

## ***Implementación de Mantenimiento Predictivo en Johnson & Johnson Utilizando el Método de Análisis de Vibraciones***

*Eduardo R. Hernández Franco  
Programa de Maestría de Gerencia de Ingeniería  
Dr. Hector Cruzado  
Escuela Graduada  
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

---

**Resumen** — *Johnson & Johnson pierde millones de dólares cada año en reparaciones de equipos sofisticados de producción de tabletas. Los costos operacionales, por causa de equipos que fallan inesperadamente, han sido un impacto económico negativo para toda empresa independientemente de su enfoque en el comercio. La causa principal es la falta de mantenimiento predictivo el cual provee las herramientas necesarias para detectar signos no visibles, ni audibles, con procesos que monitorean las máquinas y van identificando si la condición del equipo es estable o no. Se encontró que implementando un mantenimiento predictivo, en este caso usando el método de vibraciones, se pudo aumentar la Disponibilidad y Eficiencia del Equipo logrando así una reducción significativa en costos operacionales y pudiendo predecir cuándo se necesitará reemplazar cierta pieza con tiempo suficiente para planificar y no afectar las proyecciones de producción establecidas por los gerentes generales en el año en curso.*

**Términos Claves** — *Condición de equipo; ISO 2372; velocidades de vibración; vida útil del equipo.*

### **INTRODUCCIÓN**

Johnson & Johnson (J&J) es una empresa que depende de sofisticadas maquinarias para poder producir los diferentes bienes de salud para la venta internacional de sus productos. Aumentar y optimizar la disponibilidad y eficiencia de maquinaria es una necesidad para aumentar el valor de la empresa y poder aumentar el desarrollo de productos para la salud.

El mantenimiento predictivo es la alternativa más viable para reducir los costos relacionados a correcciones de equipos por fallas inesperadas. Las técnicas de un mantenimiento predictivo están diseñadas para ayudar a determinar el estado de los equipos en servicio con el fin de predecir cuándo se debe realizar el mantenimiento. El Mantenimiento Predictivo evalúa el estado de los equipos mediante el monitoreo periódico del rendimiento de máquinas en servicio. Los costos de la inactividad de las máquinas de J&J se están orientando significativamente para que clientes importante exijan mayor tiempo de funcionamiento y acuerdos de nivel de servicio más agresivos. Para el año fiscal 2013, los equipos de producción tenían un valor de \$22,527 millones representando un 61% del valor inmueble de la empresa. El costo relacionado a la pérdida operacional y mantenimiento correctivo por equipos defectuosos asciende a \$3,595 millones representando un 60% de uso del presupuesto para inversiones.

El objetivo de un Mantenimiento Predictivo es realizar un mantenimiento en un punto programado en el momento en que la actividad de reparaciones o reemplazos de piezas sea más costo-efectiva y antes de que el equipo pierda el rendimiento o falle inesperadamente. Los costos relacionados al mantenimiento correctivo son relativamente altos en relación con el presupuesto asignado para inversiones de J&J. La alternativa para tener una mejor eficiencia de equipos de producción, y reducir costos de reparación, es implementar un mantenimiento predictivo. El mantenimiento predictivo es una herramienta sumamente útil para reducir los costos relacionados a correcciones de equipos por fallas inesperadas y una de las técnicas más usadas es el análisis de vibración. El análisis

de vibraciones utiliza el estándar ISO 2372 en el cual presenta ciertas guías de permisibilidad de vibraciones en equipos basado en el tamaño y clasificación de los mismos. Con la ayuda del ISO 2372 se pueden identificar algunas de causas comunes de vibración como desbalance de partes rotativas, des-alineamiento, amortiguadores defectuosos, correas defectuosas, etc. Monitoreando los equipos se pueden detectar estas señales iniciales y prevenir que un equipo falle.

La importancia del Mantenimiento Predictivo es que logra:

1. Reducir los costos de equipo.

En lugar de la sustitución de la totalidad de la pieza de equipo debido a un fallo crítico, se efectúe una reparación antes de la falla y el costo se reduce al mínimo con el precio de los componentes y la mano de obra necesaria para la reparación.

2. Reduce costos laborales.

Cuando las reparaciones están programadas, la cantidad de tiempo necesario para la reparación se reduce debido a un menor número de sustituciones de componentes en lugar de toda la sustitución de equipos. Además, la frecuencia de reparación de falla crítica del equipo se reduce y la cantidad de mantenimiento correctivo se reducirá considerablemente.

3. Reduce tiempo perdido de producción.

El reemplazo de las partes del equipo se programa con la producción para utilizar el mismo tiempo de inactividad programada. El tiempo de inactividad no programado puede costar miles de dólares por hora.

4. Aumenta la seguridad.

Mantenimiento predictivo permitiría que problemas potenciales de seguridad puedan ser arreglados y disminuidos antes de que ocurra una falla, lo que crearía las condiciones de conducción más seguras para los empleados y clientes.

5. Aumenta ingresos.

Con menos mantenimiento en buenos componentes y con reparación más rápida de componentes defectuosos, las reparaciones se pueden manejar con mayor eficacia, reduciendo así el tiempo de reparación.

6. Aumenta la eficiencia del tiempo de empleados.

Mediante la identificación precisa de la tarea de reparación para corregir las deficiencias, así como las piezas, herramientas y el apoyo necesarios para corregir el problema puede aumentar dramáticamente la eficiencia del tiempo de inactividad en las líneas de producción de tabletas.

## REVISIÓN DE LITERATURA

J&J es una de las farmacéuticas internacionales más grandes y exitosas en cuanto a negocios en el área de salud se refiere. Es una empresa en la que se manufacturan diferentes productos para la salud que van desde cremas para la piel hasta pastillas para controlar ciertas enfermedades como el cáncer de próstata. Dado a la reciente recesión económica, los directivos de J&J se han dado a la tarea de cómo poder reducir costos en los cuáles puedan ejercer una ventaja competitiva contra sus competidores internacionales en el mercado; lo que llevó a la gerencia de J&J a revisar el reporte anual del año fiscal 2013.

J&J encontró que los costos operacionales ascienden a una cantidad de \$3,595 millones, cantidad que representa el 61% de uso del presupuesto asignado para inversiones. Esos costos operacionales mayormente son absorbidos por costos asociados a remplazos de equipos, mantenimiento correctivo a los equipos, costos asociados a pérdidas por interrupciones a producción por averías en equipos, etc. El costo operacional está siendo sinónimo de mal funcionamiento del equipo de producción. Los costos de mantenimiento son uno de los mayores factores que afectan el presupuesto de una planta. Es por esto que se contempla, como alternativa el

reducir éstos costos, la implementación el mantenimiento predictivo utilizando el método de análisis de vibraciones.

El objetivo principal de un mantenimiento predictivo es determinar el estado de los equipos en servicio con el fin de predecir cuándo se debe realizar el mantenimiento preventivo o correctivo. El mantenimiento predictivo ha demostrado que logra disminuir los costos de mantenimiento y optimizar el rendimiento de los equipos, reducir los costos laborales y material necesario para las rutinas de mantenimiento preventivo, reducir al mínimo el consumo de energía, aumentar la calidad del producto, aumentar la capacidad de producción, reducir el inventario de piezas de repuesto, proporcionar un rendimiento consistente equipos, proporcionar una producción fiable, aumentar la disponibilidad de los equipos, reducir el tiempo de inactividad, prolongar la vida útil de los activos, reducir los reacondicionamientos, prevenir mantenimiento excesivo y daños colaterales del mantenimiento correctivo, mejorar la asignación del tiempo de personal y mejorar la programación de la reparación [1].

El análisis de vibraciones es uno de los métodos más comunes y utilizados dentro del mantenimiento predictivo. Usualmente, las vibraciones son una excelente señal de un aviso previo indicando que un equipo está deteriorándose. Las causas comunes de vibración son desbalance de partes rotativas, des-alineamiento, amortiguadores defectuosos y correas defectuosas [2]. El análisis de vibraciones es una técnica que ayuda a las empresas a medir el nivel de vibración de un equipo y poder compararlo con las métricas establecidas por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO por sus siglas en inglés). “ISO” ha establecido el estándar “ISO 2372” en el cual indica una serie de estándares y guías para monitorear las vibraciones basadas en la clasificación de los equipos y sus tamaños mostrando cuatro clasificaciones de equipos, varios niveles de severidad de vibraciones y el rango en la cual las vibraciones son permitidas para cada clase de equipo [3]. Las métricas establecidas por el “ISO

2372” son cruciales para la evaluación de la operación de equipo actual en J&J ya que se podrá establecer el rango de severidad que opera cada equipo y así poder predecir y evitar un posible fallo en los mismos. Las fallas en los equipos ocasionan retrasos en las producciones resultando en costos excesivos a la planta en el intento por recuperar el tiempo perdido, y por consecuencia pérdida también de las ganancias. El mantenimiento predictivo puede reducir los riesgos de falla de equipos y pérdida de producción y aumentar la disponibilidad y eficiencia total de las máquinas. Existen métricas para evaluar la eficiencia total actual en una planta y poder evaluar en que rango de efectividad se está produciendo. Una manufacturera puede comparar su Eficiencia Total de los Equipos (ETE) utilizando unas métricas establecidas por diferentes expertos a nivel mundial. Las métricas varían en un rango de 40%, 60%, 85% y 100%. Una puntuación del 60% en la Eficiencia Total de los Equipos (ETE) es bastante típico de manufactura discreta, pero indica que hay margen de mejora ya que tiene un 40% de pérdida de eficiencia. Un ETE de 85% es considerado como una manufacturera de clase mundial y buena producción. Un ETE de 40% no es nada raro para las empresas que están empezando a realizar una evaluación de sus operaciones y estén evaluando como mejorar su rendimiento de producción. Es una puntuación baja y en la mayoría de los casos se puede mejorar fácilmente a través de medidas directas. La meta de toda empresa debe ser un ETE de 100% que significa producción perfecta; fabricación de sólo buenas partes, lo más rápido posible, sin tiempo de inactividad [4].

Con la información que existe actualmente se tienen las herramientas necesarias para poder realizar un ejercicio en el cuál se le presentaría a J&J el posible escenario que se encontraría la planta al implementar un mantenimiento predictivo. Los beneficios del mantenimiento predictivo no sólo se basan en bajar costos operacionales. Al tener una mayor disponibilidad y eficiencia de equipos se logra tener un valor añadido que otras empresas no tienen lo que brinda más confianza a

los bonistas e inversionistas a obtener más acciones de J&J aumentando así su valor en el mercado internacional.

### ANÁLISIS

Un análisis de vibraciones utiliza el estándar ISO 2372 en el cual presenta ciertas guías de permisibilidad de vibraciones en equipos basado en el tamaño y clasificación de los mismos. La Tabla #1 muestra los rangos permisivos de velocidad de vibración de los equipos por pulgadas por segundos (in/s) dependiendo su clasificación.

**Tabla 1**  
**Velocidades de Vibración**

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816					
Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71		good	
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80		satisfactory	
	0.18	4.50			
	0.28	7.10		unsatisfactory	
	0.44	11.2			
	0.70	18.0			
	0.71	28.0		unacceptable	
	1.10	45.0			

El equipo de monitoreo utilizado fue el “Vibration Data Logger PCE-VM 5000”. Con este equipo se pudo obtener las diferentes rangos de vibraciones de las partes rotativas de la máquina para compararlos con los rangos de la Tabla 1 lo que brindará una información preliminar del rango de vibración de la máquina. Los rangos están desglosados entre vibración buena, satisfactoria, insatisfactoria e inaceptable.

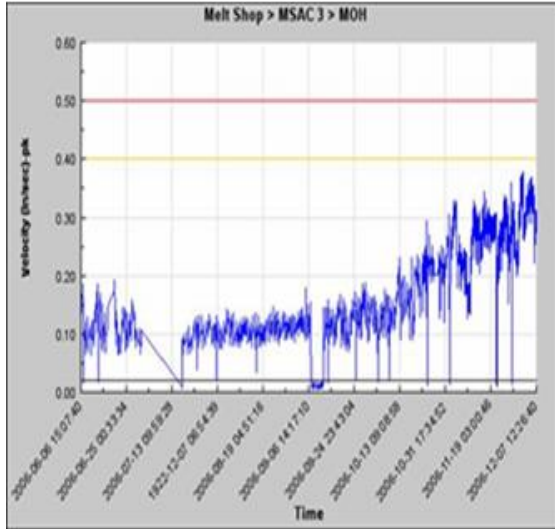
Con la velocidad de vibración que se obtiene del “Vibration Data Logger” también se puede obtener una posible condición de equipo lo que ayudará a tener un perfil aproximado e inmediato de la máquina. La Tabla 2 muestra los rangos en que varían las velocidades y la aproximación de la condición actual del equipo.

**Tabla 2**  
**Efectos de la Vibración en un Equipo**

Velocidad de Vibración <i>(pulgadas por segundos “pps”)</i>	Condición de Equipo
0.15 pps (o menos)	Nivel de poca fuerza, vida útil de 10 a 16 años mínimo con lubricación adecuada.
0.30 pps	Se duplica la fuerza normal. Vida útil se disminuye por un factor de 8 (1.5 a 2 años con lubricación adecuada).
0.60 pps	Nivel de esfuerzos muy alto. Vida útil de equipo de 6 a 8 semanas. Nivel de fuerza suficientemente alto para romper la superficie de tensión del aceite y causar lubricación inefectiva.
0.90 pps	Nivel de esfuerzos extremos. Equipo se daña con cada revolución. Vida útil de 3 días a 2 semanas.

Realizando un itinerario en el cual se establezcan las fechas en que se estarán monitoreando los equipos y documentando las diferentes medidas de vibraciones, se puede desarrollar una gráfica de tendencias en las que se puede observar el comportamiento de la máquina, su condición al momento del monitoreo, sus variaciones en vibraciones, etc.

La Figura 1 es un ejemplo de una monitoreo de velocidades de vibraciones de una máquina en lapso de 6 meses.



**Figura 1**  
Tendencia de Vibración en Compresor de Máquina de Tabletas

Cuando se observa una tendencia de aumento de vibración buena a insatisfactoria en el rango de la máquina según el ISO 2372 es que se debe planificar una revisión de las partes rotativas comunes en desgastarse, cambio de lubricantes, cambios de correas, etc. Documentando las fechas de monitoreo, las velocidades medidas, la tendencia de las velocidades, observaciones visuales e indicando si hay aumento crítico en las vibraciones se pueden planificar mantenimientos preventivos y correctivos de forma que minimice el impacto a la producción de tabletas y disminuir costos excesivos debido a fallas inesperadas. Es crucial documentar también las acciones correctivas tomadas para evitar redundancias de trabajos o equivocaciones en las futuras reparaciones.

## RESULTADOS

La disponibilidad de una máquina en J&J se calcula a base del tiempo de operación neto propuesto para el año 2013. La fórmula es:

$$\text{DISPONIBILIDAD} = \text{Tiempo de Operación} / \text{Tiempo Neto Disponible (TND)} \quad (1)$$

Dónde;

$$\text{TND} = \text{Tiempo Total Disponible} - \text{Tiempo de Inactividad Planeado} \quad (2)$$

El Tiempo Total Disponible (TTD) que una máquina de hacer tabletas debe operar en J&J es 16 horas diarias por 6 días a la semana. Esto resulta en 4,992 horas de TTD. El Tiempo de Inactividad Planeado (TIP) asignado por J&J es de 128 horas. Por lo tanto:

$$\text{TND} = 4,992 - 128 = 4,864 \text{ horas para el año 2013} \quad (3)$$

$$\text{El Tiempo de Operación (TO)} = \text{TTD} - \text{TIP} - \text{Tiempo De Inactividad No Planeado (TINP)} \quad (4)$$

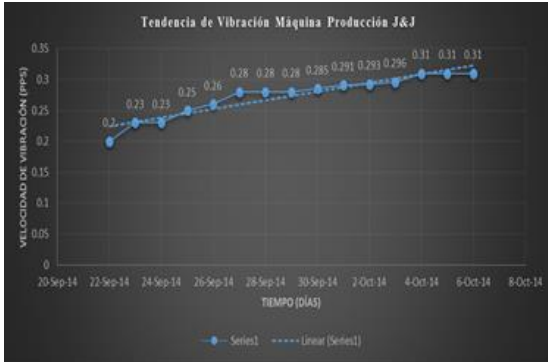
El TINP para el año 2013 fue de 813 horas. Con esta información el siguiente paso es calcular la Disponibilidad del Equipo para el año 2013 utilizando la ecuación (1) hasta la ecuación (4);

$$\text{DISPONIBILIDAD} = [4,992 - 128 - 813] \text{ horas} / 4,864 \text{ horas} \quad (5)$$

$$\text{DISPONIBILIDAD} = 0.83 = 83\%$$

Para mejorar la Disponibilidad actual se necesita reducir las fallas inesperadas. Durante la segunda y tercera semana de septiembre de 2014 se implementó el mantenimiento predictivo en una de las máquinas de producción de tabletas. El método seleccionado para realizarlo fue la técnica de análisis vibratorio. El equipo de monitoreo que se utilizó fue el “Vibration Data Logger PCE-VM 5000” con un costo aproximado de \$2,000.00 y 2 libras de peso lo que lo hizo muy práctico y manejable para utilizarse en las áreas rotativas e incómodas de medir en la máquina de producción. Con este equipo se midieron los diferentes rangos de vibraciones de las partes rotativas de la máquina para compararlos con los rangos del ISO 2372 y representar las vibraciones en gráfica. En la última semana de Septiembre de 2014 y primera de

semana de Octubre 2014 se realizó la fase de pruebas (toma de vibraciones en el equipo de producción de tabletas mediante modelaje) durante 14 días consecutivos. La Figura 2 muestra los resultados obtenidos.



**Figura 2**  
**Tendencia de Vibración Máquina de Producción en J&J**

El motor de la máquina de producción de tabletas es de 13,000 Watts y necesita un voltaje de 240 lo que bajo la clasificación del ISO 2372 cae en Clase IV. Comparando los resultados obtenidos con la Tabla #1, la máquina actualmente se encuentra en el rango de una velocidad de vibración satisfactoria (0.30 pps o menos). Para una persona no calificada, o con poca experiencia en mantenimiento predictivo, puede significar erróneamente que la máquina está en buen estado ya que la máquina aún se encuentra en el rango satisfactorio. Pero, al analizar la Figura 2, se observa una tendencia en el aumento de la velocidad (línea entrecortada) lo que significa que la máquina gradualmente está siendo sometida a diferentes esfuerzos teniendo un valor inicial de 0.20 pps hasta un valor de 0.31 pps. Al comparar esta tendencia con la Tabla 2, la condición actual de la máquina es que está entrando al rango de condición de equipo donde los esfuerzos normales se duplican (en comparación con un estado de velocidad “bueno” según el ISO 2372), la vida útil disminuye en un factor de 8 lo que resulta en una vida útil de 1.5 a 2 años. El estado de condición actual de la máquina concuerda con la Tabla 1 de Velocidades de Vibración ya que el valor de 0.31 pps es el valor que representa una transición entre

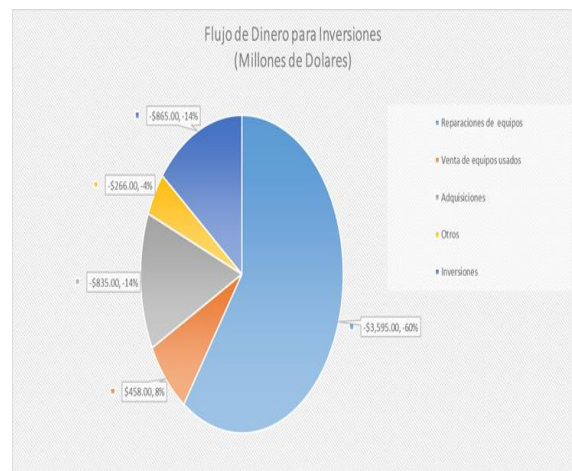
velocidad de vibración satisfactoria hacia una velocidad de vibración insatisfactoria.

### CONCLUSIÓN

La causa principal de tener una Disponibilidad de Equipo de 83% es el fallo inesperado de distintas partes de la máquina. Muchas veces las partes afectadas no se encuentran localmente, ni fabricadas, y puede tomar hasta 15 semanas en poder llegar a la planta de J&J. En una empresa donde se producen tabletas 7 días a la semana, tener que detener la producción por 15 semanas significa una reducción económica de gran escala.

Un porcentaje de Disponibilidad de 83% se traduce en menos producción, menos venta de producto, incumplimiento de proyecciones de producción, menos ganancias, y lo más preocupante, posible pérdida de clientes. El objetivo principal para implementar el mantenimiento predictivo es aumentar la Disponibilidad de Equipo entre un rango de 90% a 93%, lo que a su vez representaría una reducción notable en los costos asociados a la reparación de equipos.

En la Figura 3 se muestra el impacto económico del mantenimiento correctivo en el presupuesto de J&J establecido para inversiones en el 2013.



**Figura 3**  
**Flujo de Dinero para Inversiones (Millones de Dólares)**

Las consecuencias del impacto económico afecta el presupuesto para desarrollar y mejorar distintos departamentos como los de Investigación y Desarrollo, Proyectos Capitales, Mejoras a Equipos y Facilidades, Desarrollo de Nuevos Productos, Recursos Humanos, Programas de Adiestramiento a Empleados, etc. Debido a la alta economía que se está invirtiendo en el mantenimiento correctivo cada vez es menos lo que se le asigna a cada departamento para mejorar y desarrollar sus operaciones.

La causa principal de tener una Disponibilidad de equipo de 83% es el fallo recurrente de distintas partes de la máquina. Muchas veces las partes afectadas no se encuentran localmente, ni fabricadas, y puede tomar hasta 15 semanas en poder llegar a la planta de J&J. La meta principal para implementar el mantenimiento predictivo es aumentar la Disponibilidad de Equipo entre un rango de 90% a 93%, lo que a su vez representaría una reducción notable en los costos asociados a la reparación de equipos.

## **REFERENCIAS**

- [1] Weir Oil & Gas, "Vibration Analysis", Predictive Maintenance, Vol. #23, 2008, 1.
- [2] Stephens, M. P., "Predictive Maintenance", Productivity & Reliability Maintenance Management, 4<sup>th</sup> Ed., 2010, 87.
- [3] International Organization for Standardizations (ISO), "Mechanical Vibration of Machines with Operating Speeds from 10 to 200 rev/s", ISO 2372, 1Ed., Rev. 1995.
- [4] Vorne Industries, "OEE Metrics", Lean Production, 2010.