

CONTROL ADAPTATIVO INALÁMBRICO DE PLATAFORMAS PESADAS BASADO EN ARDUINO Y PROTOCOLO TCP/IP.

Jorge Humberto Vázquez Leiva ¹, José Ernesto Vargas Fernández ¹, Yordany Vélez Rodríguez ¹, Wilfredo Rafael Núñez Blanco ¹

¹ Centro de Investigación y Desarrollo de Electrónica y Mecánica “CID MECATRONICS”, Calle 15 y 86A, Playa, La Habana, Cuba
¹ e-mail: cid3@reduim.cu

RESUMEN

El trabajo presenta una estructura basada en sistemas embebidos para realizar control inalámbrico de plataformas pesadas giratorias con dos grados de libertad. Se propone el diseño de un controlador que permita acceso remoto de los operadores a través de una red WiFi, para el ajuste automático de los parámetros de control en tiempo real. Con el empleo de una placa Arduino UNO conectada a un módulo ESP8266 y un medio de cómputo, se establece la conexión inalámbrica basada en Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (TCP/IP). Esto posibilita su futura integración en una plataforma IoT (Internet of Things) empleando hardware y software libre como medios fundamentales. Los resultados obtenidos en un entorno de laboratorio evidencian que es posible el control de la plataforma a una distancia máxima de 50 m, siendo posible aumentar el alcance del enlace con la adición de antenas direccionales compatibles con el hardware que conforma el sistema.

PALABRAS CLAVES: Control adaptativo, plataformas giratorias, Arduino, IoT.

WIRELESS ADAPTIVE CONTROL OF HEAVY ROTATING PLATFORMS BASED ON ARDUINO AND TCP/IP PROTOCOL.

ABSTRACT

The work presents a structure based on embedded systems to perform wireless control of rotating heavy platforms with two degrees of freedom. The design of a controller that allows remote access of the operators through a WiFi network is proposed for the automatic adjustment of the control parameters in real-time. With an Arduino UNO board connected to an ESP8266 module and a computing medium, the wireless connection based on Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) is established, enabling future integration into an IoT platform. (Internet of Things) using free hardware and software as fundamental means. The results obtained in a laboratory environment show that it is possible to control the platform at a maximum distance of 50 m, increasing the range of the link with the addition of directional antennas compatible with the hardware that makes up the system.

INDEXTERMS: Adaptive Control, rotating platforms, Arduino, IoT.

1. INTRODUCCIÓN

Las plataformas giratorias se consideran pesadas una vez que superan los 500 kg de peso [1], las mismas son utilizadas en una variedad de aplicaciones tales como la manipulación de materiales, el transporte de cargas y la realización de tareas de construcción. Estos sistemas se ven limitados en la actualidad por dificultades en su operación relacionadas con el soporte cableado, dado por los elevados costos de instalación, fragilidad del medio e incapacidad de adaptación a cambios en el entorno [1]. Con el surgimiento de las plataformas IoT y el desarrollo de dispositivos inalámbricos, resulta relativamente sencillo el despliegue de dichas tecnologías, en entornos donde las líneas físicas constituyen una barrera potencial. Una solución viable para garantizar el control a distancia es la transmisión de la señal de control mediante radiofrecuencia (RF) [1].

Novedosas técnicas se han aplicado a este campo, algunas de ellas incluyen un controlador inalámbrico para regular las potencias transmitidas en redes de comunicaciones [2]. En otra investigación se propone un control autoadaptable

sin cableado para un sistema de control de velocidad electromecánico con incertidumbres desconocidas y perturbaciones de carga externas [3]. En [4] y [5] se supera la adaptabilidad del controlador PID convencional mediante estimación de parámetros basado en predictor de Smith y filtro Kalman en redes WiFi. De forma general, se sugiere un controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) inalámbrico que actúa como interfaz entre las mediciones inalámbricas y el controlador discreto. El trabajo desarrollado en [6] evidencia la aplicación del control por radiofrecuencia del nivel y temperatura en tanques de agua.

Otro estudio muestra la aplicación de técnicas de control a distancia de la resolución en sensores corporales [7]. Las investigaciones desarrolladas en [8-10] tratan la aplicación de PID difuso en el control de potencia y reducción de retardo en mediciones de parámetros e intercambio de información en comunicaciones inalámbricas. En [11] se corrobora la aplicación del control no cableado en sistemas de riego de la agricultura. De igual forma se logra la implementación en un sistema embebido del controlador. Los estudios más recientes, se basan en implementar controladores PID de control de modelo interno (IMC- por sus siglas en inglés) para aumentar la estabilidad en nodos basados en sensores [12].

Desde el punto de vista de control automático, una solución muy aplicada en los últimos años es la utilización de motores de corriente alterna asincrónicos en conjunto con variadores de frecuencia (MCA-VF/V) [12]. El principal problema es la incapacidad de que el controlador cumpla con las exigencias necesarias del medio donde se implementan y una distancia de operación limitada por las líneas físicas de conexión. Es por ello que las investigaciones giran en torno a implementar técnicas de control automático con capacidad de ser adaptables a cambios en los parámetros de operación y permitir el acceso remoto [10-12].

A pesar del éxito de las investigaciones desarrolladas [2-12], dichos sistemas se basan en su mayoría en control de potencia en redes no cableadas, mediciones de sensores corporales o industriales. Por otra parte, en los estudios citados se utilizan servidores que se basan en el empleo de internet y técnicas de control de compleja implementación [13]. En este trabajo se propone una solución alternativa que emplea como soporte técnico una placa de Arduino UNO y un módulo WiFi ESP8266. La misma consiste en desarrollar un controlador inalámbrico adaptativo para aumentar el alcance en el control de las plataformas. La ventaja radica en la obtención de un sistema con posibilidad de recalcular el matemático de la planta y la posibilidad de acceso sin necesidad de soporte cableado. El empleo del protocolo TCP/IP ofrece escalabilidad, estabilidad, seguridad e interconexión entre diferentes redes y dispositivos [14]. Por su principio de funcionamiento, la red inalámbrica propuesta es una opción para aplicaciones IoT

2. ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA

El presente trabajo propone la implementación de un sistema con la estructura mostrada en la Fig. 1. Para su definición se parte de la necesidad de lograr una conexión inalámbrica entre el operador y la plataforma. Como se puede apreciar el conjunto MCA-VF/V es dotado con un elemento de control externo compuesto por una placa de Arduino UNO y un módulo ESP8266, para garantizar la conexión inalámbrica. La placa de control es conectada a través de una red WiFi al servidor de gestión y control, este último puede ser un equipo de escritorio conectado a un enrutador o un terminal móvil que se encarga de transmitir los datos hacia la aplicación propuesta.



Figura 1: Diagrama en bloques del sistema de control propuesto.

El controlador programable es concebido con la premisa de emplear *hardware* libre, dado por el acceso a los diseños fuentes que permiten la generalización del sistema con costos mínimos de importación. Por otra parte, debe contar con interfaces de entrada que posibiliten la conexión de dispositivos externos, así como capacidad para conectar módulos RF inalámbricos. Como se puede apreciar en el diagrama en bloques, el sistema de posicionamiento de la plataforma pesada giratoria está conformado por un variador de frecuencia (VF/V), encargado de realizar la conversión entre la señal de control (0 V -10 V) y los niveles de tensión / corriente entregados al motor de corriente alterna (MCA) con un encoder acoplado [15].

Hardware propuesto

Durante la selección de los elementos del diseño, se tuvo en cuenta las exigencias planteadas en la estructura general. El dispositivo escogido fue Arduino por sus favorables costos de adquisición, facilidad de programación y versatilidad en sus interfaces de entrada con respecto a otros dispositivos como FPGA, PIC u otros microcontroladores [16]. Entre todas las variantes de Arduino se decidió trabajar con la placa Arduino Uno, la cual está equipada por un conjunto de pines de Entrada/Salida digitales y analógicos que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos [17]. Para adicionar capacidad inalámbrica al sistema fue seleccionado el chip ESP8266 por ser un integrado compatible con el protocolo TCP/IP y poseer la ventaja de ser mucho más barato que otros dispositivos similares [18]. Además consta de pines de Entrada/Salida para asignar varias funciones y garantiza protocolos de comunicación I2C, I2S, UART, PWM, IR y mando a distancia. En la Fig. 2 se muestra la conexión entre ambos elementos, teniendo en cuenta que el módulo WiFi ESP8266 emplea el protocolo de comunicación UART para conectarse con el controlador y la placa Arduino UNO presenta pines dedicados a esta función.

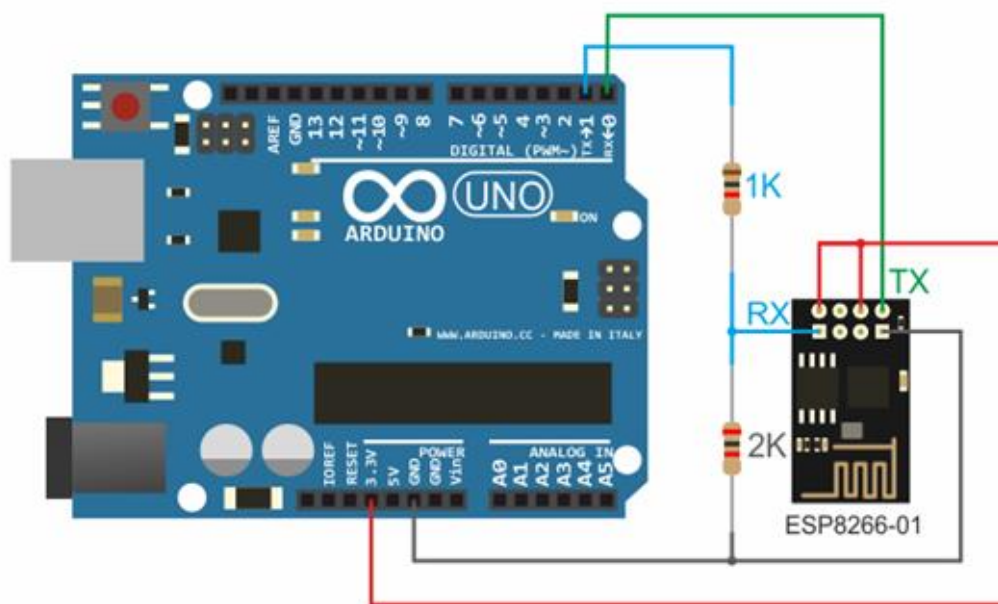


Figura 2: Conexión del módulo ESP8266 a la placa Arduino UNO.

3. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR INALÁMBRICO

El módulo ESP8266 diseñado para permitir al usuario controlar dispositivos remotos mediante una conexión WiFi, utilizando TCP/IP, permite al usuario recibir notificaciones, enviar datos a dispositivos remotos, recopilar los provenientes de sensores distantes o realizar otras acciones similares.

La programación del enlace se realizó desde el ambiente de desarrollo integrado (*IDE- por sus siglas en inglés*) de Arduino en su versión 1.8.2. Para lograr la conexión con el servidor WiFi, son empleadas las librerías ESP8266WiFi y WiFiClient, que facilitan la implementación de automatizaciones remota, manejos distantes y compilación selectiva de información relevante acerca del entorno circundante [19].

El diseño del enlace está basado en tres estados posibles del sistema: conectado, sin conexión y en espera de conexión. Los resultados de la compilación muestran que se consumen el 40 % y el 55% de la capacidad de memoria y las operaciones lógicas aritméticas posibles. En la Fig.3 es mostrado el algoritmo de programación del enlace inalámbrico.

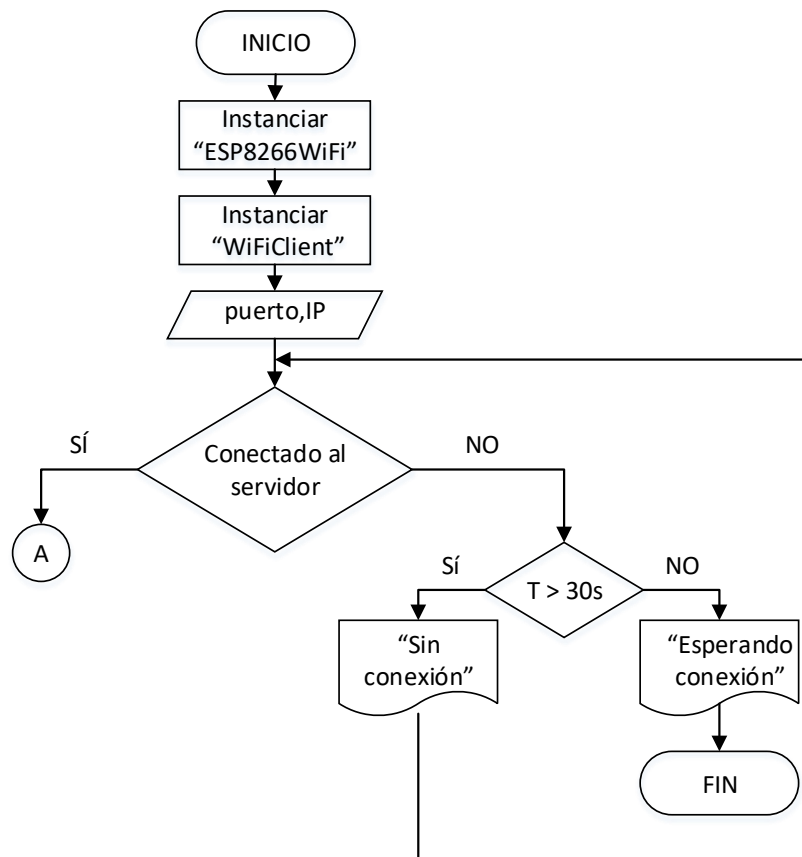


Figura 3: Algoritmo de programación del enlace inalámbrico.

4. APLICACIÓN DE GESTIÓN Y CONTROL

En el desarrollo de la aplicación de gestión y control se tuvo en cuenta la posibilidad de conexión inalámbrica vía WiFi o cableada a través de Ethernet, así como la multiplataforma con el objetivo de instalarla tanto desde una computadora de escritorio con sistema operativo Windows® o Linux, como en dispositivos móviles con sistema operativo Android. Por tal motivo, fue seleccionado el framework QtCreator5.7 [20]. La presente investigación se limita a describir solo el proceso de desarrollo de la aplicación en Windows® y Android, diferenciándose solamente por la inclusión de las herramientas de compilación correspondientes. En [20] se explican las configuraciones pertinentes en las opciones del *framework* para realizar la compilación para el sistema operativo Android.

Considerando la arquitectura de hardware, para realizar la programación de la aplicación se empleó el modelo cliente-servidor, donde la tarjeta Arduino UNO opera como cliente y el software de gestión y control es el servidor. El protocolo empleado en la capa de transporte de la arquitectura fue TCP, pues al ser orientado a conexión, proporciona un medio fiable para el flujo de bits entre aplicaciones [21]. Teniendo en cuenta que no se transmitirán grandes volúmenes de datos, la entrega de paquetes no implicará una demora significativa. Para el desarrollo del servidor fue utilizada la biblioteca "QTcpServer" y "QTcpSocket".

El diseño de la aplicación de gestión y control contempla un tiempo de espera para conexión de hasta 30s, así como un orden para leer y procesar los datos del proceso de posicionamiento de la plataforma. Los resultados de la

compilación en QtCreator5.7 demuestran un uso eficiente de los recursos del sistema, puesto que no exceden el 50% [21]. El algoritmo de programación propuesto se muestra en la Fig.4.

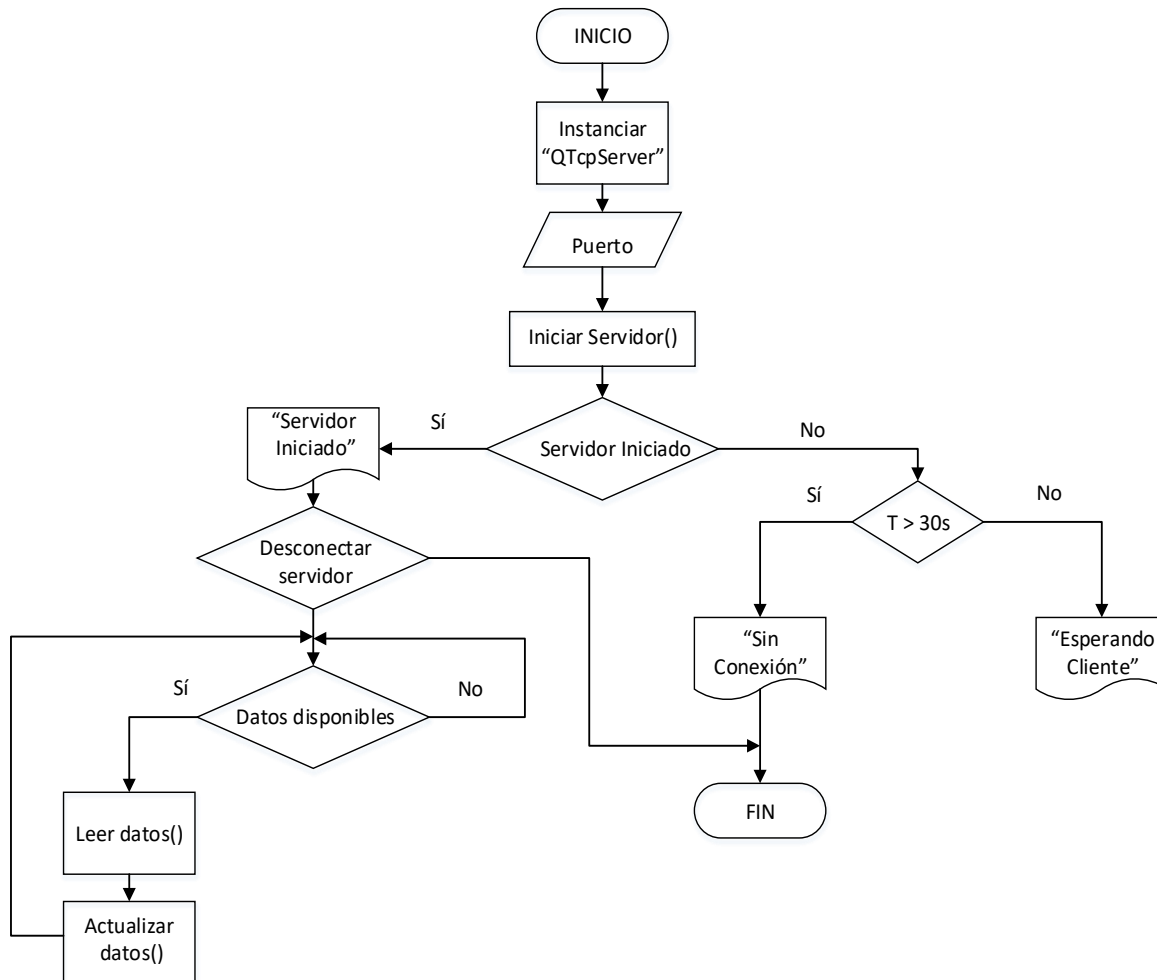


Figura 4: Algoritmo de programación implementado en QtCreator.

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA DE CONTROL ADAPTATIVO

La técnica de control adaptativo implementada está basada en la asignación de polos, la cual se lleva a cabo con la inserción de un controlador RST (Reference Signal Tracking) en un PID [9]. El diseño digital del sistema será realizado con el empleo de la plataforma de simulación multidominio Simulink (propia de MATLAB) que presenta un conjunto de librerías con posibilidad de exportación a lenguaje C [21], accesibles desde la ventana de comandos.

El principio del controlador que se desea implementar consta de tres pasos fundamentales, en primer lugar se recibe desde el servidor de gestión y control el valor de posición en grados que debe ocupar la plataforma pesada. Posteriormente se lee la posición actual a través de un encoder absoluto acoplado al eje del sistema de giro y se elabora la señal de error que se aplica al sistema de control. Por último, el algoritmo adaptativo propuesto debe hacer cero dicha señal mediante la reasignación de polos del modelo matemático correspondiente, lo cual indica que se ha llevado la plataforma a la posición de referencia. En la Fig.5 se muestra el esquema del diseño realizado en Simulink, donde a lo antes explicado se suma el bloque de saturación que evita que se apliquen tensiones superiores a los valores soportados por el variador de frecuencia.

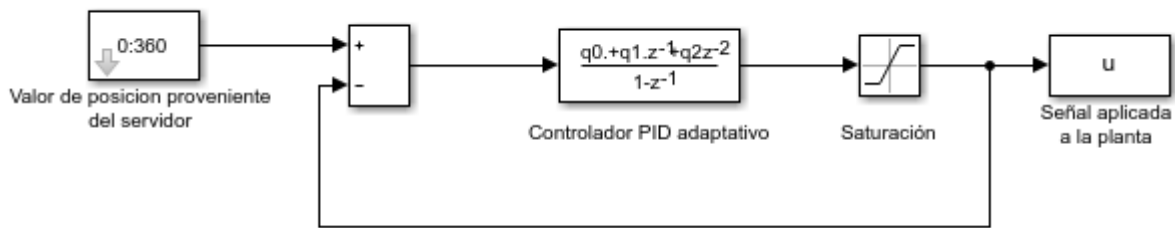


Figura 5: Esquema en Simulink del controlador PID adaptativo.

El algoritmo de programación en Arduino del controlador adaptativo se muestra en la Fig. 6. En ella se puede apreciar el principio de funcionamiento antes explicado y se detalla el algoritmo adaptativo. Una vez calculada la señal de error se procede a determinar las matrices de un controlador por manipulación de la señal de referencia (RST- por sus siglas en inglés) [21]. Luego por aproximación rectangular, se igualan los coeficientes determinados a los de un controlador proporcional, integral y derivativo (PID) discreto. Esto dota al PID de capacidad adaptativa y facilita su implementación [22].

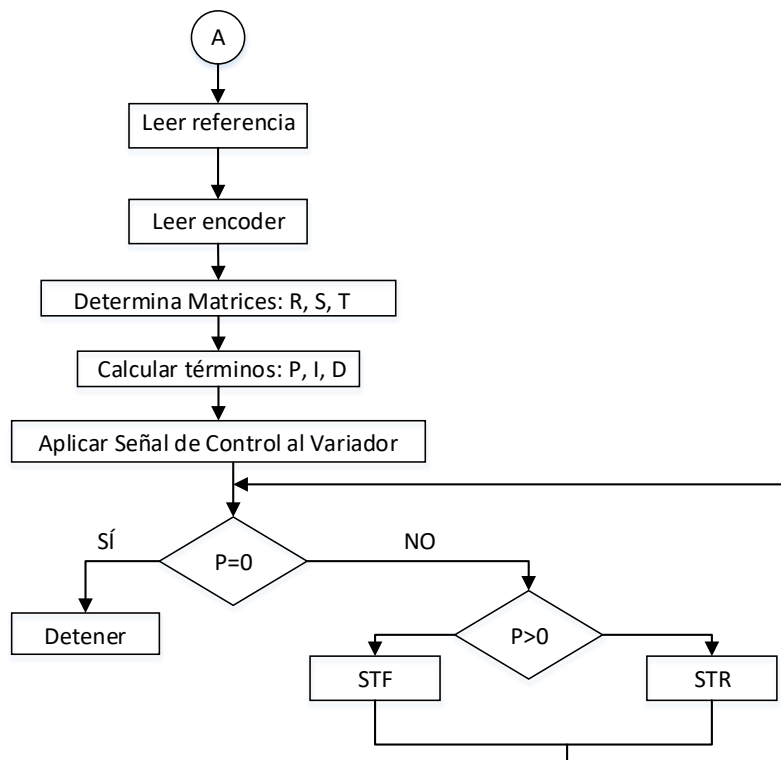


Figura 6: Algoritmo de programación del controlador PID adaptativo.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el desarrollo de las pruebas experimentales fue diseñado el esquema mostrado en la Fig. 7, donde la señal de referencia se envía desde el servidor de gestión y control y se corresponde con un valor de posición en un rango de 0° a 360° . El envío de la trama de datos proveniente del servidor de gestión y control se realiza a una frecuencia de 2.412 GHz. Para la conversión analógica digital se utilizó el ADS1115 [22] diseñado para Arduino. Para el proceso inverso se agregó un conversor digital analógico resistivo de 12 bits de resolución.

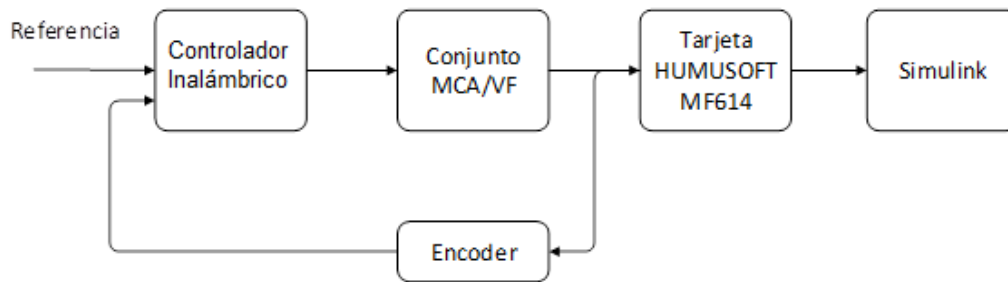


Figura 7: Esquema de verificación del controlador inalámbrico.

Los equipos empleados, además del controlador implementado, se relacionan a continuación:

- Variador de frecuencia marca Mitsubishi y referencia FR-A722.
- Motor de inducción trifásico marca ECCHOP con potencia de 2.2 kW, velocidad nominal de 2500 rpm, alimentación 220V/460V, consumo máximo de 8A, frecuencia de 60 Hz y eficiencia de un 89.5%.
- Encoder de tipo absoluto tipo Ac58 con 12 bits de resolución.
- Tarjeta de adquisición HUMUSOFT MF614 [6] para, mediante el *toolbox Real Time Target* de MATLAB, observar en Simulink la señal a la salida del sistema.
- Conversor analógico digital ADS1115 con 16 bits de resolución, interfaz de comunicación I2C, voltaje de operación de 2.2V a 5.5V y frecuencia de muestreo de 1kHz.
- PC con procesador AMD E-300 Dual Core CPU 1.30 GHz, sistema operativo WINDOWS 10 PRO de 64 bits, 6 GB de memoria RAM.

En la conexión inalámbrica, resultan parámetros claves en la caracterización del enlace: la potencia recibida, la ganancia de la antena y el nivel de ruido ambiental [22]. Por lo que se valoró el desempeño del sistema frente a diferentes distancias, con empleo de la antena integrada ESP8266. En la tabla 1 se muestra la dependencia de la potencia recibida contra la distancia al punto de acceso del servidor.

Tabla 1: Dependencia de la potencia recibida respecto a la distancia.

Distancia (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (GHz)	Ganancia (dBi)	Ruido ambiental (dB)
1	-35	2.412	10	-25
5	-45	2.412	9	-35
10	-50	2.412	6	-40
20	-54	2.412	5	-45
30	-58	2.412	4	-48
40	-62	2.412	3	-50
50	-69	2.412	2	-55
60	-75	2.412	1	-65

Se puede apreciar que para distancias superiores a los 50 m la potencia recibida se reduce significativamente haciendo inestable la conexión. Esta medición permite determinar la distancia máxima a la que se puede ubicar el punto de control con el empleo del punto de acceso embebido. Para mejorar los resultados obtenidos puede emplearse una antena direccional en el conector de radiofrecuencia presente en la placa o insertar un adaptador inalámbrico USB en su puerto para ser administrado por la distribución OpenWrt de Linux.

Se realizó una comparación de los resultados alcanzados en la plataforma con PID adaptativo incorporado con los valores establecidos por el fabricante en el manual del sistema original. Los instrumentos de medición empleados son los propios indicadores de parámetros del equipo. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Resultados obtenidos.

Parámetro	Sistema	Plano de medición	
		Horizontal	Vertical
Potencia de carga (W)	Original	2500 ±500	1500 ±500
	Con control inalámbrico	2900	1800
Error Dinámico (min)	Original	12±2	12±2
	Con control inalámbrico	14	13
Velocidad máxima (rpm)	Original	2500 ±200	1200 ±100
	Con control inalámbrico	2400	1250
Tiempo de vuelta completa (s)	Original	30±5	15±5
	Con control inalámbrico	28	13

Con el valor calculado se obtuvo un promedio de 2235 W de potencia necesaria para el motor asincrónico de inducción, lo cual demuestra la capacidad de soporte del conjunto formado por el motor de corriente alterna y el variador de frecuencia empleado, puesto que sobrepasan esa cifra.

Se llevó a cabo el control de la plataforma pesada de forma exitosa, aunque de acuerdo con los resultados alcanzados es recomendable mejorar el error dinámico en el plano horizontal, ya que las mediciones evidencian su comportamiento en los límites de error permisible.

7. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian el cumplimiento del objetivo de la investigación al lograrse la implementación de un sistema de control inalámbrico para garantizar el control de una plataforma pesada giratoria basado en TCP/IP. A través del empleo del hardware y software libre se logra una elevada independencia tecnológica abaratando los costos de fabricación. La configuración adoptada permite sobre todo flexibilidad y escalabilidad siendo posible su despliegue en zonas donde resulta imposible una conexión cableada, así como la adición de nuevos nodos sin que repercuta significativamente en el diseño original.

Aun cuando las pruebas son satisfactorias, si se requieren distancias de control superiores a 50 m es preciso emplear una antena direccional en el conector de radiofrecuencia presente en la placa o insertar un adaptador inalámbrico USB en su puerto para ser administrado por la distribución OpenWrt de Linux [23]. Se recomienda profundizar en el modelado matemático de las plataformas en cuestión para arribar a algoritmos de control inteligente que mejoren la capacidad adaptativa del sistema propuesto.

REFERENCIAS

- [1] T. N. Mir, B. Singh and A. H. Bhat, "Single-Phase to Three-Phase AC-AC Converter Fed Low Speed Induction Motor Drive With Encoderless Control," *2022 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE)*, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/PESGRE52268.2022.9715941.
- [2] A. Paul, M. Akar, M. G. Safonov and U. Mitra, "Adaptive power control for wireless networks using multiple controllers and switching," in *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 16, no. 5, pp. 1212-1218, Sept. 2005, doi: 10.1109/TNN.2005.853420.
- [3] Fang Yang, Zhaohui Yuan and Wei Zhang, "Robust adaptive PID control for electromechanical system," *2009 International Conference on Mechatronics and Automation*, 2009, pp. 391-395, doi: 10.1109/ICMA.2009.5245093.
- [4] W. Du and F. Du, "Wireless Networked Control Systems with Neuron Adaptive Control and Novel Smith Predictor," *2009 IITA International Conference on Control, Automation and Systems Engineering (case 2009)*, 2009, pp. 644-647, doi: 10.1109/CASE.2009.164.
- [5] M. Friman and J. Nikunen, "A practical and functional approach to wireless PID control," *21st Mediterranean Conference on Control and Automation*, 2013, pp. 942-947, doi: 10.1109/MED.2013.6608835.

- [6] J. Malpica and A. Rojas-Moreno, "Real-Time Wireless Control of a Water Tank Process," *2022 IEEE XXIX International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/INTERCON55795.2022.9870131.
- [7] S. -L. Chen, "A Power-Efficient Adaptive Fuzzy Resolution Control System for Wireless Body Sensor Networks," in *IEEE Access*, vol. 3, pp. 743-751, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2437897.
- [8] Z. Song and X. Zhou, "Research and simulation of wireless sensor and actuator networked control system," *2013 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 2013, pp. 3995-3998, doi: 10.1109/CCDC.2013.6561648.
- [9] T. Blevins, M. Nixon and W. Wojsznis, "PID control using wireless measurements," *2014 American Control Conference*, 2014, pp. 790-795, doi: 10.1109/ACC.2014.6858597.
- [10] J. Ma, K. liu, S. Sun and G. Yang, "Design and Simulation of Large Delay Wireless Network Control System," *2018 Eighth International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC)*, 2018, pp. 217-220, doi: 10.1109/IMCCC.2018.00053.
- [11] Y. Han, G. Lu, T. Guo, T. Qie and Q. Zhang, "Design of Agriculture Intelligent Irrigation System based on Wireless Sensor Network," *2020 Chinese Automation Congress (CAC)*, 2020, pp. 3230-3233, doi: 10.1109/CAC51589.2020.9326952.
- [12] K. Lenarska, K. Wesolowski and M. Sybis, "Application of Virtual Leaders in Long Vehicle Platoons Operating with Cooperative Adaptive Cruise Control Using IEEE 802.11p Transmission," *2020 IEEE 21st International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM)*, 2020, pp. 176-178, doi: 10.1109/WoWMoM49955.2020.00040.
- [13] A. Leva, F. Terraneo and S. Seva, "A Multitransmission Event-Based Architecture for Energy-Efficient Autotuning Wireless Controls," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 30, no. 4, pp. 1510-1524, July 2022, doi: 10.1109/TCST.2021.3111724.
- [14] A. Gour, T. Mathews, R. P. Behera, M. Sakthivel, T. Jayanthi and B. K. Panigrahi, "Development of FPGA based TCP/IP communication module for Embedded Systems of Nuclear Reactors," *2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE)*, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ic-ETITE47903.2020.9.
- [15] m. Izutsu and K. Furuta, "Design of a model following stabilizer to an artificial gravity control model," *SICE Annual Conference 2007*, 2007, pp. 1252-1257, doi: 10.1109/SICE.2007.4421176.
- [16] O. E. Amestica, P. E. Melin, C. R. Duran-Faundez and G. R. Lagos, "An Experimental Comparison of Arduino IDE Compatible Platforms for Digital Control and Data Acquisition Applications," *2019 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/CHILECON47746.2019.8986865.
- [17] K. K. M. Rahman, M. M. Subashini, M. Nasor and A. Tawfik, "Development of bio-shields for Arduino Uno," *2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICASET.2018.8376901.
- [18] A. V. Zinkevich, "ESP8266 Microcontroller Application in Wireless Synchronization Tasks," *2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 2021, pp. 670-674, doi: 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446411.
- [19] I. Abdulrahman and G. Radman, "Simulink-Based Program for Simulating Multi- Machine Power Systems," *2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESGM.2018.8585773.
- [20] Qt Creator [Software]. 5.7 Version. Available: <https://www.qt.io/download-qt-installer>.
- [21] Z. Kanmai, "TCP/IP Protocol Security Problems and Defenses," *2020 International Conference on Intelligent Computing and Human-Computer Interaction (ICHCI)*, 2020, pp. 117-120, doi: 10.1109/ICHCI51889.2020.00033.
- [22] C. Pyo, K. Ishizu, Y. Miyazawa, T. Miyachi and F. Kojima, "Real-time Wireless Channel Monitoring Cooperated with Roadside Sensors for Autonomous Mobility Assistance System (AMAS)," *2019 22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/WPMC48795.2019.9096162.
- [23] A. Agnello *et al.*, "Proposal for flicker measurement and evaluation in grid-connected low-power wind turbines," *2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, 2022, pp. 1-8, doi: 10.1109/ARGENCON55245.2022.9939856.

SOBRE LOS AUTORES

Jorge H. Vázquez Leiva es ingeniero en Telecomunicaciones, graduado del Instituto Técnico Militar “José Martí” en el año 2015, optante al título académico de Máster en Automática en la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”. Actualmente labora como Aspirante a Investigador en el CID MECATRONICS. ORCID: 0000-0002-7201-5514.

José E. Vargas Fernández es ingeniero en Telecomunicaciones, graduado de la Universidad Central de Las Villas “Marta Abreu” en el año 2013, optante al título académico de Máster en Automática en la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”. Actualmente labora como Investigador Agregado en el CID MECATRONICS. ORCID: 0000-0003-4897-1618.

Yordany Vélez Rodríguez es ingeniero Radioelectrónico de Aviación, graduado del Instituto Técnico Militar “José Martí” en el año 2013, optante al título académico de Máster en Automática en la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”. Actualmente labora como Aspirante a Investigador en el CID MECATRONICS. ORCID: 0000-0003-2675-3476.

Wilfredo R. Núñez Blanco es ingeniero en Informática, graduado del Instituto Técnico Militar “José Martí” en el año 2015, optante al título académico de Máster en Sistemas Digitales en la Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”. Actualmente labora como Aspirante a Investigador en el CID MECATRONICS. ORCID: 0000-0003-2742-7752.

CONFLICTO DE INTERESES

No existen conflictos de intereses de los autores ni de la institución en relación al contenido del artículo aquí reflejado.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Jorge Humberto Vázquez Leiva** participó en la conceptualización, preparación, creación y desarrollo del artículo, realizó el diseño del enlace inalámbrico y la implementación del controlador. Elaboró el protocolo de pruebas para validación del sistema y participó en su ejecución.
- **José Ernesto Vargas Fernández** participó en la conceptualización, preparación, creación y desarrollo del artículo. Participó en el diseño del enlace inalámbrico.
- **Yordany Vélez Rodríguez** participó en la implementación del controlador, en la revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo y aprobación de la versión final a publicar.
- **Wilfredo R. Núñez Blanco** participó en la revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo. Participó en la etapa de validación y elaboración de la discusión de los resultados.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

