






# Monitoring and management of materials on construction sites using IoT

Rafaela Blanca Silva-López, Ph.D.<sup>1</sup>, Luz Elisa Guerrero Silva, Civil Engineer<sup>2</sup>, Eduardo Uriel Ortega-López, Civil Engineer<sup>3</sup>, Emilio Antonio Guerrero-Silva, Computer Engineer<sup>4</sup>, Hugo Pablo-Leyva, M.SC.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Lerma, México, r.silva@correo.ler.uam.mx,

<sup>2,3,4,5</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México, luzelisa27guerrero@gmail.com edyol219@gmail.com al2233803213@azc.uam.mx hpl@azc.uam.mx

*Abstract – Construction materials are one of the most important resources of any work, in a study carried out in the southeast of Mexico [1] shows that 67% of companies develop their programs for the use of materials before the execution of the work; however, 71% of companies did not analyze it in detail, so the management of the materials was poor. It is a priority to control these resources effectively and efficiently, since a timely and adequate supply of materials has a direct impact on the proper execution of the work, ensuring its continuity [2]. In this sense, automating inventory control by applying the Internet of Things (IoT) is an imminent necessity for many companies. The objective of the project was to monitor and control the material in a construction site through the use of IoT, implementing sensors to manage the material efficiently, collecting, processing and analyzing the information generated by them for decision-making. The ultimate goal of the project is to provide material information to supervisors or site managers at all times and from anywhere for proper decision-making. The results show that it is feasible to implement it on any construction site.*

**Keywords-- Industry 4.0, Inventory Automation, Civil Engineering, Construction, IoT.**

# Monitoreo y gestión de materiales en obras de construcción utilizando IoT

Rafaela Blanca Silva-López, Ph.D.<sup>1</sup>, Luz Elisa Guerrero Silva, Civil Engineer<sup>2</sup>, Eduardo Uriel Ortega-López, Civil Engineer<sup>3</sup>, Emilio Antonio Guerrero-Silva, Computer Engineer<sup>4</sup>, Hugo Pablo-Leyva, M.SC.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Lerma, México, r.silva@correo.ler.uam.mx,

<sup>2,3,4,5</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México, luzelisa27guerrero@gmail.com edyol219@gmail.com al2233803213@azc.uam.mx hpl@azc.uam.mx

**Abstract**– Los materiales de construcción constituyen uno de los recursos más importantes de cualquier obra, en un estudio realizado en el sureste de México [1] muestra 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 lo analizaban a detalle, por lo que la administración de los materiales fue deficiente. Es prioritario controlar de forma efectiva y eficiente estos recursos, dado que un suministro oportuno y adecuado de los materiales repercute directamente en la buena ejecución de la obra, asegurando su continuidad [2]. En este sentido, la automatización del control de inventarios aplicando el internet de las cosas (IoT) es una necesidad inminente para muchas empresas. El objetivo del proyecto fue diseñar un prototipo para mostrar la factibilidad de monitorear y controlar el material en una construcción mediante el uso del IoT. Se realiza una prueba de concepto en la que se implementan sensores de peso que recopilan datos, se procesan, se analizan y se verifican umbrales programados que disparan notificaciones vía internet a un dispositivo móvil en tiempo real. El fin último del proyecto es proveer de información a los supervisores o responsables de obra en todo momento y desde cualquier lugar para una toma de decisiones adecuada. Los resultados muestran que es factible implementarlo para diversos materiales utilizados en una obra de construcción.

**Keywords**-- Industria 4.0, Automatización de Inventarios, Ingeniería Civil, Construcción, IoT.

## I. INTRODUCCION

La automatización de procesos en la industria 4.0 es un fenómeno que se está demandando en muchos de los sectores productivos. En México, la ingeniería civil, realiza una gran cantidad de procesos de forma manual, convirtiéndose en un sector industrial virgen que requiere de aplicaciones que automaticen y controlen las actividades en una obra de construcción, desde la planificación hasta la ejecución. Las grandes cantidades de insumos que se utilizan constituye un porcentaje considerable de los costos del proyecto, por tanto, la automatización de sus almacenes permite administrar adecuadamente los recursos utilizados minimizando las pérdidas [3]. El material de construcción es una materia prima o, con más frecuencia, un producto elaborado empleado en la construcción de obras de ingeniería civil. Dependiendo del tipo de material se requerirá para su almacenamiento un recinto cerrado o un espacio abierto con características determinadas. Es importante que el acceso al almacén este limitado solo al personal de esta área. Generalmente las pérdidas que se producen en esta etapa obedecen a deterioros, roturas, hurtos o desorganización. Una práctica recomendada es la realización de

recuentos periódicos a fin de efectuar un control administrativo que permita tomar decisiones acertadas para alcanzar los objetivos establecidos. Es importante mantener registro de todos los movimientos de material que se realicen a fin de facilitar la localización inmediata de los artículos. A estos movimientos se les denomina: entradas y salidas de almacén.

El almacén es el departamento responsable de surtir los pedidos hechos por el departamento de producción, de solicitar al departamento de compras materiales cuando estos llegan a su punto mínimo; y recibir, verificar, almacenar y salvaguardar los materiales que posteriormente serán utilizados en producción. Por lo tanto, el control de inventario es una gran preocupación para todas las empresas constructoras. Es recomendable realizar un inventario de materiales cada 2 meses dependiendo del tamaño del proyecto. De esta manera se pueden detectar robos de materiales y tomar correctivos a tiempo, para que situaciones no deseadas no se vuelvan a presentar, también poder programar compras de los periodos siguientes y no llegar a comprar de más, o en su defecto detener la obra por falta de materiales. En las obras de construcción las pérdidas de materiales se asocian con las ineficiencias que se presentan en las diferentes etapas del proyecto (la planeación, la negociación, el pedido, la recepción, el almacenamiento, el uso, el resurtido, el pago y el control), así como durante la ejecución de trabajos innecesarios que generan costos adicionales. Las pérdidas son la consecuencia de un proceso que carece de calidad, y conlleva un producto de baja calidad a un alto costo [4]. Por otro lado, la disponibilidad de los materiales para la realización del proyecto impacta directamente en la adecuada ejecución de la obra, en la medida en que se proporciona al personal de la obra el material necesario para realizar sus actividades. Por el contrario, la falta de materiales provoca la discontinuidad de los trabajos, por ende, el desorden en la ejecución dejando tareas incompletas o pendientes, provocando retrasos en las entregas con los clientes [5]. Ante este contexto, es necesario contar con sistemas de pesaje de alta precisión que automaticen la gestión del material especializado del inventario para llevar un control eficiente de los materiales y minimizar los errores humanos. Los sensores de peso o celdas de carga, son utilizados en las balanzas empleadas en la industria alimenticia, automotriz y del cemento, entre otras [6]. El uso de estos sensores optimiza el control de inventarios, automatizan la activación de alarmas cuando algún material llega a un

umbral y realiza un pedido de material al proveedor, además permite conocer el desperdicio del mismo.

El internet de las cosas plantea la conexión a internet de millones de dispositivos, maquinaria industrial y vehículos podrían recoger, grabar y compartir datos en tiempo real con otros dispositivos y sistemas de control. ¿Cómo se aplica el IoT en la construcción? A través de la instalación de sensores en dispositivos que requieran conexión inalámbrica a Internet, se pueden obtener valores como el consumo energético, la temperatura y la torsión de un material. También se utilizan sensores para identificar la demanda energética del edificio o detección de grietas así como averías en las instalaciones hidráulicas, muchas veces subterráneas. Los datos obtenidos con los sensores, son procesados y pueden ser consultados en tiempo real desde cualquier lugar, facilitando la supervisión, detectando rupturas o fallos en la maquinaria, inactividad de los trabajadores conociendo su ubicación dentro de la obra y alertándolos de posibles peligros. En la figura 1, se plantean posibles aplicaciones claves: a) Procesos, una mayor agilidad y eficiencia puede mejorar la producción de la obra entre un 5% y 10%; b) Mantenimiento, evitar cortes y pausas inesperadas puede aumentar la producción entre un 3% y 5% y c) Seguridad, conocer la posición en cada momento de la maquinaria puede evitar accidentes.

El IoT, puede aplicarse en las diferentes etapas del proceso de construcción, ya sea en la primera fase de cálculo, planificación y diseño de estructuras ofrece grandes ventajas y son enormes sus posibilidades para el posterior trabajo a pie de obra. También es de gran utilidad durante la fase de transporte de materiales y cimentado, en la que su empleo logra mejorar el funcionamiento de la maquinaria utilizada, el traslado de las materias primas y la gestión del stock disponible. Con todo esto, la conectividad IoT no acaba aquí, pues una vez concluidas las obras, puede ser empleada en las tareas de mantenimiento y gestión energética de los edificios. Es evidente que el desarrollo de sistemas que utilicen IoT aplicado a la construcción, impactarán en el bienestar de las personas, beneficia a los que intervienen en el proceso de construcción, los arquitectos e ingenieros optimizan su trabajo gracias a la intercomunicación entre las oficinas administrativas y el terreno de construcción; los técnicos y operarios de la obra se benefician al tener mayor seguridad y disponibilidad de materiales para realizar su trabajo.

El objetivo de éste trabajo es diseñar un prototipo que muestre la factibilidad de sistematizar los inventarios de materiales especializados para obras civiles, pretende verificar la existencia y disponibilidad de material desde cualquier lugar y en cualquier momento, ofreciendo un mayor grado de libertad para la toma de decisiones que impactan en el aprovisionamiento de materiales para la obra. Facilita la generación de reportes financieros que permiten conocer con el consumo real de materiales.

Por último, es importante mencionar algunos de los beneficios que brinda el IoT a la industria de la construcción: a) Optimizar el uso de recursos para el control de inventarios lo

cual ayudará a mejorar los rendimientos del personal; b) Habilita un mayor grado de libertad en la toma de decisiones de la obra; c) Facilita para la toma de decisiones relacionadas con el aprovisionamiento de materiales de obra; d) Hace un uso adecuado de la capacidad productiva; e) Apoya la necesidad contable, puesto que permite verificar en la práctica la existencia y disponibilidad de material y permite establecer una aproximación con el consumo real de la obra; f) La automatización del inventario en el almacén de obra evita que la obra sea detenida y por tanto retrasada lo que conlleva a una reducción de gastos y de tiempo.



Figura 1. Aplicaciones de IoT en la construcción

El prototipo diseñado, integra un sistemas de pesaje de alta precisión que automaticen la gestión del material especializado del inventario para llevar un control eficiente de los materiales y minimizar los errores humanos.

## II. BREVE ESTADO DEL ARTE

La industria de la construcción es una de las más grandes a nivel mundial, sin embargo, su crecimiento ha sido marginal comparado con otras industrias. Después de 2019, la automatización tuvo un impulso al integrar el uso de sensores en diversas actividades, lo que impacto en la eficiencia y productividad en la industria manufacturera y agricultura [7]. Se espera que la automatización en la industria de la construcción impacte en su productividad, el Internet de las cosas (IoT), habilita el monitoreo automático y en tiempo real de contratistas, proveedores, logística y materiales, entre otros, lo que lleva a una gestión mediante dispositivos móviles, mejorando la seguridad y optimizando el uso de materiales mediante alertas en tiempo real [8]. También se pueden gestionar los desechos de la construcción, reduciendo la huella ambiental e impactando en la sostenibilidad del medio ambiente[9]. Los trabajos encontrados en torno a la automatización de la industria de la construcción se enfoca en diferentes aspectos, como: tecnologías de adquisición de datos [10-11]; sistemas de posicionamiento y mapeo en interiores [12-13]; sistemas de localización en tiempo real [14];

tecnologías para la gestión de la seguridad [15-16]; vehículos aéreos no tripulados en la construcción [17]; aplicaciones centradas en el seguimiento y monitoreo de recursos y de activos [18-19]; así como el uso de tecnologías y metodologías para monitorear diferentes entornos y actividades de construcción[20]. Se identificaron propuestas computacionales asociadas al control de inventario de materiales con diferentes enfoques, en [21], el objetivo fue mejorar el conteo e identificar la ubicación de objetos en el inventario empleando una interfaz de visión, monitoreando en tiempo real empleando una red neuronal convolucional. En [22], se contabiliza el material de un inventario para un entorno industrial automatizado utilizando funciones KAZE, capturando imágenes que se someten a un algoritmo que genera predicciones para la ubicación de los objetos de manera exacta después pueda realizar un conteo de material. Así mismo, en [23], se propone un reconocimiento de datos y de patrones para identificar el deterioro del material priorizando las intervenciones estructurales y ayudando en la toma de presupuestos de manera óptima, por medio de un algoritmo genético y redes neuronales. Sin embargo, se ha dejado de lado el manejo de inventarios de materiales pequeños y costosos, cuya merma y robo pueden impactar en el aspecto financiero.

Se realizó una búsqueda de artículos en IEEE Explore localizando 42 trabajos relacionados con la aplicación de IoT en la industria de la construcción, es hasta 2019 que hay artículos publicados, el incremento de artículos es paulatino pero sostenible, como se muestra en la figura 2.

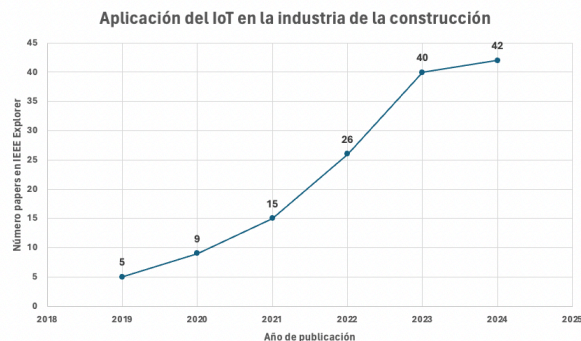


Figura 2. IEEE Explore: artículos relacionados con la aplicación de IoT en la industria de la construcción.

En Scopus, se identificaron trabajos relacionados con la construcción y la automatización mediante el IoT, como se observa en la figura 3, es hasta el 2019 que inicia la aplicación del IoT en la industria de la construcción en diversas áreas (recuadro morado). Se identifican 38 artículos de 2013 a 2018, mientras que, a partir de 2019 que se introduce la automatización en la industria de la construcción se incrementa considerablemente el número de trabajos en 159 para llegar a un total de 197 en el Automation in Construction An International Research Journal Scopus.

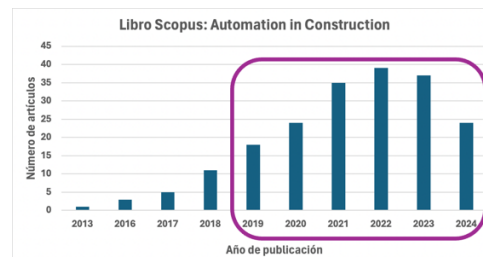


Figura 3. Publicaciones en Scopus sobre automatización con IoT en la industria de la construcción.

En el análisis de los trabajos previos de automatización en la construcción, sólo se identificaron dos artículos donde se menciona la importancia de hacerlo, pero no presentan ningún prototipo que valide la factibilidad de implementación en la vida real.

## II. METODOLOGÍA

La metodología contempla la sistematización del monitoreo y control de disponibilidad y uso de materiales a través de sensores. Se integra una fase de diseño del prototipo de una balanza con sensores de peso que permite calcular el número de piezas colocadas. Esto permite registrar la información de entrada y salida de materiales del almacén, los datos se transmiten por medio de internet a un servidor donde se realiza el procesamiento, se verifican los umbrales que disparan las notificaciones de existencia, se identifican los materiales utilizados que el supervisor de obra puede corroborar su existencia. Se notifica mediante el Messenger de Telegram un reporte para la toma de decisiones. Se realizan pruebas de integración de los elementos de hardware y software que integran el proyecto.

En toda obra civil se ubica el almacén donde se resguardan los materiales utilizados para la construcción de la misma, se determinan los materiales que se van a monitorear, se instalan las básculas correspondientes con los sensores integrados al sistema de automatización. Los datos se transmiten por internet a través del MQTT (protocolo de comunicación entre máquinas), después se envían al servidor de la UAM Azcapotzalco donde son procesados para validar los umbrales y enviar notificaciones vía Telegram (sistema de mensajería instantáneo), además de mostrar la existencia en tiempo real en un tablero de control desde internet como se muestra en el diagrama a bloques en la Figura 4.

El diseño del prototipo para la prueba de concepto se muestra en la figura 5. La prueba de concepto se realiza con un prototipo que monitorea dos tipos de interruptores termomagnéticos, sin embargo, se puede extrapolar el monitoreo a otros materiales que se utilizan en una obra (ver figura 6).



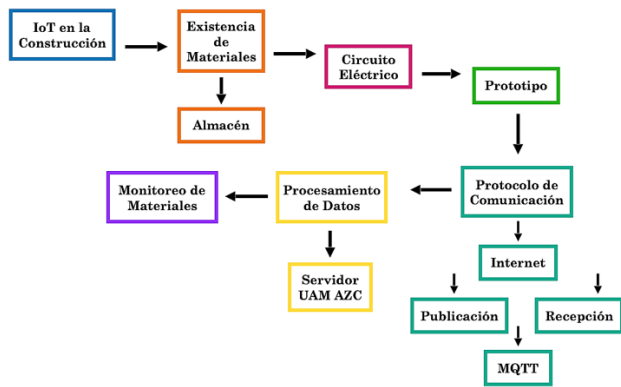


Figura 4. Diagrama a bloques de la sistematización de materiales.

Los componentes necesarios para la implementación de la solución son:

- Hardware
  - ESP32-CAM
  - Celdas de carga de 10 Kg
  - Modulo Amplificador de carga HX711
  - FTDI
  - Protoboard
  - Cable USB Tipo A
  - Jumpers Hembra-Macho, Macho-Macho
  - 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 Virtual Box
  - Node-Red
  - Grafana
  - Arduino
  - MySQL

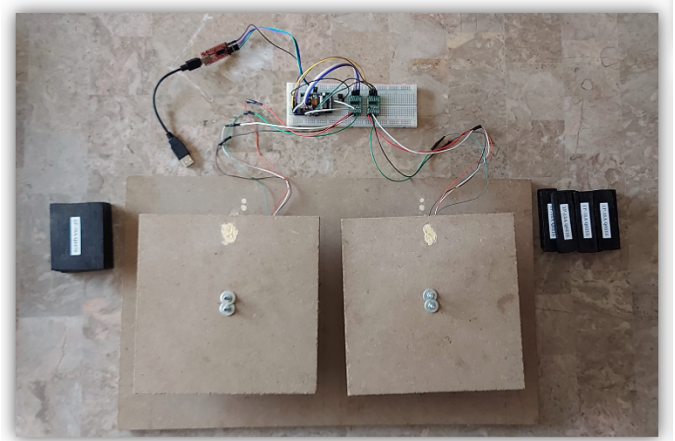


Figura 6. Prototipo propuesto para la medición de Interruptores Termomagnéticos

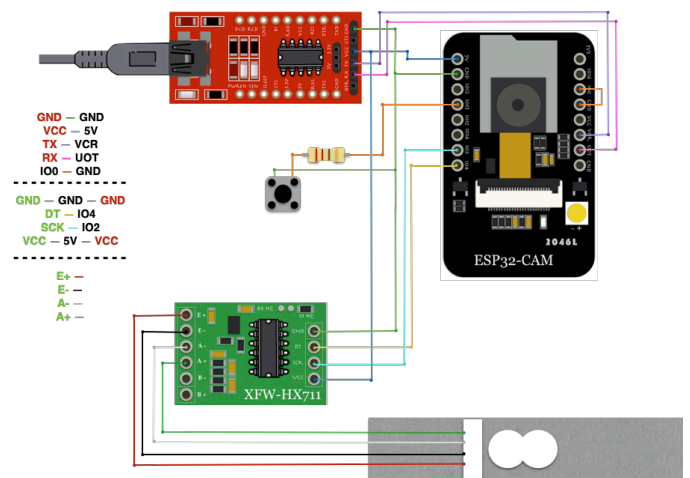


Figura 7. Integración de sensores en el prototipo

El circuito propuesto que registra la existencia de interruptores sobre el prototipo se muestra en la Figura 8.

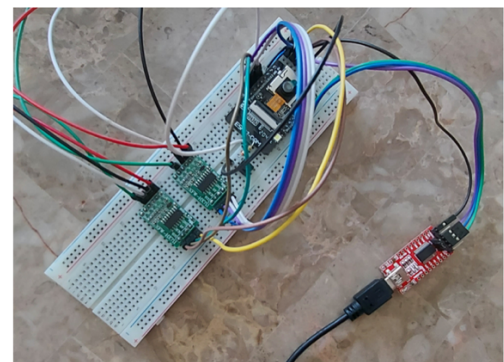


Figura 8. Circuito propuesto

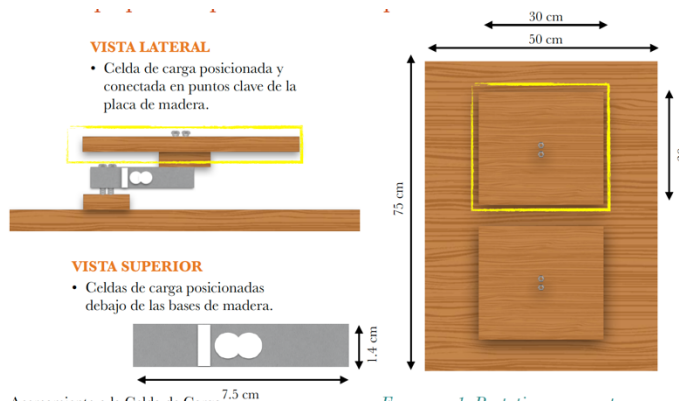


Figura 5. Diseño del prototipo.

El circuito propuesto que registra la existencia de interruptores sobre el prototipo se muestra en las figuras 6 y 7.

El circuito detecta las variantes en intensidad de fuerza o peso aplicados sobre la báscula, se convierten en una señal eléctrica que se transmite al microcontrolador. Por último, la

configuración en Node-red del sistema de automatización se muestra en la Figura 9.

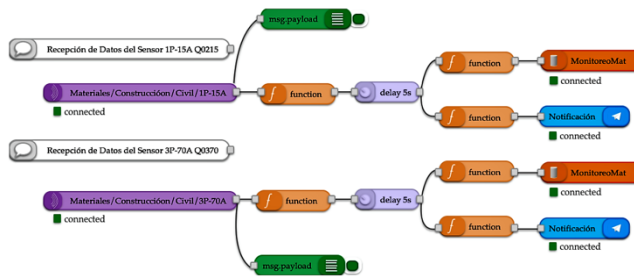


Figura 9. Configuración node-red

### III. RESULTADOS

Se diseñaron dos experimentos para validar el sistema de automatización, se contempló las variables que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Variables contempladas en los experimentos

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

Se realizaron pruebas preliminares para el balanceo de las básculas, una vez ajustadas se realizaron los experimentos que se describen a continuación.

En el primer experimento se colocaron diferentes cantidades de interruptores tipo IP-15A Q0215 en la báscula 1, cada vez que la cantidad cambia, el sistema de automatización se activa, contabiliza el total de sensores y envía los datos a internet a través del MQTT para almacenarlos en la base de datos del servidor de la UAM Azcapotzalco. En tiempo real se actualiza la tabla de existencias en el tablero de control (ver Figura 10). Como se observa se ha rebasado el umbral preconfigurado, por tanto, se envían notificaciones a Telegram.

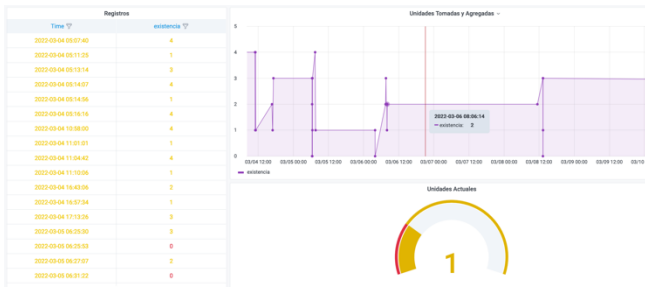


Figura 10. Tablero de monitoreo experimento 1

En el experimento 2, se colocan diferentes cantidades de interruptores tipo 3P-70A Q0370 en la báscula 2, cada vez que

la cantidad cambia, el sistema de automatización se activa, contabiliza el total de sensores y envía los datos a internet a través del MQTT para almacenarlos en la base de datos del servidor de la UAM Azcapotzalco. En tiempo real se actualiza la tabla de existencias en el tablero de control (ver Figura 11). Se quitaron interruptores de la báscula pero no se sobrepasa el umbral preconfigurado.



Figura 11. Tablero de monitoreo experimento 2

En el servidor de UAM Azcapotzalco, se validan los umbrales predefinidos, en el primer experimento se ha rebasado el umbral y se envía la notificación vía Telegram (ver Figura 12).

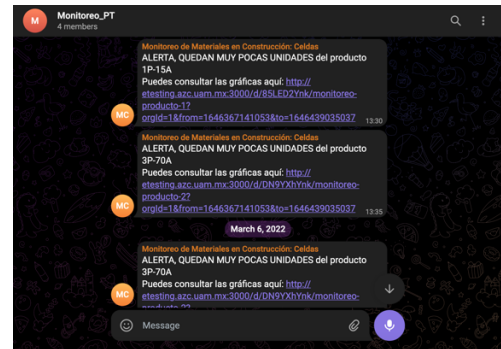


Figura 12. Envío de notificaciones vía Telegram

Los enlaces proporcionados en el canal de Telegram permiten que los supervisores o el responsable de obra visualicen los datos recopilados en tiempo real desde el tablero de control y puedan tomar acciones al respecto (ver Figura 13)



Figura 13. Representación gráfica del cumplimiento de los umbrales

#### IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con base en la revisión de la literatura presentada en secciones anteriores, se identifica que la automatización en los procesos que intervienen en la construcción de una obra, demandan la necesidad de integrar aplicaciones que faciliten la gestión de recursos materiales. Por lo tanto se diseñó un prototipo que muestra la factibilidad de la sistematización del monitoreo y control de disponibilidad y uso de materiales a través de sensores.

El prototipo integra una fase de diseño de una balanza con sensores de peso que permite calcular el número de piezas que se tienen en el almacén. Se realiza una prueba de concepto, donde se monitorean dos tipos de interruptores termomagnéticos, que son contabilizados con base en su peso. Los datos obtenidos por los sensores se almacenan en una base de datos, son procesados y verifican umbrales preestablecidos y configurables que permiten enviar alarmas o señales vía internet que llegan como mensajes de telegram al gerente del proyecto. Con ésta información podrá realizar una toma de decisiones adecuada anticipando la adquisición de materiales para no detener el avance programado de la obra.

Esta prueba de concepto muestra la factibilidad de automatización de inventarios mediante una aplicación con sensores de peso e IoT.

La automatización de procesos en obras de construcción marcará un antes y un después. El avance tecnológico permitirá escalar prototipos como el utilizado en éste proyecto a la industria de la construcción para gestionar y dar seguimiento a la distribución de los recursos materiales, contemplando su integración en la bodega central de la constructora, centralizando la compra, la distribución y el seguimiento de los recursos materiales de la obra. Los responsables de la obra podrán saber en tiempo real qué se compró, quién lo compró, dónde está ubicado el material, dar seguimiento a la distribución, mitigando el riesgo de sobrecostos por administración de materiales en la obra, optimizando así los márgenes de utilidad.

#### V. CONCLUSIONES

Las condiciones tecnológicas para el desarrollo del IoT siguen evolucionando positivamente, los sensores han disminuido su precio y su tamaño, aumentado significativamente sus capacidades como habilitadores de las soluciones de automatización capaces de recolectar y procesar datos en tiempo real y enviar información necesaria para optimizar procesos.

Un reto que tiene la industria de la construcción es adoptar y desarrollar nuevas tecnologías en la automatización de los procesos para mejorar la competitividad. Esto implica, introducir sensores y redes de comunicaciones que permitan adquirir información a través del monitoreo y procesamiento en tiempo real de los datos recopilados por los sensores. El

monitoreo a través de sensores puede marcar la diferencia entre tomar buenas o malas decisiones.

El prototipo diseñado, reporta en tiempo real la entrada y salida del material que se tiene en almacén. En la base de datos se podrá integrar información adicional como el costo, el proveedor, las características del material, quién lo tomó o qué persona proporcionó el material a los trabajadores; siendo esto importante para identificar si hay robos, analizar las causas, identificar responsables y dar una solución al problema.

Los resultados obtenidos muestran que el IoT habilita la creación de soluciones efectivas para la Ingeniería Civil que optimizan los gastos operacionales, mejora la productividad, e incrementan la eficacia en la administración de la construcción.

La industria de la construcción es consciente de la necesidad y las oportunidades de la automatización para mejorar su productividad. Se anticipa que la escala comercial de IoT en la construcción será de aproximadamente 19 mil millones en 2027.

En la industria de la construcción, la gestión eficiente de activos y recursos materiales puede minimizar los retrasos y evitar sobrecostos. El IoT habilita la automatización y monitoreo en tiempo real sobre la ubicación y el estado de activos tales como maquinaria y herramientas, también gestiona el uso de recursos materiales de los inventarios de almacén. Proporcionando a los gerentes de proyectos información inmediata, alarmas y mensajes sobre los recursos materiales de manera efectiva para la toma de decisiones, evitando pérdidas de tiempo y costos adicionales.

A pesar de que la industria de la construcción es muy conservadora y es complicado que adopte el uso de nuevas tecnologías, el IoT está demostrando ser una excelente posibilidad para implementar mecanismos de automatización. Los beneficios que el IoT ofrece son evidentes y significativos para evadirlos, contemplando la mejora continua de la operación, el monitoreo en tiempo real, la optimización de la gestión de recursos materiales, incluso la seguridad en sitio en la obra. La industria 4.0 basada en el IoT está habilitando la posibilidad de transformar la industria de la construcción para mejorar su eficiencia y seguridad.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece las facilidades prestadas a la Universidad Autonomía Metropolitana Unidad Azcapotzalco y Unidad Lerma, para la realización e implementación de este proyecto.

#### REFERENCIAS

- [1] Salazar, M. R. La gestión de los materiales en construcción. En M. R. Salazar, Administración para el diseño, pp. 105. México: Anuario 2007.
- [2] Telefónica. Internet of Things. <https://empresas.blogthinkbig.com/construccion-inteligente-e-iot-destinados-aentenderse/56>. J. Simões, R. D. 2018. Consultado en noviembre 2022.
- [3] Elgueta, F. J. 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 Cíviles, Valparaíso,

- Chile. 2018.
- [4] Solís Carcaño, et. Al. La administración de los materiales en la construcción, *Ingeniería* 13-3, 11 2009.
  - [5] Ecotec, (s.f.). Internet de las Cosas. Fundamentos Tecnológicos de Información. [https://www.ecotec.edu.ec/material/material\\_2019D1\\_COM170\\_03\\_122995.pdf](https://www.ecotec.edu.ec/material/material_2019D1_COM170_03_122995.pdf) Consultado en diciembre 2022.
  - [6] MOKOSmart. IoT in Construction - MOKOSmart #1 Smart Device Solution in China. MOKOSmart #1 Solución de dispositivo inteligente en China. 2022. <https://www.mokosmart.com/es/iot-in-construction/classrooms>,” *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 28, no. 1, pp. 62–79, 2020, doi: 10.1002/cae.22175.
  - [7] M. Chui, J. Mischke, The impact and opportunities of automation in construction, <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-impact-and-opportunities-of-automation-in-construction>. Consultado en enero 2023.
  - [8] Z. Zhao, L. Shen, C. Yang, W. Wu, M. Zhang, G. Q. Huang, IoT and digital twin enabled smart tracking for safety management, *Computers & Operations Research* 128 (2021) pp. 105183. doi:10.1016/j.cor.2020.105183.
  - [9] F. Sartipi, Influence of 5G and IoT in construction and demolition waste recycling – conceptual smart city design, *Journal of Construction Materials* 1 (4) (2020) pp. 1–9. doi:10.36756/JCM.v1.4.1.
  - [10] T. Omar, M. L. Nehdi, Data acquisition technologies for construction progress tracking, *Automation in Construction* 70 (2016) pp. 143–155. doi:10.1016/j.autcon.2016.06.016.
  - [11] O. Moselhi, H. Bardareh, Z. Zhu, Automated data acquisition in construction with remote sensing technologies, *Applied Sciences* 10 (8) (2020) pp. 2846. doi:10.3390/app10082846
  - [12] C. T. Li, J. C. Cheng, K. Chen, Top 10 technologies for indoor positioning on construction sites, *Automation in Construction* 118 (2020) pp. 103309. doi:10.1016/j.autcon.2020.103309.
  - [13] R. Otero, S. Lagüela, I. Garrido, P. Arias, Mobile indoor mapping technologies: A review, *Automation in Construction* 120 (2020) pp. 103399. doi:10.1016/j.autcon.2020.103399.
  - [14] H. Li, G. Chan, J. K. W. Wong, M. Skitmore, Real-time locating systems applications in construction, *Automation in Construction* 63 (2016) pp. 37–47. doi:10.1016/j.autcon.2015.12.001.
  - [15] H. Guo, Y. Yu, M. Skitmore, Visualization technology-based construction safety management: A review, *Automation in Construction* 73 (2017) pp. 135–144. doi:10.1016/j.autcon.2016.10.004.24
  - [16] L. Hou, S. Wu, G. K. Zhang, Y. Tan, X. Wang, Literature review of digital twins applications in construction workforce safety, *Applied Sciences* (1) (2021) pp. 339. doi:10.3390/app11010339.
  - [17] S. Zhou, M. Gheisari, Unmanned aerial system applications in construction: a systematic review, *Construction Innovation* 18 (4) (2018) pp. 453–468. doi:10.1108/ci-02-2018-0010.
  - [18] J. Teizer, H. Neve, H. Li, S. Wandahl, J. König, B. Ochner, M. König, J. Lerche, Construction resource efficiency improvement by long range wide area network tracking and monitoring, *Automation in Construction* 116 (2020) pp. 103245. doi:10.1016/j.autcon.2020.103245.
  - [19] F. Ahmed, M. Phillips, S. Phillips, K.-Y. Kim, Comparative study of seamless asset location and tracking technologies, *Procedia Manufacturing* 51 (2020) pp. 1138–1145. doi:10.1016/j.promfg.2020.10.160.
  - [20] Aravinda S. Rao, Marko Radanovic, Yuguang Liu, Songbo Hu, Yihai Fang, Kouros Khoshelham, Marimuthu Palaniswami, Tuan Ngo, Real-time monitoring of construction sites: Sensors, methods, and applications, *Automation in Construction*, Volume 136, 2022, 104099, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104099>.
  - [21] N. K. Verma, T. Sharma, S. D. Rajurkar, A. Salour, “Object identification for inventory management using convolutional neural network”, *IEEE Xplore*, Consultado en enero, 2024. <https://doi.org/10.1109/AIPR47015.2019.9174578>
  - [22] T. Sharma, A. Jain, N. K. Verma, S. Vasikarla, “Object Counting using KAZE Features Under Different Lighting Conditions for Inventory Management”, *IEEE Xplore*. Consultado en enero 2024. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2022.103148>
  - [23] F. Alogdianakis, L. Dimitriou, D. C. Charmpis, “Data-driven recognition and modelling of deterioration patterns in the US National Bridge Inventory: A genetic algorithm-artificial neural network framework”, *ELSERVIER*, 171, 103148. Consultado en enero 2024.