

# Desarrollo de un Sistema de Medición para el Análisis de Fuerza y Deformación de Materiales en la Máquina Universal ZD-100

## Development of a Measurement System for Material Deformation and Force Analysis in the Universal Machine ZD-100

*Nelson Eduardo Pedroza Castellanos\**  
*Nelson David Guarín Hernández\*\**  
*Karla Cecilia Puerto López\*\*\**  
*Jesús Bethsaid Pedroza Rojas\*\*\*\**  
*Dinael Guevara Ibarra\*\*\*\*\**

### RESUMEN

En este trabajo se desarrolló un sistema de medición digital, con el propósito de realizar la conversión del sistema análogo de captura de datos a un sistema de captura digital, para la máquina universal ZD-100 para las pruebas de fuerza y deformación para materiales de construcción. Se elaboró un sistema mecánico que permite el acople del sistema análogo actual de la máquina con los sensores MOD-533 usados para el sistema digital; un sistema electrónico basado en una tarjeta de adquisición de datos, que permite el muestreo y envío de información al ordenador así como una interfaz de usuario para el manejo del sistema de medición y la interpretación de los datos obtenidos, de carga y deformación de los materiales a prueba. El sistema desarrollado mejoró la precisión de las mediciones con una mayor toma de datos y la disminución en los tiempos entre pruebas, generando la elaboración del informe de manera automática.

**Palabras clave:** Máquina universal, Dinamómetro, Deformímetro, Microcontrolador, Esfuerzo, Deformación, USB, Interfaz de usuario.

### ABSTRACT

This paper developed a digital measurement system with the aim of transforming an analog capture system into a digital one, for the universal machine ZD-100 for material deformation and force tests in materials for building. A mechanical system which allows to couple the machine's current system with the MOD-533 sensors used by the digital system, an electronic system based in a data acquiring card (which allows sampling and sending of information to the computer) and a user interface for managing the data measurement and interpretation system were developed. The developed system allowed to improve precision at measuring, providing more data, diminishing time among tests and generating the reports automatically.

**Key words:** Universal machine, Dynamometer, Strain gage, Microcontroller, Stress, Strain, USB, User interface.

\* *Coinvestigador. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de Investigación y Desarrollo en Telecomunicaciones. Línea de investigación Sistemas de Comunicaciones. nelsoneduardopc@ufps.edu.co*

\*\* *Coinvestigador. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de Investigación y Desarrollo en Telecomunicaciones. Línea de investigación Sistemas de Comunicaciones. david\_guarin905@hotmail.com*

\*\*\* *Investigador principal. Ingeniera Electrónica. Especialista en Servicios y Redes en Telecomunicaciones. Magister en Ingeniería en Telecomunicaciones. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de Investigación y Desarrollo en Telecomunicaciones. Línea de investigación Sistemas de Comunicaciones. karlapuerto16@hotmail.com*

\*\*\*\* *Coinvestigador. Ingeniero Mecánico. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. jespber@gmail.com*

\*\*\*\*\* *Coinvestigador. Ingeniero Electricista. Doctor en Ingeniería área Telecomunicaciones. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de Investigación y Desarrollo en Telecomunicaciones (GIDT). Línea de investigación Sistemas de Comunicaciones. dinaelgi@ufps.edu.co*

## 1. INTRODUCCIÓN

Ante el desarrollo de diferentes procesos industriales se ha entrado en un mundo digital donde cada día los sistemas análogos son insuficientes para satisfacer todos los requerimientos; adicionalmente el avance de la tecnología y la gran necesidad de actualizar y modernizar las máquinas que se exigen hoy en la industria, los sistemas digitales dan mejoras notables en tiempos de ejecución y respuesta, mayor procesamiento de información, múltiples funciones con mayor exactitud y precisión; incluyendo una facilidad de interpretación y manejo de los datos obtenidos mediante los diferentes instrumentos de medición de las magnitudes físicas o químicas presentes en un proceso o sistema. En la Corporación Universidad de la Costa en Barranquilla [1], con el fin de obtener una exactitud en las mediciones para reducir la incertidumbre, se desarrolló una instrumentación electrónica que modela el movimiento de un móvil detectando los parámetros de tiempo y distancia para los laboratorios de Física. En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en Ecuador [2], se creó un sistema electrónico informático para aplicaciones en la máquina universal Tinius Olsen por medio de una tarjeta de adquisición de datos y el software LabView para la mejora en la precisión de los datos y la obtención de las curvas esfuerzo deformación. En la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en México [3], se desarrolló una tarjeta de adquisición de datos para uso general de parámetros físicos de temperatura, voltaje AC, voltaje DC y corriente AC, los cuales pueden ser observados de manera gráfica por medio del software LabView en un ordenador. Adicionalmente en la Universidad Nacional Experimental del Táchira en Venezuela [4], con el objetivo de recuperar una máquina universal de ensayos *Acco Riehle* se realizó un plan de mantenimiento y se automatizó para disponer de esta máquina para uso académico.

En este sentido, en el contexto de este avance la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS) busca constantemente mejorar su calidad; es necesario detenerse y mirar el laboratorio de resistencia de materiales, donde se realizan prácticas y ensayos, tanto para el uso de los estudiantes como para servicio de extensión a la comunidad, cuyos equipos no generan resultados óptimos, ya que se manejan sistemas análogos y algunos de sus elementos no se encuentran en un estado adecuado por su misma antigüedad; se consideran desactualizados en comparación con los equipos implementados en la actualidad que cuentan con sistemas digitalizados, sensores electrónicos y procesos de control; un claro ejemplo de ello es la máquina ZD-100 utilizada para el proyecto que data de 1973.

El presente documento muestra el desarrollo de un sistema, el cual se adaptó a la máquina universal ZD-100, actualizando la toma de mediciones por medio de la adquisición de datos, aplicando los avances de la tecnología de análoga a digital. Al incorporar este sistema de adquisición a la máquina universal ZD-100 se pueden representar sus diferentes etapas en la pirámide de automatización, identificando los siguientes niveles: **Nivel de sensado:** donde se encuentran los elementos de medida y de mando. Este nivel está conformado por dos potenciómetros lineales MOD-533 encargados de detectar las variables fuerza y deformación. **Nivel de control:** elementos encargados de gestionar los actuadores y sensores y procesar la información. Para realizar esta tarea se diseñó una tarjeta de

adquisición de datos con el PIC 18F4550 que recibe la información proveniente de los sensores y la procesa para ser entregada al ordenador. **Nivel de supervisión:** se recibe la información y se visualiza para supervisión, esto se realiza por dos métodos: el primero es una pantalla de cristal líquido (*Liquid Cristal Display, LCD*) que arroja los valores de la fuerza y deformación y, el segundo método es en el ordenador por medio del software LabView donde se realiza la tabulación de los datos y la obtención de las gráficas respectivas.

El sistema de medición desarrollado en la máquina universal ZD-100 de la Universidad Francisco de Paula Santander permite acoplarse e implementarse en otras máquinas que manejen estos mismos sistemas analógicos, para su posterior conversión a sistemas digitales manteniendo los niveles de sentido, control y supervisión de la pirámide de automatización para este tipo de máquina. El hardware empleado, específicamente la tarjeta de adquisición de datos, se acopla al sistema mecánico de la máquina siempre y cuando se tengan presentes sus características de fabricación para la implementación de este sistema electrónico. Con respecto al software, este monitorea las respectivas lecturas tomadas por el sistema electrónico apoyadas en la interfaz gráfica. Se evidencia que este sistema de medición permite actualizar estas máquinas y por ende, los laboratorios de la academia prologando la vida útil de los equipos y máquinas.

## 2. METODOLOGÍA

En la campo de la construcción es necesario que los materiales a usar cumplan con los estándares de calidad; en Colombia se rigen diferentes normas técnicas (NTC): se puede hacer referencia a la NTC 673.2010 que se aplica a cilindros de concreto, la NTC 2.1995 que es usada para materiales metálicos, la NTC 3353.1997 aplicada en productos de acero, la NTC 663.1973 para determinar la resistencia a la flexión en madera; para esto se realizan diversidad de pruebas como: tensión, flexión y deformación; dependiendo del material a evaluar estas pruebas son realizadas en máquinas universales. En los laboratorios de resistencia de materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander se realizan estas pruebas para dar a conocer a los estudiantes las normas que deben cumplir los materiales, además de capacitarlos en el uso de la maquinaria necesaria y aplicar así los conceptos adquiridos durante las carreras específicas en los análisis de pruebas. Adicionalmente la máquina universal ZD-100 se emplea para servicio de extensión a toda la comunidad en la región.

El uso de la máquina universal ZD-100 [5] cada vez es más limitado, por ende se hizo necesario el desarrollo de un instrumento que permitiese actualizar y alargar su vida útil. Este equipo está conformado por la máquina de ensayos y la estación de mando, esta última cuenta con un reloj dinamométrico cuya función es indicar el valor de la carga que se aplica a la probeta de ensayo. Este reloj, como se observa en la Figura 1, es análogo y el operario de la máquina debe estar haciendo la lectura del valor y otra persona, la lectura del deformímetro, del cual no dispone la máquina y es colocado de manera independiente, generando problemas de medición, debido a que no hay simultaneidad en la lectura de la carga

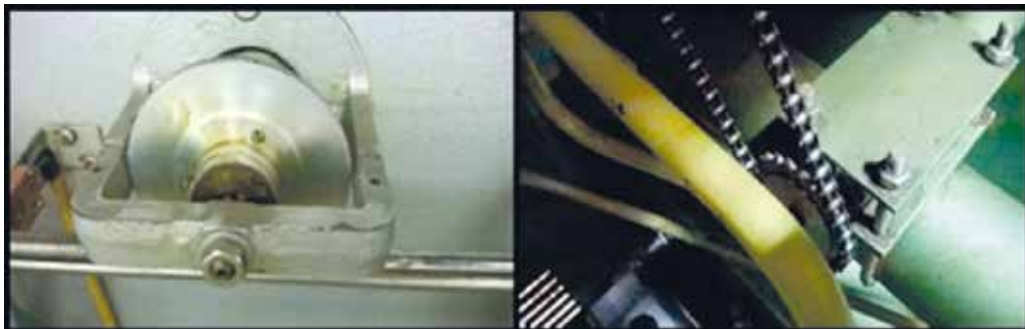
y deformación de los materiales a prueba, presentándose errores en su tabulación. Esto repercute en el análisis de la resistencia del material objeto de prueba. Por esto, se hizo necesario un sistema que permita adecuar y actualizar el mecanismo de medición de la máquina universal ZD-100 reduciendo el margen de error en cada ensayo realizado y obteniendo un mejor tiempo de respuesta en la entrega de estos resultados a solicitud del usuario con una información más detallada de cada prueba.



**Figura 1. Máquina universal ZD-100**

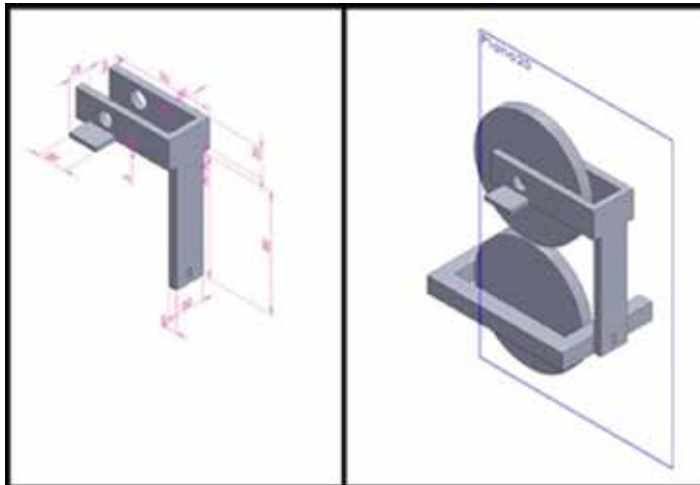
Fuente: Elaborado por los autores

Como fase inicial se determinó cómo aprovechar el mecanismo existente, como se observa en la Figura 2. Se desarrolló un sistema de acople mecánico, el cual consta de unos piñones y bases (Figura 3) respectivamente. Los piñones se fabricaron en bronce y las bases en platina de acero. La unión de las piezas se soldaron y también fue necesario el uso de tornillos cabeza bristol. Para el funcionamiento de los piñones se fabricó un buje para la base de acople del dinamómetro y se usó un rodamiento para la base encargada de la deformación. Para los ejes se utilizó acero.



**Figura 2. Sistema de medición del reloj dinamométrico y deformación de la máquina**

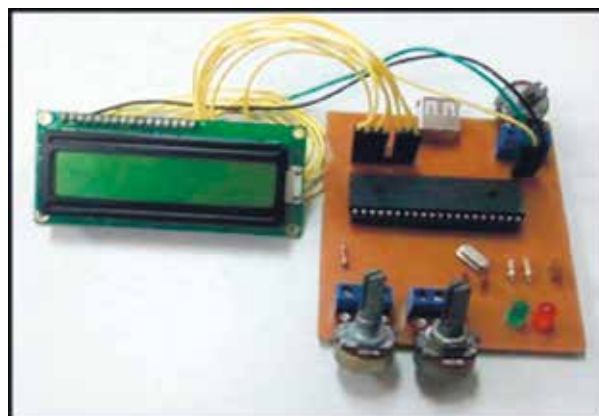
Fuente: Elaborado por los autores



**Figura 3. Bases de acople**

Fuente: Elaborado por los autores

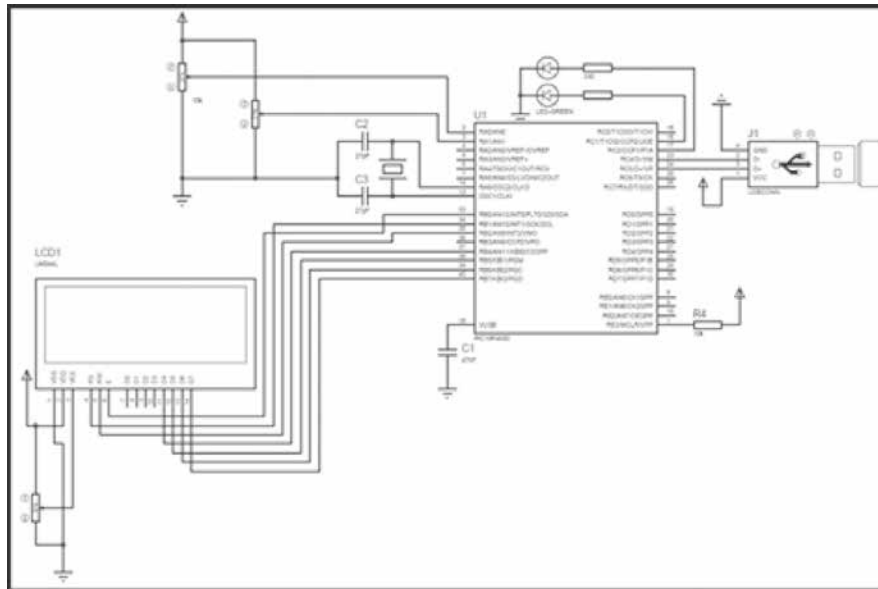
Seguidamente se diseñó la tarjeta de adquisición de datos, encargada de la toma, procesamiento y envío de la información al ordenador. Está compuesta por un microcontrolador PIC 18f4550, el cual cuenta con un protocolo de comunicación USB, un puerto análogo digital para el uso de los sensores y el uso de un LCD para observar los valores de la prueba en tiempo real, como se observa en la Figura 4. El microcontrolador se programó por medio del software PIC C Compiler que trabaja con lenguaje de programación en C como lenguaje compilador.



**Figura 4. Tarjeta de adquisición de datos**

Fuente: Elaborado por los autores

Como se observa en la Figura 5, para cada uno de los sensores se usaron los pines 2 y 3, el protocolo USB se establece en los pines 23 y 24 predeterminados como D<sup>+</sup> y D<sup>-</sup>, el LCD utiliza el puerto B, pines 33-40. Adicionalmente para facilitar la interpretación del usuario se dispuso de dos LED's, los cuales confirman el estado de conexión al ordenador, pines 16 y 17.



**Figura 5. Esquemático del circuito desarrollado**

Fuente: Elaborado por los autores

Los sensores son detectados por el microcontrolador por medio del canal análogo digital; cada uno de los pines implementados recibe una señal de 0 a 255 bits, que por medio de una ecuación permite transformar este valor en la escala apropiada para cada rango de trabajo de la máquina. El dinamómetro tiene cuatro escalas (10-20-40-100 toneladas), el deformímetro se maneja en milímetros.

Las ecuaciones (1-4) calculan cada una de las escalas de trabajo:

$$\text{Escala 1} = \frac{10.0}{255.0} \quad (1)$$

$$\text{Escala 2} = \frac{20.0}{255.0} \quad (2)$$

$$\text{Escala 3} = \frac{40.0}{255.0} \quad (3)$$

$$\text{Escala 4} = \frac{100.0}{255.0} \quad (4)$$

Donde 255 hace referencia al valor máximo de bits de cada entrada analógica.

Como se debe entregar al ordenador la variable de fuerza (5) que maneja la máquina por medio del sensor, esta es interpretada de la siguiente manera:

$$\text{Fuerza} = \text{Valor del Sensor} * \text{Escala} \quad (5)$$

Donde el valor del sensor varía de 0 a 255 bits y la escala depende del rango de trabajo a usar en cada prueba. Debido a que la deformación solo maneja un rango de trabajo (0-10 mm), la fórmula (6) es la misma en cada una de las pruebas.

$$\text{Rango Deformación} = \frac{10.0}{255.0} \quad (6)$$

Donde 10 hace referencia al valor máximo del rango de trabajo y 255 a la cantidad máxima de bits de la entrada analógica.

Para calcular la deformación, (7) que es la variable enviada al ordenador, es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Deformación} = \text{Valor del Sensor} * \text{Rango Deformación} \quad (7)$$

Donde, valor del sensor varía de 0 a 255 bits.

Como fase final se desarrolló por medio del software LabView una interfaz de usuario, como se observa en la Figura 6, la cual toma los datos de cada variable y se encarga de la tabulación y desarrollo de las gráficas correspondientes a cada una de las pruebas ejecutadas y esto es entregado al usuario por medio de un informe final.



**Figura 6. Interfaz de usuario desarrollada**

Fuente: Elaborado por los autores

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este mecanismo de bajo costo permitió en primer lugar alargar la vida útil de la máquina desarrollando un sistema de medición digital con base en las necesidades requeridas por el usuario, además ahora el estudiante obtiene en sus prácticas de laboratorio un informe más detallado de cada ensayo aplicando los conceptos adquiridos, de manera agregada debido a que la máquina es usada para prestar servicio a la comunidad. Este informe detallado permitirá ofrecer un mejor servicio; también el docente en cada práctica podrá realizar una explicación más idónea gracias a la interfaz de usuario de fácil manejo.

Se realizaron pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del sistema de medición con cada una de las escalas implementadas. Como se puede observar en la Figura 7, se tomó como ejemplo la escala de 100 y un área de muestra de 15 cm<sup>2</sup>, así mismo en la primera pestaña también se puede observar una tabla de datos donde se muestra en tiempo real cada uno de los valores que van tomando los sensores y estos valores se mantienen después de finalizar la prueba, hasta que se realiza una nueva prueba.

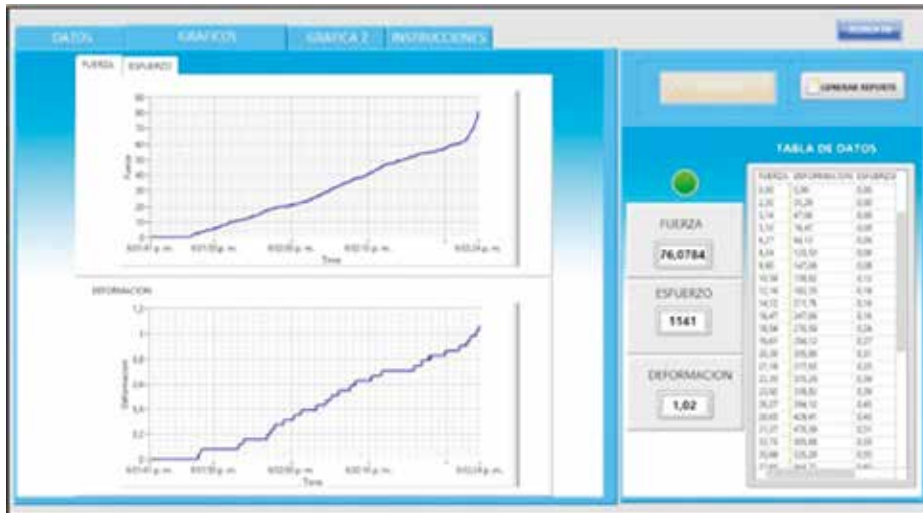


**Figura 7. Interfaz de usuario pestaña uno**

Fuente: Elaborado por los autores

En la segunda pestaña (Figura 8), el usuario puede observar la gráficas de los valores sensados durante la prueba de las variables: fuerza, esfuerzo y deformación en función del tiempo. De igual manera se mantiene la tabla de datos para que se puedan comprobar estos valores en la gráfica que se desee analizar.

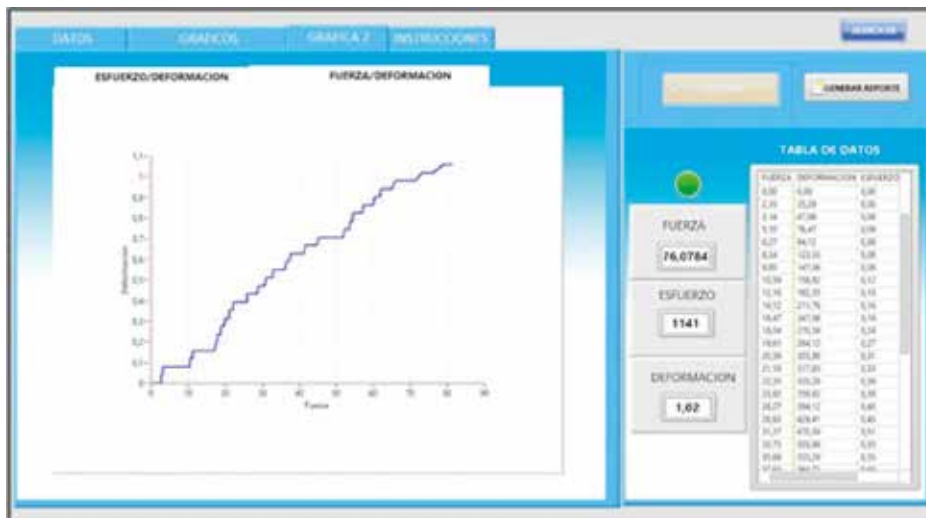




**Figura 8. Interfaz de usuario pestaña dos**

Fuente: Elaborado por los autores

En la tercera pestaña de la interfaz (Figura 9) el usuario observa las gráficas correspondientes a esfuerzo-deformación y fuerza-deformación; de igual manera la tabla de datos se mantiene con el mismo objetivo de análisis y comparación de datos con las gráficas realizadas.



**Figura 9. Interfaz de usuario pestaña tres**

Fuente: Elaborado por los autores

Concluidas las pruebas se comprobó el correcto funcionamiento de los sensores MOD-533. En la tarjeta de adquisición de datos se verificó el estado de conexión, los elementos electrónicos no presentan sobrecalentamiento y pueden ser usados en largos periodos de trabajo. Por último cabe resaltar que

una interfaz de usuario agradable permite al operador sentirse más cómodo en periodos largos de trabajo, además de que esta interfaz suplente las necesidades para cada una de las pruebas que se realizan en la máquina universal ZD-100.

#### 4. CONCLUSIONES

Por medio de la aplicación de instrumentación electrónica es posible actualizar los sistemas de medición de dispositivos análogos permitiendo una mejora en las mediciones y un alargue de su vida útil.

Se permitió un mejor análisis de cada ensayo realizado en la máquina reduciendo el tiempo de la elaboración de cada informe entre pruebas con un mayor número de muestras tomadas y gráficas más detalladas.

Ahora, el operario puede centrar su trabajo en la operación de la máquina universal ya que el sistema medición digital se encarga de la toma de datos, tabulación y la obtención de las gráficas de cada una de las pruebas que se realicen.

El diseño realizado se puede generalizar para la automatización de otras máquinas y equipos en los laboratorios de las universidades, permitiendo un mayor aprovechamiento de estos equipos con fines didácticos y/o investigativos.

El desarrollo del sistema de medición para el análisis de fuerza y deformación no solo es aplicable a la máquina ZD-100 sino también a otras máquinas que manejen este tipo de sistemas analógicos para su posterior actualización a sistemas digitales, debido a que el software y hardware desarrollado cumple con los estándares de calidad según las normas NTC 673.2010, NTC 2.1995, NTC 3353.1997 y NTC 663.1973 para los diferentes materiales a analizar.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Núñez Pérez, J. González Coneo, P. Vilorio Molineros, "Carril de aire con sensor óptico, utilizado en la realización de experiencias en cinemática en los Laboratorios de Física Mecánica". Barranquilla, Colombia, Corporación Universidad de la Costa. Artículo de investigación. *Ingeniare*. vol. 16, n°. 16, 2014.
- [2] J. G. Colcha Díaz, M. E. Villa Orozco, "Diseño e implementación de un sistema electrónico-informático para aplicaciones en ensayos en la máquina universal". Riobamba. Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Tesis 2010.
- [3] V. H. Ibarra García, P. Osorio Osorio, "Diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos de 4 canales analógicos de entrada basado en un PIC16F877 para uso general en los

laboratorios de CIAII". Pachuca de Soto, Hidalgo, México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tesis 2007.

- [4] J. Torres, J. Redondo, "Reparación y automatización de una máquina universal de ensayos". Táchira, Venezuela. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Artículo de investigación. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 2009.
- [5] A. Strasse, "Instrucciones para la operación de la máquina ensayadora a la fatiga por tracción y compresión Tipo ZD-100". Alemania. *Manual de usuario*, 1973.