

DetECCIÓN de los pasos básicos de un equino "paso, trote, galope" utilizando sensores inerciales y redes neuronales artificiales

DETECTION OF BASIC STEPS OF A HORSE "STEP, TROT, GALLOP" INERTIAL SENSORS AND USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

DETECÇÃO DE PASSOS BÁSICOS DE UM CAVALO "PASO, TROTE, GALOPE" USANDO SENSORES INERCIAIS E USAR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Jaime Eduardo Andrade Ramírez*

Javier Raúl Romero Roa**

Jairo Rojas Ángel***

Jhonson Pardo Morales****

Resumen

Este escrito es producto de los avances del proyecto denominado "Diseño de un simulador para clases de tiro montado en la Escuela Nacional de Carabineros", proyecto de investigación de innovación policial que pertenece a la línea de desarrollo tecnológico e innovación. El grupo se encuentra registrado en Colciencias con el código COL 0061592.

Fecha recibido: diciembre de 2014

Fecha de aceptación: mayo de 2015

DOI: <http://dx.doi.org/10.22335/rict.v7i1.225>

*Ingeniero Electrónico. Magíster en Sistemas Automáticos de Producción. Filiación: Universidad de Cundinamarca. Grupo de investigación GISTFA. Semillero en Robótica SERFAC. Correo: jandrade76@yahoo.com. orcid.org/0000-0001-6077-2449

**Ingeniero Ambiental. Especialista en Gestión ambiental. Escuela Nacional de Carabineros. Grupo de Investigación ESCAR-DINAE. Teniente de la Policía Nacional. Correo: Javier.raul1268@correo.policia.gov.co. <http://orcid.org/0000-0003-2090-8756>

***Técnico profesional en Servicio de Policía. Tecnólogo en planeación para el Control Ambiental. Intendente de la Policía Nacional. Escuela Nacional de Carabineros. Grupo de investigación ESCRA-DINAE. orcid.org/0000-0003-1980-1599

****Técnico profesional en Servicio de Policía. Escuela Nacional de Carabineros. Grupo de investigación ESCAR-DINAE. Correo: jairo.rojas7245@correo.policia.gov.co

Mediante el presente artículo se muestra el desarrollo de un sistema capaz de reconocer los pasos básicos de un equino en un ambiente natural. Este desarrollo se encuentra orientado a la inteligencia artificial, donde, usando la capacidad de procesamiento de una computadora, se implementan algoritmos referentes al tratamiento y reconocimiento de las señales de los movimientos del equino captadas por sensores inerciales. Para este proceso se usa la herramienta matemática "transformada rápida de Fourier" y redes neuronales artificiales en el componente de software; la implementación electrónica incluye el uso del módulo Enpic14® y protocolo Zig-Bee para comunicar el dispositivo portable ubicado sobre el equino con la computadora.

El resultado es un sistema de reconocimiento de pasos equinos básicos para la identificación y caracterización de los semovientes dispuestos en las prácticas de tiro montado en la Escuela Nacional de Carabineros "Alfonso López Pumarejo (ESCAR)". Este trabajo ha sido desarrollado por el grupo de investigación en software y tecnologías

de Facatativá (GISTFA) de la Universidad de Cundinamarca en asociación con el grupo de investigación de la Escuela Nacional de Carabineros "Alfonso López Pumarejo".

Palabras clave: Reconocimiento de pasos equinos; sensores inerciales; transformación rápida de Fourier; redes neuronales artificiales; protocolo de comunicación Zig-Bee.

Abstract

Through this article the development of a system capable of recognizing the basic steps of a horse in a natural environment is shown. This development is focused on artificial intelligence, where using the processing of a PC, reference algorithms are implemented to treatment and recognition of signs of equine movements captured by inertial sensors. This process is used Fast Fourier transform and artificial neural networks in the software component, the electronic implementation includes the use of the board Enpic14® and Zig-Bee protocol for communicating portable device located on the horses and the computer. The result is a recognition system equine basic steps for identification and characterization of livestock ready for target practice mounted at the National School of Carabineros "ESCAR". This work is developed by the research group in software and Facatativá "GISTFA" technologies University of Cundinamarca in partnership with the research group of the National School of Carabineros "Alfonso López" ESCAR-DINAENro.COL0061592 under the research project "Design of a simulator for shooting lessons mounted police national school" Alfonso López", national police approved in 2014.

Keywords: recognition of equine steps; inertial sensors, Fast Fourier Transform; artificial neural networks; communication protocol Zig-Bee.

Resumo

Através deste artigo, o desenvolvimento de um sistema capaz de reconhecer as etapas básicas de um cavalo num ambiente natural é mostrado. Este desenvolvimento está focada em inteligência artificial, onde utilizando o poder de

processamento de um PC, os algoritmos de referência são implementadas para o tratamento e reconhecimento de sinais de movimentos equinos captadas por sensores inerciais. Este processo é usado transformada de Fourier rápida e redes neurais artificiais no componente de software, a implementação eletrônico inclui o uso de enpic14 modulo e protocolo Zig-Bee para comunicar dispositivo móvel localizado nos cavalos e o computador. O resultado é um sistema de reconhecimento de passos básicos de equinos para a identificação e caracterização de gado pronto para a prática de alvo montado na Escola Nacional de Carabineros "Escar". Este trabalho é desenvolvido pelo grupo de pesquisa em software e Facatativa "GISTFA" tecnologias Universidade de Cundinamarca, em parceria com o grupo da Escola Nacional de Carabineros "Alfonso López" Escar-Dinae Nro.COL0061592 em pesquisa âmbito do projecto de investigação "Concepção de um simulador para aulas de tiro polícia Montada Escola Nacional" Alfonso López, "polícia nacional aprovado em 2014.

Palavras-chave: reconhecimento das etapas equinos, sensores inerciais, Fast Fourier Transform; redes neurais artificiais; protocolo de comunicação Zig-Bee

Introducción

Uno de los principales objetivos del reconocimiento de los pasos de un equino es permitir entender de mejor manera sus acciones y tratar de predecir su lenguaje corporal en diferentes ambientes para mejorar la interacción jinete-caballo; sin embargo, algunos estudios demuestran que el rendimiento equino en diversas prácticas depende en un bajo porcentaje del ambiente, y está muy influenciado por el comportamiento del jinete (Bartolomé, 2012; Aguiar y Valentin, 2010).

En referencia con esta relación, se utilizaron dispositivos electrónicos para capturar los movimientos del equino (como aporte de la fase inicial solo hacia la captura de información referente al semoviente) en las diversas prácticas de tiro montado. Esta aplicación está orientada al desarrollo de un sistema que permite a los

miembros de la Policía Nacional, en condición de formación ecuestre y manejo de armamento, tener un mejor dominio en la prestación del servicio de policía rural y por supuesto de la relación con el equino.

En este documento se describe un sistema útil para el reconocimiento de los pasos básicos de un equino en forma remota, haciendo uso de tecnologías inalámbricas, tratamiento digital de los datos, redes neuronales artificiales y microcontroladores. Este desarrollo le permite al usuario ver e identificar a distancia cada uno de los pasos que ejecuta el equino sin la necesidad de conexiones tangibles, puesto que usa un módulo de comunicación inalámbrica basado en el protocolo Zig-Bee.

La comunicación inalámbrica brinda la posibilidad de utilizar todos los recursos de la computadora personal, sin tener que llevarlo sobre el semoviente. Esta capacidad de procesamiento es aprovechada en la identificación de los datos provenientes de los sensores inerciales para determinar la posición del equino (Pfau T, 2005), mediante algoritmos implementados en las herramientas de programación Labview® y Matlab®.

Los algoritmos desarrollados se encargarán de procesar las señales de aceleración en tres dimensiones y extraer algunos de los parámetros más relevantes de las mismas, posterior a esto se identificará mediante el algoritmo de una Red Neuronal Artificial (RNA). La interpretación que la red artificial genera a partir del patrón de entrada, es acorde con uno de los tres pasos básicos del equino, que el sistema puede reconocer mediante el manejo de gran cantidad de datos de los sensores (Pfau, 2008). Esta interpretación se convierte en una señal visual que le indica al usuario el paso del equino.

Además, de las tareas ya mencionadas la tarjeta de adquisición portable permite la detección, digitalización y transmisión al PC de datos de al menos siete sensores junto con la señal de audio del entorno (considerada para establecer el tiempo de cambio de marcha en el equino, por efecto del disparo). Una de las grandes ventajas del sistema

es que permite el escalamiento electrónico y del software (Turizo, 2014), convirtiendo el prototipo en el comienzo de un sistema que permitirá una mayor interacción jinete-caballo (Huertas, Esmeral y Sánchez, 2014).

Métodos

Para el desarrollo propuesto, a continuación se describirá cada una de las etapas que intervienen en el proceso, tal y como se ilustra en las siguientes figuras. (Figuras 1 y 2).

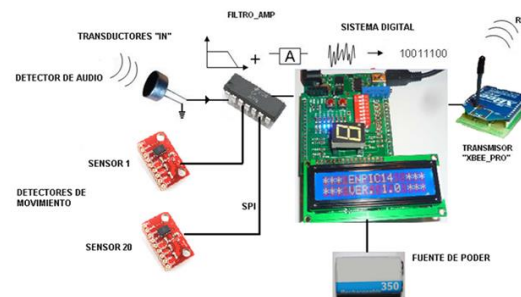


Figura 1. Diagrama general del módulo transmisor (Sistema de adquisición portable)

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

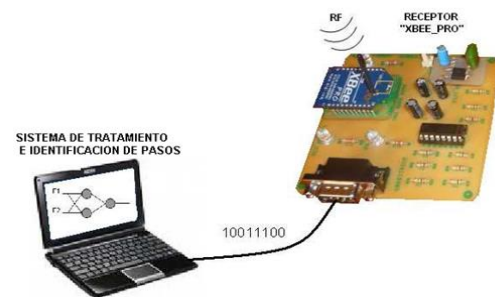


Figura 2. Diagrama general del módulo receptor (Sistema de identificación y reconocimiento fijo)

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

Captura de movimientos y sonido de disparo en forma analógica: se configura e implementa una etapa analógica de polarización y preamplificación para el transductor de entrada (micrófono electrec), y se establece el filtro

adecuado con ganancia DC variable para sujetar la señal de audio que ingresará al sistema de adquisición digital. De igual manera se polariza y se acopla la unidad de medición inercial 9DOF Razor IMU que contiene los sensores (ITG-3200, ADXL345 y HMC5883L) mediante comunicación serial.

Conversión de la señal de audio: se realiza la conversión de la señal de audio analógica en señal digital, mediante la programación del microcontrolador PIC18F452 incorporado en el módulo ENPIC14 de Microchip®.

Almacenamiento de las muestras digitales: utilizando la técnica de nivel de energía se detecta la presencia de la señal de audio (producida por el disparo) en la entrada del conversor y es allí donde se habilita el sistema para tomar las muestras que son almacenadas temporalmente en la memoria del sistema portable, los datos que envía constantemente la unidad inercial se transmiten directo al PC.

Manejo de los módulos X-bee: con el audio almacenado después de la conversión y los datos recibidos (desde los sensores) por el microcontrolador en forma serial en el ENPIC14, se extraen las muestras de la memoria y se envían hacia el módulo de transmisión inalámbrica X-bee, el cual está programado mediante el software x-ctu® para trabajar *full dúplex* permitiendo la conexión con el otro X-bee en el PC donde se realizará el procesamiento.

Descripción del software de extracción de patrones y reconocimiento de pasos equinos: se describen los algoritmos que se utilizan en la FFT y la RNA, luego se desarrollan y se implementan dichos algoritmos en los programas Matlab® y Labview® para proceder a tomar en forma serial las muestras de los diferentes movimientos provenientes del módulo de adquisición de usuario, luego estas son identificadas y el software permite generar un código de identificación referente a cada paso básico detectado del semoviente en “tiempo real”.

Validación: los códigos generados permiten la caracterización de los pasos del equino, la toma de datos como soporte del funcionamiento del

sistema en general, así como la mejora y perfeccionamiento de la técnica de medida sobre el animal. Se obtiene el porcentaje de acierto de los movimientos reconocidos y se procede a determinar la fiabilidad del sistema.

A continuación se mostrará en detalle el conjunto de métodos, técnicas y herramientas que se emplearon en el proceso de implementación del sistema propuesto, siguiendo preceptos éticos (Laverde, 2014).

2.1 Captura de movimientos básicos del equino

Las señales de entrada al sistema corresponden a los pasos básicos del equino “paso”, “trote” y “galope” izquierdo, proporcionados por los sensores inerciales ubicados en el equino. Estas señales fueron tomadas de dos equinos (tipo silla argentina) utilizados para el ejercicio en un ambiente de bajo nivel de ruido. En el análisis de estas señales se debe tener en cuenta un procesamiento en el dominio del tiempo y de la frecuencia. Las siguientes figuras muestran el comportamiento de los movimientos mencionados en la frecuencia para uno de los sensores ubicados sobre el semoviente. (Figuras 3, 4 y 5).

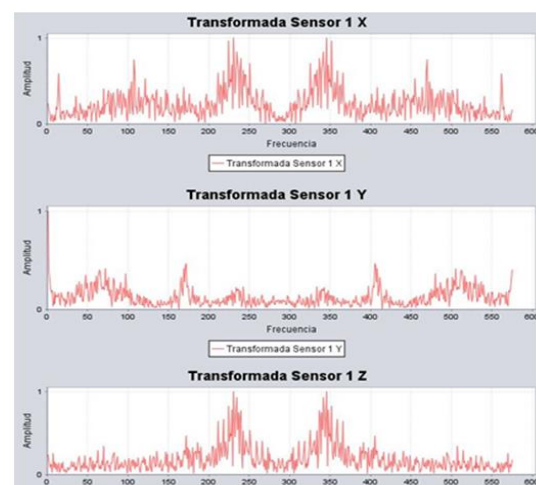


Figura 3. Señal en el dominio de la frecuencia al “Paso”

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

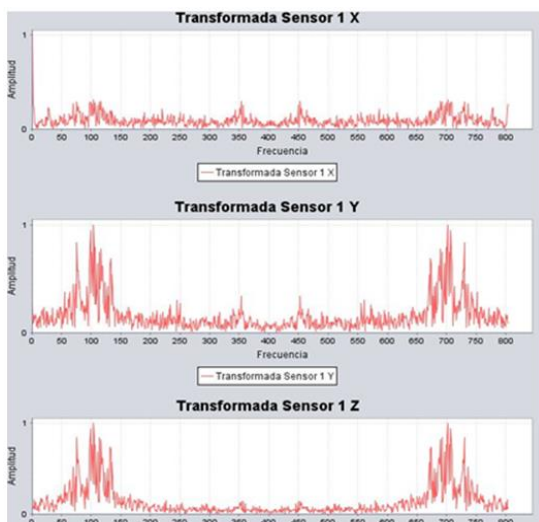


Figura 4. Señal en el dominio de la frecuencia al “Trote”

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

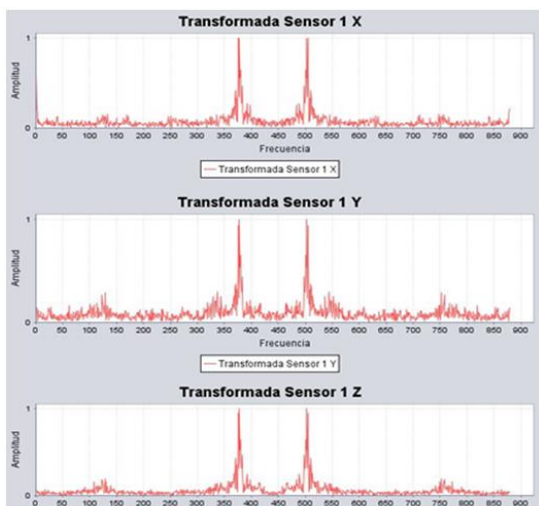


Figura 5. Señal en el dominio de la frecuencia al “Galope”

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

La adquisición de las señales en el tiempo inicia en los transductores de entrada (sensores inerciales, micrófono electret), los cuales convierten la energía propia de la medida (aceleración y decibelios) en energía eléctrica. Físicamente estos transductores requieren ser polarizados mediante una fuente de alimentación de corriente directa

(Méndez, & Pérez, 2009). Los sensores inerciales (en referencia) ubicados en algunos puntos articulares especiales del semoviente, proporcionan manifestaciones diferentes de la posición en las diferentes marchas durante períodos de tiempo distintos (el sistema de medición inercial proporciona 9 grados para medición), lo cual se ve reflejado en resultados de medida digitales que son enviados al sistema epic14 mediante comunicación serial.

En esta primera fase del proyecto se tiene como fin el detectar los movimientos a partir de cambios momentáneos de la posición en tres dimensiones (x, y, z) para considerar las acciones de aceleración como un producto de los ejes de movimiento, debido a esto, se consideraron solamente algunos aspectos de la aceleración para detectar la inclinación de las partes del semoviente como un todo (donde se ubicaron los sensores), ya que el sensor detecta el efecto que tiene la fuerza de gravedad (g es igual a $9,8 \text{ m/s}^2$) sobre los ejes de medida que están orientados con los del semoviente en función de su posición en el espacio. (Figura 6).



Figura 6. Posición de los sensores respecto al semoviente

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR, web: elmundoenmovimiento.com.

Todas las salidas de los sensores debidamente polarizados y acoplados, son procesadas por un microcontrolador ATmega328 integrado en cada unidad y es el encargado de enviar a su vez la información por su puerto serie UART para poder recuperarlos de forma limpia en el módulo

enpic14 a una rata de 34.800 bits por segundo (bps). Luego se deben ubicar y posicionar correctamente sobre el semoviente (Figura 7), para lo cual, se dispuso de vendas que permitieran asegurarlos y fijarlos a la superficie del equino, garantizando una mejor captura de movimientos y evitando que se desplacen. Seguidamente se habilita desde el PC para registrar y capturar los datos.

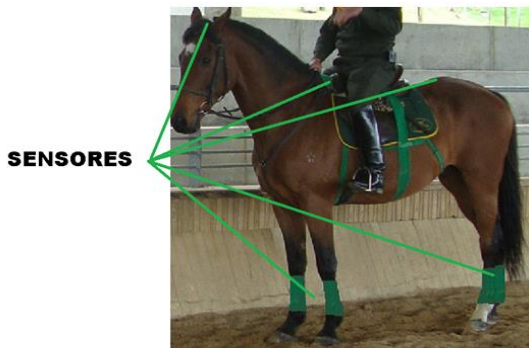


Figura 7. Ubicación de los sensores en el semoviente.

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR.

Luego se considera la captura de la señal de audio, donde se debe tener en cuenta un ambiente de bajo nivel de ruido, lo que se puede caracterizar por un medio de comunicación específico y un nivel o condición de ruido (Maren, 1990), por lo cual las señales eléctricas que entregan los transductores son señales variables que puede llegar a contener frecuencias por encima de los valores máximos permitidos para un canal de audio, además de ser una señal pobre en amplitud, debido a la naturaleza del transductor. Es por esto que se hace necesario implementar un selector de frecuencias (filtro) que permita obtener los principales componentes de dicho canal hasta 10 KHz (Cruz, 2008) y rechazar las que estén por encima, con unos niveles de voltaje adecuados, que permitirán ajustar la señal a los valores permitidos por el módulo de conversión análogo a digital. Dicho filtro presenta la siguiente función de transferencia:

$$H_{PB}(s) = \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{Q\omega_0} + 1} \quad (1)$$

Donde ω_0 es la frecuencia natural de la función y Q es el factor de calidad.

La respuesta del filtro seleccionado en el dominio de la frecuencia se presenta en la figura 8.

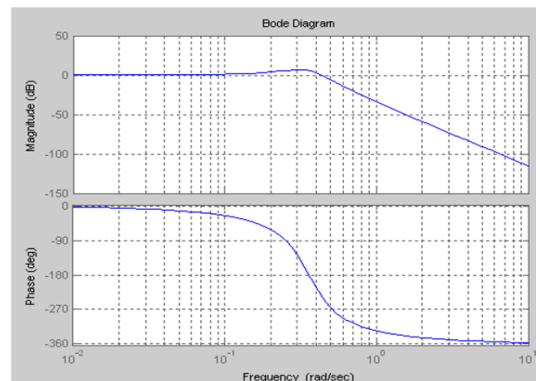


Figura 8. Respuesta en frecuencia del FPB implementado en el dispositivo portable.

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR.

2.2. Conversión de la señal de audio

Se requiere procesar la señal en un sistema que permita realizar operaciones con velocidad elevada, tamaño reducido y alta capacidad de memoria (Alessandrino, & Balconi, 2013), estas prestaciones las proporcionan los microprocesadores. Para realizar el procesamiento de la señal sobre un sistema digital de este tipo se requiere hacer una discretización con un conversor de análogo a digital. En el mercado son diversas las opciones que permiten realizar esta labor, sin embargo, se busca un dispositivo que cumpla con las velocidades necesarias para el muestreo del audio. El teorema de muestreo de Nyquist se muestra en la ecuación 2 (Esparza, 2003).

$$F_m \geq 2F \quad (2)$$

Donde F es la frecuencia máxima de la señal a muestrear y F_m es la frecuencia de muestreo. Teniendo en cuenta la frecuencia superior de corte del filtro se tuvo una frecuencia de muestreo de alrededor de 20 khz, lo cual implicó que se tomaran 20.000 muestras por segundo con un período de muestreo de 50 microsegundos.

Existen dispositivos que permiten integrar unidad de procesamiento, memoria conversión análogo-digital y otra serie de recursos, adecuándose en gran medida a varios de los requerimientos de este trabajo.

En este caso se hace referencia a los microcontroladores. Estos dispositivos digitales se fabrican para diferentes aplicaciones con diferentes niveles de complejidad. La de gama media de microchip está diseñada, entre otras, para el diseño de aplicaciones relacionadas con adquisición de audio. Debido a esto y a muchas otras características se seleccionó el microcontrolador 18f452 incluido en el módulo epic14, del cual se presentan algunas características.

- Arquitectura de 8 bits
- Velocidad CPU 20 MIPS
- Memoria de PGM 16kb
- Ram 1024b
- Pines I/O 33
- Conv. A/D 12b@200ksps
- Múltiples secuencias de conversión, entre otras.

A partir de estos y otros aspectos el módulo epic14 cumple con la mayoría de criterios de diseño, sin embargo, el tamaño de la ram es reducido para esta aplicación ya que se requiere almacenar como mínimo 20.000 muestras que corresponden a un segundo de grabación de audio, por tanto, debe usarse una ram externa que permita dicho proceso de almacenamiento.

Una vez determinado el microcontrolador, el proceso que sigue es el de convertir la señal de análogo a digital, lo cual implica hacer muestreo,

retención, cuantificación y codificación de la señal en un rango de conversión de 0 a 5 voltios. Este resultado permite convertir la señal analógica de entrada en números binarios de 12 bits, de los cuales solo se utilizan los ocho bits de más peso, obteniendo una resolución menor que no afecta en gran medida el reconocimiento de audio, pero que facilita el almacenamiento y la transmisión de las muestras. Este conversor provee un periodo de muestreo mínimo de 5 microsegundos y tiene hasta ocho entradas analógicas multiplexadas en un amplificador de muestreo y retención. El módulo se basa en el manejo de registros de propósito específico que controlan la operación del conversor. En particular los registros ADCHS y ADPCFG, seleccionan los canales de entrada y configuran los pines del puerto como entradas analógicas o entradas/salidas digitales respectivamente. Por medio de la configuración de estos registros se pueden escoger diferentes formas de manejar el conversor analógico digital (García, 2005).

2.3 Almacenamiento

Considerando la cantidad de muestras que se utilizarán y la velocidad a la que deberán ser procesadas para evitar retardos significativos en el desempeño del sistema, se elige la memoria sram ut62256 cuyo diagrama de bloques se muestra en la figura 9.

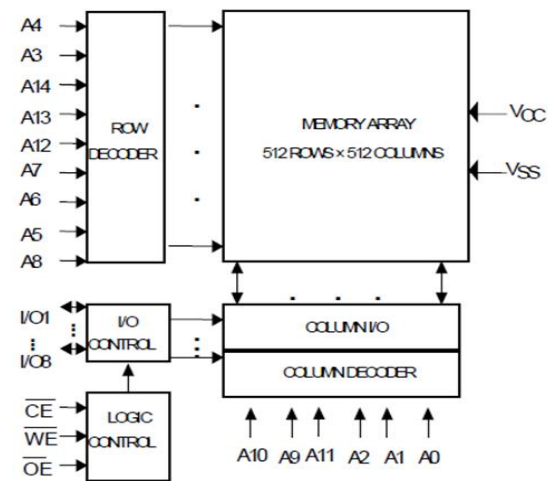


Figura 9. Esquema general Memoria sram ut62256

Fuente: Utron

Esta elección se debe a que cumple con todos los requerimientos para el almacenamiento de datos (32K x 8) y los tiempos de lectura y escritura son del orden de 35 a 70 nanosegundos, a continuación se muestra un resumen de las características:

- Tiempos de acceso de 35 a 70 nseg máx.
- Bajo consumo de energía.
- Todas las I/O con tecnología TTL.
- Tamaño de 32.768 palabras de 8 bits.
- Fuente de alimentación de 5v.

El algoritmo desarrollado para el acceso a la memoria cumple con los tiempos estipulados por el fabricante. En la figura 10 se muestra el diagrama de tiempos para el proceso de lectura controlando los pines CE (chip enable) y OE (output enable):

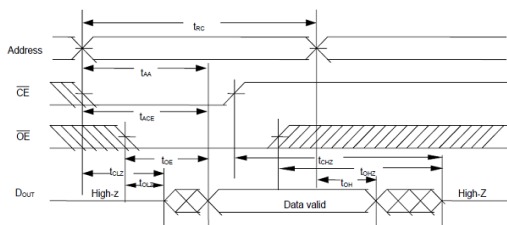


Figura 10. Esquema general lectura memoria sram ut62256
Fuente: Utron

En la figura 11 se muestra el diagrama de tiempos para el proceso de escritura controlando el pin WE (write enable):

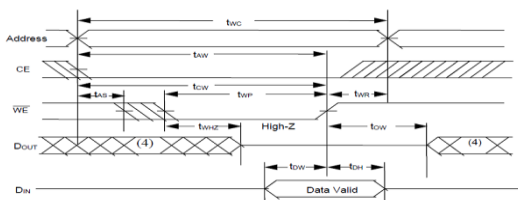


Figura 11. Esquema general escritura Memoria sram ut62256
Fuente: Utron

2.4 Configuración del módulo de transmisión-recepción inalámbrica X-bee Pro

Uno de los requerimientos claves en el desarrollo de este trabajo es la comunicación entre el módulo de adquisición portable y el sistema de procesamiento y reconocimiento (computador), debido a que se encuentran distantes entre sí e incluso pueden cambiar de posición en un espacio determinado. Una de las soluciones que ofrece el mercado se basa en el protocolo de comunicación inalámbrica Zigbee, este protocolo está basado en el estándar IEEE_802.15.4 para redes inalámbricas (Valverde, 2007). Entre las ventajas del uso de dispositivos basados en comunicación Zigbee tal como el xbee-pro, se encuentran, la operación en la banda libre de frecuencias de 2,4 GHz, el bajo consumo de energía, las distancias de los enlaces (pueden llegar incluso hasta una milla), pueden trabajar múltiples dispositivos en red, instalación económica y simple, y bajo costo, entre otras.

Algunas de las características técnicas del xbee pro utilizado son:

- Alcance espacio cerrado 100 metros
- Alcance espacio abierto 1.600 metros
- Potencia de salida +18 dbm
- Tasa de transferencia 250 kbps
- Voltaje de alimentación 3 a 3,4 Vdc

Como puede observarse, la tasa de transferencia de datos hace que el módulo sea ideal para la transmisión de datos. El requerimiento de este diseño es de 160 kbps ya que se maneja una frecuencia de muestreo de 10.000 muestras por segundo y cada muestra tiene un tamaño de 8 bits. Además, el alcance es apropiado para esta aplicación ya que siempre se está relativamente cerca del semoviente. La velocidad utilizada fue 115.200 bps, ya que debe estar acorde con el estándar rs232 usado por el puerto del PC, de tal manera que se tengan los datos en "tiempo real".

En las figuras 12 y 13 se muestra el módulo de comunicación elaborado para este desarrollo haciendo uso del xbee-pro (transmisor, receptor).



SISTEMA PORTABLE

Figura 12. Modulo transmisor elaborado

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR.

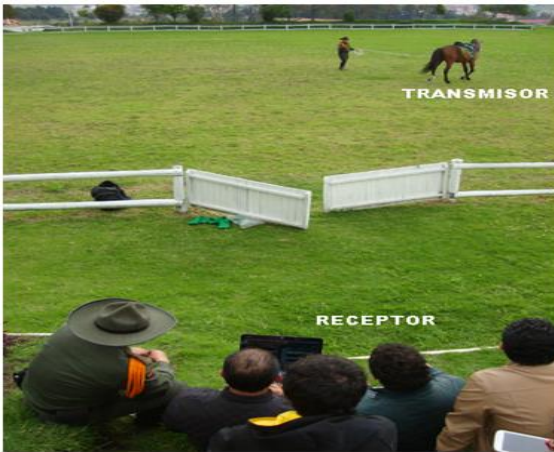


Figura 13. Modulo receptor elaborado

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR.

2.5 Descripción del software de extracción de patrones y reconocimiento de pasos equinos

El procesamiento de la señal de audio se implementa una parte en el módulo de hardware de adquisición de usuario y otra se implementa en las herramientas de software utilizadas labview® y matlab®. Para detectar el inicio del disparo y poder observar los cambios de marcha en el semoviente, se emplea la técnica de nivel de energía, que consiste en determinar si el nivel de energía de la señal ha superado un umbral determinado. La energía de una señal discreta se define según lo planteado por Santos (2001):

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x^2[n] \quad (3)$$

El nivel de energía umbral depende del nivel de ruido del polígono. Una vez que se ha evaluado dicho nivel mínimo, se detecta el nivel de audio del disparo, se compara con un máximo permitido y comienza el almacenamiento de las muestras de audio en la memoria, después de detectado el inicio, se almacenan las muestras de audio y se capturan los datos de los sensores hasta completar 2100 bytes referentes a cada unidad de medida, cantidad de datos estimada para caracterizar e identificar las marchas. Al tener las muestras de audio almacenadas en la memoria, se procede a ejecutar un algoritmo también basado en la técnica del nivel de energía, estableciendo el final de la grabación y limitando la cantidad de muestras transmitidas en forma inalámbrica al PC. En el algoritmo de detección de final de audio se divide la señal en ventanas de 2,5 milisegundos, que corresponde a tomar 400 muestras para determinar su energía y nuevamente verificar si están por debajo de un umbral establecido; si se encuentra una cantidad de ventanas consecutivas por debajo del umbral, se concluirá que la grabación ha terminado. (Figura 14).

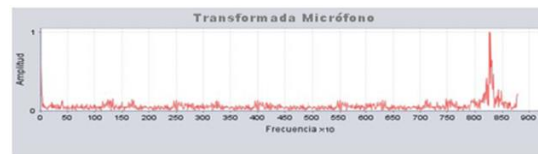


Figura 14. Señal en el dominio de la frecuencia "audio del disparo"

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

Posterior a la finalización del algoritmo para inicio y fin de la grabación de audio, se leen los datos de la memoria correspondientes a la información útil y se envían en forma serial desde el módulo enpic14 al sistema xbee portable para transmitirlos al PC en forma inalámbrica.

Los datos son recibidos por un segundo xbee que se encuentra conectado a la PC mediante el puerto serial, de ahí en adelante el procesamiento y la

identificación de los datos se realizará únicamente sobre el software desarrollado para tal fin. Labview permite recoger los datos por medio de instrumentos virtuales que vienen definidos para ello. Una vez que se recibe la totalidad de los datos se indexan en arreglos que luego son utilizados para determinar la posición de cada sensor y los niveles de audio; el último paso es la detección de los movimientos.

El siguiente paso es la extracción del patrón que posteriormente será identificado (Bakare, et.al, 2012). Existen diferentes técnicas para la extracción de estos patrones, en este caso se utilizó la transformada de Fourier en tiempo discreto para obtener el espectro de frecuencias y determinar parámetros tales como frecuencias fundamentales (Gallardo, Vergel, 2007). La transformada discreta de Fourier se puede obtener mediante la ecuación 4 (Torres, 2005).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) * e^{-j(2*\pi/N)*k*n} \quad (4)$$

La transformada rápida de Fourier (FFT) es un algoritmo que permite calcular la transformada discreta de Fourier para encontrar el espectro de una señal a un coste computacional bajo; esta implementación se realiza sobre 2n muestras. Este trabajo se desarrolló con una transformada rápida de Fourier de 512 puntos. El espectro obtenido referido a las señales en el tiempo, resultado de cada sensor se convierte a escala logarítmica para realzar las componentes de baja amplitud, se normaliza y se divide en 120 ventanas cada una con el mismo ancho de frecuencia; para cada ventana se obtiene la energía total de ese segmento y se normaliza nuevamente. Al final de este proceso se obtienen 120 valores normalizados de energía correspondientes a los 120 intervalos tomados del espectro. (Figuras 15, 16 y 17).

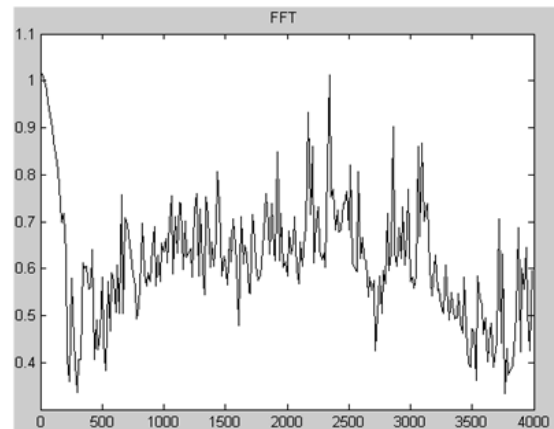


Figura 15. Espectro en escala logarítmica y normalizada marcha al paso.

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

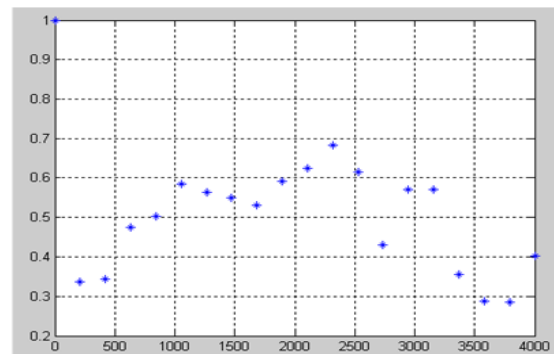


Figura 16. Patrón de energía normalizado marcha al paso.

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

Estos valores representan el patrón que será identificado. En la figura 15 se observa el espectro de la marcha al paso, en contraste con la figura 16 que muestra el patrón de energía obtenido después del proceso antes mencionado. Con algún nivel de análisis podrían determinarse las frecuencias propias del movimiento a partir de la figura 16. Cada uno de los sensores experimenta un análisis similar presentando un patrón en el cual se hace evidente la variación de la energía en las diferentes ventanas. En las figuras 17 y 18 se presenta otro de los espectros y los niveles de energía obtenidos.

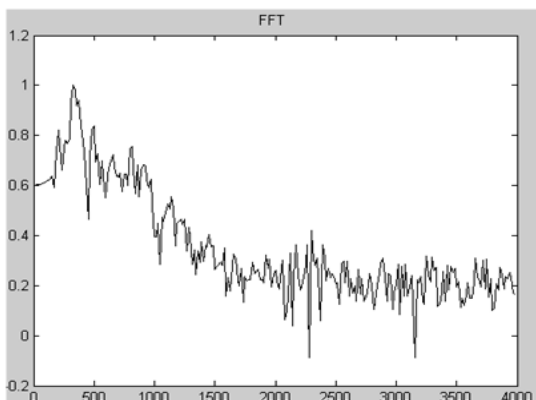


Figura 17. Espectro en escala logarítmica y normalizada marcha al trote.

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

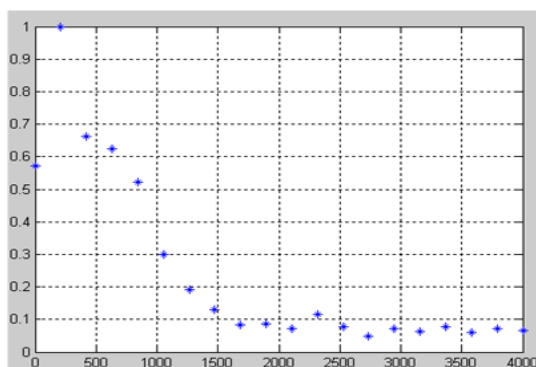


Figura 18. Patrón de energía normalizado marcha al paso.

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

2.5.1 Reconocimiento del patrón de movimiento

Finalmente, el patrón de energía obtenido de cada sensor correspondiente a cada marcha del semoviente ingresa a una red neuronal artificial (RNA). Las redes neuronales artificiales son algoritmos que tienen que ver con el procesamiento inteligente de datos o patrones. Este tipo de algoritmos pretende en parte imitar el funcionamiento del cerebro humano, por este motivo las redes neuronales artificiales son capaces de aprender de la experiencia, pueden extraer características importantes de diferentes

patrones de entrada, mediante una etapa de entrenamiento inicial pueden llegar a aprender a realizar una tarea, son tolerantes a fallos y a pérdidas de información, permiten reconocer patrones incompletos con un buen nivel de acierto (Hilera, 2000).

Existen diferentes tipos de redes neuronales artificiales, para este trabajo se utilizó una red neuronal *backpropagation* (o de retropropagación del error). Esta red neuronal es de tipo *off line*, es decir, requiere una etapa de entrenamiento previa a su funcionamiento normal. Durante este proceso se modifican los pesos de la red. Estos pesos se asemejan a las conexiones entre las neuronas biológicas y es allí donde finalmente se almacena el conocimiento de la red. Para una red neuronal artificial los pesos son números que se encuentran entre las conexiones de las neuronas. En el proceso de entrenamiento se presenta una cantidad de patrones con sus respectivas salidas deseadas.

Durante un proceso iterativo, la red neuronal actualiza sus pesos hasta obtener un error bajo para cada uno de los patrones de entrada en relación con la salida deseada. Para esta red neuronal se utilizaron tres capas, la capa de entrada es donde se recibe el patrón de 120 parámetros, por tanto, la capa debe tener 120 neuronas. La capa intermedia u oculta puede variar en cantidad de neuronas, dependiendo de la respuesta que se tenga después de un entrenamiento, esto indica que el proceso para determinar la cantidad de neuronas se hace a prueba y error. El mejor resultado para este trabajo fueron 120 neuronas en la capa oculta. La cantidad de neuronas de la capa de salida depende en este caso del número de marchas por identificar, porque a pesar de tener una salida sigmoïdal para todas las neuronas, en la capa de salida se aproxima la salida de cada neurona a "cero" o "uno" obteniendo una respuesta binaria. Como el sistema debe identificar tres marchas, entonces se tendrán dos neuronas de salida que permiten cuatro combinaciones posibles como se muestra a continuación:

- 00 salida deseada de la marcha "al paso"

- 01 salida deseada de la marcha "al trote"
- 10 salida deseada de la marcha "al galope"
- 11 salida no implementada

El diagrama de la red neuronal implementada se muestra en la figura 19.

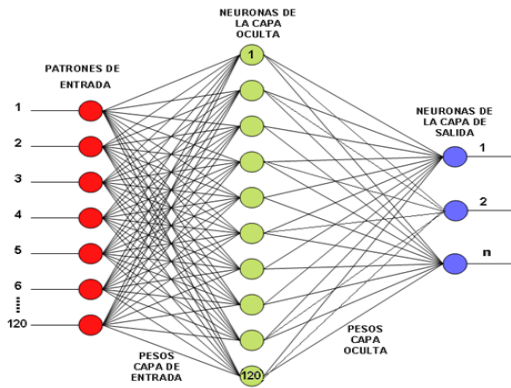


Figura 19. Diagrama red neuronal Backpropagation implementada

Fuente: Grupo de investigación Udec-Escar

Una vez identificado el patrón de cada paso, se envía al módulo de visualización de usuario (diseñado en el software Labview), el código binario de cada marcha y se muestra su activación mediante indicadores on/off como se muestra en la Figura 20.

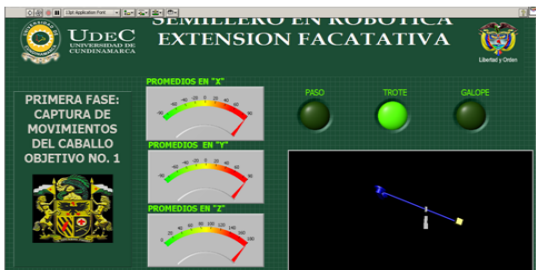


Figura 20. Interface de usuario desarrollada para el sistema de reconocimiento de marchas del semoviente.

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

3. Validación y resultados

Se tomó un total de 100 muestras por cada marcha en proporciones iguales (Carreño, 2014), con los semovientes utilizados en el polígono de armas largas (ambiente poco ruidoso). Se observó un 92% de acierto en general para la identificación de las tres marchas. En la tabla 1 se muestran los resultados específicos de cada movimiento.

	paso	trote	galope
paso	80%	10%	10%
trote	10%	90%	
galope			100%

Tabla 1. Resultados específicos por marcha.

Fuente: Grupo de investigación UDEC-ESCAR

En general se observó un error del 10%, el cual puede deberse a ruido externo, problemas de colocación de sensores, error en el envío de datos en forma inalámbrica, entre otras causas.

Conclusiones

En general el sistema funciona de forma adecuada, con un bajo nivel de error generado por el módulo de identificación de marchas que no afecta en gran medida el normal funcionamiento de la aplicación. De esta manera se concluye que el sistema puede ser utilizado para detectar o identificar las marchas básicas de un semoviente, elevando en alguna medida la relación jinete-caballo.

Este sistema puede ser empleado para identificar o diagnosticar otro tipo de movimientos o trastornos de los huesos en equinos a partir de su comportamiento psicológico y anatómico, logrando observar diferentes variables del equino, del entorno y del jinete que afectan el ejercicio.

Para esto se hace necesario ampliar el espectro hacia diversos semovientes, entornos y práctica del jinete, y por tanto, se debe profundizar en el

estudio de otras técnicas de captura y reconocimiento de los movimientos del equino que permitan hacer el proyecto lo más eficiente y robusto posible.

La selección de la cantidad de neuronas en la red es clave para incrementar hasta cierto punto el porcentaje de aciertos, pero a su vez se convierte en un proceso demorado, debido a que cada cambio en la estructura de la red requiere que se haga un nuevo entrenamiento y un nuevo proceso de prueba de la misma.

La transformada rápida de Fourier (FFT) a pesar de ser un método básico en el tratamiento de señales, es una herramienta matemática poderosa en el proceso de identificación de los movimientos del equino.

La evolución de tecnologías inalámbricas permite el desarrollo de aplicaciones en el campo equino en diferentes áreas y en este caso permite la verificación de comportamientos equinos, facilitando y agilizando los procesos de capacitación.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, A. A., & Valentin, J. L. (2010). Feeding biology and ecology of elasmobranchs (chondrichthyes: Elasmobranchii): A review of methods and the state of the art in brazil. *Oecologia Australis*, 14(2), 464-489. doi:10.4257/oeco.2010.1402.09
- Alessandrino, F., & Balconi, G. (2013). Complications of muscle injuries. *Journal of Ultrasound*, 16(4), 215-222. doi:10.1007/s40477-013-0010-4
- Bakare, A. A., Adeyemi, A. O., Adeyemi, A., Alabi, O. A., & Osibanjo, O. (2012). Cytogenotoxic effects of electronic waste leachate in allium cepa. *Caryologia*, 65(2), 94-100. doi:10.1080/00087114.2012.709786
- Bartolomé, M., Cervantes, M. (2012). *Estudio de la influencia de la interacción jinete-animales en la disciplina de Salto de Obstáculos mediante comparación de modelos de Repetibilidad y Multicarácter*. Madrid: Universidad Computlense.
- Carreño Bustamante, M. (2014). La formación de los estudiantes de derecho, bajo el paradigma de la investigación sociojurídica. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 5(2), 289-297. doi:http://dx.doi.org/10.22335/rlct.v5i2.113
- Cruz Beltrán, L., Acevedo Mosquera, M. (2008). *Reconocimiento de Voz usando Redes Neuronales Artificiales Backpropagation y Coeficientes LPC*. México D.F.: CICOS.
- Esparza Arellano, M.E., Avalos Briceño, B. (2003). *Reconocimiento de Voz*. México D.F.: Instituto Tecnológico de Aguas Calientes.
- García Zapirain, B.I., Angulo Martínez, J.M., Angulo Usategui, B. (2005). *Microcontroladores avanzados dspic. Controladores digitales de señal. Arquitectura, programación, aplicaciones*. Bogotá; Paraninfo
- Gallardo, H. y Vergel, M. (2007) *Modelación en un museo interactivo. Imaginarios*. X Reunión de la RED POP y IV Taller "Ciencia, Comunicación y Sociedad". Visto en <http://www.cientec.or.cr/pop/2007/CO-MawencyVergel.pdf> 2014.
- Hilera, J.R., Martínez, V.J. (2000). *Redes Neuronales Artificiales, Fundamentos, Modelos y Aplicaciones*. Bogotá: Editorial Alfa Omega.
- Maren, A.J., Harston, C.T., Pap, R.M. (1990). *Handbook of Neuronal Computing Applications*. Ed Academic Press.
- Huertas Díaz, O., Esmeral Ariza, S., & Sánchez Fontalvo, I. (2014). La Educación en Comunidades Indígenas; Frente a su proyecto de vida en un mundo globalizado. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 5(2), 232-243. doi:http://dx.doi.org/10.22335/rlct.v5i2.112
- Laverde Rodríguez, C. (2014). Aportaciones desde una perspectiva socio-jurídica al debate del trabajo sexual femenino en Colombia. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 5(2), 244-262. doi:http://dx.doi.org/10.22335/rlct.v5i2.124

Medina Bejarano, R., & Pineda Torres, N. (2012). Globalización, tecnociencias y culturas relacionales. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 4(1), 107-120. doi:<http://dx.doi.org/10.22335/rlct.v4i1.173>

Méndez Pardo, L. F., & Pérez-Acosta, A. M. (2009). Detección de explosivos con ayuda de animales: una revisión de la literatura científica. *Logos, Ciencia y Tecnología*, 1, 107-117.

Pfau, T., Witte, T.H., Wilson, A.M. (2005). A method for deriving displacement data during cyclical movement using an inertial sensor. *J Exp Biol*, 208 (13), 2503-2514.

Pfau, T., Ferrarì, M., Parsons, K., Wilson, A.M. (2008). A hidden Markov model-based stride segmentation technique applied to equine inertial sensor trunk movement data. *J Biomech*, 41, 216-220.

Turizo Arzuza, M. (2014). En la búsqueda de nuevas formas de interacción sociodiscursiva en entornos virtuales de aprendizaje: El nuevo rol docente. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 5(2), 263-273. doi:<http://dx.doi.org/10.22335/rlct.v5i2.123>

Santos García, G. (2001). *Inteligencia Artificial y matemática Aplicada: reconocimiento automático del habla*. Valladolid: Universidad de Valladolid. Secretariado de Publicaciones.

Torres, C., Mattos, L., Perpiñán, G., Castro, J., Pardo, J. (2005). Reconocimiento Automático del habla utilizando la transformada rápida de Fourier y redes neuronales. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(6).

Valverde Rebaza, J.C. (2007). *El Estándar Inalámbrico Zigbee*. Lima: Universidad Nacional de Trujillo.

Vega González, L. (2011). Un esbozo sobre el futuro inmediato de las carreras de ingeniería en México a partir del cambio científico-tecnológico. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 3(1), 12-23. doi:<http://dx.doi.org/10.22335/rlct.v3i1.102>