
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LAS CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA

*Bibliographic review of the electrical characteristics of energy
harvesting systems*

*Revisão da literatura sobre as características elétricas dos
sistemas de coleta de energia*

Cristina Gallardo¹, Carlos Gordón¹, Geovanni Brito¹ & Fabian Salazar¹

¹ GITED Research Group. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.
Universidad Técnica de Ambato (UTA. Ambato-Ecuador. Correo:
cgallardo2599@uta.edu.ec, cd.gordon@uta.edu.ec, geovannidbrito@uta.edu.ec,
fr.salazar@uta.edu.ec

Fecha de recepción: 10 de septiembre de 2022.

Fecha de aceptación: 15 de diciembre de 2022.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN. En los últimos años, las fuentes de energía alternativas se han vuelto esenciales a medida que aumenta su demanda, la energía obtenida de fuentes externas como son la térmica, solar, eólica y la de Radio Frecuencia (RF), se han utilizado para diversos fines para proporcionar energía ilimitada y sustentable durante la vida útil de los dispositivos electrónicos. **OBJETIVO.** Esta investigación se centra en el concepto de Captación de Energía y en la revisión de diferentes sistemas de captación de energía con el fin de identificar sus datos relevantes, así como las características eléctricas de cada uno de los sistemas y elementos que son indispensables para su construcción. **MÉTODO.** En esta revisión documental de sistemas de captación de energía se plantea una investigación cualitativa con la revisión de artículos y estudios científicos dedicados a la investigación de las captaciones de energía. **RESULTADOS.** Se han identificado diferentes parámetros como: frecuencia, las bandas de operación, ganancia, tipo de antena, tipo de señal recolectada, potencia, resistencia de carga, y almacenamiento. **DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.** La configuración del rectificador que ha tenido la mayor eficiencia de conversión fue el doblador de voltaje, seguido del rectificador de diodo en serie.

Palabras claves: Captación de Energía, Energía sustentable, Sistemas de captación.



ABSTRACT

INTRODUCTION. In recent years, alternative energy sources have become essential as their demand increases, energy obtained from external sources such as thermal, solar, wind and Radio Frequency (RF), have been used for various purposes to provide unlimited and sustainable energy for the lifetime of electronic devices. **OBJECTIVE.** This research focuses on the concept of Energy Harvesting and the review of different energy harvesting systems in order to identify their relevant data, as well as the electrical characteristics of each of the systems and elements that are indispensable for their construction. **METHOD.** In this documentary review of energy harvesting systems, qualitative research is proposed with the review of articles and scientific studies dedicated to the research of energy harvesting. **RESULTS.** Different parameters have been identified such as: frequency, operating bands, gain, antenna type, type of signal collected, power, load resistance, and storage. **DISCUSSION AND CONCLUSION.** The rectifier configuration that has had the highest conversion efficiency was the voltage double, followed by the series diode rectifier.

Keywords: Energy Capture, Sustainable Energy, Energy Capture Systems, Energy Harvesting.

RESUMO

INTRODUÇÃO. Nos últimos anos, fontes alternativas de energia tornaram-se essenciais à medida que sua demanda aumenta, a energia obtida de fontes externas como térmica, solar, eólica e de radiofrequência (RF), tem sido utilizada para diversos fins a fim de fornecer energia ilimitada e sustentável durante a vida útil dos dispositivos eletrônicos. **OBJETIVO.** Esta pesquisa enfoca o conceito de Colheita de Energia e a revisão de diferentes sistemas de colheita de energia para identificar seus dados relevantes, bem como as características elétricas de cada um dos sistemas e elementos que são indispensáveis para sua construção. **MÉTODO.** Nesta revisão documental dos sistemas de coleta de energia, é proposta uma pesquisa qualitativa com a revisão de artigos e estudos científicos dedicados à pesquisa da coleta de energia. **RESULTADOS.** Foram identificados diferentes parâmetros tais como: frequência, faixas de operação, ganho, tipo de antena, tipo de sinal coletado, potência, resistência de carga e armazenamento. **DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.** A configuração do retificador com a maior eficiência de conversão foi o duplicador de tensão, seguido pelo retificador de diodos em série.

Palavras-chave: Colheita de Energia, Energia Sustentável, Sistemas de Colheita de Energia.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el proceso de captación de energía del ambiente para generar electricidad en pequeñas cantidades ha impulsado el desarrollo de las aplicaciones Energy Harvesting. La energía recolectada en estos dispositivos puede usarse directamente en infinidad de aplicaciones o almacenarse en baterías [1], por ejemplo, puede ser utilizada para la alimentación de sensores o microprocesadores que no requieran grandes cantidades de energía para su funcionamiento. Por otro lado, la idea de transferir energía de forma inalámbrica no es algo nuevo y empresas como Tesla ya han intentado transferir energía entre dos puntos sin ninguna conexión física [2].



Los materiales óptimos para la realización de un captador de energía se enfocan en el dispositivo rectenna que está formado de un rectificador y una antena que permite transformar las señales electromagnéticas en señales continuas, en esta investigación también se ha determinado que el dispositivo más utilizado es el diodo Schottky de alta eficiencia para maximizar la transformación de radiofrecuencia en señal continua; además, los sistemas de captación enfocados en IoT trabajan con frecuencia de 2,4 GHz dado que la mayoría de los sistemas de Wi-Fi operan en esta banda de frecuencia [2].

Esta investigación se enfoca en las características eléctricas que han surgido de diferentes sistemas de captación con el objetivo de realizar una revisión del funcionamiento de las características eléctricas de los sistemas de captación de energía identificando, frecuencia, potencia de almacenamiento y bandas de operación [1].

MÉTODO

En esta sección se plantea una investigación cualitativa como se observa en la Figura 1, con la revisión de artículos y estudios científicos dedicados a la investigación de las captaciones de energía de diferentes sistemas permitiendo la recopilación de las características eléctricas y materiales utilizados en los mismo, la búsqueda se ha realizó mediante investigaciones publicadas en revistas científicas reconocidas a nivel mundial y en varios idiomas, predominado las investigaciones que se publicaron en la asociación Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) [3].



Figura 1. Estructura de la metodología

Los artículos investigados de Energy Harvesting tiene las principales tecnologías para el almacenamiento, captación de la energía y su diferentes utilidades, los artículos realizan pruebas con los prototipos donde muestran el voltaje de salida y eficiencia de conversión dependiendo de cada antena que se ha utilizado, algunos

artículos no mencionan sus materiales, sin embargo, hacen referencia a los semiconductores rectificadores [4] con distintas topologías con el fin de transformar la energía proveniente de la radiofrecuencia en una señal continua en general, los diodos Schottky se nombra como uno de los materiales fundamentales para la captación de energía en especial en la etapa de la rectificación [5].

En la búsqueda se localizaron diferentes investigaciones a nivel mundial, que cumplen con el objetivo de la investigación, una vez realizada la recopilación de información de los sistemas de captación de energía, se identificación diez tipos, siendo éstos:

- S1: Sistema de recolección de energía (Energy Harvesting), que emplea la corriente Corona y señales de alta frecuencia.
- S2: Sistema de recolección de energía con Radio Frecuencia (RF).
- S3: Sistema con antenas Microstrip para cosecha de energía de Radiofrecuencia (RF).
- S4: Sistema de recolección de energía de radiofrecuencia con acopladores híbridos de 180° y múltiples antenas.
- S5: Diseño de una Rectenna de 2,45 GHz de alta eficiencia para la recolección de energía con bajo consumo de energía.
- S6: Rectenna de 0,5 g de doble frecuencia y consumo ultra bajo.
- S7: Rectenna de doble banda que utiliza una matriz de antenas Yagi de banda ancha para la recolección de energía de RF ambiental.
- S8: Rectenna de banda ancha de alta eficiencia para la recolección de energía inalámbrica ambiental.
- S9: Recolección de energía inalámbrica con rectennas planas para RFID de 2,45 GHz.
- S10: Una antena compacta de doble banda con antena dipolo plegada de doble banda con ranura

RESULTADOS

Para los resultados se han recopilado cada uno de los parámetros que son necesarios con el propósito de mostrar el enfoque de las características eléctricas y los elementos que componen cada uno de los sistemas.

En el año 2016 Rivera Carlos propone que los sistemas de captación empleen la energía almacenada en el campo eléctrico de las nubes de tormenta y extraer mediante Electrodo Tipo Corona, el sistema utiliza dos fuentes no convencionales de energía, la corriente Corona generada en condiciones de tormenta y la energía que se obtiene del espectro radioeléctrico (Emisoras de AM, FM y en menor medida TDT) [6], responde a los cambios en polaridad y amplitud de la corriente Corona cuando se presenta un evento de tormenta, como elemento regulador se utilizó un diodo Zener de 3.9V para regular el voltaje en la batería de Litio, la cual presenta un voltaje nominal de 3.7V, la utilización de diodos Schottky 1N5711 y MBD301-D presentan un potencial en polarización directa de 0,36V y funcionan en la banda de VHF y UHF [6].

En el 2016 Mendez Richar, Santesteban Vidal, Ambrosio Roberto, Pavon Carmen y Flores Edna propone que los sistemas de captación de energía utilicen el diseño de un sistema completo de cosechamiento de energía mediante radiofrecuencia y Microondas que emplee un multiplicador de voltaje del tipo Villard y este acoplado con la antena mediante un acoplador de impedancias [7]; El acoplamiento utiliza un single stub; y mediante la impedancia de entrada del circuito multiplicador con un puerto de 50 Ω para conectar la antena a la frecuencia de los 915 MHz con una antena monopolo [7].

En el 2014 G.P Ramesh y A. Rajan centran la investigación en la recolección de energía de radiofrecuencia y extracción de energía del medio ambiente para recargar una batería; la antena se simuló utilizando una estructura de alta frecuencia, los parámetros medidos de microstrip, la frecuencia a 3,43 GHz, la pérdida de retorno es 9,8155 dB y VSWR es 1.9543 y la impedancia es 50,1468 y la ganancia es 7,69 dB; para su uso en la recolección de energía de RF [8].

En el 2020 Martínez, A. Medina, C. Bonilla, J. Villegas, y J. Aldaz proponen un sistema recolector de energía de radiofrecuencia que utiliza un circuito de potencia de combinación de radiofrecuencia basado en la característica del acoplador híbrido de 180° para combinar energía, el sistema está diseñado para recolectar energía en las bandas de frecuencia GSM, UMTS y Wi-Fi [9]. Este sistema utiliza cuatro antenas receptoras, el cual muestra un voltaje de corriente continua recolectado de 847 mV cuando tres fuentes de radiación cercanas generan una energía de -1,6 dBm en la entrada del convertidor, con una eficiencia de conversión máxima del 68% a la frecuencia de 1,84 GHz [9].

En el 2012 Hucheng Sun, Yong-xin Guo, Miao He y Zheng Zhong presentan una rectenna de 2,45 GHz de alta eficiencia que puede recolectar energía de RF, la antena está diseñada para que coincida directamente con el circuito rectificador a 2,45 GHz y no coincida en el segundo y tercer armónico, de modo que se pueda eliminar el uso del filtro de paso de banda entre la antena y el circuito rectificador [10]. La rectenna muestra una eficiencia de conversión máxima del 83% con una resistencia de carga de 1400 Ω , además, la eficiencia de conversión general puede permanecer en un 50% para el nivel de potencia de entrada bajo de 17,2 dBm [11].

En el 2013 Scheeler, Korhummel, y Popovic nos presenta sensores ubicuos registran datos y los envían a la nube, beneficiándose de los recolectores de energía inalámbricos [12]. Estos sensores no tienen formas convenientes de permanecer alimentados a menos que se utilicen circuitos de recolección de energía para el hardware del sensor, los requisitos para el recolector de energía presentados en este artículo son los siguientes: Densidad de potencia incidente: 1 $\mu\text{W} / \text{cm}^2$ a 2,45 GHz y 915 MHz, transmisión de potencia: por separado en cada una de las dos frecuencias con polarización vertical lineal y posición conocida de la fuente, masa total del prototipo: menos de 15 g, incluido conexión para salida de corriente continua, potencia mínima recolectada en cada frecuencia: 1 μW potencia de corriente continua entregada a una carga de 2,2 K Ω [13].

En el año 2013 Hucheng Sun, Yong-xin Guo, Miao He, y Zheng Zhong presenta una rectenna de doble banda que puede cosechar potencia de RF ambiental de las bandas GSM-1800 y UMTS-2100, la rectenna se basa en un conjunto de antenas cuasi-Yagi con ancho de banda de 1,8 a 2,2 GHz. Además, un rectificador de doble banda que mejora la eficiencia de conversión de corriente directa a potencia de RF ambiental; los resultados de la medición muestran una tensión de corriente directa de salida de 224 mV logrado a través de una resistencia de 5 K Ω cuando la potencia de entrada de doble tono la densidad es de 455 W/m. Además, la tensión de corriente directa de salida se puede obtener entre 300 y 400 mV recolectando el valor relativo baja potencia de RF ambiental [14].

En el 2015 Chaoyun Song, Jiafeng, Jingwei, Sheng, y Carter propone una rectenna de banda ancha para recolección de energía inalámbrica ambiental en la banda de frecuencia de 1,8 a 2,5 GHz; una impedancia novedosa de dos ramas se introduce un circuito de adaptación para mejorar el rendimiento y eficiencia, [15] consta de un circuito de adaptación de impedancia para entregar la potencia máxima, un elemento rectificador (diodo) para realizar la conversión de RF a CC, un filtro de paso de CC para suavizar la fluctuación de salida y una carga (resistencia), la RF la potencia recibida por la antena se atenúa pasando a través el circuito de adaptación de impedancia y el diodo, el restante la energía se convierte en corriente continua, el condensador actúa como filtro de paso alto y elemento de almacenamiento de energía [16].

En el 2010 Ugur Olgun, Chi-Chih Chen y John L. Volakis presentan la estructura de la rectenna formada por una antena de parche fractal, la rectenna propuesta alcanza un tamaño pequeño con una ganancia realizada relativamente alta (4 dBi) y una buena eficiencia de conversión de RF a CC (hasta un 70%) [17], se formó combinando las antenas para alimentar el circuito de diodos, el rendimiento, se evaluó utilizando un lector RFID comercial que funciona a 2,45 GHz ISM banda. Para la primera medición, la antena y la rectenna propuesta se colocaron frente a frente, durante la prueba, se evaluó la efectividad del circuito de recolección de energía conectando un LED a la salida del circuito de CC, fue necesario un voltaje mínimo de 1.5 V y se encontró que el encendido se puede lograr hasta 3.1 m de separación entre el lector y la rectenna; para la segunda medición, se utilizó la rectenna propuesta para reemplazar la batería de una etiqueta de sensor RFID comercial ALB-2484 [17].

En el 2013 Kyriaki Niotaki, Sangkil Kim, Seongheon Jeong, Ana Collado, Apostolos Georgiadis y Manos M. Tentzeris, presenta una rectenna compacta de doble banda que funciona a 915 MHz y 2,45 GHz, la rectenna consta de una antena dipolo plegada de banda dual cargada con ranura y un rectificador de banda dual [18]. La longitud de la antena propuesta es solo el 36,6% de la antena dipolo de media longitud de onda a 915 MHz, manteniendo la propiedad de doble banda en 915 MHz y 2,45 GHz [19].

Tabla 1. Tabla comparativa de las características eléctricas de los sistemas de captación de energía

Característica	Frecuencia	Banda de operación	Ganancia	Antena	Potencia	Resistencia	Almacenamiento
S1	300kHz a 3GHz	NE	5.4dB	Monopolo	1.5V a 3.4V	433 Ω	Batería de polímero de Litio
S2	915MHz	NE	NE	Monopolo espiral	-28dB de retorno	50Ω	NE
S3	3.43 GHz	ISM	7.69dBi	Microstrip	9.8dB retorno	50.14Ω	Batería
S4	2.5 GHz	GSM, UTMTS y Wifi	NE	Arreglo de antenas dipolo	-1.6 dBm entrada	1.2KΩ	NE
S5	2.4 GHz	NE	8.6dBi	CPS-microstrip	17.2dBm	1400Ω	NE
S6	914MHz a 2.45 GHz	ISM y GMS	-3dBi a 8dBi	Yagi-Uda	-13.5dBm a -11dBm entrada	NE	NE
S7	925-2170 MHz	GMS -900 GMS -1800 UTMS-2100	2-10dBi	Guasi-Yagi	-35, -25, -15dBm entrada	NE	NE
S8	1.8 a 2.5 GHz	Wifi	30dBi	Planar dual	10dBm	NE	NE
S9	2.45 GHz	ISM	4dBi	Antena de parche de microbanda	NE	NE	2.2Kohm
S10	915 MHz-2.45 GHz	NE	1.87 y 4.18 dBi	Dipolo plegado de doble banda	NE	NE	NE



La comparativa entre los sistemas analizados se ha identificado diferentes parámetros como: frecuencia, las bandas de operación, ganancia, tipo de antena, potencia, resistencia de carga, y almacenamiento, como se observa en las tablas 1.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La configuración del rectificador que ha tenido la mayor eficiencia de conversión RF-CC fue el doblador de voltaje, seguido del rectificador de diodo en serie, el sistema de Martínez, A. Medina, C. Bonilla, J. Villegas, and J. Alda muestra un circuito de potencia de combinación de radiofrecuencia basado en la característica del acoplador híbrido de 180° para combinar energía donde se demuestra ofrecer importantes ventajas en comparación con otros recolectores de energía de radiofrecuencia incluyendo un voltaje de recolección mejorado, facilidad de implementación, no requiere ninguna modificación en el acoplador híbrido, y una función multibanda utilizando múltiples antenas de banda ancha.

Como conclusión los resultados muestran en el sistema 1 la corriente Corona de polaridad negativa, generada por campos eléctricos ambientales de polaridad negativa, se adiciona con las señales de RF, aportando en los procesos de carga de la batería LiPo. Posteriormente al finalizar el evento de tormenta, sólo se presenta la contribución de energía por las señales de RF. Los cálculos de energía muestran que las dos fuentes de energía, para nuestro caso la corriente Corona, aporta en los procesos de recolección de energía para la batería LiPo.

De los resultados de tabla del sistema 2 se observa que la resistencia de carga que proporciona los valores de potencia más altos es la resistencia 85KΩ. Encontrando de momento que esta es la resistencia que hace que el sistema de recolección sea más eficiente al momento de cosechar la energía. Con este tipo de circuitos se puede tener una recolección de energía constante debido a que las señales de comunicaciones están presentes las 24 horas del día. Finalmente, en el sistema dos trabaja con una frecuencia de 3.43 GHz con una banda de operación ISM con una ganancia de 7.59 con una antena Microstrip.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

La presente investigación ha tenido el respaldo de la Universidad Técnica de Ambato y la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE), con el Proyecto de Investigación "Captación de Energía Limpia de Baja Potencia para Alimentación de Dispositivos de Quinta Generación (5G)", código de proyecto SFFISEI 07.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran la no existencia de conflicto de interés alguno.



APORTE DEL ARTÍCULO EN LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Este artículo aporta con la base de conocimiento en el desarrollo de sistemas de captación de energía.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE CADA AUTOR

Carlos Gordón aportó con la idea de la investigación y la publicación. Cristina Gallardo realizó la investigación literaria. Geovanni Brito y Fabian Salazar aportaron en el análisis de resultados, discusión y conclusiones.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Ambato y a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) por su apoyo en la realización de esta investigación y en la ejecución del proyecto "Captación de Energía Limpia de Baja Potencia para Alimentación de Dispositivos de Quinta Generación (5G)", código de proyecto SFFISEI 07.


REFERENCIAS

- [1] Castillo Martínez, Alonso «Antenas para aplicaciones de captación de energía en la banda UHF,» Valencia, 2014.
- [2] Prieto Poyatos, Álvaro «Diseño de un sistema de captación de energía de señales wifi,» Madrid, 2019.
- [3] Ruiz, Adela. (2019). Las referencias bibliográficas. In Taller de Visibilizarían de las Producciones Científicas (La Plata, 11 de febrero de 2019).
- [4] Cují, Julio; Mendoza, Luis «Sistema electrónico portátil para la recarga eléctrica de dispositivos móviles mediante la captación de energía electromagnética» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2019.
- [5] Rivera Guerrero, «Sistema de recolección de energía (Energy Harvesting), que emplea la corriente Corona y señales de alta frecuencia,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2016.
- [6] R. Meléndez, V. Santiesteban, R. Ambrosio, L. d. C. Gómez y E. Tamariz, «Sistema de Cosechamiento de Energía con Radio Frecuencia.,» de Somi XXXI Congreso de instrumentacion , Guatemala , 2016.
- [7] Jung Hun Kim; Bito, J.; Tentzeris, M.M., "Design optimization of an energy harvesting RF-DC conversion circuit operating at 2.45GHz," in Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2015 IEEE International Symposium pp.1280-1281, 19-24 2015
- [8] G. Ramesh y A. Rajan, «Microstrip Antenna Designs for RF Energy Harvesting,» IEEE, pp. 1653-1657, 2014.


- [9] Martínez. J, Medina. A, Bonilla. C, Villegas. J y Aldaz. J, «Radio Frequency Energy Harvesting System Making Use of 180° Hybrid Couplers and Multiple Antennas to Improve the DC Output Voltage,» IEEE, pp. 604-612, 2020.
- [10] S. Hucheng, G. Yong-xin, H. Miao y Z. Zheng, «Design of a High-Efficiency 2.45-GHz Rectenna for Low-Input-Power Energy Harvesting,» IEEE, pp. 929-932, 2012.
- [11] J. O. McSpadden, L. Fan, and K. Chang, "Design and experiments of high-conversion-efficiency 5.8-GHz rectenna," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 46, no. 12, pp. 2053-2060, Dec. 1998
- [12] R. Scheeler, S. Korhummel y Z. Popovic, «A Dual-Frequency Ultralow-Power Efficient 0.5-g Rectenna, » IEEE, pp. 109-114, 2013.
- [13] S. Hucheng, G. Yong-xin, H. Miao y Z. Zheng, « A Dual-Band Rectenna Using Broadband Yagi Antenna Array for Ambient RF Power Harvesting, » IEEE, pp. 918-921, 2013
- [14] Y. H. S. M. Chaoyun Song, Z. Jiafeng, Z. Jingwei, Y. Sheng y P. Carter, «A High-Efficiency Broadband Rectenna for Ambient Wireless Energy Harvesting, » IEEE, pp. 486-495, 2015
- [15] T. Q. V. Hoang et al., "3D voltage pattern measurement of a 2.45 GHz rectenna," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 61, no. 6, pp. 3354–3356, Jun. 2013.
- [16] U. Olgun, C.-C. Chen y J. L. Volakis, «Wireless Power Harvesting with Planar Rectennas for 2.45 GHz RFIDs,» ElectroScience Laboratory, Department of Electrical & Computer Engineering, The Ohio State University, pp. 329-331, 2010
- [17] Lopez. Fernando, Torrealba. Melendez, y Edna. Tamariz Flores, «Analysis and design of a reconfigurable antenna for ISM and GSM bands for cognitive radio applications,» de CONIELECOMP, 2015.
- [18] N. Kyriaki, S. Kim, S. Jeong, A. Collado y A. Georgiadis, «A Compact Dual-Band Rectenna Using Slot-Loaded Dual Band Folded Dipole Antenna,» IEEE, pp. 1634-1637, 2013.
- [19] Collado and A. Georgiadis, "Conformal hybrid solar and Electromagnetic (EM) energy harvesting rectenna," IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers, vol. 60, no. 8, pp. 2225, 2234, Aug. 2013.

NOTA BIOGRÁFICA




Cristina Gallardo. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0001-7828-4443>
Es egresada de la Universidad Técnica de Ambato, en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.




Carlos Gordón. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0002-8031-2658>
Es investigador de la Universidad Técnica de Ambato. Obtuvo su Doctorado en la Universidad Carlos III de Madrid, tiene una maestría en Redes y Telecomunicaciones.



Geovanni Brito. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0002-0320-9227>
Es investigador de la Universidad Técnica de Ambato. Obtuvo su Ingeniería en la Escuela Politécnica del Litoral, tiene una maestría en Redes y Telecomunicaciones.



Fabian Salazar. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0002-9514-6576>
Es investigador de la Universidad Técnica de Ambato. Obtuvo su Doctorado en la Universidad Rey Juan Carlos, tiene una maestría en Ingeniería de la Decisión.



This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.