

DOI: <https://doi.org/10.24054/16927257.v31.n31.2018.2770>Recibido: 5 de mayo de 2017  
Aceptado: 8 de agosto de 2017**SYSTEM OF ACQUISITION OF DATA FOR ANALYSIS OF DEBALANCE IN  
ROTARY MACHINES.****SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA ANÁLISIS DE DESBALANCE  
EN MÁQUINAS ROTATIVAS.****MSc. Jhon Lizarazo Parada\***, **Msc. Andrés Mauricio Puentes Velásquez\*\***,  
**PhD. Mary Vergara\*\*\*****\* SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE, SENA Tecnoparque Nodo Ocaña** Grupo de  
Investigación GINDET.Transversal 30 #7-110 Barrio Primavera, Ocaña, Norte de Santander, Colombia.  
+57 (7) 5611035.E-mail: [jlizarazop@dominio.edu.co](mailto:jlizarazop@dominio.edu.co).**\*\* SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE, SENA Regional Norte de Santander**Calle 2N Avda. 4 y 5 Barrio Pescadero Cúcuta, , Norte de Santander, Colombia.  
+57 (7) 578 3286E-mail: [ampuentesv@ufpso.edu.co](mailto:ampuentesv@ufpso.edu.co)**\*\*\* UNIVERSIDAD DE LOS ANDES ULA**, Facultad de Ingenierías, Escuela de Ingeniería  
Mecánica

Universidad de Los Andes, Mérida, Mérida, Venezuela.

+58 0274-2402845

E-mail: [vmary@ula.ve](mailto:vmary@ula.ve).

**Resumen:** El desbalance es uno de los problemas más frecuentes a causa de vibración en la industria, por ello es de gran importancia el estudio del mismo para aplicaciones prácticas que contribuyan a formar profesionales capaces de enfrentar este problema con conocimientos prácticos y teóricos. Para tal fin se realizó un instrumento virtual de análisis de vibración por desbalance mediante la adquisición de datos de sensores de vibraciones como acelerómetros y velocímetros, el cual sirve para evaluar los modos y efectos de falla en un rotor efectuando un diagnóstico del elemento, hallando la forma posible de corregir cuando ocurra desbalance. Este instrumento está desarrollado con programación gráfica en LabVIEW, y está instalado en el banco de pruebas del laboratorio de Mecánica de Materiales (LABMM) en la universidad de los Andes (ULA, Venezuela), el cual cuenta con la instrumentación adecuada. Los instrumentos utilizados durante el desarrollo del trabajo fueron: dos acelerómetros 736T, un velocímetro 793V y la tarjeta de adquisición de datos DAQpad-6020E para efectuar la medición de vibración en el ROTOR 5000 del laboratorio.

**Palabras clave:** Instrumentación virtual, desbalance, mantenimiento predictivo

**Abstract:** Vibration due to unbalance is one of the most frequent problems in industry and it is of great importance to study it. To help in the understanding of this issue and facilitate the professional training of those who have to deal with this problem, we built a virtual instrument for analyzing vibration due to unbalance. This device collects data from vibration sensors, such as accelerometers and speedometers, to evaluate the failure mode and effects on a rotor element, making a diagnosis and finding a possible solution to the unbalance. This tool was developed with LabVIEW graphical

programming, and is installed in the Mechanics of Materials Test Lab (LABMM) at Universidad de los Andes (ULA, Venezuela), which has the appropriate instrumentation. The instruments used during the development of this work were: two accelerometers 736T, 793V speedometer and data acquisition card DAQPad-6020E, for measurement of vibration with the laboratory's test bench ROTOR 5000.

**Keywords:** Virtual Instrumentation, Unbalance, Predictive maintenance.

## 1. INTRODUCCIÓN

La detección de fallas en maquinaria rotativa abarca tecnologías como el análisis de aceite, la termografía infrarroja y el análisis de vibraciones. La corrección de fallas en maquinaria rotatoria comprende el simple reemplazo de piezas defectuosas, como correas, cojinetes y engranajes, enderezar un eje doblado, la alineación de acoplamientos y el balanceo dinámico. De la detección de fallas y su corrección se han realizado numerosos trabajos, sin embargo el diagnóstico por vibraciones es uno de los más extendidos y será el objetivo de este trabajo de investigación, enfocado al estudio de desbalance.

El análisis de vibraciones en equipos rotativos es la herramienta que permite interpretar las lecturas de vibración y eventualmente diagnosticar con precisión el tipo de falla. El desbalance ocasiona el deterioro progresivo y la falla prematura de los cojinetes anti-fricción que soportan el rotor debido a las fuerzas centrífugas creadas por la rotación, este se corrige mediante balanceo dinámico, ya sea en una máquina de equilibrado o en el mismo sitio donde está instalada la máquina bajo condiciones normales de temperatura, carga y velocidad de funcionamiento.

## 2. Diseño General

### 2.1 Diseño de Tacómetro.

La medición de velocidad en la industria se efectúa de dos formas: con tacómetros mecánicos y tacómetros eléctricos. Los primeros detectan el número de vueltas del eje de la máquina por medios exclusivamente mecánicos pudiendo incorporar o no la medición conjunta del tiempo para determinar el número de revoluciones por minuto (r.p.m.), mientras que los segundos captan la velocidad por sistemas eléctricos. Para usos industriales se suelen utilizar tacómetros eléctricos porque permiten la transformación directa de la señal para alimentar los instrumentos registradores

o controladores de panel. Un caso de aplicación típica lo constituye la medición de la velocidad de giro del eje de una turbina en una central de energía.

Para desarrollar el tacómetro se seleccionó un emisor de luz infrarroja y un fototransistor como receptor del haz luminoso que conmute cada vez que detecte un objeto obstaculizando el mismo. Para diseñar y simular el circuito se utilizó el programa ISIS de Proteus. En la figura 1 se muestra los dispositivos electrónicos necesarios para obtener el circuito interruptor del haz luminoso.

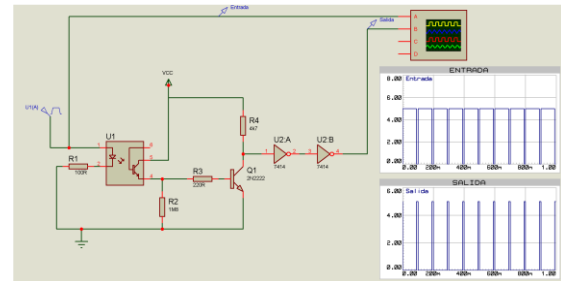


Fig. 1. Diagrama de circuito para tacómetro infrarrojo.

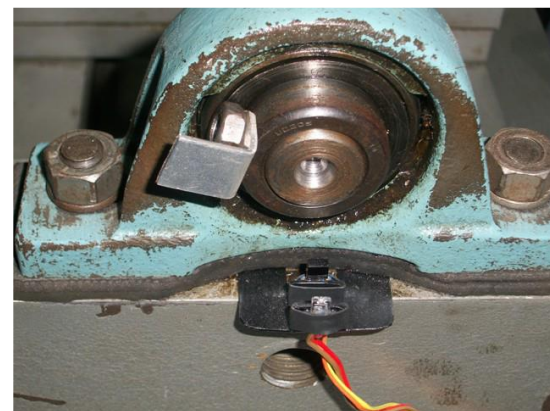


Fig. 2. Montaje de emisor y receptor infrarrojo.

En la figura 2 se muestra la manera de montar el tacómetro utilizado para la tarea de medir la velocidad de giro del ROTOR 5000 (Máquina utilizada como base para el banco de pruebas).

La señal del tacómetro se envía a la tarjeta de adquisición de datos DaqPAD-6020E para calcular la velocidad de giro midiendo la frecuencia de paso de la señal teniendo un pulso por vuelta del rotor.

### 2.1 Montaje e Instalación de equipos en el laboratorio.

Uno de los factores importantes a la hora de implementar el instrumento virtual es la correspondiente instalación y puesta a punto de los dispositivos de medición y estructura física del banco de pruebas. Para ello luego de diseñar el tacómetro se agrupa el mismo en el conjunto de instrumentos presentes en el laboratorio de la escuela de ingeniería mecánica, es decir, (Tarjeta de adquisición de datos, transductores, fuentes, motor, ajuste de estructura física y demás).

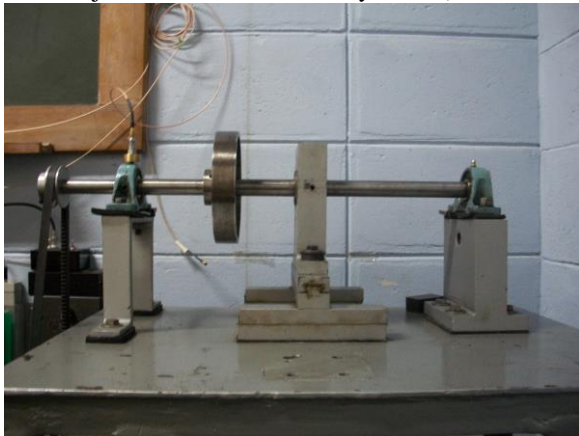


Fig. 3. Banco de Pruebas Rotor 5000.

En la figura 3 se observa el banco de pruebas utilizado para la tarea de medición de vibraciones en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la universidad de los Andes. La tarjeta de adquisición de datos y el control de velocidad del motor que acciona el rotor se muestra en la figura 4.

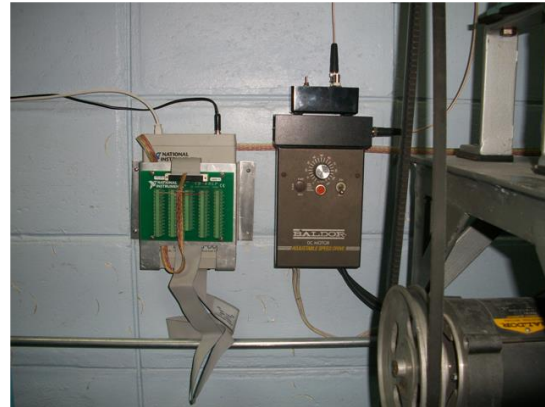


Fig 4. Tarjeta de adquisición de datos DaqPAD-6020E, motor, controlador de velocidad de motor y fuentes de los transductores de aceleración y velocidad

### 2.3. Programación del Instrumento Virtual para Medición de Vibraciones y Balanceo del Rotor 5000.

El software diseñado para la tarea de balancear el rotor está compuesto de dos subinstrumentos llamados INVIBA (Instrumento Virtual Para Balancear ROTOR-5000) e INVIBRA (Instrumento Virtual Para la medición de vibraciones), esta distinción se realiza ya que son dos módulos independientes pero trabajan de la mano para la tarea final que es balancear la máquina ROTOR 5000. El módulo INVIBA se ejecuta en el instante que se inicia el programa de balanceo como se muestra en la figura 5. Esta ventana indica al usuario que tarea desea realizar mostrando tres opciones principales que son:

- Balancear en un Plano
- Balancear en Dos Planos
- Evaluar severidad vibratoria.



Fig. 5. INVIBA interfaz inicial del programa para balancear el ROTOR 5000.

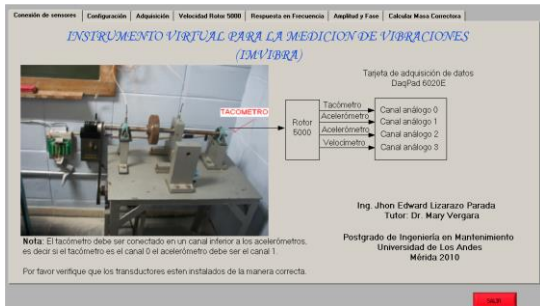


Fig. 6 INVIBRA interfaz para medición de vibraciones.

La interfaz principal del programa es INVIBRA ya que en esta ventana se mide y se realiza todo el cálculo según el método seleccionado en la ventana INVIBA sea balanceo en un plano, balanceo en dos o evaluar la severidad de la vibración.

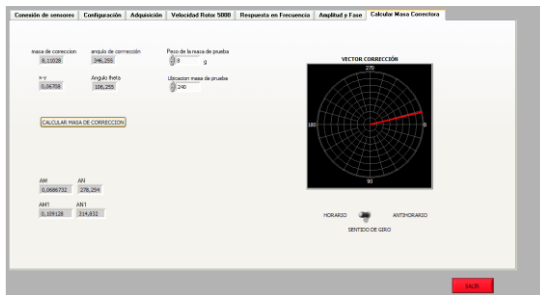


Fig. 7. Interfaz de cálculo de masas de corrección para el método de balanceo en dos planos por el método de coeficientes de influencia.

### 3. ANALISIS DE RESULTADOS

Se determinaron resultados satisfactorios para cada uno de los métodos de balanceo aplicados y para la evaluación de la severidad de la vibración.

#### 3.1 Balanceo en un plano.

Para el balanceo en un plano se necesitan dos muestras, una sin ningún tipo de masa de prueba y otra con una masa de prueba que permita perturbar el sistema obteniendo las mediciones de amplitud y fase en cada una de las muestras. En esta prueba se trabaja con el transductor de velocidad ya que presenta una respuesta más adecuada en la velocidad para frecuencias bajas. En la figura 8 se muestra el contenido espectral para la señal tomada por el acelerómetro a una velocidad de 1960 RPM y la figura 9 muestra la señal obtenida por el velocímetro a la misma velocidad de operación, donde se muestra que el velocímetro tiene un mejor comportamiento en las frecuencias bajas ya que las componentes de alta frecuencia se suprimen o integran por la señal de velocidad. Por ello el rango de trabajo para el velocímetro es de 1000 a 12000 RPM donde se tiene una respuesta lineal. Se

decide trabajar con el velocímetro para el balanceo en un plano.

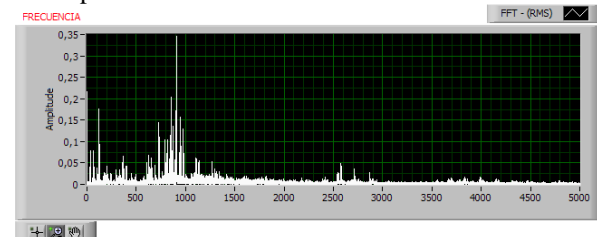


Fig. 8 Respuesta en frecuencia para acelerómetro.

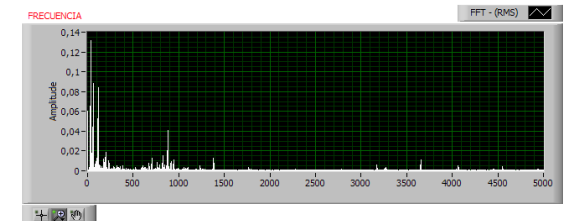


Fig 9. Respuesta en frecuencia para velocímetro.

En la práctica se toma una muestra a una velocidad de operación de 1937 RPM sin ninguna masa de balanceo como vibración inicial en el plano medido. En la figura 7.22 se muestra el espectro de vibración de la señal del velocímetro y la señal en el tiempo del tacómetro como de la velocidad de vibración. La amplitud de vibración observada contiene una frecuencia fundamental en 32,5 Hz correspondiente a la frecuencia de orden 1 con una amplitud de 0,09 in/s y una fase de 282°. Luego se agrega un peso de prueba de 8gr ubicado a 60° de la marca de referencia del tacómetro obteniendo un valor de amplitud de 0.078 in/s y un corrimiento de fase de 233°.

Luego de tener capturado los datos de velocidad de vibración en los dos casos se procede a ejecutar el programa de balanceo en un plano arrojando el siguiente resultado para el peso de corrección 9,2 gr. ubicado en el ángulo -12.20, ya que el ROTOR 5000 tiene cuatro agujeros igualmente espaciados con ángulos de 90° uno de ellos queda en la posición -30° de la posición de referencia del tacómetro (se debe recordar que el ángulo de fase se mide inverso al sentido de rotación del eje principal), se ingresa la misma pesa de corrección de 8 gr. en la posición -30° obteniendo el resultado mostrado en la figura 10 donde se observa una amplitud de vibración de 0,0263 in/s y una fase estable de 345° logrando un balanceo óptimo ya que se redujo la amplitud en un 70% del valor inicial comprobando así que el programa funciona de la manera correcta para esta prueba. Si se pudiese colocar la masa correctora en el ángulo correcto de 9° la reducción en la amplitud sería mucho mayor que la tomada como óptima.



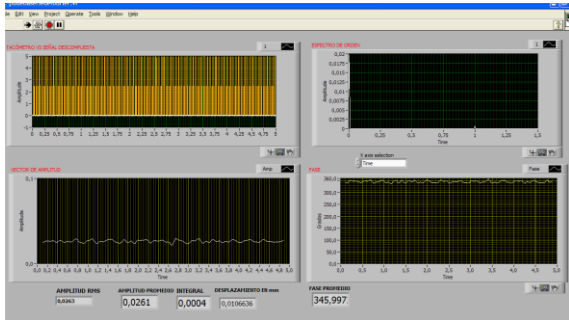


Fig. 10 Resultado de vibración con masa correctora instalada.

### 3.2. Balanceo en Dos Planos

Para efectuar el balanceo en dos planos es necesario aclarar los dos planos de perturbación donde se ingresarán las masas de prueba, por lo general para este tipo de banco de pruebas se utilizan dos discos separados una distancia L y así poder establecer un rango de perturbación entre un plano cercano al punto de medida y un plano lejano comúnmente llamado (near y far), para demostrar que el programa está funcionando de la manera correcta se compara con datos obtenidos en (Mendez-Adriani, 1995) para balanceo en dos planos obteniendo los mismos resultados del libro en cuestión. Para ello se utilizó la primera versión del programa de balanceo en dos planos realizado en LabVIEW con la opción de simulación de entrada de datos, con datos constantes de entrada para ángulos de fase y amplitudes en cada una de las pruebas descritas por el método de balanceo por coeficientes de influencia.

| Near | Ángulo Near | Far | Ángulo Far | Peso prueba | Ángulo peso |
|------|-------------|-----|------------|-------------|-------------|
| 38   | 256         | 19  | 36         | Sin masa    | Sin masa    |
| 31   | 300         | 37  | 75         | 7.95        | 90          |
| 17   | 264         | 31  | 21         | 7.95        | 90          |

Tabla 1. Datos de entrada al programa de balanceo.



Fig 11. Resultado balanceo en dos planos con datos constantes tomados del libro [2].

### 3.3. Módulo de Severidad de Vibración.

La práctica realizada para la evaluación de severidad vibratoria donde se hace una perturbación desbalanceando el sistema rotor-dinámico ROTOR 5000 con un tornillo lo suficientemente pesado como para elevar los niveles de vibración a niveles intolerables por la máquina. Para la elaboración del programa se aplicó la norma ISO 10816 donde se indican que para una máquina de este tipo los niveles permisibles o iniciales de montaje son 0,06 in/s, 0,11 in/s para un nivel intermedio donde la máquina no presenta fallos pero se indica que la máquina ya tiene algún tiempo funcionando mal, en este punto se dice que la falla es del tipo incipiente, 0,18 in/s la condición de la máquina no es adecuada y no puede funcionar de manera continua, en este punto se dice que la falla es del tipo potencial, el valor límite para la vibración es cuando presenta falla funcional para valores por encima de 0,18 in/s.

La figura 12 se muestra la descripción de la tabla de la norma ISO 10816 tomada del instrumento virtual para evaluar severidad vibratoria.

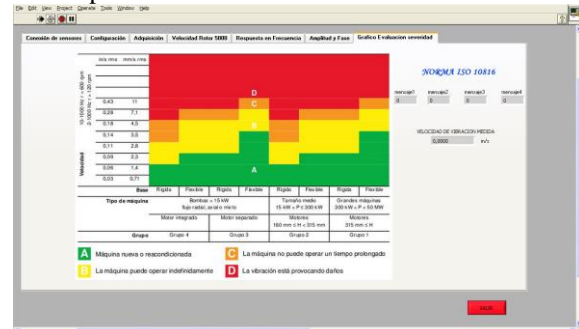


Fig. 12. Niveles tolerables e intolerables para análisis de severidad de vibración.

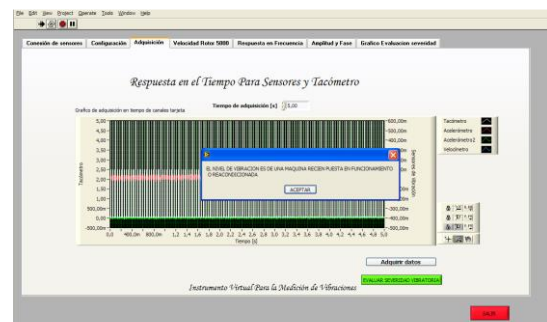


Fig 13. Mensaje mostrado según el valor leído para la vibración en un rotor en perfecto estado.

En cada una de las siguientes figuras se muestra los resultados para bajos niveles de vibración y niveles elevados perturbando el sistema con un tornillo de una masa elevada desbalanceando el rotor para establecer cada una de las escalas de la norma ISO 10816.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se implementaron tres instrumentos virtuales para la medición de vibraciones con el propósito de implementar mantenimiento predictivo, balanceo en un plano, balanceo en dos planos y evaluación de severidad vibratoria. Estos programas se demostraron que son funcionales para el ROTOR 5000, aplicando métodos de balanceo comúnmente aplicados en la industria para evaluación de maquinaria rotativa.

La flexibilidad del programa permite añadir instrumentos en un futuro para trabajar otros problemas tales como desalineamiento y análisis de rodamientos, pero esta plataforma es la base para tomar medición de vibraciones y almacenar data en archivos para luego ser procesados y analizar diferentes problemas en maquinaria rotativa. La portabilidad de la instrumentación y la tarjeta de adquisición de datos DaqPAD-6020E, permite hacer un instrumento portátil de análisis de vibraciones para cualquier tipo de rotor que necesite ser balanceado.

El rango de medición es de -10V a 10V por lo tanto se pueden adquirir datos con valor límite de 100 gravedades y el rango límite de sensor son 500 g. De la misma manera se tiene una resolución de 0.488 mV como mínima unidad de medida.

El mantenimiento predictivo es una de las ramas más aplicadas del mantenimiento a nivel industrial pero lamentablemente para ingresar en este mundo se debe trabajar en el sector y así tener acceso a la información concerniente a la práctica de medición y balanceo de maquinaria rotativa, este trabajo permite establecer una conexión básica con lo que se puede encontrar por parte del estudiante de Ingeniería de Mantenimiento y el mundo real visualizando datos de una máquina rotativa sencilla obteniendo señales de vibración complejas y aplicando métodos de balanceo vistos en clase de análisis de vibraciones. Luego de llevar un historial de mediciones se pueden obtener curvas de tendencia que a nivel industrial son muy importantes para realizar diagramas de evolución de falla IPF y la típica curva de la bañera en un estudio de mantenimiento de maquinaria.

#### REFERENCIAS

- Antonio Creus. Instrumentación Industrial. Barcelona, sexta edición, 1998.
- Mendez-Adriani Jose Alberto. Balanceo dinámico de maquinaria rotativa. Abril de 1995 edición, Abril de 1995.
- National Instruments. Order Analysis Toolset User Manual. National Instruments, USA, 2003. Manual toolset.
- Fernandez Joaquin del Rio. Lázaro Antonio Manuel. Labview 7.1. Programación Gráfica para el control de instrumentación. Labview. Universidad Politécnica de Catalunya, 1 edición, 2006.
- National Instruments. DAQ-pad 6020E User Manual. Multifunction I/O Devices for USB, USA, septiembre 1998 edición, 1998.
- William Bolton. Mecatrónica. Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Febrero de 2006, tercera edición.
- Wilcoxon Research USA. Installation of vibration sensors. Technical report, 2010.
- Dean Lofall and Azima DLI. Introducción al Análisis de Vibraciones. Mecanicas.U.S.A, 1998.
- Jose M. Olivo P. Balanceo de Máquinas Rotativas. Universidad de Los Andes, Mérida, 1995.
- Edgar Estupiñan P y César San Martín y Luis Canales M. Desarrollo de un instrumento virtual para el balanceo dinámico de rotores. Ingeniería -Revista Chilena de Ingeniería, vol. 14 No 2, pages 146{152, 2006.
- José A Araque, Jorge L Díaz, Oscar E Gualdrón (2013). OPTIMIZACIÓN DEL THD EN UN CONVERTIDOR MULTINIVEL MONOFÁSICO USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257 - Volumen 1 – Número 21. (Araque A et al 2013).
- Algemeiro A. Ávila G, Elkin G. Flórez Serrano, Oscar Gualdrón G (2012). Diseño e implementación de un curso interactivo multimedia para el aprendizaje de los procesos CAM en un centro de mecanizado Leadwell V30. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 20.

Cristhian M Durán Acevedo, Ali Xavier Iturriago (2012). Automatización de un sistema de suministro de agua potable a través de la tecnología ZigBee. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 20.

Carlos Parra Ortega, Jaime Herrera Vergara. (2013). Aplicación de los sistemas de detección de intrusos y la tecnología de agentes en el monitoreo inteligente de redes de datos. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 22.

Clayton J Torres, John F Archila, Mario L Tronco, Marcelo Becker, Arthur J Viera Porto, Alexander J Tiberti (2013). Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257 - Volumen 2 – Número 22.