



Nova Scientia

E-ISSN: 2007-0705

nova\_scientia@delasalle.edu.mx

Universidad De La Salle Bajío

México

Martínez Serrano, Francisco J.; Camacho Pérez, Alma A.  
Diseño de celda de carga optoelectrónica  
Nova Scientia, vol. 1, núm. 1, noviembre-abril, 2008, pp. 173-184  
Universidad De La Salle Bajío  
León, Guanajuato, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203315665009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Martínez, F. y A. Camacho



## *Revista Electrónica Nova Scientia*

# Diseño de celda de carga optoelectrónica

**Francisco J. Martínez Serrano<sup>1</sup> y Alma A. Camacho Pérez<sup>2</sup>**

---

<sup>1</sup>Escuela de Ingenierías, Universidad De La Salle Bajío, León, Guanajuato.

<sup>2</sup>Escuela de Ingenierías, Universidad De La Salle Bajío, Investigación en Bio-mecánica, CIATEC A.C. León, Guanajuato.

---

**México**

Francisco J. Martínez Serrano. Profesor investigador. E-mail: [javiermartinez53@gmail.com](mailto:javiermartinez53@gmail.com)

© Universidad De La Salle Bajío (México)

## Resumen

Los sistemas de medición representan una herramienta indispensable en todas las actividades productivas, y en el caso de empresas que aprovechan los avances del desarrollo tecnológico para mejorar la calidad de sus productos éstos son fundamentales. Frecuentemente en la industria de la manufactura metalmecánica se requiere controlar con gran precisión el ajuste de dos piezas ensambladas a presión, los materiales de ingeniería deben someterse constantemente a pruebas de resistencia, los equipos de pruebas de balanceo y vibraciones mecánicas funcionan bajo el principio de medición de fuerzas. Los métodos de medición más precisos utilizan dispositivos electromecánicos conocidos como celdas de carga, que consisten básicamente en una fina resistencia eléctrica adherida a un elemento mecánico sometido directamente o no, a las cargas de trabajo. Las cargas cíclicas que sufre el elemento mecánico afectan igualmente a la resistencia eléctrica, y debido a que está hecha de un alambre muy delgado, su capacidad a resistir elásticamente deformación es limitada. Con este proyecto se pretende construir una celda de carga opto-mecatrónica, cuyo principio de funcionamiento está basado en que gracias a la aplicación de carga en un elemento mecánico, se produce en éste cierta deformación. Esta deformación reduce la distancia entre el emisor y el receptor, provocando un cambio en la señal eléctrica. Cabe señalar que la distribución de intensidad luminosa varía entre el emisor y el receptor debido al desplazamiento generado (R. Jones, 1985; Martínez, 2004). A la celda de carga se le adaptó un emisor de infrarrojo cuya señal es recibida por el detector en el otro extremo. Se pretende demostrar que este sistema optoelectrónico es capaz de medir cargas externas sobre un elemento mecánico a través de un método indirecto para medir esfuerzos. Se ha implementado un prototipo sensible a deformación inducida a un elemento mecánico (celda de carga). Como resultado de la primera etapa para implementar el sistema se desea probarlo en aplicaciones industriales y académicas.

**Palabras clave:** Celda de carga, esfuerzo, instrumentación, galgas extensiométricas, técnicas de análisis experimental de esfuerzos.

*Recepción 30-08-08*

*Aceptación 04-10-08*

## Abstract

Actually, the experimental stress analysis techniques are applied in the design criteria, improvement the quality product in the weight and cost reduction. These techniques have been created for the technologies advances and for the competitive demand. These pressures have forced the searching of tools and methods that reduce the time and costs test.

Load cell is the element that we are studying due it is industrial device. A load cell is a transducer to convert a physical load in an electrical signal (differential voltage). This conversion is obtained for the physical deformation of strain – gauge are adhered in the mechanical element of the load cell and connected in the configuration Wheatstone bridge. The load applied mechanical deformable element produces a deformation is induced for the strain gauge gives a change in the electrical resistance proportional at the applied load.

Applications of load cell are very versatile for example we would find in metrology laboratories to measurement of pressures, forces and torques. In new technologies as auxiliary equipment in the measurement of dynamic characteristics as inertia moments of complicated geometry objects, in the measurement of forces of misbalance mechanical systems with elements in rotation movement and more and more applications.

Due to load cells are constructed with strain gauges, which are bonded to mechanical elements where external loads are applied, this cyclic loads produce fatigue causing to loss its mechanical properties and resulting in wrong measurements. We propose a device that is not affected for strain cycles.

This paper pretends to demonstrate the design, construction and test of an opto-electronic system measures external loads apply to a mechanical element (load cell). This device works under the action of external loads and voltage differential to convert a digital signal.

This function principle is related with the variation of the distance between optical emitter and detector which causes a variation on output signal that corresponds to our data.

We would like to demonstrate our constructed design test of an Opto-electronic system which measures the external loads applied on a mechanical element (load cell). We have implemented a sensible prototype on an induced strain on a mechanical element (load cell). As a result of the first stage to implement the total system we want to apply it to the academic and industrial applications.

**Keywords:** Load cell, stress, strain gauges, instrumentation, experimental stress analysis techniques,

### **Introducción:**

Actualmente, las técnicas de análisis experimental de esfuerzos (Dally, 2004) se aplican extensamente en el establecimiento de criterios de diseño, mejoramiento de la confiabilidad de un producto, en la reducción del peso y el costo de los mismos. La necesidad ha sido creada por los avances tecnológicos actuales, y por el mercado extremadamente competitivo (Cooper, 1991).

Estas presiones han forzado la búsqueda de herramientas y métodos que reduzcan los tiempos y costos de prueba, y que entreguen más datos experimentales. El elemento que se desea estudiar son las celdas de carga debido a que éstas se utilizan regularmente en la industria.

Una celda de carga es un transductor que convierte una carga que actúa sobre ella, en una señal eléctrica (analógica). Esta conversión se logra por la deformación física de galgas extensiométricas que están pegadas en el elemento mecánico de la celda de carga y conectadas con una configuración de puente de Wheatstone (Cooper, 1991). La carga aplicada al elemento mecánico produce una deformación que es inducida a las galgas extensiométricas lo cual produce un cambio en su resistencia eléctrica proporcional a la carga aplicada.

Las aplicaciones de las celdas de carga son sumamente versátiles, se les encuentra en laboratorios de metrología para la medición de fuerzas y torques en pruebas de elementos, mediciones y operaciones de control, pesado electrónico, pruebas de fatiga, monitoreo de fuerza para procesos de seguridad y control. En el desarrollo de nuevas tecnologías como equipo auxiliar en la medición de características dinámicas como momentos de inercia de objetos de geometría complicada, en la medición de fuerzas de desbalanceo de sistemas mecánicos con elementos de rotación, y en muchas aplicaciones más.

Haciendo referencia a los sistemas tradicionales la resistencia eléctrica está sometida a esfuerzos variables cíclicos que acortan su vida útil, por lo que una de las ventajas que presenta la celda de carga que se propone es construir un dispositivo con elementos que no sean afectados directamente por dichos ciclos de esfuerzo.

Este trabajo demuestra el diseño, construcción y prueba de un sistema optoelectrónico que mide cargas externas aplicadas a un elemento mecánico (celda de carga). El dispositivo trabaja bajo la

acción de fuerzas externas y un diferencial de voltaje que se convierte a una señal digital. Este prototipo representa un método alternativo para aplicaciones didácticas.

En este proyecto se aborda un problema elemental: la medición. La medición –estimación de una magnitud– es una herramienta indispensable, y se encuentra comúnmente en las actividades cotidianas, pero toma un sentido diferente cuando se trata de aplicaciones científicas, tecnológicas, industriales y comerciales.

Por otra parte, la precisión y confiabilidad en los datos obtenidos, requieren instrumentos con características adecuadas para garantizar dichas capacidades.

Uno de los campos de aplicación de la medición es la manufactura, sin la metrología dimensional es absolutamente imposible obtener los productos deseados, con la calidad, geometría, y otras propiedades necesarias para que éstos desempeñen la tarea para la cual fueron creados.

El proyecto que aquí se presenta nace en la empresa: American Axle & Manufacturing (AA&M). AA&M es una empresa transnacional, proveedora líder de ejes, productos forjados y sistemas de chasis para la industria automotriz. Actualmente en AAM de México cuenta con clientes como General Motors.

En una de las líneas de ensamble (del eje de transmisión) se presentó un problema grave: las celdas de carga comenzaron a dar lecturas erróneas, y ante la misma fuerza, a dar lecturas diferentes, aun a pesar de recién calibrarlas.

La empresa solicitó entre otros servicios, la construcción de una celda de carga patrón que sirviera como referencia en la calibración de las ya instaladas. Este fue un objetivo muy ambicioso, por lo que se dividió en etapas.

En la primera etapa se reportaron resultados como propuesta de solución para este tipo de problema: se utilizó un dispositivo o celda de carga que no sufriera el efecto producido por el trabajo repetitivo, que ha llevado a las celdas comerciales a las condiciones actuales: falta de repetibilidad e imprecisión.

Al analizar el problema, y discutirlo con el entonces director del departamento de metrología, el ingeniero Fabián Camacho, se llegó a la conclusión de que la fatiga en los elementos de la celda,



al ocasionar cambios en su microestructura, alteran sus propiedades elásticas, con la consecuente imposibilidad de entregar repetidamente lecturas confiables y precisas.

El interés, por lo tanto, es diseñar un dispositivo o celda de carga tal, que sus elementos fundamentales no estén expuestos a fatiga. Por lo tanto, se busca reportar una propuesta de solución ante esta problemática.

Dentro de los objetivos se mencionan los siguientes: construir un prototipo de celda de carga optoelectrónica para pruebas de laboratorio, crear equipos en la universidad para prácticas de laboratorio, plantear temas relacionados con las etapas del proyecto en áreas como:

- análisis experimental de esfuerzos
- optoelectrónica
- instrumentación electrónica
- instrumentación digital
- programación

para generar y desarrollar proyectos de desarrollo tecnológico.

### **Métodos Experimentales**

Los materiales y métodos pueden revisarse [Martínez, 2006]. Cabe mencionar que este trabajo se ha estado realizando desde hace cuatro años. Por lo que se pueden consultar algunos resultados anteriores (Martínez, 2006, 2005, 2004). Para continuar con el seguimiento de este proyecto y probar el elemento fotoeléctrico se utilizó una columna de acero a la cual se le aplicó carga en los extremos y se colocó la parte electrónica; el emisor y el receptor. La carga máxima que se aplicó fue de 6.01 N.

Se efectuó una prueba de compresión al elemento mecánico. La selección de los elementos optoelectrónicos fue en base a su funcionamiento.

Fue utilizado para detectar la señal de carga un foto-sensor, que consiste de un emisor (led oscuro) y un detector (led blanco). Los fotodiodos son diodos de unión hechos con semiconductores los cuales están conectados en un circuito de polarización inversa, por lo que su resistencia es muy elevada. Cuando la luz incide en la unión, la resistencia del diodo disminuye y la corriente del circuito aumenta de manera notable. Por ejemplo, cuando no hay luz y con polarización de 3 V, la corriente es de 25 microamperes y cuando se ilumina con 25 000 lúmenes/m<sup>2</sup> es de 375 microamperes. La resistencia del dispositivo cuando no hay luz es de 3/(25

$\times 10^{-6}) = 120 \text{ K}\Omega$  y cuando hay luz es  $3/(375 \times 10^{-6}) = 8 \text{ K}\Omega$ , es decir, el fotodiodo sirve como dispositivo de resistencia variable, controlado por la luz que incide en él. Los fotodiodos responden muy rápido a la presencia de la luz (Creuss, 1997).

### Resultados:

A continuación se muestran las imágenes con los experimentos realizados. En primer lugar la figura 1 muestra la disposición de los elementos tanto mecánicos como electrónicos usados en las pruebas iniciales. El sistema se montó en una prensa hidráulica del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad De La Salle Bajío. En esta prueba se integró el sistema electrónico con el mecánico, obteniendo respuestas satisfactorias del funcionamiento del prototipo.



Figura 1. Preparación de los sistemas mecánicos y electrónicos para las pruebas iniciales.

En la figura 2 se muestra otro ángulo de la disposición de los elementos, en el momento de realizar las pruebas.

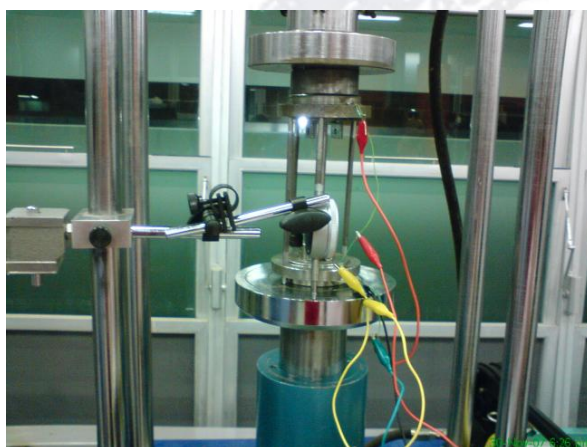


Figura 2. Vista frontal del experimento, colocación de sensores.



En la figura 3 se muestra una fotografía de la prensa hidráulica en la cual se aprecia que la aguja del manómetro de la derecha registra una lectura diferente de cero. Se puede corroborar que efectivamente se está aplicando carga al sistema.



Figura 3. Imagen de Máquina de Transferencia de Fuerza.

Las ventajas de usar un sensor optoelectrónico con respecto a los mecanismos usuales son las siguientes:

1. Al no estar el sensor sujeto a esfuerzos, su vida útil se incrementa considerablemente.
2. En los dispositivos actuales, en caso de fatiga por los esfuerzos, tiene que reemplazarse todo el dispositivo, mientras que en el mecanismo diseñado, sólo se tiene que cambiar el elemento mecánico o bien alguna parte del sensor.

La respuesta del sensor ante la aplicación de un esfuerzo en el mecanismo ha sido registrada y se ha comprobado que ésta es proporcional a la aplicación del esfuerzo.

### Actualizaciones

Se elaboró un nuevo diseño de una celda de carga que fuera más sencilla, con menos componentes y de fácil construcción. Esta celda de carga consiste en un cilindro que contiene el elemento de prueba (una columna de metal); una tapa del cilindro móvil con un espejo adherido a ella; una

tapa fija donde se coloca el sensor optoelectrónico (un emisor de infrarrojo y un receptor), el cual detectará mediante un cambio en corriente eléctrica el cambio en intensidad producida por el acercamiento del espejo al momento de que la barra sufra una deformación como consecuencia de la carga aplicada. La función del espejo es para orientar la reflexión de la señal enviada por el emisor.

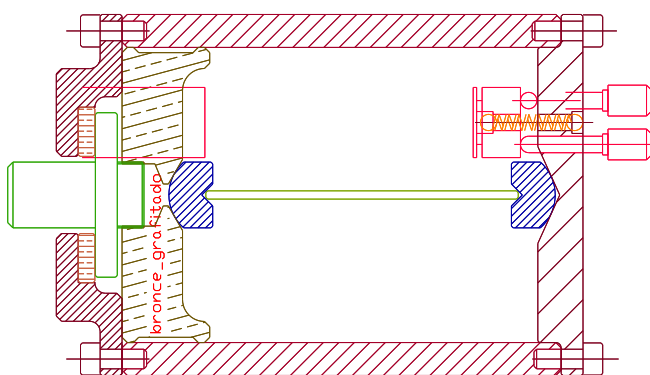


Figura 4. Diseño mecánico completo.

También se diseñó la parte de acondicionamiento de señal; las imágenes se añaden a continuación.

En la figura 5 se muestra la imagen de la etapa de acondicionamiento de señal, es decir, cómo se adapta la señal física que para este caso es la deformación que se convierte en señal eléctrica.

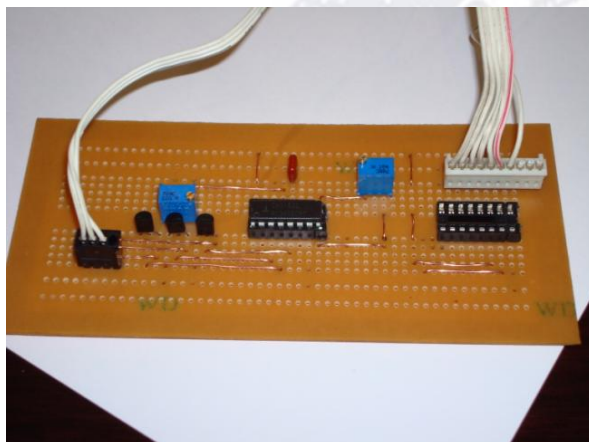


Figura 5. Imágenes de la etapa de acondicionamiento de señal.

En la figura 6 se muestra la imagen de la etapa de acondicionamiento de señal interconectada con la etapa de exhibición para el monitoreo de esta señal física.

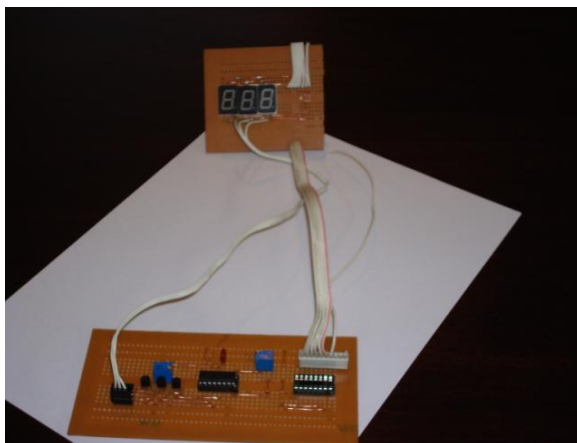


Figura 6. Imagen de la etapa de acondicionamiento de señal con la de exhibición.

En la figura 7 se muestra la imagen de la etapa de exhibición, donde se puede observar los exhibidores de 7 segmentos y la interconexión

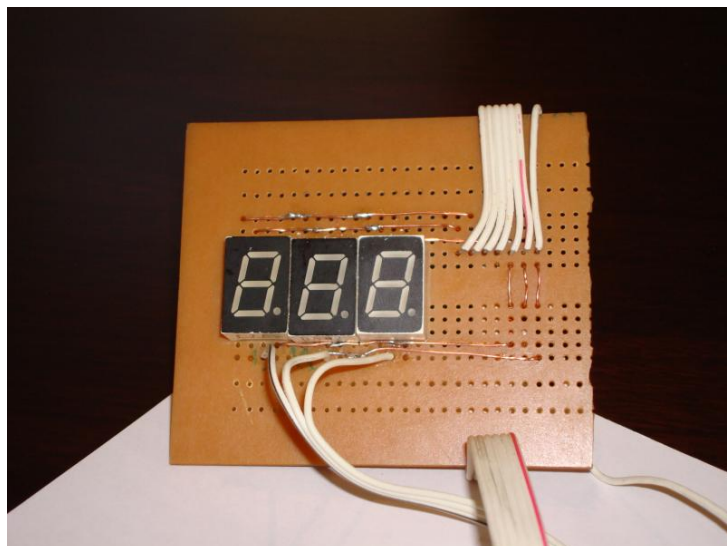


Figura 7. Imagen de la etapa de exhibición.

En la figura 8 muestra el sistema electrónico completo de la etapa de acondicionamiento de señal.

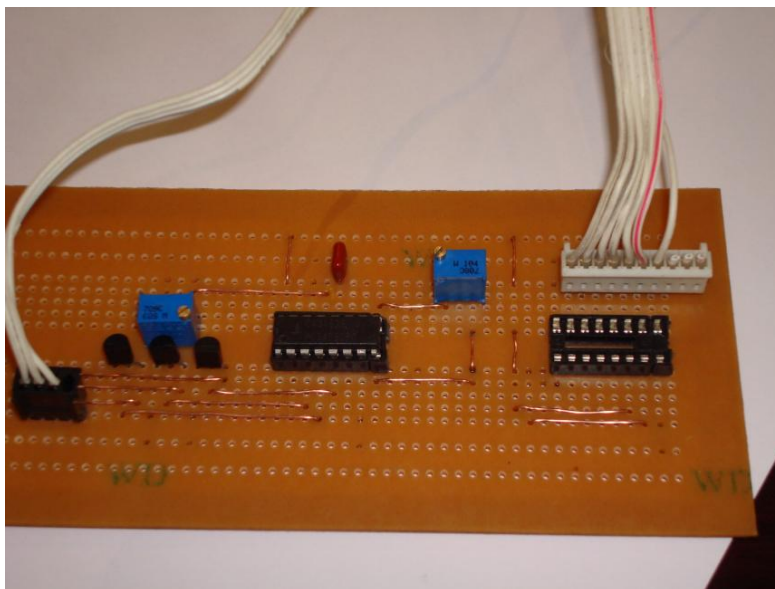


Figura 8. Sistema electrónico completo de la etapa de acondicionamiento de señal.

#### TRABAJO A FUTURO

Hasta el momento se comprobó que el uso del elemento fotoelectrónico es una aplicación ideal para la celda de carga ya que se demostró que es posible detectar una variación en la señal eléctrica como consecuencia del acercamiento entre el emisor y el receptor. En trabajos futuros se pretende lograr una calibración de la celda de carga optoelectrónica para comparar sus resultados con las normas establecidos, para de esta forma, comprobar que el dispositivo diseñado puede usarse en las aplicaciones usuales de las celdas de carga.

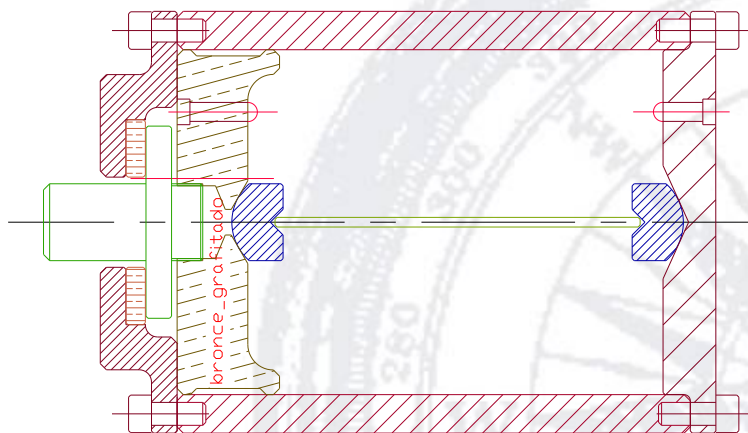


Figura 9. Diseño de la montura mecánica que se utilizará.



Una vez que se tenga la calibración, será posible validar el correcto funcionamiento del nuevo dispositivo basado en un sensor optoelectrónico en vez de la galga extensiométrica usada actualmente.

### **Agradecimientos**

Deseamos externar nuestros agradecimientos a la Universidad De La Salle Bajío (UDLSB) y el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG) por el apoyo recibido. Así como también al Dr. David Rivera Caballero por sus observaciones y comentarios para mejorar este trabajo.

### **Referencias Bibliográficas**

- Akhtar, Strain Measurement and Stress Analysis, Prentice Hall (2001).
- Cooper D. William, Helfrick D. Albert, *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición*, pág. 101, (1991).
- Creuss Antonio, *Instrumentación Industrial* 6<sup>ta</sup> Edición, Alfaomega Marcombo, pág. 83, (1997).
- Dally, *Experimental Stress Analysis*, Mc. Graw Hill, (2004).
- Martínez Serrano Francisco Javier, Camacho P. Alma A., Rodríguez Sierra Marcos Hermilo, Borbón Ossio Paulina, "Load cell, strain measurement in load cell using opto-electronics methods" SPIE-CENAM 2006
- Martínez Serrano Francisco Javier, Camacho P. Alma A., Rodríguez Sierra Marcos Hermilo, Borbón Ossio Paulina, "Celda de Carga, Medidor de esfuerzos en celdas de carga por medio de métodos opto-electrónicos" V Simposio Óptico en la Industria, CENAM, México 2005
- Martínez Serrano Javier, Camacho Pérez Alma A., Arévalo G. Osvaldo, "Medidor de Esfuerzos en celdas de carga a través de métodos opto-electrónicos" 1er Verano Estatal de la Investigación, CONCYTEG p. 62 (2004)
- R. Jones, "A review of Optical Techniques for the measurement of surface geometries". SPIE, 599, 309-316 (1985).