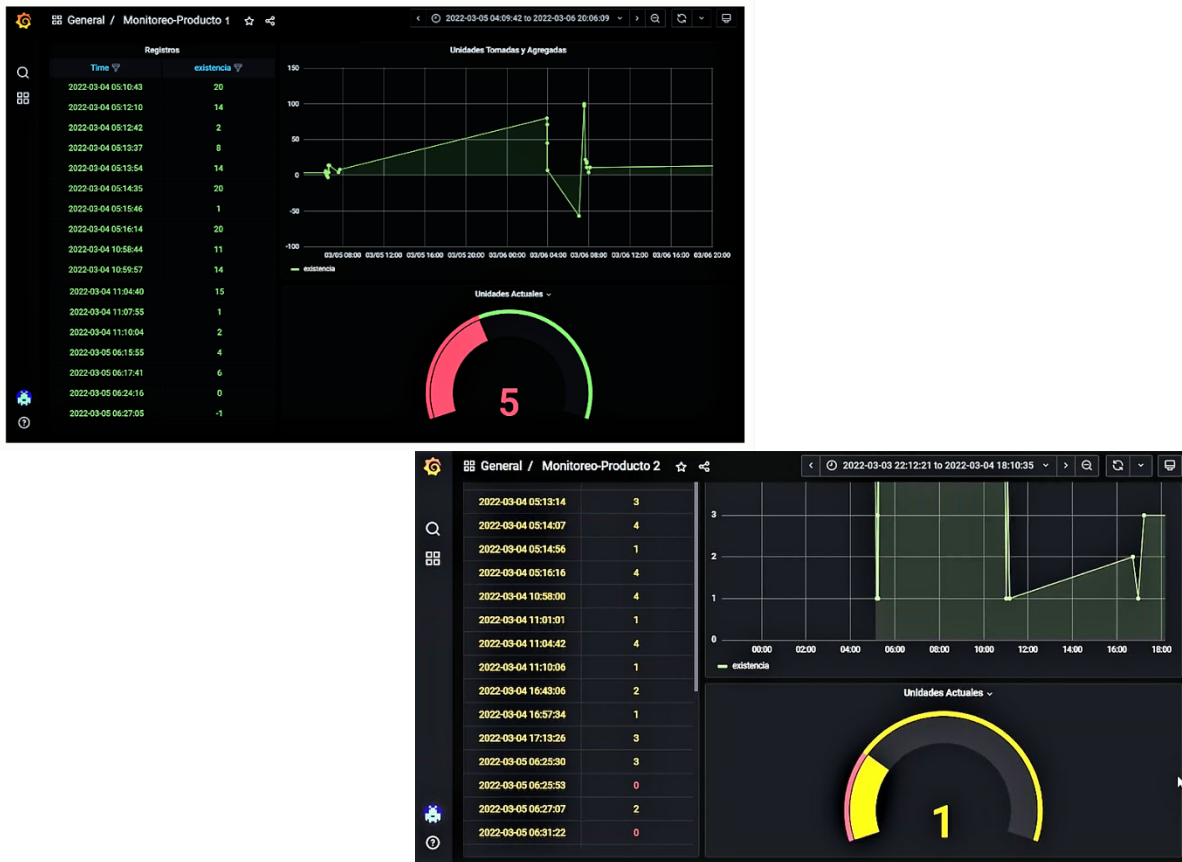
En el servidor se valida si se ha llegado al umbral predefinido, en éste experimento se observa que se ha rebasado el umbral y se envía la notificación vía Telegram (ver Figura 7).

Figura 7. Envío de notificaciones vía telegram.



A través de los enlaces proporcionados en el canal de Telegram se puede acceder a la visualización de los datos recopilados en tiempo real, donde se observan los cambios en la cantidad de productos disponibles (ver Figura 8).

Figura 8. Representación gráfica del cumplimiento de los umbrales.



6. Conclusiones

Este proyecto refleja los resultados obtenidos en el proyecto de fin de carrera de dos estudiantes de ingeniería civil, dónde se han conjuntado los conocimientos de administración de materiales en proyectos de construcción y los de las nuevas tecnologías que impulsa la industria 4.0, de manera particular el Internet de las Cosas (IoT). Plasmado en un proyecto sencillo que puede escalar a mayor amplitud de aplicaciones, toda vez que los materiales de construcción cambian mucho entre un proyecto de edificación y otro de infraestructura, como las carreteras o los ferrocarriles.

El prototipo construido mostró su eficacia al detectar en tiempo real la existencia de los interruptores en la báscula enviando la señal correspondiente vía internet al sistema de notificaciones de Telegram y al software que lleva el control del material, donde se detecta el nivel de inventario de cada producto.

Es claro que algunos materiales de construcción como los áridos (grava y arena), el cemento, los asfaltos y algunos de gran volumen o peso requieren otro tratamiento que el ofrecido en este trabajo. Sin embargo, la metodología puede ser muy útil en obras de edificación en materiales de alto costo como los de las instalaciones eléctrica, sanitaria o hidráulica mediante el control de inventarios con IoT en almacén central.

La funcionalidad del prototipo de este proyecto, es reportar en tiempo real los recursos del almacén de una obra, así como las entradas y salidas, la descripción y, mediante la modificación del programa base, se puede conocer el costo, el proveedor, las características

y los datos del encargado de entregar el material a los trabajadores. De este modo, sólo se tienen que comparar las existencias en el almacén con los registros administrativos, siendo esto importante para el control eficiente de inventarios en términos de costo y personal responsable del mismo.

Referencias

- Alcudia, C. (2002). Propuesta de un Sistema Integral de Planeación y Control de Proyectos de Construcción en Yucatán, Tesis de Maestría no publicada, UADY, Mérida, México.
- Ecotec, (2019). Internet de las Cosas, Fundamentos Tecnológicos de Información. Obtenido de: https://www.ecotec.edu.ec/material/material_2019D1_COM170_03_122995.pdf
- Elgueta, F. J. (2018). Análisis de las principales pérdidas de materiales en obras de edificación en etapa de terminaciones, Memoria de titulación, Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles, Valparaíso, Chile.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, (2019), Aspectos básicos de la Industria 4.0, Colombia
- MOKOSmart, (2022). IoT in Construction - MOKOSmart #1 Smart Device Solution in China. MOKOSmart #1 Solución de dispositivo inteligente en China. <https://www.mokosmart.com/es/iot-in-construction/>
- Romo, A. y Villalobos, M. (2019), Aplicaciones y desarrollo de prototipos con Internet de las Cosas, Revista de Tecnologías Computacionales, Marzo, 2019 Vol.3 No.9, pp. 1-7
- Salazar, M. R. (2007). La gestión de los materiales en construcción, Anuario de Administración para el diseño 2007, México
- Solís, R., Zaragoza N., González A. (2009), La administración de los materiales en la construcción, Revista Ingeniería, vol. 13, núm. 3, septiembre-diciembre, 2009, pp. 61-71, Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México
- Tang, S., Shelden, D., Eastman, Ch., Pishdad-Bozorgi, P., Gao, X., (2019), A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends, Automation in Construction, Vol. 101, May 2019, pp. 127-139
- Telefónica, (2018). Internet of Things, <https://empresas.blogthinkbig.com/construccion-inteligente-e-iot-destinados-aentenderse/56>
- Vilchis, S. R. (2007). La gestión de los materiales en construcción. En M. R.Salazar, Administración para el diseño (pág. 105). México: Anuario 2007.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

