

# “Transmisión de audio usando redes Zigbee”

Ing. David Delgado León

E-mail: david.dl@electronica.cujae.edu.cu, Telef: 854 2888, Centro de Investigaciones en Microelectrónica, Facultad de Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cuba, calle 114, esquina 119, C.P 11500, La Habana, Cuba

## RESUMEN / ABSTRACT

Zigbee es un protocolo de comunicaciones basado en el estándar para redes inalámbricas IEEE\_802.15.4. Concebido para el control y la monitorización de redes de sensores tanto en entornos industriales, médicos, como domóticos, ha existido un creciente interés por evaluarlo en aplicaciones de multimedia. Aun sin garantizar QoS (Quality of service) por su limitado ancho de banda existen un conjunto de aplicaciones para vigilancia, grupos de rescate y salvamento, seguridad en entornos domóticos, grupos desplegados en un área limitada con necesidad de comunicación donde un sistema de audio y video en tiempo real de bajo costo basado en tecnología Zigbee es una idea sumamente atractiva.

Se presenta el diseño de un sistema que permita la comunicación de un grupo de usuarios desplegadas en un área limitada. Utiliza Microcontroladores RISC y tecnología Zigbee. Se investiga la factibilidad de usar la tecnología Zigbee para la transmisión de audio, se analizan variantes y técnicas de compresión de voz para lograr un mayor número de usuarios compartiendo el limitado ancho de banda.

Palabras claves: Zigbee, Audio, Microcontroladores.

*A Zigbee is a communication protocol based on the wireless network communication standard IEEE\_802.15.4. It was conceived for monitoring and control in sensor networks at medical, industrial and home automation environments. Recently, an interest has grown for using it on multimedia applications. Due to its limited band width, Zigbee doesn't guarantee QoS for multimedia service but there are a few applications where it can be used. In surveillance, groups of rescue and salvage, security at home automation environments and groups deployed in a limited area with the necessity of communication, a system of audio and video in real time of low cost, based on Zigbee technology, is an extremely attractive idea.*

*The design of a system, that allows the communication of a group of users deployed in a limited area, is presented. It uses RISC Microcontroller and Zigbee technology. The feasibility of using the Zigbee technology for audio transmission is investigated. Solutions and voice compression techniques are analyzed to increment the number of users that use this technology, sharing of course, the limited band width.*

**Keywords:** Zigbee, Audio, Codec, Microcontroller.

## Transmitting Audio Using Zigbee Network

## INTRODUCCION

En la actualidad existen una gran cantidad de estándares para las comunicaciones inalámbricas que permiten transmitir desde grandes tasas de transferencia para aplicaciones tales como la transmisión de audio, vídeo, datos, hasta estándares inalámbricos de baja velocidad que cubren redes inalámbricas de sensores y aplicaciones de baja tasa de transferencia [1].

Estos últimos resultan de un gran interés por su escaso consumo de potencia y por todas las facilidades que incluyen las tecnologías inalámbricas, logrando sistemas móviles de una alta autonomía. Son transceptores que se han abaratado en el mercado considerablemente, existe hoy y en un futuro existirán una amplia gama de aplicaciones embebidas relacionadas con las llamadas LR-WPAN (*Low Rate Wireless Personal Area Network*) [1], [2].

El presente trabajo se centra en la posibilidad de transmitir audio usando Zigbee, basado en el estándar 802.15.4 [3], es una de las soluciones que está emergiendo con más fuerza apoyado en las topologías que soporta, su esquema de direccionamiento, sus métodos de acceso al medio y sus apropiados mecanismos de seguridad, además de las bondades que ya le aportan las tecnologías inalámbricas.

Aunque en el pasado estos estándares se utilizaron simplemente para pensar y actuar sobre variables físicas, en la actualidad existe un creciente interés por lograr sistemas que transmitan audio y video sin QoS (*Quality of service*) garantizado basado en estas tecnologías [3]. En el presente trabajo se diseña un sistema de comunicaciones de audio en tiempo real para grupos de personas que pueden ser utilizados en diversas situaciones de vigilancia, rescate, emergencia; sobre tecnología Zigbee.

## REDES PARA LA TRANSMISION DE AUDIO EN TIEMPO REAL

Zigbee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica, como muestra la Fig. 1, diseñados para aplicaciones de baja tasa de transferencia de datos. Este estándar está ampliamente descrito en las especificaciones tanto de *Zigbee Alliance* como de la IEEE [3], [4].

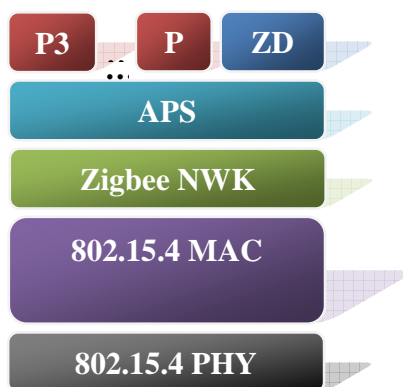


Fig. 1: Pila de protocolos de Zigbee

Algunas de las principales características del estándar son [5]:

- Diversas bandas de trabajo: 2.4 GHz (16 Canales), 915 MHz (10 Canales), 868 MHz (1 Canal).
- Tasas de transferencia: 250 Kb/s a 2.4 GHz, 40 Kb/s a 915 MHz, 20 Kb/s a 868 MHz
- Múltiples topologías: estrella, malla (punto a punto), árbol.
- Direccionamiento MAC recortado (16 bits) y extendido (64 bits).
- Métodos de acceso al canal: CSMA-CA (*Carrier Sense*

*Multiple Access with Collision Avoidance*).

- Radio medio de alcance: 50 m (hasta 500 m, dependiendo del entorno).

Las redes Zigbee están formadas por 3 tipos de elementos. Un único dispositivo coordinador, dispositivos *routers* y dispositivos finales [4], [6].

El Coordinador es el nodo de la red que tiene la función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y el PAN ID (*Personal Area Network Identification*) para toda la red [6]. Una vez establecidos estos parámetros, el coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos *routers* y dispositivos finales comportándose como un nodo más de la PAN.

Los *routers* son nodos que crean y mantienen información sobre la red para determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información [6]. Lógicamente un *router* debe unirse a una red Zigbee antes de poder actuar como *router* retransmitiendo paquetes de otros *routers* o de dispositivos finales

Los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes. Deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un coordinador o un *router*, dicho de otra forma, no puede enviar información directamente a otro dispositivo final [6]. Normalmente estos equipos van alimentados con baterías ya que su consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento.

En este caso, en la red Zigbee que soporta el sistema de audio existe un coordinador y múltiples dispositivos finales como muestra la Fig. 2.

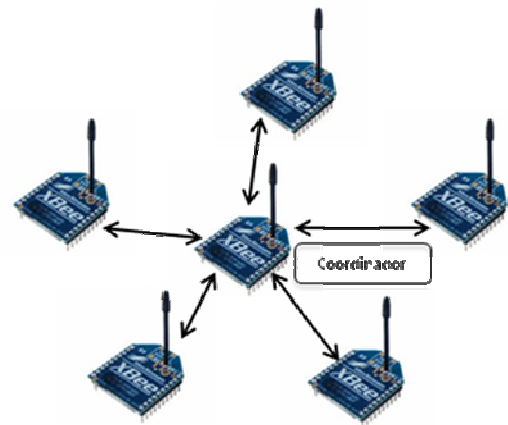


Fig. 2: Topología del sistema de comunicaciones de audio en tiempo real

### Ancho de banda de las redes Zigbee

Zigbee es una solución pensada para bajas tasas de transferencia de datos, típicamente redes de sensores, orientado fundamentalmente a lograr sistemas de gran autonomía [3]. Cuando se piensa en estas redes para aplicaciones relacionadas con multimedia suelen descartarse por su bajo bit rate, en el mejor de los casos 250 Kb/s a 2,4 GHz, sin embargo

dependiendo de la aplicación de audio el sistema puede trabajar desde pocos Kb/s hasta cientos de Kb/s, haciendo de Zigbee una solución viable para transmisión de audio de baja calidad.

Adicionalmente se pueden usar métodos de compresión que logran disminuir aun más el limitado *bit rate* [7], siendo un compromiso entre compresión y hardware pues estos algoritmos presentan un alto grado de procesamiento y cualquier microcontrolador no puede alcanzarlo. Existen otros motivos que hacen sumamente atractiva esta idea, por ejemplo, son transceptores de muy fácil integración con el sistema que se esté diseñando y su costo ha decrecido considerablemente haciéndolos accesibles a la mayoría de los diseñadores [3].

Este sistema se diseño con las siguientes características:

- Conversores AD de 8 bits.
- Ancho de banda de la señal de 4 KHz.
- Bit rate de 64 Kb/s.

De forma que con un ancho de banda de 250 Kb/s donde la carga útil de los módulos XBee™/XBee-PRO™ en operación transparente es de 100 Kb/s [5], podemos tener una transmisión *half-duplex* que consumiría todo el ancho de banda de los módulos. Sin embargo si se usan algoritmos de compresión de audio, podemos disminuir el bit rate esta hasta unos pocos Kb/s y entonces lograr varios canales de audio simultáneos con comunicación *full-duplex*.

### Algoritmo de compresión de audio

Se utilizan codificadores de forma de onda, los cuales tienen como su nombre lo indica el objetivo de lograr la compresión del sonido conservando la forma de la onda original y funcionan por lo general muestra a muestra [7]. Se logran sistemas de muy bajo coste computacional y muy bajo retardo, que proporcionan una calidad excelente, prácticamente indistinguible de la voz original. En consecuencia se logran señales con una razón de compresión de 1:2, en algunos casos 1:4 [7], [8].

Se implementa un ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*), este es un codificador de forma de onda basado en DPCM que añade algunas funcionalidades [9]. Antes de la digitalización se toma la señal analógica y se divide en bandas de frecuencia gracias a los filtros QMF (*Quadrature Mirror Filter*), donde se obtienen sub-bandas de señal. Cada sub-banda se trata de modo distinto utilizando las propiedades de DPCM, es decir, se lleva a cabo el proceso de muestreo, cuantificación del error de predicción y finalmente se codifica. Un vez que se obtiene la sucesión de bits (*bitstream*) de cada sub-banda, se multiplexan los resultados y se almacenan los datos o son transmitidos, como se muestra en la Fig. 3 [9], [10]. El decodificador tiene que realizar el proceso inverso, es decir, demultiplexar y decodificar cada sub-banda del *bitstream*.

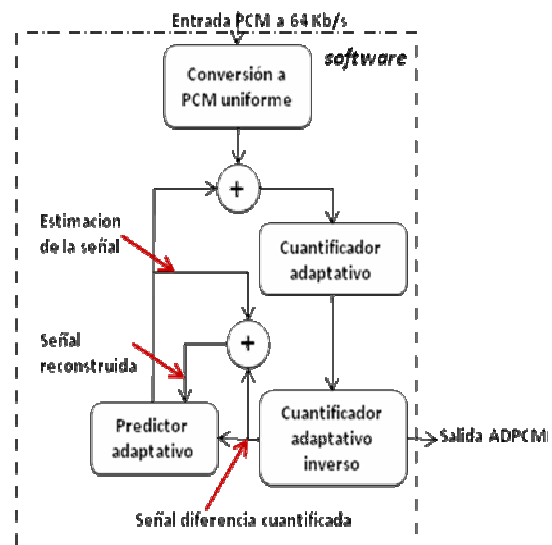


Fig. 3: Codificador ADPCM

Tanto el codificador como el decodificador son implementados en un microcontrolador dsPIC junto con el resto de las subrutinas que configuran la red Zigbee y las demás prestaciones del sistema de audio [9].

## SISTEMA DE COMUNICACIONES DE AUDIO USANDO LA RED ZIGBEE

El objetivo es diseñar un sistema de comunicaciones de audio en tiempo real de baja calidad que permita a una cantidad limitada de usuarios comunicarse dentro del área de cobertura de la red PAN (*Personal Area Network*) que se va a formar, los usuarios podrán hablar con un nodo central y recibir comunicación de este nodo pero no hablar entre ellos.

Tanto el codificador como el decodificador son implementados en un microcontrolador dsPIC junto con el resto de las subrutinas que configuran la red Zigbee y las demás prestaciones del sistema de audio.

Se usan módulos XBee-PRO™ que se comunican con el microcontrolador por la interfaz serie RS232 y tienen en su interior un microcontrolador que implementa el *stack* de protocolos de Zigbee resultando transparente la conformación de la PAN, de las direcciones que adquiere cada usuario, el cómo se comunican, al dsPIC. Uno de los nodos no necesariamente un usuario de la red será el coordinador y es el que estará gestionando y creará la PAN que soportará las transmisiones de audio.

En el dsPIC se estarán ejecutando los algoritmos de procesamiento digital de señales, tanto el codificador como el decodificador ADPCM que permitirán la disminución del *bit rate* a unos pocos Kb/s [11].

El dsPIC contiene una serie de interfaces series, RS232, SPI, I2C, que permitirán incluso probar diferentes módems Zigbee para que sean evaluados en la transmisión de audio.

El diagrama en bloques del sistema se muestra en la Fig. 4. Es un diseño muy modular donde se pueden realizar un grupo de pruebas variando el algoritmo que implementa los códec de compresión de voz, se pueden probar Speech, Flac, etc., la tecnología inalámbrica con Bluetooth, Wi-fi o simplemente dentro de Zigbee probar varios transceptores de diferentes fabricantes y comparar resultados.

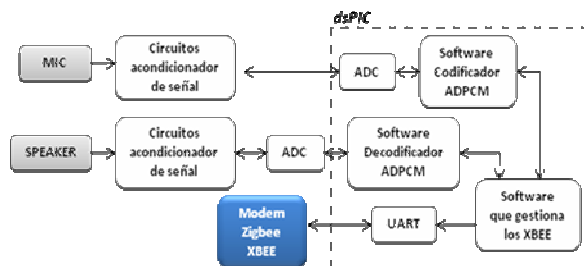


Fig. 4: Esquema en bloques del sistema

Se simula el sistema usando dos computadoras que corren el diseño en el software PROTEUS 7.2. La comunicación con los módulos XBEE PRO se logra a través de la interfaz RS-232 de la computadora como muestra la Fig. 5.



Fig. 5: Esquema del sistema simulado

## FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Antes de poder lograr la comunicación de todos los usuarios móviles, el coordinador de la red establece la red Zigbee realizando una búsqueda en el medio, si encuentra una red no trata de unirse a ella, sino que cambia de ID o de canal de comunicaciones, una vez que direcciona todos los usuarios móviles y establece el canal de comunicaciones queda esperando por la transmisión de audio [12].

En el caso de los dispositivos finales, una vez asociados a la red están listos para establecer la comunicación de audio con el nodo central o coordinador de la red Zigbee [12].

Este procedimiento será de la misma forma cada vez que levante el sistema ya que los transceptores de cada estación pueden intercambiarse, averiarse o ser completamente nuevos y de esta forma, el coordinador establece la red y permite asociarse a todos los dispositivos finales que lo soliciten dentro de su área de cobertura.

## RESULTADOS

Se realizaron las simulaciones de transmitir palabras usando codificación normal PCM (64Kb/s) y codificación ADPCM(alrededor de 16 Kb/s) con el objetivo de analizar el contenido espectral buscando obtener una voz entendible con calidad similar a la de la línea telefónica y comprobar la

mejora que resulta de la utilización de un códec de compresión de voz. En las siguientes figuras se muestran los espectros en el dominio del tiempo y la frecuencia para la transmisión de la palabra "test".

Se obtienen espectros similares de la voz en el receptor luego de pasar por la red Zigbee y no se aprecian variaciones en los espectros cuando se utilizan los dos algoritmos de compresión, si en el caso de ADPCM se hace un mejor aprovechamiento del ancho de banda pues se logra transmitir la voz con  $\frac{1}{4}$  de los bits requeridos por la codificación PCM.

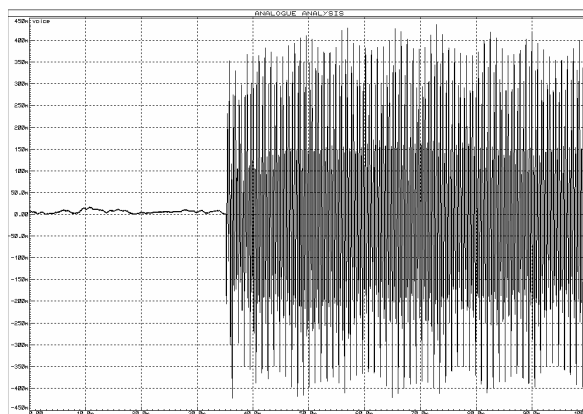


Fig. 6: Señal en el transmisor en el tiempo

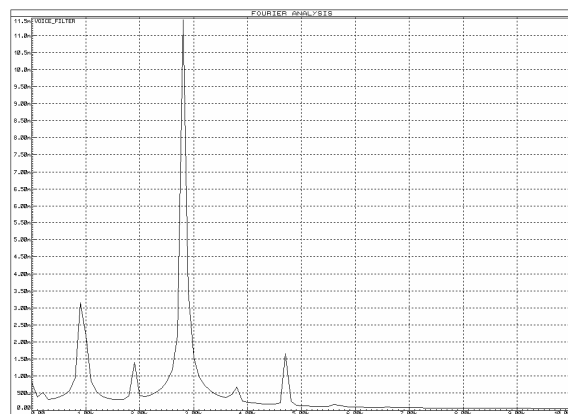


Fig. 7: Señal en el transmisor en la frecuencia

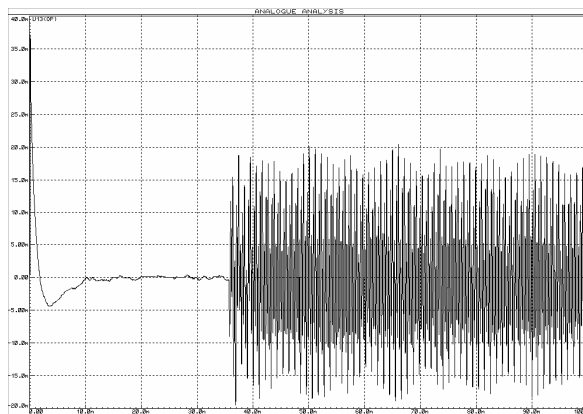


Fig. 8: Señal en el receptor usando PCM en el tiempo

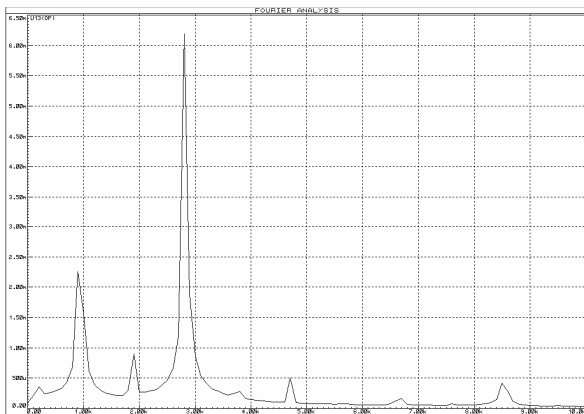


Fig. 8: Señal en el receptor usando PCM en la frecuencia

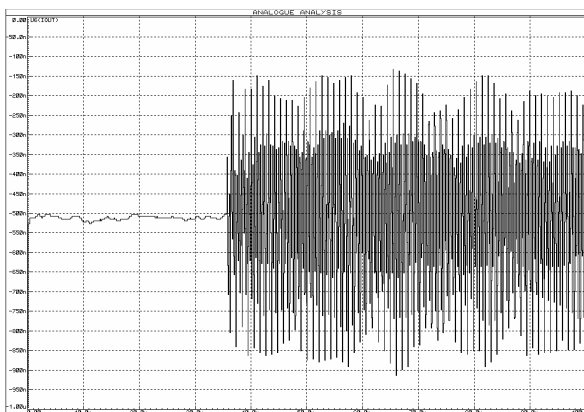


Fig. 8: Señal en el receptor usando ADPCM en el tiempo

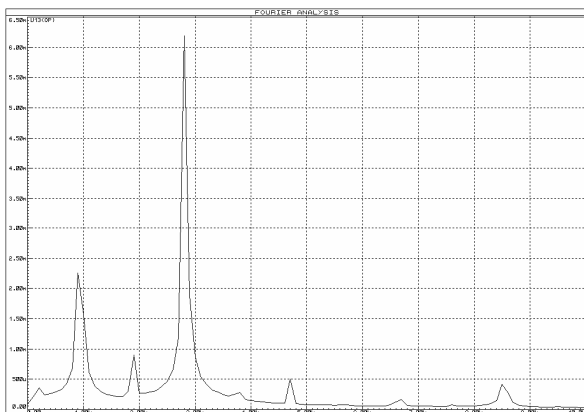


Fig. 9: Señal en el receptor usando ADPCM en la frecuencia

## CONCLUSIONES

Las redes Zigbee pueden ser utilizadas para la transmisión de audio con bajo *bit rate*, es un estándar que no está pensado para este tipo de aplicaciones pero en determinadas situaciones donde no exista la necesidad de un audio de alta calidad puede ser utilizado.

El problema del limitado ancho de banda puede ser solucionado usando técnicas de compresión de voz, se usaron codificadores de forma de onda, en específico ADPCM, sin

embargo existen algoritmos que logran mucha mayor razón de compresión con una salida de audio de menor calidad.

Se pueden explorar otras tecnologías inalámbricas, otros transceptores Zigbee de otros fabricantes, diferentes tipos de antenas que logren mayor rango de cobertura, mayor ganancia, autonomía, buscando un sistema de mayores prestaciones.

## REFERENCIAS

1. **UTIERREZ, J. Y CALLAWAY, E.**, *Low-Rate Personal Area Networks: Enabling Wireless Sensors with IEEE 802.15.4*, IEEE Standards Information Network/IEEE Press, 2007
2. **HANG, Y. Y LUO, J.**, *Wireless Mesh Networking: Architectures, Protocols and Standards*, Auerbach Publications, 2006
3. **ISIC, J Y MISIC, V.**, *Wireless Personal Area Networks: Performance, Interconnection, and Security with IEEE 802.15.4*, Wiley, 2008
4. **ISLASON, D.**, *Zigbee Wireless Networking*, Newnes, 2008
5. **XBEE™/XBEE-PRO™ OEM RF MODULES**, *Product Manual v1.xAx - 802.15.4 Protocol for OEM RF Module*, IEEE, 2007
6. **ZIGBEE ALLIANCE**, *ZigBee Specification*, 2005
7. **JAYANT, N. S. Y NOLL, P.**, *Digital Coding of Waveforms*, Prentice-Hall, 1984
8. **L-AKAIDI, M. Y BLACKLEDGE, J.**, "A Review of Speech Coders in Telecommunication," en *International Conference on Signal Processing Applications & Technology*, 1998
9. **SHERIF, M.H., BOWKER, D.O., BERTOCCI, G., ORFOR, B.A., MARIANO, G.A.**, "Overview of CCITT embedded ADPCM algorithms," en *IEEE International Conference on Communications*, vol. 3, 1990
10. **CCITT RECOMMENDATION G.726, 40, 32, 24, 16 Kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)**, Study Group XV, Switzerland, 1990
11. **ELI, M., GYSEL, M. Y SOMMERHALDER, M.** (2008). *Using IEEE 802.15.4/ZigBee in audio applications*. [En línea]. Disponible en: [http://www.ines.zhaw.ch/.../EW200x\\_paper\\_Using\\_IEEE\\_802.15.4\\_and\\_zigbee\\_in\\_audio.pdf](http://www.ines.zhaw.ch/.../EW200x_paper_Using_IEEE_802.15.4_and_zigbee_in_audio.pdf)
12. **RUNELLI, D. Y MAGGIOROTTI, M.** (2008). *Analysis of Audio Streaming Capability of Zigbee Networks*. [En línea]. Disponible en: <http://www.springerlink.com/index/920761866125613j.pdf>

## **AUTORES**

Ing. David Delgado León, graduado de Ingeniería en Telecomunicaciones y electrónica en el año 2009, Instructor recién graduado, trabaja en el Centro de Investigaciones en Microelectrónica de la Facultad de Eléctrica en el Instituto Superior politécnico José Antonio Echeverría, [david.dl@electronica.cujae.edu.cu](mailto:david.dl@electronica.cujae.edu.cu), actualmente se desarrolla como Jefe de Proyecto del Complejo de Investigaciones de Tecnologías Integradas.