

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Juan M. Barbecho¹, Andrés P. Sarmiento², René V. Sánchez^{3,*} y Wilson P. Calle⁴

Resumen

Este artículo describe el diseño e implementación de un laboratorio de instrumentación industrial siguiendo la metodología QFD (Despliegue de la función de la calidad) y que se empleará en el desarrollo de prácticas en los Laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Se describe el proceso de diseño mecánico y la implementación del sistema eléctrico y del *software* de adquisición y visualización de la información de los sensores con los que cuentan los seis bancos del laboratorio, especificando, además, las características del manual de usuario desarrollado. Se realizaron pruebas de todos los bancos de instrumentación para verificar su correcto funcionamiento obteniendo resultados satisfactorios.

Palabras clave: Instrumentación industrial, educación en ingeniería, bancos didácticos instrumentación.

Abstract

This paper describes the design and implementation of an Industrial Instrumentation Lab based of QFD (Quality function development) methodology. This will be used to develop experimental practices at the Laboratories of the Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. It is described the mechanical design process and implementation of the electric system and data acquisition software with visualization of the information of the sensors of six didactic platforms, specifying characteristics of a user's manual. They were carried out tests of all the instrumentation to verify their correct operation with satisfactory results.

Keywords: Industrial instrumentation, education in engineering, instrumentation didactic bench.

^{1,2}Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana.

³Ingeniero mecánico. Docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. Autor para correspondencia ✉: rsanchezl@ups.edu.ec

⁴Ingeniero mecánico. Docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca.

Recibido: 03-06-2013, Aprobado tras revisión: 11-06-2013.

Forma sugerida de citación: Barbecho, J.; Sarmiento, A.; Sánchez, V. y Calle W. (2013). "Diseño e implementación de un laboratorio de instrumentación industrial". INGENIUS. N.º 9, (Enero-Junio). pp. 65-71. ISSN: 1390-650X.

1. Introducción

Los avances experimentados en los últimos años en las áreas de informática, comunicaciones e instrumentación han permitido evolucionar los mecanismos en los procesos de producción, optimizándolos y permitiendo estándares de calidad cada vez mayores [1]; estos avances exigen a los profesionales permanente preparación y actualización en dichos ámbitos [2].

Según el estudio desarrollado sobre el nivel de automatización en la ciudad de Cuenca [3], el 48 % manual, 27 % semiautomático, 18 % automático y computarizado 7 %, que según el análisis es uno de los factores que afectan su desenvolvimiento y desarrollo de todas sus potencialidades.

Luego de evidenciar la necesidad de un laboratorio de instrumentación industrial en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), en convenio con el Ministerio de Industrias y la Productividad MIPRO, se acuerda la implementación de laboratorios necesarios para desarrollar adecuadamente materias de pregrado y posgrado en el área de instrumentación y fortalecer los laboratorios de automatización industrial, los mismos que complementarán la infraestructura y brindarán formación en el área de control y automatización de procesos productivos industriales al personal de la pequeña, mediana y gran industria local y nacional [4].

Para que los profesionales estén preparados sobre las tecnologías antes mencionadas es fundamental que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea acompañado de herramientas adecuadas como el uso de laboratorio de simulación y experimentación [5] [6] así como la manipulación e interactividad directa con los instrumentos usados [7], [8].

En la sección 2 de este documento se presenta la metodología usada en el diseño del laboratorio. El proceso de diseño mecánico, implementación del sistema eléctrico y *software* son descritos en la sección 3. La sección 4 muestra las características del manual de usuario. Finalmente las conclusiones y recomendaciones son revisadas en la sección 5.

2. Metodología

Las variables que fueron seleccionadas de acuerdo a los requerimientos de implementación corresponden a fuerza-desplazamiento, temperatura, detección-desplazamiento de objetos, torque-ángulo.

Para el procedimiento de selección de parámetros se empleó la metodología Despliegue de la función de la calidad (Quality Function Deveploment), esta filosofía conocida como “escuchar la voz del cliente” [9].

Establecidos los parámetros en el proceso de selección, se planteó la propuesta integral de diseño que consta de las siguientes etapas:

1. Diseño mecánico
2. Diseño del *software* de adquisición de datos
3. Manual de usuario: desarrollo y validación.

3. Diseño mecánico del laboratorio de instrumentación industrial

Para el diseño mecánico se establecen inicialmente los requerimientos de carga, temperatura y esfuerzos a los que estarán sometidos los diferentes bancos del laboratorio.

3.1. Banco de fuerza-desplazamiento

Para el desarrollo de este banco, se analizan las características de máquinas similares existentes en el mercado y de acuerdo a los requerimientos establecidos [10], principalmente pruebas de tensión y compresión con una carga máxima de 20 KN. En esta etapa se seleccionan dos celdas de carga, una de 5 KN y 20 KN marca Burster. Para medir la distancia se define el sensor de desplazamiento resistivo, marca BURSTER, modelo 8728.

Para la selección de materiales, se desarrollan cálculos teóricos y las correspondientes simulaciones computacionales en el *software* Abaqus®CAE SE 6.09, para establecer y analizar los esfuerzos y deformaciones presentes en los diferentes componentes del banco. Se establece un factor de seguridad mayor a 2.5 para todos los elementos del banco.

Como resultado del análisis se selecciona los materiales AISI 1045 para las columnas guías, placa de sujeción y otros, AISI 304 para los pernos de sujeción y AISI 4340 para los platos de compresión superior e inferior. En los cálculos también se considera pandeo tanto en el cilindro oleo-hidráulico como en las columnas.

Para la selección del cilindro-hidráulico se considera el grupo oleo hidráulico existente en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la UPS, sede Cuenca el cual genera una presión de trabajo de 51 bar aproximadamente. El cilindro hidráulico seleccionado tiene \varnothing 80 mm en el pistón y \varnothing 40 mm en el vástago.

Establecidos y seleccionados todos los parámetros se implementa el banco, en la Figura 1 se muestra la etapa de fuerza - desplazamiento del mismo.

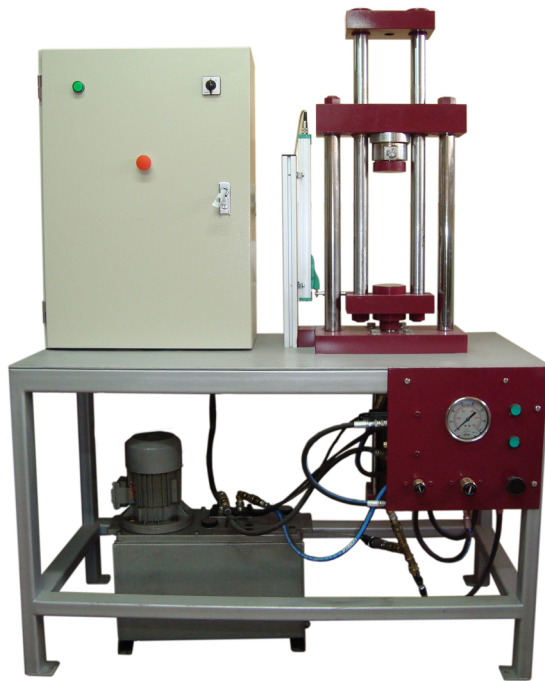


Figura 1. Banco de fuerza-desplazamiento.

3.1.1. Banco de desplazamiento de objetos

El objetivo fundamental de este banco es establecer el principio de funcionamiento de cada sensor de desplazamiento y compararlos con un sensor patrón. Los sensores de desplazamiento lineal usados en este banco son sensor encoder marca Sony DG50BP, sensor láser marca Micro-epsilon ILD 1302-50 (00), sensor potenciómetro marca Burster 8713-50 y sensor inductivo marca Burster 8440.

La base del banco presenta perfiles de aluminio laminado acoplados mediante uniones rápidas y los sensores de desplazamiento están montados sobre esta. La base posee, además, una guía lineal que permite el movimiento de la placa de medición que se desplaza con un tornillo micrométrico marca Vernier SM 50 con carrera de 50 mm. El banco de desplazamiento implementado se muestra en la Figura 2.

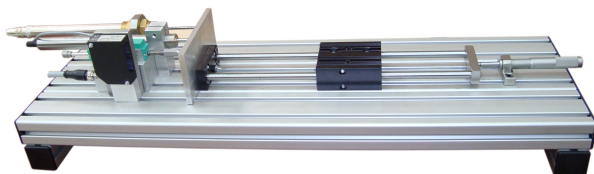


Figura 2. Banco de desplazamiento de objetos.

3.1.2. Banco de detección de objetos

El objetivo de este banco es el analizar la influencia de probetas a $0^\circ - 45^\circ$, con distintos materiales de detec-

ción y estudiar los principios físicos de funcionamiento de cada sensor de detección.

Los sensores de detección usados en este banco son sensor ultrasónico marca Sick UM18-51111, sensor inductivo marca Sick IME12-04NPSZW2S, sensor de detección capacitivo marca Sick CM18-08BPP-KW1, sensor fotoeléctrico marca Sick MHTB15-P2367, también se usa un sensor de desplazamiento potenciómetro marca Burster 8713-50 para realizar la medición de desplazamiento lineal.

La base en la que están montados los sensores de detección posee una guía lineal que permite el movimiento del porta probetas y cuenta con perfiles de aluminio laminado acoplados mediante uniones rápidas.

Para el desplazamiento de la placa de medición se usa un tornillo micrométrico marca Vernier SM 50 con carrera de 50 mm. El banco de detección se muestra en la Figura 3.

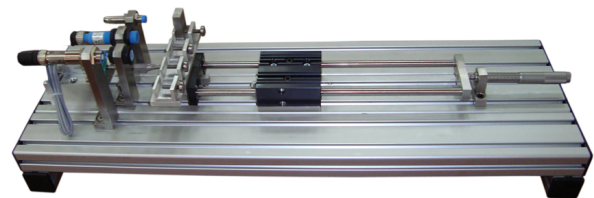


Figura 3. Banco de detección de objetos.

3.1.3. Banco de conducción no estacionaria en sólidos

El objetivo de este banco es la medición de las variables tiempo-temperatura y el análisis de la conducción no estacionaria en sólidos.

El diseño y selección de parámetros térmicos están basados en recomendaciones dadas en [11], así como en los requerimientos definidos previamente. Los equipos seleccionados corresponden sensores de temperatura de tipo RTD según norma DIN EN 50446. El elemento conductor corresponde a una barra de aluminio en forma de T.

Análisis térmico del elemento conductor: El análisis se realizó en el *software* ANSYS Workbench v12.1[®], tomando a los tres agujeros como puntos de control (Figura 4) y bajo las siguientes consideraciones:

- Tipo de análisis: Transient Thermal (ANSYS[®])
- Valor de temperatura inicial $T_0 = 22^\circ\text{C}$
- Valor de temperatura final $T_f = 92^\circ\text{C}$
- Número de pasos: 1

- Paso máximo de tiempo: 1 s
- Paso mínimo de tiempo: 0,1 s
- Convección sobre la superficie de inmersión $h = 500 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, $T_{sup} = 92 \text{ } ^\circ\text{C}$ [11]
- Convección sobre la superficie no sumergida (caras laterales) $h = 30 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, $T_{sup} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Convección sobre la superficie no sumergida (caras inferiores) $h = 50 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, $T_{sup} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$

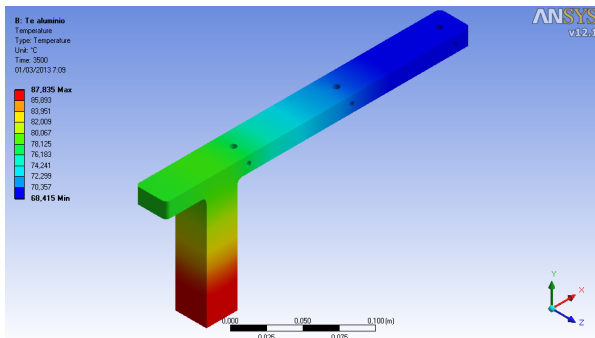


Figura 4. Respuesta térmica del elemento conductor de prueba.

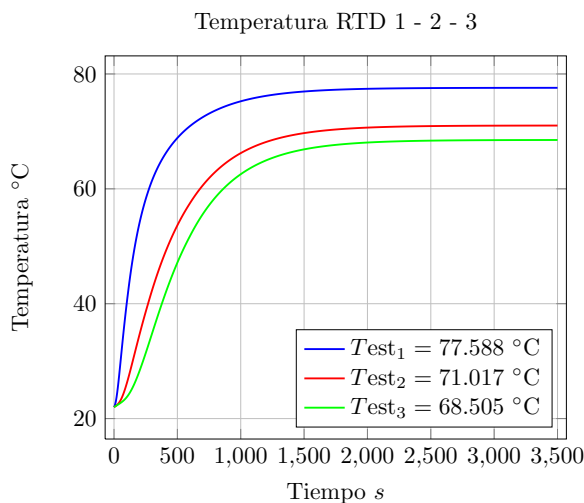


Figura 5. Respuesta térmica del elemento conductor de prueba.

En las Figuras 4 y 5, se observa la convergencia térmica de los tres puntos de control. Se nota que a pesar de que las condiciones definidas sobre la superficie de convección son $92 \text{ } ^\circ\text{C}$ para el fluido circundante no se alcanza esta temperatura por las condiciones de pérdida de calor y el equilibrio térmico hacia el medio. Establecidos y seleccionados todos los parámetros se desarrolló el banco que se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Banco de conducción no estacionaria en sólidos.

3.1.4. Banco de respuesta dinámica de primer orden

El objetivo de este banco es la medición de variables tiempo-temperatura y la determinación de la constante de tiempo τ .

Los sensores seleccionados son dos termocuplas de protección mineral DIN 43 710 y EN 60 584 una RTD EN 60 751.

Análisis térmico de la RTD: Para este fin se usan las relaciones que establecen que un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical y usarse las correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt [12], [13] cuando:

$$D \geq \frac{35L}{Gr_L^{1/4}} \quad (1)$$

Donde D es el diámetro (m) y Gr el número de Grashof (adimensional). Establecida la condición expresada por (1) se calcula el número de Nusselt mediante (2) y el coeficiente de convección con (3).

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra_L^{1/6}}{\left[1 + (0,492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (2)$$

$$Nu = \frac{hL_c}{k} = C (Gr_L Pr)^n \quad (3)$$

El análisis térmico numérico del elemento conductor (Figura 7) es desarrollado en ANSYS Workbench v12.1®, bajo las siguientes consideraciones.

- Tipo de análisis: Transient Thermal (ANSYS®) [14]

- Valor de temperatura inicial $T_0 = 0\text{ }^\circ\text{C}$
- Valor de temperatura final $T_f = 92\text{ }^\circ\text{C}$
- Número de pasos: 1
- Paso máximo de tiempo: 1 s
- Paso mínimo de tiempo: 0,1 s
- Convección sobre la superficie de inmersión
 $h = 1000\text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, $T_{sup} = 92\text{ }^\circ\text{C}$ [15]
- Convección sobre la superficie no sumergida
 $h = 150\text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, $T_{sup} = 40\text{ }^\circ\text{C}$ [15]

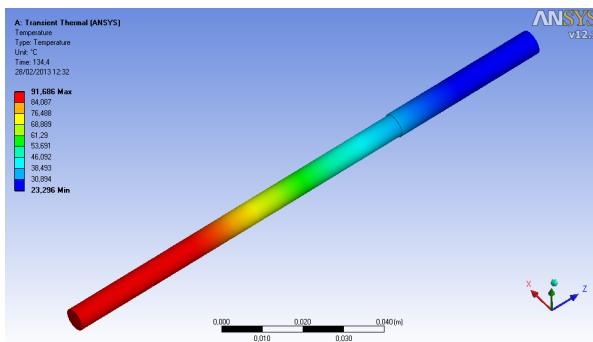


Figura 7. Respuesta transiente para la RTD

El banco de respuesta dinámica una vez implementado se observa en la Figura 8.



Figura 8. Banco de respuesta dinámica de primer orden.

3.1.5. Banco de pruebas de torque

El objetivo fundamental es el desarrollo de pruebas de torsión, las variables de medición son torque y ángulo. Los equipos seleccionados corresponden a una galga de torque marca Burster 8627 EN y un encoder rotativo marca Siko AV58M.

El banco de torque posee un motor con potencia de 1 HP, generando un torque máximo de 50 N·m y 36 rpm en la salida del eje principal. Posee una relación de transmisión de 23:1 y se pueden desarrollar pruebas de torsión de elementos circulares y no circulares, debido a que posee garras planas autocentrantes. El banco implementado se puede observar en la Figura 9

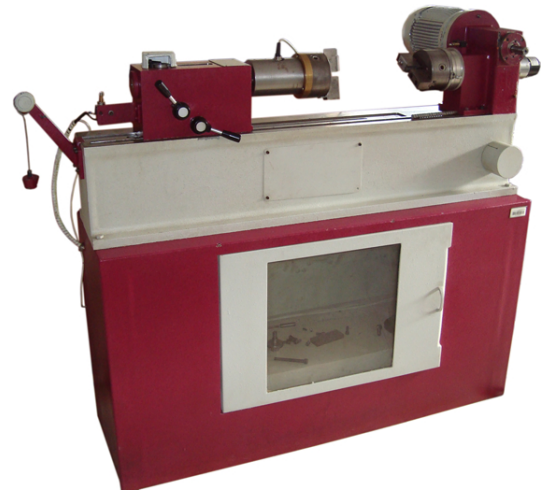


Figura 9. Banco de ensayos de torque.

4. Software de adquisición de datos

Los DAS (sistemas de adquisición de Ddtos) constituyen la interfaz entre el mundo análogo y digital. El esquema general para el sistema de adquisición de datos usado se muestra en la Figura 10.

El *software* trabaja sobre la plataforma LabVIEW® con las tarjetas DAQ NI-USB-6525 y DAQ NI-SB-6009, para el desarrollo se utilizan criterios como la facilidad de manipulación y programación estructurada [1] basados en la norma IEEE 488 con una GUI (interfaz gráfica de usuario). En estos instrumentos virtuales las señales se adquieren de la información que proviene de los sensores ubicados en los bancos de instrumentación.

El *software* convierte las señales de los sensores que son medidas en tiempo real en las variables definidas en la Sección 2, durante la adquisición la interfaz de usuario muestra las gráficas de cada una. Se presenta una interfaz gráfica de usuario que permite enlazarse al manual de configuración, uso y mantenimiento. La aplicación permite al usuario controlar parámetros de adquisición como la frecuencia de muestreo, número de muestras, entre otros. Es necesario recalcar que cada banco de instrumentación posee una interfaz gráfica de usuario propia.

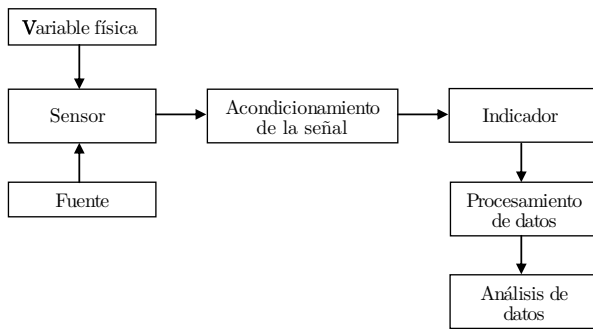


Figura 10. Esquema para la medición, adquisición y procesamiento de datos. Adaptado de [16].

5. Manual de usuario

El manual de usuario incluye guías de prácticas, mantenimiento y operación; requiere que los usuarios mantengan un registro escrito de los cálculos efectuados y de las mediciones tomadas. Además, introduce las actividades previas y el procedimiento para la correcta realización de la práctica.

En la guía de prácticas se incluyen 7 experimentos:

1. Ensayo de resortes a compresión.
2. Fuerza de montaje en rodamientos.
3. Detección de objetos.
4. Sensores de desplazamiento lineal.
5. Medición de temperatura y respuesta dinámica de primer orden.
6. Conducción no estacionaria en sólidos.
7. Torsión de elementos circulares.

Estas prácticas permiten al usuario adquirir experiencia y contrastarla con circunstancias reales; estas situaciones son seleccionadas de manera que puedan complementarse con la teoría estudiada, permitiendo integrar de forma eficiente la teoría con la práctica.

6. Conclusiones

En este trabajo se ha desarrollado seis bancos de instrumentación industrial, considerando el uso de las tecnologías presentes en condiciones industriales. Adicionalmente se desarrollaron las respectivas interfaces de usuario. Estos bancos de instrumentación demuestran ser versátiles debido a que poseen arquitectura abierta, con posibilidades de modificación y mejoras futuras. A las interfaces de usuario se pueden adicionar o eliminar funciones o implementar nuevas técnicas de análisis y monitoreo de las variables de un proceso.

Este trabajo permitió desarrollar y validar guías de práctica, mantenimiento y operación para cada uno

de los bancos de instrumentación propuestos. El trabajo provee una ayuda significativa en el aprendizaje y mejora de conocimientos adquiridos tanto en el aula como en el laboratorio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Politécnica Salesiana y al Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO), por el financiamiento otorgado al presente trabajo.

Referencias

- [1] D. Grimaldi and S. Rapuano, "Hardware and software to design virtual laboratory for education in instrumentation and measurement," *Measurement*, vol. 42, pp. 485–493, 2009.
- [2] M. Restivo, J. Mendes, A. Lopes, C. Silva, and F. Chouzal, "A remote laboratory in engineering measurement," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 12, pp. 4836–4846, December 2009.
- [3] V. Sánchez and D. Pizarro, "Diagnóstico del nivel de automatización en las pequeñas y medianas industrias de la ciudad de Cuenca," *Ingenius*, vol. 4, no. 2, pp. 44–56, 2011.
- [4] Convenio Ministerio de Industrias y Productividad – Universidad Politécnica Salesiana, "Implementación de laboratorios en el área de automatización y control," 2011.
- [5] P. Mosterman, O. Campbell, A. Brodersen, and J. Bourne, "Design and implementation of an electronics laboratory simulator," *IEEE Transactions on Education*, vol. 39, no. 3, pp. 309–313, 1996.
- [6] R. Chacón Rugeles, "La instrumentación virtual en la enseñanza de la ingeniería electrónica," *Acción Pedagógica*, vol. 11, no. 1, pp. 74–84, 2002.
- [7] A. Lorandi, G. Hermida, J. Hernández, and E. Ladrón de Guevara, "Los laboratorios virtuales y laboratorios remotos en la enseñanza de la ingeniería," *Revista Internacional de Educación en Ingeniería*, vol. 4, pp. 24–30, 2011.
- [8] S. Gadzhanov and Nafalski, "Pedagogical effectiveness of remote laboratories for measurement and control," *World Transactions on Engineering and Technology Education*, vol. 8, no. 2, pp. 162–167, 2010.
- [9] T. H. Oswald, J. L. Burati, University of Texas at Austin, and Construction Industry Institute, *Adaptation of Quality Function Deployment to*

- Engineering & Construction Project Development*, ser. Source document. Construction Industry Institute, 1993.
- [10] Ecoinvent. (2013) Ecoinvent. [Online]. Available: <http://www.ecoinvent.ru/upload/iblock/>
- [11] The Engineeing Toolbox. Overall heat transfer coefficiente. [Online]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/overall-heat-transfer-coefficient-d_434.html
- [12] Y. Çengel, *Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico*, ser. McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering. McGraw-Hill, 2007.
- [13] F. Incropera and D. DeWitt, *Fundamentos de transferencia de calor*. Prentice Hall, 1999.
- [14] University of Alberta. Transient thermal conduction example. [Online]. Available: <http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys/IT/TransCond/TransCond.html>
- [15] TLV - A steam Specialist Company. Overall heat transfer coefficient. [Online]. Available: <http://www.tlv.com/global/TI/steam-theory/overall-heat-transfer-coefficient.html>
- [16] G. Beauchamp-Báez and L. Meléndez-González, "A desing project approach to teach electronic instrumentation," in *29th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*. San Juan, Puerto Rico: IEEE, November 10-13 1999, p. 5.