

Artículo original

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS
VIBRACIONES GENERALES
PRESENTES EN PLATAFORMAS
METÁLICAS INDUSTRIALES SOBRE
ESTRUCTURAS DE VIGASCOMPARATIVE STUDIES OF THE
GENERAL VIBRATIONS OF
INDUSTRIAL METAL PLATFORMS
OVER BEAM STRUCTURES

Raúl Baqués Merino^{1,3*}  <https://orcid.org/0000-0002-3336-0251>
Arlién Rodríguez Betancourt^{1,3}  <https://orcid.org/0000-0003-3683-5889>
Ibis Avila Roque^{1,3}  <https://orcid.org/0000-0003-3342-2675>
Meylin Panol Quintana^{2,3}  <https://orcid.org/0000-0002-0312-7301>
Minerva Alonso Boffil^{2,3}  <https://orcid.org/0000-0001-7014-8092>
Lerán Ronni Fernández Serrano^{1,3}  <https://orcid.org/0000-0003-3035-2616>

¹Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores. La Habana, Cuba.

²Hospital Clínico Quirúrgico Docente "Julio Trigo López". La Habana, Cuba.

³Universidad de Ciencias Médicas de La Habana. Cuba.

*Autor para la correspondencia: baques@insat.sld.cu

Resumen

Introducción: Se realizaron estudios de las vibraciones que se generan en las plataformas metálicas industriales para prevenir la peligrosidad del riesgo en la salud de los trabajadores expuestos e identificar las áreas y puestos de trabajo que requieren de medidas de control especial desde la etapa de diseño.

Objetivos: Analizar la peligrosidad que representa la propagación de las vibraciones generales en las plataformas metálicas industriales y valorar la distribución del riesgo según la potencia motora instalada en ellas.

Métodos: Se emplearon tres dosímetros de vibración de la firma danesa Brüel & Kjaer, (Human Vibration Analyzer Type 4447) con el correspondiente acelerómetro triaxial tipo Sead Pad. Los estudios fueron evaluaciones de riesgo para un análisis comparado de estas vibraciones en las áreas de trabajo de tres diferentes plataformas metálicas industriales que incluyó procedimientos de ensayo-error para los ajustes necesarios en las mediciones de terreno.

Resultados: La norma modificada de la ISO 2631-1,-2 aplicada para la evaluación de las vibraciones generales sustituyó adecuadamente a la norma cubana NC 19-01-05 vigente, y permitió prevenir el riesgo de exposición a vibraciones no constantes y de impacto, así como los potenciales efectos nocivos generados por las ondas de choque que no se detectan con la metodología establecida en la norma cubana.

Conclusión: La propagación de ondas de choque en estas plataformas dependió de la potencia de la maquinaria instalada y por tanto para el control del riesgo se requiere de un diseño adecuado para estas estructuras.

Palabras clave: vibración; vibraciones generales; plataformas metálicas; plataformas industriales; riesgos físicos

Abstract

Introduction: Studies of the vibrations generated in industrial metal platforms were carried out to prevent danger of risk to the health of exposed workers and to identify the areas and workstations that require special control measures from the design stage.

Objectives: To analyze the danger posed by the propagation of general vibrations in industrial metal platforms and to assess the risk distribution according to the motor power installed in them.

Methods: Three vibration dosimeters from the Danish firm Brüel & Kjaer (Human Vibration Analyzer Type 4447) were used, with the corresponding triaxial accelerometer of the Sead Pad type. The studies were risk assessments in view of a comparative analysis of these vibrations in the working areas of three different industrial metal platforms that included trial-error procedures for the necessary adjustments in the field measurements.

Results: The modified standard ISO 2631-1,-2 applied to the assessment of general vibrations adequately replaced the currently valid Cuban standard NC 19-01-05, and allowed preventing the risk of exposure to nonconstant and impact vibrations, as well as the potential harmful effects generated by shock waves not detected with the methodology established in the Cuban standard.

Conclusion: The propagation of shock waves in these platforms depended on the power of the installed machinery; therefore, in order to control the risk, an adequate design for these structures is required.

Keywords: vibration, whole body vibrations, metallic platform, industrial platform, physical risk.



Introducción

Antecedentes

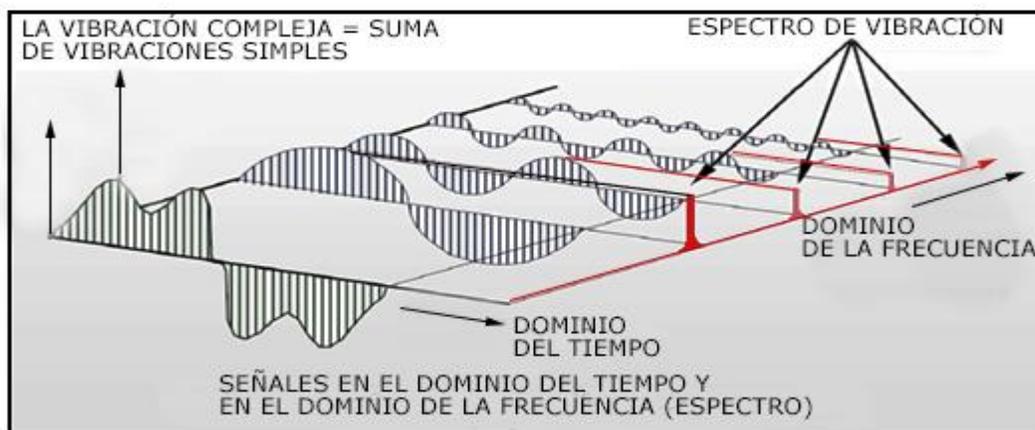
La exposición a las vibraciones se ha convertido en un tema actual de investigación en las ciencias de la salud, en particular en la salud ocupacional (SO). También la importancia de estudiar otros factores de riesgo asociados a las vibraciones, como el ruido y el calor, ha ido creciendo debido al descubrimiento paulatino de daños sobre la salud de muchos de aquellos trabajadores que por el tipo de ocupación que desempeñan, están de manera continua u ocasionalmente recibiendo los vertimientos innecesarios de la energía mecánica en sus diferentes formas o manifestaciones. 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, en particular, desde la época de la Revolución Industrial con la aparición de la máquina de vapor primero y finalmente con la combustión nuclear en el siglo XX, con lo que se ha multiplicado muchas veces la energía presente en las actividades laborales y hoy la energía artificialmente generada en cualquier actividad laboral puede ser miles de veces superior a la empleada cuando la actividad se realizaba de forma manual.⁽¹⁾

O sea, que con la creación de las tecnologías de Combustión Interna (Ciclo *Otto*) y de *Diesel*; y con el empleo de la electricidad, en el siglo XX, como fuerza motriz fundamental en los procesos productivos, la energía artificial (no animal) involucrada en los mismos ha crecido con celeridad año tras año. Hoy se comienza a entender en los sectores gerenciales que existe un impacto nocivo en el ambiente laboral debido a los residuos que esta energía vierte en forma de vi-

braciones, ruido y calor, por lo que los empleadores están adquiriendo empíricamente una percepción sobre el riesgo que representan estos residuos en la salud de los trabajadores expuestos, y en particular, se están creando modelos de evaluación para prevenir los potenciales daños y controlar los vertimientos residuales entrópicos industriales.⁽¹⁾

Fundamentos teóricos

El factor de riesgo que generan las vibraciones en las superficies de un puesto o de un área de trabajo aparece como riesgo a la salud de un trabajador cuando este recibe una parte de esta energía artificialmente generada sobre todo su cuerpo o sobre parte de él. Si la energía se transmite en forma de vibración a todo el cuerpo del trabajador como factor de riesgo, en la normativa nacional e internacional dedicada a la salud y la seguridad del trabajo se le denomina: Vibración General o de cuerpo entero, en lo sucesivo VG. La evaluación objetiva de la energía vibrante involucrada y su potencial nocividad descansa en la teoría mecánica clásica de las oscilaciones; en ellas se supone que la vibración es un movimiento transversal o longitudinal de las oscilaciones de las moléculas de un sólido alrededor de un centro virtual de masas. Debido a las propiedades elásticas de algunos sólidos el sonido y los choques generan un conjunto de ondas mecánicas que viajan a través del material por medio de oscilaciones, generalmente, el fenómeno aparece con ondas que viajan en trenes de diferentes frecuencias. La figura 1 muestra el fenómeno físico de una vibración compleja que se desplaza en una superficie como una vibración transversal.



Fuente: Material docente, Física General.

Figura 1

Esquema de la descomposición espectral de una vibración en sus armónicos simples.

Generalmente los efectos nocivos de los fenómenos vibratorios se han correlacionado con la acumulación

de la energía mecánica que arriba en determinado intervalo de tiempo al cuerpo de la persona; y la me-

dicina del trabajo al estudiar los efectos nocivos de las vibraciones, sobre la salud de los trabajadores expuestos, ha sugerido diferentes modelos higiénicos para la prevención de los daños fisiológicos a través de la medición de los valores efectivos de la aceleración de las vibraciones en la superficie de contacto entre el cuerpo humano y el cuerpo externo por donde se introducen las vibraciones en el trabajador expuesto. Estos modelos higiénicos clasificados como “Criterios de evaluación” son los que permiten evaluar el grado de riesgo y tomar las medidas preventivas necesarias para reducir o eliminar los daños potenciales que genera la exposición.⁽²⁾

El criterio higiénico de evaluación que se emplea en las investigaciones y que se referencia en el presente artículo se le denomina “Criterio Integral de Evaluación de las Vibraciones Generales”, la ISO 2631 le denomina: *Evaluation of human exposure to whole-body vibration*,^(3,4) cuyo objetivo es la prevención de los efectos nocivos que provocan las vibraciones sobre el tronco, la cabeza y los órganos interiores de los trabajadores cuando permanecen de pie o sentado sobre plataformas vibrantes, o sobre los asientos de los equipos de carga o transporte pesados. El criterio supone que el daño fisiológico que se recibe es direc-

tamente proporcional a la energía mecánica que se recibe en forma de vibración, aunque las manifestaciones del daño fisiológico pueden estar asociadas a la composición espectral de los trenes de ondas vibrantes que el trabajador recibe en un intervalo de tiempo.^(5,6)

Cuando los efectos nocivos de las VG aparecen ante una exposición al factor de riesgo de menos de 5 minutos, estos se pueden considerar como inmediatos (tabla 1), y el riesgo puede ser controlado bajo la consideración de que el trabajador se enfrenta a un peligro o a un accidente potencial, la nocividad de la exposición dependerá de la intensidad de cada una de las frecuencias presentes en las áreas de contacto y de la energía total absorbida por el cuerpo humano. La resiliencia y la vulnerabilidad en cada trabajador expuesto van a depender también de la susceptibilidad individual al riesgo, por esto las medidas de control se deben tomar inmediatamente sobre el trabajador dañado. La detección de efectos fisiológicos nocivos agudos inmediatos de la exposición a las VG en algún trabajador debe conllevar a la evaluación especializada del puesto o área de trabajo con la aplicación de la normativa nacional vigente para la prevención de este riesgo.^(7,8)

Tabla 1
Efectos fisiológicos agudos inmediatos de las vibraciones generales según la frecuencia predominante

Efectos nocivos esperados	Frecuencias (Hz)
Malestar en general y respuestas de ansiedad	1 a 3
Interferencia con la respiración	1 a 4
Contracciones musculares	4 a 8
Dolor en el pecho y en el abdomen	4 a 10
Síntomas en mandíbula inferior	6 a 8
Dolor de espalda	8 a 12
Tensión muscular y ocular, dolor de cabeza y dificultades al hablar	10 a 20
Fatiga, insomnio, dolor de cabeza y temblores	20 a 80

Fuente: https://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_162039/lang-es/index.htm⁽⁸⁾

Los efectos nocivos de las VG por exposición prolongada al factor de riesgo, generalmente cuando la exposición supera un año (tabla 2), pueden aparecer en los trabajadores que en un área o puesto de trabajo no reciben la protección adecuada y no tienen una percepción del riesgo que los alerte sobre el deterioro paulatino de su salud. La detección de efectos fisioló-

gicos nocivos de las VG por exposición a largo plazo en algún trabajador potencialmente expuesto debe conllevar a la gerencia empresarial a solicitar la evaluación especializada del puesto o área de trabajo por los laboratorios de higiene del trabajo para la aplicación inmediata en estos de la normativa nacional vigente para la prevención de este riesgo.^(1,6)

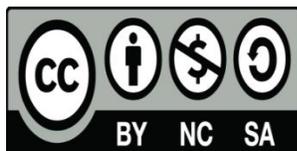


Tabla 2
Los efectos nocivos de las vibraciones generales según la banda de frecuencias predominantes por exposición a largo plazo

Efectos nocivos esperados	Frecuencias (Hz)
<ul style="list-style-type: none"> • Alteraciones degenerativas en ligamentos, músculos, cápsulas articulares, discos intervertebrales y vértebras • Trastornos en la visión • Síndrome doloroso de espalda baja (insuficiencia muscular) 	0 a 20
<ul style="list-style-type: none"> • Hernias, protrusiones y degeneración precoz a nivel discal (espondilosis deformante, osteocondrosis intervertebral) • Alteraciones degenerativas en huesos del pie • Bursitis isquioglútea (el dolor se presenta en la tuberosidad isquiática y glúteo mayor, con irradiación perineal) 	20 a 60
<ul style="list-style-type: none"> • Afecciones oculares mecánicas: desprendimiento de la retina, cataratas, etc. • Disfunciones cardiovasculares, neurovegetativas, endocrinas • Síndrome neurológico periférico • Incremento de los umbrales vibratorios, táctiles y térmicos, alteraciones patológicas de los nervios (neuropatía por vibración) 	60 a 80

Fuente: https://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_162039/lang-es/index.htm⁽⁸⁾

La evaluación ambiental de las VG aplicando los criterios integrales de evaluación de los factores de riesgo permite prevenir los efectos nocivos que estos factores pueden ocasionar a la salud de los trabajadores expuestos en las actividades laborales. La normativa ISO a que se hace referencia en este trabajo propone limitar fundamentalmente la intensidad de la vibración (aceleración efectiva) y proporciona los Valores Máximos Admisibles (VMA) para evitar exponer al trabajador a un daño fisiológico, y también permite limitar la exposición sin protección a valores que puedan provocar efectos temporales o fatiga física a los que le denomina Valores de Acción (VA). La presente investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento especialmente peligroso de las VG en las Plataformas Metálicas Industriales (PMI) aplicando los criterios integrales de evaluación ambiental de este factor de riesgo, establecidos en una versión modificada por el Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores (INSAT) de la Norma ISO 2631-1,-2,^(3,4) y valorar el papel que la potencia motora instalada en las PMI representa en el riesgo de exposición a VG mediante un método comparativo simple de los datos medidos durante la evaluación cuantitativa de las áreas de trabajo y estableciendo inferencias cualitativas simples que permitan la recomendación de métodos estandarizados de control del riesgo de VG en estas estructuras.

Métodos

Instrumento de medición

Dosímetros de vibración de la marca danesa *Brüel & Kjaer*, (*Human Vibration Analyzer Type 4447*) con su correspondiente acelerómetro triaxial tipo *Sead Pad*.

Magnitudes físicas medidas para la evaluación de la exposición

Las evaluaciones se realizaron en las áreas y puestos de trabajo y los dosímetros se colocaron directamente en las superficies de las áreas y de los puestos de trabajo seleccionados en las PMI que se emplean en las tres industrias estudiadas.

Las vibraciones se evaluaron como VG con el empleo de las mediciones realizadas acorde a lo establecido en la ISO 2631-1:1997,⁽³⁾ orientando la posición de los tres ejes coordenados del sensor de acuerdo a los ejes ortogonales del cuerpo humano normados en el documento citado.

Las ondas físicas pueden ser caracterizadas mediante la energía que son capaces de transportar por el medio en que se propagan; no obstante, conocer directamente el valor de esta energía es generalmente difícil en condiciones experimentales y se acostumbra a identificar una magnitud que está asociada a la propagación de la onda y que sea fácil de medir directamente para conocer los efectos nocivos que la energía de una onda pudiera estar provocando en los seres humanos expuestos. Esta magnitud debe garantizar una equivalencia directa con la energía que porta el fenómeno ondulatorio. Al valor de la Raíz Media Cuadrática (RMS - *Root Mean Square*) de los valores instantáneos medidos en esta magnitud se le denomina valor efectivo o eficaz, en lo sucesivo Vef. En las vibraciones mecánicas en los sólidos se acostumbra a medir el valor RMS de los valores instantáneos de la acelera-

ción de la vibración como valor eficaz de la onda: a (RMS). Como la vibración es una magnitud vectorial, se pueden conocer los valores RMS en las tres dimensiones x , y , z del espacio euclídeo y el del módulo del vector identificado como Valor Total de la Vibración (VTV).

$$A_x(8) = a_x \cdot 1,4 \sqrt{\frac{T_{exp}}{8 \text{ horas}}}$$

$$A_y(8) = a_y \cdot 1,4 \sqrt{\frac{T_{exp}}{8 \text{ horas}}}$$

$$A_z(8) = a_z \sqrt{\frac{T_{exp}}{8 \text{ horas}}}$$

Las evaluaciones se realizaron para la propagación de las vibraciones transversales sobre las planchas metálicas que conforman los pisos y por esto en las tablas se seleccionaron solo los valores del eje z : a_z . Y por la valoración del valor modular del vector VTV en las tablas del presente estudio.

La magnitud higiénica fundamental que fue empleada para evaluar el grado de exposición a las VG fue el valor de exposición diaria $A(8)$.

$$A(8) = \max [A_x(8), A_y(8), A_z(8)]$$

Se realizó en el estudio el análisis del comportamiento de los trenes de vibración con componente de choque o impulso con ayuda del criterio de evaluación MTVV normado en la ISO 2631.^(3,4)

Y finalmente se aplicó el criterio de evaluación del valor de dosis de vibración (VDV) para una exposición de ocho horas diarias de trabajo y particularizado con los valores de los trenes de ondas que se propagan como oscilaciones transversales medidos mediante VDV (z). El VDV fue calculado ponderado con el filtro W_d , donde para el eje z $k = 1,0$, y como se observa en la siguiente fórmula el filtro no introduce modificaciones en VDV de este eje:

$$\text{Valor de la dosis de vibración} = \text{VDVi}(8) = \left[\int^T k a(t)^4 dt \right]^{1/4},$$

T= 8 horas y k= 1,0 para i= z

Se midieron, además, los valores de las raíces medias cuadradas de las ondas armónicas simples en que se descompuso la aceleración de la vibración instantánea con ayuda del filtro W_d , (a (RMS)), así como el valor modular del vector de la aceleración representado en

las tablas como el Valor Total de la Vibración (VTV (RMS)).

La evaluación del VDV se realizó mediante la identificación de los valores significativos en las áreas de trabajo que serán considerados como aquellas donde registraron valores de pico (V_p) por encima de los umbrales.

El Criterio de Evaluación del VDV se puede emplear para prevenir los efectos nocivos instantáneos en la fisiología de las personas expuestas a VG, o sea, previene un tipo de accidente que provoca la energía de impacto en el cuerpo humano cuando se propaga como vibración mezclada con los trenes de ondas de las oscilaciones armónicas simples de la vibración convencional.

Tipos de muestreos empleados en el estudio

En la investigación se tuvo en cuenta para el muestreo el principio que *a priori* ubica el instrumento de medición en el punto más vulnerable en cada área de trabajo, o donde se selecciona la actividad laboral de mayor posibilidad de exposición a las VG, definida esta vulnerabilidad por su posición espacial respecto a las fuentes generadoras. Los aspectos metodológicos de la medición y las recomendaciones necesarias para reducir los sesgos en la manipulación de los instrumentos y en la localización de los puntos de evaluación se hicieron según lo recomendado por la normativa europea más reciente (EN 14253).⁽⁶⁾ que es la metodología recomendada por los fabricantes del instrumento de medición que fue utilizado.

Consideraciones sobre semejanza estructural

Se seleccionaron tres industrias donde se emplean PMI semejantes en el proceso de producción, pero tanto los procesos productivos como la potencia motora instalada difieren significativamente entre ellas. En la tabla 3 se puede observar que la potencia instalada en las industrias seleccionadas para la investigación difiere casi en un orden decimal de potencia, lo cual permitió una comparación entre los datos medidos en ellas y también la inferencia de las propiedades inherentes a los efectos nocivos imputables a la potencia, independientemente de las medidas de control tomadas para impedir la propagación de las vibraciones.

La posibilidad de realizar inferencias mediante la realización de estudios comparativos descansó en la selección de datos medidos bajo consideraciones análogas en las áreas de trabajo situadas sobre las tres



PMI, áreas que se seleccionaron buscando poder independizar los efectos nocivos del tipo de proceso industrial presente en ellas.

En las comparaciones cuantitativas no solo se tuvo en cuenta el resultado de las mediciones de diferentes magnitudes higiénicas, sino también las características técnicas cualitativas específicas de la posición y del tipo de anclaje de las fuentes motoras instaladas en cada PMI.

Valores Máximos Admisibles y Valores de Acción

Los VMA y los VA que se emplearon en las comparaciones del presente estudio (tabla 3) fueron aceptados por las recomendaciones de la Norma Internacional ISO 2631 (1991, 1997),^(1,2) y del documento EN 14253.⁽⁴⁾

Tabla 3
VMA y VA que fueron aceptados en las evaluaciones cuantitativas de las PMI

#		Total Z a (RMS) m/s ²	VTV (RMS) m/s ²	Pico (Z) m/s ²	MTVV (Z) m/s ²	VDV (Z) m/s ^{-1.75}	A (8) m/s
E	Valores de Acción (VA) (para 8 horas de exposición)	0,50	0,50	4,50	1,00	9,00	0,50
Q	Valores Máximos Admisibles (VMA)	1,15	1,15	10,4	2,30	21,00	1,15

Fuente: Elaboración propia.

Las filas E y Q resumen los VMA y VA empleados en las 6 magnitudes higiénicas utilizadas en el estudio y se muestran también al final de cada una de las tablas 5, 6 y 7 donde se muestran aquellas mediciones de terreno que se utilizaron para realizar las inferencias en el presente artículo.

Con ayuda de estos documentos se definió VA de los V_{ef} de la aceleración con los que se previenen los efectos de fatiga fisiológica que limitan la productividad y reducen las capacidades de autoprotección de los trabajadores y los VA de los MTVV y de los VDV que previenen también los efectos psicológicos nocivos que introduce la exposición a VG de impacto que generalmente impiden la concentración mental, generan ansiedad y aceleran la fatiga mental promoviendo la somnolencia involuntaria.

También se definieron los VMA que se aceptan como límites fisiológicos de exposición en el estudio para sujetos humanos sanos con valores más rigurosos que los que tradicionalmente han sido aceptados en la evaluación de este riesgo en Cuba.

Calidad de diseño de las PMI

Se puede formalizar cada una de las PMI como un sistema estático configurado por una estructura metálica ortogonal de vigas I, con pisos conformados por chapas o rejillas metálicas antivibratorias. Los pisos se sitúan dentro de la estructura a diferentes alturas sujetados por las vigas I transversales. Las PMI se sostienen como una maya tridimensional articulada en sus nodos que son ensamblados y soldados, o sujetados con pernos. Por esto se puede considerar que cada PMI es un tipo particular de transductor que convierte parte de la energía que se emplea en el proceso productivo en energía mecánica de vibración y en calor,

lo que permite que las PMI se pueden emplear en los procesos industriales que conectan muchas fuentes motoras entre sí como un mecanismo de amortiguación de los efectos nocivos del ruido, las vibraciones y el calor generados en estos procesos productivos.

En las PMI se pueden instalar también dispositivos amortiguadores para reducir la energía mecánica de las vibraciones que generan las fuentes y perjudica las áreas de trabajo situadas sobre la estructura. No obstante, los diseñadores de las PMI saben que es muy poco probable lograr un diseño que elimine totalmente la vibración mecánica en estas estructuras. Por eso es muy importante para los especialistas de Salud y Seguridad en el Trabajo definir *a priori* la calidad del diseño y la idoneidad de estas estructuras con ayuda de una evaluación integral de los riesgos que en ellas están presentes durante el proceso productivo.

Aun cuando las evaluaciones ambientales en las PMI de algunas industrias se realizan rigurosamente a nivel internacional, por ejemplo, en la industria de extracción del petróleo se evalúa con bastante rigor la calidad de las Plataformas *Off Shore*, la mayoría de las industrias que emplean estos dispositivos subestiman la importancia y la necesidad de realizar las evaluaciones sistemáticas de los riesgos laborales presentes en ellas. En el presente estudio se trató de demostrar que esta actitud es errónea y peligrosa.

Resultados y discusión

Valoración cualitativa organoléptica

La analogía estructural de las áreas de trabajo situadas sobre las tres PMI seleccionadas permitió comparar el comportamiento de la transmisión mecánica de las vibraciones en estas, tomando en cuenta solo las dife-

rencias significativas existentes entre la potencia instalada en cada una de ellas:

Tabla 4
Potencia instalada en las PMI

Planta	Potencia instalada en la PMI (MW)
Destilería de Ron	10 - 20
Planta de Procesamiento de Minerales	20 – 60
Termogenerador Eléctrico de Termoeléctrica	150 - 250

Fuente: Elaboración propia.

Las tres PMI estudiadas tienen semejanzas estructurales y características constructivas análogas: como armaduras ortogonales conformadas por vigas I, pisos ligeros construidos con planchas metálicas, fundamentalmente por rejillas que permiten la circulación vertical del aire por convección a través de ellas y que controlan con bastante eficiencia las vibraciones transversales que se mueven por la estructura, y el empleo combinado de pernos y de la soldadura termoplástica en sus dos versiones más usuales en la industria (la soldadura por arco y la oxiacetilénica) en los empalmes entre las vigas y entre las planchas y las vigas que le sirven de soporte.

Las tres estructuras tienen una altitud que se encuentra entre los 40 y los 60 metros, pero difieren bastante en su longitud y en su ancho, así como en la capacidad energética de los equipos motores instalados sobre ellas. No obstante, cualitativamente se pudieron percibir cambios en la extensión y en la intensidad de las vibraciones de la estructura que eran responsables de la exposición de los trabajadores a VG en las áreas de trabajo donde se encuentran las mismas y que dependen de la intensidad de carga instalada sobre las plataformas.

Se pudo 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. Más del 90 % de la industria a nivel mundial puede considerarse enmarcada dentro de esta categoría de procesos de potencia media o pequeña con una potencia instalada inferior a los 100 MW en sus PMI. La baja potencia instalada facilita la estandarización de los métodos de control recomendados para las PMI, que es uno de los objetivos del presente estudio.

La termoeléctrica estudiada tiene una potencia instalada en una de sus PMI superior a los 200 MW, según

el régimen de eficiencia en el que está trabajando el termogenerador eléctrico situado sobre ella. En el momento de la investigación el equipo generaba 165 MW. Este tipo de actividad industrial es excepcional y se puede considerar como un proceso de alta o muy alta potencia.

Se comprobó mediante observación organoléptica que las vibraciones en la PMI de la termoeléctrica siguen patrones de propagación muy diferentes a los de las otras dos industrias estudiadas porque la alta potencia permite que se extienda y generalice por todas las áreas de la estructura el riesgo de VG.

Los pisos situados a diferentes niveles de altitud respecto al suelo en las tres PMI están comunicados entre sí por escaleras metálicas. En dependencia de la altura y de la posición geográfica de la industria el viento puede llegar a ser momentáneamente el factor de riesgo más importante como generador de vibraciones y de impactos, en particular durante las tormentas tropicales y los huracanes donde algunos elementos pueden convertirse en resonadores y provocar fracturas estructurales y derrumbes.

Se comprobó organolépticamente que en las dos industrias de potencia media no se emplearon anclajes amortiguadores en los equipos generadores de vibraciones y, de esta forma, se subestimaron durante el diseño y en el montaje los riesgos de exposición a las VG. Se pudo comprobar sensorialmente la presencia de las VG y los puestos de trabajo donde los trabajadores reciben la exposición al factor de riesgo directamente de las fuentes generadoras. La imprevisión en el diseño se pudo observar por la ausencia en las fuentes de los calzos amortiguadores necesarios para los anclajes.

El anclaje del termogenerador, que es el equipo más potente dentro de la termoeléctrica, ya que él solo genera más de 10 veces toda la potencia instalada en su PMI, se encuentra ubicado en una posición espe-



cial aislado del resto de los equipos y ocupando el centro del último piso de la plataforma. Este equipo posee un sistema antivibratorio en su base y en sus anclajes, debido a su muy alta potencia los diseñadores tuvieron que tener en cuenta un conjunto de medidas de contención de la propagación de las vibraciones del generador a la estructura. La base, por ejemplo, fue diseñada especialmente con una alta precisión en la alineación y con apoyos especiales para reducir al máximo las transmisiones de las vibraciones. A pesar de las medidas sobre la fuente y sobre el medio sólido de la estructura, el dispositivo propaga energía de vibración sensorialmente perceptible en toda la estructura y en todas las áreas de trabajo de la PMI. Una potencia de esa magnitud hace prácticamente imposible evitar la propagación de las vibraciones en la estructura.

Parece evidente que en el diseño de este tipo de instalación nunca estuvo como objetivo preservar a los trabajadores de la exposición riesgosa a las VG cuando estuvieran trabajando en ellas, y solo se recomienda reducir al máximo la presencia de los mismos en la estructura de la PMI. No obstante, se pudo comprobar que al menos 3 trabajadores tienen que permanecer en la estructura de la PMI en turnos de 12 horas y que es imposible evitar la exposición que reciben al factor de

riesgo a menos que utilicen Medios de Protección Personal contra VG.

Análisis empírico – analítico

Los valores de exposición, A(8)

Con ayuda de la medición de A(8) se pueden valorar los efectos fisiológicos potencialmente nocivos más comunes atribuibles a la energía mecánica acumulada en el cuerpo humano producto de la exposición a VG, aunque los efectos específicos de los trenes de ondas de choque requieren la valoración de otras magnitudes.⁽⁷⁾

Al comparar los valores de A(8), de la última columna de las tablas 5, 6 y 7, que aparecen a continuación, se hace evidente que cuando la potencia instalada crece el porcentaje de las áreas contaminadas con vibraciones que superan los VA y los VMA crece aunque la extensión de esta propagación no se relaciona linealmente con la potencia instalada, lo que permite deducir que las estructuras ortogonales de PMI tienen un evidente efecto amortiguador de las vibraciones mecánicas de las fuentes generadoras muy potentes, por esto son dispositivos recomendables como elementos para el control del riesgo de vibraciones cuando la industria requiere la utilización de altas potencias energéticas en el proceso.

Tabla 5
Mediciones de la Destilería de Ron (10 MW < W < 20 MW)

#	Ubicación del punto de medición	Total Z a (RMS) m/s ²	VTV (RMS) m/s ²	Pico (Z) m/s ²	MTVV (Z) m/s ²	VDV (Z) m/s ^{-1.75}	A (8) m/s
1	Suelo. A 1 m del agitador 1	0,52	0,58	13,30	1,42	23,03	0,52
2	Suelo. A 1 m del agitador 3	0,34	0,46	3,10	0,98	5,42	0,34
3	Suelo. A 1 m de la bomba P05	1,41	8,94	10,89	2,68	33,63	2,00
4	Asiento del operador de control	0,26	0,53	2,62	0,63	4,26	0,40
5	Asiento auxiliar sin amortiguador	0,26	0,26	1,09	0,37	3,67	0,26
6	Suelo. Centro- local de control	0,43	0,54	1,96	0,60	6,28	0,43
7	Asiento del laboratorista	0,41	0,60	2,84	0,91	6,63	0,41
8	Asiento auxiliar para el microscopio	0,42	0,42	3,27	0,77	6,65	0,42
9	Suelo. Centro del Laboratorio	0,41	0,41	1,53	0,54	6,16	0,41
E	VA (para 8 h de exposición)	0,50 m/s²	0,50 m/s²	4,50 m/s²	1,00 m/s²	9,00 m/s^{-1.75}	0,50 m/s²
Q	VMA (para 8 h de exposición)	1,15 m/s²	1,15 m/s²	10,4 m/s²	2,30 m/s²	21,00 m/s^{-1.75}	1,15 m/s²

Nota. Los valores en negrita sobrepasan el VA y las casillas sombreadas contienen los valores que sobrepasan el VMA.

Fuente: Elaboración propia.

En la Destilería de Ron la potencia instalada sobre la PMI era de entre 10 y 20 MW y las áreas de trabajo sobre esta estructura afectadas con valores que supe-

raban el VA era del 20 % del total de todas las áreas, mientras que en el 10 % de estas se superaba el VMA.

Tabla 6
Mediciones de la Planta de Procesamiento de Minerales. (40 MW < W < 60 MW)

#	Ubicación del punto de medición	Total Z a (RMS) m/s ²	VTV (RMS) m/s ²	Pico (Z) m/s ²	MTVV (Z) m/s ²	VDV (Z) m/s ^{-1.75}	A (8) m/s
1	Molino Primario. Piso Superior	0,00	0,00	0,02	0,02	0,05	0,01
2	Área del Molino Secundario. Piso Superior	0,00	0,01	0,20	0,05	0,12	0,01
3	Área del Raymond. Pizarra.	4,68	5,62	14,36	2,35	2,35	5,48
4	Área del Raymond (1 a 3 m)	6,58	13,04	60,42	19,58	50,28	9,69
5	Área del Horno. Quemador	1,49	13,7	9,60	0,34	0,46	0,32
6	Cantera. Taladro - Perforadora	8,70	32,50	30,76	10,62	16,39	27,81
7	Cantera. Pizarra de Control de Perforadora	7,94	9,80	68,93	25,57	72,90	7,94
8	Molino Chino. Próximo a Pizarra de Control	0,07	0,06	0,03	0,02	0,09	0,01
9	Molino Chino. Próximo al envasador	0,08	0,01	0,30	0,09	0,20	0,80
10	Estibador de envase del Molino Chino	0,12	0,01	0,30	0,09	0,20	0,80
E	VA (para 8 h de exposición)	0,50 m/s²	0,50 m/s²	4,50 m/s²	1,00 m/s²	9,00 m/s^{-1.75}	0,50 m/s²
Q	VMA (para 8 h de exposición)	1,15 m/s²	1,15 m/s²	10,4 m/s²	2,30 m/s²	21,00 m/s^{-1.75}	1,15 m/s²

Nota. Los valores en negrita sobrepasan el VA y las casillas sombreadas contienen los valores que sobrepasan el VMA.

Fuente: Elaboración propia.

En la planta de procesamiento de minerales con una potencia instalada sobre la PMI de entre 40 y 60 MW, de hasta el triple de la potencia instalada en la planta anterior, las áreas de trabajo contaminadas con valores de A(8) que superaban el VA fue del 50 % del total de las áreas de trabajo situadas sobre la estructu-

ra (figura 2), mientras que hasta en el 40 % de estas áreas de trabajo los valores de A(8) superaban el VMA. Es evidente que al triplicarse la potencia instalada se triplicó el área contaminada con vibraciones que representan un riesgo de exposición a VG sobre la PMI.



Fuente: Materiales de la investigación suministrados por los autores.

Figura 2

Centrífuga sobre PMI, piso tipo rejilla, en una planta de procesamiento de minerales.

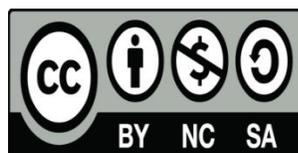


Tabla 7
Mediciones de la termoelectrica (180 MW < W < 200 MW)

#	Ubicación del punto de medición, áreas del termogenerador	Total Z a (RMS) m/s ²	VTV (RMS) m/s ²	Pico (Z) m/s ²	MTVV (Z) m/s ²	VDV (Z) m/s ^{-1.75}	A (8) m/s
1	Área derecha -Pedestal Frontal.	1,09	2,17	7,85	1,82	3,58	1,39
2	Área izquierda-Pedestal Frontal.	1,10	2,96	10,68	2,38	4,26	2,74
3	Pizarra-Cilindro de baja presión	0,68	0,73	1,53	0,70	1,75	0,68
4	Área lateral derecha - Generador	0,56	0,56	1,09	0,57	1,26	0,56
5	Relojes de presión de chequeo	1,26	1,29	3,05	1,59	3,07	1,26
6	Delante de los cabezales	0,18	0,54	0,65	0,26	1,39	0,51
7	Tanque de compensación de Aceite de Sellaje	1,16	1,21	4,14	1,30	3,11	1,16
8	Tanque de vacío del Bloque 2	0,42	0,59	1,31	0,50	1,10	0,42
9	Bomba de Aceite de Sellaje	0,68	1,29	2,40	0,77	1,73	1,10
10	Área de tránsito. Nivel 7.30	1,73	1,93	5,23	2,20	4,52	1,73
11	Centro del cuarto de gases	0,00	0,00	0,22	0,15	0,18	0,00
12	Tanque de Aire y Drenaje de la Turbina	0,23	0,51	0,65	0,37	0,52	0,46
E	VA (para 8 h de exposición)	0,50 m/s²	0,50 m/s²	4,50 m/s²	1,00 m/s²	9,00 m/s^{-1.75}	0,50 m/s²
Q	VMA (para 8 h de exposición)	1,15 m/s²	1,15 m/s²	10,4 m/s²	2,30 m/s²	21,00 m/s^{-1.75}	1,15 m/s²

Nota. Los valores en negrita sobrepasan el VA y las casillas sombreadas contienen los valores que sobrepasan el VMA.

Fuente: Elaboración propia.

En la termoelectrica se realizaron las mediciones con una potencia instalada sobre la PMI de entre 180 y 200 MW, lo que representa también el triple de la potencia instalada en la PMI de la planta anterior; no obstante, no se triplicaron las áreas afectada por el riesgo de VG. Las áreas de trabajo contaminadas con valores de A(8) que superaban el VA fue del 75 % del total de las áreas de trabajo situadas sobre la PMI, mientras que hasta en el 42 % de estas áreas de trabajo los valores de A(8) superaban el VMA. O sea, que al triplicarse de nuevo la potencia instalada respecto a la otra planta referida en la tabla 6 no solo no se triplicó el área contaminada con vibraciones sobre las PMI, sino que incluso las áreas que superaban el VMA fue porcentualmente la misma que la de la otra industria tres veces menos potente.

¿Cómo explicar este comportamiento de la propagación de las vibraciones aparentemente independiente de la potencia instalada?

El termogenerador es el dispositivo que concentraba el 80 % de toda la energía instalada sobre la PMI de la termoelectrica y en sus áreas aledañas. Está situado en el último nivel de la estructura, a 45 metros de altitud respecto al suelo, y posee un diseño excepcional especialmente antivibratorio con anclajes calculados para eliminar la transmisión de las vibraciones de la maquina a la estructura. Desde el diseño original se le colocó debajo de la base del generador una plata-

forma amortiguadora que descansa sobre raíles y calzos amortiguadores de vibración de alta absorción, la base está dotada de dados supermasivos como se recomienda la literatura técnica tradicional para evitar la transmisión de la energía vibratoria desde generadores muy pesados hacia estructuras más ligeras como las que conforman las PMI que sirve de sostén.

A pesar de todas estas medidas técnicas de control del riesgo de vibración se vuelve casi imposible una protección desde la fuente debido a la elevada potencia del dispositivo. Por encima de los 150 MW se vuelve extremadamente costoso la eliminación de las vibraciones estructurales por eso este tipo de instalación industrial siempre va a propagar vibraciones a casi todas sus áreas de trabajo aun cuando solo se registraron efectos cuantitativos nocivos en el 75 % de ellas. La tabla 7 nos infiere a pensar que los dispositivos amortiguadores lograban reducir la peligrosidad de accidentes fisiológicos del riesgo de VG sobre la PMI a solo 42 % de las áreas y puestos de trabajo, donde se superaban los VMA.

No obstante, a pesar del aumento de los riesgos de exposición a VG los diseñadores seguirán apostando por instalar dispositivos de alta potencia como el electro-generador sobre una estructura de PMI porque sobre ellas se optimiza el control de los riesgos de accidentes violentos, de derrumbes, de incendios, de explosiones, etc.

Se puede considerar, entonces, que como en todas las áreas de trabajo de la PMI de la termoeléctrica resulta casi imposible eliminar la exposición a VG, independientemente de las medidas de control técnico que se tomen sobre las fuentes. Entonces, se debe establecer, como reglamento de trabajo que todo trabajador, que se encuentra en ellas debe utilizar obligatoriamente los medios de protección personal que controlan la exposición a VG: las botas y los guantes antivibratorios.

Es importante dentro de la higiene del trabajo que las autoridades de salud ocupacional entiendan la necesidad de que el Ministerio de Salud Pública (MINSAP) certifique previamente la idoneidad de las PMI que se instalen en los procesos industriales, en particular los de alta potencia (más de 100 MW) y que se asesore al personal responsable de la salud y seguridad de estas empresas sobre los riesgos a la salud que introducen las exposiciones no controladas a VG.

Análisis de los Valores Eficaces (Vef).

La tercera y la cuarta columna de las tablas 5, 6 y 7 permitieron realizar un análisis de los efectos nocivos de la energía absorbida por los trabajadores expuestos a VG independiente al análisis anterior que se realizó de la A(8). Los valores a (RMS) que aparecen reflejan el comportamiento de las vibraciones transversales que se mueven por las superficies en el sentido de la normal gravitatoria y que generalmente se identifica con el eje cartesiano z. El módulo de a (RMS) se muestra a través del valor VTV.

En la Destilería de Ron, donde la potencia instalada se encuentra entre 10 y 20 MW, la a (RMS) de las vibraciones transversales superan el VA en el 20 % de las áreas de trabajo, mientras que en el 10 % se superaba el VMA, y los valores y las áreas afectadas coinciden con las áreas del ítem anterior donde se superaba el A(8) (tabla 5).

En la planta de procesamiento de minerales con entre 40 y 60 MW de potencia instalada, con el triple de la potencia instalada en la planta anterior, las áreas de trabajo contaminadas con valores de a (RMS) transversales (z) superaban el VA en el 50 % del total de las áreas de trabajo situadas sobre la PMI. Y en estas mismas áreas los valores superaban el VMA (tabla 6). Se ratificaron, con los valores de esta magnitud, las conclusiones del ítem anterior acerca de que, al triplicarse la potencia instalada, se triplicaba el área contaminada con vibraciones sobre la PMI. No obstante, esta magnitud identificaba las vibraciones transversa-

les como las responsables de la contaminación de las áreas de trabajo; luego, los efectos nocivos que deben ser esperados en los trabajadores expuestos deben ser fundamentalmente patologías osteomioarticulares, en particular, se pueden esperar la presencia de dolores lumbares, pueden incrementarse y aparecer con mayor incidencia, con respecto a la población no expuesta, las enfermedades artríticas o reumatóides en las articulaciones, las fatigas musculares en las extremidades inferiores, entre otras. Se corroboró la necesidad del empleo de zapatos amortiguadores (antivibratorios), una recomendación que va a ser muy importante para el control del riesgo de exposición a VG.

En la PMI de la termoeléctrica las áreas de trabajo contaminadas con valores de RMS transversales (z) superaban el VA en el 75 % del total de las áreas de trabajo, solo en el 25 % de estas áreas de trabajo se registraron valores que superaban el VMA. Todo ello demuestra una coincidencia de los resultados cuantitativos con los obtenidos para A(8) para la propagación de las vibraciones (tabla 7).

Ahora, al analizar el valor del VTV (RMS) se observa un aumento de las áreas que superan el VA respecto a las vibraciones transversales (z) que alcanzó el 92 % de todas las áreas de trabajo de la PMI y los valores con una alta intensidad, o sea, por encima del VMA se registraron en el 50 % de todas las áreas evaluadas. Los datos permitieron concluir que las medidas de control sobre la fuente: los anclajes amortiguados y los dados antivibratorios redujeron significativamente la intensidad de las vibraciones transversales, pero tuvieron un efecto mucho menor en la propagación general de las vibraciones, lo que permitió que estas se propagaran de forma longitudinal. Por lo que el empleo de zapatos amortiguadores (antivibratorios) no es suficiente para el control ante la exposición en estas áreas y se debe proponer una reducción de los tiempos de exposición de los trabajadores a jornadas menores de 8 horas diarias.

Cálculos elementales con los datos de la tabla 7 permitieron justificar jornadas de trabajo en las áreas contaminadas que no superen las 4 horas por jornada diaria de trabajo, independientemente de que se empleen medios de protección individual.

Resulta evidente que al triplicarse de nuevo la potencia instalada no solo no se triplicó el área contaminada con vibraciones sobre las PMI, sino que cambió la calidad de la exposición porque cambió la forma en que se introduce el riesgo en el ser humano expuesto.



Análisis del Valor Medio Transiente de la Vibración (MTVV)

Los trenes de ondas de vibración pueden venir compuestos de ondas de choques que provienen de impactos abruptos que mueven su energía mecánica a través de los sólidos con valores instantáneos de muy elevada intensidad. Para una mejor evaluación del aporte energético que este tipo de ondas realiza en los trabajadores expuestos la norma ISO 2631-1 propone una nueva magnitud fácil de medir en condiciones de terreno que se puede traducir al español como Valor Medio Transiente de la Vibración (MTVV, por sus siglas en inglés).⁽³⁾

Los fabricantes de los vibrómetros, la firma danesa B & K, sugiere que esta magnitud se analice siempre que los valores medidos para la MTVV superen 1,5 veces el valor a (RMS) o el VTV (RMS). En la tabla 3 se muestran los valores VA y VMA calculados para esta magnitud tomando en cuenta que la media armónica que se pretende evaluar es la que adquiere significancia como un momento de cuarta potencia: raíz media cuarta (RMQ, por sus siglas en inglés).

En la tabla 5 se observan tres áreas en la Planta de Ron donde se sobrepasó el VA para el MTVV, con lo que la evaluación cuantitativa identificaba que el tipo de vibración que estaba presente en algunas áreas de trabajo sobre la PMI tiene una composición conformada por trenes de ondas en las cuales están presentes las ondas de choques que provienen de los impactos mecánicos en los dispositivos instalados y se puede evaluar la nocividad de la energía de impacto influye negativamente en la salud de los trabajadores de las áreas afectadas y bajo una exposición a VG que son casi siempre consideradas *a priori* como ondas armónicas simples combinadas.

Un análisis similar de los MTVV en la tabla 6 indica la presencia en planta de procesamiento de minerales de cuatro áreas con ondas de choques significativas donde la presencia de ellas en los trenes de ondas de vibración puede ser peligrosa para trabajadores expuestos en esas áreas a VG. En esas áreas no solo se sobrepasaba los VA, sino que la intensidad de las ondas de impacto superaba los VMA para esta magnitud calculada como un valor RMQ.

La tabla 7 indica la existencia en la PMI de la termoelectrica de cinco áreas con presencia significativa de ondas de choques que superaban el VA y de ellas al menos una con un valor de MTVV que superaba el VMA.

Lo importante de la evaluación de esta magnitud creada para la higiene de las vibraciones es que mediante el análisis de sus valores cuantitativos se está evaluando una característica muy peligrosa de las vibraciones que son los impactos de las ondas de choques de las personas expuestas a VG son absorbidos por partes significativas del cuerpo. Esta forma

con ondas de choque que adopta la propagación de la energía de vibración mecánica puede tener efectos fisiológicos nocivos en las personas que se exponen al fenómeno, en particular, se le adjudican efectos mecánicos potencialmente destructivos sobre algunos órganos interiores que son vulnerables a los golpes como el corazón, el hígado o los riñones que pueden recibir afectaciones inmediatas y hasta letales, pues los trabajadores que tienen ya padecimientos crónicos de base este tipo de exposición pone en peligro su vida de manera abrupta, las personas que tienen ya órganos internos dañados pueden sufrir rupturas de los tejidos y desprendimiento de los órganos, pueden generarse adicionalmente afectaciones en los sistemas vasculares, en la vista, etc.

Análisis del valor de pico (Vp) y del valor de dosis de vibración (VDV)

Como dijimos en el ítem anterior los trenes de ondas de vibración pueden venir compuestos de ondas de choques que provienen de impactos abruptos que mueven su energía mecánica a través de los sólidos con valores instantáneos de muy elevada intensidad (también llamados frentes de onda). Para prevenir de manera más eficiente los daños generados por la energía de impacto que se concentra en el frente de onda la norma ISO 2631-1 propone evaluar el valor de dosis de vibración (VDV), siempre que la medición del Vp sobrepase 9 veces el valor a (RMS).⁽³⁾

Las personas con padecimientos de base, que sean vulnerables a los golpes, no deben transitar por las áreas de trabajo donde existe este tipo de riesgo que viene asociado a la exposición a VG como una manifestación particular de ella. En las áreas donde se sobrepasan los VMA de los VDV el riesgo de exposición se convierte en riesgo de accidente debido a la peligrosidad del daño que ocasiona el impacto sobre el cuerpo receptor de la vibración.

En la tabla 3 se pueden observar que los VA y los VMA que se emplean para analizar la nocividad de la exposición a VG con ayuda de estas dos magnitudes, la tabla muestra valores umbrales para el VDV que no son dimensionalmente compatibles con las magnitudes físicas de la mecánica, con el m/s^{1,75} como unidad de medida.

En la tabla 5 se observan que en dos áreas de trabajo sobre la PMI de la Planta de Ron se sobrepasaba el VA y el VMA para el Vp, y en ellas también se sobrepasaba el VMA del VDV, con lo que la evaluación cuantitativa estaba identificando la presencia en esas áreas de trabajo (figura 3) una exposición a VG particularmente peligrosa por la composición espectral de las vibraciones que manifiestan la presencia de energía de impacto con frentes de onda de choque.

Un análisis similar con los valores de la tabla 6 nos indica la presencia en la Planta de Procesamiento de

Minerales de cuatro áreas con ondas de choques significativas donde la presencia de ellas en los trenes de ondas de vibración sobrepasa el VMA del V_p , y en al menos en dos de ellas se registran valores por encima VMA para el VDV.

La tabla 7, no obstante, aunque indica la existencia en la PMI de la termoeléctrica de un área de trabajo

donde la presencia significativa de ondas de choques sobrepasaba el VMA del V_p , la evaluación en esa área del VDV no registraba valores peligrosos o que signifiquen un riesgo adicional de exposición por presencia en las VG de energía de impacto.



Fuente: Materiales de la investigación suministrados por los autores.

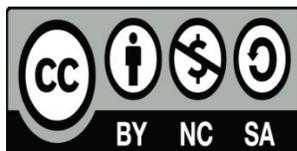
Figura 3

PMI, piso tipo chapa, de una Destilería de Ron.

La magnitud identificada como el V_p mide la mayor intensidad que se genera en una señal donde existen fluctuaciones que “rompen” el comportamiento estable del V_{ef} de una señal armónica, a veces, se puede interpretar como la interferencia de una fuente no deseada. En las vibraciones mecánicas generadas por fuentes que rotan con una velocidad angular constante (motores, generadores, bombas o centrifugas) la interferencia de ondas de choque o impactos suelen ser generadas por ejes torcidos, desgastados, rodamientos cariados y por la presencia de suciedad y poca lubricación en los mecanismos que entran en fricción. Cuando los equipos generadores descansan directamente sobre las PMI sin elementos amortiguadores los V_p se transportan sobre la superficie de las plan-

chas metálicas, o se propagan por las vigas de la armadura acompañando a los valores RMS.⁽⁸⁾

Entonces, sin una adecuada valoración cualitativa de la situación particular de los tipos de equipos instalados en las áreas de trabajo evaluadas no es posible comprender la aparente contradicción que se observa en los valores cuantitativos, estos valores numéricos colocan una planta de procesamiento de minerales, con una potencia 10 o 12 veces menor a una termoeléctrica, bajo una condición de riesgo muy superior a la existente en la termoeléctrica para la exposición a VG. En esta planta los elevados valores del VDV revelan la existencia de áreas bajo condiciones de peligro (figura 4) para la vida de los trabajadores ante la exposición a trenes fluctuantes de vibraciones (impactos) con picos de elevada intensidad.





Fuente: Materiales de la investigación suministrados por los autores.

Figura 4

Evaluación de puestos de trabajo en las PMI, piso tipo rejillas, de una planta de procesamiento de minerales.

Cualitativamente se puede identificar que el tipo de proceso industrial de la planta de procesamiento de minerales es muy diferente al de las otras dos industrias, y que en este proceso se utilizan dos tipos de molinos que están instalados en la PMI principal (molinos de bola y muela) y que son las fuentes que generan los impactos que se transmiten por las estructuras como ondas de choque, lo que provoca un riesgo adicional a la exposición de los trabajadores a VG. En las PMI, donde se encuentran instalados equipos de impacto de alta potencia, debe considerarse obligatorio realizar evaluaciones de la VDV en las áreas de trabajo donde organolépticamente se detecta la exposición a VG.

Elementos comunes en las tres PMI estudiadas

Valoración cualitativa organoléptica

En todos los elementos generadores de VG en las tres PMI, excepto en el anclaje del termogenerador de la termoeléctrica, no se empleaban en los anclajes las correspondientes juntas de amortiguación en los pernos, ni entre las plataformas y los dispositivos vibrantes, o sea, que la mayoría de las fuentes generadoras de vibraciones estaban colocadas directamente sobre las plataformas sin la mediación tampoco de ningún elemento o calzo para la amortiguación. Además, en las tres industrias evaluadas las tuberías y los conductos metálicos que conectan algunas de las fuentes generadoras de vibraciones en las PMI como las centrifugas, o las bombas de agua, se convierten en fuentes secundarias de vibración para la estructura.

Los trabajadores de las tres PMI refirieron que las estructuras metálicas se debilitan (se flexionan o se agrietan) de manera apreciable con bastante frecuencia, y en la PMI de la planta de procesamiento de materiales, por ejemplo, algunas secciones metálicas de las estructuras como las escaleras se pudo observar que se le aflojan con bastante frecuencia los pernos debido a la vibración, lo cual convierte a la vibración en un riesgo de accidente en las áreas de las PMI, además del ser la exposición directa a ellas un riesgo de enfermedad.

El análisis cuantitativo de los VDV confirma que en el estudio de las VG en una PMI se requiere siempre de una evaluación cualitativa previa del tipo de vibraciones presente y de las condiciones de instalación de las fuentes potenciales de generación de las mismas. En las evaluaciones cualitativas no se debe olvidar la posibilidad de que se generen los eventos de riesgo bajo condiciones de multicausalidad que elevan la peligrosidad de la exposición por encima de los resultados cuantitativos del análisis estandarizado.

Es importante tener en cuenta que los riesgos de exposición a las vibraciones generales van acompañados de riesgos de exposición a calor, a ruido y a accidentes, estos últimos asociados a los efectos de las propias vibraciones en las estructuras cuyos impactos pueden provocar rajaduras, derrumbes, destornillamiento de los pernos y un mal funcionamiento de los equipos eléctricos o mecánicos instalados sobre las estructuras. En las PMI las vibraciones generadas por impactos establecen altos riesgos de accidentes letales en las áreas de trabajo.

Comparación de los valores medidos

El estudio comparado de los valores cuantitativos de las diferentes magnitudes que se pueden medir con un dosímetro moderno de vibraciones permite conocer el estado técnico de las PMI para su correcta explotación combinando diferentes tipos de evaluaciones cuantitativas de riesgos con consideraciones cualitativas sobre la higiene de las áreas de trabajo que serán evaluadas.

En las industrias seleccionadas se pudo demostrar que siempre existe el riesgo de exposición a VG en las PMI y que la extensión del riesgo por las áreas de trabajo en ellas no solo depende de la potencia instalada en ellas, sino que también puede depender del tipo de proceso industrial que está presente.

Nuestro estudio corrobora que en los procesos industriales de alta potencia (por encima de los 100 MW) siempre existe un alto riesgo de exposición en todas las áreas de trabajo de la PMI, independientemente de que exista un diseño especial para el control de las vibraciones en la fuente.

También se pudo corroborar en el terreno que es prácticamente inevitable la propagación de la energía de choque de las ondas generadas por impactos mecánicos en las PMI, la extensión e intensidad de esta energía y sus efectos nocivos en la salud de los trabajadores expuestos es independiente de la potencia instalada y solo va a depender del tipo de equipo electromecánico que está instalado en el proceso.

Cuando la potencia instalada sobre una PMI se acerca o supera los 200 MW, los valores de todas las evaluaciones de riesgo de exposición a VG pueden superar los VMA en todas las áreas de trabajo y se requiere del empleo obligatorio de medios de protección personal para todos los trabajadores que transiten o se estacionen en las áreas de la PMI.

En las PMI donde se encuentran instalados equipos mecánicos que generan altos valores de impacto como los molinos o las estampadoras, por ejemplo, se debe establecer como obligatorio la realización de las evaluaciones del VDV de las VG presentes en todas las áreas de trabajo y se debe valorar el alto peligro de accidente que los impactos introducen dentro de la estructura.

Conclusiones

1. Sobre las PMI deben ser obligatorias las evaluaciones cualitativas que determinen la potencia ins-

talada y el tipo de fuente potencialmente generadora de las VG en los diferentes pisos o niveles de la estructura.

2. En las industrias donde alguna parte del proceso industrial se realiza con el empleo de PMI se debe realizar todos los años la evaluación cuantitativa de las VG en todas las áreas y puestos de trabajo de las PMI y en particular evaluar el VDV para evitar los riesgos de la energía de impacto.
3. El sistema de evaluación y control de riesgos laborales del MINSAP se debiera incluir siempre en las evaluaciones higiénicas de las VG en las PMI como condición higiénica sanitaria importante para su explotación como dispositivo de control de riesgos industriales.

Recomendaciones

La cultura de la protección ante el factor de riesgo de VG

Consideramos que en nuestro país se necesita elaborar una norma que regule en particular la calidad mínima requerida para la protección ante vibraciones generales requerida por las PMI. Debe existir una nueva legislación laboral que regule la autorización sanitaria requerida para que este tipo de dispositivo sea instalado en los procesos industriales.

Las autoridades de Salud y Seguridad en Cuba deben comprender mejor los riesgos que se generan o asocian a las vibraciones para que se exijan los estudios periódicos y las evaluaciones sistemáticas de este factor de riesgo en todos los procesos donde estos dispositivos están presentes.

En Cuba se necesita certificar los riesgos que se generan en las PMI, en particular para controlar a tiempo los riesgos directos o asociados a la exposición de los trabajadores a VG. Estas certificaciones pueden estar acompañando otros procesos de certificación que están siendo exigidos como los ISO 9000, ISO 18000, ISO 46000, y que muchas de nuestras industrias ya están realizando. Un proceso de certificación de la calidad de las PMI debe incluir la seguridad y salud en el trabajo que se realiza sobre ellas, y por tanto debe incluir también un programa permanente de control de riesgos y de vigilancia epidemiológica de los trabajadores expuestos en las áreas peligrosas.

El mal diseño y el mal estado técnico de las PMI y de los dispositivos instalados sobre ellas son las causas que elevan el grado de riesgo de exposición a VG y



colocan algunas actividades laborales en ellas bajo el riesgo de accidentes.

Referencias bibliográficas

- 1- Henao F. Riesgos físicos I: Ruido, vibraciones y presiones anormales. Ecoe Ediciones, Colombia. eISBN Epub: 9789587711011. [Internet]. 2007 [acceso 20/10/2021]. Disponible en: <https://www.digitalpublishing.com/a/47187/riesgos-fisicos-i--ruido--vibraciones-y-presiones-anormales--2a-ed.->
- 2- International Organization of Standardization. (ISO) Norma ISO 8041:2005. Human response to vibration. [Internet]. 2005 [acceso 20/10/2021]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/30145.html>
- 3- International Organization of Standardization. (ISO) Norma ISO 2631-1:1997. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements. [Internet]. 1997 [acceso 20/10/2021]. Disponible en: https://www.nanopdf.com/download/norma-iso2631-1_pdf
- 4- International Organization of Standardization. (ISO) Norma ISO 2631-2:2003/1997. Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure

- to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz). [Internet]. 2003 [acceso 20/10/2021]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/23012.html>
- 5- Arias GJ, Martínez C, Augusto C. Evaluación de las vibraciones globales transmitidas a trabajadores en una empresa agroindustrial productora de azúcar. Salud de los Trabajadores [Internet]. 2016 [acceso 20/10/2021];24(1)27-37 Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37584936004>
- 6- EN 14253 Mechanical vibration – Measurement and calculation of occupational exposure to whole-body vibration with reference to health – Practical guidance. [Internet]. 2003 [acceso 20/10/2021]. Disponible en: <https://standards.globalspec.com/std/1110182/EN%2014253>
- 7- White G. Introducción al Análisis de Vibraciones. Por Glen © 1990 -2010 – Azima DLI – Washington DF.
- 8- Griffi MJ. “Vibraciones”. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. OIT. Ed. española, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998. Parte 6. Capítulo 50. Disponible en: https://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_162039/lang-es/index.htm

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización: Raúl Baqués Merino.

Curación de datos: Raúl Baqués Merino, Arlién Rodríguez Betancourt, Ibis Avila Roque, Lerán Ronni Fernández Serrano.

Análisis formal: Raúl Baqués Merino, Arlién Rodríguez Betancourt, Ibis Avila Roque.

Investigación: Raúl Baqués Merino, Arlién Rodríguez Betancourt, Ibis Avila Roque, Meylin Panol Quintana, Minerva Alonso Boffil, Lerán Ronni Fernández Serrano.

Metodología: Raúl Baqués Merino, Arlién Rodríguez Betancourt, Ibis Avila Roque, Meylin Panol Quintana, Minerva Alonso Boffil, Lerán Ronni Fernández Serrano.

Supervisión: Raúl Baqués Merino.

Visualización: Raúl Baqués Merino, Arlién Rodríguez Betancourt, Ibis Avila Roque, Meylin Panol Quintana, Minerva Alonso Boffil.

Redacción del borrador original: Raúl Baqués Merino.

Revisión y edición: Raúl Baqués Merino.

Copyright © 2022: Raúl Baqués Merino, Arlién Rodríguez Betancourt, Ibis Avila Roque, Meylin Panol Quintana, Minerva Alonso Boffil, Lerán Ronni Fernández Serrano.

Licencia creative commons



Este artículo de la [Revista Cubana de Salud y Trabajo](#) está bajo una licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](#). Esta licencia permite a otros compartir el trabajo con un reconocimiento de la autoría del trabajo y la publicación inicial en esta revista (componente BY o atribución). Coincidente con la política de Acceso Abierto, no se podrán hacer usos comerciales de los contenidos publicados por esta revista (componente NC). Se permitirán las obras derivadas (remezcla, transformación o creación a partir de la obra original), siempre y cuando sean distribuidas bajo la misma licencia de la obra original (componente SA).



Este artículo de la [Revista Cubana de Salud y Trabajo](#) está bajo una licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](#)