

# Sistema embebido basado en FPGA para el monitoreo de condiciones ambientales.



*FPGA-based embedded system for monitoring environmental conditions*

Patricio German Encalada Ruíz.<sup>1</sup>, Manolo Alexander Córdova Suárez.<sup>2</sup> Oscar Eduardo Ruíz Robalino.<sup>3</sup>, José Geovanny Vega Pérez.<sup>4</sup>, Tamara de los Ángeles Liger Manzano<sup>5</sup> & Edwin Leonardo Sánchez Almeida<sup>6</sup>

Recibido:05-06-2017 / Revisado: 12-08-2017 Aceptado: 14-09-2018/ Publicado: 01-10-2018

## Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i4.216>

This document presents the design of an embedded system based on FPGA (Field Programmable Gate Array) for the acquisition of signals corresponding to physical variables such as light, sound, temperature, humidity, carbon monoxide (CO), methane (CH<sub>4</sub>), gas license of oil (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> + C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) to then be visualized in different platforms where user interfaces of the system reside, which also manages a database with the objective of making technical reports of the conditions that influence a person in his work environment or in any environment where we need to monitor data. With an FPGA as the CPU of the system, a scanning rate of nanoseconds is obtained, thus obtaining a more solid database at the time of making decisions about the condition of the monitoring environment and especially in the variables of time are extremely fast.

<sup>1</sup> Department of Engineering, System, Electronic and Industrial, Technical University of Ambato, Ambato-Ecuador, pg.encalada@uta.edu.ec

<sup>2</sup> G+ Energy-Risks & Engineering Group, Department of Food Science and Engineering, Technical University of Ambato, Ambato-Ecuador, ma.cordova@uta.edu.ec

<sup>3</sup> G+ Energy-Risks & Engineering Group, Department of Food Science and Engineering, Technical University of Ambato, Ambato-Ecuador, oe.ruiz@uta.edu.ec

<sup>4</sup> G+ Energy-Risks & Engineering Group, Department of Food Science and Engineering, Technical University of Ambato, Ambato-Ecuador, jg.vega@uta.edu.ec

<sup>5</sup> Faculty of Civil and mechanical Engineering, Technical University of Ambato, Ambato-Ecuador, tda.liger@uta.edu.ec

<sup>6</sup> Indoamerica Technologic University, Ambato, Ambato-Ecuador, leonardosanchez@uti.edu.ec

The base of the data monitored in the real field acquired with an average acquisition rate of 25 nS using reconfigurable circuits, which allows observing the evolution of the variables with a very fast changeover time.

**Methods:** During the execution of the investigation, it was started by verifying the variables that can be measured in an industrial or domestic work environment, to then establish the high and low limits of measurement which would give way to the choice of sensors.

The programming and tests was carried out in LABView, where graphic programming helped to start up the FPGA quickly and efficiently, which was then reconfigured in scaling and normalization and based on the comparison of the measurement with standard devices.

After this activity, the signals were stored in databases and sent to visualization devices for interaction with the user.

**Results:** The designed device is suitable for the measurement of physical variables such as light, sound, temperature, humidity, carbon monoxide (CO), methane (CH<sub>4</sub>), liquefied petroleum gas (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> + C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), which are stored in a base of data for its subsequent analysis of environments, with an analog to digital conversion rate, presentation in visualization systems and analysis of 25 nS, unlike current devices in the market based on microprocessor

**Conclusion:** El FPGA de una manera tradicional ha sido programado en lenguaje VHDL (VHSIC (Circuito Integrado de Muy Alta Velocidad) Lenguaje de Descripción del Hardware), que fue reemplazado por el Lenguaje Gráfico (Lenguaje gráfico) utilizado en LabVIEW, acelerando así la puesta en marcha del sistema.

Se recomienda usar la facilidad de la persona especializada en el análisis de los datos para tener acceso a la información de manera comprensible.

**Keywords:** Embedded Systems, FPGA, Environment, Sensors, Technical Report.

### **Resumen.**

Este documento presenta el diseño de un sistema embebido basado en FPGA (Field Programmable Gate Array) para la adquisición de señales correspondientes a variables físicas tales como luz, sonido, temperatura, humedad, monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), gas licuado de petróleo (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> + C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) para luego ser visualizadas en diferentes plataformas en donde residen interfaces de usuario del sistema, el cual también maneja una base de datos con el objetivo de realizar reportes técnicos de las condiciones ambientales que influyen en una persona en su ámbito laboral o en cualquier ambiente en donde necesitemos monitorear datos. Con una FPGA como CPU del sistema se obtiene un Scan Rate en el orden de los nanosegundos, pudiendo así obtener una base de datos más sólida en el momento de

tomar decisiones sobre la condición del ambiente monitoreado y en especial en variables cuyo cambio o variación en la línea de tiempo son extremadamente rápidos.

La base de datos monitoreada corresponde al campo real adquirido con una tasa de adquisición promedio de 25 nS utilizando circuitos reconfigurables, lo que permite observar la evolución de las variables con un tiempo de cambio muy rápido.

**Métodos:** Durante la ejecución de la investigación, se inició mediante la verificación de las variables que se pueden medir en un entorno de trabajo industrial o doméstico, para luego establecer los límites altos y bajos de medición que darían paso a la elección de sensores.

La programación y visualización y las pruebas se realizaron en LABView, donde la programación gráfica ayudó a poner en marcha el FPGA de manera rápida y eficiente, que luego se reconfiguró en la escala y la normalización y se basó en la comparación de la medición con dispositivos estándar.

Después de esta actividad, las señales se almacenaron en bases de datos y se enviaron a dispositivos de visualización para interactuar con el usuario.

**Resultados:** El dispositivo diseñado es adecuado para la medición de variables físicas como luz, sonido, temperatura, humedad, monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), gas licuado de petróleo (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> + C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), que se almacenan en una base de datos para Su posterior análisis de entornos, con una tasa de conversión de analógico a digital, presentación en sistemas de visualización y análisis de 25 nS, a diferencia de los dispositivos actuales en el mercado basados en microprocesador.

**Conclusión:** El FPGA de una manera tradicional ha sido programado en lenguaje VHDL (VHSIC (Circuito Integrado de Muy Alta Velocidad) Lenguaje de Descripción del Hardware), que fue reemplazado por el Lenguaje G (Lenguaje Gráfico) utilizado en LabVIEW, acelerando así la puesta en marcha del sistema.

Se recomienda usarlo por la facilidad de que la persona especializada en el análisis de los datos pueda tener acceso a la información de manera comprensible.

**Palabras Claves:** Sistemas Embebidos, FPGA, Medio Ambiente, Sensores, Informe Técnico.

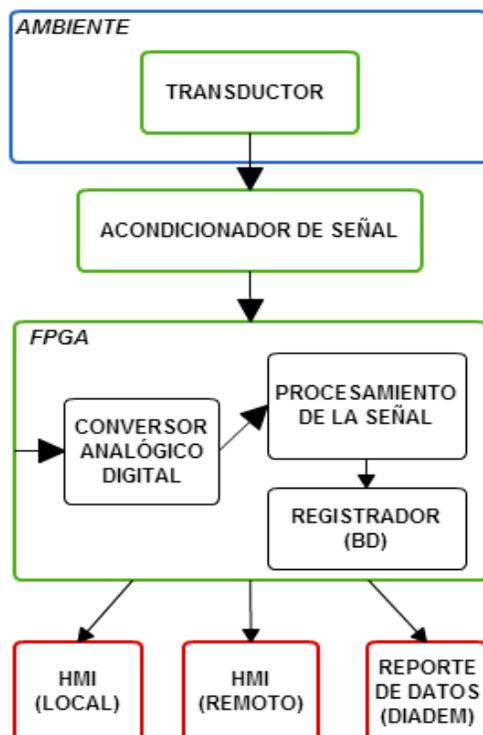
## Introducción.

En áreas como la robótica aplicada, robótica industrial, domótica, industria automotriz, ingeniería aeronáutica, ambiental, submarina, nuclear, mecatrónica, biomedicina y en cualquier industria manufacturera moderna que requiere computación a alta velocidad se hablan de sistemas embebidos (Ruohomaa y Salminen, 2019). Los sistemas embebidos aceleran la capacidad de procesamiento (Abdelouaheb et al., 2018). Desde el año 1984 en el cual Ross Fremman inventó las FPGA han dado como resultado un mejor rendimiento en

comparación a los sistemas basados en procesador, con los cuales estamos acostumbrados a trabajar (Perez et al., 2010).

Existe un área en donde el monitoreo de ambientes de trabajo nos ayuda a cumplir con los límites de exposición de personal a contaminantes industriales establecidos por la ACGIH (American Conference of Industrial Hygienists) y poder desarrollar medidas preventivas para mitigar enfermedades laborales (Lynch et al., 2018), la legislación ambiental (TULAS) y normativa especializada en higiene industrial (Decreto Ejecutivo 2393) vigente en el país (Ecuadoriano, 2014). Las señales de los sensores son tomadas para su monitoreo en la FPGA previo a su respectivo acondicionamiento las cuales van a ser procesadas eficientemente por esta ya que sus bloques lógicos reprogramados son únicos para cada sensor (Wang et al., 2019), y de este modo llevar la información a almacenarla por un lado para su posterior reporte y a visualizarla por otro en una HMI (LCD o Aplicacion Data Dashboard de NI), Esquema el cual vemos en la *Figura 1*.

**Figura 1.** Elementos del sistema de adquisición, monitoreo y reporte de datos



## Materiales y método.

### Adquisición de las señales.

Las variables para poder ser monitoreadas y almacenadas son transformadas de modo físico a eléctrico (voltaje, corriente o resistencia), en la Tabla 1 observamos los diferentes tipos de dispositivos utilizados para lograr esta transformación. Cada sensor mostrado en la Tabla 1 pasa por un proceso de acondicionamiento, es decir llevar los límites inferior y superior del alcance del sensor a un rango estandarizado de voltaje de (0 a 5Vdc), requeridos por las entradas analógicas de la tarjeta FPGA NI sbRIO-9631, la cual se encarga del procesamiento de las señales (Bolton, 2013).

**Tabla 1.** Sensores

Variable	Descripción del Sensor	Salida del sensor
Intensidad de Luz	Sensor Fotoeléctrico	V/lux
Sonido	Micrófono (Gras GGPA)	mV/Pa
Temperatura	LM35	mV/Pa
Humedad	HU-10S	V/%RH
$CO_2$	MQ7	R/ppm
$CH_4$	MQ4	R/ppm
$CH_3 + C_4H_{10}$	MQ6	R/ppm

### 2.2 Conversión analógica/digital

Las señales acondicionadas se conectan a las entradas analógicas que la tarjeta FPGA NI sbRIO-9631 (Serna, 2013), la cual realiza la transformación de la variable de analógica a digital, cuyo procedimiento obedece a la ecuación (1) y a las propiedades específicas de la tarjeta de adquisición.

$$r = \frac{Lsr}{rt} \quad (1)$$

$$R = \frac{5Vdc}{2^{16bits}} = 0.0762[mV/bit] \quad (2)$$

En donde:

r= Coeficiente de conversión analógico digital

Lsr=Límite superior de voltaje que la tarjeta soporta

R =resolución de la tarjeta

La tarjeta FPGA NI sbRIO-963 tiene múltiples canales de entradas analógicas, cada uno de ellos con un ADC (Convertor Analógico-Digital). Cada ADC tiene una resolución de 16 bits, que quiere decir que transformará la señal de (0-5 Vdc) a un número entero entre (0-65536), por lo que cada unidad de conversión representa una variación de 0.0762 [Vdc/bit], como se puede observar el resultado en la ecuación (2).

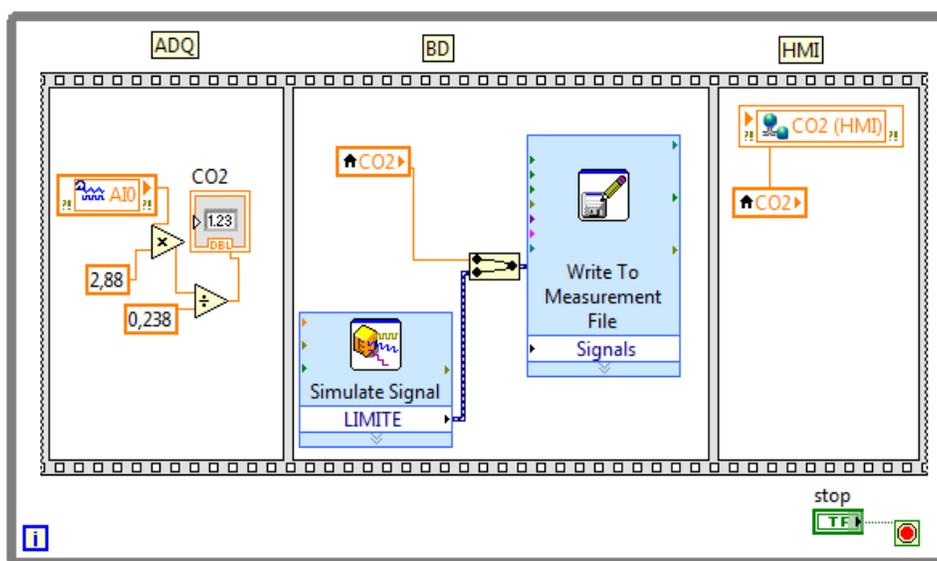
El canal para la adquisición de datos de sonido entra por la entrada analógica de una tarjeta especial (NI 9234) compatible también con CompactRIO la cual tiene 14 bits de resolución.

### 2.3 Programación.

La tarjeta FPGA NI sbRIO-9631, se configura en el Measurement & Automation Explorer que se conecta a la PC bajo el protocolo TCP/IP.

Una vez realizadas las configuraciones se procede a realizar la programación, bajo el lenguaje gráfico que nos facilita LABView, En la Figura 2 podemos observar un fragmento de esta programación (Serna, 2013).

**Figura 2.** Fragmento de programación en Lenguaje Gráfico



Para la transformación de bits a números reales los cuales los podamos denominar con sus respectivas unidades ocupamos los datos mostrados en la Tabla 2, los cuales describen el comportamiento de la señal obtenida desde los sensores basándonos en su función de transferencia, para luego estas variables ya con sus respectivas unidades ser trasladadas a las bases de datos y a sistemas de visualización.

**Tabla 2.** Funciones de transferencia de los sensores para cada variable

Variable	Ecuación
Intensidad de Luz	$I(\text{lux}) = 90.9091 * v_{out}$
Sonido	Toolkit NI Sound and Vibration
Temperatura	$T(\text{C}) = 9.09 * v_{out}$
Humedad	$H(\%Rh) = 11.6 * v_{out}^2 + 3.02 * v_{out} - 3.06$
$CO_2$	$ppm = e^{\left[ \frac{\left[ \ln \frac{5-v_{out}}{v_{out}} \cdot \frac{10}{R_0 * 25.12} \right]}{-0.747} \right]}$
$CH_4$	$ppm = e^{\left[ \frac{\left[ \ln \frac{5-v_{out}}{v_{out}} \cdot \frac{20}{R_0 * 12.69} \right]}{-0.364} \right]}$
$CH_3 + C_4H_{10}$	$ppm = e^{\left[ \frac{\left[ \ln \frac{5-v_{out}}{v_{out}} \cdot \frac{20}{R_0 * 19.07} \right]}{-0.424} \right]}$

## 2.4 HMI Local.

La Interfaz de usuario local se basa en una pantalla LCD 16x2 y botoneras de desplazamiento en un menú con los cual podemos iniciar las mediciones de la variable seleccionada, la adquisición de la señal de sonido en este HMI podemos verla en la Figura 3 (Bolton, 2013).

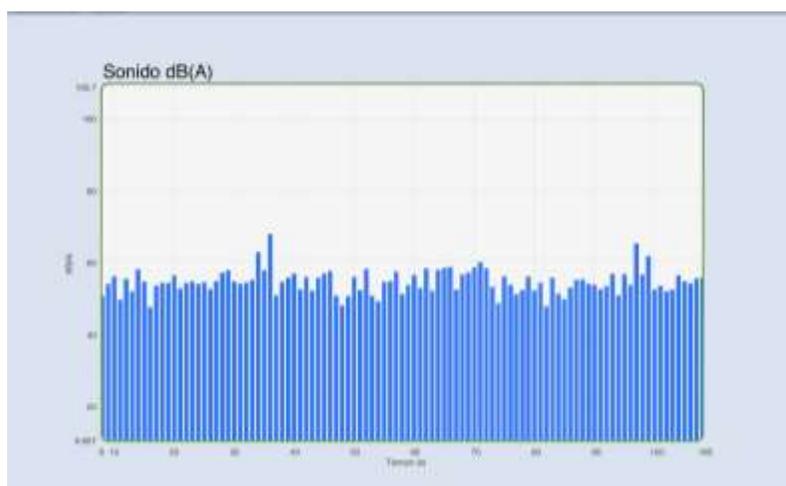
*Figura 3. HMI local*



## 2.5 HMI Remota.

Bajo el estándar de comunicación inalámbrica Wi-Fi (802.11) se comparten las variables para la visualización desde la tarjeta FPGA NI sbRIO-9631 hacia una tableta electrónica con plataforma iOS en donde reside el programa Data Dashboard de National Instruments en el cual podemos observar gráficas de amplitud de la variable versus el tiempo, así lo apreciamos en la Figura 4.

**Figura 4.** HMI Remoto (dB(A) vs. tiempo)



## 2.6 Calibración del sistema de medición.

Los datos obtenidos por los sensores y procesados por la FPGA son validados en un proceso de comparación de la medición realizada con un instrumento patrón, para su posterior corrección (Creus, 2011).

## 2.7 Reporte Técnico.

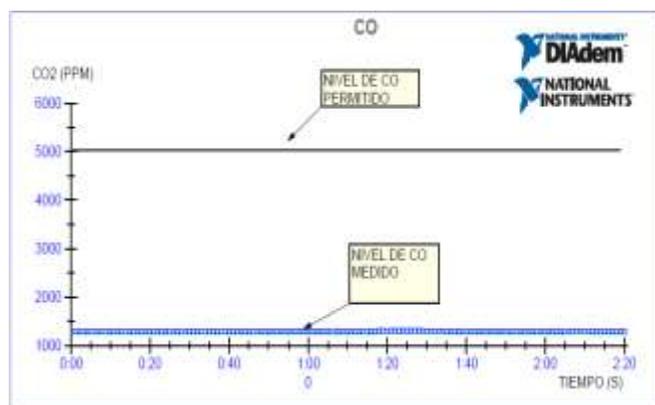
En la FPGA se graba una base de datos que va almacenado el monitoreo del ambiente en la Figura 5 podemos observar un reporte técnico realizado en DIAdem el cual lee y procesa la base de datos grabada en la FPGA.

Para un reporte técnico de 1 minutos se ocupó un espacio aproximado de 0.001953125 Mb, en la ecuación (3) podemos visualizar el tiempo estimado máximo de monitoreo que puede grabar la tarjeta FPGA con la cual trabajamos, la cual tiene 128Mb de almacenamiento no volátil.

$$T = \frac{1[\text{min}] * 256[\text{Mb}]}{0.001953125[\text{Mb}]} = 131.072[\text{min}] \quad (3)$$

Tiempo suficiente para realizar una medición multi-vaible de más de 8 horas.

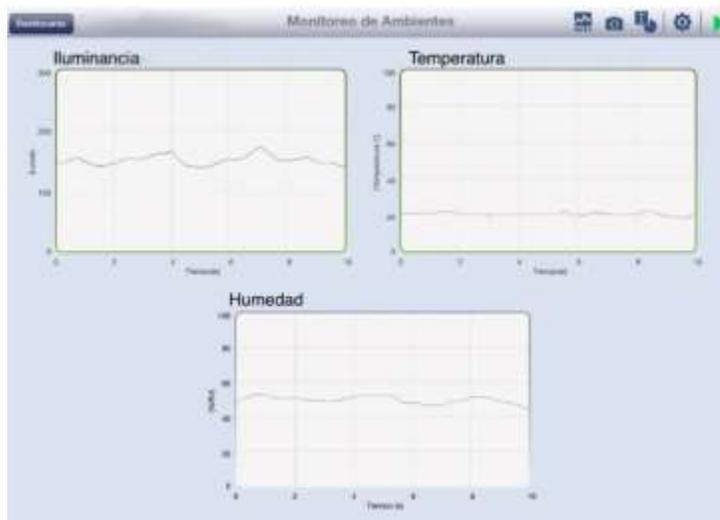
Figura 5. Reporte de medición de CO.



## Resultados.

Podemos observar en la Figura 6, un HMI remoto para algunas mediciones simultaneas y el la Figura 7 un reporte técnico de la variable que representa al sonido en un ambiente en donde se realizó la medición.

Figura 6. HMI remota para la visualización de múltiples variables.



**Figura 7.** Reporte técnico de la señal de ruido (200 seg.)



La tarjeta FPGA tarjeta FPGA NI sbRIO-9631 con un procesador de 266 MHz, tal como se muestra en la ecuación (4) realiza un ciclo en 25nS, dicho ciclo corresponde a que en ese tiempo la tarjeta verifica el estado de las entradas, el procesamiento de la señal, actualiza las salidas y almacena los datos.

$$T_c = \frac{1}{40[\text{MHz}]} = 25[\text{nS}] \quad (4)$$

En donde

Tc= Tiempo de ciclo.

### Discusión.

Las medidas tomadas fueron valoradas con dispositivos comerciales y certificados los cuales sirvieron de patrones para nuestras mediciones, en donde para tener valores reales y adecuados cada sensor y cada canal fue reprogramado en base a la normalización y señalización de la variable ya digital en la FPGA, cambio el cual no tuvo que ver con el tiempo de respuesta del dispositivo, para posteriormente almacenar con ayuda de DIAdem en una base de datos para su análisis y al mismo tiempo su visualización tanto en PC como en cualquier dispositivo móvil.

### Conclusiones.

- La FPGA de una manera tradicional se viene programando en lenguaje VHDL (VHSIC (Very High Speed Integrated Circuit) Hardware Description Lenguaje), el cual fue reemplazado por el Lenguaje G (Lenguaje Gráfico) utilizado en LabVIEW acelerando así la puesta en marcha del sistema.

- Se realiza el reporte técnico de manera que la persona especializada en analizar los datos pueda tener acceso a la información de manera comprensible. Si los límites de exposición cambian de acuerdo al área en donde se hace la medición, pueden ser cambiados por el usuario.
- Los reportes se utilizan para realizar análisis del comportamiento de las variables en el ambiente, este reporte se puede hacer en análisis en tiempos hasta aproximadamente 131.072 minutos o análisis en milésimas de segundo, puesto a que nuestro sistema tiene un bus de procesamiento de 40 MHz.
- El paralelismo de la tarjeta FPGA nos permite tomar muestras de las señales en ciclos comprendidos entre los 25 nS.

### Referencias bibliográficas.

- Abdelouaheb, B., Farid, K. y Najib, E. (2018). Synergetic Adaptive Fuzzy Control for a Class of Nonlinear Discrete-time Systems. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 16(4), 1981-1988. doi: 10.1007/s12555-017-0438-y
- Bolton, W. (2013). *Sistemas de control Electrónico en ingeniería mecánica y eléctricas*. (4 ed.).
- Creus, A. (2011). *Instrumentación industrial* (Alfaomega Ed. 8 ed.).
- Ecuadoriano, M. d. A. (2014). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Medio Ambiente*.
- Lynch, H. N., Prueitt, R. L. y Goodman, J. E. (2018). Critique of the ACGIH 2016 derivation of toluene diisocyanate Threshold Limit Values. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 97, 189-196. doi: 10.1016/j.yrtph.2018.06.017
- Perez, A., Gutierrez, R. y Contreras, J. (2010). Desarrollo de sistemas embebidos en FPGAs. Diseño e incorporación de periféricos. *Congreso de Microelectrónica Aplicada*, 6.
- Ruohomaa, H. y Salminen, V. (2019) Regional Development in Modern Robotic Education on Industrial and Society Context. Vol. 793. *Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 159-168).
- Serna, A. (2013). *Guía práctica de sensores* (Alfaomega ed.).
- Wang, B., Zhang, Z., Zhou, L. y Xiang, M. (2019) FPGA high-speed data transmission based on bit self-revised technique. Vol. 463. *Lecture Notes in Electrical Engineering* (pp. 1286-1290).

**Para citar el artículo indexado.**

Encalada P., Córdova M., Ruíz O., Vega J., Liger T. & Sánchez E. . (2018). Sistema embebido basado en fpga para el monitoreo de condiciones ambientales. *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(4), 177-189. Recuperado desde: <http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/216/190>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

