

## Estudio de las vibraciones generales presentes en las plataformas metálicas industriales.

Raúl Baqués Merino <sup>1</sup>  
Arlién Rodríguez Betancourt <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores, La Habana, Cuba.

**Resumen:** **Introducción.** Se considera la necesidad de prevenir los peligros sobre la seguridad y la salud de los trabajadores expuestos a las vibraciones generales (VG) en las plataformas metálicas industriales (PMI) y proponer medidas de evaluación y control especiales para ellas. **Objetivos.** Analizar la peligrosidad de las VG en las PMI según la intensidad y distribución espacial del riesgo y la potencia motora instalada. **Materiales y Métodos.** Se emplearon tres dosímetros Tipo 4447 con sus accesorios. Con una metodología heurística se establecieron las semejanzas constructivas para el análisis comparado de las magnitudes medidas. Se aplicaron los procedimientos de la ISO 2631-1, -2 y del documento EN 14253, y criterios heurísticos de ensayo-error. **Resultados.** Se elaboró una versión de la norma ISO citada para la evaluación de las VG en las PMI. Se establecieron las consideraciones de semejanza estructural necesarias para la intercomparación de las mediciones. Se propuso un tipo nuevo de análisis empírico – analítico de las magnitudes A (8) y VDV (8) para prevenir los peligros de las VG asociados a la potencia instalada. Se comprueba que las PMI con más de 100 MW de potencia instalada extienden los riesgos a todas sus áreas de trabajo y generan una elevada peligrosidad de accidente. Se comprueba el peligro que representan en estas estructuras las ondas de impacto. **Recomendaciones.** Sustituir la norma cubana de evaluación de las VG vigente por el nuevo documento elaborado. Promover la certificación de las PMI respetando las normas de salud y seguridad en el trabajo.

**Palabras claves:** vibración, vibraciones generales, plataformas metálicas, plataformas industriales, riesgos físicos.

### I. INTRODUCCIÓN

La exposición a las vibraciones se ha convertido en un tema actual de investigación en las ciencias de la salud, en particular en la salud ocupacional. Desde mediados del siglo XIX la humanidad ha mantenido un aumento sostenido del empleo de la combustión de materiales orgánicos y de la generación de electricidad que genera como subproducto la vibración del suelo y de las estructuras sólidas, con efectos particularmente nocivos en las industrias para la seguridad y la salud de los que trabajan en ellas.

El factor de riesgo que generan las vibraciones en las superficies de un puesto o de un área de trabajo se considera ya internacionalmente no solo un peligro de accidente potencial sino como riesgo a la salud del trabajador que permanece durante un tiempo prolongado expuesto a estas vibraciones <sup>(1)</sup>. Por el daño potencial que pueden introducir en la población laboral las estructuras metálicas industriales pueden ser consideradas edificaciones de alto riesgo de exposición a vibraciones y requieren de una preocupación diferenciada por parte del personal de salud y de las gerencias empresariales, por este motivo se realizó este estudio sobre el nivel de riesgo que puede generarse en estas estructuras tomando en cuenta la potencia instalada en las mismas.

## II. OBJETIVOS

Valorar la relación que pudiera existir entre la potencia motora instalada en las Plataformas Metálicas Industriales (PMI) y el riesgo potencial de exposición a Vibraciones Generales (VG) mediante métodos cualitativos y cuantitativos en tres PMI diferentes aplicando los criterios integrales de evaluación establecidos en una versión modificada por el Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores (INSAT) de la Norma ISO 2631-1, -2. <sup>(2-3)</sup>

## III. MATERIALES Y MÉTODOS.

**Instrumento de medición.** Se emplearon tres dosímetros de vibración de la marca danesa Brüel & Kjaer, (Human Vibration Analyzer Type 4447) con su correspondiente acelerómetro Triaxial tipo Sead Pad. <sup>(4)</sup>

**Métodos.** Se seleccionaron tres industrias donde se emplean PMI estructuralmente semejantes en el proceso de producción, y donde los procesos productivos y la potencia motora instalada eran significativamente diferentes (con casi un orden decimal de diferencia entre las mismas). Se realizó un estudio heurístico cualitativo para determinar las condiciones de semejanza y un estudio de 4 magnitudes higiénicas normadas por ISO para la evaluación de las áreas de trabajo afectadas por vibraciones generales. Las inferencias fueron una derivación de las comparaciones cualitativas y cuantitativas entre estructuras y áreas de trabajo.

**TLV: Valores Máximos Admisibles y Valores de Acción.** Los Valores Límites Umbrales (TLV- por sus siglas en inglés) propuestos por la ISO fueron utilizados como parámetros (VA y VMA) en las comparaciones del presente estudio. <sup>(2-3)</sup>

**Tabla 1. VMA y VA que fueron aceptados como TLV en las evaluaciones cuantitativas.**

TLV para 8 horas de exposición	Ac Z (RMS)	VTV (RMS)	Pico (Z)	MTVV (Z)	VDV (Z)	A (8)
<b>Valores de Acción (VA)</b>	<b>0.50</b> <b>m/s<sup>2</sup></b>	<b>0.50</b> <b>m/s<sup>2</sup></b>	<b>4.50</b> <b>m/s<sup>2</sup></b>	<b>1.00</b> <b>m/s<sup>2</sup></b>	<b>9.00</b> <b>m/s<sup>-1.75</sup></b>	<b>0.50</b> <b>m/s<sup>2</sup></b>
<b>Valores Máximos Admisibles (VMA)</b>	<b>1.15</b> <b>m/s<sup>2</sup></b>	<b>1.15</b> <b>m/s<sup>2</sup></b>	<b>10.4</b> <b>m/s<sup>2</sup></b>	<b>2.30</b> <b>m/s<sup>2</sup></b>	<b>21,00</b> <b>m/s<sup>-1.75</sup></b>	<b>1.15</b> <b>m/s<sup>2</sup></b>

Fuente: Elaboración de los autores

**Calidad de diseño de las PMI.** Se realizó una idealización geométrica de cada una de las PMI tomando en cuenta las características físicas que le son comunes como sistemas estáticos. Los pisos metálicos fueron evaluados para derivar comparaciones de datos por semejanza estructural.

## IV. RESULTADOS

### 1. Valoración cualitativa organoléptica.

Las tres PMI estudiadas tienen semejanzas estructurales y características constructivas análogas: armaduras ortogonales conformadas por vigas I, pisos ligeros construidos con planchas metálicas o por rejillas, circulación vertical del aire por convección a través de la estructura, y un empleo combinado de pernos y de la soldadura termoplástica en los empalmes.

Las tres estructuras seleccionadas difieren bastante en su longitud, en su ancho y en su altura lo que le otorga propiedades diferenciadas de resonancia acústica. No obstante, pudimos establecer que a los efectos de la transmisión de las vibraciones existe una analogía estructural entre las PMI que permite comparar los valores medidos de aceleración de las vibraciones en las áreas de trabajo situadas sobre ellas.

**Tabla 2: Potencia instalada en las PMI.**

Planta	Potencia instalada en la PMI
Destilería de Ron	=> 10 – 20 MW
Planta de Procesamiento de Minerales	=> 30 – 60 MW
Termogenerador de Termoeléctrica	=> 150 – 250 MW

Fuente: Elaboración de los autores.

Se puede considerar, a priori, que la Destilería de Ron y la Planta de Procesamiento de Minerales son procesos industriales de potencia media, porque las fuentes de vibración instaladas sobre sus PMI tienen menos de 60 MW de potencia.

La Termoeléctrica, estudiada tenía una potencia instalada en una de sus PMI superior a los 200 MW, según el régimen de eficiencia en el que estaba trabajando el Termogenerador Eléctrico situado sobre ella. Cuando se realizaron las mediciones este equipo, el solo, estaba generando 165 MW. Este tipo de actividad industrial trabaja generalmente con valores de potencia extremos y se puede considerar como un proceso industrial típico de alta o muy alta potencia. Se pudo comprobar mediante observación organoléptica que las vibraciones en esta PMI siguen patrones de propagación muy diferentes a los de las otras dos industrias estudiadas y se pudo inferir por observaciones de terreno que es la alta potencia instalada la causa fundamental de que el riesgo de VG en esta estructura se extiende y se generaliza por todas las áreas.

Pudimos comprobar también organolépticamente que en las dos industrias consideradas de potencia media no se empleaban los anclajes amortiguadores en los equipos generadores de vibraciones instalados, de esta forma la exposición de los trabajadores es una responsabilidad de la imprevisión inicial en la etapa de diseño y posteriormente de la calidad del trabajo del área de salud y seguridad de la entidad. Consideramos que de realizarse de manera obligatoria las certificaciones ambientales, de seguridad y de higiene del trabajo en estas estructuras estos problemas encuentren un método de control.

Se percibe organolépticamente que la consecuencia inmediata de la imprevisión en el diseño respecto al control de las vibraciones en las tres PMI es el evidente deterioro de la estructura y las huellas destructivas del fenómeno en forma de grietas y roturas en paredes, columnas y empalmes. Era evidente que los problemas de mala instalación de los equipos son una combinación de desconocimiento por los diseñadores de la PMI sobre el control del riesgo de vibraciones y por supuesto, de una baja percepción del riesgo de las autoridades de salud y seguridad de las empresas estudiadas.

En cambio, el termogenerador si fue instalado con un sistema de anclaje adecuado a sus características mecánicas, pero los campos vibracionales generados en todas las áreas de trabajo de la estructura no fueron objeto de una investigación para garantizar un control adecuado del riesgo en las mismas. A este equipo, además se le diseñó un sistema antivibratorio en su base para fortalecer el aislamiento a las vibraciones entre el piso y los anclajes, y se pudo observar “in situ” que las medidas aplicadas para el control del factor de riesgo eliminaron la propagación de vibraciones generales de impacto, pero fueron insuficientes porque no lograron eliminar la propagación de los otros tipos de vibraciones generadas.

Es perceptible organolépticamente la presencia generalizada en las tres PMI del “ruido estructural” que es un fenómeno indeseable que coloca las instalaciones de este tipo bajo riesgos de accidentes o derrumbes de altas proporciones.

## 2. Análisis empírico – analítico. <sup>(5)</sup>

**El nivel de exposición, A(8).** Con ayuda de la medición de A(8), se pueden prevenir los efectos fisiológicos nocivos de las vibraciones contantes que reciben los trabajadores expuestos al riesgo.

**Figura 1. PMI en una Destilería de ron. Piso de chapas de acero.**



Tabla 3: Valores medios de exposición por planta.		
<b>Planta</b>	<b>Área afectada</b>	<b>A (8)</b>
Destilería de Ron	50 %	<b>0,58</b>
Procesamiento de minerales	34 %	<b>1,5</b>
Termoeléctrica	100 %	<b>1,0</b>
<b>Valor de Acción</b>		<b>0.41 m/s<sup>2</sup></b>
<b>Valor Máximo Admisible</b>		<b>0.95 m/s<sup>2</sup></b>

Fuente: Materiales de la investigación suministrados por los autores.

La medición de los valores A(8) trata de prevenir los efectos nocivos en la salud que son atribuibles a la energía mecánica acumulada en el cuerpo humano. Al comparar los valores medios de A(8) de las mediciones realizadas en las tres plantas (ver tabla 3), se observa que los valores medios de las tres plantas superan el VA, pero en la termoeléctrica esto ocurre en el 100 % de todas las áreas de trabajo situadas en la PMI, luego la alta potencia instalada justificaría la imposibilidad de controlar la propagación del riesgo hacia toda la estructura.

No obstante, el mayor riesgo de exposición lo presenta la Planta de Procesamiento de Minerales con un valor de exposición medio general de 1,5 m/s<sup>2</sup>. Este valor supera no solo el VA que previene los efectos inmediatos y la fatiga física sino que incluso supera el VMA que es de 0.95 m/s<sup>2</sup>, ajustado a exposiciones de 12 horas el VMA propuesto internacionalmente de 1,15 m/s<sup>2</sup>. Esto denota una muy baja percepción del riesgo de exposición en las autoridades de esta industria y baja educación en materia de seguridad industrial al ignorar el peligro que representan estos valores como causa de accidentes por el potencial destructivo de este fenómeno al propagarse las vibraciones mecánicas con elevadas intensidades como ruido estructural. Las mediciones corroboran las conclusiones organolépticas.

El Transiente (MTVV) y el valor de dosis (VDV). Con ayuda de las evaluaciones cuantitativas en las áreas de trabajo del MTVV y el VDV se trató de prevenir el alto riesgo que constituyen los impactos y las vibraciones conformadas por trenes de ondas fluctuantes y de choque. Los valores del MTVV fueron empleados como indicadores de la nocividad potencial de los trenes de las ondas fluctuantes y la dosis VDV fue el parámetro para prevenir los efectos a largo plazo sobre la salud de los trabajadores expuestos a ondas de choques o vibraciones de impacto.

**Figura 2. Centrífuga sobre una PMI, piso tipo rejilla, en una Planta de Procesamiento de Minerales.**



Fuente: Materiales de la investigación suministrados por los autores.

En la tabla 4 se observa que este tipo de vibraciones tiene un comportamiento muy diferente a las vibraciones constantes que se evaluaron en la tabla anterior. Aunque todavía el termogenerador extiende la contaminación con trenes de ondas fluctuantes hasta el 42 % de todas las áreas de trabajo de esta

PMI, no existe ninguna contaminación por ondas de impacto en la misma. Este riesgo no existe en esa instalación industrial lo cual reduce mucho el peligro que representa el ruido estructural que este tipo de ondas provoca y elimina prácticamente los riesgos de derrumbes parciales en las estructuras y los accidentes potenciales causado por este riesgo. Se puede atribuir la ausencia de este riesgo a que los termo-generadores eléctricos son equipos de movimiento rotatorio continuo que no provocan impactos durante su funcionamiento y que el anclaje del equipo es adecuado para prevenir la propagación de este tipo de ruido estructural, lo cual es tecnológicamente un elemento de calidad en el diseño de la estructura y reduce el peligro que representan los accidentes por roturas en las turbinas de alta potencia.

**Tabla 4: Valores medios del Transiente y de la dosis de exposición por planta.**

<b>Planta</b>	<b>Área afectada</b>	<b>MTVV Z</b>	<b>Área afectada</b>	<b>VDV (8) Z</b>
Destilería de Ron	22 %	0,94	22 %	<b>9,53</b>
Procesamiento de minerales	36 %	<b>5,34</b>	27 %	<b>13,0</b>
Termoeléctrica	42 %	<b>1,05</b>	0 %	2,21
<b>Valor de Acción</b>		<b>1,00 m/s<sup>2</sup></b>	<b>8,22 m/s<sup>-1.75</sup></b>	
<b>Valor Máximo Admisible</b>		<b>2,30 m/s<sup>2</sup></b>	<b>21,00 m/s<sup>-1.75</sup></b>	

En la tabla 4 se puede observar también que las plantas con potencia media presentan áreas contaminadas con vibraciones fluctuantes, pero la destilería de ron registró un 14 % menos de áreas contaminadas con este tipo de fenómenos que la planta de minerales, además los valores medios de todas las áreas de trabajo de la destilería no son peligrosos, no superan nunca el VMA y superan solo en algunas áreas el valor de acción. La planta de minerales, en cambio, tiene el 36 % de las áreas de trabajo contaminadas con vibraciones fluctuantes y el valor medio del Transiente duplica el VMA, lo que le adjudica un elevado peligro a las áreas de trabajo que incluye un elevado peligro de derrumbe de las estructuras por el impacto de los trenes de ondas mecánicas.

Se recomienda la certificación de las normas de salud y seguridad vinculadas a las vibraciones generales de todas las PMI de nuestro país desde las etapas de puesta en marcha y de manera periódica durante su explotación. <sup>(6)</sup>

## V. CONCLUSIONES

La alta potencia instalada en las PMI es la causa fundamental de que en estas estructuras se extienda y se generaliza por todas las áreas de trabajo el riesgo de Vibraciones Generales.

En las dos industrias de potencia media no se empleaban los anclajes amortiguadores en los equipos generadores de vibraciones instalados, de esta forma la exposición de los trabajadores es una responsabilidad de la imprevisión inicial en la etapa de diseño y posteriormente de la calidad del trabajo del área de salud y seguridad de la entidad.

Se percibe organolépticamente la imprevisión en el diseño de las PMI que permiten la aparición de las huellas destructivas del fenómeno en las estructuras en forma de grietas y roturas, y la exposición del trabajador en áreas poco protegidas por medidas de control sobre las plataformas.

Es perceptible la presencia generalizada del “ruido estructural” que es un fenómeno indeseable que coloca las instalaciones de este tipo bajo riesgos de accidentes letales y de altas proporciones.

Los valores medios de A(8) en las tres plantas superan el VA, pero en la termoeléctrica esto ocurre en el 100 % de todas las áreas de trabajo situadas en la PMI, luego la alta potencia instalada justificaría la imposibilidad de controlar la propagación del riesgo dentro de la estructura.

La planta de minerales tiene el 36 % de las áreas de trabajo contaminadas con vibraciones fluctuantes y el valor medio del Transiente (MTVV) duplica el VMA, lo que le adjudica a este tipo de vibraciones un elevado peligro en muchas de las áreas de trabajo y en particular lo cual representa un elevado peligro de derrumbe de todas las estructuras por el impacto de los trenes de ondas mecánicas.

Se recomienda la certificación de las normas de salud y seguridad vinculadas a las vibraciones generales de todas las PMI de nuestro país desde las etapas de puesta en marcha y de manera periódica durante su explotación.

## VI. REFERENCIAS

1. ISO 8041: 2005. Human response to vibration.
2. ISO 2631 -1:1997. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole –body vibration – Part 1: General requirements.
3. ISO 2631 -2:1997. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole –body vibration – Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz).
4. EN 14253 Mechanical vibration – Measurement and calculation of occupational exposure to whole-body vibration with reference to health – Practical guidance.
5. White, G., Introducción al Análisis de Vibraciones. Por Glen © 1990 -2010 – Azima DLI – Washington DF.
6. Griffi, M. J., "Vibraciones". Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. OIT. Ed. española, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998. Parte 6. Capítulo 50. [https://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS\\_162039/lang-es/index.htm](https://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_162039/lang-es/index.htm)