

Repotenciación de una máquina de punto armónico para el control de calidad en rines*¹

[Reconditioning of a machine of harmonic point for quality control wheels]

HENRY DAZA², RUBÉN DARÍO CÁRDENAS ESPINOSA³

Recibo: 20.02.2015 – Aprobación: 23.09.2015

Resumen

Este artículo muestra la repotenciación de una máquina de punto armónico como una solución técnica para encontrar el punto de mínima desviación radial en un rin, de modo que al momento de su ensamble coincidan el máximo y mínimo, garantizando su correcta operación. Esta máquina posee cuatro elementos medidores y un computador. El proyecto se realizó debido al daño en el computador y la obsolescencia del software, mediante metodología experimental implementada en tres fases: prueba, diseño e implementación, a partir del estudio y análisis de sus manuales técnicos y de usuario, planos electromecánicos, entrevistas con operarios para implementación del software e identificación de mejoras técnicas y operativas para la máquina, la codificación de algoritmos (mediante Labview), la adquisición de señales requeridas en la producción de rines de aluminio para automóviles utilizando el análisis de Fourier y la fundamentación teórica sobre

* Modelo para la citación de este artículo:

DAZA, Henry & CÁRDENAS ESPINOSA, Rubén Darío (2015). Repotenciación de una máquina de punto armónico para el control de calidad en rines. En: Ventana Informática No. 33 (jul-dic). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 171-185. ISSN: 0123-9678

- 1 Artículo de investigación científica y tecnológica proveniente del proyecto *Repotenciación Máquina Punto Armónico*, ejecutado en el periodo 01/2014-06/2014, en la empresa manizaleña *Telemetría y Automatización Ltda.* (correo electrónico: telemetria@telemetria.com.co).
- 2 Licenciado en Áreas técnicas, Tecnólogo en electricidad, Tecnólogo en electrónica, Esp. en Informática y Computación. Instructor SENA (Manizales, Caldas, Colombia). Correo electrónico: henrydaza@misena.edu.co
- 3 Ingeniero Electrónico, Tecnólogo Profesional en Electrónica y Automatización Industrial, Esp. Gerencia en Finanzas, MSc. With major in Electrical Engineering, DSc. With major in Electronic Engineering, PhD. in Technology Information. Líder del grupo de investigación 'Electrónica, Automatización y Energías Renovables'. Instructor SENA (Manizales, Caldas, Colombia). Correo electrónico: rdcardenas75@misena.edu.co

vibraciones y punto armónico en máquinas oscilatorias. A partir del desarrollo de este proyecto se logró la repotenciación de otras tres máquinas similares en la industria del sector automotriz y se han estructurado proyectos en diferentes empresas del país.

Palabras Clave: Repotenciación, Punto armónico, Instrumentación, Rines de Aluminio, Vibraciones

Abstract

This article shows the repowering of a machine harmonic point as a technical solution to find the point of minimum radial deviation in a wheel, so that when the assembly match the maximum and minimum, ensuring their proper operation. This machine has four measuring elements and a computer. The project was carried out because of damage to the computer and software obsolescence by experimental methodology implemented in three phases: test, design and implementation, based on the study and analysis of its technical and user manuals, electromechanical plans, interviews with workers for software implementation and identifying technical and operational improvements for the machine, encoding algorithms (by Labview), the acquisition of signals required in the production of aluminum wheels for cars using Fourier analysis and the theoretical foundation of vibration and harmonic oscillatory point machines. With the development of this project the upgrading of three other similar machines was achieved in the automotive industry and projects are structured in different companies in the country.

Keywords: Repowering, harmonic point, Instrumentation, Alloy Wheels, Labview and Matlab, Vibrations

Introducción

El proceso de fabricación de un rin mediante el torneado puede tener algunas imperfecciones en la superficie y en la no redondez, presentar diferencia en los centros de giro y la circunferencia exterior, los cuales se pueden medir a través de un comparador de carátula en la periferia, haciendo girar el rin alrededor de un eje rígido, permitiendo encontrar el punto mínimo de desviación radial para que al ensamblar la llanta con el rin coincidan con la máxima desviación de ésta. Mediante el análisis de Fourier es posible determinar este punto armónico. La máquina de punto armónico posee cuatro elementos medidores y un computador que procesa y almacena la información.

Este artículo presenta el caso de repotenciación de una máquina de punto armónico, en la cual se actualiza el software utilizado por daño del computador que se tenía y cuyo sistema ya estaba obsoleto. Así mismo, se hace un acercamiento teórico a la Máquina Analizadora de Desviación Radial, partes de la máquina de punto armónico y repotenciación de máquinas y conceptos básicos, para luego hacer la descripción del procedimiento utilizado en el proyecto, y así presentar los resultados obtenidos, al igual que las conclusiones. El presente trabajo ha sido la base para repotenciar otras máquinas en las ciudades de Manizales y Bogotá de empresas productoras de rines.

1. Fundamento teórico

1.1 Conceptos Básicos

El primer concepto requerido en este artículo corresponde a rin, término al parecer acuñado del inglés *rim*, que de acuerdo con la Secretaría de Economía (2002, 19), «*es un miembro rotatorio montado entre la llanta y el eje del vehículo que transmite y soporta la carga*», comúnmente compuesto por un arillo (suministra la flexibilidad para soportar las irregularidades del camino y sobre él se monta la llanta) y el centro (soporte entre el eje y el arillo).

Por su parte Arias, Castro & Sánchez (2009, 6), señalan que «*los rines no son solamente requeridos para soportar el peso íntegro de los vehículos en conjunto con los neumáticos, sino también para resistir las fuerzas de manejo durante la aceleración, fuerzas de frenado durante la desaceleración, fuerzas laterales durante el giro de las esquinas y otras fuerzas*», cuyas funciones básicas consisten en transmitir el movimiento, alojar las masa de los ejes y constituirse como estructura base de la llanta.

1.1.1 Vibración. «*Una vibración mecánica es el movimiento de una partícula o un cuerpo que oscila alrededor de una posición de equilibrio. Esta se produce casi siempre cuando un sistema es desplazado desde una posición de equilibrio estable. El número de ciclos por unidad de tiempo define la frecuencia y el desplazamiento máximo del sistema de su posición de equilibrio se llama amplitud de vibración*» (Thomson, 1982, 8).

Existen formas para realizar un estudio de vibraciones, entre las cuales se encuentra mirar esta señal en el dominio de la frecuencia, como la gráfica de Amplitud vs. Frecuencia, conocida con el nombre de espectro, que, según Gasquet & Witomski (1999) es «*la mejor herramienta que se tiene actualmente para el análisis de maquinaria*».

1.1.2 Vibración libre. Thomson (1982, 13), señala que son aquellas existentes *«cuando el sistema es mantenido únicamente por las fuerzas de restitución»*. Por su parte; Carbonell (2010, 2), afirma que las vibraciones son libres cuando no existen fuerzas o acciones exteriores directamente aplicadas al sistema a lo largo del tiempo, diferenciándolas de las forzadas, cuando existen tales acciones o excitaciones además de las fuerzas o momentos internos.

«Tanto las vibraciones libres como las forzadas pueden subdividirse, dependiendo de la existencia o no de fuerzas resistentes que amortiguan el movimiento vibratorio, en:

- Sin amortiguamiento. No existe resistencia pasiva al movimiento del sistema.*
- Con amortiguamiento. Existen resistencias pasivas al movimiento del sistema, es decir, fuerzas o momentos disipativos que amortiguan el movimiento vibracional»* Carbonell (2010, 2).

1.1.3 Armónicos. *«Son distorsiones de las ondas sinusoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas con impedancia no lineal, a materiales ferromagnéticos, y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal»* (Tedesco, 2011, 113).

«Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo integral de la frecuencia fundamental del sistema la cual, para el caso de nuestro país es 60 Hz. Las formas de onda distorsionadas son descompuestas, de acuerdo con Fourier, en la suma de una componente fundamental más las componentes armónicas. La distorsión armónica se origina, fundamentalmente, por la característica no lineal de las cargas en los sistemas de potencia. El nivel de distorsión armónica se describe por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. Es común, además, utilizar un criterio denominado distorsión total armónica (THD) como una medida de la distorsión» (UPME - Colciencias, s.f., 15).

1.1.4 La transformada de Fourier. Gasquet & Witomski (1999) y Cortés, Medina & Chaves (2007, 152), coinciden en asegurar que consiste en un procedimiento matemático, inicialmente planteado para funciones periódicas y aplicable a no periódicas tendiendo el periodo T a infinito, que, de manera similar a la descomposición de la luz a través de un prisma, descompone una función en sus

frecuencias componentes: *«La función que inicialmente se define en el tiempo $f(t)$ es la transformada al dominio de la frecuencia $F(w)$. Esta nueva función $F(w)$ se llama la Transformada de Fourier o Serie de Fourier cuando la función es Periódica. Fourier determinó que era posible expresar una función como la suma de Senos y Cosenos de diferentes frecuencias y amplitudes hasta lograr determinar la función original».*

1.1.5 Transformada Discreta de Fourier. Cortés, Medina & Chaves (2007, 154) consideran que la transformada de Fourier, de manera análoga a la serie *«descompone la señal en senos y cosenos de diferentes frecuencias y amplitudes. Es de destacar que el uso de esta transformada implica la solución de integrales que hacen el análisis continuo para todo tiempo. En la práctica, no siempre es posible por el consumo de tiempo o el desconocimiento de la función original, puesto que solo se poseen datos discretos resultantes de una captura».*

«La transformada de Fourier Discreta en el tiempo (y también la transformada continua) pueden ser evaluadas cuando tenemos una expresión analítica para la señal. (...). La transformada de Fourier discreta (DFT) nos permite calcular el espectro de información discreta en el tiempo. Estando en tiempo discreto podemos calcular exactamente el espectro, para señales análogas no existe manera similar para calcular su espectro. Para el espectro de señales análogas se tienen que construir equipo especial, que consiste en casi todos los casos de convertidores A / D y computaciones discretas. Análisis del espectro discreta en el tiempo son más flexibles que los análisis de las señales continuas» (Johnson, 2009).

De acuerdo con Vega (2013, 2-3), la transformada discreta de Fourier es una de las herramientas más importantes del procesamiento digital ya que permite alcanzar una representación de la señal con base en sus componentes de frecuencia, siendo utilizada para compresión de imágenes, compresión de audio, análisis espectral de señales, reducción de ruido en señales, análisis de la respuesta en frecuencia de los sistemas, convolución en el dominio de la frecuencia, correlación cruzada, multiplicación de números enteros grandes y multiplicación simbólica de polinomios.

En las aplicaciones de ingeniería y tratamiento de señales, recomiendan Cortés, Medina & Chaves (2007, 154), utilizar el proceso de manera discreta y no continua, debido a que los sistemas de adquisición de datos no pueden obtener ni analizar la totalidad de la información.

1.1.6 Transformada Rápida de Fourier, FFT (Fast Fourier Transform).

DE acuerdo con Carangui (2014, 8), «es un algoritmo para calcular la TDF de manera rápida y eficaz. La FFT permite adaptar la TDF para el uso con computadoras digitales. El rango de frecuencias que cubre la FFT va a depender de la cantidad de muestras recogidas y de la proporción de muestreo».

Vega (2013, 3), señala que debido a la complejidad de la transformada discreta de Fourier, en la actualidad se utiliza la Transformada rápida de Fourier (FFT), algoritmo diseñado por J.W. Cooley y J. Tukey en 1965, que simplifica el trabajo, optimizando tiempo y recursos.

«La idea que permite esta optimización es la descomposición de la transformada a tratar en otras más simples y así sucesivamente hasta llegar a transformadas de dos elementos donde k (valores del algoritmo) puede tomar los valores 0 y 1. Una vez resueltas las transformadas más simples se agrupan en otras de nivel superior que deben resolverse de nuevo y así sucesivamente hasta llegar al nivel más alto. Al final de este proceso se ordenan los resultados obtenidos. Dado que la transformada discreta de Fourier inversa es análoga a la transformada discreta de Fourier, con distinto signo en el exponente y un factor $1/n$, cualquier algoritmo FFT se puede adaptar fácilmente para el cálculo de la transformada inversa» Cortés, Medina & Chaves (2007, 154).

1.1.7 Excentricidad. Según González (2004, 13), «la excentricidad (e) mide el grado de achatamiento de la elipse (...). Cuando más cerca esté e de uno, más achatada está. Si $e=0$, la elipse es una circunferencia». En la figura 1 se puede apreciar la excentricidad, centro geométrico y centro de agujero central.

«La excentricidad de una cónica es un cociente de distancias –distancia de $P(x,y)$ de la cónica al foco dividido distancia de P a la recta directriz-, no nulo, que se mantiene constante – constante positiva- para cualquier punto P de la curva:

$$e = \frac{PF}{PL} \leftrightarrow PF = e PL.$$

Definido un valor de excentricidad todos los puntos del plano que verifican el cociente, definen una cónica. La cónica se llama central si tiene centro de simetría» Ares (2014, 304).

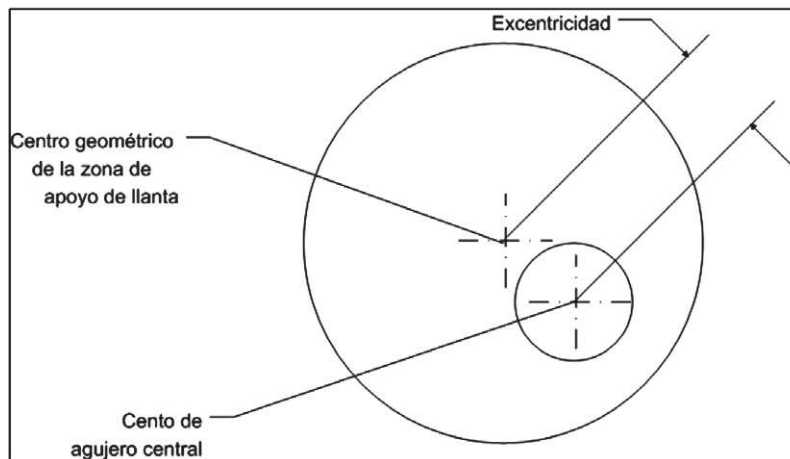


Figura 1. Excentricidad, centro geométrico y centro de agujero central (Duque, 2008)

1.1.8 Concentricidad. Se refiere a la condición de varios objetos que comparten el mismo centro, eje u origen.

«La concentricidad es la condición geométrica de que dos círculos mantengan el mismo centro. Esta condición es deseable en la industria por múltiples razones: uniformidad de espesores, campos eléctricos o magnéticos en piezas ejesimétricas, entre otras. Aunque la condición de concentricidad sea deseable y especificada por diseño, las desviaciones del proceso de manufactura representarán una desviación en la localización de los centros de la pieza en cuestión. La medición de la concentricidad en piezas coaxiales es un tema de la metrología dimensional, existen varios métodos en función del tipo de pieza a medir» (Vela et al., 2012, 360).

1.1.9 Total Indicated Runout, TIR. «Siglas en inglés para la desviación total indicada (valor máximo - valor mínimo leído en el comparador)» (Doering, 1989).

1.1.10 Círculo mejor adaptado, CMA. Círculo teórico que mejor se adapte a una *incesión* de puntos tomados con el comparador, lo cual se logra mediante una síntesis de Fourier.

1.2 Máquina analizadora de desviación radial

Es lógico pensar que un rin fabricado mediante un proceso de torneado, pueda tener algunas imperfecciones tanto en su superficie, como en la no redondez, debido probablemente al sistema de agarre de las

mordazas. Por otro lado, puede existir también una diferencia entre los centros de giro y de la circunferencia exterior del rin. Si se coloca un instrumento de medida, como un comparador de carátula en la periferia y se hace girar alrededor de un eje rígido, pueden graficarse los resultados y obtener tal vez una curva similar a una onda seno. Esta curva entonces contiene los defectos superficiales al igual que los causados por la excentricidad. El objetivo es encontrar el punto de mínima desviación radial, de modo que al momento del ensamble de rin y llanta, coincidan los puntos máximo y mínimo.

Claramente, si se toma este punto mínimo simplemente de la medida de un comparador, se podría incurrir en el error de hallar un valor erróneo causado posiblemente por una imperfección puntual. El procedimiento utilizado para evitar estos errores, es aproximar la curva obtenida con los valores medidos (512 muestras por cada uno de los cuatro LVDT⁴) a una curva de forma sinusoidal, la cual se asemeja a la obtenida por un rin hipotético perfectamente circular en su periferia, sin defectos superficiales y sólo con fallas de excentricidad (CMA).

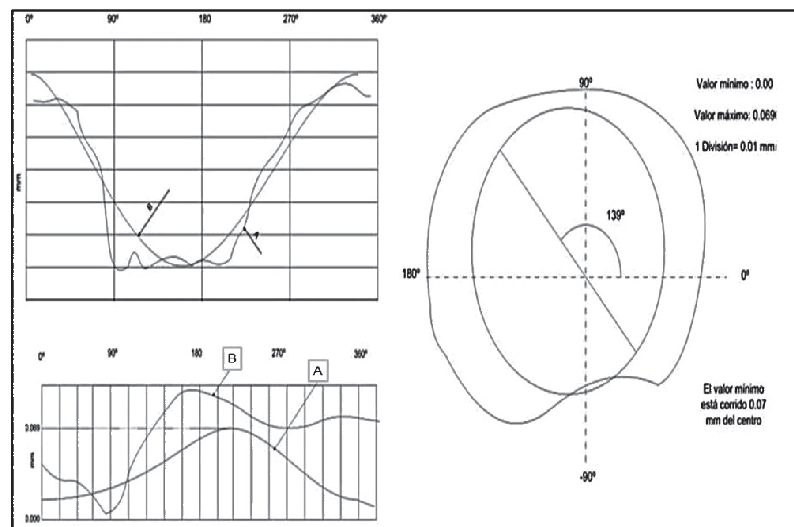
El modelo matemático utilizado, es conocido como el análisis de Fourier, con el cual una onda periódica puede ser representada como una sumatoria de senos y cosenos.

$$X_p(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(2\pi k f_0 t) + b_k \sin(2\pi k f_0 t)$$

La repotenciación de la máquina⁵ tiene como objetivo encontrar el punto de mínima desviación radial, para que al ensamblar rin y llanta, se haga coincidir con el de máxima desviación de esta última. Se puede observar que si se toma ese punto mínimo, simplemente de la medida de un comparador, se podría incurrir en el error de hallar un valor erróneo causado tal vez por una imperfección puntual.

El procedimiento empleado evita estos errores, aproxima la curva obtenida con los valores medidos (256 para esta máquina) a una curva de forma sinusoidal (curva B figura 2) que simule la obtenida por un rin hipotético perfectamente circular en su periferia, sin defectos superficiales y solo con fallas de excentricidad (CMA).

El modelo matemático utilizado, es conocido como el análisis de Fourier, con el cual una onda periódica puede ser representada como una sumatoria de senos y cosenos: $f(x) = A_0 + A_1 \sin x + A_2 \cos 2x + \dots$. En esta ecuación el primer término que contiene seno, representa al que se describió como rin hipotético con solo excentricidad, y se llama término fundamental o primer armónico.



El punto armónico que debe marcarse a los rines, estará situado en el valor mínimo de la onda fundamental (Figura 2) y su magnitud es dos veces su amplitud. El computador utiliza un algoritmo llamado transformada rápida de Fourier (FFT para siglas en inglés), que no es otra cosa que la misma teoría pero aplicada a una onda generada por una serie de puntos discretos.

Otro aspecto a tenerse en cuenta, es que los armónicos de orden n tienen comportamientos sinusoidales con frecuencia n , los aspectos o irregularidades que estos reflejan, son los que se repiten con frecuencias mayores a $2_$, donde el defecto de excentricidad tiene frecuencia $2_$ y por eso es el armónico de más bajo orden.

Así mismo, debe tenerse en cuenta que existe entonces un armónico para la zona de apoyo interior y otro para la zona de apoyo exterior, las normas hablan de un armónico promedio (*simultaneus avetage first harmonic*). Este es la suma vectorial promedio de los dos.

«Según el teorema de Fourier, si un cuerpo realiza un movimiento vibratorio complejo, podemos considerar que realiza simultáneamente los movimientos armónicos simples en que este movimiento puede descomponerse; por lo tanto, si el movimiento vibratorio complejo produce un sonido, éste es descomponible en los sonidos puros que provienen de los movimientos armónicos simples componentes. Cada sonido puro se llamará armónico, llamándose fundamental o primer armónico el sonido más grave correspondiente al movimiento armónico simple de período T (frecuencia n), y segundo armónico, tercer armónico, etc., los siguientes, cuyos períodos serán $T/2$, $T/3$, etc. El conjunto de las sensaciones sonoras producidas por los armónicos producirá la sensación de timbre del sonido que componen» (Olazábal, 1954, 56).

A no ser que la norma especifique la magnitud máxima de los armónicos, se deberían tomar como parámetros los valores de la excentricidad que admite el plano de la parte.

En cuanto a la marcación del punto puede hacerse con un sello situado en la zona de llanta, este proceso se hará automáticamente y se adoptará la norma Mazda, ya que, hasta el momento ningún otro fabricante ha especificado otra. En cuanto a la norma de magnitud y tolerancia se toma como estándar para la empresa productora de rines la expedida por General Motors 5.1.9 o 5.2.0 (5.2.0 es menos estricta en cuanto a tolerancias pero iguales en contenido).

1.3 Descripción de la máquina

La analizadora de uniformidad es una máquina que posee cuatro elementos medidores y un computador que procesa y almacena la información. Cada referencia tiene una tabla de características y parámetros propios, que deben ser introducidos con anterioridad al computador, para que este apruebe o rechace la medida. Posee dos modos básicos de operación:

- Modo de análisis: Para hacer una medida a un rin y no hacer análisis estadístico, puede hacerse en medio de una corrida de muestras para SPC sin afectar los resultados de este.
- Modo estadístico: El programa puede emitir los siguientes reportes: Estudios R y R, Histograma de Resultados, Diagramas de Pareto, Cp y Cpk, Todas las medidas se pueden tomar en una de las siguientes formas: Respecto al agujero central, Respecto al círculo básico.

Para cada uno de estos reportes, hay un menú completo de parámetros y configuraciones. Pueden tomarse hasta un total de 121 medidas diferentes. En la Figura 3 se identifican las diferentes partes de la máquina utilizada.



Figura 3. Partes de la máquina (Duque, 2008)

1.4 Repotenciación de máquinas

El procedimiento que se utiliza entonces para evitar estos errores, es aproximar la curva obtenida con los valores medidos (512 muestras por cada uno de los cuatro LVDT) a una curva de forma sinusoidal, la cual se asemeja a la obtenida por un rin hipotético perfectamente circular en su periferia, sin defectos superficiales y con solo fallas de excentricidad (CMA).

2. Metodología

2.1 Fase de prueba

Se realiza un análisis del funcionamiento de la máquina a *repotenciar* a partir de los manuales técnicos y de usuario, los planos electromecánicos y las entrevistas que se realizaron con los operarios del proceso de control de calidad en los rines, y las visitas de campo a la Empresa.

Se realiza la codificación de algoritmos mediante el uso de *Labview* y su acople e instrumentación, y determinar su viabilidad para la adquisición de señales requeridas en la producción de Rines de Aluminio para automóviles utilizando el análisis de Fourier.

Se estudia y analiza la fundamentación teórica sobre vibraciones y punto armónico en máquinas oscilatorias, empleando las hojas de datos de los elementos que componen la máquina de punto armónico.

2.2 Fase de diseño

Se desarrollan pruebas de campo para realizar los ajustes necesarios y reutilizar el hardware (sensores, actuadores y elementos de potencia). Se adquiere un computador de última generación con sistema operativos Windows 7 de 64 bits y una tarjeta de adquisición de datos USB-NI-6221. Se realiza la comunicación con la base de datos de la empresa.

2.3 Fase de implementación

Se establecen las mejoras y acondicionamiento de hardware y software, instrumentación electrónica para garantizar la confiabilidad y correcto funcionamiento de la máquina.

Se implementa la interfaz entre el sistema de control y el de potencia opto aislada, y una interface Hombre – Máquina desarrollada en *Labview*. Se implementa el programa en *Labview* que permite la conexión con la base de datos, selección de la referencia de Rin, configuración de la Operación en Modo Manual con el propósito de poner a punto la máquina antes de realizar mediciones y verificar la lectura de los diferentes sensores y actuadores.

En la fase de implementación se establecen las mejoras y acondicionamiento de *Hardware* y *Software*, instrumentación electrónica para garantizar la confiabilidad y correcto funcionamiento de la máquina.

3. Resultados y discusión

La función modo manual permite realizar Operaciones de Mando (Avance de Carro, Retorno de Carro, Abrir Pinza de Sujeción, Cerrar Pinza de Sujeción, Posicionar en forma angular el husillo) y Operaciones de Monitoreo (Lectura señal de Agujero de Válvula, Lectura Presostato, Lectura de los cuatro LVDT, Verificación del diferencial medidas laterales, Verificación posicionamiento angular husillo y Visualización de alarmas), las cuales permiten visualizar en tiempo real las diferentes señales (Entrada/salida) de la máquina, tal y como se aprecia en la Figura 4 (Ventana izquierda). En esta forma de funcionamiento es el operario quien decide los movimientos y operaciones que desea ejecutar, y es él quien se responsabiliza de maniobrar correctamente la máquina.



Figura 4. Interfaz en Labview Función Modo Manual (Izquierda) y Modo Automático (Derecha) (Duque, 2008)

La operación Modo Manual de la máquina *repotencializada*, se debe tener en cuenta para dar la orden de posicionar, verificar el montaje del rin en el eje respectivo, ya que, si este no queda bien, el rin girará indefinidamente hasta que se active la alarma de tiempo fuera para la captura de muestras.

La ejecución de operación de la máquina *repotencializada* en modo automático, requiere el cargue del archivo con las especificidades del rin al cual se le practique la prueba, si esto se omite, el programa despliega un mensaje de advertencia que indica que el operario debe cargar el

archivo con los parámetros antes de pasar al modo automático. Para que inicie el modo automático en la máquina es necesario hacer clic en el botón de *iniciar prueba*. (Figura 4, derecha).

La Interfaz en *Labview* de la pantalla principal del programa contiene un indicador *Datos Rueda Patrón*, con dos estados: Verde Fluorescente (indica que el archivo de parámetros ya ha sido cargado y está disponible para realizar pruebas en modo automático) y Verde Oscuro (indica que no hay ningún archivo de parámetros cargado actualmente, por tanto debe proceder a cargar un archivo de parámetros).

El proceso de repotenciación logrado con la máquina de punto armónico comparado con los indicadores de producción que tenía la empresa, reflejan mejora en la efectividad y eficiencia en un 40%, permitiendo contar con una interfaz más amigable para el operario y con la posibilidad de incorporar otras referencias que no eran posibles con la versión anterior.

4. Conclusiones

Con la implementación de este proyecto se logró satisfacer las necesidades de las empresas ensambladoras de automotores de marcar el punto mínimo de medida de las desviación radial de cada rin, mantener un archivo estadístico de diferentes lotes de producción, mediante la comunicación del programa implementado en *Labview* con el sistema de información de la empresa, realizar mediciones en los rines con mayor precisión de lo que se podía hacer antes de repotenciar el sistema (diámetro nominal, ancho de llanta, offset, desviación radial, para un total de 121 medidas diferentes, y corregir el proceso de mecanizado).

El desarrollo académico de este proyecto ha tenido impacto en la industria, en especial en la empresa Madeal, ya que ha sido la base para desarrollar casos similares de repotenciación no solo en Manizales, sino en otras sucursales de la misma en la ciudad de Bogotá.

El desarrollo logrado permite que desde el software implementado se creen nuevas referencias de nuevos rines (siempre y cuando se cuente con el usuario y contraseña de administrador), teniendo en cuenta los criterios de seguridad de la empresa y los datos, dimensiones y pares mecánicos de rueda patrón, a partir de las especificaciones de calidad requeridas por la empresa.

5. Referencias bibliográficas

- ARES, Óscar Enrique (2014). Visualización interactiva de cónicas para la construcción de una imagen conceptual de la definición de excentricidad [en línea]. En: V Reunión Pampeana de Educación Matemática, V REPEM (20-22/08/2014). Santa Rosa (La Pampa, Argentina): Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Ciencias Naturales y Naturales. Memorias REPEM, Vol. 5 CB 33. p. 301-311. ISSN: 2362-5716. <<http://redi.exactas.unlpam.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/2013/112/CB33-Ares-2.pdf?sequence=1>> [consulta: 20/05/2015]
- ARIAS AYALA, Javier; CASTRO LÓPEZ, José Antonio & SÁNCHEZ CHIMAL, Rodrigo Antonio (2009). Análisis básico del chasis, motor, neumáticos y rines para un vehículo arenero [en línea]. Seminario (Ingeniero en Aeronáutica). México D.F. (México): Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. 98 p. <http://tesis.bnct.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6863/CHASIS_MOTOR_NEUMATICOS_Y_RINES.pdf?sequence=1> [consulta: 15/08/2015]
- CARANGUI VINTIMILLA, Marcos Rene (2014). Establecimiento de una base de datos de señales de vibraciones mecánicas de una caja reductora combinando fallos de rodamientos y engranajes rectos para fines investigativos en la Universidad Politécnica Salesiana [en línea]. Tesis (Ingeniero Mecánico), Cuenca (Ecuador): Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica. 95 p. <<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6281/1/UPS-CT002837.pdf>> [consulta: 08/05/2015]
- CARBONELL PADRINO, María Victoria (2010). Teoría de las vibraciones mecánicas [en línea]. En: Ingeniería Agroforestal, Física Aplicada a la Ingeniería, Tema 4. Madrid (España): Universidad Politécnica de Madrid. <<http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/fisica-aplicada-a-la-ingenieria/contenidos/tema-4/VIBRACIONESMECANICAS.pdf>> [consulta: 20/05/2015]
- CORTÉS O., Jimmy Alexander; MEDINAA., Francisco Alejandro & CHAVES O., José Andrés (2007). Del análisis de Fourier a las wavelets análisis de Fourier [en línea]. En: Scientia et Technica, Vol. 13, No. 34 (may). Pereira (Colombia): Universidad Tecnológica de Pereira. p. 151-156. ISSN: 0122-1701. <<http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4807129.pdf>> [consulta: 20/05/2015]
- DOERING, Arlin B. (1989). Recording disk with low total indicated runout: US 4797764 A [online]. Alexandria (VA, USA): United State Patent And Trademark Office, USPTO. <<http://www.google.com.ar/patents/US4797764>> <<https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US4797764.pdf>> [consult: 11/05/2015]
- DUQUE CORREA, Oveimar (2008). Figuras. Manizales (Colombia): Empresa Telemetría y Automatización (documento interno).
- GASQUET, Claude & WITOMSKI, Patrick (1999). Fourier Analysis and Applications: Filtering, Numerical Computation, Wavelets [eBook]. Series: Texts in Applied Mathematics, Vol. 30. New York (NY, USA): Springer-Verlag. 442 p. e-ISBN: 978-1-4612-1598-1. <doi: 10.1007/978-1-4612-1598-1> [consult: 16/02/2015]
- GONZÁLEZ ORTIZ, Francisco Javier (2004). Proyecto MaTEX: Las cónicas [en línea]. Santander (España): Universidad de Cantabria - Consejería de Educación de Cantabria. ISBN: 84-688-8267-4 <http://personales.unican.es/gonzaleof/Ciencias_1/conicas.pdf> [consulta: 12/05/2015]
- JOHNSON, Don (2009). Transformada Discreta de Fourier (DFT) [en línea]. Houston (TX, USA): Rice University, Openstax CNX. <<http://cnx.org/contents/5fe8ba97-51a0-41e0-86f7-8a690d948891@1/Transformada-Discreta-de-Fouri>> [consulta: 08/05/2015]
- OLAZÁBAL, Tirso (1954). Acústica musical y organología. Buenos Aires (Argentina): Ricordi Americana. 172 p. ISBN: 978-987-611-021-1
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA (2002). PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-150-SCFI-2002, Autotransporte-Rines para llantas de automóviles y camiones ligeros-Especificaciones de seguridad y métodos de prueba [en línea]. México D.F. (México): Diario Oficial (15/11/20012). p. 17-56 <http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/textos/regulamentos/mex_42.doc> [consulta: 12/05/2015]
- TEDESCO, Carlos Francisco (2011). Ascensores Electrónicos y Variadores de Velocidad. Buenos Aires (Argentina): Alsina Tecnibook ediciones. 204 p. ISBN: 968-950-553-189-9.
- THOMSON, William T. (1982). Teoría de vibraciones. 2 ed. México DF (México): Prentice Hall Hispanoamericana S.A. – p. ISBN: 968-880-099-6.

- TISALEMA MALQUI, Alfredo Javier (2012). Repotenciación y mantenimiento mejorativo de la máquina extrusora de polietilenos de la empresa Eduplastic de la ciudad de Latacunga [en línea]. Tesis de grado (Ingeniero de mantenimiento). Riobamba (Ecuador): Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería de Mantenimiento. 167 p. <<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2401/1/25T00179.pdf>> [consulta: 22/05/2015]
- UPME – COLCIENCIAS (s.f.). Calidad de la energía eléctrica [en línea]. Bogotá (Colombia): Unidad de Planeación Minero energético de Colombia, UPME – Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias. 22 p. <<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/calidad.pdf>> [consulta: 22/05/2015]
- VEGA GARCÍA, Nayeli (2013). Diseño de un circuito para la evaluación de la transformada rápida de Fourier utilizando lógica programable [en línea]. Tesis (Maestro en Ingeniería de Cómputo con opción en Sistemas Digitales). México D.F. (México): Instituto politécnico Nacional, Centro de Investigación en Computación. 191 p. <<http://www.saber.cic.ipn.mx/cake/SABERSvn/trunk/Repositorios/webVerArchivo/516/2>> [consulta: 20/05/2015]
- VELA MARTÍNEZ, Luciano; RIVERA BARBOSA, Rodolfo; BRAVO NÁJERA, José Luis; MARTÍNEZ FIGUEROA, Daniel Ernesto & ACEVEDO MUÑOZ, Jorge Guadalupe (2010). Medición en línea de la concentricidad de un componente industrial [en línea]. En: XVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM (19-21/09/2012). Salamanca (Guanajuato, México): Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, SOMIM. Memorias del XVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM. México D.F. (México): SOMIM. p. 359-367. ISBN 978-607-95309-6-9 <http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1_57.pdf> [consulta: 23/05/2015]