

**Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede
Esmeraldas (PUCESE)**

ESCUELA DE HABITAT, INFRAESTRUCTURA Y CREATIVIDAD

CARRERA

INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

**INGENIERÍA DE SOFTWARE, INNOVACIÓN
Y EMPRENDIMIENTO EN TIC**

TÍTULO DEL ARTICULO CIENTÍFICO

**RETROFITTING IOT PARA LABORATORIO REMOTO DE CINEMÁTICA EN
INGENIERÍA: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN TÉCNICA DE UN
PROTOTIPO PARA EL ESTUDIO DEL MRUA EN ENTORNO HÍBRIDO DE
APRENDIZAJE**

TÍTULO PROFESIONAL

INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN

AUTOR

SOSA MEJÍA WALTER SANTIAGO

ASESOR

MANUEL ROGELIO NEVÁREZ TOLEDO

ESMERALDAS, 2026

Retrofitting IoT para laboratorio remoto de cinemática en ingeniería: diseño, implementación y validación técnica de un prototipo para el estudio del MRUA en entorno híbrido de aprendizaje

Walter Santiago Sosa Mejía

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas; wssosa@puces.edu.ec

Abstract

La modernización de laboratorios de física en contextos de recursos limitados presenta desafíos significativos para la educación universitaria en América Latina, agravados por la necesidad de modalidades híbridas y remotas de experimentación. Este artículo presenta el diseño, implementación y validación técnica de un prototipo de laboratorio remoto de cinemática para el estudio del Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA), basado en una estrategia de *retrofitting* con tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) sobre equipamiento preexistente de bajo coste. La arquitectura propuesta integra un microcontrolador ESP32 como nodo de procesamiento en el borde (Edge computing), cuatro sensores infrarrojos, un broker MQTT sobre Raspberry Pi 4 y una interfaz web desarrollada en Next.js/React para control y visualización en tiempo real. Para validar el sistema, se ejecutaron 70 ensayos independientes (35 en modalidad remota y 35 en modalidad presencial). Los resultados demuestran que el prototipo remoto alcanza una precisión cinemática comparable al montaje tradicional: las diferencias de medias entre modalidades son inferiores a 0.03 s en los cuatro puntos de medición, las desviaciones estándar difieren en menos de 0.02 s ($\Delta\sigma < 0.02$ s), y la aceleración experimental media es idéntica en ambas modalidades ($\mu = 0.98$ m/s², con valor teórico esperado de $a \approx 0.92$ m/s²). Los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos ($r = 0.61$ – 0.62) reflejan la variabilidad natural del fenómeno físico y no sesgos sistemáticos del sistema. La tasa de captura exitosa de eventos alcanzó el 98.5% en modalidad remota. Se concluye que la metodología de *retrofitting* IoT es una solución viable, escalable y de bajo coste para democratizar el acceso a la educación experimental de calidad en entornos híbridos, sin requerir sustitución del equipamiento existente.

Received:
Accepted:
Published:

Keywords: Retrofitting; Internet of Things; Remote laboratories; MRUA; Low-cost instrumentation; Edge computing; Cloud services; Engineering education; Hybrid learning

Resumen. La modernización de los laboratorios de física en contextos de recursos limitados presenta desafíos significativos para la educación superior en América Latina. Este artículo presenta el diseño, implementación y validación técnica de un prototipo de laboratorio remoto de cinemática para el estudio del Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA), basado en una estrategia de *retrofitting* mediante tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) sobre equipamiento preexistente de bajo costo. La arquitectura integra un microcontrolador ESP32 como nodo Edge computing, cuatro sensores infrarrojos, un broker MQTT en Raspberry Pi 4 y una interfaz web en Next.js/React. Se realizaron 70 ensayos independientes (35 remotos y 35 presenciales). Los resultados demuestran que el prototipo remoto alcanza precisión cinemática comparable al montaje tradicional: diferencias medias inferiores a 0,01 s, desviaciones estándar difieren en menos de 0,02 s, y la aceleración experimental media es idéntica en ambas modalidades ($\mu \approx 0,95$ m/s²). La tasa de captura exitosa alcanzó el 98,5% en modo remoto. Se concluye que el *retrofitting* IoT es una solución viable, escalable y de bajo costo para democratizar el acceso a educación experimental en entornos híbridos.

Keywords: Retrofitting; Internet of Things; Remote laboratories; MRUA; Low-cost instrumentation; Edge computing; Cloud services; Engineering education; Hybrid learning

Datos del medio científico enviado a revisión por pares o ya publicado

Para artículos en proceso de publicación. Un artículo está en proceso de publicación cuando se han enviado a la plataforma de la revista científica seleccionada para que el editor inicie su análisis y luego proceda a iniciar el proceso de revisión por pares.

- **Nombre de la revista científica:** Internet of Things (MDPI journal)
- **Nombre del número especial:** *Advances in Wireless Communication Technologies for IoT Devices*
- **Enlace (URL) de la revista:** <https://www.mdpi.com/journal/IoT>
- **Enlace (URL) del número especial:** https://www.mdpi.com/journal/IoT/special_issues/D87UZPUCG6
- **ISSN de la revista:** eISSN: 2624-831X
- **Medio(s) de indexación:**
 - Scopus
 - Web of Science (Emerging Sources Citation Index - ESCI)
 - DOAJ
 - Google Scholar
 - PubMed (cuando aplica)
 - Scilit
- **Nombre del editor de la revista:** Editorial Office of MDPI (Academic Editor asignado según el artículo)
 - Long Zhao – Guest Editor, School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, China.
 - Rui Chen – Guest Editor, School of Telecommunications Engineering, Xidian University, China.
 - Jie Mei – Guest Editor, College of Electrical Engineering and Computer Science, Ningbo University, China.
- **Correo electrónico del editor de la revista:** iot@mdpi.com
- **Fecha de envío del artículo a la revista:** 23/03/2026

Evidencias de envío a medio científico.

- Documento de aprobación del asesor para realizar el envío del artículo científico (formato similar al usado para las tesis donde se especifica el porcentaje de similitud).

INFORME DEL DOCENTE-DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CARRERA INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Esmeraldas, 20 de febrero de 2026

Mgt. Homero Velasteguí
COORDINADOR DE CARRERA INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE ESMERALDAS

De mis consideraciones:

Se envía el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación que se detalla a continuación:

TÍTULO DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	"RETROFITTING IOT PARA LABORATORIO REMOTO DE CINEMÁTICA EN INGENIERÍA: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN TÉCNICA DE UN PROTOTIPO PARA EL ESTUDIO DEL MRUA EN ENTORNO HÍBRIDO DE APRENDIZAJE"	
DIRECTOR	Nombre	Cédula
	Manuel Rogelio Nevárez Toledo	0802490722
ESTUDIANTE(S)	Nombre	Cédula
	Sosa Mejía Walter Santiago	0804447381

Se informa que el trabajo ha cumplido con todos los parámetros establecidos, mediante el cual la estudiante demuestra el desarrollo de competencias en el campo de conocimiento de su profesión y presenta una propuesta en el área de conocimiento, con un nivel de argumentación coherente.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, CERTIFICO, para los fines pertinentes, que el (los) estudiante (s) está (n) apto (s) para continuar con el proceso de LECTURA.

Atentamente,



DIRECTOR/TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

C.I. 0802490722

NOMBRE: Mgt. Manuel Nevárez Toledo

FECHA: 20-02-2026



- Captura de pantalla del correo enviado al editor de la revista o en su defecto captura de pantalla de la plataforma de la revista en la que se sube el artículo.

The screenshot shows the SuSy journal submission interface. The user is logged in as manuel.nevarez@puces.edu.ec. The main content area is titled 'Co-Authored Manuscripts' and displays a 'Manuscripts status' table. The table has columns for Manuscript ID, Journal Section / Special Issue, Title, Status, and Submission Date. One manuscript is listed with ID IoT-4246100, status 'Rejected by editor', and submission date 2026-03-23 21:18:15.

Manuscript ID **IoT-4246100**

Status **Rejected by editor**

Article type **Article**

Title **IoT Retrofitting for a Remote Kinematics Laboratory in Engineering: Design, Implementation, and Technical Validation of a Prototype for the Study of UARM in a Hybrid Learning Environment**

Journal **IoT**

Special Issue **Advances in Wireless Communication Technologies for IoT Devices**

Abstract **The modernization of physics laboratories in resource-limited contexts presents significant challenges for higher education in Latin America, exacerbated by the need for hybrid and remote experimentation modalities. This article presents the design, implementation, and technical validation of a remote kinematics laboratory prototype for the study of Uniformly Accelerated Rectilinear Motion (UARM), based on a retrofitting strategy using Internet of Things (IoT) technologies on pre-existing low-cost equipment. The proposed architecture integrates an ESP32 microcontroller as an Edge computing processing node, four infrared sensors, an MQTT broker on Raspberry Pi 4, and a web interface developed in Next.js/React for real-time control and visualization. To validate the system, 70 independent trials were conducted (35 in remote mode and 35 in in-person mode). The results demonstrate that the remote prototype achieves kinematic precision comparable to the traditional setup: mean differences between modalities are below 0.01 s at all four measurement points, standard deviations differ by less than 0.02 s ($\Delta\sigma < 0.02$ s), and the mean experimental acceleration is identical in both modalities ($\mu \approx 0.95$ m/s², with an expected theoretical value of $a \approx 0.92$ m/s²). Bland-Altman analysis confirms a practically null mean bias between modalities ($|d| < 0.002$ s), and the width of the limits of agreement (± 0.46 – 0.80 s) is attributable to the inherent physical variability of unpaired trials, not to instrumental limitations. The successful event capture rate reached 98.5% in remote mode. It is concluded that the IoT retrofitting methodology is a viable, scalable, and low-cost solution to democratize access to quality experimental education in hybrid environments, without requiring replacement of existing equipment.**

Keywords **Retrofitting;Internet of Things;Remote laboratories;MRUA;Low-cost instrumentation;Edge computing;Cloud services;Engineering education;Hybrid learning**

Manuscript File [manuscript.zip](#)

PDF File [manuscript.pdf](#)

Author Information

Submitting Author **Walter Santiago Sosa Mejia**

Corresponding Author **Manuel Rogelio Nevarez Toledo**

Author #1 **Waltet Santiago Sosa Mejia**
E-Mail wssosa@puces.edu.ec

Author #2 **Manuel Rogelio Nevarez Toledo**
E-Mail manuel.nevarez@puces.edu.ec

Manuscript Information

Received Date **23 March 2026**

Page Count **1**

APC Information

Journal APC: **1,400.00 CHF**

Total Payment Amount: **1,400.00 CHF**

- Captura de pantalla del correo recibido por la plataforma o editor de la revista.

RV: [IoT] Manuscript ID: IoT-4246100 - Submission Received

Para: Manuel Rogelio Nevarez Toledo <manuel.nevarez@pucese.edu.e>; Walter Santiago Sosa Mejia <sosamejiasantiago@gmail.com>

Cc: Walter Santiago Sosa Mejia <wssosa@pucese.edu.ec>

Asunto: [IoT] Manuscript ID: IoT-4246100 - Submission Received

[No suele recibir correo electrónico de iot@mdpi.com. Descubra por qué esto es importante en <https://aka.ms/LearnAboutSenderIdentification>]

Dear Professor Nevarez Toledo,

Thank you very much for uploading the following manuscript to the MDPI submission system. One of our editors will be in touch with you soon.

Journal name: IoT

Manuscript ID: IoT-4246100

Type of manuscript: Article

Title: IoT Retrofitting for a Remote Kinematics Laboratory in Engineering: Design, Implementation, and Technical Validation of a Prototype for the Study of UARM in a Hybrid Learning Environment

Authors: Waltet Santiago Sosa Mejia, Manuel Rogelio Nevarez Toledo *

Received: 23 Mar 2026

E-mails: wssosa@pucese.edu.ec, manuel.nevarez@pucese.edu.e

Advances in Wireless Communication Technologies for IoT Devices