



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

SISTEMA MECÁNICO-ELECTRÓNICO DE MEDICIÓN Y CONTROL DE PARÁMETROS DINÁMICOS EN FORMACIONES FERROVIARIAS.

Ojeda, Miguel Antonio*¹, Amé, Ricardo Mario¹

*¹ Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Lomas de Zamora
Camino de Cintura y Juan XXIII. Lomas de Zamora, Prov. Buenos Aires. Argentina
correo-e: desarrollos@miky.com.ar

RESUMEN

El control de la velocidad y posicionamiento geográfico exacto de las formaciones ferroviarias es un problema que se presenta a menudo. La importancia del mismo deriva en la necesidad de garantizar la calidad del servicio y la seguridad de las personas y mercancías que se transportan.

Adicionalmente, el control de las aceleraciones en seis sentidos, combinado con el posicionamiento geográfico, permite efectuar un relevamiento automático del tendido de las trayectorias férreas, y la profesionalidad de la conducción[1].

En este trabajo se explica el desarrollo de un equipo mecánico-electrónico que permite la medición de una serie de parámetros para la mejora de la calidad y seguridad del servicio ferroviario, sin que esta sea una aplicación taxativa.

El equipo consta de dos conjuntos: uno sensor de frecuencia de giro y aceleraciones, con posicionamiento geográfico, memoria, procesador [2] y emisor de señal inalámbrico; el otro es el receptor remoto que permite observar en una pantalla la información completa relevada.

El emisor se coloca en la rueda de la máquina locomotora y el receptor en la cabina del conductor. Éste último aporta datos a las imágenes de vídeo, normalmente captadas por las cámaras instaladas en la formación, completando una muy valiosa información para casos de accidentes.

El dispositivo ha merecido una solicitud de patente, se ha probado exitosamente y está en período de desarrollo industrial.

Palabras Claves: *Mecatrónica, Electrónica industrial, seguridad ferroviaria.*



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de conocer la velocidad de traslación de los objetos es muy antigua. Hacia principios del siglo XIX se inventa el “Tacómetro”, aparato diseñado para medir el número de vueltas de un eje; si éste está asociado a una rueda, conociendo su diámetro es suficiente para determinar la velocidad lineal del conjunto. Con tecnología moderna, continúa siendo utilizado.

A finales del siglo XIX, aparece el “Velocímetro”, que mide la rapidez de traslación de un objeto. Originariamente consistía en un eje flexible, unido a un sistema de engranajes vinculados a alguna parte de la transmisión mecánica, un imán y una bobina excitada por éste para generar una señal de pulsos eléctricos; actualmente es un aparato electrónico generador de pulsos con una frecuencia vinculada a la velocidad de giro del elemento controlado.

En vehículos y máquinas industriales, se utilizan dispositivos electrónicos llamados “*encoders*”; circuitos combinatoriales que procesan las señales de entrada a datos de salida. Pueden ser ópticos o magnéticos, requiriendo conexión cableada. No se aplican en aquellas instalaciones que estén expuestas a suciedad o impactos.

Las aceleraciones se miden mediante dispositivos electrónicos conocidos como “Acelerómetros”, los cuales requieren conexión cableada para transmitir la información.

Por último, el “Tacógrafo” complementa a los anteriores. En él es posible almacenar, en memorias digitales, los datos históricos de velocidades, aceleraciones y espacio recorrido por el móvil.

La localización geográfica de un objeto se realiza mediante la determinación de la latitud y longitud terrestres. En ciertas aplicaciones es necesario conocer su ubicación de manera instantánea, con cierto grado de precisión, al mismo tiempo que se mueve. Los modernos sistemas GPS (*Global Positioning System*) pueden establecerla con un error de entre 3 y 5 metros, admisible para ciertos usos, pero inaceptable para la seguridad de una formación ferroviaria. En algunas aplicaciones se utiliza para calcular la velocidad a partir sucesivas posiciones geográficas correlativas, lo cual induce a la falta de exactitud y de información instantánea.

Si bien todos los elementos descritos son conocidos y ampliamente utilizados, formando parte de los tableros de control de automóviles, vehículos en general y ferrocarriles, se los instala de manera independiente entre sí, no combinando adecuadamente la información que generan.

Muchas patentes de invención [3] se han registrado sobre distintos dispositivos para la medición de la frecuencia de giro mediante sensores por efecto Hall, por medio de imanes actuando sobre



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

bobinados, o dispositivos de ultrasonido, actuando sobre el cuerpo que se desplaza e incluso otros métodos que utilizan señales emitidas por varios satélites que se comunican por radio a un receptor en el vehículo, realizando cálculos de la velocidad.

Otras patentes informan sobre dispositivos que detectan la velocidad y la posición relativa de dos partes de un componente mecánico y no del vehículo respecto del lugar en que se encuentra; y otras que aseguran determinar el desplazamiento mediante la aceleración en distintos ejes.

Todos ellos, si bien pertinentes ya no tienen la virtud de la actualización generada por el acelerado devenir de la tecnología.

Existe la imprescindible necesidad de modernizar los sistemas de control del movimiento y de localización geográfica, generando datos interrelacionados, en un equipo único, evitando las conexiones cableadas, de modo de impedir sabotajes, vandalismo y otras circunstancias no deseadas, procesando las señales de manera combinada y transmitiendo los datos por medios inalámbricos, con seguridad y muy alta precisión.

2. OBJETIVOS Y CONFIGURACIÓN CONCEPTUAL DEL EQUIPO DISEÑADO.

El desarrollo realizado conjuga la configuración de componentes mecatrónicos de control de posicionamiento, parámetros cinéticos y dinámicos, sustituyendo equipos individuales, que proveen información dispersa, no armonizada, con la ventaja de independizarse de cableado de todo tipo, de alta velocidad de procesamiento de los datos, confiabilidad constructiva y en la provisión de la información, precisión y combinación racional de ésta.

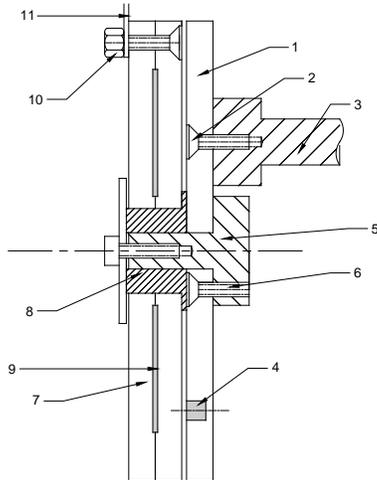
El equipo cuenta con un algoritmo que permite calcular y medir en todo momento: localización geográfica con extrema exactitud, velocidad y sentido de traslación, aceleraciones en los seis ejes coordenados, procesar los datos de diversos modos (históricos, estadísticos, porcentuales, histogramas, por planimetría, etc.), almacenarlos en memoria y transmitirlos a otros receptores de manera inalámbrica. Con esta información es posible, además de lo indicado: a) vincular la velocidad y aceleraciones, con la posición geográfica, el día, la hora, mes y año en que se produjeron; b) relevar el estado de la infraestructura vial, al vincular las aceleraciones verticales y horizontales con la posición geográfica, c) vincularla con las imágenes de vídeo, tomadas por las cámaras de seguridad, generando muy importante complemento informativo.

Estas características -objetivos del diseño-, fueron implementadas en varios y sucesivos prototipos y probadas exhaustivamente, superando paulatinamente los inconvenientes que se fueron presentando y mejorando la confiabilidad, calidad y precisión de los datos relevados.



2.1. Primer prototipo de prueba.

La figura 1 muestra el conjunto en sección diametral del primer desarrollo realizado, con la disposición de sus componentes genéricos.



1: Disco porta imanes, 2: Tornillo de fijación del disco porta imanes, 3: Tornillo de tapa del engrasador de cojinete (no pertenecen al equipo descrito), 4: Imán., 5: Perno para el centrado, 6: Tornillo de fijación del perno para el centrado, 7: Disco porta plaqueta electrónica de circuito impreso y componentes, 8: Buje, 9: Plaqueta electrónica de circuito impreso, 10: Tornillo de armado y fijación de ménsula, 11: Brazo anti giro.

Figura 1. Corte diametral del conjunto con descripción de sus componentes genéricos.

El primer prototipo fue una construcción conceptual y consistía de dos discos independientes, uno que acompañaba el giro del eje a medir y el otro fijo, a unos pocos milímetros de separación del anterior, tomado a una parte estática de la estructura más cercana.

El disco 1 gira solidario con el eje estudio por estar vinculado mediante los tornillos 2, roscados a los tornillos 3, y éstos unidos a un disco de adaptación para las pruebas (no se ve en el dibujo). En el disco 1 se encuentran insertos los imanes 4, dispuestos sobre un determinado diámetro y separados angularmente de manera equidistante. El perno 5, unido al disco 1 mediante los tornillos 6, actúa de guía para la alineación correcta del disco 7. Un buje de material plástico 8 facilita el giro relativo entre ambas piezas con un mínimo rozamiento. El disco 7 contiene en su interior el circuito impreso 9. En esta plaqueta electrónica se disponen: un microprocesador; las bobinas que generan energía a partir de los campos magnéticos de los imanes; los detectores inductivos de campo magnético, con los cuales se calcula la frecuencia de giro; los sensores de aceleraciones; sistemas de comunicación; una memoria de capacidad suficiente para almacenar la información de varios meses, un sistema de hora, día, mes y año y otros accesorios auxiliares. La generación de energía y los medios de comunicación no requieren cableado. Dado que el disco 7 está constituido de dos mitades, se aprovecha el tornillo 10, utilizado para fijar el brazo anti-giro, para armar el conjunto. El brazo anti giro 11 inmoviliza al disco 7 contra la instalación.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

2.1.1 Funcionamiento conceptual.

Cuando el eje de interés comienza a girar, el disco 1 y los imanes pasan sucesivamente frente a las bobinas generando inmediatamente tensión de alimentación al circuito. Del mismo modo, el sensor inductivo es influenciado por el campo magnético de los imanes y detecta la frecuencia de giro, por la separación angular entre imanes. La gran cantidad de imanes y su escasa separación aseguran la inmediata detección del movimiento y su precisión, como así también la instantánea generación de energía de alimentación al sistema. Mientras tanto el microprocesador temporal informa al microprocesador principal los datos de la hora, día, mes y año, del mismo modo que lo hace el posicionador satelital. A medida que la máquina que contiene el eje estudio se mueve y acelera, el detector informa de esta magnitud al procesador. Cuando la velocidad y las condiciones del terreno o de las vías -en la aplicación ferroviaria- lo inducen, los acelerómetros medirán las variaciones de estos parámetros en los tres planos ortogonales y en los seis sentidos. Toda esta información es almacenada en la memoria y/o enviada a un receptor remoto.

2.1.2 Lógica electrónica conceptual

En la figura 2 se observa el diagrama de bloques del circuito electrónico.

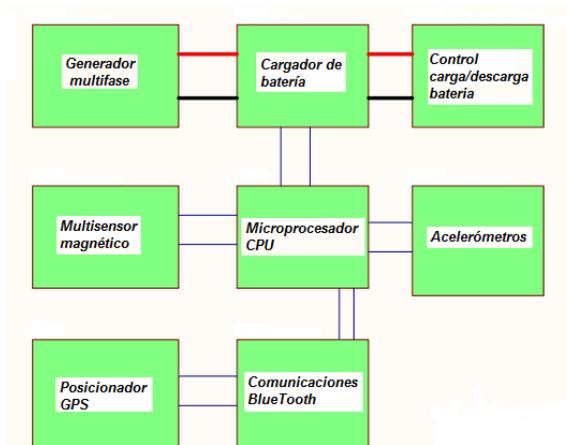


Figura 2. Diagrama de bloques del circuito electrónico.

La figura 3, muestra la plaqueta electrónica, posición 9 de la Figura 1, y sus componentes, montada sobre el disco posición 7. En primer plano se observa un módulo superpuesto conteniendo el procesador ATX mega 256 A3U, y un micro Bluetooth 2.0. La segunda plaqueta consta de un Bluetooth adicional para control de desarrollo.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI



Figura 3. *Plaqueta electrónica de circuito impreso y sus componentes.*

La Figura 4 muestra un momento del ensayo de funcionamiento del primer prototipo. Se colocó sobre el plato de un torno para simular el giro. El disco portante de los componentes electrónicos se trabó con un brazo tomado a la torreta porta herramientas. Las pruebas se realizaron a distintas frecuencias de giro y se recibió la información en una computadora portátil alejada.

En estas verificaciones no se pudo evaluar el funcionamiento de los acelerómetros. En la Figura 5 puede observarse la composición de los dos discos que conforman el prototipo.



Figura 4. *El sistema colocado en un torno para simular el giro de la rueda, la PC receptora de la comunicación con los datos relevados.*

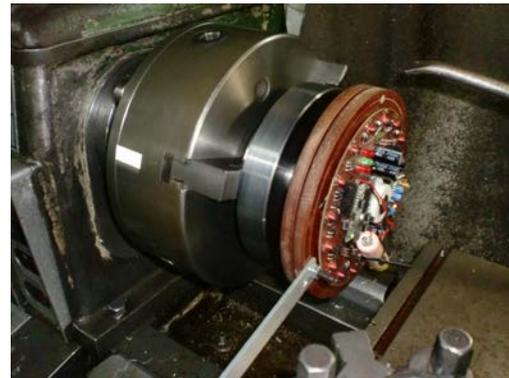


Figura 5. *Primer prototipo en pruebas. Se observan las dos placas que lo componen.*

Las Figuras 6 y 7 muestran la recepción de datos en el procesador portátil, el cual contaba con un software que simulaba al equipo electrónico que luego se utilizaría en la realidad. El resultado de los primeros ensayos indicó que el sistema de relevamiento de la frecuencia de giro funcionaba bien, la generación de energía era insuficiente para el consumo registrado y, además, de construcción relativamente engorrosa. También se detectó que la transmisión de datos tenía alcance limitado.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI



Figura 6. Recepción lejana de señales.



Figura 7. Monitor del procesador portátil mostrando los datos recibidos

2.2. Segundo prototipo de prueba.

Estas debilidades fueron superadas en el segundo prototipo. Éste se instaló en la rueda de la locomotora aprovechando la disponibilidad de tres tornillos de la caja porta cojinete, como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Lugar donde se instaló el segundo prototipo.



Figura 9. Instalación del segundo prototipo en la locomotora.

La instalación fue realizada por los autores del presente trabajo, como puede verse en la Figura 9, en una máquina Diésel de la línea Belgrano Sur, en los talleres de la localidad de Tapiales, provincia de Buenos Aires, Argentina. En la Figura 10 puede observarse el segundo prototipo ya instalado en los momentos previos a las pruebas con locomotora en marcha.

La Figura 11 muestra la plaqueta genérica desarrollada en la Cátedra de electrónica analógica y digital de la carrera de Ingeniería mecánica orientación Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería de la U.N. de Lomas de Zamora, utilizada para comprobar el funcionamiento del sistema de



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

comunicación y el software escrito. En ella puede leerse la recepción de la señal de velocidad de desplazamiento durante el recorrido de prueba llevado a cabo sobre la máquina.



Figura 10. Segundo prototipo instalado en la rueda de la locomotora.



Figura 11. Recepción remota de la señal de velocidad de desplazamiento.

Las condiciones reales de uso requirió de una construcción más robusta, apta para intemperie y por lo tanto cerrada. Se incorporó un conjunto de pilas alcalinas que proveían la energía a los sensores, al procesador y al sistema de comunicación. También una caja adicional para incorporar tres interruptores a los fines de facilitar la operación de coordinación entre emisor y receptor remoto. Los ensayos confirmaron la mejora lograda en las comunicaciones, que permitió mayor alcance, pero con algunas deficiencias en la conexión automática entre emisor y receptor. También se comprobó que el paquete de baterías tenía una duración limitada a unas 200 horas continuadas.

2.3. Tercer prototipo de prueba.

En el tercer prototipo se mejoraron los componentes del sistema de sensado, el sistema de comunicación, y el software de operación, de modo de reducir al mínimo el consumo de energía. La tecnología aplicada consistió en la utilización de procesadores y materiales de excepcionalmente bajo consumo al igual que la aplicación de circuitos operacionales como el MCP 6272 de baja demanda energética. También se diseñó un pequeño generador consistente en un rotor, con imanes permanentes, y un estator bobinado. La Figura 12 muestra el dibujo en corte. Las piezas 1, 2, 5 y 8 son solidarias a la rueda de la máquina por lo que giran a la frecuencia de ella. El resto de las partes son inmóviles y se las vincula a la estructura cercana.



IV CAIM 2014

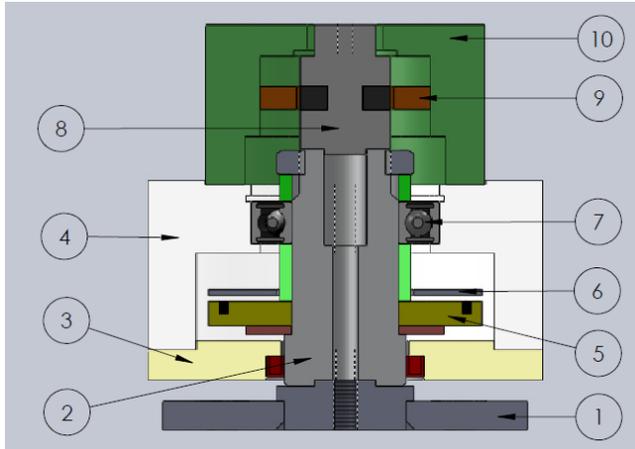
Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI



1: disco de fijación, 2. árbol principal, 3: tapa de cierre, 4: carcasa, 5: disco porta imanes, 6: plaqueta electrónica con sensores inductivos, 7: rodamiento, 8: rotor del generador, 9: estator bobinado de generador, 10: cubierta protectora de generador.

Figura 12. Dibujo en corte del tercer prototipo.

Al girar el disco porta imanes 5, el campo magnético de éstos actúa sobre los sensores generando los pulsos de tensión que identifican la frecuencia de giro.

En la Figura 13 se ve al prototipo colocado en la rueda de la locomotora. En primer plano el brazo metálico anti-giro y el cable de antena del emisor. Este prototipo presentaba importantes ventajas respecto de los anteriores: mayor robustez y confiabilidad, alta capacidad de transmisión de datos, su nuevo software aseguraba la conexión automática entre el receptor remoto y el emisor, bajo consumo de energía, y facilidad para su montaje, inspección y desmontaje.



Figura 15. Tercer prototipo colocado en la rueda de la locomotora.

Las pruebas fueron exitosas pero se dispuso eliminar el grupo generador por ser el factor más sensible en cuanto a desgastes y efectos derivados de la vibraciones.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

2.4. Producto comercial.

Finalmente se construyó el equipo mostrado en la Figura 16 que resume la experiencia acumulada en los distintos ensayos realizados sobre los prototipos descritos.

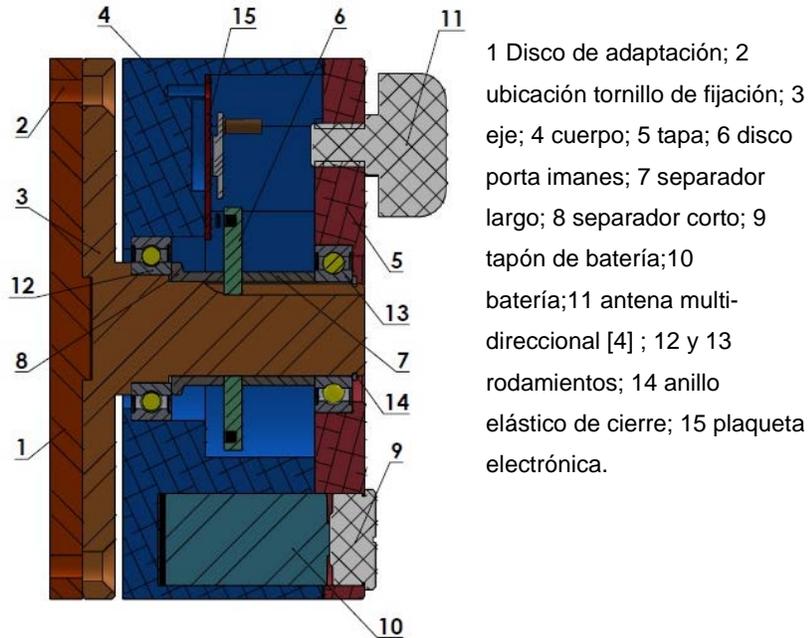


Figura 16. Equipo final.

El diseño preliminar de la pantalla que el usuario observa se muestra en la Figura 17. La misma puede adaptarse a distintas finalidades e incluso realizarse con el diseño y datos que se requieran.

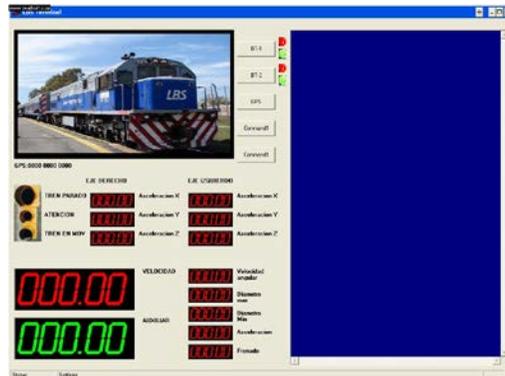


Figura 17. Pantalla de datos



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

3. CONCLUSIONES

Se aplicó tecnología electrónica avanzada, combinada con diseño mecánico, para hacer frente a la necesidad de contar con un dispositivo que realizara el relevamiento de la cinética y la dinámica ferroviaria. El equipo desarrollado posee comunicación inalámbrica de largo alcance, robustez mecánica y alta confiabilidad, sus componentes y software aseguran muy bajo consumo de energía y ésta es suministrada por una batería de litio de significativa estabilidad de depreciación [5]. El desarrollo fue resultado de un convenio de colaboración entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora y la empresa Antrieb Sudamericana S.A. y derivó en la solicitud de Patente de Invención según expediente N° 20130104206” ante el INPI, Instituto Nacional de la Propiedad Intelectual, Administración Nacional de Patentes, Argentina.

4. REFERENCIAS

- [1] D`Azzo; Houpis, Sistemas Realimentados de Control (Análisis y Síntesis), Paraninfo, Madrid, 1975.
- [2] Yeralan, Sencer; Ahluwalia, Ashutosh, Programming and Intefacing the 8051 Microcontroller, Addison-Wesley Publishing Company, EEUU, 1995.
- [3] <http://lp.espacenet.com>, búsqueda de patentes, consultada entre 2013 y 2014.
- [4] RF Solutions LTD. PUK Dual Band Antenna, 433/868MHz. www.rfsolutions.co.uk
- [5] EVE ENERGY CO., LTD. Technical Specification ER34615. www.evebattery.com

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la empresa Antrieb Sudamericana SA por la autorización a divulgar el resultado de los trabajos de desarrollo efectuados conjuntamente con la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina.