

Estudio de la vibración a equipo de corte por plasma X-Y

Ana Janeth Zamora Bolívar

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Av. Plutarco Elías Calles #1210,
Ciudad Juárez Chih., México, 656-6884843
ana.j.zamora@hotmail.com

Francisco Javier López Jáquez

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Av. Plutarco Elías Calles #1210,
Ciudad Juárez Chih., México, 656-6884843

Noé Gaudencio Alba Baena

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Av. Plutarco Elías Calles #1210,
Ciudad Juárez Chih., México, 656-6884843

Resumen

El presente trabajo se enfoca en el estudio de vibración de una máquina de corte por plasma X-Y. En este estudio se busca conocer el nivel de vibración actual en la máquina y compararlo con el establecido por la norma ISO 2372 y VDI 2056, la cual establece valores de referencia dependiendo de la clasificación de la máquina. Se tomaron en cuenta tres factores para el estudio, la velocidad, la posición del producto a cortar y el algoritmo para controlar la trayectoria de corte. Existen estudios previos de la vibración realizados al equipo, debido a modificaciones realizadas tanto en la parte de algunos componentes y de control, pero se desea conocer si el nivel de vibración sigue dentro de lo recomendado por las normas. Se realizó un análisis preliminar para determinar el punto de referencia para la medición de la vibración. El análisis final fue realizado utilizando un DOE para determinar los efectos de los factores y sus interacciones. La hipótesis de prueba es que el nivel de vibración de la máquina cumple con el nivel establecido por la

norma. Específicamente que el nivel de vibración no sobrepasa los 4.5 mm/s, contra la hipótesis alterna de que el nivel de vibración es mayor que 4.5 mm/s.

Palabras Claves: análisis, experimento, vibración.

1. Introducción

Las vibraciones en el campo de la ingeniería se desarrollan en el área de la mecánica para la ayuda de un mejor funcionamiento de las máquinas, siendo parte del mantenimiento preventivo, llevando el nombre de vibraciones mecánicas [1]. En la maquinaria las vibraciones causan un rápido desgaste en los componentes, además que produce ruido [2].

El análisis de vibración se utiliza para el mantenimiento predictivo en cualquier compañía, ayudando a mantener las metas y evitando fallas en el futuro. Cuando ocurre un problema en la máquina se puede detectar por las vibraciones, ya que tienen diferente frecuencia. El análisis de vibración ayuda a evitar el deterioro de la máquina. En otras aplicaciones se realizan simuladores de fallas de vibración para conocer los comportamientos que se pueden presentar en las máquinas. Estos simuladores manejan las fallas posibles, por ejemplo, el desajuste de los ejes puede ocasionar que se observen picos en las gráficas de vibración producidas por el simulador [3, 4, 5, 6, 7].

El análisis de vibración es un tema de investigación activo ya que constituye una herramienta tanto para monitoreo de maquinaria como para diagnóstico cuando ésta falla. Por ejemplo en el análisis para determinar las fuentes de perturbaciones y su influencia en la vibración de la máquina donde se analiza la vibración que se transmite por el piso, la fuerza de los baleros y los motores hasta la herramienta de corte y pieza de trabajo [4].

En otra aplicación realizaron un experimento en el rotor de un balero que presentaba una falla por la fricción y aplicaron el análisis de vibración con el fin de extraer información que ayudara a diagnosticar la falla [5]. También se ha abordado la problemática de la vibración generada cuando la herramienta entra en contacto con el material a remover

en un proceso de corte ortogonal. Cuando el proceso no está bajo control conduce a un deterioro tanto de la parte a manufacturar como de la máquina y la herramienta de corte. Proponen un modelo para el análisis de la vibración al momento de realizar la operación de corte [6].

En otro trabajo aplican el análisis de la vibración como herramienta predictiva para el control de la calidad de los baleros para llantas de automóvil. Específicamente aplican el análisis de la vibración en una línea de producción de alto volumen compuesta por máquinas rectificadoras similares de alta precisión. La problemática que atacan es el defecto que puede afectar el comportamiento del vehículo y confort del pasajero [7].

La máquina de corte por plasma X-Y se encuentra en el laboratorio de Automatización de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Actualmente se encuentra en desarrollo y ha sido motivo de otros proyectos que van desde análisis de vibración, análisis del ensamble, reducción de emisión de ruido, entre otros [8, 9, 10].

En el año 2013 se realizaron dos proyectos que modificaron la estructura del eje X, además del sujetador de la antorcha. Al colocar el eje y sujetador de antorcha rediseñados se planteó la necesidad de realizar un nuevo estudio de la vibración para compararlo contra el estándar.

La máquina anteriormente tenía la antorcha en una posición fija. Para realizar cambios en la altura de la antorcha se tenían que desajustar un tornillo de la base, mover la antorcha a la posición requerida y atornillar de nuevo. Además del tiempo requerido para realizar el ajuste si la antorcha no se fijaba correctamente podía provocar problemas en el corte.

En la Fig. 1 se puede observar la máquina antes de la modificación del eje X. Se realizaron mejoras en esa parte del equipo colocando un eje rotatorio para ajustar la altura de la antorcha sin necesidad de soltar la antorcha al momento de hacer los ajustes de la altura necesarios para el corte. El nuevo sujetador se puede observar en el detalle del eje X.



Fig. 1. Máquina de corte XY y detalle del eje X.

La evaluación de las vibraciones en las máquinas está regulado por la Organización Internacional de Normalización, de la cual usamos la Norma ISO 2372 y VID 2056, se basa en máquinas con velocidades entre 10 y 200 revoluciones por segundo, esta norma divide en 4 grupos a las máquinas, en la Tabla 1 se listan los niveles de vibración para este tipo de maquinaria [4]. En este caso la máquina de corte queda en el Grupo K, ya que la potencia requerida durante la operación no supera los 15kW y, de acuerdo al estándar, se clasifica dentro del grupo de máquinas pequeñas. Los motores que se usan durante el movimiento coordinado son motores a pasos que operan a una tensión de 24VDC y consumen una corriente nominal de 1.5 amperios por lo que la cantidad de Watts queda por debajo del límite para esta categoría. Cabe mencionar que el generador de plasma no es considerado como parte de la mesa de corte ya que es una unidad independiente y no entra en contacto con la mesa de corte, salvo por el cable y antorcha de salida del plasma.

Estado de la Prueba	Severidad de vibración (mm/s)
Bueno	0.00 a 0.71
Aceptable	0.72 a 1.80
Permitido	1.81 a 4.5
Peligro	Mayor que 4.5

Tabla 1. Grupo K Máquinas pequeñas hasta 15kW.

2. Desarrollo

Se realizó una toma de datos preliminar colocando el sensor del medidor de vibración en tres puntos, uno de ellos ubicados en el soporte del eje X de la máquina y los otros dos en el sujetador de la antorcha. La ubicación fue por conveniencia para colocar el sensor sin que afectara el desplazamiento de la antorcha y asegurar que el sensor no se desprendiera del punto de prueba, durante el tiempo de operación del equipo. En la Fig. 2 se pueden observar los tres puntos de prueba preliminares, junto con el sensor, utilizado durante la toma de datos.

El objetivo de la prueba preliminar fue identificar en cuál de los tres puntos se tenía mayor nivel de vibración y usar ese punto para la toma de datos en el análisis final.



Fig. 2. Puntos usados en la prueba preliminar.

Suponiendo que los datos de la vibración se distribuyen en forma normal, lo que se desea es tener un equipo cuya distribución de probabilidad tenga el 95% hacia la izquierda del valor crítico 4.5mm/s y sólo un 5% a la derecha. En otras palabras, estamos dándole un 95% de oportunidad a la máquina para que se acepte la hipótesis de que el nivel de vibración no supera los 4.5mm/s que marca el estándar. Pero si los datos indican un valor mayor a 4.5 mm/s esto se toma como evidencia de que el equipo no cumple con el estándar.

En la prueba preliminar se optó por una prueba z dado que los tamaños de las muestras en todos los tres puntos de prueba, son mayores a 30. La Fig. 3 muestra el resultado del análisis usando el software Minitab. Todos los puntos de prueba quedan dentro de la distribución deseada pero el punto tres es el que muestra un nivel de vibración mayor.

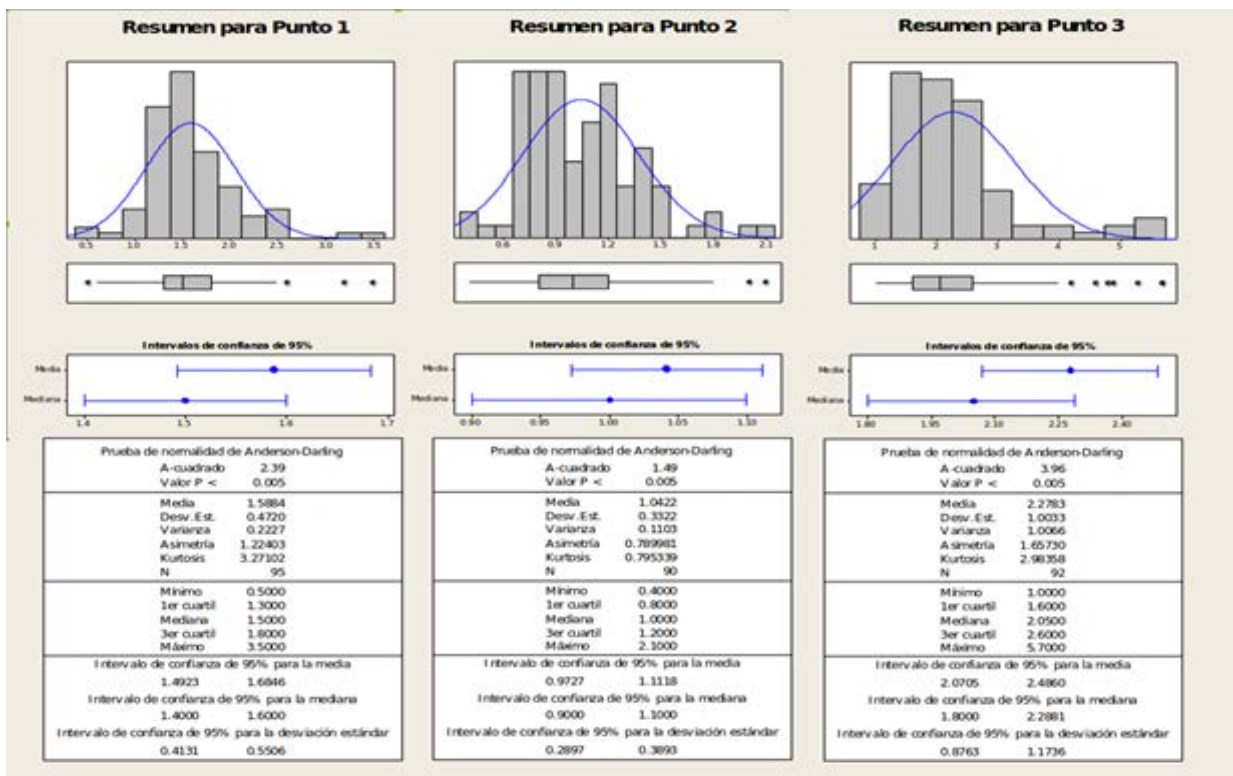


Fig. 3. Análisis de los datos de la prueba preliminar.

Los factores a considerar en el análisis son la velocidad de la antorcha, 760 y 1000 pasos por segundo (pps), el algoritmo para controlar el movimiento coordinado de la antorcha, con interpolación por software y sin interpolación. El tercer factor fue la posición de la pieza a cortar, que el recorrido mayor sea en el eje de las Y (posición vertical) contra que sea en el eje de las X (posición horizontal).

En el caso de la velocidad se consideró la de 760 pps porque es la velocidad usada antes de realizar el remplazo de los componentes rediseñados. 760 pps equivalen a $760(38.1 / 1600)$ igual a 18.0975 mm/s y se incluyó la velocidad de 1000 pps para la prueba final.

Se dibujó el espécimen de prueba, comal, de donde se obtuvo una lista de puntos de control que son los que utiliza el software como datos de entrada para controla el movimiento de la antorcha. En la Fig. 4 se pueden observar las especificaciones básicas del espécimen usado para el experimento, todas las dimensiones están en milímetros. El enfoque en este artículo es en el nivel de vibración, el estudio de si el producto final cumple con las especificaciones dimensionales o no se trata en otra parte.

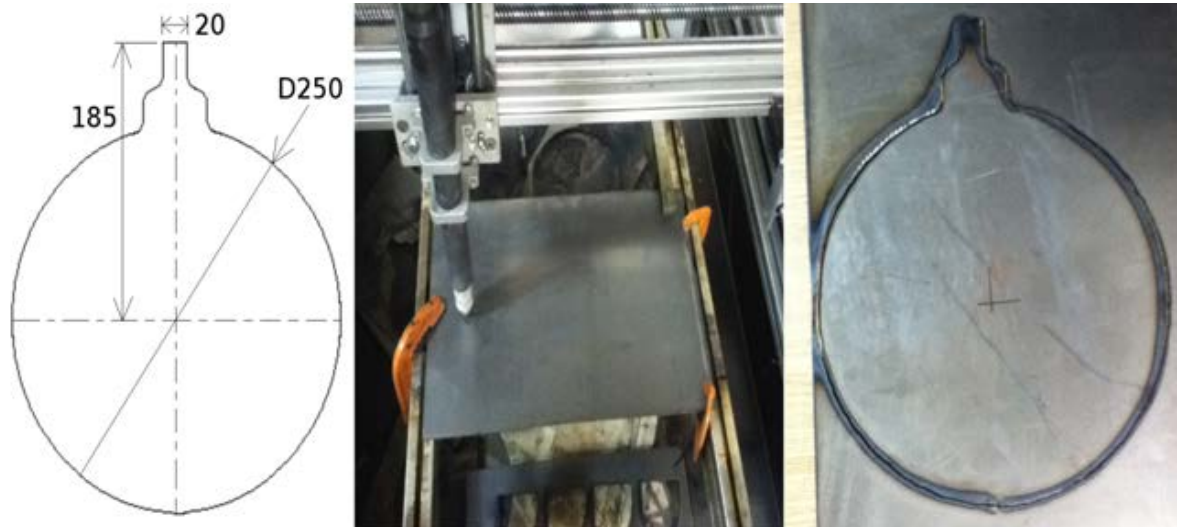


Fig. 4. Especimen de prueba.

En el caso de los dos algoritmos de control, donde uno de ellos calcula las componentes de velocidad y las envía a los controladores de los motores X e Y respectivamente, cada 15 milisegundos. Se consideró que quizás esto podría afectar el nivel de vibración, al estar cambiando constantemente la dirección en lugar de hacerlo cada vez que llega al final de un segmento, de acuerdo a los puntos de control de la trayectoria a recorrer, como es el caso para el algoritmo 2. Los segmentos de las trayectorias son segmentos rectos, en ambos casos.

La Fig. 5 ilustra las observaciones obtenidas en los experimentos, el eje vertical indica la vibración en milímetros por segundo y el eje horizontal es el tiempo. Cada observación se tomó con un intervalo de un segundo. En el caso donde la velocidad es de 1000pps se tienen menos observaciones ya que la trayectoria se recorre en menor tiempo que a 760pps. Se puede observar que hay datos más allá del límite recomendado que es de 4.5mm/s. Sin embargo, hay que analizar estadísticamente los datos observados para confirmar que en verdad esto sea debido a alguno o varios de los factores y no por cuestiones del azar.

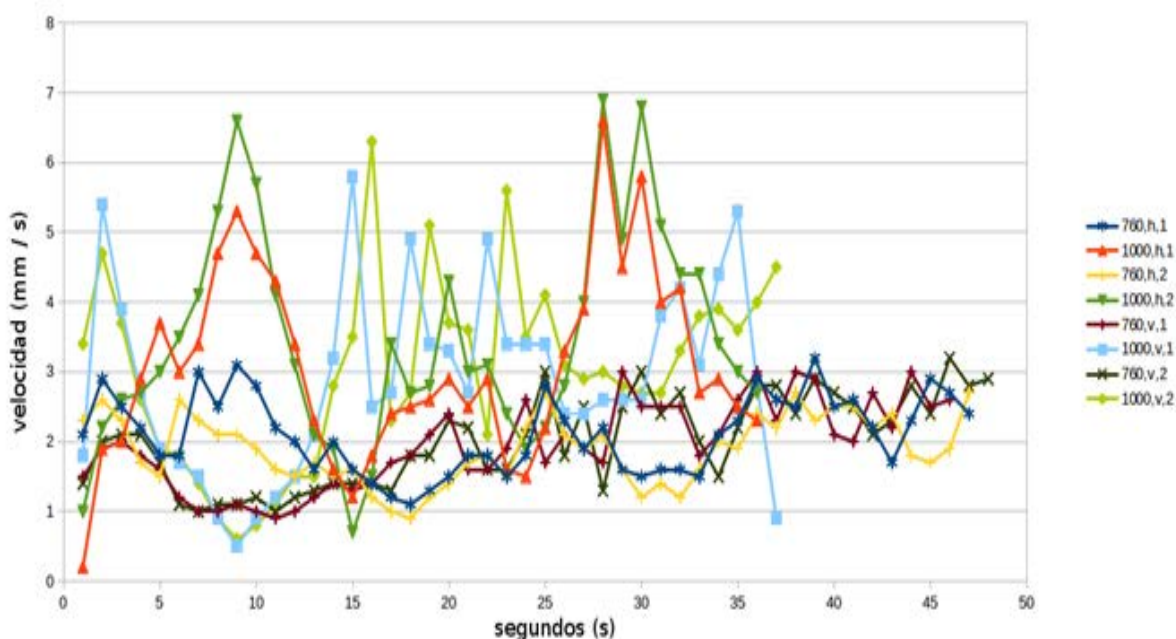


Fig. 5. Observaciones obtenidas del experimento.

3. Resultados

Cada una de las ocho situaciones que se muestran en la Tabla 2 se probó contra el valor de 4.5 mm/s utilizando una prueba z. Para el cálculo de P se usó la prueba z con una media poblacional de 2.85 mm/s y una desviación estándar de 1, de acuerdo a la distribución teórica esperada. El valor P indica el nivel de significancia de los datos observados de tal forma que si el valor P es menor que 0.05 conduce a rechazar la hipótesis de que el nivel de vibración no supera los 4.5 mm/s. En otras palabras, si el valor de P es menor a 0.05 indica que lo que se observó es poco probable que se deba al azar. Sólo en el caso de velocidad 1000pps, algoritmo 2, orientación horizontal se puede considerar que hay evidencia para decir que el nivel de vibración es mayor que 4.5 mm/s.

Velocidad (pps)	Algoritmo			
	1		2	
	H	v	h	v
760	x = 2.1 s = 0.5509 n = 47 P = 0.9999	x = 2.0 s = 0.6192 n = 46 P = 0.9999	x = 1.9 s = 0.4812 n = 48 P = 1.0000	x = 2.0 s = 0.6379 n = 48 P = 0.9999
1000	x = 3.1 s = 1.3496 n = 36 P = 0.1026	x = 2.9 s = 1.3475 n = 37 P = 0.4186	x = 3.5 s = 1.5341 n = 36 P = 0.0001	x = 3.0 s = 1.3277 n = 37 P = 0.1599

Tabla. 2. Análisis de los datos.

Sin embargo con esta prueba no podemos determinar cuál o cuáles de los tres factores influyen en producir un incremento significativo en el nivel de vibración. Se realizó un análisis mediante el uso del software Minitab, esta vez con la opción de DOE con dos niveles, tres factores, completo. Los resultados se pueden observar en la Fig. 6 en donde se puede observar, de acuerdo a los indicadores arrojados por el software, que la velocidad es la causa principal del incremento del nivel de vibración. No se encontraron interacciones significativas entre los factores. Los efectos debido al tipo de algoritmo o posición del espécimen de prueba no son significativos en el nivel de vibración, bajo las condiciones del experimento.

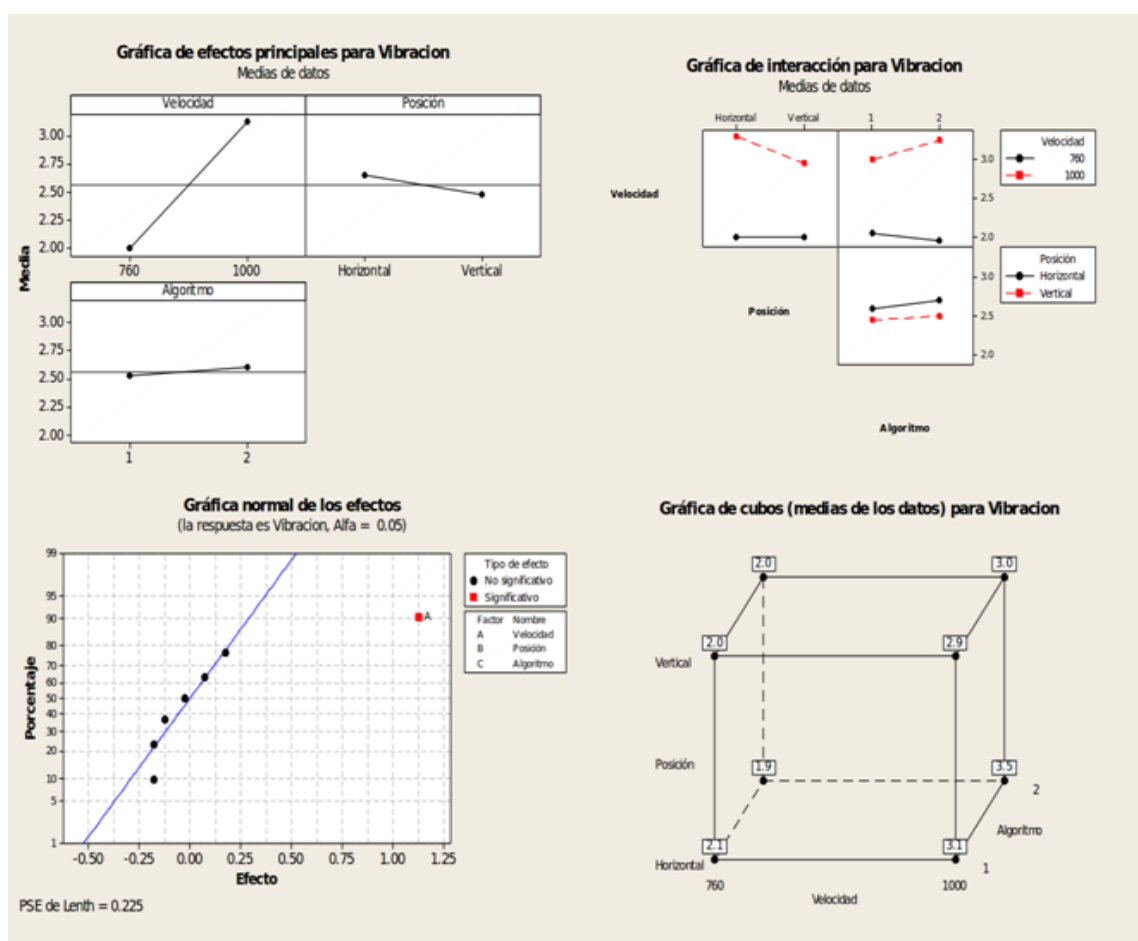


Fig. 6. Vista parcial del análisis DOE.

5. Conclusiones

Esta investigación sirvió para determinar que si la máquina opera a 760pps cumple con la recomendación del estándar ISO 2372 y VDI 2056 referente al nivel de vibración esperado para este tipo de equipo. En otras palabras, los cambios realizados al diseño del eje X y sujetador de la antorcha no tuvieron efecto significativo para que la máquina no esté dentro de la norma. Se determinó que a una velocidad de 1000pps el nivel de vibración sobrepasa lo recomendado por el estándar y que si se quiere alcanzar dicha velocidad habrá que considerar otros factores que quizás ayuden a que la máquina pueda operar a tal velocidad, pero seguir dentro del estándar. En tal caso habrá que considerar modificaciones en el diseño del equipo o probar con otros componentes.

En lo referente a la orientación de la pieza a cortar no se encontró algún efecto significativo en el nivel de vibración. Al igual que el algoritmo usado para controlar el movimiento coordinado de los motores. Existe un rango de velocidad superior a 760pps donde puede operar la máquina sin necesidad de realizar ninguna alteración o rediseño de los componentes pero requiere de más investigación para encontrar el límite de velocidad sin que se vea afectada por un nivel de vibración recomendado por el estándar.

6. Referencias

- [1] G. Bojórquez D., J. Rivera M., M. Chacón M. y M. Carillo R., “Diseño de un sistema para análisis de vibraciones mecánicas como método de mantenimiento predictivo en máquinas rotativas”. *Revista de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación.*, vol. 2. nº 1. 2006. pp. 24-28.
- [2] B. Balachandran y E. B. Magrab. *Vibraciones*. 2006. International Thomsom Editores S. A. México. pp. 1-19.
- [3] Simulador de vibraciones para la realización de mantenimiento predictivo. <http://www.upc.edu/euetib/xiicueet/comunicaciones/din/comunicacions/55.pdf>. Mayo 2014.
- [4] J. Wang, M. Cheuk-Ming. “Adaptive-passive vibration isolation between nonrigid machines and nonrigid foundations using a dual-beam periodic structure with

- shape memory alloy transverse connection”. *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 333, 2014, pp. 6005–6023
- [5] L. Deng, R. Zhao. “A vibration analysis method based on hybrid techniques and its application to rotating machinery”. *Measurement*. Vol. 46, 2013, pp. 3671–3682
- [6] Z. Fu, Z. Xiaoming W. Xuelin, Wenyu Yang. “Analytical modeling of chatter vibration in orthogonal cutting using a predictive force model”. *International Journal of Mechanical Sciences* . Vol. 88, 2014, pp. 145-153
- [7] M. C. Carnero, R. González Palma, D. Almorza, P. Mayorga, C. López Escobar. “Statistical quality control through overall vibration analysis”. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 24, 2010. pp. 1138–1160
- [8] M. M. Hernández Ramos. F. J. López Jáquez. “Mejora del Desempeño de un Equipo de Corte a través del Análisis de Vibración”. VII Semana de Ingeniería Electrónica SENIE 2011. pp. 336-343.
- [9] P. E. López Ríos. F. J. López Jáquez. “Análisis del Ensamble de una Máquina Cortadora de Plasma Utilizando la Metodología de Diseño para Ensamble”. VII Semana de Ingeniería Electrónica SENIE 2011. pp. 344-350.
- [10] H. Olvera Hernández. F. J. López Jáquez. “Análisis y reducción de emisión de ruido en una máquina cortadora de plasma XY”. VII Semana de Ingeniería Electrónica SENIE 2011. pp. 210-216.

7. Autores

M. en I. Ana Janeth Zamora Bolívar obtuvo su título de Maestría en Ingeniería en Manufactura con especialidad en Procesos de producción por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Dr. Francisco Javier López Jáquez obtuvo su título de Ph. D. Por la Universidad de Liverpool y actualmente es profesor investigador en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Dr. Noe Gaudencio Alba Baena obtuvo su título de Ph. D. Por la Universidad de Texas en El Paso y actualmente es profesor investigador en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.