

Bancos de ensayo de equipos electro-mecánicos para la formación de alumnos en el uso de herramientas del mantenimiento industrial

Sergio Gangi¹, Daniel Pontelli¹, Ricardo Ingaramo¹, Federico Meneguzzi¹, Leandro Reartes¹,
Marcelo Aguilar¹,

¹Laboratorio de Ingeniería y Mantenimiento Industrial, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

Fecha de recepción del manuscrito: 28/12/2013

Fecha de aceptación del manuscrito: 14/02/2014

Fecha de publicación: 28/03/2014

Resumen— En el marco de un Proyecto de Investigación desarrollado en el Laboratorio de Ingeniería y Mantenimiento Industrial (LIMI) de la FCEFN, un grupo de Docentes-Investigadores se planteó el desafío de diseñar un banco de ensayo de equipos electro-mecánicos para realizar mediciones de variables relacionadas con el Mantenimiento Basado en la Condición (C.B.M.) con alumnos de materias afines a la especialidad. Por razones económicas y operativas, se decidió que el diseño y la construcción se harían en el propio Laboratorio. Finalmente se dispuso la construcción de dos bancos, uno para la medición de variables eléctricas y térmicas y otro para la medición de vibraciones mecánicas. En ambos casos el objetivo es relevar datos relacionados con el estado de degradación y solicitación de un equipo industrial, que sirvan para detectar fallas potenciales del mismo. En el desarrollo de los bancos se tuvieron en cuenta experiencias de aplicación a nivel internacional y se emplearon procedimientos estandarizados para el diseño de nuevos productos. Uno de ellos se diseñó y construyó en el marco de un Proyecto Integrador de la Carrera de Ingeniería Industrial. Como resultado de este proceso el Laboratorio cuenta en la actualidad con dos bancos de ensayo utilizados en aplicaciones académicas, y en un futuro cercano permitirán desarrollar actividades de investigación. En este trabajo se describe el diseño y construcción de los dos bancos, las mediciones que se pueden realizar, el instrumental utilizado en los ensayos y su empleo con fines de enseñanza en el ámbito del mantenimiento condicional.

Palabras clave Bancos de ensayo, Mantenimiento industrial, Experimentación, Prácticos de laboratorio

Abstract— As part of a Research Project developed at the Laboratory of Engineering and Industrial Maintenance (LIMI) of the FCEFN, a group of Teachers and Researchers assumed the challenge of designing a test bench of electro-mechanical equipment for the measurement of variables related to Condition Based Maintenance (CBM) with students of related matters. Due to economic and operational reasons, it was decided that the design and construction would be made by in the own Laboratory. Finally the construction of two benches was decided, one for make electrical and thermal measurements and the other for the measurement of mechanical vibrations. In both cases the goal is acquire related data with the degradation state of industrial equipment, useful to detect potential failures. In the development of the benches were considered international experiences in the matter and the use of standardized procedures for new products designing. One of them was designed and built as part of a graduate thesis of Industrial Engineering. As a result of this process the Laboratory has two test benches used in academic applications, and in the near future will allow to develop research activities. This paper described the design and construction of the two benches, the measurements that can be performed, the instruments used in the tests and their use for educational purposes in the predictive maintenance field.

Keywords Test benches, Industrial Maintenance, Testing, Practical laboratory works

INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Ingeniería y Mantenimiento Industrial tiene como misión “*Difundir en el ámbito de influencia de la Universidad Nacional de Córdoba la necesidad de aplicar metodologías de avanzada para la gestión de procesos industriales, con especial énfasis en el control y*

mantenimiento de los medios productivos”. Desde la creación del Laboratorio se han desarrollado varios Proyectos de Investigación relacionados con el mantenimiento industrial. Por otra parte algunos de los Docentes-Investigadores del Laboratorio forman parte de la Cátedra de Mantenimiento Industrial que se dicta en la Carrera de Ingeniería Industrial.

El Laboratorio cuenta con instrumental de última generación para la medición de variables relacionadas con las condiciones de funcionamiento de un equipo industrial (CBM: Conditional Based Maintenance), que en la jerga industrial se lo conoce como mantenimiento predictivo

Dirección de contacto:

Ricardo Ingaramo, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, X5016 CGA. Tel: 5353800 interno 29082, ringaramo@efn.uncor.edu

(Pontelli *et. al.*, 2012). Este instrumental es utilizado para desarrollar actividades de investigación así como para realizar experiencias con alumnos de la asignatura Mantenimiento Industrial, procurando brindarles una formación acorde a las actuales exigencias del mercado laboral.

El trabajo con los alumnos presenta el problema de que para poder usar el instrumental es necesario disponer de un equipo industrial, lo cual tiene varias implicancias. Por un lado es necesario contar con la autorización de alguna empresa u organismo que disponga de equipos adecuados para hacer las prácticas. Si se trata de una organización externa a la Facultad, hay que pensar en el traslado de los alumnos, con los costos y riesgos involucrados. Además, como los prácticos los deben realizar todos los alumnos de la asignatura, se genera el despliegue de gran cantidad de personas alrededor de los equipos, entorpeciendo las tareas habituales y generando un riesgo adicional para los participantes.

Por estos motivos se pensó que lo más razonable era emplear un banco de ensayo para realizar los prácticos en la propia Facultad, con un diseño tal que permita reproducir todo lo que ocurre en un equipo real.

Finalmente se diseñaron y construyeron en el LIMi dos bancos de ensayo (denominados aquí 1 y 2). El Banco 1 tiene como finalidad medir y analizar variables eléctricas y térmicas asociadas con el funcionamiento de un equipo, y con el Banco 2 se busca estudiar las vibraciones mecánicas que se producen en equipos rotantes. En ambos casos el objetivo es relevar variables que brinden información sobre el estado de degradación y sollicitación de un equipo industrial, como temperaturas, vibraciones, desalineación, parámetros eléctricos, entre otros, que permiten detectar de manera anticipada estados de falla y evitar así la ocurrencia de paradas, elaboración de productos defectuosos o accidentes.

La ventaja del uso de bancos en lugar de equipos reales es que permiten realizar una gran cantidad de mediciones en un espacio reducido, mientras se trabaja con elevados niveles de control y seguridad, condiciones fundamentales en aplicaciones académicas como la que se describe en este caso. La experimentación mediante el empleo de los bancos evita poner en riesgo personas, equipos reales, productos y procesos de producción.

Otro aspecto que puede desatacarse es que al disponer de este equipo en la Facultad se puede tener bajo control las variables a estudiar, situación que no ocurre en el ámbito de una empresa. En efecto, los equipos industriales tienen un sinnúmero de fallas que ocurren simultáneamente y son producto del desgaste y del uso mismo, que hacen difícil visualizar un determinado fenómeno para ser estudiado.

Los equipos industriales, a lo largo de su vida útil sufren distintas desviaciones producto de su degradación y que provocan resultados diversos, como excesivo consumo de aceite lubricante o de energía eléctrica, defectos de calidad del producto, roturas, entre otras, algunas de las cuales pueden ser graves. En la Fig. 1 se muestra como ejemplo el aumento de la temperatura de diferentes equipos después de un periodo de funcionamiento y bajo una determinada carga de trabajo, detectada mediante una cámara termográfica.

El desgaste por errores de diseño, por condiciones de uso inadecuadas o por errores en la gestión del equipo puede producir desplazamientos dimensionales que a su vez generan corrimiento de masas respecto de la condición de diseño. Es así que desbalances, ejes deformados, masas excéntricas, uniones sueltas, correas flojas, son algunas de las configuraciones que producen vibraciones en baja frecuencia (hasta 300 Hz) y por sobre ese valor se encuentran señales propias de defectos en los rodamientos, ruidos provocados por fluidos, o vibraciones debidas a engranajes.

Cada falla de origen mecánico en equipos rotantes tiene su propio espectro característico en el dominio de las frecuencias, que a modo de huella digital, permite identificar el tipo de desperfecto. Así, la desalineación de ejes, el desbalanceo en uno o dos planos, las fijaciones sueltas, por nombrar solo algunas, se pueden reconocer mediante la llamada firma vibratoria (Girdhar, 2004).

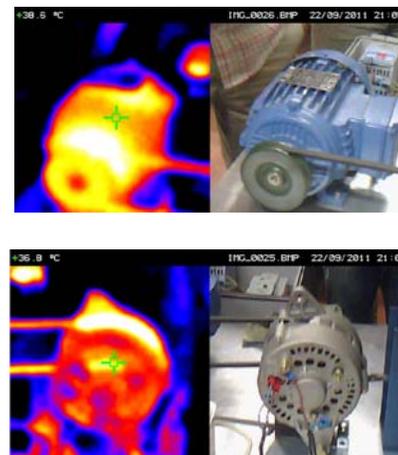


Fig. 1: Mediciones de termografía con carga.

La idea es que uno de estos bancos permita reproducir distintos tipos de fallas mecánicas que posean una firma vibratoria bien definida, como el ejemplo que se muestra en la Fig. 2, para diferenciar los patrones que se observan en el espectro de frecuencias característico, identificar la falla asociada a esa señal e implementar las acciones adecuadas para su eliminación.

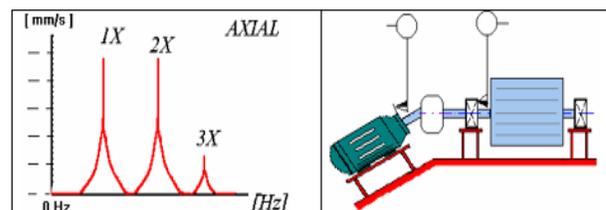


Fig. 2: Ejemplo de desalineamiento angular y su correspondiente firma vibratoria

Así se pueden reproducir de manera controlada estas anomalías a fin de que los alumnos reconozcan el espectro asociado, para luego, en una segunda instancia, los propios estudiantes puedan corregir el desperfecto y verificar la reparación con la nueva firma vibratoria.

En este trabajo se describe el diseño y construcción de los dos bancos, se explican las mediciones que se pueden realizar, se muestra el instrumental utilizado en los ensayos y se comenta su aplicación para la enseñanza práctica del mantenimiento industrial.

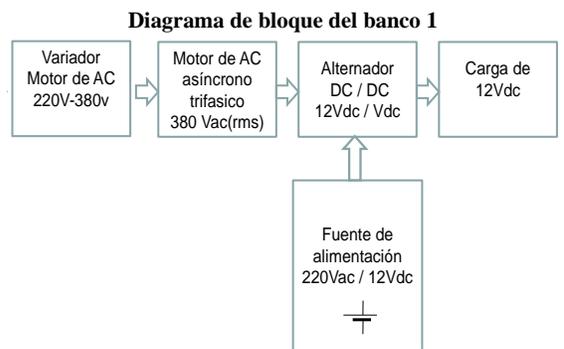
MATERIALES Y MÉTODOS

El mantenimiento industrial es una disciplina en constante avance, que incorpora año a año nuevos desarrollos tecnológicos. En el marco de la Cátedra de Mantenimiento Industrial y del LIMI se planteó tiempo atrás la conveniencia de experimentar con alumnos la medición de vibraciones, termografía y variables eléctricas en equipos industriales, utilizando el moderno instrumental con que cuenta el Laboratorio. Por los motivos expresados en la Introducción, se decidió que la herramienta apropiada para implementar la propuesta era un banco de ensayo de equipos electro-mecánicos.

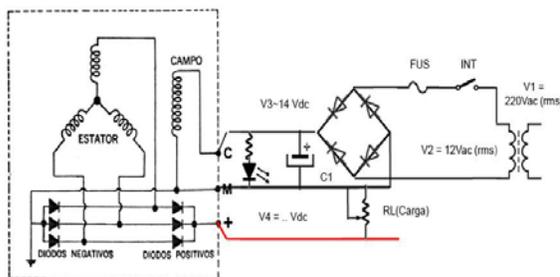
relevamiento se determinó que las prestaciones de los productos disponibles no se adecuaban exactamente a las expectativas del grupo de trabajo. Por otra parte, el costo de los bancos disponibles, en su mayoría importados, era prohibitivo para las posibilidades del Laboratorio y de la Cátedra. Por lo tanto, por cuestiones económicas y operativas se decide encarar el diseño y construcción de un banco propio.

Se tomaron diversas referencias sobre el tema a nivel internacional (Ovalle Abarca, 2002), (Peral Orts et al., 2008), (González et al., 2005). Sobre esta base se elaboró el diseño preliminar del Banco 1, pensado para realizar mediciones eléctricas y de termografía. Su construcción se realiza en el Laboratorio durante el año 2011, con la participación fundamentalmente de los integrantes de la Cátedra de Mantenimiento Industrial, cuyos Docentes y Alumnos son los primeros usuarios del banco.

El sistema eléctrico proyectado está compuesto por una alimentación de 220V, un variador de velocidad, un motor trifásico de 1 HP, un alternador, una fuente de alimentación de 12V y una carga (compresor de 12V). En la Fig. 3 se ve el circuito empleado y las conexiones de los componentes del banco. Este banco se usa para medir variaciones de temperatura, tensión, corriente y velocidad, tanto en la situación inicial de funcionamiento del sistema como para diferentes disposiciones de carga, con el objeto de obtener valores de referencia para futuros controles predictivos. En la Fig. 4 se muestra el instrumental utilizado para realizar las mediciones en este banco.



Circuito alimentación alternador y carga en continua



Circuito de comando y protección (motor)

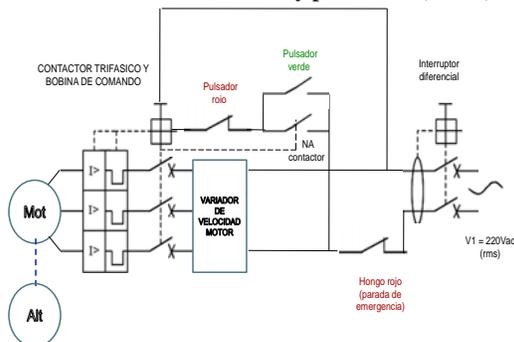


Fig. 3: Circuito eléctrico del Banco 1.

En el año 2011 se realizó una exploración en el mercado sobre la oferta de bancos de esta naturaleza. En ese

1- Pinza amperimétrica, 2- Variador de velocidad, 3- Osciloscopio, 4- Cámara termográfica



Fig.4: Instrumental de medición.

Paralelamente se planteó la necesidad de desarrollar un segundo banco con el objeto de medir vibraciones y simular fallas mecánicas a partir de la introducción de

cambios o desajustes en la configuración de sus componentes. Este nuevo equipo (Banco 2) permite estudiar el efecto sobre el desempeño del equipo de anomalías como desbalanceo de masas rotantes, desalineación de ejes, soldadura de los componentes mecánicos y desalineación en poleas, entre otras.

En el diseño del Banco 2 se aprovechó la experiencia adquirida en la construcción del primero, pero en este caso se planteaba el desafío adicional de obtener una herramienta sólida, versátil, adaptable a diferentes usos y sobre todo confiable, con la idea de que en el futuro pueda ser tomada como elemento patrón para las mediciones.

Para garantizar estas condiciones, el grupo de trabajo decide que el diseño del este banco se haría utilizando procedimientos estandarizados, para lograr un producto acorde a las expectativas planteadas.

Se toma como base para el diseño una configuración estándar de medición constituido por un sistema de doble masas giratorias y una masa exploratoria que al variar su posición cambian los espectros de vibración.

El montaje experimental que se está desarrollando consiste en un rotor con dos discos de masa para realizar un equilibrado en dos planos. Los sensores de aceleración miden las vibraciones de los rodamientos directamente junto a los discos de masa. Una marca reflectante aplicada a uno de los discos de masa sirve de referencia para la información sobre ángulos. Dado que al equilibrar se determina el comportamiento de transmisión entre el disco de masa y el punto de medición, los distintos ciclos de medición se tienen que realizar al mismo número de revoluciones. Para simular un desequilibrio inicial se atornillan pequeñas masas al disco de masa. Del mismo modo se procede con las masas de test y de compensación (contrapesos).

La propuesta en este caso fue tomada por dos alumnos avanzados de la Carrera de Ingeniería Industrial (actualmente ingenieros) quienes bajo la supervisión de Docentes-Investigadores del Laboratorio realizaron el diseño del banco en el transcurso del año 2012, en el marco de un Proyecto Integrador para acceder al título de grado (Reartes y Meneguzzi, 2012). En ese trabajo se encuentra descripto el proceso de desarrollo del banco, incluyendo la metodología empleada, los datos técnicos de diseño, planos y demás información de interés.

Una de las premisas era que el banco debe cubrir en el futuro las necesidades de diferentes tipos de usuarios. Para compatibilizar los requisitos de estos usuarios con el resultado del proceso de diseño, se utilizaron técnicas de manejo de información y de apoyo a la toma de decisiones, con el objetivo de contemplar la Voz del Cliente en el desarrollo del proyecto.

Entre otras estrategias se realizaron entrevistas a potenciales usuarios del banco, se implementó la técnica de Grupo Focal (Focus Group) para estudiar las opiniones o actitudes de un equipo de trabajo y se utilizó el Diagrama de Afinidad con el objetivo de categorizar la información y agrupar los elementos relacionados entre sí, en este caso

para organizar la información obtenida en el Focus Group (Sanguésa Sánchez, 2006).

Después de organizar y clasificar convenientemente los datos relevados, como resultado de esta etapa se deben establecer fehacientemente los requerimientos que necesita satisfacer el proyecto de diseño, que son los siguientes:

- De uso: Se refieren a la interrelación producto-usuario.
- De función: Correspondientes a los principios físico-técnicos de funcionamiento del producto.
- Estructurales: Se refieren a los componentes, partes o elementos constitutivos del producto.
- Técnico-productivos: Representan a los medios y métodos de manufacturar un diseño.
- Formales: Características estéticas del producto.

Para el diseño propiamente dicho se implemento la herramienta denominada Quality Function Deployment (QFD), conocida en español como Despliegue de la Función de la Calidad, utilizada para traducir la voz del cliente en características de calidad, con el objeto de definir las propiedades del producto siguiendo un orden de prioridades (Akao, 1990).

El objetivo del QFD es obtener el diseño más conveniente de un producto mediante la conversión de las necesidades del cliente en características de calidad adecuadas, sin que haya omisiones ni elementos superfluos.

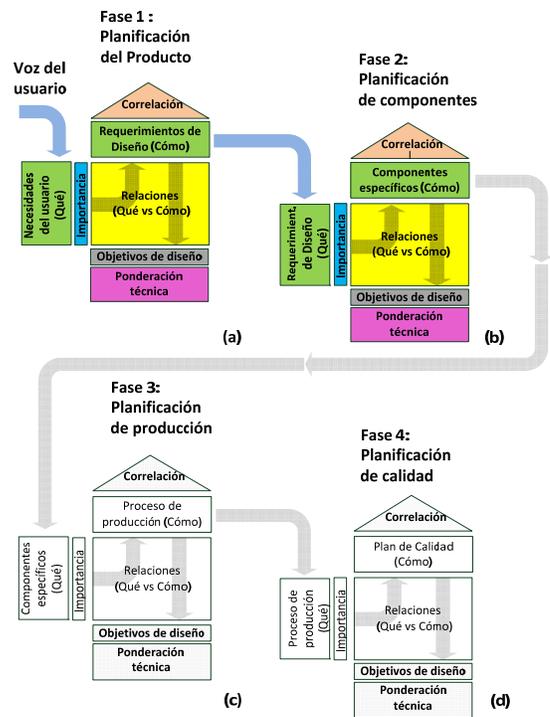


Fig. 5a: Esquema matricial del QFD.

El método QFD utiliza una serie de matrices entrelazadas que se muestran en las Figs. 5a y 5b, que señalan diversas

interrelaciones que permiten traducir las necesidades del cliente en características de diseño. Cada fase (o matriz) representa un aspecto específico de los requisitos del producto.

En el diseño del Banco 2 se trabajó únicamente con la matrices de Planificación del Producto (N°1) y de Planificación de Componentes (N°2), ya que las otras dos (N°3 y N°4) corresponden a procesos de producción.

1. Requerimientos del cliente
2. Importancia del cliente
3. Características Técnicas
4. Matriz de relaciones
5. Objetivos de diseño
6. Puntuación absoluta y relativa de las características
7. Importancia técnica de las características
8. Correlaciones

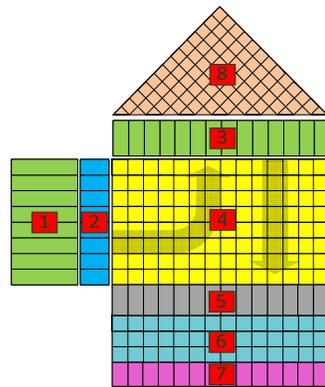


Fig. 5b: Estructura del QFD.

En el marco del análisis realizado, durante el estudio de la estructura base del banco se presentó la necesidad de realizar una selección entre alternativas basadas en múltiples criterios de evaluación. Para la toma de decisión en esa instancia se utilizó el Método de Análisis Jerárquico o Analytical Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 1988).

Además se empleó un software de diseño asistido por computadora (CAD) para proyectar y simular los movimientos de los mecanismos del banco, asegurando así el correcto funcionamiento antes de llegar a su fabricación (Budyas y Nisbett, 2008).

El Banco 2 fue diseñado para monitorear variables como velocidades de rotación y vibraciones, medidos en este caso mediante lámpara estroboscópica y un acelerómetro conectado a un data logger, que se muestran en la Fig. 6 (Eshleman, 2007).



Fig. 6: Lámpara estroboscópica y Data Logger.

La Fig. 7 muestra a modo de ejemplo las fallas por desalineación de ejes que permite simular el Banco 2.

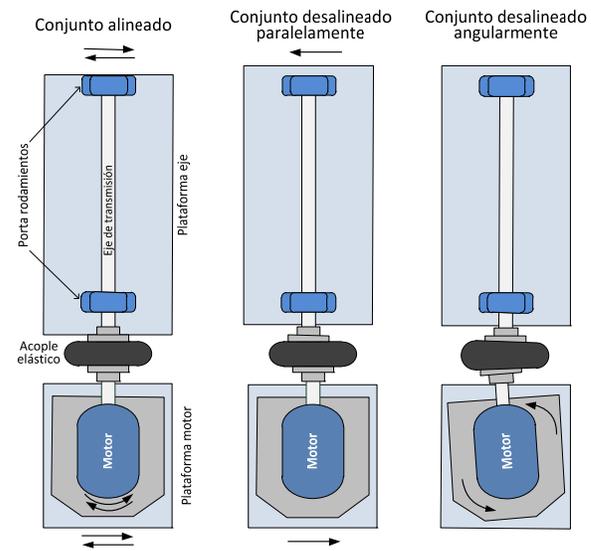


Fig. 7: Fallas de desalineación simuladas en el banco.

El empleo de los dos bancos involucra la implementación de un procedimiento que consta de las siguientes etapas:

- 1- Medición de parámetros propios del mantenimiento condicional utilizando instrumental específico.
- 2- Interpretación de los resultados de las mediciones para la detección temprana de anomalías.
- 3- Identificación e implementación de acciones correctivas tendientes a evitar la falla del equipamiento.

Este procedimiento es aplicado por los Alumnos de Mantenimiento Industrial bajo la supervisión de sus Docentes en un Práctico específico previsto en el Programa de la asignatura. Los resultados de las mediciones se vuelcan en registros y demás formatos apropiados, todo el trabajo realizado incluyendo sus conclusiones se resumen en un Informe que es elaborado en forma grupal por los alumnos, el cual es presentado y discutido en un plenario grupal realizado en clase.

Para la construcción de ambos bancos el financiamiento provino de fuentes propias del Laboratorio y recursos correspondientes a Proyectos de Investigación avalados por la Secyt (UNC).

RESULTADOS

El Banco 1, concebido para realizar mediciones eléctricas y termográficas, fue construido a lo largo del año 2011. Posteriormente se fueron realizando mejoras hasta alcanzar su configuración actual, que se muestra en la Fig. 8.

Una de las características de este banco es su portabilidad, ya que está instalado sobre un soporte móvil

adquirido a tal fin, por lo que puede ser transportado con relativa facilidad al espacio donde se realizan los ensayos.



Fig. 8: Banco 1 para mediciones eléctricas y térmicas.

En este banco se realizan mediciones para diferentes condiciones de funcionamiento del sistema:

- Condiciones iniciales (sistema en vacío): Todas las componentes se encuentran desconectadas y se mide con la cámara termográfica las temperaturas del motor y del alternador, que son equivalentes a la temperatura ambiente (que es de 27-28°C). En la Fig. 9 se muestran las imágenes termográficas correspondientes al motor y alternador en esa situación.

- Condición final (conexión de la carga al sistema): A partir de la condición inicial se comienza a alimentar eléctricamente todos los componentes: variador de velocidad, motor y campos magnéticos del alternador. Por último se coloca una carga electromecánica (compresor de 12V) sobre la salida del alternador. Esto permite comparar la evolución de variables eléctricas y de las imágenes termográficas para distintas condiciones de carga del sistema, tal como se muestran en la Fig. 9 (sin carga) y en la Fig.1 (con carga creciente).

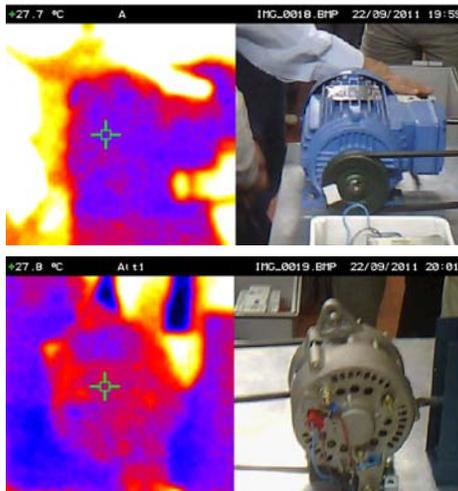


Fig. 9: Mediciones de termografía sin carga.

Además de la termografía, se llevan registros de las variables eléctricas medidas en el sistema, para comprobar los cambios que experimentan a lo largo de los ensayos, para distintas condiciones de trabajo.

Durante el práctico los alumnos completan una planilla con los valores medidos de variables eléctricas y termográficas para cada condición de funcionamiento del equipo tal como se muestra en la Tabla 1.

El Banco 2, pensado para la medición de vibraciones, fue construido entre los años 2012 y 2013.

Empleando la metodología propuesta se realizó la traducción de la voz del cliente en las necesidades y requerimiento de diseño demandadas, que fueron:

- De uso: seguro, transportable, bajo mantenimiento.
- De función: múltiples configuraciones posibles, flexible, buena terminación.
- Estructurales: estable, modular, desarmable, resistente.
- Técnico-productivos: buena calidad de los materiales, tolerancias reducidas.

Formales: atractivo, interesante, cautivante

En la Fig. 10 se muestra la estructura de jerarquía del problema empleando el enfoque de Saaty para decidir entre diferentes alternativas posibles de diseño. El primer nivel, o jerarquía de la estructura, representa la situación problema a resolver. El segundo nivel corresponde a los criterios definidos para la toma de decisión, y el tercero constituye las alternativas propuestas de solución.

Una vez conceptualizada la estructura jerárquica del problema, se establecieron los juicios de preferencias en cada uno de los niveles jerárquicos definidos y aplicando la metodología correspondiente se fueron definiendo las mejores alternativas de diseño para cada factor.

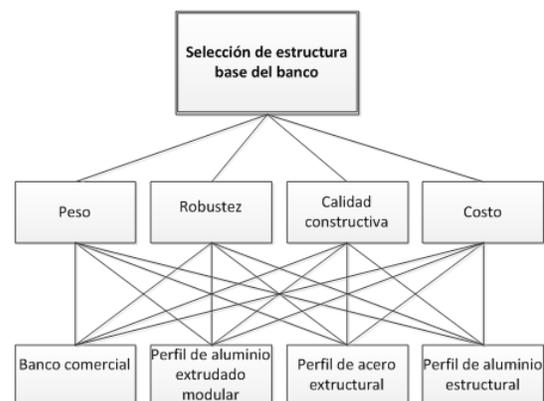


Fig. 10: Diagrama de jerarquías de la estructura base del Banco.

A lo largo del proceso de diseño se recibieron aportes muy valiosos de especialistas en mantenimiento industrial que trabajan en organizaciones con las cuales el LIMI mantiene convenios de reciprocidad (Convenio JPS Argentina-FECFN, 2008). Las sugerencias estuvieron

relacionadas con diferentes aspectos generales del diseño como: la robustez que debía tener el banco para garantizar mediciones confiables, los mecanismos que debería incluir para permitir una amplia gama de ensayos, la conveniencia de no mezclar tipos de fallas en los ensayos, entre los principales aportes recibidos.

La configuración resultante del Banco 2 se muestra en la Fig. 11. Como se puede apreciar, el banco está montado sobre gruesos perfiles de aluminio que le confieren una gran solidez a su estructura de soporte. Como desventaja, debido al peso este banco no se puede trasladar con facilidad, si bien en el diseño se previó que las patas puedan ser intercambiadas por ruedas portátiles para eventuales movimientos. No obstante, de acuerdo a recomendaciones formuladas por especialistas, no es conveniente su desplazamiento frecuente para no poner en riesgo su robustez ni afectar la confiabilidad de las mediciones.

En este momento el Banco 2 se encuentra en la etapa de montaje y prueba antes de ser usado con los alumnos.

Además se está completando la instalación de los elementos de seguridad necesarios y del tablero eléctrico en el espacio físico donde va a estar localizado el banco, dentro del Aula de la Escuela de Ingeniería Industrial.



Fig. 11: Banco 2 para medición de vibraciones, proyecto y construcción

CONCLUSIONES

Los bancos de ensayo de equipos electro-mecánicos presentados en este artículo constituyen herramientas tecnológicas especialmente adecuadas para desarrollar estudios relacionados con el mantenimiento condicional de equipos industriales.

La posibilidad que brindan estos bancos de realizar ensayos bajo condiciones controladas permite su empleo en aplicaciones académicas sin generar riesgos para los experimentadores ni para los equipos involucrados.

Es importante remarcar que los bancos fueron diseñados específicamente para atender los requerimientos planteados por sus futuros usuarios. En este caso se puso énfasis en su empleo para la enseñanza de herramientas avanzadas del mantenimiento industrial en el nivel de grado de nuestra Facultad, en el marco de la asignatura Mantenimiento Industrial de la Carrera de Ingeniería Industrial, pero en el futuro se espera usarlos en actividades de investigación.

La medición de variables eléctricas y térmicas que realizan los alumnos en un práctico específico desarrollado en el Banco 1, les permiten observar cómo cambian las condiciones del equipamiento para diferentes contextos de uso, cómo se van modificando los valores de las variables monitoreadas mediante el empleo de instrumental de última generación y qué información práctica brindan esos valores con relación al estado del equipo.

Del mismo modo, cuando esté disponible el Banco 2 los alumnos van a poder medir vibraciones para distintas configuraciones de sus componentes, para que mediante la introducción planificada de diferentes anomalías sepan identificar las firmas vibratorias típicas y puedan identificar las fallas asociadas.

De esta manera, mediante los ensayos realizados en estos bancos los alumnos aprenden a interpretar la información que brindan las mediciones sobre el desempeño de un equipo industrial, los alertas sobre potenciales fallos, la localización de la falla, etc. y logran discernir las decisiones que deben tomar para corregir esas anomalías y garantizar el correcto funcionamiento del equipo.

Con respecto al Banco 2, si bien aún se encuentra en etapa de construcción y prueba, es importante destacar que su diseño fue objeto de un Proyecto Integrador (Trabajo Final de Grado) de la Carrera de Ingeniería Industrial en un tema poco explorado en nuestro medio. Esto permitió la incorporación de alumnos de grado en el desarrollo de proyectos de investigación realizados en la Facultad, donde pudieron volcar buena parte de lo aprendido en su carrera, lo que demuestra la excelente formación y capacidades que adquieren nuestros egresados.

La experimentación con estos bancos posibilita la formación práctica de los alumnos en el uso de las técnicas más modernas para el control del desempeño de equipos industriales. De esta manera se procura que los estudiantes de ingeniería reciban no solamente una sólida formación teórica en temas de su incumbencia, sino además que

Tabla1: REGISTRO DE VARIABLES ELÉCTRICAS Y TERMOGRÁFICAS

Actividades a desarrollar en practico de laboratorio eléctrico	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	V4 (V)	Frecuencia variador (Hz)	Velocidad motor (rpm)	Corriente por fase motor (A)	Corriente campo alternador (A)	Corriente salida alternador (A)	Temp motor (°C)	Temp alternador (°C)
Medición de tensión de alimentación V1. Medición de temperatura inicial de motor, alternador y variador.	222,5	0	0	0	0	0	0	0	0	27	27,8
Activar el variador de velocidad (ready) y regular la velocidad motor en 1000 rpm. Medir el consumo de corriente por fase del motor y variador.	222,5	0	0	0	17,4	1000	1,1	0	0	28	27,8
Conexión de la fuente de alimentación al campo del alternador. Medición de tensiones, corrientes y formas de onda en la fuente y en el campo del alternador	222,5	12	13,65	14	17,4	925	2,5	2,7	0	28	27,8
Conectar una carga al alternador (lámpara, otra) y medir consumo. Medir la nueva corriente de consumo del motor y su velocidad de giro. Medir la temperatura del motor y alternador.	222,5	12	13,65	8,3	17,4	746	2,5	2,6	4,6	38,6	36,8
Ajustar el variador para recuperar los 1000 rpm. Medir el nuevo consumo de corriente por fase del motor y variador.	222,5	12	13,65	10,8	29,3	994	3,2	2,7	5	52	42

conozcan y manejen las herramientas tecnológicas más avanzadas utilizadas en el medio industrial.

Finalmente, para el diseño de los bancos fue necesario realizar una recopilación de antecedentes sobre el tema a nivel internacional, contactar otros grupos de investigación y empresas referentes del medio vinculados a la actividad de mantenimiento, lo cual resultó una experiencia muy enriquecedora para el grupo de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

El financiamiento para la compra del instrumental utilizado en las mediciones, así como para la adquisición de algunos componentes de los bancos, proviene del Programa para el Mejoramiento de la Enseñanza de la Ingeniería (Promei), lo que evidencia el impacto favorable de este tipo de Programas en la formación de futuros ingenieros.

REFERENCIAS

- [1] Akao, Y. (1990) *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*. Productivity Press.
- [2] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008) *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Mc Graw Hill. México.
- [3] Convenio JPS Argentina - FCEF (UNC), Resolución Rectoral N° 3655/2008.
- [4] Eshleman, R. L. (2007) *Introducción a las Vibraciones de Maquinarias*. Vibration Institute.
- [5] Girdhar, C. (2004) *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Ed. Elsevier
- [6] González, H. A., Cardona, J. F. & Monroy, G. A. (2005) "Diseño de un banco de pruebas de desalineamiento y desbalanceo mecánico". *Scientia et Technica*. Año XI No 28 UTP. ISSN 0122-1701. Pereira, México.
- [7] Ovalle Abarca, C. D. (2002) "Diseño de un banco para simular fallas en mecanismos". Universidad de Talca, Chile.

- [8] Peral Orts, R., Campillo Davó, N. & Velasco Sánchez, E. (2008) "Bancos de ensayo para docencia en vibraciones mecánicas". Universidad de Coimbra, Portugal.
- [9] Pontelli, D., Gangi, S., Gallará, I. (2012) *Mantenimiento Industrial*. Editorial Universitat.
- [10] Reartes, L. y Meneguzzi, F. (2012) "Diseño de un Banco de Ensayos para la Enseñanza del Mantenimiento Predictivo", Proyecto Integrador de la Carrera de Ingeniería Industrial, FCEF (UNC).
- [11] Saaty, Thomas (1988) *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill.
- [12] Sangüesa Sanchez, M., Dueñas, R. M., & Ilzarbe Izquierdo, L. (2006) *Teoría y Práctica de la Calidad*. Thompson Internacional. Madrid.