

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

INVESTIGACIÓN DE LA VIBRACIÓN DE CUERPO ENTERO EN UNA PLANTA
INDUSTRIAL: UNA COMPROBACIÓN ACERCA DE LA COMODIDAD Y LA SALUD

Por

Nila Osorez

Disertación de Maestría

Porto Alegre, Abril de 2017.

INVESTIGACIÓN DE LA VIBRACIÓN DE CUERPO ENTERO EN UNA PLANTA
INDUSTRIAL: UNA COMPROBACIÓN ACERCA DE LA COMODIDAD Y LA SALUD

Nila Osorez
Ingeniera Mecánica

Disertación de Maestría sometida al Programa de Posgrado en Ingeniería Mecánica da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte de los requisitos para la obtención del título

Master en Ingeniería

Área de concentración: Mecánica de Sólidos

Tutor: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Aprobada por:

Prof. Dr. Tiago Becker - UFRGS

Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas - UFRGS

Prof. Dr. Ney Francisco Ferreira – PROMEC/UFRGS

Prof. Dr. Jakson Vassoler Manfredini

Coordinador del PROMEC

Porto Alegre, 28 de Abril de 2017.

RESUMEN

Existe la percepción de que las vibraciones generadas por los equipos en el área de Preparación de Madera de una planta industrial han ido creciendo desde el arranque de las operaciones. Debido al hecho de que las vibraciones pueden afectar tanto al cuerpo humano como a los edificios ha comenzado a ser un motivo de preocupación para los trabajadores expuestos. Se realiza una revisión de las principales normas y procedimientos existentes para evaluar la vibración a la que se exponen dichos trabajadores en determinados puestos de trabajo de la planta industrial y determinar si esta afecta su comodidad o afecta su salud. Mediante este estudio experimental se busca determinar el grado de exposición existente, por lo que se siguen los procedimientos de la Norma ISO 2631, 1997, y BS 6472, 2008. Una vez relevados estos valores, se determina siguiendo las normas existentes, el grado de exposición de los trabajadores, si existe riesgo para la salud y si son necesarias acciones para disminuir el nivel de vibración recibido por los mismos. En Uruguay no existe una norma que indique valores límite de exposición por lo que se utilizan en el presente estudio los límites de la Directiva 2002/44/EC, ISO 2631, 1997, y BS 6472, 2008. Los valores de aceleración *rms* obtenidos en las mediciones se encontraron en un rango entre 0,028 m/s² y 0,9213 m/s², estando la mayoría de ellos muy por debajo de los valores propuestos por las normas mencionadas para los límites de afectación a la comodidad o la salud de las personas. Sin embargo, dependiendo del tiempo de exposición, algunos de los sitios presentan niveles de vibración considerados incómodos.

Palabras clave: Vibración de cuerpo entero; Vibración en el cuerpo humano; Comodidad a la vibración.

ABSTRACT

There is a perception that vibrations generated by machines in a wood preparation facility are have been growing since the start of operations. Because vibration may affect not only the human body but also surroundings buildings, this became an issue and concern to the workers in the facility that are exposed of such vibrations. A review of the existing main standards and procedures to evaluate human vibration exposure is performed and conclude if this affects health and comfort on the human body in some workplaces at the facility. Through this experimental study the existing exposure magnitude is determined following ISO 2631, 1997, and BS 6472, 2008, standard procedure specifications. Once the surveyed values are measured, following the existing standards this allows to determine the degree of exposure of workers, if there is health risk and if actions are necessary to mitigate the levels. In Uruguay there is no standard indicating the threshold values for vibration exposure. Therefore, this will be the reason of the present study using Directive 2002/44/EC, ISO 2631, 1997, y BS 6472, 2008, threshold limit values. The *rms* acceleration values obtained in the measurements were in a range between 0.028 m/s² and 0.9213 m/s², most of them being well below the values proposed by the standards mentioned for the limits of affectation to the comfort or health of people. However, depending on the exposure time, some of the sites present vibration levels considered uncomfortable.

Keywords: Whole body vibration; Human body vibration; Vibration comfort.

RESUMO

Há uma percepção de que as vibrações geradas pelo equipamento na área da preparação de madeira de uma instalação industrial são crescentes desde o início da operação. Devido ao fato de que as vibrações podem afetar tanto o corpo humano e edifícios estas começaram a se tornar uma preocupação para os trabalhadores expostos. Uma revisão das principais regras e procedimentos para avaliar a vibração aos quais está exposto o corpo humano e avaliar se isso afeta o seu conforto ou afetar a sua saúde é feita neste trabalho. Através deste estudo busca-se terminar o grau de exposição existente, para a qual seguem-se os procedimentos da ISO 2631 e BS 6472, 2008. Uma vez que estes valores são medidos, o grau de exposição dos trabalhadores é determinado de acordo com as regras existentes, verificando se há um risco para a saúde e se são necessárias ações para reduzir o nível de vibração recebido por eles. No Uruguai não existe uma norma afirmando os limites de vibração aceitáveis e assim os limites da Directiva 2002/44 /EC, ISO 2631, 1997, e BS 6472, 2008, serão tomadas neste estudo. Os valores de aceleração *rms* obtidos nas medições encontram-se num intervalo entre 0,028 m/s² e 0,9213 m/s², sendo a maioria delas muito inferiores aos propostos pelas normas anteriores para os valores limites de que venham afetar o conforto ou saúde das pessoas. No entanto, dependendo do tempo de exposição, alguns dos locais apresentam níveis de vibração que são considerados problemáticos.

Palavras chave: Vibrações de corpo inteiro; Vibrações no corpo humano; Conforto à vibração.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivaciones	2
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estructura de la Disertación de Maestría.....	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 La vibración en edificios y losas	3
2.1.1 Los efectos de la vibración en la estructura	7
2.1.2 La afectación de la vibración en los seres humanos.....	8
2.1.3 Efectos en la salud causados por la exposición a la vibración	10
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	15
3.1 Vibración de cuerpo entero (VCE).....	16
3.1.1 Confort degradado.....	16
3.1.2 Interferencia con actividades.....	18
3.1.3 Daños a la salud provocados por la vibración	18
3.1.4 Cinetosis	20
3.1.5 Valores Límites normativos	20
3.1.6 Valores para la evaluación del desconfort producido por la vibración	23
3.1.7 Valores para la evaluación de daños en la salud causados por vibración	26
3.2 Vibración del sistema mano-brazo (VMB)	29
3.2.1 Valores Límites normativos para VMB	31
4. METODOLOGÍA	33
4.1 Descripción de la planta industrial	33
4.1.1 Descripción del proceso	36
4.2 Equipos utilizados	39
4.3 <i>Seat pads</i> individuales y sistema de adquisición de datos.....	41
4.4 Descripción del procedimiento para las mediciones	44
4.5 Puntos de medición.....	45
5. RESULTADOS.....	47
5.1 Medidas obtenidas en un solo punto y <i>seat pad</i> con Quest Pro	47

5.1.1	Caso 1.A: piso en centro de sala de control, Punto 10 en Figura 4.14.....	47
5.1.2	Caso 1.B: sobre Línea de chipeado 1 estando detenida y Línea 2 en funcionamiento. Punto 11 en Figura 4.14.....	51
5.1.3	Caso 1.C: sobre piso Oficina de Ingenieros. Punto 2 en la Figura 4.14.....	55
5.2	Evaluación del confort en el edificio siguiendo las recomendaciones de la Norma BS 6472, 2008) para mediciones con Quest Pro	59
5.3	Medidas realizadas con 2 <i>seat pads</i>	60
5.3.1	Evaluación del nivel de confort de la vibración en el piso de la sala de control y en la oficina de trabajo.	60
5.3.2	Evaluación del confort en el edificio siguiendo las recomendaciones de la Norma BS 6472 (1992) con 2 <i>seat pads</i>	67
5.3.3	Evaluación del confort en el edificio siguiendo las recomendaciones de la Norma BS 6472 (2008) para Mediciones con 2 <i>seat pads</i>	72
6.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	74
6.1	Sala de control	74
6.2	Oficina de Ingenieros	74
6.3	Fuera de la sala de control	74
7.	CONCLUSIONES.....	76
7.1	Propuestas de continuidad de Disertación	77
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
	ANEXO I.....	82
	APENDICE A	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Modelo mecánico del cuerpo humano, sometido a la vibración vertical con su frecuencia de resonancia.....	9
Figura 2.2	Curva base de la aceleración <i>rms</i> para edificios: (a) eje z, (b) ejes x, y.....	13
Figura 2.3	Factores multiplicativos para especificar límites satisfactorios para la respuesta humana.....	14
Figura 3.1	Curvas de ponderación para cada posición, la orientación y la medición de las vibraciones.....	21
Figura 3.2	Las vibraciones deben medirse colocando el transductor entre el cuerpo y la superficie vibratoria.....	22
Figura 3.3	Valores de aceleración y clasificación indicados en la Norma ISO 2631 y en la British Standard 6841 en forma gráfica.....	24
Figura 3.4	Valores de aceleración e clasificación indicados en otros autores.....	24
Figura 3.5	Zona de precaución definida en el anexo B de la Norma ISO 2631-1, 1997.....	26
Figura 3.6	Curva de ponderación en frecuencia W_f y W_d a la vibración de todo el cuerpo y la vibración W_h para el sistema de la mano del brazo.....	28
Figura 3.7	Dirección de medición de las vibraciones en el sistema mano-brazo.....	31
Figura 3.8	Exposición a la vibración a 8h diarias para la prevalencia de enfermedad de dedos blancos en 10% de la población.....	32
Figura 4.1	Chip de madera.....	33
Figura 4.2	Ubicación de las líneas respecto a sala de control.....	34
Figura 4.3	Sala de control, vista en planta. Medidas de losas.....	35
Figura 4.4	Corte vertical del edificio de control.....	35
Figura 4.5	Alimentación de las líneas de chipeado.....	36
Figura 4.6	Foto de sala de control, edificio de chiperas y tambor descortezado (potenciales generadores de las vibraciones).....	37
Figura 4.7	Foto del triturador (otra fuente de vibración).....	38
Figura 4.8	Conexión a través de cimientos entre sala de control y líneas de chipeado....	38
Figura 4.9	Foto de sala de control y silla utilizada.....	39

Figura 4.10	Kit VI-400 Pro y equipos transductores utilizados en las mediciones.....	40
Figura 4.11	Dos <i>Seat pads</i> con acelerómetros triaxiales y dimensiones de acuerdo con la norma ISO 8041, 2005, e ISO 2631, 1997.....	41
Figura 4.12	Posiciones de los <i>seat pads</i> en la calibración.....	42
Figura 4.13	Posiciones para mediciones con el sistema VI 400 Pro y con el sistema con dos <i>seat pad</i>	44
Figura 4.14	Ubicación de los puntos en donde se realizaron las mediciones.....	46
Figura 5.1	Aceleraciones <i>rms</i> en el tiempo para el caso 1 en las 3 direcciones.....	47
Figura 5.2	Comparación del valor <i>rms</i> ponderado calculado con los valores límites referidos en la Norma ISO 2631-1 (punto negro).....	48
Figura 5.3	Valor de aceleración <i>rms</i> ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto de los valores presentados por Fothergill y Griffin, 1977c.....	49
Figura 5.4	Valor de aceleración <i>rms</i> ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto los valores de la Norma ISO 2631 y del British Standard 6841.....	50
Figura 5.5	Aceleraciones <i>rms</i> en el tiempo para el caso 1.B en las 3 direcciones.....	52
Figura 5.6	Comparación del valor <i>rms</i> ponderado calculado con los valores límites referidos en la Norma ISO 2631-1(punto negro).....	53
Figura 5.7	Valor de aceleración <i>rms</i> ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto de los valores presentados por Fothergill y Griffin, 1977c...	54
Figura 5.8	Valor de aceleración <i>rms</i> ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto los valores de la Norma ISO 2631 y del British Standard 6841.....	54
Figura 5.9	Aceleraciones <i>rms</i> en el tiempo para el caso 1.C en las 3 direcciones.....	56
Figura 5.10	Comparación del valor <i>rms</i> ponderado calculado con los valores límites referidos en la Norma ISO 2631-1(punto negro).....	57
Figura 5.11	Valor de aceleración <i>rms</i> ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto de los valores presentados por Fothergill y Griffin, 1977....	58
Figura 5.12	Valor de aceleración <i>rms</i> ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto los valores de la Norma ISO 2631 y del British Standard 6841.....	58
Figura 5.13	Lecturas de los dos <i>seat pads</i> para la medición (A).....	61
Figura 5.14	Lecturas de los dos <i>seat pads</i> para la medición (B).....	62

Figura 5.15	Lecturas de los dos <i>seat pads</i> para la medición (C).....	62
Figura 5.16	Lecturas de la aceleración en z en el <i>seat pad</i> 1 (piso) para la medición (C)...	63
Figura 5.17	Aceleración en los dos <i>seat pads</i> para la medición (A).....	65
Figura 5.18	Aceleración en los dos <i>seat pads</i> para la medición (B).....	66
Figura 5.19	Aceleración en los dos <i>seat pads</i> para la medición (C).....	66
Figura 5.21	Curvas límites para confort para medición en el piso en edificio (noche), situación (A).....	69
Figura 5.22	Curvas límites para confort para el piso en edificio (día), situación (B).....	70
Figura 5.23	Curvas límites para confort para en el piso en edificio (noche), situación (B).	70
Figura 5.24	Curvas límites para confort para medición en el piso en edificio (día), situación (C).....	71
Figura 5.25	Curvas límites para confort para medición en el piso en edificio (noche), situación (C).....	72
Figura I.1	Certificado de calibración del Equipo VI-400 PRO.....	82
Figura I.2	Especificación técnica del equipo VI-400 PRO.....	83
Figura I.3	Especificación técnica del equipo USB1208-FS.....	84
Figura A.1	Valores <i>rms</i> del punto 0 en los tres ejes.....	85
Figura A.2	Valores límites para vibración referente a salud punto 0 [ISO 2631-1, 1997]..	86
Figura A.3	Valores límites para vibración referente a confort punto 0.....	87
Figura A.4	Valores límites para vibración referente a confort punto 0 (continuación).....	87
Figura A.5	Valores <i>rms</i> del punto 1 en los tres ejes.....	88
Figura A.6	Valores límites para vibración referente a Salud punto 1 [ISO 2631-1, 1997].	89
Figura A.7	Valores límites para vibración referente a confort punto 1.....	89
Figura A.8	Valores límites para vibración referente a confort punto 1 (continuación).....	90
Figura A.9	Valores <i>rms</i> del punto 2 en los tres ejes.....	91
Figura A.10	Valores límites para vibración referente a salud punto 2 [ISO 2631-1, 1997]..	92
Figura A.11	Valores límites para vibración referente a confort punto 2.....	92
Figura A.12	Valores límites para vibración referente a confort punto 2 (continuación).....	93
Figura A.13	Valores <i>rms</i> del punto 3 en los tres ejes.....	95
Figura A.14	Valores límites para vibración referente a salud punto 3 [ISO 2631-1, 1997]..	95

Figura A.15	Valores límites para vibración referente a confort punto 3.....	96
Figura A.16	Valores límites para vibración referente a confort punto 3 (continuación).....	96
Figura A.17	Valores <i>rms</i> del punto 6 en los tres ejes.....	97
Figura A.18	Valores límites para vibración referente a salud punto 6 [ISO 2631-1, 1997]..	98
Figura A.19	Valores límites para vibración referente a confort punto 6.....	98
Figura A.20	Valores límites para vibración referente a confort punto 6 (continuación).....	99
Figura A.21	Valores <i>rms</i> del punto 8 en los tres ejes.....	101
Figura A.22	Valores límites para vibración referente a salud punto 8 [ISO 2631-1, 1997]..	101
Figura A.23	Valores límites para vibración referente a confort punto 8.....	102
Figura A.24	Valores límites para vibración referente a confort punto 8 (continuación).....	102

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1	Comparación de resultados en experimentos con escalas semánticas para confort. (Adaptado de Griffin, 1990).....	17
Tabla 3.2	Valores para evaluación de desconfort Norma ISO 2631-1, 1997.....	23
Tabla 3.3	Valores para desconfort definidos en British Standard 6841, 1987.....	23
Tabla 3.4	Rango de valores de dosis de vibración que podría dar lugar a diversos comentarios adversos. (Adaptado de BS 6472-1, 2008).....	25
Tabla 5.1	Resumen de valores obtenidos para el Caso 1.A.....	51
Tabla 5.2	Resumen de valores obtenidos para el Caso 1.B.....	55
Tabla 5.3	Resumen de valores obtenidos para el Caso 1.C.....	59
Tabla 5.4	Resumen de valores cuanto a lo confort según ISO 2631-1, 1997 y BS 6472-1, 2008 – 1 seat pad VI 400 Pro.....	60
Tabla 5.5	Valores rms de aceleración en las tres situaciones medidas (A, B y C).....	63
Tabla 5.6	Valores de Norma ISO 2631-1, 1997, para confort.....	64
Tabla 5.7	Resumen de valores en cuanto a confort según ISO 2631-1, 1997 y BS 6472-1, 2008 – 2 seat pads.....	73
Tabla A.1	Evaluación con respecto a la salud, Punto 0.....	85
Tabla A.2	Evaluación con respecto a la salud, Punto 1.....	88
Tabla A.3	Evaluación con respecto a la salud, Punto 2.....	91
Tabla A.4	Evaluación con respecto a la salud, Punto 3.....	94
Tabla A.5	Evaluación con respecto a la salud, Punto 6.....	97
Tabla A.6	Evaluación con respecto a la salud, Punto 8.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS

dB	Decibel
<i>rms</i>	Root mean square
VAE	Valor de acción de exposición
VCE	Vibración de cuerpo entero
VDV	Vibration dose value
VLE	Valor límite de exposición
VMB	Vibración mano-brazo
W_b	Curva de ponderación
WBV	Whole Body Vibration
HAV	Hand Arm Vibration
W_d	Curva de ponderación
W_k	Curva de ponderación
W_m	Curva de ponderación

LISTA DE LOS SÍMBOLOS

a_x	Aceleración en el eje x	m/s ²
a_y	Aceleración en el eje y	m/s ²
a_z	Aceleración en el eje z	m/s ²
W	Ponderación	adm
VDV	Vibration dose value	m/s ^{1,75}
m	Metro	m
s	Segundo	s
a_{wx}	Aceleración ponderada eje x	m/s ²
a_{wy}	Aceleración ponderada eje y	m/s ²
a_{wz}	Aceleración ponderada eje z	m/s ²

1. INTRODUCCIÓN

Actividades, tales como caminar, saltar, bailar, entre otros, pueden causar vibraciones en las estructuras pudiendo estas resultar excesivas para las mismas. En esta Disertación de Maestría se destacan las actividades relacionados con las actividades humanas más frecuentes en ocupación normal en las losas de los pisos industriales, así como las vibraciones originadas de la actividad de máquinas y procesos en plantas industriales.

La magnitud de las oscilaciones y vibraciones medidas deben evaluarse en función de sus efectos, así, desde el punto de vista de los edificios los criterios para la aceptación o limitación de valores tolerables se definen de acuerdo a:

- la generación de sobreesfuerzos en los elementos estructurales , deformaciones, fatiga, tensiones;
- efectos psicológicos o de percepción de las personas, mecánicos, acústicos, ópticos;
- efectos en la actividad profesional o en el proceso productivo.

Los casos de vibraciones en pisos inducidas por actividades en las estructuras civiles son cada vez más frecuentes en la actualidad. Los sistemas estructurales más leves se convierten en vulnerables a los efectos de las vibraciones inducidas por pequeños impactos, desbalanceo de máquinas rotativas o el impacto de gente que camina sobre ellos. Este hecho hace indispensable al proyectista el conocimiento de las acciones dinámicas responsables de las vibraciones de las estructuras, metodologías de análisis estructurales y técnicas de control y reducción de vibraciones. Según Almeida, 2010, las nuevas características de sistemas mixtos acero-hormigón conducen a sistemas estructurales de pisos mixtos con frecuencias naturales cada vez más próximas al rango de frecuencia de excitaciones asociadas a las actividades humanas. De esta manera, los sistemas estructurales mixtos acero-concreto se tornan vulnerables a los efectos de vibraciones inducidas por pequeños impactos, como el caminar de personas sobre el piso, y por excitaciones más intensas, como actividades rítmicas. Las vibraciones provocan molestias a los usuarios y, en casos menos comunes, comprometerán la estructura.

La observación, medición y análisis de vibración de losas en edificios inducidas por las actividades humanas o máquinas que vibran siguen siendo de gran interés de estudio para los investigadores e ingenieros.

1.1 Motivaciones

En el edificio de una planta en la que se producen chips de madera (pequeños pedazos y astillas de madera) en donde se realiza el presente estudio existe la percepción de que las vibraciones han aumentado con el paso de tiempo desde el arranque de las operaciones. Esto genera preocupación con respecto a la afectación de las mismas ya sea en la salud de los trabajadores o en la integridad del edificio próximo al lugar de generación de las vibraciones.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de esta Disertación es presentar una revisión de las normas existentes sobre la evaluación de los efectos de la vibración en el cuerpo humano y comprobar en el caso de la planta en donde se realiza el estudio, si estos límites se exceden. Para esto se realizan medidas de vibración, las que luego se evalúan de manera de determinar si el nivel existente puede afectar la comodidad o la salud de los trabajadores.

Se determina además, el origen de la fuente de vibración y se evalúa luego si la eliminación de la causa de la vibración es posible, así como si es necesario o posible un método de reducción de las vibraciones en el origen o un método de aislación de las mismas.

1.3 Estructura de la Disertación de Maestría

La Disertación está organizada para informar sobre un tema específico en cada capítulo. El tema central de cada capítulo será: Capítulo 1 presenta una introducción al tema, exponiendo los fundamentos y objetivos del autor para llevar a cabo la investigación; El capítulo 2 es un discurso sobre la revisión del estado de la técnica en relación con el tema. En el capítulo 3, se presenta la fundamentación teórica necesaria para el entendimiento de los términos y ecuaciones utilizadas en la Disertación. En el capítulo 4 se presenta la metodología utilizada así como una descripción del proceso de fabricación realizado en la planta evaluada y de los puntos en donde se realizan las

mediciones. El análisis de los resultados se encuentra en el capítulo 5 y finalmente, las conclusiones son presentadas en el capítulo 6.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Aquí se realizará una revisión de la literatura en el tema de la disertación, las normas existentes y todos los documentos que son relevantes para situar al lector en el tema tratado.

2.1 La vibración en edificios y losas

Las vibraciones de losas en los edificios pueden ser causados por fuentes externas, como el tráfico de ferrocarril o carretera, maquinaria, o pueden tener como fuente de excitación el movimiento de peatones. La interacción entre estas fuentes externas y la estructura puede ser caracterizada por la aplicación de una acción periódica en la losa tal que corresponde a una respuesta dinámica del sistema que no sólo se deberá ajustar a los criterios de seguridad estructural, sino que también deberá responder a criterios de servicio y confort humanos.

El aislamiento de las fuentes de vibración en los edificios es un paso crucial que no puede escapar del control del proceso de construcción. Además los estudios en cuanto a acústica y vibraciones deberán realizarse en cada caso, pudiendo obtener así las especificaciones y recomendaciones para alcanzar un resultado satisfactorio entre la calidad y el costo, y la estética y la funcionalidad del sistema. Según Almeida, 2009, el costo de aislamiento no es muy alto, especialmente cuando la ubicación de los equipos y la instalación de la infraestructura (losas de apoyo, contrabases, techos) están bien definidos desde la planificación de la obra.

Las vibraciones deben eliminarse cuando causan molestias a las personas, perjudican el funcionamiento del equipo o ponen en peligro la integridad de las estructuras. Los sistemas de aire acondicionado, por ejemplo, requieren el aislamiento de las bombas, enfriadores de agua y torres de agua helada y condensación. Las tuberías en general deben ser apoyadas sobre tacos de goma. Las bombas de aire acondicionado y suministro deben ser fijados en bases de inercia, apoyado sobre amortiguadores de resorte de acero con elementos de goma, atornilladas en contrabases. Los tubos deben estar conectados a los equipos por medio de juntas flexibles en acero o fuelles.

Ventiladores de gran tamaño también deben estar apoyados con tacos de goma o muelles, según el caso.

El caso de un pilar que transmite la vibración de un equipo a losas y pisos del edificio es preocupante, la solución en este caso es la de localizar la fuente de las vibraciones, tratando de evitar que las ondas mecánicas lleguen a la columna, amortiguar el efecto de los impactos con cuñas anti vibratorias debajo de la máquina o utilizar pisos flotantes, en casos específicos.

Impactos con daños causados a la estructura por fuentes de vibración son raros en los edificios convencionales, tales como edificios residenciales e institucionales [Búrquez, 1997].

En cuanto a las respuestas humanas, la cantidad aceptable de vibración en zonas residenciales debe estar debajo de límites de velocidad de vibración de 0,2 a 0,4 mm/s (frecuencias entre 8 y 80 Hz) y aceleración igual o inferior a 0,05 aceleraciones de la gravedad. Además de la incomodidad, las personas cuando se someten a excesos de vibraciones pueden tener problemas de circulación sanguínea, de digestión y mareos [Batista, 2016]. En la construcción de hospitales los requisitos son más altos debido a los aparatos sensibles utilizados en estos lugares, que no deben recibir vibraciones con mayor velocidad que el límite de 0,1 mm/s. Todo equipo sensible no debe funcionar a una velocidad mayor de vibración de 0,25 mm/s. En los edificios comerciales, las vibraciones no deberían tener velocidad superior a 2,5 mm/s [Batista, 2016].

En el estudio de las vibraciones en estructuras inducidas por el hombre y la máquina, se encuentran muy buenas referencias en el libro de Bachman y Ammann, 1987, y Bachman, 1997, que proporcionan la base teórica y experimental de los fenómenos que intervienen como resonancia de amortiguación, la sincronización, etc. así como información práctica sobre cómo proceder en la solución de los problemas de vibración pisos.

Vasconcelos, 1998, en su trabajo propone un sistema de atenuación de la vibración pasiva de losas de hormigón armado generados por la gente en movimiento rítmico. El estudio consiste en experimentos en los que grupos de personas saltan de forma sincrónica en una losa de aceleración y vibraciones, los datos se midieron antes y después de la colocación de los dispositivos atenuadores de vibración. Los límites de confort de la norma ISO 2631-2, 1989, se utilizaron para determinar si se habían alcanzado o no los niveles de confort. Ellos encontraron que para la losa investigada, el centro era el punto de mayor vibración (1^{er}. Modo de Vibración) y las personas en este punto se encontraban muy por encima del límite de comodidad durante unos segundos y una

segunda posición de la periferia de la losa, el límite de confort habría sido excedido por la exposición de aproximadamente 2 h a valores de aceleración del orden de 2.275 m/s^2 .

Alcorta y Maltez, 2002, estudiaron la vibración de una losa de hormigón causados por el funcionamiento de una máquina en una industria de tratamiento de aguas residuales. Se midieron varios puntos de la losa y la máquina con el fin de determinar las frecuencias de excitación de la máquina, se midió la frecuencia de vibración natural de la losa, así como la velocidad máxima de la vibración en la losa. El criterio utilizado fue la velocidad de vibración y no la preocupación por el confort humano, pero que pueden causar daños a la máquina. Se utilizaron ábacos basados en la frecuencia de vibración y en relación a la velocidad máxima permisible para que no haya daño de la máquina rotativa ($4,5 \text{ mm/s rms}$). Llegaron a la conclusión de que las vibraciones causadas por máquinas se amplificaron por la losa de hormigón, pero esta amplificación fue dentro de los límites permisibles para el confort.

La discusión de valores para definir la comodidad sigue siendo un tema controvertido, ya que hay varios estudios que correlacionan esta comodidad vibratoria con otras variables (temperatura, ruido, olor, espacio, etc.). En la construcción naval, las clases de clasificación tienen, cada una, criterios que son diferentes, pero sirven para clasificar los barcos como la comodidad de vibración, ya que el mareo por movimiento de transporte puede ser un elemento importante en la selección del buque. Savreux *et al.*, 2007 presenta un estudio sobre estos criterios basados en la norma ISO 6954 (varias ediciones) y diferentes clasificaciones de confort (*Comfort Class*). A excepción de la clase ABS, que tiene una gama de diferentes frecuencias para ser considerado, las otras clases tienen la misma tendencia a ser más exigente que la norma ISO 6954 (todas las ediciones incluidas). La investigación numérica hecha por Bureau Veritas basadas en comparaciones muestra que los valores son similares a las de la norma ISO 2631-1, 1997.

Los interesados en el diseño de plantas y ambientes que se encuentran dentro de los límites de la comodidad, deberán ver el informe/orientación HIVOSS, 2007, "Proyecto pisos en la vibración" que tiene varias indicaciones de cálculo simplificado. El informe permite determinar, por adelantado, diversas características dinámicas correspondientes a las plantas a nivel de diseño, al final, se presentan ejemplos de aplicación de estos cálculos simplificados. Como resultado se puede obtener el llamado OS-*rms*90 (*One Step*, aceleración *rms* de un "paso significativo" que cubre la intensidad del 90% de los pasos de la gente que camina normalmente [mm/s]). Este valor

se compara entonces con una tabla que define las clases de aplicación (AF), la función de uso (escuela, hotel, industrial, etc.) a partir de los valores de piso y $OS-rms90$, en esta tabla hay zonas verdes, naranja y rojo entendido como: recomendado, crítico y no se recomienda para los niveles de velocidad de vibración. Una vez más el trabajo se limita a excitaciones causadas por los seres humanos.

En su Disertación de maestría, Santos, 2009) investiga el control de las vibraciones en edificios losas. En su obra hay una colección de normas y valores que definen los límites de confort para la construcción de losas de vibración continua (actividades rítmicas), así como la vibración del impacto. En este sentido se utiliza las recomendaciones de la American estándar AISC/CSI, 1997, citado por Murray *et al.*, 1997, que se refiere límites especificados por British Standards BS 6841, 1987, y también BS 6472, 1992. Desafortunadamente en los ábacos presentados se limitaría a utilizar como fuente de vibración la rítmica subida causada por las personas. Estos ábacos se proporcionan en función de la ubicación de los entornos expuestos a vibraciones como oficinas, zonas residenciales, centros comerciales y zonas de comedor y de baile.

En el trabajo de su Disertación de maestría, Silva, 2010, presenta un estudio de la transmisión de vibraciones en un edificio existente en Portugal. En su trabajo, para evaluar si los niveles de vibración en un edificio de losas de hormigón están en conformidad con la comodidad de sus usuarios utilizan los límites especificados por la norma ISO 2631-1, 1989, y BS 6472, 1992. Para el caso en estudio, se encontró que, dependiendo del tipo y la cantidad de equipos de operación (sola o simultáneamente funcionando tornos, motores de combustión y generadores) no siempre se cumplen los límites de confort recomendados por las normas internacionales para el confort humano.

Siguiendo con el tema sobre vibración de losas, Costa Araújo, 2014, presentó una evaluación del comportamiento dinámico de losas *waffle* planas a la acción de personas en un gimnasio, que dio lugar a dudas sobre la seguridad de la losa. Los modelos numéricos también se utilizaron para verificar los datos obtenidos experimentalmente. En este trabajo los límites de confort especificados en la norma ISO 2631-1, 1997, se utilizan para evaluar la comodidad, los datos del libro de Bachman *et al.*, 1997, y la escala Goldman, 1948, y en todas las situaciones medidas y evaluadas se encontró que el límite era intolerable.

Marcos , 2015, en su Disertación de maestría investiga la sensibilidad de losas de tipo alveolares con acción dinámica de la actividad humana en diferentes condiciones de interés, tales como paneles aislados con llaves de corte y después del hormigonado de la capa de hormigón. El estudio experimental nos permitió evaluar las frecuencias naturales y de amortiguación de los modos de vibración de las losas en cuestión. Las estimaciones de las frecuencias naturales y los niveles de vibración se hicieron con modelos de elementos finitos de las losas evaluadas, sin embargo, las diferencias alcanzaron 11%. Se llegó a la conclusión de que las claves de cizallamiento y los recubrimientos de hormigón son determinantes estructurales que aseguran niveles aceptables de vibración en las losas analizadas. Una vez más, varios criterios se han utilizado para evaluar el confort, entre ellos el código de escala Reiher-Meister, la norma ISO 2631-2 e los indicativos de la Guía de Diseño del AISC.

2.1.1 *Los efectos de la vibración en la estructura*

Las vibraciones pueden afectar a los edificios o a los elementos que los constituyen causando por ejemplo:

- rotura, agrietamiento o fisuras de paredes o forjados del edificio
- agravamiento de patologías existentes por otras causas
- caída de equipos o maquinaria de trabajo

La vibración continua puede además producir en las estructuras de los edificios problemas de fatiga, incremento de tensiones o sobreesfuerzos en los elementos resistentes principales de la estructura.

Vibraciones estructurales en el rango de 20 Hz a 20 kHz pueden producir sonidos audibles. Cuando estas ondas de flexión se propagan por las losas, paredes o ventanas generan ruidos molestos. El uso de amortiguadores atenúa las vibraciones y el ruido en la estructura radiante, sin embargo, puede seguir siendo molesta la transmisión de ruido aéreo generado por la fuente de sonido. En este caso, se deberá indicar el equipo de contención más adecuada de acuerdo con el tipo de ruido en el dominio de la frecuencia. Cuando se especifican e instalan adecuadamente, los sistemas de aislamiento requieren poco mantenimiento, sin embargo, se debe evitar someterlos a

sobrecargas de funcionamiento y su exposición a condiciones ambientales nocivas. Los resortes de aislamiento no absorben completamente las sacudidas de motores de arranque y generadores de energía, y los resortes de acero no pueden permanecer húmedos. A pesar del cuidado, es necesario que el equipo cuente con accesibilidad para las inspecciones periódicas, la limpieza, pintura anti-corrosión y la reparación.

El problema de las vibraciones excesivas en estructuras basadas en criterios de comodidad a los seres humanos está directamente relacionada con la percepción y la sensibilidad que los usuarios tienen a estos fenómenos, existe la necesidad de establecer límites en los que se alcanza un cierto nivel de molestia [Alcorta *et al.*, 2002]. Las vibraciones en las estructuras han sido categorizadas con respecto a la respuesta humana como sigue:

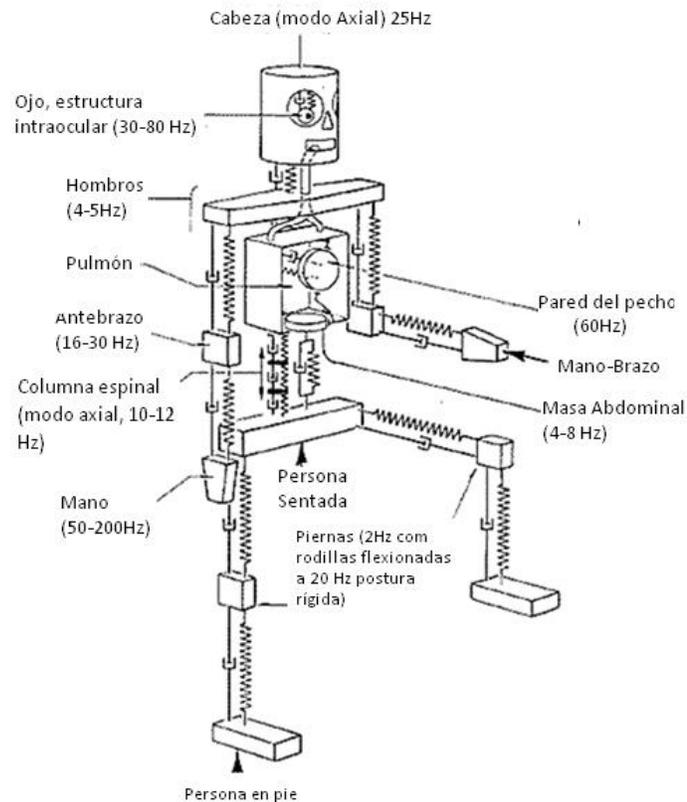
1. Las vibraciones, aunque presentes, no son percibidas por los ocupantes;
2. La vibración es percibida pero no causa molestia;
3. La vibración molesta y causa perturbación y hay agravamiento de patologías ocasionadas por otros motivos;
4. La vibración es tan severa que enferma a las personas y afecta las condiciones de funcionamiento de los equipos.

La mayoría de los sistemas caen en las dos primeras categorías. Obviamente la última categoría no puede ser tolerada.

2.1.2 La afectación de la vibración en los seres humanos

De acuerdo con Griffin , 1990, para el análisis de vibración, el cuerpo humano, a pesar de su complejidad, se puede considerar como un sistema biomecánico que puede ser modelado como un sistema lineal (Figura 2.3), la conducción de un sistema masa-resorte-amortiguador, con rango de frecuencia de 1 a 80 Hz en el caso de la vibración de todo el cuerpo. Para la vibración del sistema mano-brazo estas frecuencias pueden ser mayores, alcanzando hasta 1250 Hz.

Cuando la frecuencia de una excitación externa alcanza el valor de una de estas frecuencias naturales, puede ocurrir un fenómeno de resonancia. En la Figura 2.1 se presenta un modelo ampliamente utilizado para mostrar las frecuencias de resonancia del cuerpo humano, sujeto a la vibración vertical.



(Fuente: Brüel & Kjør, 2000).

Figura 2.1 - Modelo mecánico del cuerpo humano, sometido a la vibración vertical con su frecuencia de resonancia.

La naturaleza de las vibraciones, las características de las personas expuestas y los efectos de las vibraciones pueden variar de un lugar a otro y esto debe tenerse en cuenta en el modelo causa- efecto de la respuesta humana a la vibración.

Las diferencias físicas existentes entre los miembros de una población afectarán la respuesta dinámica de sus cuerpos, resultando esto en una variación en la transmisión de la vibración, lo que determinará la existencia de diferencias en el tipo y el grado de perjuicio tanto en la comodidad, en las actividades o la salud. La edad y el género de un individuo pueden también tener efectos debido a la variación en la respuesta biodinámica o diferencias en la sensibilidad, experiencias o actitud de las personas. El estado de salud o la aptitud física de una persona también son importantes.

De todas formas, aunque el tamaño y la masa del cuerpo pueden influenciar en la respuesta del cuerpo a las vibraciones, es el cambio en la postura del mismo el que tiene la mayor influencia. Aunque se tengan en cuenta y se controlen los factores que puedan generar variabilidad en los resultados siempre existirán las diferencias individuales.

Pretender la ausencia total de vibración en edificios no es algo realista y es un requerimiento imposible de cumplir, la percepción de vibración en un edificio puede ser considerada inaceptable debido a la sensación que produce o debido a que se asocia a daños estructurales del edificio o el movimiento visible de objetos. Debido a esto las magnitudes de vibración deben evaluarse en función de si los efectos son o no tolerables.

2.1.3 Efectos en la salud causados por la exposición a la vibración

Muchos factores pueden influir en los efectos de salud causados por la exposición humana a la vibración. Como ejemplo se puede mencionar el espectro de frecuencia de la vibración y la amplitud, la duración de la exposición diaria a las vibraciones y exposición a las vibraciones pre-acumulado. Además, algunas personas pueden tener una mayor susceptibilidad a desarrollar otras enfermedades causadas por la exposición a las vibraciones.

En el caso de las vibraciones transmitidas a todo el cuerpo, los principales efectos en la salud pueden ser náuseas, disminución de la capacidad visual, trastornos del laberinto y náuseas en el rango de 0,1 a 0,7 Hz, aumento de la frecuencia cardiaca en frecuencias por debajo de 20 Hz. Por otra parte, varios estudios, por ejemplo, Rehn *et al.*, 2000, y Tripepi *et al.*, 2000, indican que los conductores de vehículos, tales como camiones de basura, tractores, carretillas elevadoras y otro tipo todo terreno, tienen una alta incidencia de problemas en el dorso y la parte posterior, relacionado con la exposición a la vibración transmitida al cuerpo entero .

En el caso de las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo pueden producirse alteraciones vasculares, neurológicas y músculo-esquelético, de forma independiente o simultáneamente, conocido como síndrome de vibración mano-brazo. El principal problema es el fenómeno de Raynaud o enfermedad de los "dedos blancos", que es una disminución de los vasos periféricos y arterias, con el consecuente blanqueamiento de los extremos de los dedos, causados por la exposición a la vibración del sistema mano-brazo. Este fenómeno también se asocia por lo general con la exposición de los miembros al frío, cuando la actividad metabólica del cuerpo humano es menor.

2.2 Normativa

Uno de los pocos reglamentos encontrados en la legislación del Uruguay referente a vibraciones es el Decreto No. 125/014 de 7 de mayo de 2014 de lo Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de la República Oriental del Uruguay, 2014. En el artículo 59 y 60 se indican los cuidados que se deben tener referentes a las vibraciones:

“Artículo 59.- A los efectos de evitar consecuencias perjudiciales de las vibraciones sobre la salud de los trabajadores, deberán tomarse las siguientes medidas preventivas y por su orden:

- a) Sustitución del proceso que genera la exposición por otro que esté libre de riesgo.*
- b) Aislación de los elementos generadores de riesgo.*
- c) Acondicionamiento de las máquinas y herramientas (asientos, respaldos, empuñaduras, etc.), así como de la sustentación del operario a fin de evitar o disminuir la trasmisión de las vibraciones producidas en las tareas.*
- d) Protección personal mediante el uso de elementos que provean la adecuada atenuación de las vibraciones.”*

“Artículo 60.- Los trabajadores ocupados en tareas con exposición a vibraciones mecánicas en forma permanente, que puedan producir enfermedades osteomioarticulares o vasculo nerviosas, deben ser sometidos a exámenes médicos específicos, de acuerdo a lo establecido por el Ministerio de Salud Pública o la autoridad competente en la materia.”

Desafortunadamente no hay indicación de límites de estas vibraciones.

El estándar para la evaluación de la vibración en el cuerpo humano más amplio y general en la vibración en edificios es la Norma ISO 2631 (Las vibraciones mecánicas y choque- Parte 1 Evaluación de la exposición humana a vibraciones de cuerpo entero; Parte 2 , Vibración en edificios (1 Hz a 80 Hz)).

En ISO 2631-2, 2003 con la exposición humana a la vibración de todo el cuerpo y golpes en los edificios con respecto a la comodidad y la molestia de los ocupantes, se especifica un método para la medición y evaluación, que comprende la determinación de la dirección de medición y el lugar de medición. Se define la ponderación de frecuencia W_m que es aplicable en el rango de frecuencia 1 Hz a 80Hz, donde la postura de un ocupante no necesita ser definida.

Las características de la vibración de los edificios de acuerdo con la norma ISO 2631-2, 2003, debido a su comportamiento en el tiempo, se puede definir como:

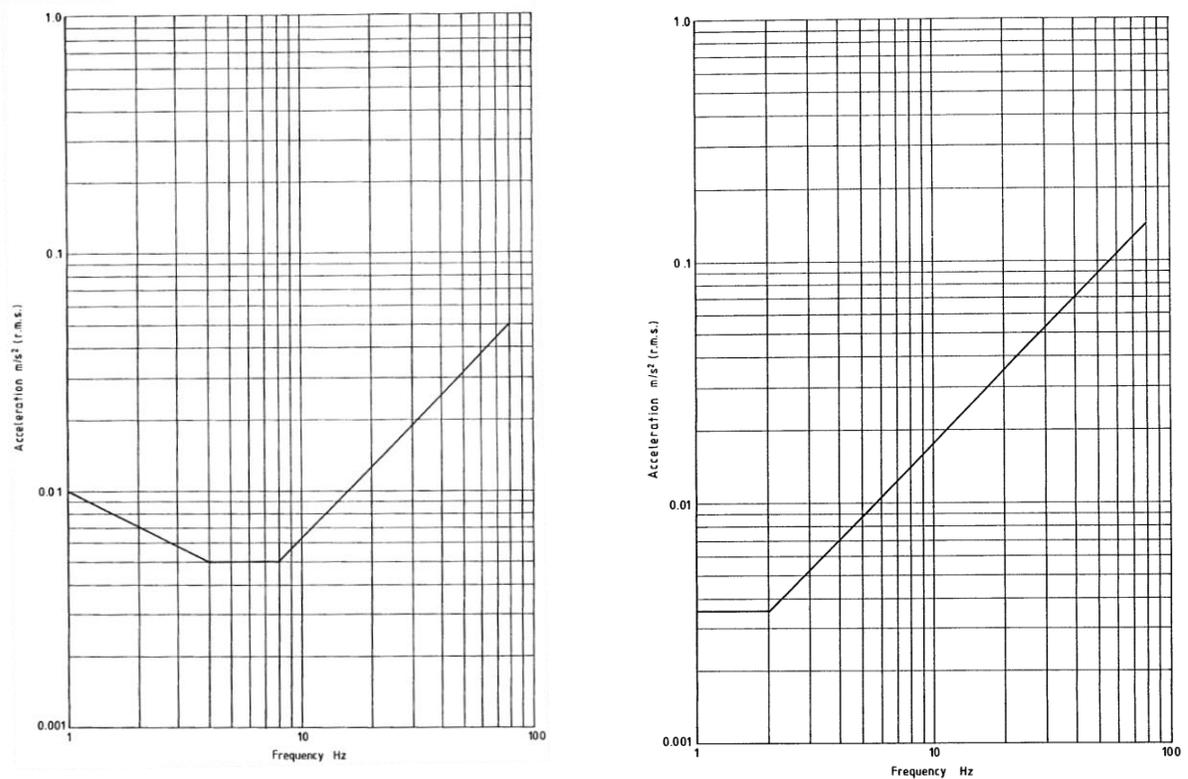
- a) transitoria o impulsivo - definido como la rápida formación de un pico seguido por un decremento, o no que implica múltiples ciclos de vibración, dependiendo de la frecuencia y amortiguación;
- b) Intermitente - es una secuencia de incidentes de vibraciones, cada uno de corta duración, separados por intervalos de niveles mucho más bajos de vibración. Las vibraciones intermitentes pueden ser generadas por fuentes de impulsos o fuentes repetitivas;
- c) Continuo - no se interrumpe durante el período considerado. Cabe señalar que de acuerdo con las normas internacionales se ha mencionado, que la evaluación de edificios con respecto a la respuesta humana debe ser realizada exclusivamente basada en la ocupación proporcionado para cada entorno, no se consideran otros criterios tales como la técnica de construcción o el estado de conservación del edificio.

Si bien a menudo el caso en estudio es el de un edificio que está disponible para la investigación experimental, muchos de los conceptos contenidos dentro de la norma ISO 2631-2 se aplicarían igualmente al proceso de diseño de un edificio en el que no será posible acceder al mismo, en estos casos, se deberá realizar una predicción de la respuesta al edificio por algún medio. La norma ISO 2631-2, 2003 no proporciona orientación sobre la probabilidad de daño estructural, que se describe en la norma ISO 4866. Además, no es aplicable a la evaluación de los efectos sobre la salud y la seguridad humana. Las magnitudes aceptables de vibración no se indican en la norma ISO 2631-2, están definidas en la ISO 2631-1, 1997.

La definición matemática de la ponderación de frecuencia W_m se da en el Anexo A de esta norma. En el Anexo B de la misma figuran las Directrices para la recopilación de datos relativos a denuncias acerca de la vibración en edificios.

La norma BS 6472, 1992, y más recientemente la BS 6472, 2008, cubre una evaluación de la comodidad de la exposición humana a las vibraciones de edificios (1 Hz a 80 Hz), como la norma ISO 2631-2, 2003, contenía información insuficiente para la evaluación eficiente de la vibración de los edificios, la BS 6472, 1992 complementa la información sobre la evaluación de las vibraciones mediante la introducción de una tabla (Figura 2.3) que identifica los límites vibración

(en la dirección horizontal y en la dirección vertical) sobre la base de curvas de ponderación límite según el tipo de actividad (ocio, hospital, residencial, comercial, industrial, etc.) y período de ocupación (día o noche) de un edificio determinado (Figura 2.2), cuyo avance es de los límites en términos de aceleración de vibración para un rango determinado de frecuencias (Hz).



(Fuente: BS 6472, 1992).

Figura 2.2 - Curva base de la aceleración rms para edificios: (a) eje z, (b) ejes x, y.

La exposición humana a las vibraciones, según la ISO 2631-1, 1997, se clasifica debido a sus peculiaridades en:

- Vibraciones en todo el cuerpo: también conocidos como WBV (vibración del cuerpo entero) son las vibraciones que, como su nombre indica, afectan a todo el cuerpo, especialmente en un rango de frecuencia de 1-80 Hz Este tipo de vibración puede estar presente por ejemplo en un medio de transporte tal como un autobús en movimiento.
- Vibraciones en el segmento mano-brazo: también conocido como vibraciones HAV (vibración mano-brazo) son las vibraciones transmitidas a las manos y los brazos en un rango de frecuencia

de 6.3 a 1250 Hz. Este tipo de vibración puede estar presente en las herramientas oscilantes de mano tales como por ejemplo, martillos neumáticos y motosierras. También es el tipo de vibración que puede estar presente en la actividad de ciclismo.

Lugar	Hora	Factores multiplicativos	
		Exposición a vibración continua (16hs día, 8hs noche)	Vibración con impulsos , con hasta 3 ocurrencias
Areas de trabajo criticas (ej. Quirófanos de hospitales, laboratorios de precisión, etc)	Día	1	1
	Noche	1	1
Residencial	Día	2 a 4	60 a 90
	Noche	1.4	20
Oficinas	Día	4	128
	Noche	4	128
Talleres	Día	8	128
	Noche	8	128

(Fuente: BS 6472, 1992).

Figura 2.3 - Factores multiplicativos para especificar límites satisfactorios para la respuesta humana.

Es importante tener en cuenta que esta clasificación es formal, y puede ocurrir la exposición simultánea a ambos tipos de vibraciones. Un conductor de autobús, por ejemplo, puede estar expuesto a vibraciones de cuerpo completo en el movimiento global del vehículo, y también expuesto a vibraciones del sistema mano-brazo, transmitida por la dirección del vehículo.

De acuerdo con la ISO 2631-1, 1997, cerca de cincuenta por ciento de las personas saludables y alertas pueden detectar la vibración ponderada (W_k) del movimiento vibratorio con una magnitud máxima de 0.015 m/s^2 . Hay una gran variación entre los individuos en su capacidad de percibir las vibraciones. Cuando el umbral de percepción media es de aproximadamente 0.015 m/s^2 , el rango inter-cuartil de las respuestas puede extenderse desde alrededor de $0,01 \text{ m/s}^2$ a $0,02 \text{ m/s}^2$ de pico. El umbral de percepción disminuye con el aumento en la duración de la vibración levemente hasta un segundo y muy poco con nuevos aumentos de duración. Aunque el umbral de percepción no continúa disminuyendo con el aumento de la duración, la sensación producida por la vibración en magnitudes por encima del umbral puede proceder a aumentar.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La vibración que sienten las personas que trabajan sobre una losa proviene básicamente de vibraciones inducidas por máquinas o por el andar de las personas por sobre la losa. Una parte de estas vibraciones se amortiguan y son atenuadas por el sistema estructural en sí y por los mobiliarios (sillas, bancos, asientos acolchados), otra parte por el trabajador, que recibe parte de esta vibración. Por otra parte, el peso de la losa y equipos instalados también puede jugar un papel importante en esta vibración, como el sistema formado por la losa y el trabajador y máquinas puede tener diferentes frecuencias naturales dependiendo de la masa y rigidez (función del área, material y espesor de la losa) favoreciendo la amplificación de ciertas vibraciones que pueden ser perjudiciales cuando hay un exceso tanto en amplitud y tiempo de exposición para los usuarios y generando además cierto riesgo a la propia estructura.

El modo de vibración de losas es función también de las condiciones de contorno (apoyo) que la misma tiene. El rango de frecuencias más a menudo asociado a efectos en la salud, actividades o comodidad en una exposición a la vibración de cuerpo entero es de 0,5Hz a 100Hz y valores de aceleración entre 0.01 y 10 m/s² (pico).

La magnitud del desplazamiento por vibración que es apreciable con los ojos no provee una buena indicación de la severidad del movimiento. La dirección, la frecuencia, la magnitud y duración de un movimiento no son los únicos factores que influyen la respuesta humana a la vibración de cuerpo completo. La transmisión de la vibración al cuerpo es altamente dependiente de la interacción dinámica entre el cuerpo y los puntos de contacto con el movimiento, depende también de la postura del cuerpo, del estado psicológico de la persona el cual puede ser influenciado por muchos aspectos ambientales, debe tenerse en cuenta también la diferencia en la respuesta entre diferentes personas o de la misma persona en una ocasión diferente, la consideración de estos factores que pueden dar lugar a confusiones debe ser parte de la evaluación de cualquier ambiente con vibración.

3.1 Vibración de cuerpo entero (VCE)

La vibración de cuerpo entero ocurre cuando todo el cuerpo se encuentra expuesto a una superficie que vibra haciendo que el efecto de interés no sea local ni debido a ningún punto particular de contacto. La respuesta humana a la vibración de cuerpo entero es altamente dependiente de la frecuencia y dirección de la vibración y de la postura y orientación del cuerpo.

Para el análisis de la respuesta humana a la vibración de cuerpo entero es conveniente considerar los siguientes efectos por separado:

- Confort degradado
- Interferencia con actividades
- Daños en la salud
- Cinetosis

Determinar las consecuencias de la exposición a la vibración no es simple, la percepción de movimiento, la sensación que produce y la interferencia con la salud y las actividades son fenómenos complejos.

3.1.1 *Confort degradado*

La amplitud del rango y la complejidad de las variables involucradas en los estudios acerca de la vibración junto a su interdependencia en ambientes reales dificultan la posibilidad de establecer procedimientos generales para predecir el desconfort ocasionado por vibraciones exclusivamente a través del estudio de las respuestas a movimientos reales.

La magnitud absoluta de desconfort depende de la frecuencia y de la dirección de la vibración así como del contexto en el que las evaluaciones son realizadas.

Los resultados obtenidos a través de escalas semánticas también dependen del fraseo y del número de palabras en la escala, este tipo de escalas solamente nos proveerán de una información de base, ya que indican como sujetos voluntarios respondieron durante cortas exposiciones en condiciones de laboratorio.

Fothergill y Griffin, 1977c, realizaron una comparación de cuatro experimentos que utilizaban escalas semánticas y encontraron algunos resultados concordantes entre los valores principales (ver Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Comparación de resultados en experimentos con escalas semánticas para confort.

Fothergill, 1972	Escala	<i>rms</i>
	Muy desagradable	2,5 m/s ²
	Desagradable	1,7 m/s ²
	Med. Desagradable	1,1 m/s ²
	No desagradable	0,7 m/s ²
	Perceptible	0,3 m/s ²
Oborne y Clarke, 1974		
	Muy Desconfortable >	2,3 m/s ²
	Desconfortable	2,3 m/s ²
	Levemente desconfortable	1,2 m/s ²
	Levemente confortable	0,5 m/s ²
	Confortable	0,23 m/s ²
	Muy confortable <	0,23 m/s ²
Fothergill y Griffin , 1977		
	Muy desconfortable	2,7 m/s ²
	Desconfortable	1,8 m/s ²
	Med. Desconfortable	1,1 m/s ²
	Perceptible, pero no desconfortable	0,4 m/s ²
Jones y Saunders, 1974		
	Muy desagradable	3,7 m/s ²
	Muy desconfortable	2,2 m/s ²
	Desconfortable	1,2 m/s ²
	Med. Desconfortable	0,7 m/s ²
	No desconfortable	0,33 m/s ²

(Adaptado de Griffin, 1990)

El desconfort depende además de la frecuencia de la vibración ya que una magnitud de vibración constante no produce el mismo desconfort a diferentes frecuencias.

A bajas frecuencias (por debajo de 1 o 2 Hz) las fuerzas que actúan sobre el cuerpo son aproximadamente proporcionales a la aceleración de entrada y el mismo movimiento es transmitido a través del cuerpo entero. A frecuencias apenas superiores varias resonancias corporales tienden a amplificar el movimiento y el desconfort general es influenciado por sensaciones en diferentes partes del cuerpo (abdomen, hombros, tórax, cara), mientras la frecuencia se va incrementando.

Además de la magnitud de la vibración, la frecuencia, la dirección, el punto de entrada y de la duración otros factores como las variables intra-sujeto (ej. postura) y las variables inter-sujeto (ej. Peso) son determinantes en el desconfort de una persona expuesta a vibración de cuerpo entero.

3.1.2 *Interferencia con actividades*

La realización de cualquier actividad requiere de la combinación de procesos perceptivos, motores y centrales con retroalimentación. Cada uno de estos procesos es complejo. Los efectos de la vibración en la visión son causados por el movimiento de las imágenes en la retina.

Los disturbios causados por la vibración de la mano pueden transmitirse al sistema y aparecer como un error al intentar corregirlo, el observador puede verlo y puede que intente corregirlo fallando en este intento. La vibración puede también tener efectos significativos en la estabilidad y en el habla.

3.1.3 *Daños a la salud provocados por la vibración*

Los niveles y la exposición a la cual los seres humanos pueden ser expuestos sin poner en peligro su salud se describen en la literatura, como en Griffin, 1990 y Harris y Piersol de 2002 obtenido a partir de diversas pruebas, así como los datos experimentales recogidos que indican la causa y el efecto de los niveles de vibración y el tiempo de exposición a los problemas relacionados. Como ya se mencionó, básicamente, la vibración entrante al trabajador puede resonar con algunas de sus partes físicas, y estos niveles puede ser perjudicial para su salud, causando daños que pueden ir desde simples dolores musculares, incomodidad, entumecimiento, náuseas, o a algo más serio como enfermedades degenerativas tales como hernias lumbar y cervical, la enfermedad de los

dedos blancos, síndrome del túnel carpiano, etc. Durante oscilaciones sinusoidales verticales a frecuencias abajo 2Hz la mayoría de las partes del cuerpo se mueven arriba y abajo en conjunto. Si el movimiento tiene una frecuencia debajo de 0,5Hz puede causar síntomas de enfermedad como náuseas, sudoración o vómitos. Las oscilaciones verticales con una frecuencia por encima de los 2Hz causan amplificación de la vibración dentro del cuerpo, se sugiere comúnmente que la primera resonancia ocurre alrededor de los 5Hz. A frecuencias mayores a 5Hz, la fuerza requerida para generar una aceleración vertical determinada en el asiento cae rápidamente con el incremento en frecuencia mientras que la vibración en la cabeza y la incomodidad producida por la aceleración decrecen de manera relativamente lenta.

La oscilación horizontal mientras tanto produce un variado rango de sensaciones, a frecuencias debajo de 1Hz las oscilaciones tienden a hacer que el cuerpo se balancee pero esto puede ser resistido por fuerza muscular. En frecuencias entre 1 y 3 Hz se torna difícil estabilizar la parte superior del cuerpo y la molestia causada por la vibración tienden a ser mayores. Con el aumento en la frecuencia la vibración se transmite en menor medida a las partes superiores del cuerpo. La presencia de un respaldo puede alterar de una manera significativa el efecto del movimiento horizontal. A bajas frecuencias el respaldo puede ayudar a estabilizar la parte superior del cuerpo y reducir los efectos del movimiento, a frecuencias altas el respaldo es la causa principal de la transmisión de la vibración al cuerpo y puede incrementar los efectos.

La postura tiene una gran influencia en la cantidad de vibración transmitida a una persona sentada y determina el grado de cualquier efecto perjudicial. En la zona de resonancia de un cuerpo una pequeña alteración en la posición o en la tensión muscular puede ayudar a reducir la severidad de la vibración. El efecto de los cambios de postura se incrementa con el incremento de la vibración, variaciones menores en la orientación de la baja espalda y el ángulo de la cabeza causaran cambios sustanciales en la vibración transmitida a través de la columna vertebral hasta la cabeza.

Los efectos de la vibración en el cuerpo dependen de la manera y del grado en que la vibración es transmitida al cuerpo y a través del cuerpo. Si se conocen tanto la ubicación como el mecanismo principal de la vibración será posible predecir el efecto de la vibración desde el conocimiento de su transmisión a la parte relevante.

3.1.4 *Cinetosis*

La cinetosis o los trastornos producidos en el organismo debido al movimiento pueden hacer sentir a una persona realmente desdichada, y se caracteriza por una progresión de síntomas que van desde la palidez y sudoración hasta las náuseas o vómitos. Se produce en situaciones en las cuales la información sensorial acerca de la orientación del cuerpo y el movimiento es inconsciente, el sistema vestibular, el sistema visual y posiblemente el sistema somato sensorial están involucrados.

Este trastorno ocurre con movimientos a baja frecuencia en los que la postura del dorso no altera la cantidad de movimiento de translación transmitido a la parte superior del cuerpo. Las oscilaciones que causan este problema tienen frecuencias en el rango de 0,1 Hz - 0,5Hz.

3.1.5 *Valores Límites normativos*

Como resultado de muchas investigaciones se han desarrollado diferentes normas técnicas, pero ninguna de las normas existentes proporciona un criterio óptimo para la predicción del malestar por la exposición a las vibraciones.

Entre las normas existentes destacan la norma BS 6841, 2008, y la norma ISO 2631-1, 1997, e ISO 2631-2, 2003, que se seguirán durante el presente trabajo.

Para la evaluación de la exposición del cuerpo completo a las vibraciones se recomienda seguir los siguientes pasos, recogiendo datos relacionados a:

- Características de la tarea
- Condiciones ambientales
- Características del individuo
- Aplicar los criterios para la evaluación de las vibraciones globales descritos en ISO 2631

En la norma ISO 2631 se definen los factores de ponderación de la frecuencia para la medida de las vibraciones de cuerpo completo que se ven en Tabla 1, dichas ponderaciones se aplican en cada caso en particular junto con los factores de multiplicación correspondientes.

Los factores de multiplicación tendrán distintos valores según la persona se encuentre sentada, recostada o de pie, se deberá realizar mediciones en todas las direcciones relevantes tanto

traslacionales como rotacionales. Un sumario de los diversos factores de ponderación así como de las curvas de ponderación se muestra en la Figura 3.1.

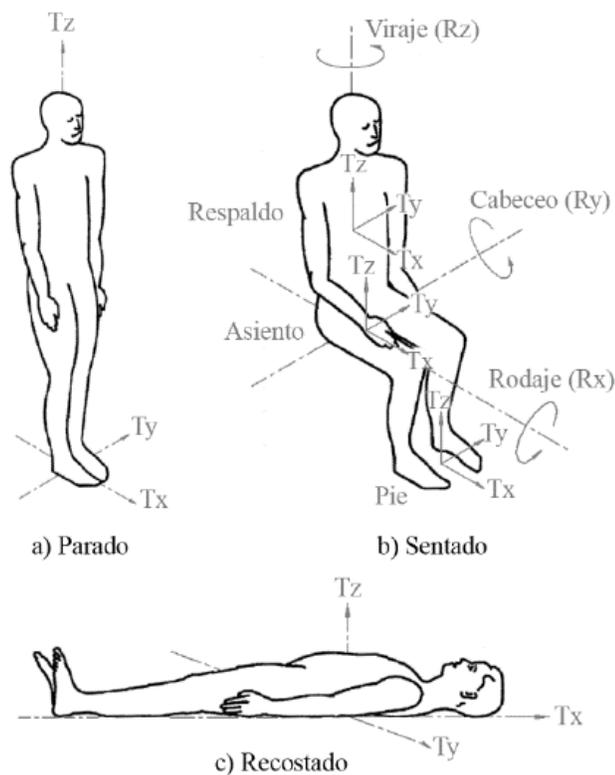
POSICIÓN (Lugar de medición)	PONDERACIÓN (eje)	K	Estimación (según ISO 2631-1:1997)	
CONFORT (0,5 a 80 Hz)^{1,2}				
Sentado	Traslación (asiento)	$W_c(x)$	1	$a_w = (k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2)^{1/2}$
		$W_c(y)$	1	
		$W_k(z)$	1	
		$W_b(\text{trenes})$		
	(asiento)	$W_o(rx)$	0,63 m/rad	
		$W_o(ry)$	0,4 m/rad	
		$W_o(rz)$	0,2 m/rad	
	Rotación (respaldo)	$W_c(x)$	0,8	
		$W_c(y)$	0,5	
		$W_c(z)$	0,4	
(pies)	$W_k(x)$	0,25		
	$W_k(y)$	0,25		
	$W_k(z)$	0,4		
De pie (suelo)	$W_c(x)$	1		
	$W_c(y)$	1		
	$W_k(z)$	1		
Tumbado (bajo pelvis)	$W_c(\text{horizontal})$	1		
	$W_k(\text{vertical})$	1		
Tumbado (bajo cabeza) cuando no hay almohada blanda	$W_l(\text{vertical})$	1		
PERCEPCIÓN (0,5 a 80 Hz)³				
Sentado (asiento)	$W_c(x)$	1	$a_w = a_{wxyz} \text{ máximo}$	
	$W_c(y)$	1		
	$W_k(z)$	1		
De pie (suelo)	$W_c(x)$	1		
	$W_c(y)$	1		
	$W_k(z)$	1		
Tumbado (superficie de apoyo excepto cabeza)	$W_c(x)$	1		
	$W_c(y)$	1		
	$W_k(z)$	1		
Tumbado (bajo cabeza) cuando no hay almohada blanda	$W_l(\text{vertical})$	1		
MAREO PRODUCIDO POR EL MOVIMIENTO (0,1 a 0,5 Hz)				
Sentado o de pie	$W_f(z)$			
<p>1 Si el valor ponderado determinado en cualquier eje es menor del 25% del valor máximo determinado en el mismo punto pero en otros ejes puede ser excluido.</p> <p>2 La vibración horizontal en los respaldos de los vehículos puede afectar mucho al confort. Si por razones técnicas no es posible su medición se tomarán las medidas en la superficie del asiento en los ejes x e y, y el factor de multiplicación en lugar de 1 será 1,4.</p> <p>3 La evaluación de la percepción de las vibraciones será hecha con relación a a_w más alta determinada en cualquiera de los ejes, de los puntos de contacto y tiempo.</p>				

Adaptado de Alfaro, 2007)

Figura 3.1 - Curvas de ponderación para cada posición, la orientación y la medición de las vibraciones.

Dado que la postura y la dirección de las vibraciones tienen especial relevancia, la norma ISO 2631-1, 1997, tiene muy en cuenta estos factores. Se valoran las vibraciones que se transmiten al conjunto del cuerpo para todo tipo de superficie, que puede ser bien a través de los pies de un individuo que está de pie, a través de los glúteos, espalda y pies de una persona que está sentada o a través del área de apoyo de un individuo recostado (Figura 3.2.).

Para personas sentadas se utilizan tres áreas: soporte de la superficie del asiento, medido bajo las tuberosidades isquiáticas, respaldo del asiento, medido en la zona de apoyo principal del cuerpo, y pies, medido donde se apoyan con mayor frecuencia. Para personas reclinadas la medida debe ser realizada bajo la pelvis, espalda y cabeza.



a_x, a_y, a_z = aceleración en las direcciones de los ejes x, y, z.

Eje x = a través del pecho

Eje y = a través de los hombros

Eje z = de la cabeza a los pies

(Adaptado de ISO 2631-1, 1997)

Figura 3.2 - Las vibraciones deben medirse colocando el transductor entre el cuerpo y la superficie vibratoria.

3.1.6 Valores para la evaluación del desconfort producido por la vibración

La norma ISO 2631, 1997, ofrece una guía para la evaluación del desconfort producido por la vibración de cuerpo entero (VCE). Define límites de confort degradado para un rango de frecuencias entre 1 y 80Hz y duraciones de entre 1 minuto y 24 horas de personas paradas, sentadas o recostadas. En la Tabla 3.2 pueden apreciarse los valores definidos en la norma:

Tabla 3.2 - Valores para evaluación de desconfort Norma ISO 2631-1, 1997.

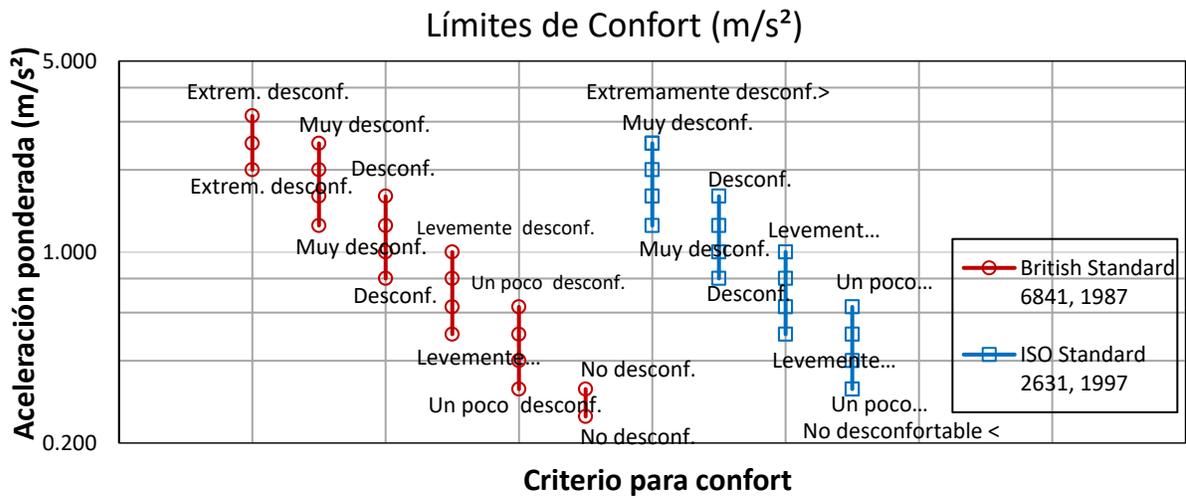
ISO 2631-1, 1997	
Escala	Aceleración <i>rms</i>
Extremadamente desconfortable	> 2 m/s ²
Muy desconfortable	1,25 m/s ² - 2,5 m/s ²
Desconfortable	0,8 m/s ² -1,6 m/s ²
Levemente desconfortable	0,5 m/s ² - 1 m/s ²
Un poco desconfortable	0,315 m/s ² - 0,63 m/s ²
No desconfortable	< 0,315 m/s ²

La norma British 6841, 1987, brinda indicaciones aproximadas de las reacciones para varias magnitudes de vibraciones ponderadas. En la Tabla 3.3 se muestran los valores definidos en la norma.

Tabla 3.3 - Valores para desconfort definidos en British Standard 6841, 1987.

British Standard 6841, 1987	
Escala	Aceleración <i>rms</i>
Extremadamente desconfortable	> 2 m/s ²
Muy desconfortable	1,25 m/s ² -2,5m/s ²
Desconfortable	0,8 m/s ² -1,6 m/s ²
Levemente desconfortable	0,5 m/s ² - 1 m/s ²
Un poco desconfortable	0,315 m/s ² - 0,63 m/s ²
No desconfortable	0,25 m/s ² - 0,315 m/s ²

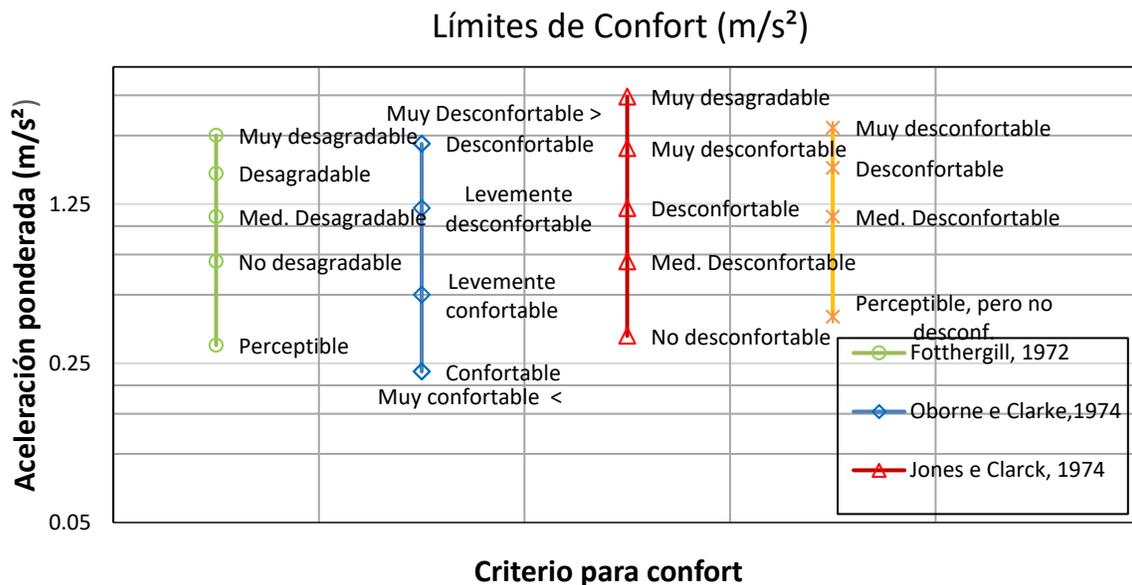
A continuación, en la Figura 3.3, se muestran los valores indicados en la Norma ISO 2631 y en la British Standard 6841 en forma gráfica:



(Fuente: Resultado de la investigación)

Figura 3.1 - Valores de aceleración y clasificación indicados en la Norma ISO 2631 y en la British Standard 6841 en forma gráfica.

Como ya se mencionó Fothergill y Griffin, 1977c, realizaron una comparación de cuatro experimentos en condiciones de laboratorio. En la Figura 3.4 se muestran los valores obtenidos representados en forma gráfica:



(Fuente: Resultado de la investigación)

Figura 3.2 - Valores de aceleración e clasificación indicados en otros autores.

La norma BS 6472-1 de 2008 indica un nuevo procedimiento que no utiliza bandas de frecuencias sino que utiliza la evaluación del VDV. Las curvas de ponderación son el W_b para vibración vertical y W_d para la vibración longitudinal y lateral. La definición de estas curvas de ponderación (filtros, está definida en la Norma BS 6841, 1987. Cuando se tiene los valores medidos de aceleración *rms*, se sigue la ponderación por las respectivas curvas.

Para cada eje se obtiene el VDV correspondiente al tiempo de exposición τ y si esta condición de vibración es constante y representativa o repetida regularmente entonces sólo debe evaluarse un valor de muestra representativa. Si la dosis de vibración en determinada dirección y el tiempo de exposición se evalúan $VDV_{b/d}$, entonces el valor de la dosis de vibración diario, $VDV_{b/d, day}$, será dado por:

$$VDV_{b/d, day} = \left(\frac{t_{day}}{t_\tau}\right)^{0,25} \times VDV_{b/d, \tau} \quad (3.1)$$

Y si hay N episodios de varias duraciones t_n cada uno con una dosis de vibración de $VDV_{b/d, t_n}$, la dosis de vibración total es evaluada por:

$$VDV_{b/d, dia/noche} = \left(\sum_{i=1}^N VDV_{b/d, \tau}^4\right)^{0,25} \quad (3.2)$$

Estos valores se deben comparar con los definidos en dicha Norma y que se muestra en la Tabla 3.4 a continuación:

Tabla 3.4- Rango de valores de dosis de vibración que podría dar lugar a diversos comentarios adversos.

Lugar y Tiempo de exposición	Hay baja probabilidad de comentarios adversos ($m/s^{1.75}$)	Los comentarios adversos son posibles ($m/s^{1.75}$)	Los comentarios adversos son probables ($m/s^{1.75}$)
Edificios residenciales (16h/día)	0,2 a 0,4	0,4 a 0,8	0,8 a 1,6
Edificios residenciales (8h/noche)	0,4 a 0,2	0,2 a 0,4	0,4 a 0,8
Oficinas (16h/día)	0,4 a 0,8	0,8 a 1,6	1,6 a 3,2
Taller (16h/día)	0,8 a 1,6	1,6 a 3,2	3,2 a 6,4

(Adaptado de BS 6472-1, 2008)

3.1.7 Valores para la evaluación de daños en la salud causados por vibración

Para la evaluación de los daños en la salud causados por las vibraciones se tendrá en cuenta la Figura 3.5, en donde se describe una zona de riesgo para la salud definida por las ecuaciones (3.3) y (3.4) (Eq.1 and Eq. 2 en la Figura 3.5) asumiendo que las respuestas a dos diferentes exposiciones a vibraciones son equivalentes energéticamente cuando se cumple:

$$a_{w1}(T_1)^{1/2} = a_{w2}(T_2)^{1/2} \quad (\text{Equation 1}) \quad (3.3)$$

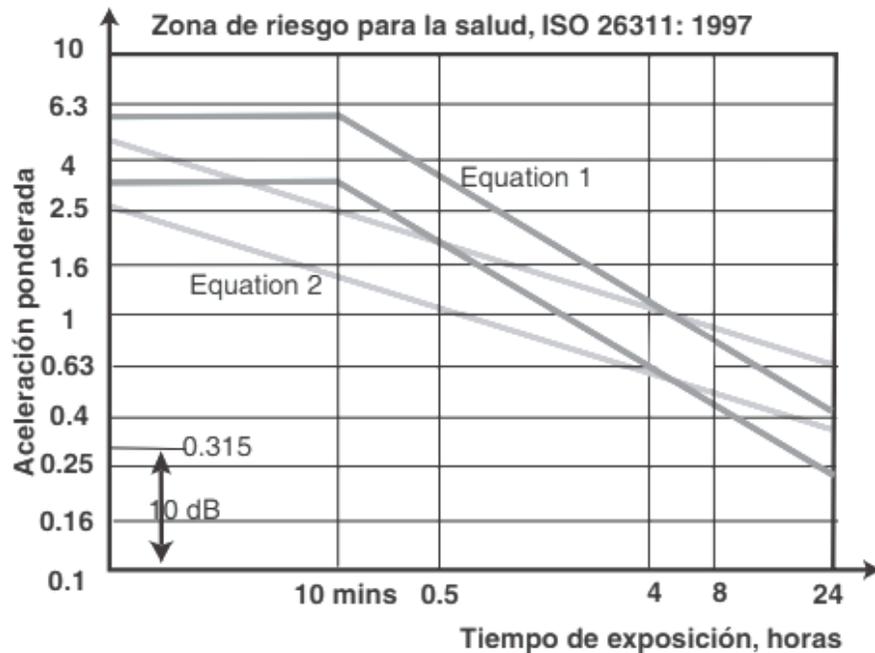
o

$$a_{w1}(T_1)^{1/4} = a_{w2}(T_2)^{1/4} \quad (\text{Equation 2}) \quad (3.4)$$

Donde:

a_w : son los valores de aceleraciones *rms* ponderadas y los subíndices indican el número de exposiciones.

T : és la duración de la exposición



Adaptado de Alfaro, 2007)

Figura 3.3 - Zona de precaución definida en el anexo B de la Norma ISO 2631-1, 1997.

Se valorarán las exposiciones diarias de 8hs, $A(8)$ expresada como la aceleración continua equivalente para un periodo de 8 horas.

$$A_{(8)} = a_{ve}(T/T_0)^{1/2} \quad (3.5)$$

Donde:

a_{ve} : es la aceleración ponderada en frecuencia según los tres ejes x, y e z

T : es el periodo de duración de la exposición y

T_0 : es la duración de 1 día de trabajo (8h).

Según la Figura 3.5. Para un período de 8 horas se estima que si la aceleración a_w está:

- a) Por debajo de $0,5\text{m/s}^2$, los efectos sobre la salud no han sido claramente documentados u observados objetivamente
- b) En la zona entre $0,5\text{ m/s}^2$ y $0,8\text{ m/s}^2$, la precaución con respecto a los riesgos de salud potenciales está indicada
- c) Valores superiores a $0,8\text{ m/s}^2$, los riesgos para la salud son probados

Para evaluar adecuadamente el potencial dañino que una vibración puede causar a humanos se utilizan comúnmente los parámetros de aceleración rms (Ecuación 3.6), así como el valor VDV- Valor de Dosis de Vibración (Ecuación 3.7) ya que están relacionadas con la energía contenida en la vibración recibida.

$$a_{rms} = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [a(t)]^2 dt \right]^{1/2} \quad (3.6)$$

$$VDV = \left[\int_{t_1}^{t_2} [a(t)]^4 dt \right]^{1/4} \quad (3.7)$$

El VDV como definición es más ventajosa y se recomienda su uso en los casos en los que los valores de aceleración tienen cambios bruscos (o picos) en comparación con la variación rms habitual, ya que los puntos a los posibles picos de aceleración, que no se consigue con valor rms .

Con el fin de seleccionar correctamente la aceleración de entrada y grado de afectación a cierta parte del cuerpo, las normas separan las vibraciones en dos grandes grupos: VCE (vibraciones en la gama de frecuencias entre 0,1 Hz y 80 Hz y que afectan al cuerpo como un todo, de pie, sentado o acostado) y VMB (vibraciones en el rango de 8 Hz a 1000 Hz y que afecta sólo a algunos de los miembros, los brazos por ejemplo). Para evaluar adecuadamente el efecto que estas vibraciones producen en las partes del cuerpo humano (efecto de resonancia), los estándares proponen curvas de ponderación que se deben utilizar para filtrar los valores de la aceleración medidos por los sensores a las partes correspondientes del cuerpo. Por lo tanto, las aceleraciones se convierten en aceleraciones ponderadas para cada uno de los ejes cartesianos de la medición (Ecuación 3.8).

$$a_{wi} = (\sum_i [W_i \cdot a_i]^2)^{1/2} \quad i = x, y, z \quad (3.8)$$

Por lo tanto, aunque no hay ninguna recomendación específica para el caso de losas, siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 2631-1, ISO 5349-1 1997 y 2001, las siguientes curvas de ponderación se utilizarán: W_k a VCI dirección vertical y W_d de dirección x, y; y W_H en cualquier dirección en la evaluación de VMB como se indica en la Figura 3.6. La figura 3.2 muestra la orientación de los ejes de medición en relación a los puntos de entrada de la vibración.

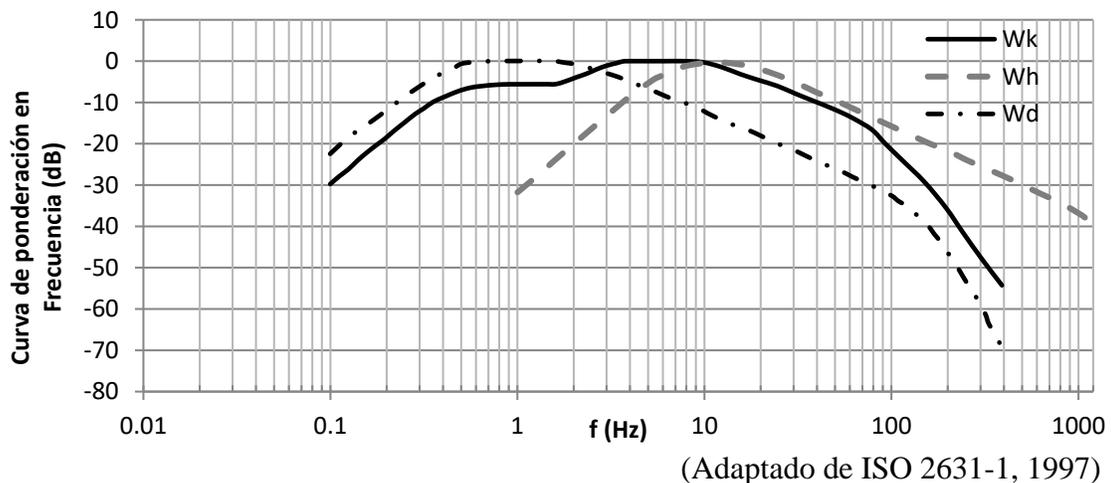


Figura 3.6 - Curva de ponderación en frecuencia W_f y W_d a la vibración de todo el cuerpo y la vibración W_H para el sistema de la mano del brazo.

Para la evaluación de este valor de aceleración *rms* deben utilizarse factores multiplicativos equivalentes para cada eje medido y así convertirlo en un único valor de *rms* de vibración. La

Norma ISO 2631-4, 2001 recomienda valores que usan factores de corrección establecidos, se puede evaluar un valor ponderado de aceleración máxima, a_v en m/s^2 :

$$a_v = \sqrt{k_x^2 \cdot a_{wx}^2 + k_y^2 \cdot a_{wy}^2 + k_z^2 \cdot a_{wz}^2} \quad (3.9)$$

En este punto, hay una recomendaciones da ISO 2631-1, 1997, que dice que la aceleración total puede ser evaluada por la suma vectorial, si la aceleración *rms* en tres direcciones tienen la misma magnitud, de lo contrario hay que utilizar solo las mayores aceleraciones *rms* en un eje principal.

En este caso, se producen dos posibilidades para evaluar la exposición a las vibraciones: (a) Si la medición experimental (típicamente varios minutos) representa toda la exposición recibida al día (8h) y (b) la medición experimental (minutos) representa el tiempo de exposición diaria total. Para estas situaciones se debe determinar la aceleración total equivalente a_{ve} llamada aceleración equivalente de exposición estándar, donde se presenta como T_0 jornada de 8 horas, T tiempo real de exposición de un empleado (Griffin, 1990; Harris y Piersol, 2000; ISO 2631-1, 1997).

$$A_{(8)} = a_{ve}(T/T_0)^{1/2} \quad (3.10)$$

3.2 Vibración del sistema mano-brazo (VMB)

Forma parte de la revisión bibliográfica y siguiendo la clasificación de los tipos de vibración que pueden afectar el cuerpo humano, hay la vibración del sistema brazo-brazo. Las vibraciones aplicadas a sistema mano-brazo pueden acarrear síntomas de los más diversos y que puede definirse como una enfermedad con los siguientes componentes (todos los periféricos): trastornos circulatorios (vaso-espasmo con la palidez local de los dedos - el dedo blanco), sensorial y trastornos motores (Entumecimiento, por ejemplo, la pérdida de la destreza de los dedos) y trastornos músculo-esqueléticos (músculos, huesos y articulaciones) debido a la exposición crónica a la vibración del sistema mano-brazo. En la planta, muchos de los empleados utilizan máquinas vibratorias que pueden acarrear problemas de salud en el sistema mano brazo como taladros, lijadoras, motosierras, remachadoras neumáticas, etc.

Algunos de los efectos principales en el cuerpo de las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo son:

-Vibraciones de muy bajas frecuencias, por debajo de 2 Hz afectan principalmente las funciones vestibulares, por lo tanto se produce sensación de mareo, náuseas, vómitos y sudoración. Las vibraciones de baja frecuencia, registran entre 2 y 20 Hz pueden producir dolores paravertebrales, lumbociáticas, alteraciones digestivas y del tracto urinario.

- Vibraciones de frecuencia superior a 20 Hz, que generalmente se aplican a las manos pueden provocar alteraciones osteoarticulares, periartrosis uni o bilaterales de las articulaciones del codo, alteraciones a nivel de los huesos del carpo, alteraciones circulatorias a nivel de dedos “dedo blanco” y atrofas musculares. El síndrome del dedo blanco (falta de sensibilidad y de control al agitar los dedos, la pérdida de contacto);

- Destrucción de las arterias y los nervios de las manos;

- Trastornos angioneurológicas de los trastornos que se acompañan de la mano sensibilidad (su expresión vascular manifiesta por crisis del tipo dedos muertos, también conocido como síndrome de Raynaud);

- El daño a los tendones y los músculos entre la muñeca y el codo;

- Aumento de la incidencia de las enfermedades del aparato digestivo (hemorroides, dolor abdominal, estreñimiento);

- Trastornos de los tendones;

- Trastornos osteoarticulares observados radiológicamente, como por ejemplo, artrosis y la muñeca lesiones.

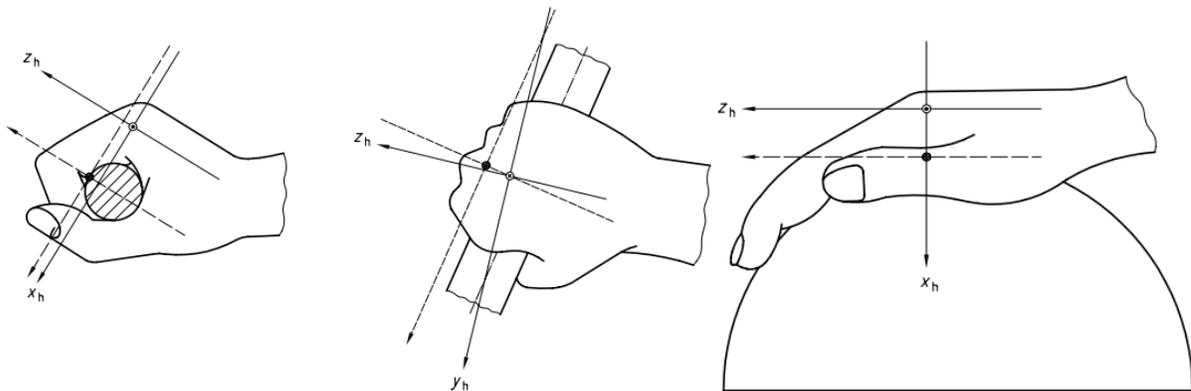
La gravedad de los efectos biológicos de las vibraciones transmitidas a las manos puede ser influenciado por varios factores, entre los que se encuentran: el espectro frecuencia de vibración, la amplitud de la vibración, el tiempo de exposición diaria, la duración y la frecuencia de los períodos de trabajo y descanso, la posición de las manos, brazos y el cuerpo durante la exposición, el tipo de equipo y material el trabajo y el estado de conservación del equipo.

3.2.1 Valores Límites normativos para VMB

El método especificado en la norma ISO 5349 enumera los factores que influyen en los efectos de la exposición a la vibración transmitida a los miembros superiores, que son:

- a) el espectro de frecuencia de la vibración;
- b) la magnitud de la vibración;
- c) la duración de la exposición durante las horas de trabajo;
- d) la exposición acumulada hasta la fecha.

La vibración transmitida a las manos se medirá e informará en las tres direcciones del Sistema ortogonal de coordenadas definidas como se muestra a continuación en la Figura 3.7:



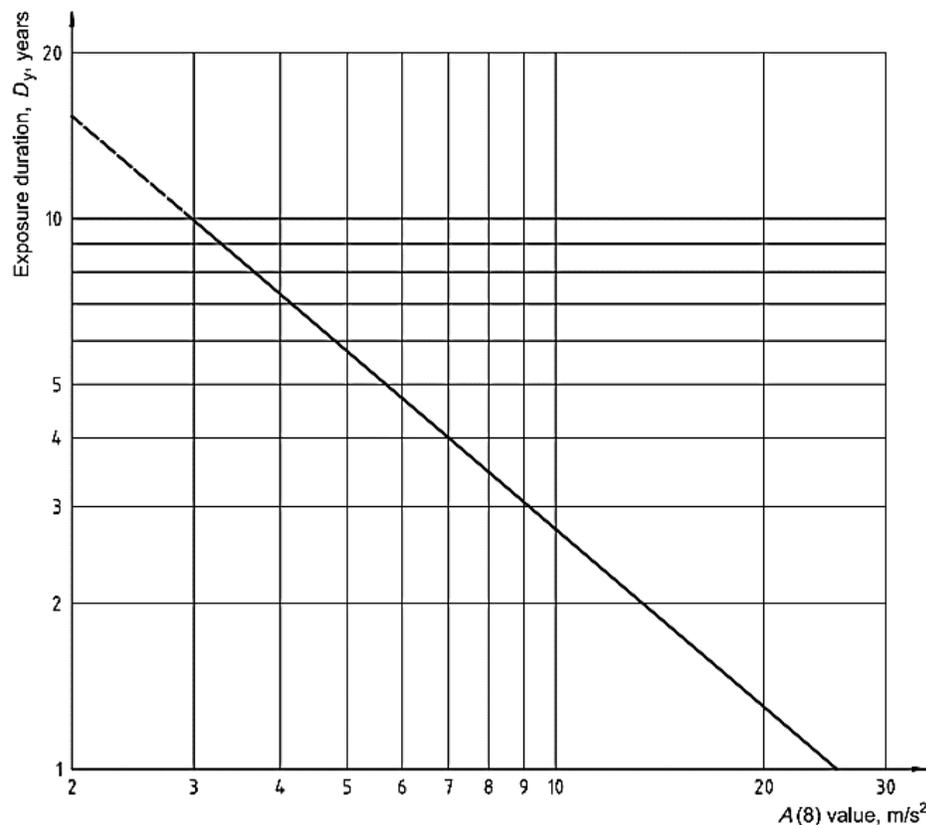
(Fuente: ISO 5349-1, 2001)

Figura 3.7 – Dirección de medición de las vibraciones en el sistema mano-brazo.

La cantidad principal que se utiliza para describir la magnitud de la vibración se llevará a la raíz cuadrada media (*rms* ponderada en frecuencia, la aceleración expresada en metros por segundo al cuadrado (m/s^2). La medición de la aceleración ponderada en frecuencia requiere la aplicación de la ponderación de frecuencia y filtros de limitación de banda. La frecuencia de ponderación W_h refleja la importancia supuesta de diferentes frecuencias en la causa de lesión en la mano. Las características de la ponderación de frecuencia W_h y métodos para la banda limitantes se dan en el Anexo A de la referida Norma ISO 5349, 2001. El valor *rms* se medirá utilizando el

método de integración lineal. El tiempo de integración deberá poder tener una muestra representativa de la señal de vibración que se utiliza (véase la norma ISO 5349-2, 2001).

Entre las normas existentes para la evaluación de la VMB en Europa se encuentra la Directiva Europea 2002/44/EC, donde se especifican los límites de la acción (VAE, el valor de acción de la vibración, de la que se deben tomar medidas correctivas para mitigar la exposición a las vibraciones, con valores de $2,5 \text{ m/s}^2$ durante VMB) y los límites de exposición a la vibración (ELV, limitan la exposición a las vibraciones, por encima de la cual se caracteriza el nivel insalubridad de la exposición, con valores de $5,0 \text{ m/s}^2$ durante VMB). Por VDV valora la Directiva Europea 2002/44/EC no especifican los límites de acción ni de exposición la ISO 5349-1, 2001 para VMB y la exposición diaria de 8h indica como límite $5,0 \text{ m/s}^2$ cuando en seis años el 10% de una población expuesta presentará problemas de dedos blancos (Figura 3.8).



(Fuente: ISO 5349-1, 2001).

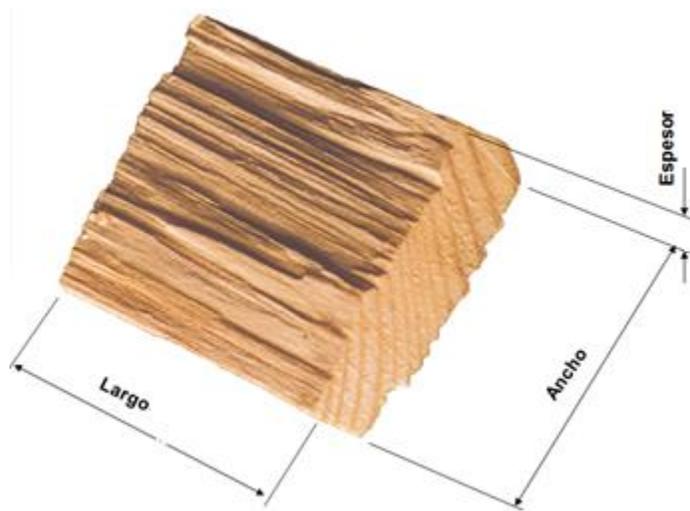
Figura 3.8 Exposición a la vibración a 8h diarias para la prevalencia de enfermedad de dedos blancos en 10% de la población.

4. METODOLOGÍA

Aquí se describe la planta industrial en la que se realizaron las mediciones, el equipo que se utilizó para realizar las medidas y la ubicación de los puntos de medición.

4.1 Descripción de la planta industrial

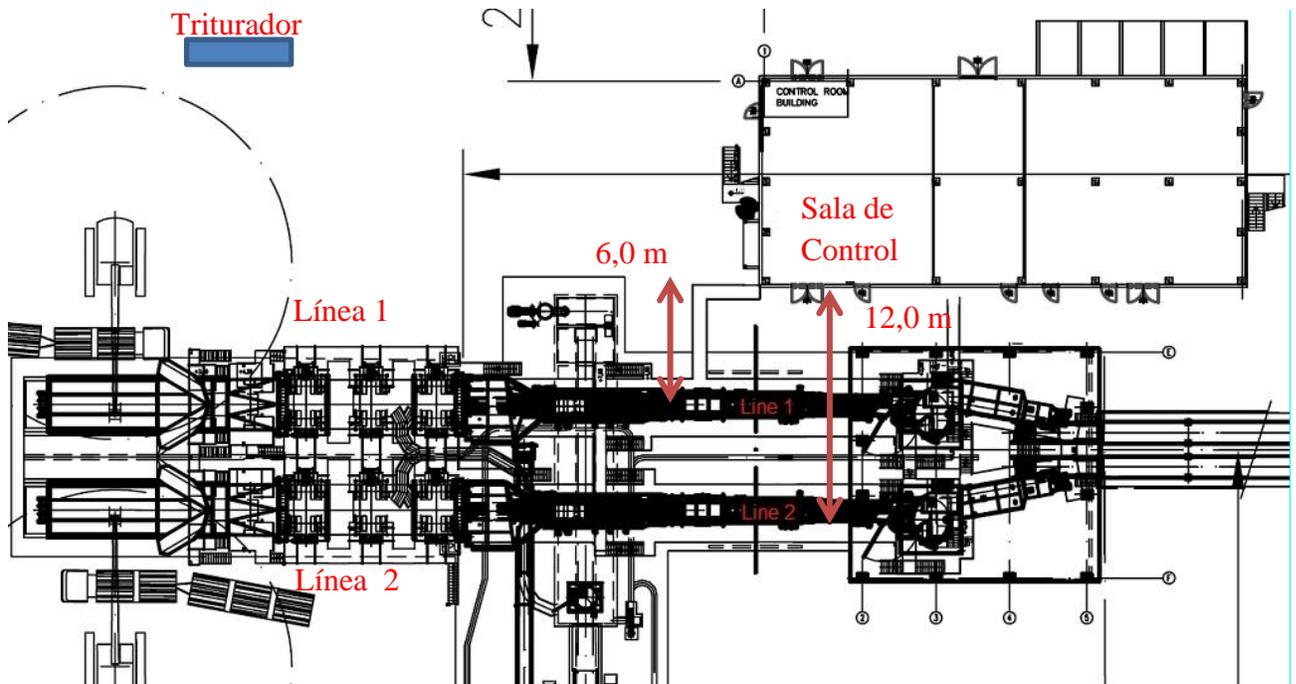
Las mediciones se realizaron en el edificio de control de una planta industrial en la que se reciben troncos y mediante un equipo llamado chipera estos son procesados obteniendo trozos pequeños de madera, de una medida y forma particular los que se conocen como chips de madera, ver Figura 4.1.



(Fuente: datos de la investigación)

Figura 4.1. Chip de madera.

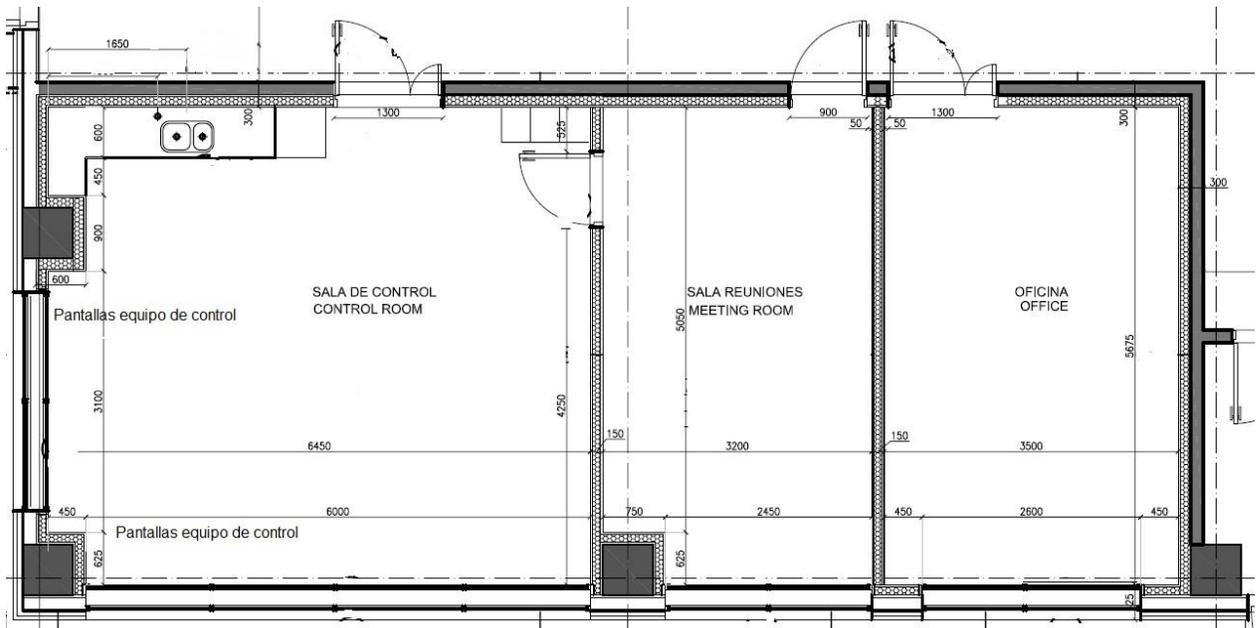
Se cuenta con dos líneas de producción idénticas ubicadas físicamente una paralela a la otra, el edificio de control se encuentra ubicado a 6 metros de una línea, Línea 1 y a 12 metros de la Línea 2. En la Figura 4.2 se muestra un plano de la ubicación de las líneas de producción respecto de la sala de control.



(Fuente: datos de la investigación)

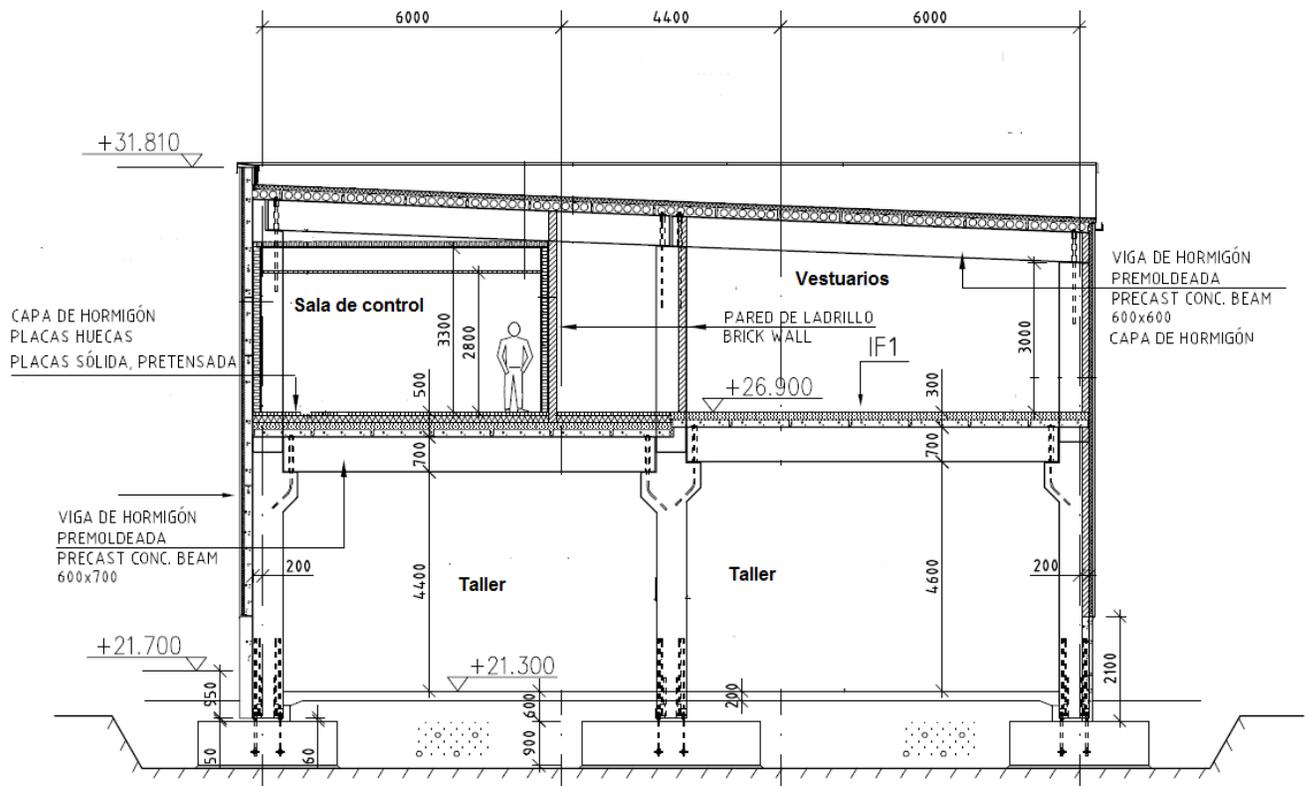
Figura 4.2 - Ubicación de las líneas respecto a sala de control.

A continuación en la Figura 4.3 se muestra el plano de planta alta de edificio de control y en la figura 4.4 un corte en donde se aprecian las diferentes alturas del edificio.



(Fuente: datos de la investigación)

Figura 4.3 - Sala de control, vista en planta. Medidas de losas.



(Fuente: datos de la investigación)

Figura 4.4 - Corte vertical del edificio de control.

4.1.1 Descripción del proceso

En la planta se reciben troncos de 7,20 m de largo y un diámetro que puede variar entre 0,10 m y 0,50 m, estos son depositados mediante grapos sobre un transportador de cadenas, (Figura 4.5), este transportador conduce los troncos hacia un tambor rotativo para el descortezado de los mismos, allí los troncos golpean unos contra otros removiendo la posible corteza que estuviera pegada.



(Fuente: datos de la investigación)

Figura 4.5 – Alimentación de las líneas de chipeado.

Al salir del tambor de descortezado los troncos pasan a través de una estación de lavado conformada por 18 rodillos y duchas con agua limpia para la remoción de arena. Luego un transportador de cinta de goma los conduce a través de un detector de metales para finalmente mediante cadenas transportadoras alimentarlos a una chipera, este equipo llamado chipera es el que finalmente realiza la producción de los chips. Los chips o astillas son pequeños trozos de madera resultantes del proceso de corte de los troncos.



(Fuente: datos de la investigación)

Figura 4.6 - Foto de sala de control, edificio de chiperas y tambor descortezado (potenciales generadores de las vibraciones).

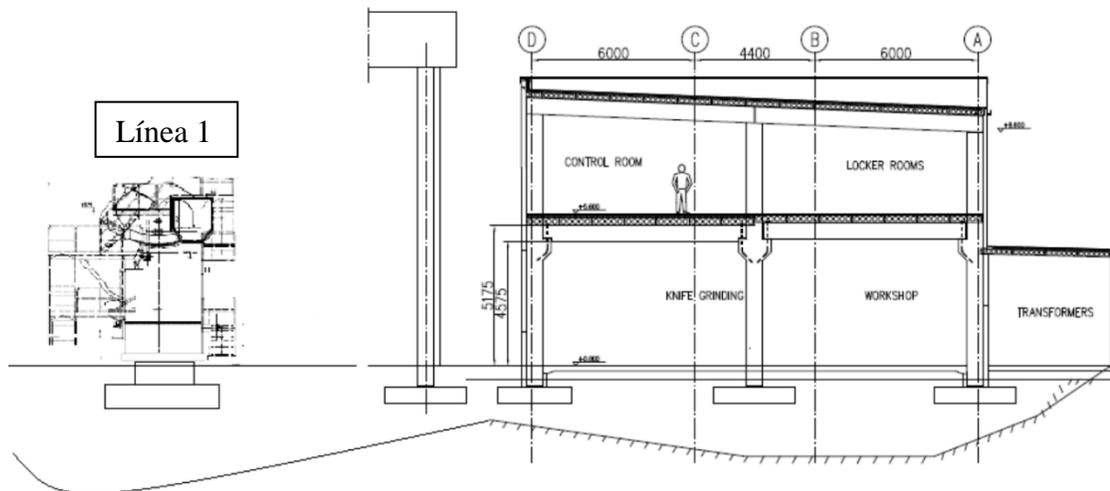
Se cuenta además con un sistema de recolección de residuos, en donde se colecta corteza, piedras, y todo objeto extraño que caiga de las líneas de producción, trozos de troncos, etc, estos desperdicios se recogen en un canal bajo las líneas y mediante el agua utilizada para el lavado se conducen a un equipo que deja pasar el agua, pero no los materiales sólidos, luego de filtrados la mayoría de los objetos extraños, la corteza y trozos de madera se conducen hacia un equipo que los tritura. Este equipo es otra posible fuente importante de vibración. En la Figura 4.7 se muestra la posición del triturador y su distancia a la sala de control.



(Fuente: datos de la investigación)

Figura 4.7 - Foto del triturador (otra fuente de vibración).

Se entiende que tanto las chiperas, como los tambores de descortezado y el triturador son los principales generadores de la vibración que se percibe en el edificio en donde está ubicada la sala de control. Las conexiones físicas existentes entre los equipos y el edificio de control son a través del piso y de los cimientos, y a través del puente existente entre el edificio y las líneas. Este puente sería capaz de transmitir vibraciones en el sentido del eje x. En la Figura 4.8 se muestra la conexión entre cimientos de edificio de control y Línea 1.



(Fuente: datos de la investigación)

Figura 4.8. Conexión a través de cimientos entre sala de control y líneas de chipeado.

Cabe destacar que en los equipos se cuenta con sensores de vibración en rodamientos, no encontrándose en los mismos nada fuera de lo normal. Se realizaron verificaciones en el balanceo de los equipos no encontrándose desbalanceo en los mismos.

En la Figura 4.9, se muestra la sala de control desde donde los operadores controlan el proceso y la silla utilizada durante la operación. Los operadores realizan jornadas laborales de 8hs diarias durante 6 días de la semana, en turnos rotativos (dos mañanas, dos tardes y dos noches). Durante su jornada realizan aproximadamente 4hs de tareas en Sala de control y 4hs de tareas fuera de sala de control.



(Fuente: datos de la investigación)

Figura 4.9 - Foto de sala de control y silla utilizada.

4.2 Equipos utilizados

Para determinar los valores de vibración que se transmiten al empleado ocupante de la losa se utilizaron acelerómetros colocados en el asiento, compatibles con el equipo de lectura. Para el análisis y almacenamiento de la información recogida, el instrumento utilizado fue el de Quest VI-400Pro (QUEST-TECNOLOGIA, 2005), el número de serie 12430. La unidad en cuestión tiene la capacidad de procesar hasta cuatro canales simultáneamente y tiene una memoria interna de 32 MB para el almacenamiento de datos. En el caso que se trata se utilizaron tres canales, para las señales recibidas de los ejes X, Y y Z de coordenadas. En la Figura 4.10 podemos ver una imagen de los equipos utilizados.



(Fuente: datos de la investigación)

Figura 4.10 - Kit VI-400 Pro y equipos transductores utilizados en las mediciones.

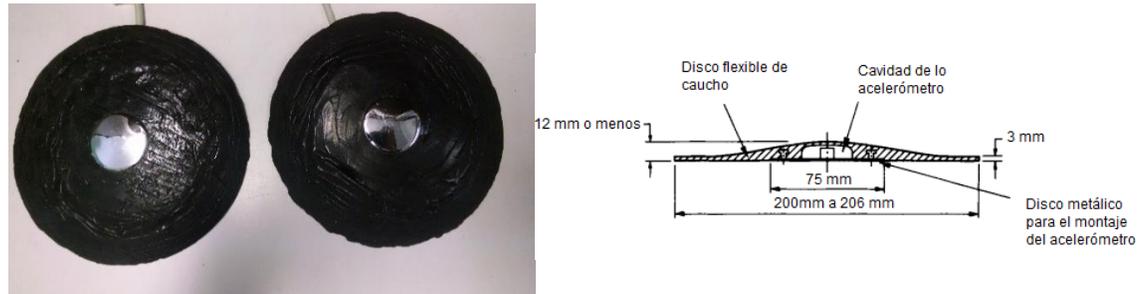
Para generar los datos de entrada en VI400-Pro para el análisis de vibración se utilizaron acelerómetros, que tienen la función de convertir la energía mecánica a partir de las aceleraciones experimentadas por el empleado en señales eléctricas, por lo que el analizador puede leer los datos capturados.

Para evaluar la VCE, se utilizó un transductor tipo *seatpad* que presenta el formato de un material semi-rígido estándar de disco flexible y con un núcleo duro, donde se encuentran los acelerómetros. El uso de este tipo de transductor se justifica por el hecho de adaptarse al formato de la zona de contacto y no interferir con la dinámica del cuerpo cuando se mide en esta situación, así como también debido a que se mueve conjuntamente con toda la estructura. En este caso, el *seatpad* utilizado es 070-030 modelo, número de serie 646, con un acelerómetro tri-axial de sensibilidad nominal 100,3 mV/g en cada uno de sus ejes. Para la realización de las mediciones se colocó el *seatpad* en posición sobre el asiento de la sillas que se utilizan normalmente, observando la alineación entre el núcleo del *seatpad* y la columna del operador, con la orientación correspondiente de los ejes con los requisitos de la norma ISO 2631-1, 1997. Se observó también la posición de la alineación entre el núcleo de la *seatpad* y de los ejes principales de la losa.

Para la recolección adecuada de los datos para el análisis científico se realizó la configuración de los equipos utilizados. En este caso, se hizo uso de un software compatible con VI-400Pro, el Quest Suite Profesional II, que le permite definir que curvas de ponderación serán utilizados y los factores de corrección de acuerdo a la condición analizada. Para este estudio fueron utilizadas las curvas de exposición W_b , W_d y W_k para VCE que fueron definidas anteriormente.

4.3 *Seat pads* individuales y sistema de adquisición de datos

Para las mediciones en el asiento y en los pisos se utilizó un conjunto de dos *seat pads*. La Figura 4.11 indica una foto de los mismos así como las dimensiones estándar.



(Fuente: datos de la investigación)

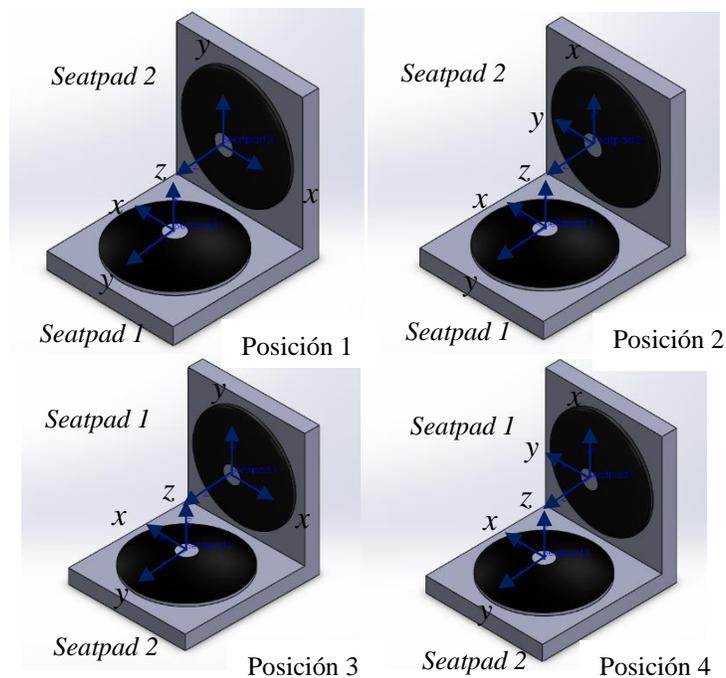
Figura 4.11 – Dos *Seat pads* con acelerómetros triaxiales y dimensiones de acuerdo con la norma ISO 8041, 2005, e ISO 2631, 1997.

Los *seat pads* contienen cada uno los acelerómetros ADXL-335 de 3 ejes de la empresa Analog Devices, con respuesta en frecuencia de 0.5Hz a 1600Hz para los ejes x y y de 0,5 Hz a 550Hz para el eje z. El límite de aceleración en cada eje es de hasta 3.6 g. La sensibilidad nominal es de 500 mV / g para alimentación de 5V. Se utilizaron filtros capacitivos para limitar el nivel de ruido para el ancho de banda de 0Hz a 100 Hz correspondiente a 0,05 μ F como se indica en el manual, lo que origina un ruido *rms* de 3,8 mg, para la dicha faixa de 0Hz a 100Hz, para el eje z, y 2,0 mg para los ejes x y y.

El sistema de adquisición de datos utilizado fue el USB1208-FS de la empresa Measurement Computing. El convertidor A/D del sistema USB1208-FS tiene 11 bits y 8 canales analógicos de entrada con una tasa de adquisición de datos máxima de 50 kHz (Figura A.3 en lo Anexo). Cada uno de los 6 canales fue programado para tener una tasa de adquisición de $f_s = 200$ Hz durante las mediciones en campo en la planta. En el caso de las entradas análogicas, hay ganancias programables para las entradas análogicas, que permiten trabajar con límites de entrada, en este caso, de 0-5V, adecuada para los acelerómetros, ya que éstos poseen la salida proporcional a la aceleración, modulada alrededor de un valor DC de 2,5 V. Esto significa que la resolución del sistema es de 2,44 mV, lo que corresponde a una resolución en aceleración de 4,88 mg que también es adecuada, ya que está en el orden de magnitud del ruido *rms* inherente a los acelerómetros

utilizados. Este sistema A/D fue utilizado en conjunto con rutinas en Matlab para la adquisición de los datos.

En función de las incertidumbres de fabricación y también de la falta de perpendicularidad de los ejes de los acelerómetros durante su montaje en los chips es deseable realizar calibraciones de los mismos antes de su utilización. Así, los dos *seat pads* fueron calibrados en un shaker electrodinámico Tira, modelo St. 5000/300 en las bandas de frecuencia y amplitud para las cuales el asiento está apto para medir para tener en cuenta las sensibilidades cruzadas. Para realizar la calibración del acelerómetro fue construido un soporte, el cual después de fijado en el shaker permitió la realización de la calibración de los dos *seat pads* al mismo tiempo. Para permitir la construcción de la matriz de corrección, se realizaron mediciones en 4 posiciones diferentes, como muestra la Figura 4.12 siguiente:



(Fuente: datos de la investigación)

Figura 4.12– Posiciones de los *seat pads* en la calibración.

Siendo $\{a\}$ el promedio de los valores medidos realizados por el acelerómetro de referencia y $\{b\}$ el promedio de los valores medidos del acelerómetro que se desea calibrar, en cada eje, ambas convertidas para aceleración, la ecuación que permite la corrección es el siguiente:

$$[\boldsymbol{\varepsilon}] * \{\mathbf{a}\} = \{\mathbf{b}\} \quad (4.1)$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Variando la posición de los ejes del acelerómetro a calibrar se pueden descubrir los coeficientes de la matriz $\boldsymbol{\varepsilon}$. Por ejemplo, usando los datos de la posición 1, indicada en la figura anterior, se tiene que el único valor no nulo en $\{\mathbf{a}\}$ es el término a_z , mientras que en el vector $\{\mathbf{b}\}$ todos los términos son diferentes de cero, debido a la inclinación resultante de la fijación dentro del *seatpad*. La sustitución de estos valores nos deja con el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xz} \times a_z &= b_x \\ \varepsilon_{yz} \times a_z &= b_y \\ \varepsilon_{zz} \times a_z &= b_z \end{aligned} \quad (4.3)$$

Luego, se obtiene la tercera columna de la matriz $\boldsymbol{\varepsilon}$. Esta misma medición permite obtener la segunda columna de la matriz $[\boldsymbol{\varepsilon}]$ del segundo *seatpad*, ya que para ese el acelerómetro de referencia indica el valor de a_y . Repitiendo el procedimiento para la posición 2, 3 y 4 se obtiene el resto de las columnas para los dos asientos. Después de obtener las dos matrices, basta con invertir las para obtener una matriz $[\mathbf{C}]$, que cuando multiplicada por los valores obtenidos por el acelerómetro nos proporcionará valores calibrados.

$$[\mathbf{C}] * \{\mathbf{a}\} = \{\mathbf{b}\} \quad (4.4)$$

donde:

$$[\mathbf{C}] = [\boldsymbol{\varepsilon}]^{-1} \quad (4.5)$$

Debido a la norma ISO 2631-1 1997, se indica que el rango de frecuencias importantes para la evaluación de confort y salud humana se encuentra entre 1Hz y 80 Hz, la calibración se realizó dentro de esa banda no laboratorio do grupo de Mecánica dos Sólidos na UFRGS en Porto Alegre, Brasil. Se realizaron mediciones en 9 bandas de frecuencias: 5Hz, 10Hz, 20Hz, 30Hz, 40Hz, 50Hz, 60Hz, 70Hz, 75Hz. Las mediciones se realizaron con una tasa de adquisición de 500Hz y una duración de 10 segundos. El shaker fue configurado para proporcionar un valor de aceleración de 0.5g en todas las frecuencias, excepto en la de 5 Hz, donde se impuso un valor de aceleración de 0.1g, debido a limitaciones del aparato en ejecutar este nivel de aceleración para esta frecuencia baja.

Así, de esta calibración se obtuvieron las matrices de correlación cruzada entre los ejes del acelerómetro, las cuales fueron utilizadas para retirar la correlación de los datos medidos con los dos *seat pads* y tener en cuenta la correlación cruzada entre los ejes.

4.4 Descripción del procedimiento para las mediciones

Para hacer las mediciones se eligieron puntos en la planta que fueran representativos de los lugares en que había vibración sentida en un nivel que se hallaba de incomodidad, así como en puntos próximos a las máquinas que se suponía eran las fuentes generadoras de vibración. Estas mediciones se realizaron con el equipo VI 400Pro utilizando sólo 1 seatpad siempre recostado al área del suelo o piso del punto en cuestión. En este caso, se tomó el cuidado de mantener presionado el seatpad con los pies del operador del VI 400 Pro para que el mismo quedara firmemente fijo.

Además, se definieron más puntos específicamente en los locales que eran puestos de trabajo, midiendo en este caso con el sistema con 2 *seat pads* y sistema de adquisición de datos. Uno de los seatpad fue colocado en el piso / suelo y el otro, en el asiento de la silla del operador del puesto de trabajo (Figura 4.13).



(Fuente: datos de la investigación)

Figura 4.13 – Posiciones para mediciones con el sistema VI 400 Pro y con el sistema con dos *seat pad*.

4.5 Puntos de medición

Se realizaron en total 14 mediciones, 11 de las cuales fueron realizadas en un solo punto y 3 que fueron realizadas utilizando dos *seat pads* al mismo tiempo colocando uno en la silla y otro en el piso. A continuación se presentan los resultados de las 11 mediciones realizadas con un solo *seat pad*, a saber:

Sala de Control: una medida en el lugar en donde se ubica normalmente el operador en el asiento (Punto 1), dos en el centro de la sala en el piso en donde las vibraciones se perciben como mayores (Punto 0 y Punto 10) y otra en el borde del edificio de control en el piso del lado hacia las líneas (Punto 7).

Oficina de Ingenieros: una medida en el piso en el lugar en donde se encuentra el asiento, el que se encuentra en el borde del edificio del lado hacia las líneas (Punto 2) y otra medida en el piso en el centro de la oficina (Punto 9).

Fuera del edificio de control: se realizó una medida a nivel de piso justo enfrente de la base de hormigón del equipo chipera (Punto 3), se realizó otra medida en el piso en donde apoya el equipo triturador (Punto 4). La sala de control se encuentra en el segundo nivel, se realizó una medida a nivel de piso fuera del edificio, pero cercano a la pared que da hacia las líneas (Punto 5). Se realizó otra medida en el puente que une el edificio de sala de control con las líneas de chipeado (Punto 6), único punto de unión visible (además del piso) entre la sala de control y las líneas. Otra medición fue realizada sobre el equipo chipera con esta en funcionamiento (Punto 8) y la última medición se realizó en la plataforma de Línea 1 estando detenida y la Línea 2 funcionando (Punto 11).

Para la medición utilizando 2 *seat pads* al mismo tiempo, se eligieron los siguientes lugares:

Sala de control: una medida en el lugar en donde se ubica normalmente el operador en el asiento (Punto 1) y otra en el centro de la sala en el piso en donde las vibraciones se perciben como mayores (Punto 0)

Oficina de Ingenieros: una medida en el piso en el lugar en donde se encuentra el asiento, el que se encuentra en el borde del edificio del lado hacia las líneas (Punto 2)

En la Figura 4.14 se muestran los puntos en donde se realizaron las mediciones con su ubicación respecto de la sala de control.

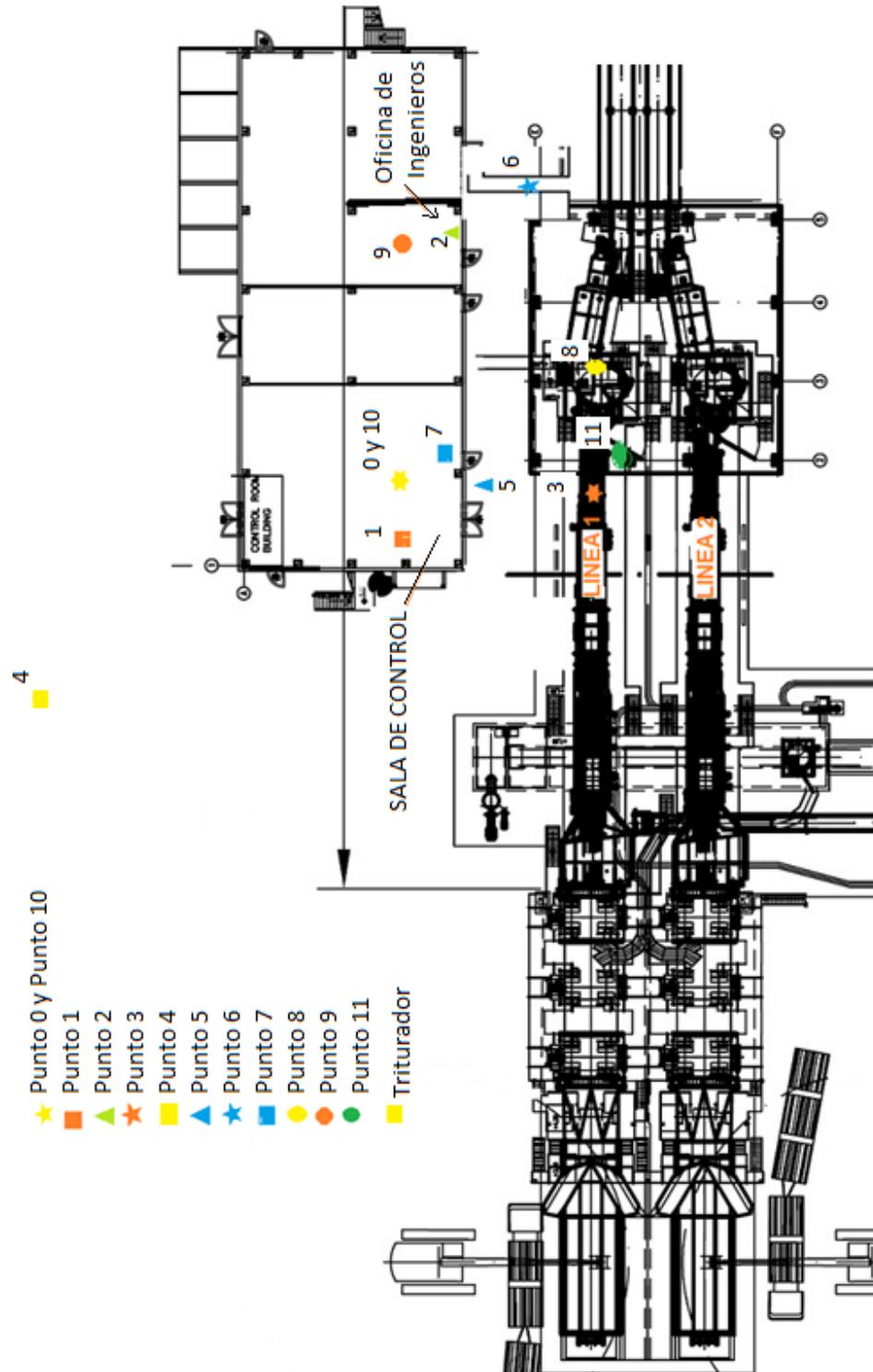


Figura 4.14- Ubicación de los puntos en donde se realizaron las mediciones.

5. RESULTADOS

A continuación se presentarán los gráficos con las medidas de aceleración *rms* obtenidas, en los Puntos 2,10 y 11, seguidos de una evaluación con respecto de los valores de las Normas ISO 2631-1, 1997 referente a salud y una evaluación respecto al confort según los experimentos realizados por Fothergill y Griffin, 1977c, según la Norma ISO 2631, 1997 y según el British Standard 6841, 1987. Las demás mediciones realizadas con sus respectivas evaluaciones se presentan en el Anexo I.

5.1 Medidas obtenidas en un solo punto y *seat pad* con Quest Pro

5.1.1 Caso 1.A: piso en centro de sala de control, Punto 10 en Figura 4.14.

Esta medida fue realizada en el edificio de control, sobre el piso en el centro de la sala en la que trabajan los operadores.

En la Figura 5.1, se muestra el gráfico con los valores de aceleración *rms* en los ejes X, Y y Z de las mediciones obtenidas:

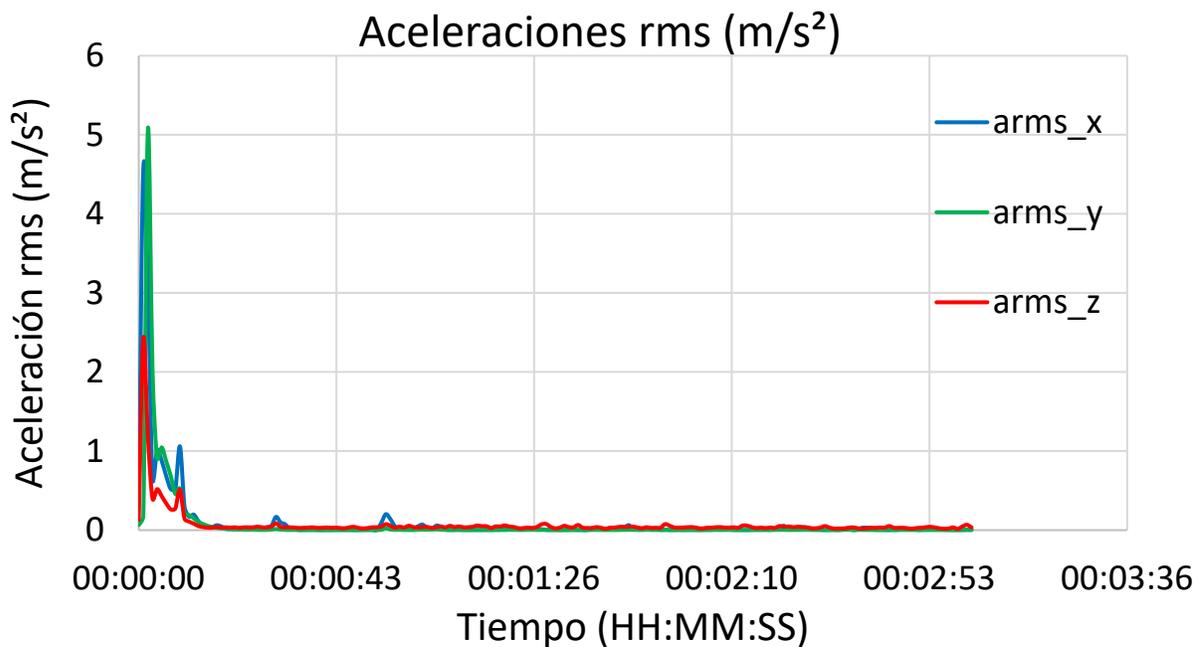


Figura 5.1 - Aceleraciones *rms* en el tiempo para el caso 1 en las 3 direcciones.

El gráfico de la Figura 5.1 muestra que hay un pico de aceleración *rms* en el inicio de la medición. Estas mediciones se realizaron durante 3 minutos. Sin embargo, en este tiempo sólo fue posible capturar la ocurrencia de un evento de pico de vibración sentida. Se supone que las conclusiones sobre esta medición no representan adecuadamente todo el período de medición y que, por lo tanto, los resultados deben tomarse con cautela. Otros picos de aceleración se han sentido de forma aleatoria en intervalos no regulares de 3 a 5 min. En las mediciones con el uso de 2 *seat pads* esto también puede ser verificado ya que la medición en este caso tuvo una duración de 15 minutos (900). En el siguiente gráfico presentado en la Figura 5.2 se realiza la comparación del valor *rms* ponderado calculado de 0,8286 m/s² con los valores límites referidos en la Norma ISO 2631-1. Cabe señalar que la Norma ISO 2631-1, 1997, indica que se deben utilizar los valores individuales de los ejes dominantes de vibración para utilizar dicho gráfico en el análisis en cuanto a la salud, pero para los niveles de vibración analizados todos los ejes presentaron niveles de vibración del mismo orden de magnitud de modo que la vibración combinada fuera utilizada.

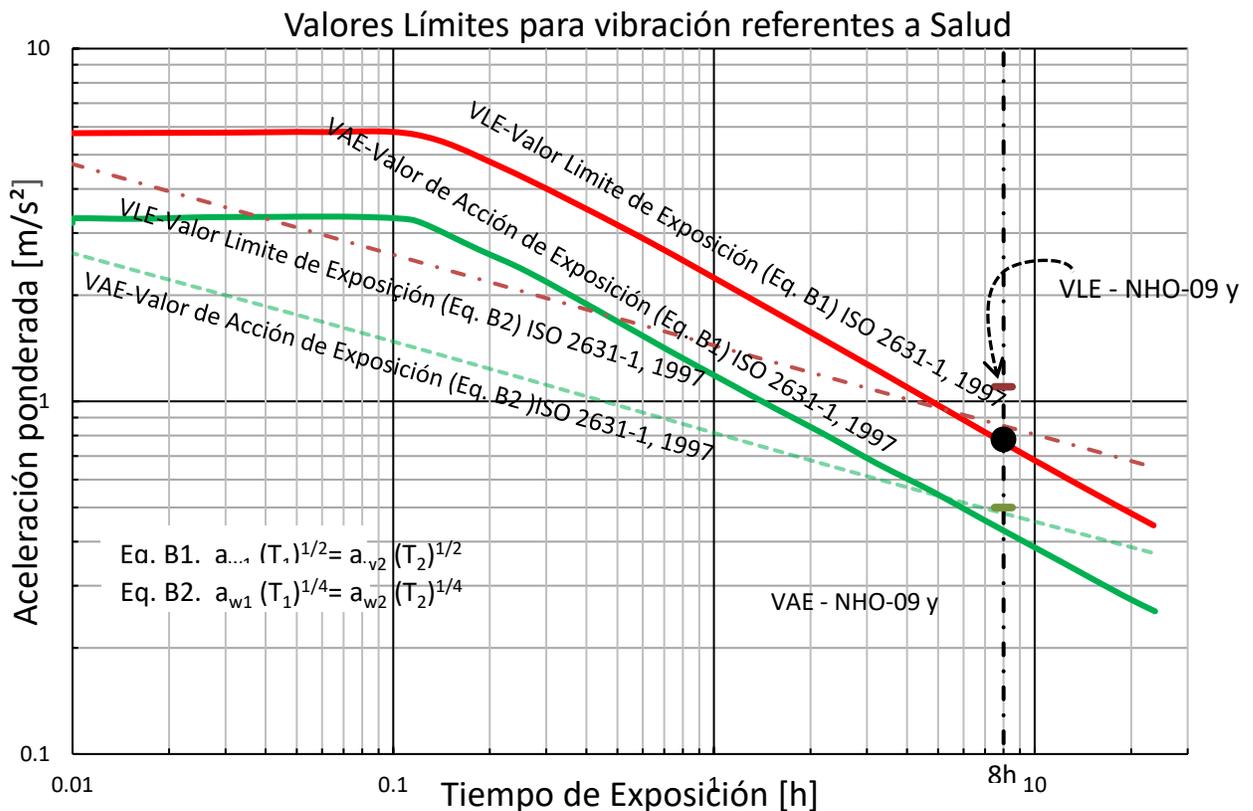


Figura 5.2 - Comparación del valor *rms* ponderado calculado con los valores límites referidos en la Norma ISO 2631-1 (punto negro).

Como se puede observar, el valor de acción (VAE) fue superado en este caso. Si el trabajador está expuesto a 8h, esta es una situación de riesgo. Para 4h de exposición, se estará en una situación de alerta. En el gráfico de la Figura 5.3, a continuación, se presenta el valor de aceleración *rms* ponderada calculado, respecto de los valores presentados por Fothergill y Griffin, 1977c, para la evaluación en cuanto a confort:

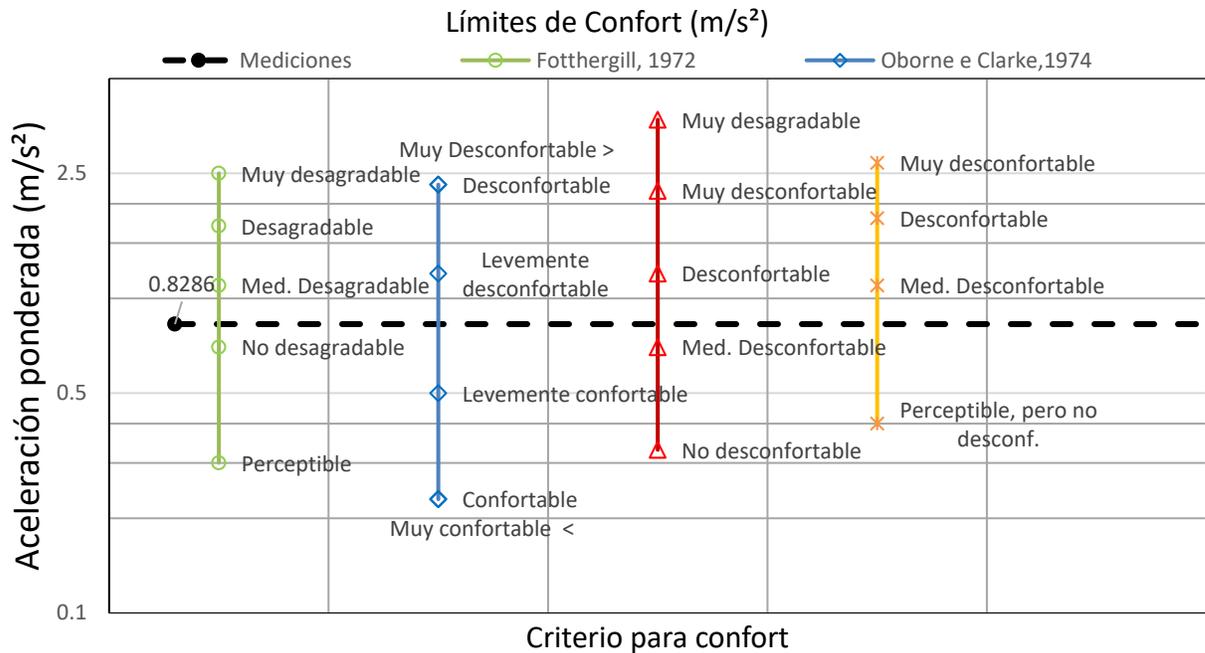


Figura 5.3 - Valor de aceleración *rms* ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto de los valores presentados por Fothergill y Griffin, 1977c.

En el gráfico de la Figura 5.4 se presenta el valor de aceleración *rms* ponderado calculado, respecto de los valores de la Norma ISO 2631 y del British Standard 6841.

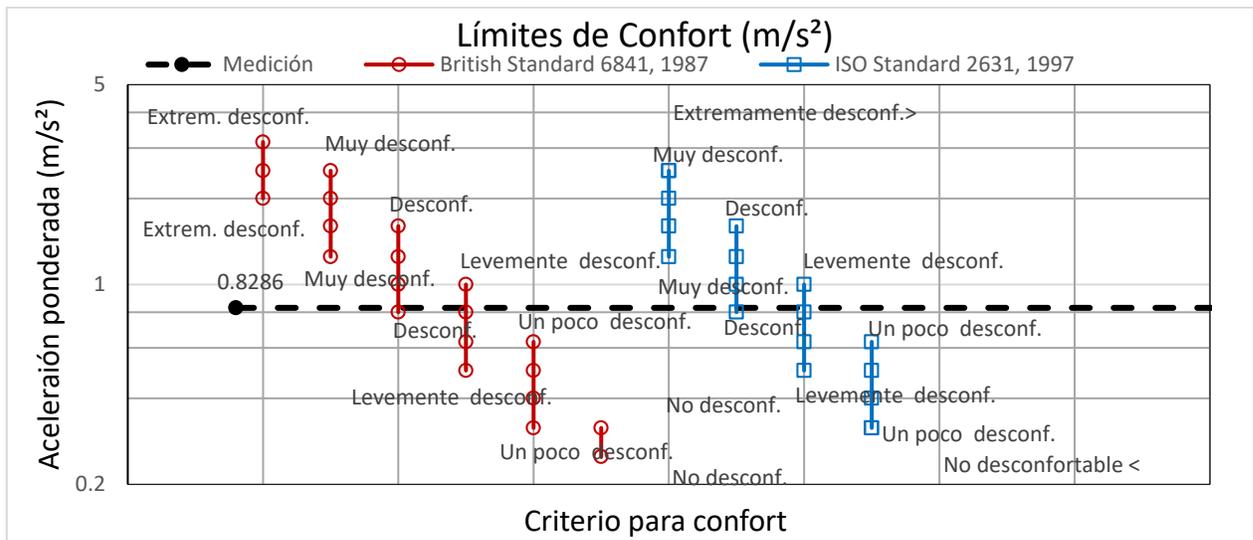


Figura 5.4 - Valor de aceleración *rms* ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto los valores de la Norma ISO 2631 y del British Standard 6841.

En esta evaluación respecto al confort puede observarse que el valor obtenido en esta medición causaría efectos en el confort del operador, llegando a un nivel de Poco desconfortable.

En la Tabla 5.1 se presentan los valores de aceleración *rms* calculados para cada eje, así como los factores de ponderación utilizados para cada dirección, el valor de aceleración *rms* ponderada, el valor de A(8) equivalente obtenido, y también un resumen de la cantidad de horas que serían necesarias para alcanzar los valores límite de exposición y los valores de acción si el tiempo de exposición diario es de 8hs. Esta hipótesis es interesante de tener cuando la exposición a la vibración ocurre durante la jornada de trabajo. En la práctica, las mediciones se producen generalmente en una fracción del tiempo de exposición y siempre que se pueda asegurar que el nivel medido sea representativo para el resto de las 8h. Así, en todos los casos aquí evaluados el tiempo de medición es una fracción del tiempo total de exposición y serán utilizados adecuadamente para concluir sobre la afectación da exposición.

Para el Caso 1.A que se está analizando se observa que se alcanza el Valor de Acción de Exposición (VAE) luego de 2,91h por lo que sería recomendable la toma de alguna acción para su mitigación. Los datos de Lpk (*peak level*) y P-P (*Peak to Peak*) que están en la Tabla no se grabaron, aunque no forman parte de este análisis que se refiere a los valores *rms*.

Tabla 5.1 - Resumen de valores obtenidos para el Caso 1.A.

TIEMPO DE MEDICION	0.06	horas			
EJES	X	Y	Z	SUMA	
Lpk	0.0000	0.0000	0.0000	-	m/s ²
P-P	0.0000	0.0000	0.0000	-	m/s ²
RMS	0.4088	0.3995	0.2040	0.8286	m/s ²
MTVV	0.0000	0.0000	0.0000	-	m/s ²
VDV	5.3708	5.3819	2.636	8.9999	m/s ^{1.75}
CRF	0.000	0.000	0.000	-	
K-Factor	1.4	1.4	1.0	-	
Max rms			0.5723		m/s ²
A(8), Max RMS			0.0708		m/s ²
Max VDV			5.3819		m/s ^{1.75}
VDV (8)			2.6299		
TIEMPO DE EXPOSICION	8.00	horas			
	X	Y	Z	SUMA	
Tiempo para Alcanzar VAE=	6.1055	6.3021	48.0745	2.9132	horas
Tiempo para Alcanzar VLE=	29.5507	30.5022	232.6807	14.0999	horas
A(8) equivalente	0.5723	0.5633	0.2040	0.8286	m/s ²

Confort

Poco desconfortable

5.1.2 Caso 1.B: sobre Línea de chipeado 1 estando detenida y Línea 2 en funcionamiento.

Punto 11 en Figura 4.14

Esta medida fue realizada **fuera del edificio de control**, sobre la plataforma a un costado de Línea 1, encontrándose la misma detenida y la otra Línea en funcionamiento. Se decidió realizar esta medida ya que es un lugar de trabajo para personal de mantenimiento.

A continuación en la Figura 5.5 se muestra el gráfico con los valores de aceleración *rms* en los ejes X, Y y Z de las mediciones obtenidas:

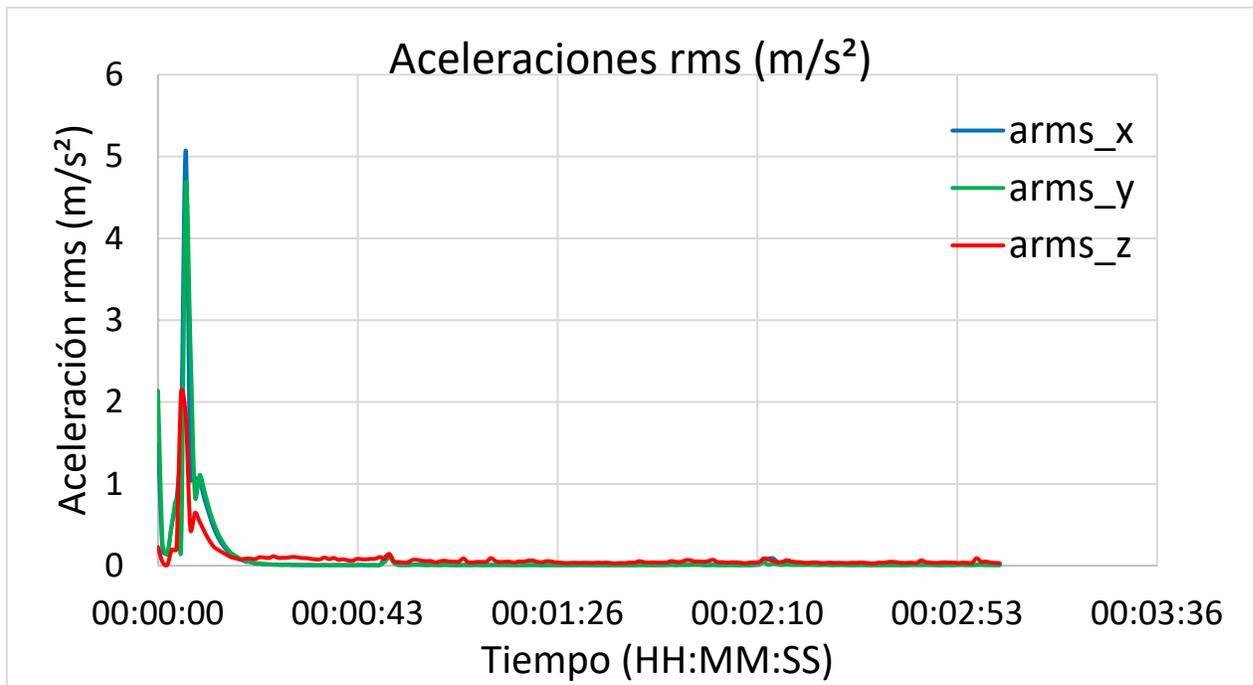


Figura 5.5 - Aceleraciones *rms* en el tiempo para el caso 1.B en las 3 direcciones.

En la Figura 5.6 se realiza la comparación del valor *rms* ponderado calculado de $0,9213\text{m/s}^2$ con los valores límites referidos en la Norma ISO 2631-1.

Como se puede observar, el valor de acción (VAE) fue alcanzado en este caso. Si el trabajador está expuesto a 8h de trabajo en este puesto, esta es una situación de riesgo. Para 4h de exposición, se está en una situación de alerta.

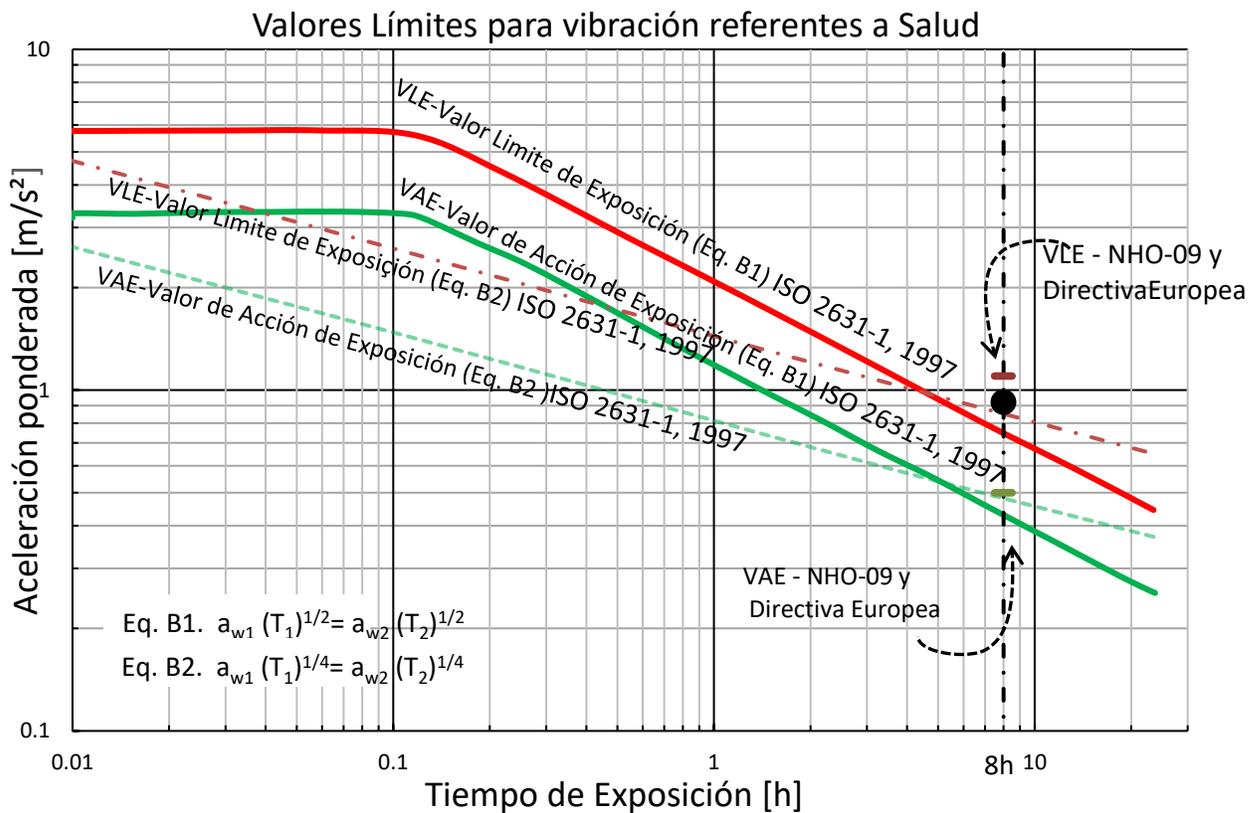


Figura 5.6 - Comparación del valor *rms* ponderado calculado con los valores límites referidos en la Norma ISO 2631-1 (punto negro).

En la figura 5.7, a continuación, se presenta el valor de aceleración *rms* ponderada calculado, respecto de los valores presentados por Fothergill y Griffin, 1977c, para la evaluación en cuanto a confort:

En la Figura 5.8 se presenta el valor de aceleración *rms* ponderado calculado respecto de los valores de la Norma ISO 2631 y del British Standard 6841. En este caso puede observarse que el valor obtenido en esta medición causaría efectos en el confort del trabajador, llegando a un nivel de Poco desconfortable.

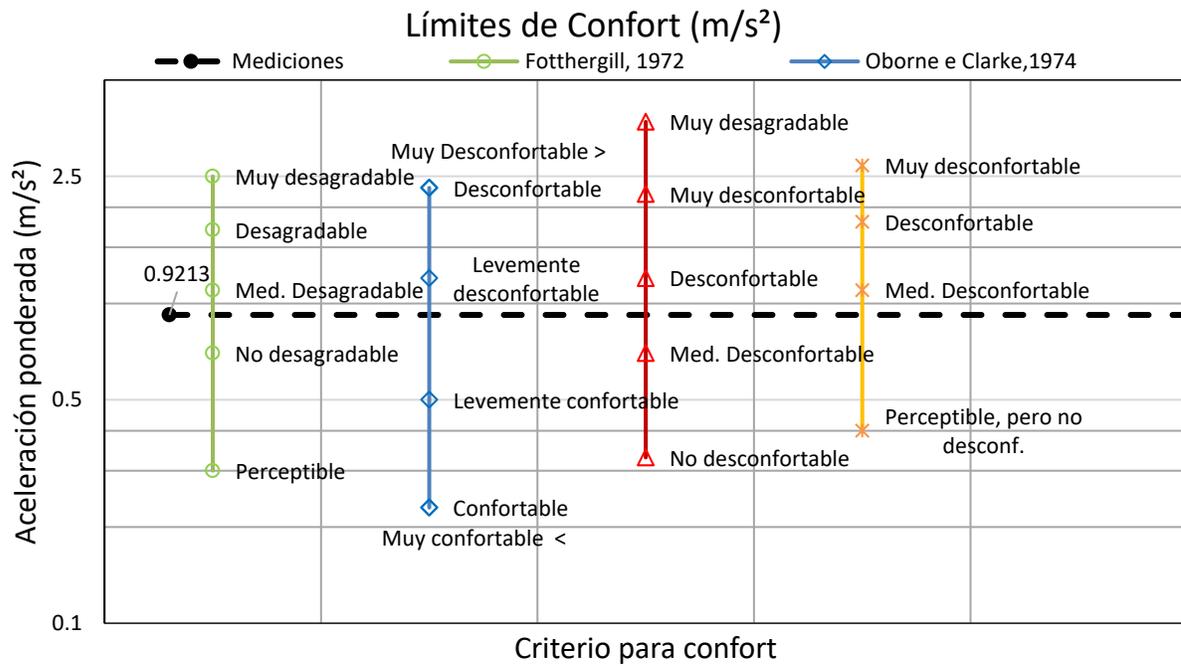


Figura 5.7 - Valor de aceleración *rms* ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto de los valores presentados por Fothergill y Griffin, 1977c.

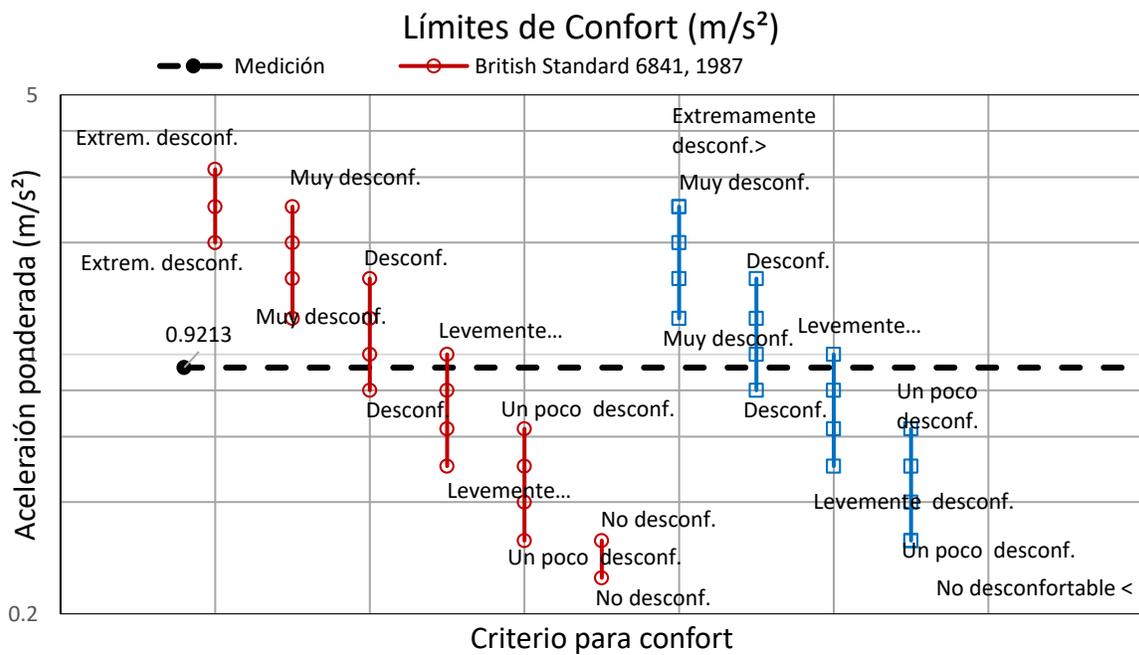


Figura 5.8- Valor de aceleración *rms* ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto los valores de la Norma ISO 2631 y del British Standard 6841.

En la Tabla 5.2 se presentan los valores de aceleración *rms* calculados para cada eje, así como los factores de ponderación utilizados para cada dirección, el valor de aceleración *rms* ponderada, el valor de A(8) equivalente obtenido, y también un resumen de la cantidad de horas que serían necesarias para alcanzar los valores límite de exposición y los valores de acción si el tiempo de exposición diario es 8hs. Los datos de Lpk y P-P que están en la Tabla no se grabaron, aunque no forman parte de este análisis que se refiere a los valores *rms*. Para el caso 1.B que se está analizando se observa que se alcanza el Valor de Acción luego de 2,36 h.

Tabla 5.2- Resumen de valores obtenidos para el Caso 1.B

TIEMPO DE MEDICION	0.05	horas			
EJES	X	Y	Z	SUMA	
Lpk	0.0000	0.0000	0.0000	-	m/s ²
P-P	0.0000	0.0000	0.0000	-	m/s ²
RMS	0.4440	0.4538	0.2305	0.9213	m/s ²
MTVV	0.0000	0.0000	0.0000	-	m/s ²
VDV	5.3524	5.3945	2.764	8.9991	m/s ^{1.75}
CRF	0.000	0.000	0.000	-	
K-Factor	1.4	1.4	1.0	-	
Max rms			0.6398		m/s ²
A(8), Max RMS			0.0738		m/s ²
Max VDV			5.3945		m/s ^{1.75}
VDV (8)			2.5477		
TIEMPO DE EXPOSICION	8.00	horas			
	X	Y	Z	SUMA	
Tiempo para Alcanzar VAE=	5.1765	4.8859	37.6451	2.3562	horas
Tiempo para Alcanzar VLE=	25.0543	23.6477	182.2022	11.4039	horas
A(8) equivalente	0.6216	0.6398	0.2305	0.9213	m/s ²

Confort

Poco desconfortable

5.1.3 Caso 1.C: sobre piso Oficina de Ingenieros. Punto 2 en la Figura 4.14

Esta medida fue realizada sobre el piso de la Oficina de Ingenieros. La medida se realizó ya que es un lugar de trabajo, la medida se realizó durante 36 minutos.

En la Figura 5.9 se muestra el gráfico con los valores de aceleración *rms* en los ejes X, Y y Z de las mediciones obtenidas:

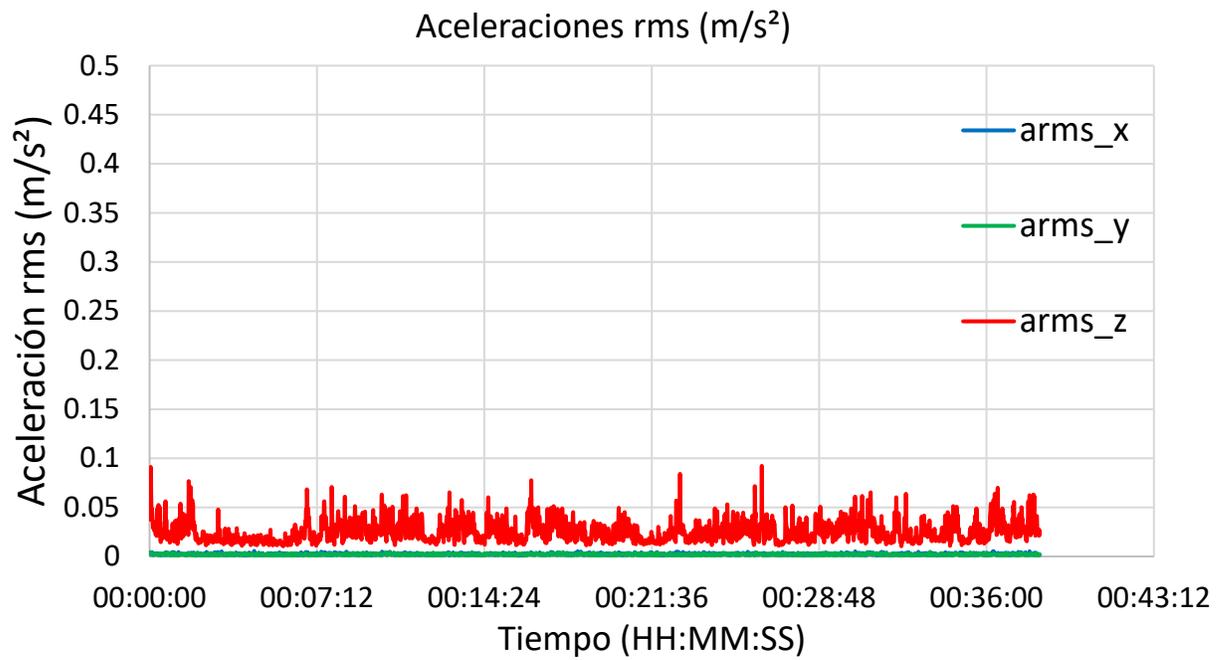


Figura 5.9 - Aceleraciones *rms* en el tiempo para el caso 1.C en las 3 direcciones.

En la Figura 5.10 se presenta la comparación del valor *rms* ponderado calculado de 0,028 m/s² con los valores límites referidos en la Norma ISO 2631-1.

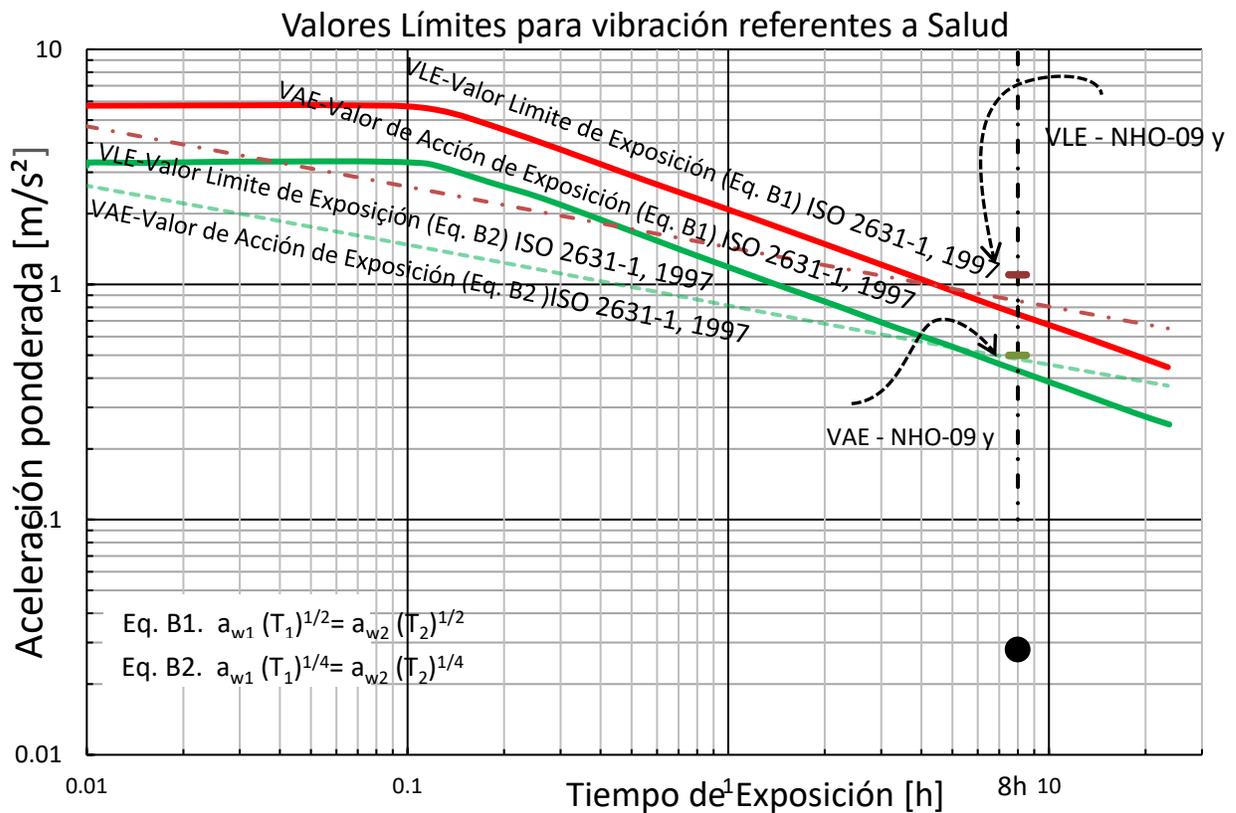
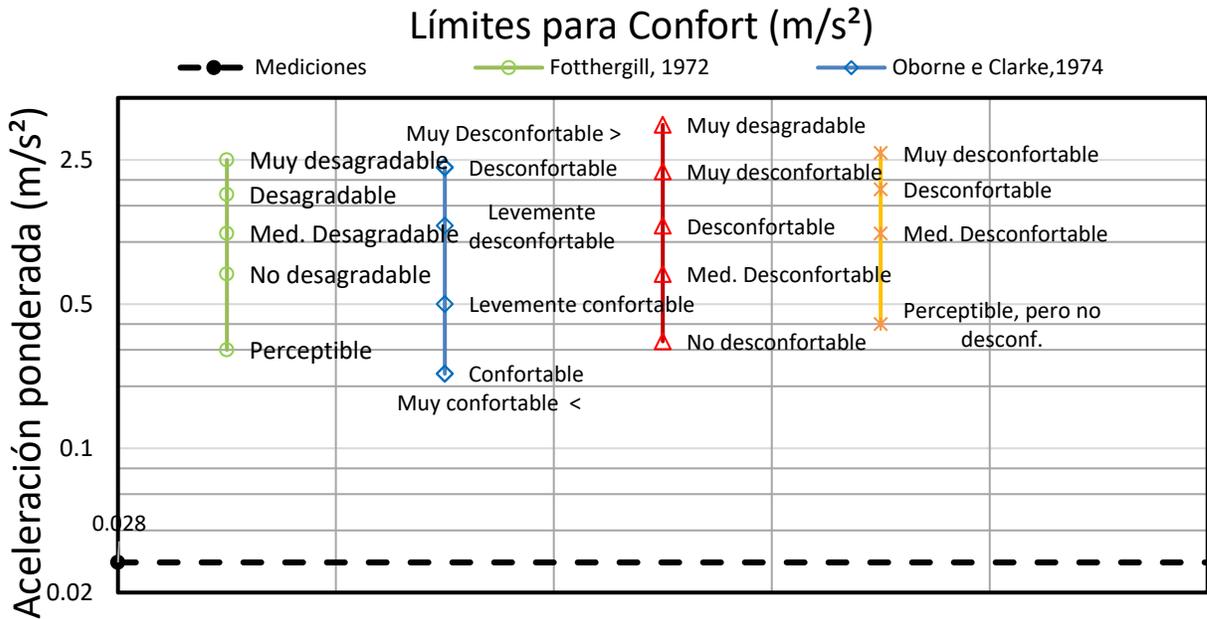


Figura 5.10 - Comparación del valor *rms* ponderado calculado con los valores límites referidos en la Norma ISO 2631-1 (punto negro).

Como se puede observar, el valor de acción (VAE) no es alcanzado en este caso.

En el gráfico de la Figura 5.11 a continuación se presenta el valor de aceleración *rms* ponderada calculado, respecto de los valores presentados por Fothergill y Griffin, 1977c, para la evaluación en cuanto a confort.

En el siguiente gráfico de la Figura 5.12 se presenta el valor de aceleración *rms* ponderado calculado respecto de los valores de la Norma ISO 2631 y del British Standard 6841.



Criterio para confort

Figura 5.11 - Valor de aceleración *rms* ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto de los valores presentados por Fothergill y Griffin, 1977c.

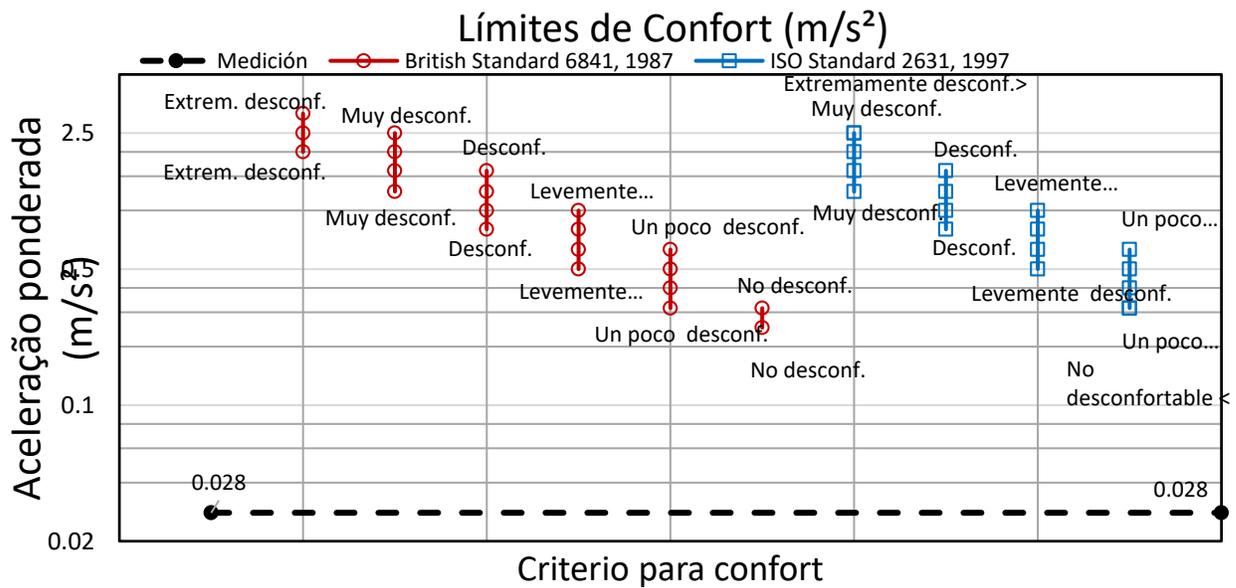


Figura 5.12 - Valor de aceleración *rms* ponderada calculado para la evaluación en cuanto a confort, respecto los valores de la Norma ISO 2631 y del British Standard 6841.

En este caso puede observarse que el valor obtenido en esta medición no causaría efectos en el confort del trabajador.

En la Tabla 5.3 se presentan los valores de aceleración *rms* calculados para cada eje, así como los factores de ponderación utilizados para cada dirección, el valor de aceleración *rms* ponderada, el valor de A(8) equivalente obtenido, y también un resumen de la cantidad de horas que serían necesarias para alcanzar los valores límite de exposición y los valores de acción si el tiempo de exposición diario es igual a 8hs. Los datos de Lpk y P-P que están en la Tabla no se grabaron, aunque no forman parte de este análisis que se refiere a los valores *rms*. Para el caso 1.C que se está analizando se observa que no se alcanza ninguno de los valores límites de acción o de exposición.

Tabla 5.3- Resumen de valores obtenidos para el Caso 1.C

TIEMPO DE MEDICION	0.64	horas			
EJES	X	Y	Z	SOMA	
Lpk	0.0000	0.0000	0.0000	-	m/s ²
P-P	0.0000	0.0000	0.0000	-	m/s ²
RMS	0.0026	0.0021	0.0276	0.0280	m/s ²
MTVV	0.0000	0.0000	0.0000	-	m/s ²
VDV	0.0235	0.0191	0.293	0.2927	m/s ^{1.75}
CRF	0.000	0.000	0.000	-	
K-Factor	1.4	1.4	1.0	-	
Max rms			0.0276		m/s ²
A(8), Max RMS			0.0079		m/s ²
Max VDV			0.2927		m/s ^{1.75}
VDV (8)			0.1556		
TIEMPO DE EXPOSICION	8.00	horas			
	X	Y	Z	SUMA	
Tiempo para Alcanzar VAE=	156713.1890	229287.4941	2618.1177	2546.4977	horas
Tiempo para Alcanzar VLE=	758491.8346	1109751.4713	12671.6898	12325.0487	horas
A(8) equivalente	0.0036	0.0030	0.0276	0.0280	m/s ²

Confort

Confortable

5.2 Evaluación del confort en el edificio siguiendo las recomendaciones de la Norma BS 6472, 2008) para mediciones con Quest Pro

Como se ha señalado anteriormente, para la evaluación del confort de la vibración sentida en edificios (oficinas, talleres y residencias), la nueva Norma BS 6472, 2008, especifica un nuevo enfoque a seguir que no utiliza el concepto de comparación de gráficos en bandas de frecuencias, sino sólo comparaciones de los valores de VDV y la probabilidad de que haya o no comentarios

adversos acerca de la vibración sentida por los ocupantes. A continuación, se sigue un resumen de todos los puntos de medición anteriores y las evaluaciones referentes al confort siguiendo las recomendaciones de la BS 6472-1, 2008.

Tabla 5.4- Resumen de valores cuanto a lo confort según ISO 2631-1, 1997 y BS 6472-1, 2008 – 1 seat pad VI 400 Pro.

Según la ISO 2631-1, 1997			Según la BS 6472-1, 2008	
Punto de Medición	$(a_{wx}^2 + a_{wy}^2 + a_{wz}^2)^{(1/2)}$, m/s ²	Confort	VDV _{b,day} Oficinas (16h/día) (m/s ^{1.75})	Probabilidad de Comentarios Adversos
0	0.0593	Comfortable	1.00	Los comentarios adversos son posibles
1	0.0810	Comfortable	2.28	Los comentarios adversos son probables
2	0.0280	Comfortable	0.66	Hay baja probabilidad de comentarios adversos
3	0.0972	Comfortable	2.04	Los comentarios adversos son probables
4	0.0874	Comfortable	1.58	Los comentarios adversos son posibles
5	0.0496	Comfortable	2.25	Los comentarios adversos son probables
6	0.1160	Comfortable	2.44	Los comentarios adversos son probables
7	0.0676	Comfortable	1.55	Los comentarios adversos son posibles
8	1.2856	Desconfortable	25.55	Los comentarios adversos son probables
9	0.0478	Comfortable	1.19	Los comentarios adversos son posibles
10	0.8286	Poco desconfortable	10.73	Los comentarios adversos son probables
11	0.9213	Poco desconfortable	11.61	Los comentarios adversos son probables

Recordando que el punto 8 fue medido sobre la máquina rotativa de la línea de 1, chipera, este fue el punto que con más aceleración *rms* resultó así como valor de VDV_{b,day}. Este mismo punto, según la Norma ISO 2631-1, 1997, presentaría riesgos para la salud de quien estuviese expuesto por 8h. Sin embargo, cabe resaltar que este punto no es un puesto de trabajo.

5.3 Medidas realizadas con 2 seat pads.

5.3.1 Evaluación del nivel de confort de la vibración en el piso de la sala de control y en la oficina de trabajo.

Las mediciones con los dos *seat pads* fueron realizadas en la sala de control de chipeado en la silla en la que los operadores trabajan normalmente y en la oficina de los Ingenieros. El objetivo era evaluar el nivel de atenuación que las sillas proporcionaban a sus usuarios y si la atenuación era suficiente. En todos los casos el *seat pad* No.1 fue posicionado en el piso y el *seat pad* No.2

fue posicionado sobre el asiento. Para las medidas en la sala de control la silla fue posicionada en el centro de las sala, Punto 0 en la Figura 4.14 y en frente a la mesa de control de la sala, en donde se encuentran los equipamientos de control y monitores, Punto 1 en Figura 4.14. Para la medida en la oficina la silla fue posicionada en el puesto de trabajo que se utiliza normalmente, Punto 2 de la Figura 4.14. La persona que se sentó en la silla durante la medición es el operador de turno en ese día. Esta persona es del sexo masculino, de edad 42 años, con un peso de 90kg y una altura de 1,80 metros.

Para la orientación de los *seat pads* se siguió la recomendación de la Norma ISO 2631-1, (1997) en la cual el “eje x” debe estar orientado hacia el frente del trabajador, el “eje y” hacia su lateral izquierda y el “eje z” hacia arriba. Los datos fueron tomados con una tasa de 200 puntos por segundo (200 Hz) por un tiempo de 15 minutos, tiempo este considerado adecuado para caracterizar los episodios de vibración que ocurren en la sala durante la operación de las máquinas de corte de madera. La primera medida fue efectuada en la sala de control (A), la segunda en la sala de la Ingenieros, Punto (B) y la tercera nuevamente en la sala de control (C). En las Figuras 5.13 a 5.15 se muestran las lecturas obtenidas con el equipamiento en las tres situaciones.

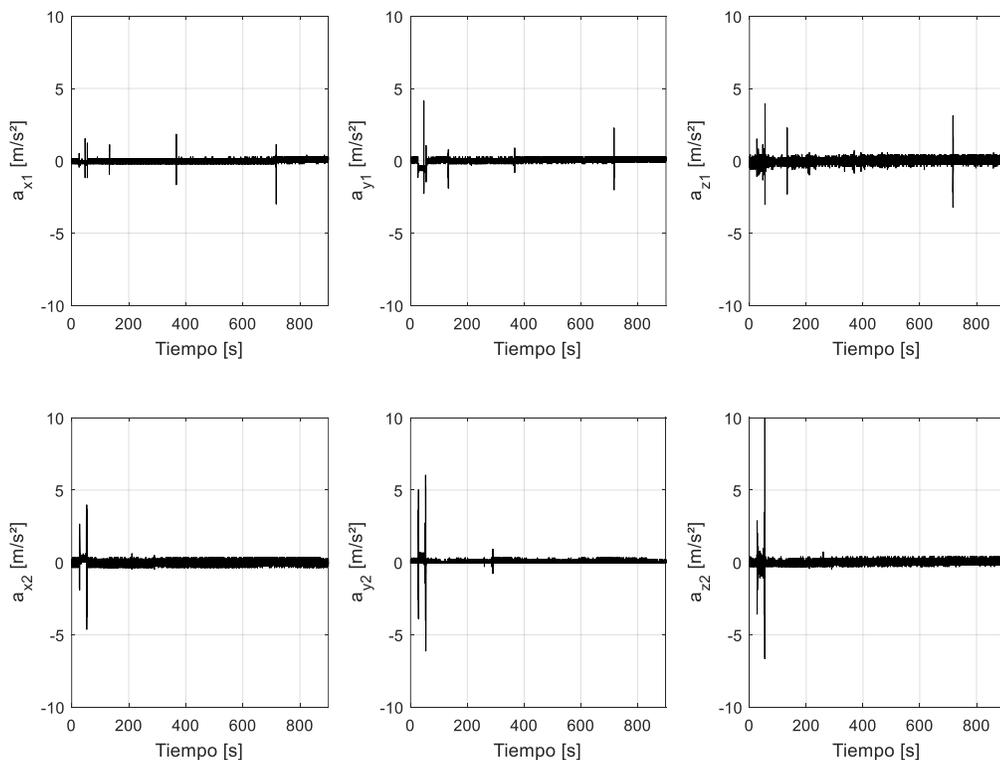


Figura 5.13 - Lecturas de los dos *seat pads* para la medición (A).

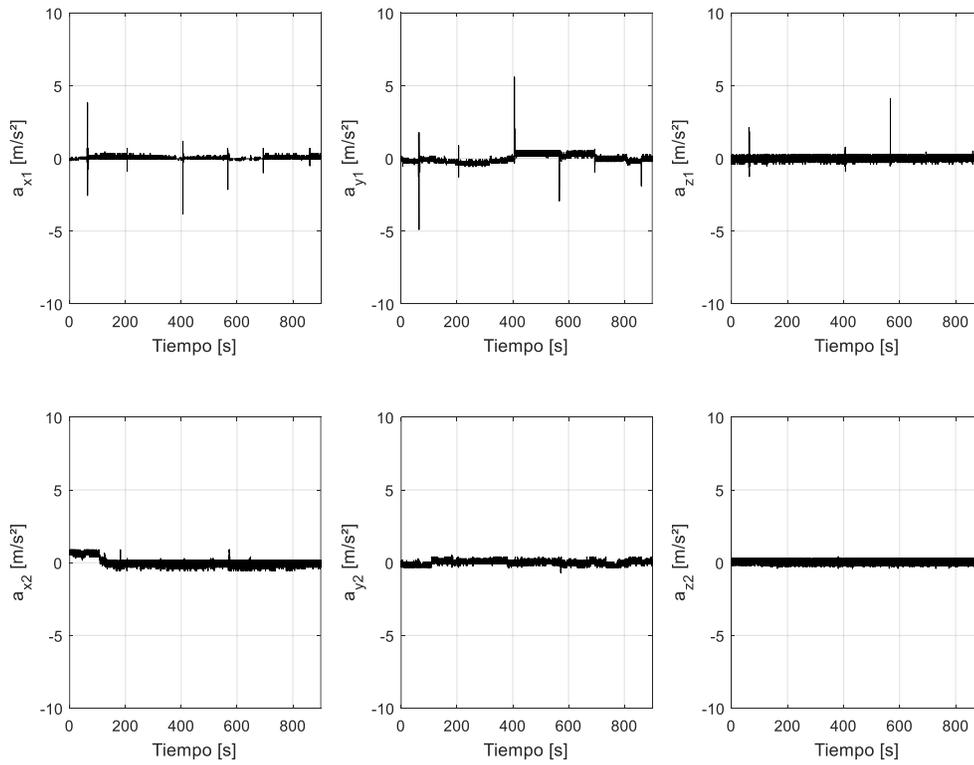


Figura 5.14 - Lecturas de los dos *seat pads* para la medición (B).

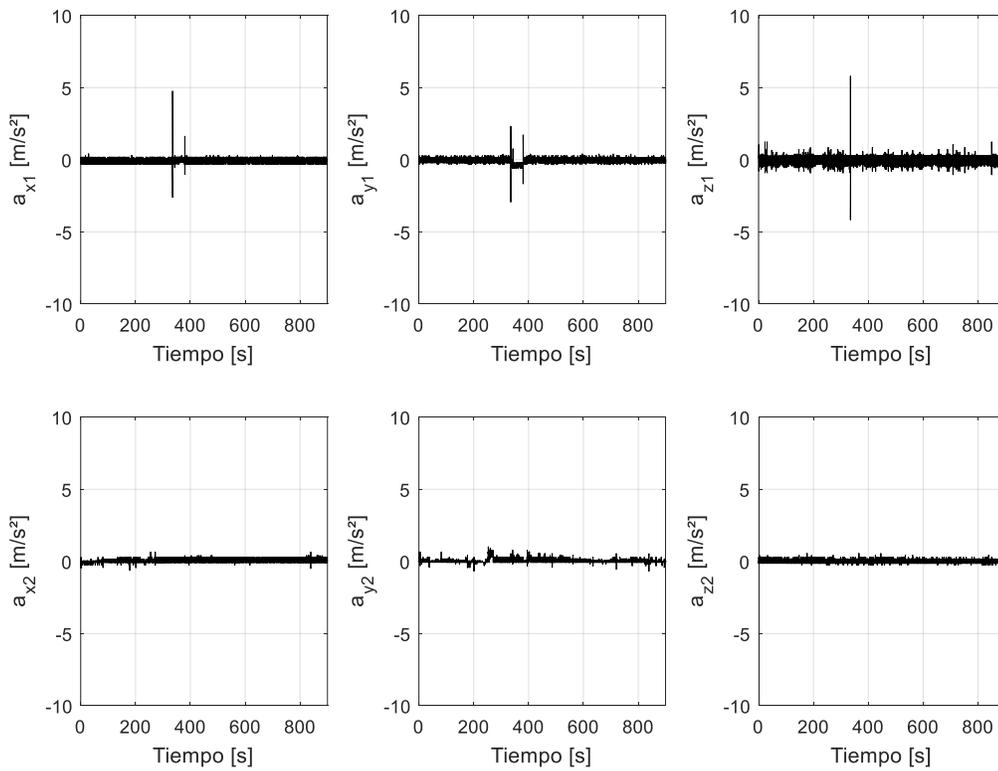


Figura 5.15- Lecturas de los dos *seat pads* para la medición (C).

En función de los picos de aceleración medidos por los dos *seat pads* durante las mediciones (consecuencia de los impactos que se sentían en la sala), estos podrían encubrir la señal medida durante los intervalos de tiempo en que no se sentían los impactos, por lo cual, se hizo un aumento de la escala en algunos trechos de señal para comprobar la calidad de los mismos en lo referente a la resolución de la placa de adquisición. En la Figura 5.16 se muestra un trecho de 18 segundos referente a la medición C para la dirección z en el *seat pad* 1 (localizado en el piso).

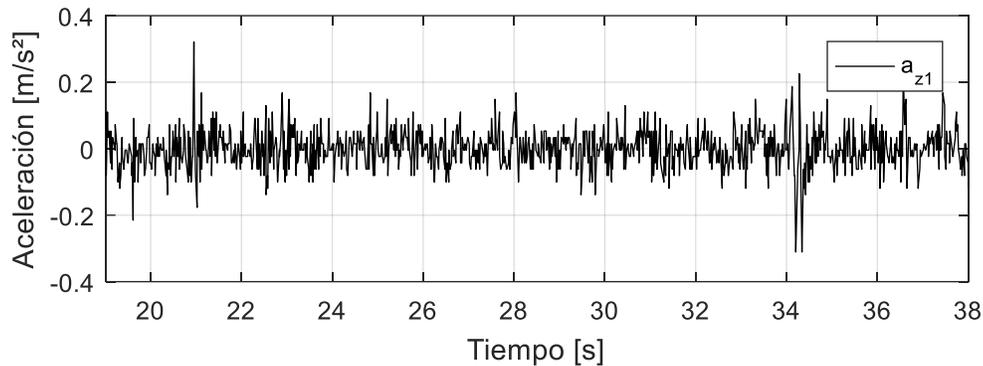


Figura 5.16 - Lecturas de la aceleración en z en el *seat pad* 1 (piso) para la medición (C).

De los gráficos se observa que, en general, en las tres situaciones las aceleraciones en la dirección z siempre indicaron valores mayores que en la dirección en x o en y. Son observables también picos de aceleración del orden de hasta 10 m/s^2 (1 gravedad) en el piso y pocos picos de vibración en el asiento. Los valores de aceleración en el piso fueron ponderados por las curvas de ponderación W_k (para los tres ejes x, y y z) y las aceleraciones en el asiento fueron ponderadas por las curvas de ponderación W_k , W_k , W_d para los ejes x, y y z respectivamente, como indica la Norma ISO 2631, 1997. En la Tabla 5.5 se muestra un resumen de las aceleraciones *rms* en estas tres situaciones.

Tabla 5.5 - Valores *rms* de aceleración en las tres situaciones medidas (A, B y C).

	a_{x1} (m/s^2)	a_{x2} (m/s^2)	a_{y1} (m/s^2)	a_{y2} (m/s^2)	a_{z1} (m/s^2)	a_{z2} (m/s^2)
Medición A	0.07	0.03	0.06	0.03	0.11	0.10
Medición B	0.04	0.04	0.06	0.03	0.07	0.08
Medición C	0.06	0.03	0.05	0.03	0.13	0.07

1-seat pad No.1 2-seat pad No.2

De la Tabla 5.5 se puede apreciar que los valores de aceleración en el asiento son siempre menores que los de la aceleración en el piso, mostrando la efectividad de la silla como un atenuador de las vibraciones. En general, estos valores de aceleración en las tres direcciones indican niveles de vibración relativamente bajos en términos de confort cuando son comparados con los valores de la clasificación de confort de la Norma ISO 2631-1, 1997, indicado en la Tabla 5.6 debajo:

Tabla 5.6 - Valores de Norma ISO 2631-1, 1997, para confort.

Escala	Aceleración <i>rms</i>
Extremadamente desconfortable	$> 2 \text{ m/s}^2$
Muy desconfortable	$1,25 \text{ m/s}^2 - 2,5 \text{ m/s}^2$
Desconfortable	$0,8 \text{ m/s}^2 - 1,6 \text{ m/s}^2$
Levemente desconfortable	$0,5 \text{ m/s}^2 - 1 \text{ m/s}^2$
Un poco desconfortable	$0,315 \text{ m/s}^2 - 0,63 \text{ m/s}^2$
No desconfortable	$< 0,315 \text{ m/s}^2$

A continuación se muestran los gráficos del espectro de frecuencias de las aceleraciones medidas en las tres situaciones para cada uno de los *seat pad* y en cada dirección. Estos gráficos permiten evaluar el contenido de las frecuencias de vibración que fueron medidas en el piso y en el asiento. Estas frecuencias pueden estar asociadas tanto a la fuente generadora de las vibraciones como a las vibraciones de partes de la estructura civil (losas, vigas y columnas) en las cuales se apoya la silla.

En todos los casos, los gráficos de espectro de frecuencias indican una frecuencia característica importante en el entorno de los 16,78 Hz y una segunda con un poco menos de intensidad en el entorno de 15,73 Hz. También se pueden observar otras frecuencias de menor amplitud en el entorno de 24,96 Hz y también en el entorno de 67,13 Hz. Como la frecuencia de 16,78 Hz es la de mayor amplitud en la dirección del eje z, se sospecha que esta sea la frecuencia principal de vibración en flexión de la losa de la sala de operación. Sin embargo esta misma frecuencia además aparece en el eje x en el asiento, tal vez con un indicativo de que hay una vibración lateral (hacia el frente y para atrás) originada por la vibración vertical ocasionada por el piso. Valores levemente diferentes de los 16,78 Hz son encontrados en la situación B (Oficina de Ingenieros) debido a que las dimensiones de dicha sala son diferentes a las de la sala de control y por lo tanto, la losa tiene frecuencias naturales de vibración diferentes.

En referencia a la seguridad estos valores de magnitud de vibración difícilmente provocarán niveles que sean preocupantes en cuanto a la salud.

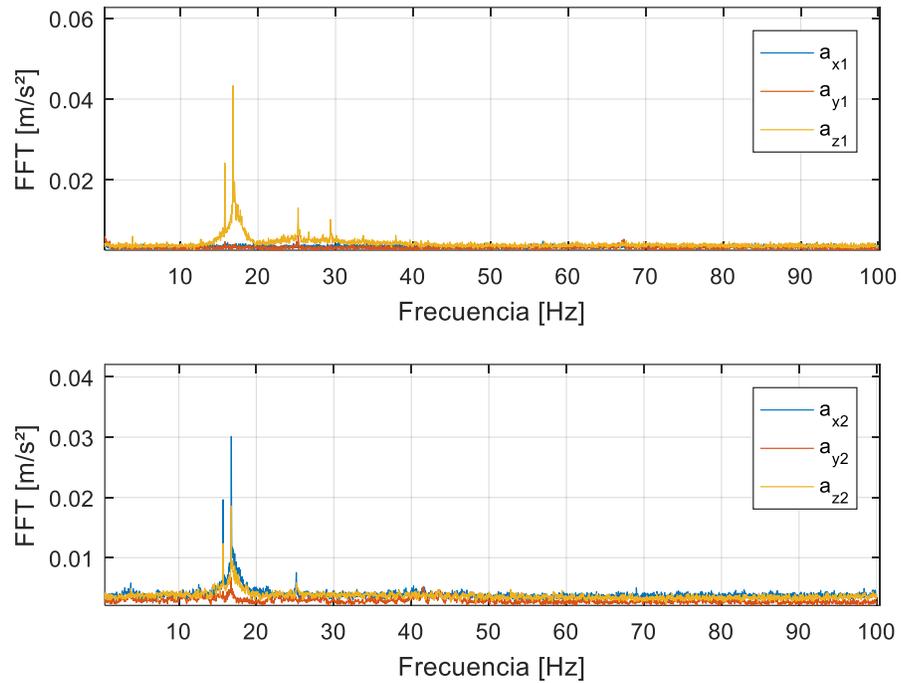


Figura 5.17 - Aceleración en los dos *seat pads* para la medición (A).

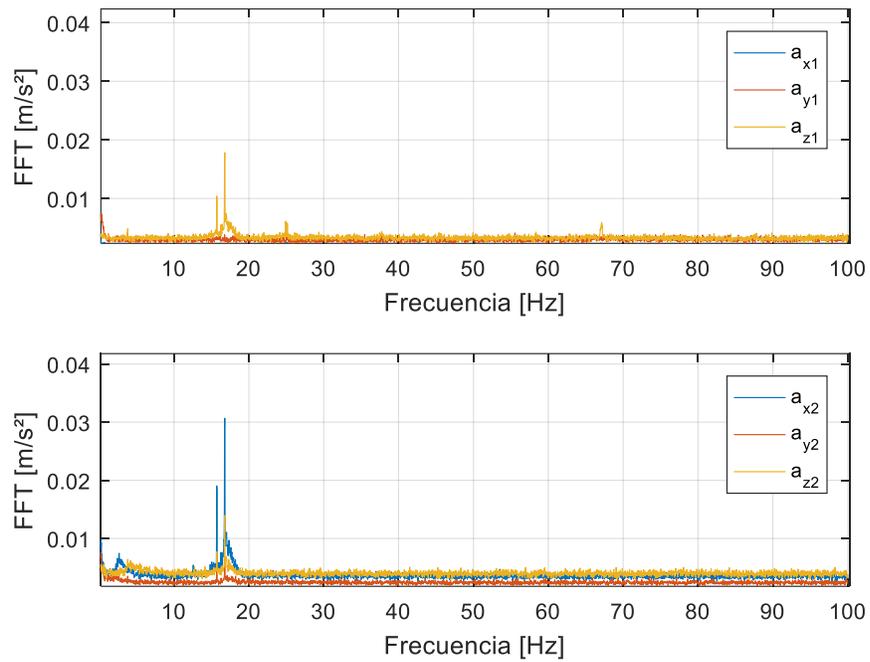


Figura 5.18 - Aceleración en los dos *seat pads* para la medición (B).

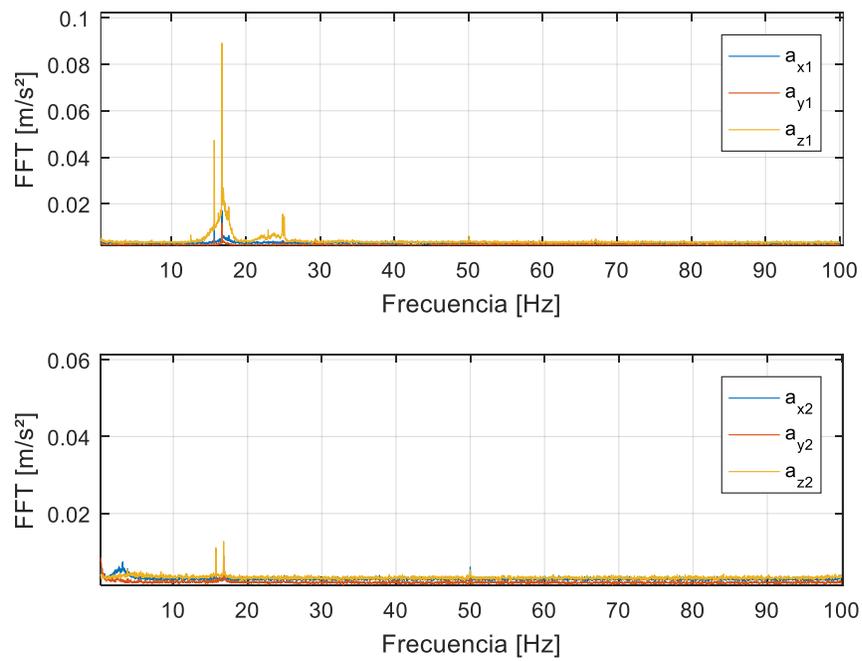


Figura 5.19 - Aceleración en los dos *seat pads* para la medición (C).

5.3.2 Evaluación del confort en el edificio siguiendo las recomendaciones de la Norma BS 6472 (1992) con 2 seat pads

Solamente a efectos comparativos se realizó una evaluación del nivel de vibración referente a los límites establecidos por la Norma ISO 2631-2 de 1989 (no más válida pues fue suplantada por la norma ISO 2631-2 de 2003. Esta antigua norma es un espejo de la norma inglesa BS 6472- parte 1 y parte 2 de 1992, donde se indican curvas de sensibilidad y confort para diferentes partes del día (8h de exposición para la noche y 16h de exposición para el día) así como factores de ponderación dependiendo del tipo de local (escuelas, hospitales; residencias, escritorios y oficinas). Estas curvas deben ser comparadas con las respectivas curvas de los espectros de vibración diferentemente para las direcciones horizontales y verticales. En el caso de que el espectro medido sobrepase una determinada curva, significa que está excedido el límite para esa curva. Las mediciones deben ser hechas con la curva de ponderación W_m . A continuación se muestran los resultados respectivos para las tres situaciones medidas anteriormente. En la sala de control, hay turnos de trabajo de forma que la planta pueda trabajar ininterrumpidamente, tenido turnos diurnos y nocturnos.

5.3.2.1 Situación A

Las Figuras 5.20 y Figura 5.21 muestran los límites de confort para las situaciones de exposición a las vibraciones al día y a la noche que pueden llevar a incomodidad y afectar el confort. Fue considerado el local como ‘escritorio’ y se utilizaron las recomendaciones para obtener curvas equivalentes a tiempos de exposición diferentes del tiempo padrón (16h para el día y 8h para la noche) de forma que los gráficos nos muestran también curvas para 15min, 1h, 4h y 8h de exposición. Se percibe de los gráficos que solamente la vibración vertical excede el límite de exposición padrón de 16h (día) y 8h (noche) pero no el de 8h (día) y 4h (noche), tanto para las exposiciones al día como las exposiciones a la noche. Si el operador permanece 8h (noche) o 16h (día) en el ambiente, el tendrá incomodidad, en el caso que solo permanezca 8h(día) o 4 h(noche), según esta norma, todavía no habría alcanzado el límite para generar incomodidad.

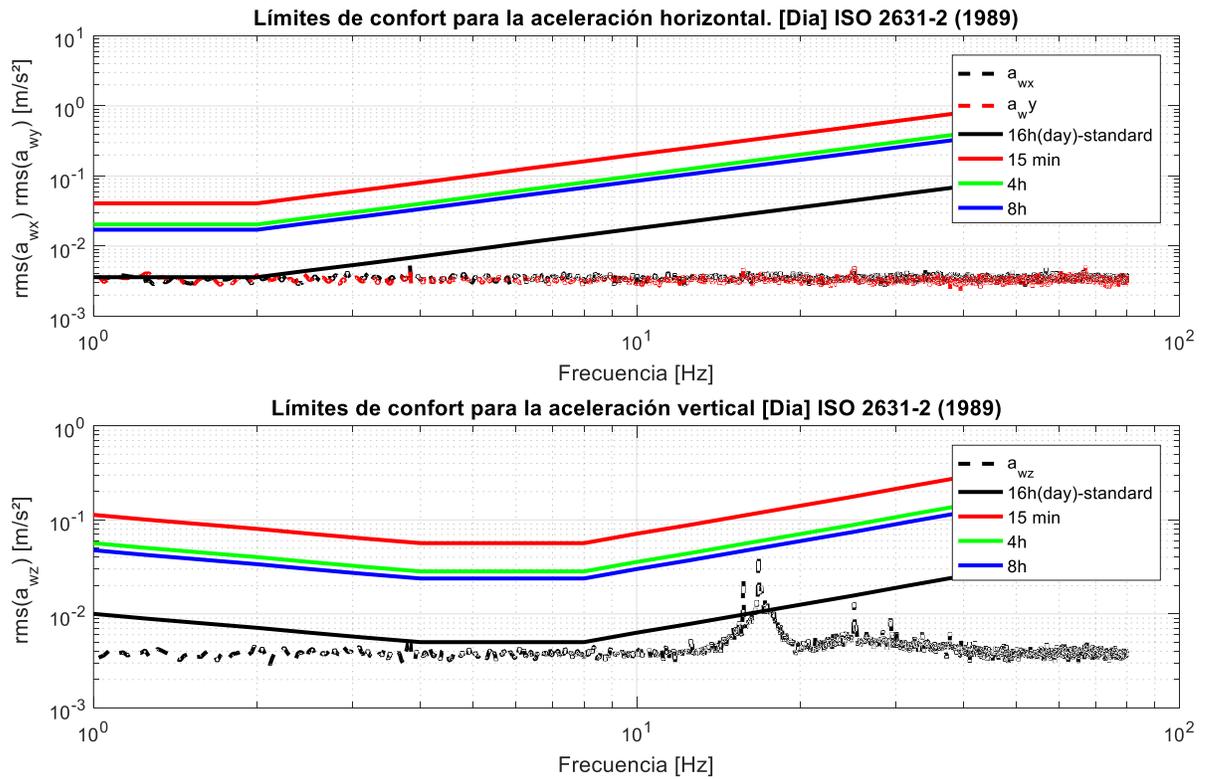


Figura 5.20 - Curvas límites para confort para medición en el piso en edificio (día), situación (A).

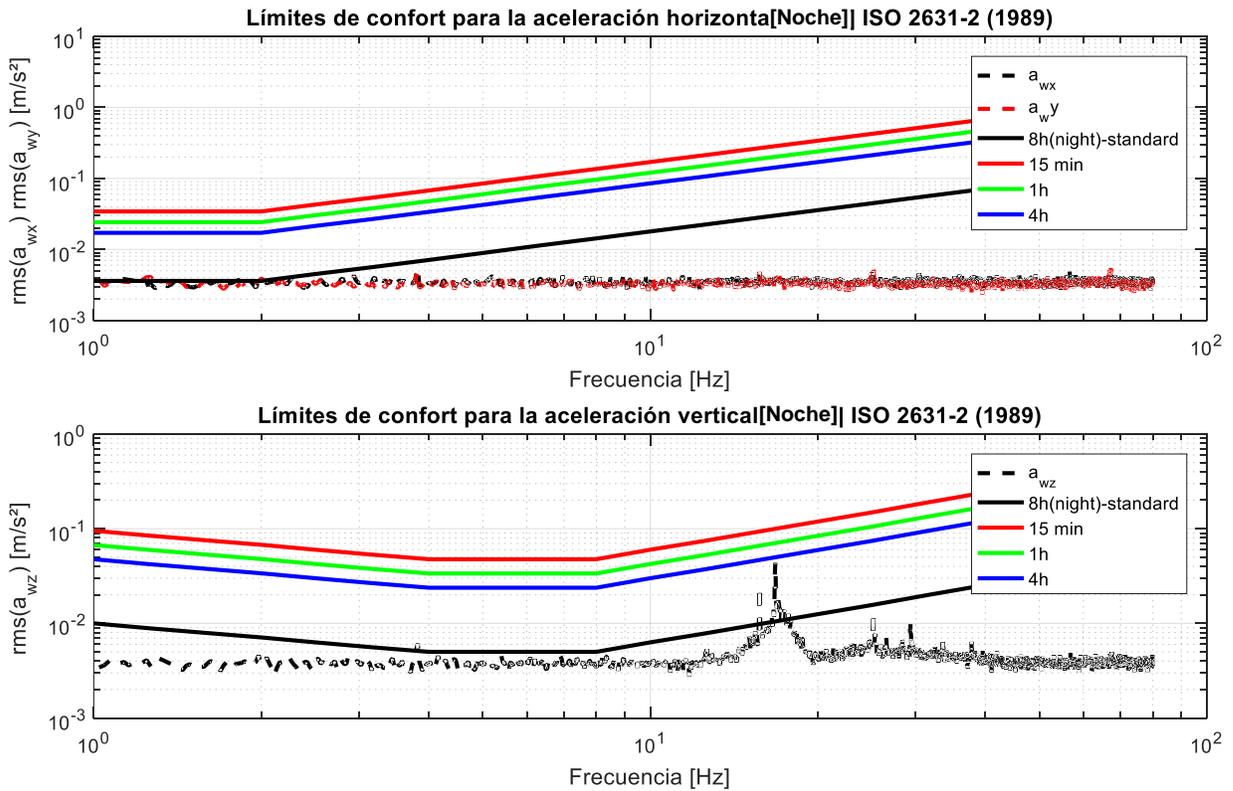


Figura 5.21 - Curvas límites para confort para medición en el piso en edificio (noche), situación (A).

5.3.2.2 Situación B

La Figuras 5.22 y Figura 5.23 muestran los límites de confort para las situaciones de exposición durante la noche y el día a las vibraciones que pueden llevar a incomodidades en la situación B. Nuevamente fue considerado el local como escritorio y se utilizaron las recomendaciones para obtener las curvas equivalentes a tiempos de exposición diferentes del tiempo padrón (16h para el día y 8h para la noche) de forma que los gráficos muestran también curvas para 15min, 1h, 4h y 8h de exposición. Nuevamente, se percibe de los gráficos que solamente la vibración vertical excede el límite de exposición de 16h (día) y 8h (noche) pero no el de 8h (día) y 4h (noche). En este último caso el espectro se encuentra bien distante de esta curva límite. Si el operador permanece 8h(noche) o 16h(día) en el ambiente, sentirá incomodidad, en el caso que permanezca solamente 8h(día) o 4 h(noche), según esta norma, todavía no alcanzaría el límite para generar incomodidad.

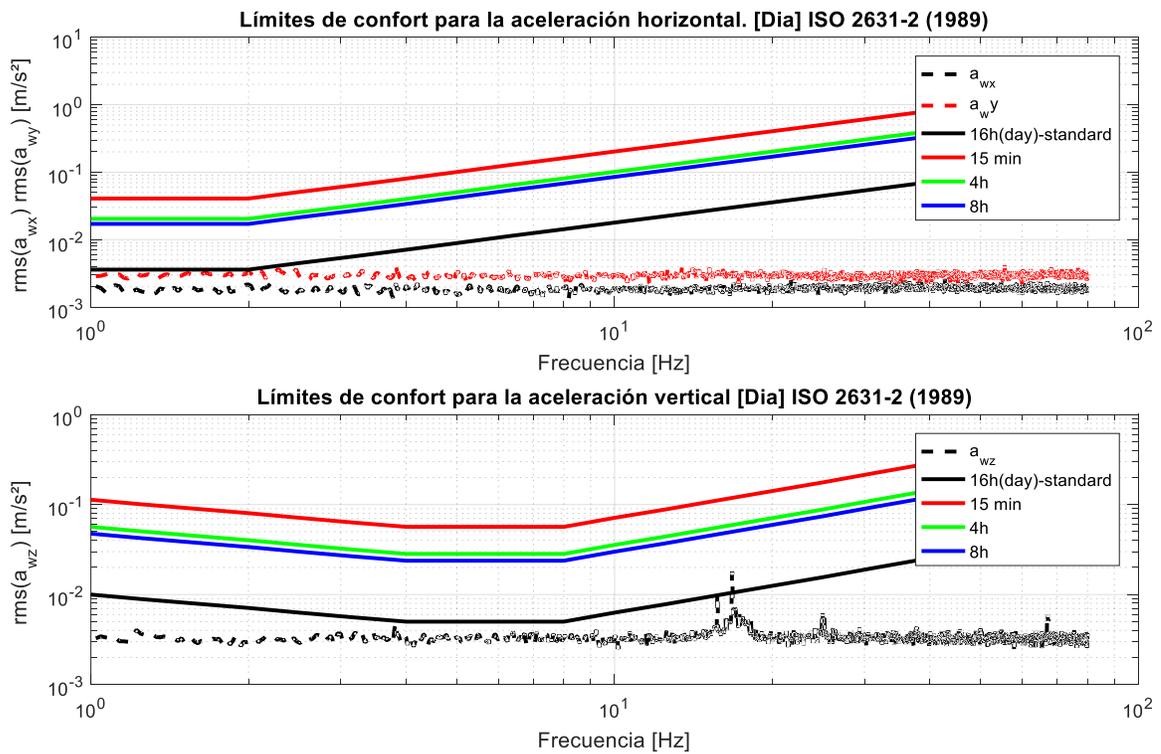


Figura 5.22 - Curvas límites para confort para el piso en edificio (día), situación (B).

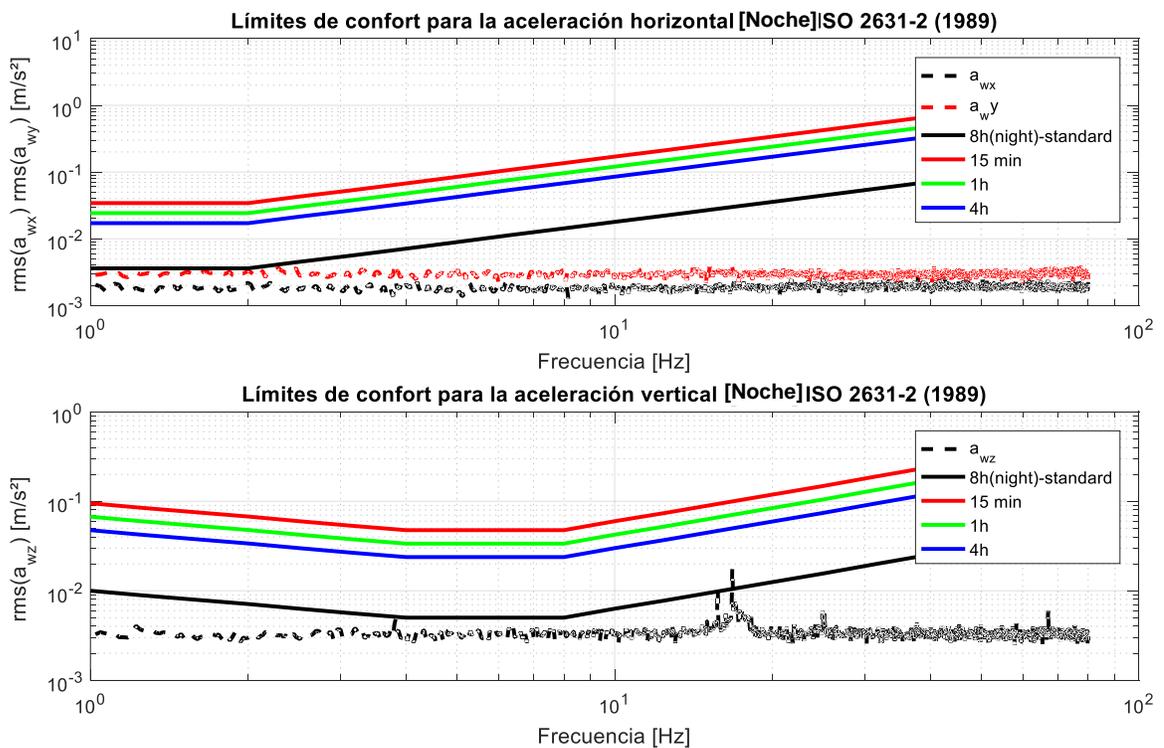


Figura 5.23 - Curvas límites para confort para en el piso en edificio (noche), situación (B).

5.3.2.3 Situación C

Las Figuras 5.24 y Figura 5.25 muestran los límites de confort para las situaciones de exposición durante la noche y el día a las vibraciones que pueden llevar a incomodidades en la situación C. Nuevamente fue considerado el local como escritorio y se utilizaron las recomendaciones para obtener las curvas equivalentes a tiempos de exposición diferentes del tiempo padrón (16h para el día y 8h para la noche) de forma que los gráficos muestran también curvas para 15min, 1h, 4h y 8h de exposición. Nuevamente, se percibe de los gráficos que solamente la vibración vertical excede el límite de exposición de 16h (día) y 8h (noche) pero no el de 8h (día) y 4h (noche). En este último caso el espectro se encuentra bien distante de esta curva límite. Si el operador permanece 8h(noche) o 16h(día) en el ambiente, sentirá incomodidad, en el caso que permanezca solamente 8h(día) o 4 h(noche), según esta norma, todavía no alcanzaría el límite para generar incomodidad.

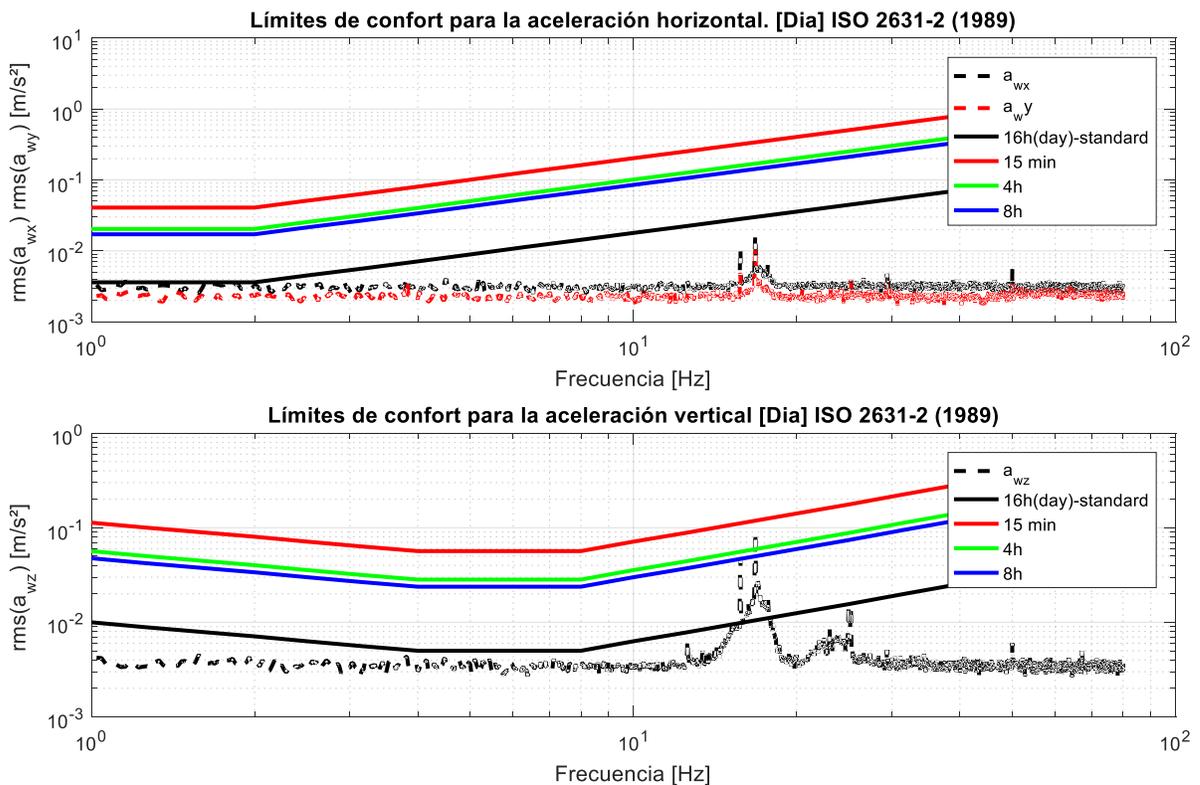


Figura 5.24 - Curvas límites para confort para medición en el piso en edificio (día), situación (C).

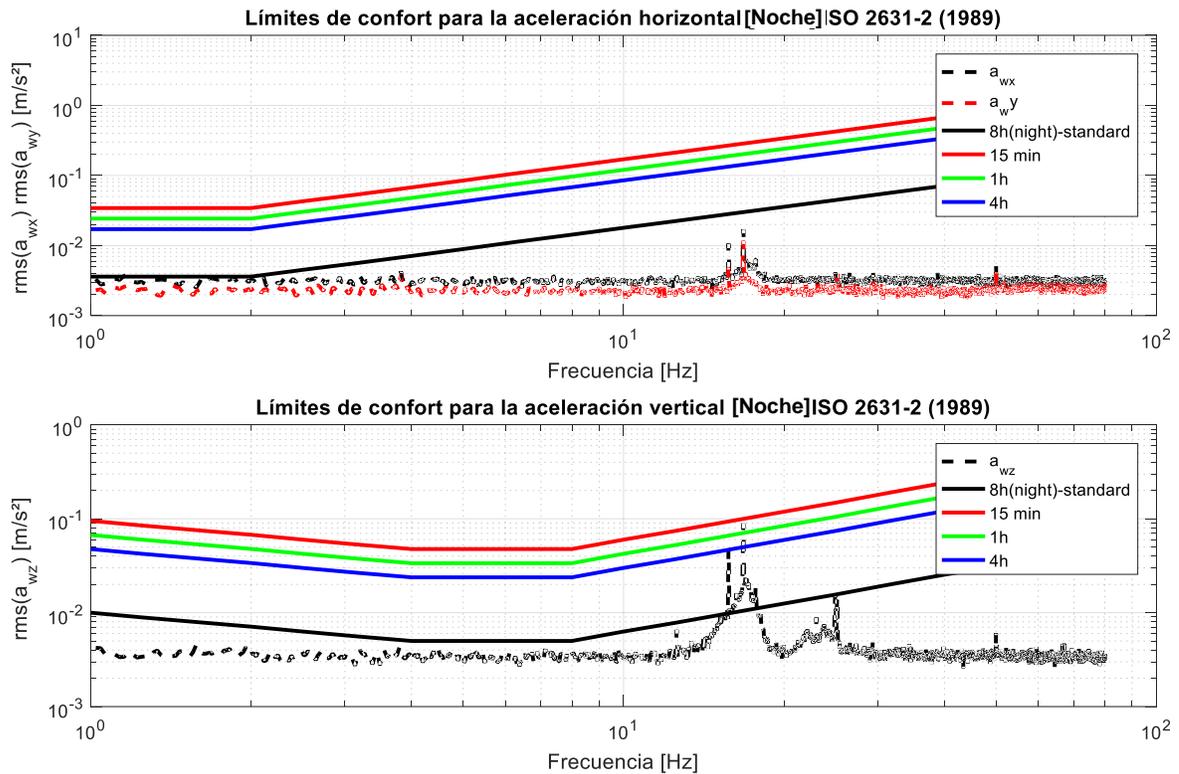


Figura 5.25 - Curvas límites para confort para medición en el piso en edificio (noche), situación (C).

En resumen, en las tres situaciones analizadas, el operador en su local de trabajo (sala de control) podría permanecer 8h (durante el día) o 4h (durante la noche) sin que la vibración percibida en el piso afectase su confort o le produjese incomodidad.

5.3.3 Evaluación del confort en el edificio siguiendo las recomendaciones de la Norma BS 6472 (2008) para Mediciones con 2 seat pads

Como se ha mencionado anteriormente, para la evaluación del confort de la vibración en los edificios (taller, oficinas y residencias) la nueva Norma BS 6472, 2008, indica una nueva forma que no utiliza el concepto de gráficos en bandas de frecuencias, sino sólo comparaciones de valores de VDV y probabilidades de tener o no comentarios sobre la vibración sentida por los ocupantes. El procedimiento se encuentra en el ítem 3.1.6. A continuación, en la Tabla 5.7, se presenta un

resumen de los puntos de medición anteriores con 2 *seat pads* y las evaluaciones referentes al confort siguiendo las recomendaciones de la BS 6472-1, 2008. Se realizaron 15min de medición en cada situación (A, B y C).

En la Tabla 5.7 se aprecia la importancia de la evaluación de la vibración por VDV y no sólo por *rms*, ya que en este caso, los picos elevados de vibración quedaron encubiertos con el cálculo por valor *rms*, pero fueron captados por el valor VDV, que resultó elevado. En todos los casos los comentarios adversos son probables según la BS 6472-1, 2008.

Tabla 5.7- Resumen de valores en cuanto a confort según ISO 2631-1, 1997 y BS 6472-1, 2008 – 2 *seat pads*.

Según la ISO 2631-1, 1997			Según la BS 6472-1, 2008	
Posición (Medición)	$(a_{wx}^2+a_{wy}^2+a_{wz}^2)^{(1/2)}$ (m/s ²)	Confort	VDV _{b,day} Oficinas (16h/día) (m/s ^{1.75})	Probabilidad de comentarios adversos
1(A)	0,143	No desconfortable	16,32	Los comentarios adversos son probables
2(A)	0,108	No desconfortable	4.44	Los comentarios adversos son probables
1(B)	0,100	No desconfortable	15.88	Los comentarios adversos son probables
2(B)	0,094	No desconfortable	6.71	Los comentarios adversos son probables
1(C)	0,151	No desconfortable	15.09	Los comentarios adversos son probables
2(C)	0,081	No desconfortable	5.56	Los comentarios adversos son probables

6. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se hará un análisis de los resultados presentados en la sección anterior, indicando si es o no necesario tomar medidas para reducir la vibración, en comparación con los valores indicativos de las normas o similar.

6.1 Sala de control

Los valores de aceleración *rms* ponderada obtenidos en las mediciones dentro de la sala de control se encuentran en un rango entre 0,053 m/s² y 0,8286 m/s², encontrándose el valor de la medida realizada en el centro de la sala por encima del VAE definido por la Norma ISO 2631 y en un nivel de confort que podría definirse como Poco confortable. Los valores de las demás medidas realizadas se encuentran por debajo del valor en el entorno de 0,3 m/s² en el que comenzaría a sentirse un leve desconfort según las diferentes referencias utilizadas.

En este caso sería necesario tomar una acción para mitigar el efecto de la vibración en sala de control.

6.2 Oficina de Ingenieros

Los valores de aceleración *rms* ponderada obtenidos en las mediciones dentro de la Oficina Punto se encuentran en un rango entre 0,028 m/s² y 0,0478 m/s², estos valores se encuentran por debajo del valor en el entorno de 0,3 m/s² en el que comenzaría a sentirse un leve desconfort según las diferentes referencias utilizadas y muy por debajo de los valores en los que podría encontrarse algún efectos en la salud. En este caso no sería necesaria ninguna acción.

6.3 Fuera de la sala de control

Los valores de aceleración *rms* ponderada obtenidos en las mediciones fuera del edificio de control se encuentran en una rango entre 0,0496 m/s² y 1,2856 m/s², encontrándose algunos valores sobre el valor en el entorno de 0,3 m/s² en el que comenzaría a sentirse un leve desconfort según

las diferentes referencias utilizadas e incluso algunos valores sobre los valores de VLE y VAE en referencia a los límites para efectos sobre la salud.

Cabe destacar que el lugar en donde se obtuvo el valor más alto (1,2856 m/s²) no es un lugar de trabajo con la máquina encendida, por lo que esta medida solo se realizó a modo de referencia del valor más alto posible de obtener.

Dentro de estos valores el más relevante por ser el punto al que se expondrían los operadores y el personal de mantenimiento sería el punto con Línea 1 detenida con Línea 2 funcionando cuyo valor de aceleración *rms* medida fue 0,9213 m/s², que como ya se mencionó supera el VAE y genera un nivel Poco confortable.

Los valores de las demás medidas realizadas se encuentran por debajo del valor en el entorno de 0,3 m/s² en el que comenzaría a sentirse un leve desconfort según las diferentes referencias utilizadas. En este caso sería necesaria alguna acción.

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se propone la medición de vibraciones en puestos de trabajo en una planta en la que se producen chips de madera y la verificación de estos niveles a través de las recomendaciones existentes en cuanto a salud y comodidad.

Se ha investigado la legislación vigente en el país en relación con la exposición a la vibración, pero poca o ninguna información se ha encontrado.

Para la realización de las mediciones se utilizaron estándares internacionales. Se utilizó equipo especial comercial como el Quest Pro, así como *seat-pads* de asiento integrado para mediciones en más de una dirección de medición. Los sitios investigados están relacionados con las vibraciones que sienten los trabajadores de la planta en el edificio de la sala de control, el que se encuentra al lado de las máquinas utilizadas para cortar troncos de madera en astillas. Varios sitios se midieron y se realizaron evaluaciones de la adecuación de la salud y comodidad teniendo en cuenta la Norma ISO 2631-1, ISO 2631-2 y europea.

En términos generales, el documento concluye que no hay problemas relacionados con la salud de las personas que están expuestas a vibraciones en los sitios medidos, excepto por el centro de la sala de control y el trabajo en el exterior cuando al menos una línea se encuentra funcionando, en ambos casos, el nivel de VAE (atención) es excedido luego de un poco más de 2 horas de exposición. Haciendo referencia a la comodidad en estos dos últimos puntos medidos y los tiempos de exposición, la exposición puede ser considerada como incómodo para los ocupantes.

Los valores de aceleración *rms* ponderada obtenidos en las mediciones dentro de la sala de control (exceptuando los dos puntos mencionados antes) se encuentran en un rango entre 0,028 m/s^2 y 0,081 m/s^2 , encontrándose por debajo del valor en el entorno de 0,3 m/s^2 en el que comenzaría a sentirse un leve desconfort según las diferentes referencias utilizadas.

Los valores de aceleración *rms* ponderada obtenidos en las mediciones fuera del edificio de control se encuentran en una rango entre 0,0496 m/s^2 y 0,9213 m/s^2 , encontrándose algunos valores sobre el valor en el entorno de 0,3 m/s^2 en el que comenzaría a sentirse un leve desconfort según las diferentes referencias utilizadas e incluso un valor por encima del VAE en referencia a los límites para efectos sobre la salud según la Norma ISO 2631.

Debido a que las vibraciones tienen un carácter intermitente, se sugiere una mayor investigación sobre los niveles de estas vibraciones en otras horas y días de la semana para que, de hecho, se descarte la posibilidad de que los límites de confort no están siendo superados.

Se puede establecer que la vibración proviene de los equipos más cercanos al edificio de control, en este caso chiperas y que la misma se transmite a través de los cimientos. La reducción al mínimo de las vibraciones generadas directamente en la máquina de corte no es claramente una solución posible. Debería estudiarse si la separación mediante el uso de trincheras sería una solución económicamente viable. Al igual que en otras partes de la planta, pueden utilizarse soluciones con pisos flotantes para minimizar la incomodidad que se siente por la vibración generada. Otra alternativa posible es la rotación de turnos en las personas que se encuentran en estas áreas, lo que reduce su tiempo de exposición a la vibración que puede ser incómodo. No se descarta el uso de sillas y plataformas especiales para apoyar los pies con el fin de aislar a los trabajadores de las vibraciones que surgen en las losas de los lugares de trabajo.

7.1 Propuestas de continuidad de Disertación

Con base en el trabajo que se ha desarrollado hasta el momento, se proponen los siguientes temas para su ulterior desarrollo:

- Evaluación de los daños que pueda sufrir el edificio debido a fatiga, la construcción del edificio fue realizada con vigas de hormigón armado y losas de hormigón.
- Análisis de la posible existencia de puntos en las líneas de chipeado que pudieran resultar riesgosos para la salud o producir incomodidad en los trabajadores que realizan el mantenimiento de una de las líneas cuando la otra se encuentra en funcionamiento.
- Evaluación de la vibración HAV en otras situaciones como en la operación de máquinas que afectan o sistema mano-brazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Búrquez, G. L. **Reconocimiento, prevención y corrección de grietas ocasionadas en edificaciones por movimientos del subsuelo.** Universidad de Sonora. División de Ingeniería. México. Tesis. 1997, <<http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=8720>>, Accedido en 01/05/2017.

Alfaro, M. G.-C. **Evaluación de las vibraciones de cuerpo completo sobre el confort, percepción y mareo producido por el movimiento.** Instituto Nacional de Seguridad e higiene en El Trabajo, Notas Técnicas de Prevención, No. 784. 6p. 2007.

Alcorta, R. G., Máltez, L. M. A. **Análisis de la vibración de una losa de hormigón ocasionada por la operación de una maquinaria.** In: XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Puebla, Pue., México, 2002, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A. C., pp.807-816.

Almeida, A. V. **Análisis del efecto de la interacción Acero-hormigón sobre la respuesta dinámica de los pisos mixtos** (en Portugués). Tesis de Doctorado. Programa de Pos Grado en Ingeniería, PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

Batista, P. M. S. **Comparación de normas internacionales para su aplicación en la republica dominicana en voladuras.** Trabajo Final de Máster. Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa. Universitat Politècnica de Catalunya, Spain.

Brüel & Kjaer. **Le vibrazioni del corpo humano.** Folheto Técnico, 2000.

BS 6472-1:1992 **Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings (1Hz to 80 Hz)**, British Standards Institute, 1992.

BS 6472-1:2008. **Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings. Vibration sources other than blasting.** British Standard. 2008.

BS 6841:1987 **Guide to measurement and vibration of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock**, British Standards Institute, 1987.

Bachman, H., Ammann, W. **Vibrations in Structures Induced by Man and Machines**, IABSE, 1987. ISBN 3-85748-052-X.

Bachman, H. **Vibration problems in Structures: Practical Guidelines**, Birkauer, 1997.

Costa, Y. C. V., Araújo, T. D. **Evaluation of dynamic behavior of waffle slab to gym center**, Latin American Journal of Solids and Structures (11), 2014, pp.1114-1131.

Decreto No 125/014. **Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción**. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 2014.

DIRECTIVE 2002/44/EC. **On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration)**. The European Parliament and the Council of the European Union. Official Journal of the European Communities, L177/13-19. 2002.

Griffin, M. J. **Handbook of human vibration**. U.S.A: Academic Press, 1990.

Griffin, M. J.; Howarth H. V. C.; Pitts, P. M.; Fischer S.; Kalbars, U.; Donati, P. M.; Bereton, P. F. **Guide do good practice on Hand-Arm Vibration**. 2006.

Harris, C. M., Piersol, A. G. 2000, **Shock and vibration Handbook**. Sixth Ed. McGraw-Hill, 1168p.

Hivoss, **Vibrações em Pavimentos: recomendações técnicas de projeto**, RFS2-0CT02007-00033, Informe interno. <http://www.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/docs/Guideline_Floors_PT01.pdf>, Accedido en 01/04/2007.

Hoy, J.; Murabarak, N. **The effects of whole body vibration on forklift drivers**. Second International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, pp. 19-20, 2000.

ISO 5349-1:2001. **Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements**. International Organization for Standardization, 2001.

ISO 5349-2:2001. **Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace.** International Organization for Standardization, 2001.

ISO 2631-1:1997. **Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 1: General requirements.** International Organization for Standardization, 1997.

ISO 2631-2:2003. **Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration – Part 2: Human Exposure to Continuous and Shock-Induced in Buildings (1 to 80 Hz).** International Organization for Standardization, 2003.

Murray, M.M., Allen, D.E., Ungar, E. **Floor vibrations due to Human activity**, AISC/CSI Steel guideline series 11, American Institute of Steel Construction, 1997.

Marcos, L. K. **Sensibilidade à vibração de pavimentos com lajes alveolares**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2015.

NR-15. 2015, **Norma Regulamentadora No.15. Atividades e operações insalubres - Anexo N°8 Vibrações.** <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf>. Acessado em 08/10/2015.

NR-9, 2015, **Norma regulamentador 9, Programa de Prevenção de Riscos Ambientais-Anexo N°1 Vibrações,** <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_9.pdf.2014>. Acessado em 08/10/2015.

Quest-Techonology, **Real-time vibration AnalyzersVI-400PRO**, Preliminary owner's manual. 2005.

Rehn, B.; Lündström, R.; Nilsson, T.; Bergdahl, I. A.; Ahlgren, C.; Sundelin, G. **Musculoskeletal symptoms among drivers of all-terrain vehicles.** 2nd. International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, pp. 7-9, 2000.

Santos, N. F., **Estudo e controlo de vibrações em lajes de edifícios**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil (en Português), Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

Savreaux, K., Couzet, S., Andreau, C. **Overview of comport criteria for vibration assessment proposed by ISO 6954 and different classification societies**, In: Ship and Noise Vibration Conference, September, 17-18, 2007, London, UK.

Silva, T. M. O., **Avaliação da transmissão de vibração num edifício existente**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil (en Português), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2010.

Tripepi, M.G.; Cantio, M.; Saffioti, G. **Risk and effects of WBV in locomotive engineers**. 2nd International Conference on Whole-Body Vibration Injuries, 2000.

Vasconcelos, J. W. **Atenuações de vibrações em lajes nervuradas de piso em concreto armado**. Dissertação de Mestrado (en Português), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

ANEXO I

Equipo Quest Pro

almon
BRASIL

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

2973-2013

Solicitante do Serviço:

Nome: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
 Endereço: Av. Paulo Gama, 110
 Bairro: Farroupilha
 Cidade: Porto Alegre
 CEP: 90.040-060

UF: RS

Identificação do Item:

Item: Monitor de Vibração
 Fabricante: Quest Technologies / 3M
 Modelo: VI-400 Pro
 N.º de Série: 12430
 Identificação: Não Informado

B.P: 427059

Dados da calibração:

Data da Calibração: 14-jun-13
 N.º do Processo: 1003
 Procedimento de Calibração: PC-11 REV. 3

Item: 1

Condições Ambientais:

Temperatura: 20,8 °C
 Umidade Relativa: 78 %

Método de Medição:

Os valores são obtidos através da excitação do Piezo por um Calibrador Padrão.

Padrões e Instrumentação Utilizados:

Padrão	Código	Certificado n°	Emitente	Validade
Calibrador de Acelerometro	P-018	CRB1300277	Brüel & Kjaer - RBC	fevereiro-16

Figura I.1 –Certificado de calibración del Equipo VI-400 PRO.

SPECIFICATIONS		HAVPro	VI-400Pro
Input Types:	(3) Input channels accept (1) tri-axial accelerometer	(4) Input channels. Each can be configured for sound or vibration	
STANDARD SENSOR			
Hand-Arm Sensor:	Part No. 072-010 voltage mode tri-axial accelerometer, 10mV/g sensitivity	Part No. 072-026 voltage mode tri-axial accelerometer, 10mV/g sensitivity	
H-A RMS Range:	0.01 m/s ² to 5,000 m/s ² , dependent upon gain setting and accelerometer	.001-596 m/s ² depending on selected filter	
H-A Peak Range:	0.2 m/s ² to 7,000 m/s ² , dependent upon gain setting	0.003m/s ² - 798 m/s ² depending on selected filter	
Whole Body Sensor:	Part No. 072-011 voltage mode tri-axial seat pad accelerometer, 100mV/g sensitivity	Part No. 072-029 voltage mode tri-axial seat pad accelerometer, 100mV/g sensitivity	
W-B RMS Range:	0.001 m/s ² to 500 m/s ² , dependent upon gain setting	.001-596 m/s ² depending on selected filter	
W-B Peak Range:	0.2 m/s ² to 700 m/s ² , dependent upon gain setting	0.003m/s ² - 798 m/s ² depending on selected filter	
MEASUREMENTS			
Units:	English, Metric, dB	English, Metric, dB	
Vibration Modes:	Acceleration, Velocity, Displacement	Acceleration, Velocity, Displacement	
Machine Vibration:	Arms, Amin, Amax, Aeq, Amp, PEAK, Time History	RMS, Peak, Peak-Peak, MTVV, Min, Max, Aeq, Time History	
Hand-Arm Vibration:	Arms, Amin, Amax, Aeq, Amp, PEAK, A(1), A(2), A(4), A(8)	RMS, VDV, Peak, Peak-Peak, Min, Max (MTVV), Vector Sum, A(8), EAV Time, ELV Time, Time History	
Whole-Body Vibration:	Arms, Amin, Amax, Aeq, Amp, PEAK, CFmp, CF, VDV, Time History	RMS, VDV, Peak, Peak-Peak, Min, Max (MTVV), Vector Sum, A(8), EAV Time, ELV Time, Time History	
Sound Level:	Not Applicable	SPL, Leq,/Lavg, SEL, Ldn, Ltm3, Ltm5, L1 to L99, Lmax, Lmin, Lpeak, Time History	
Dynamic Range:	60dB	100dB	
Frequency Range:	0.5 – 3000 Hz +/- 5% 0.3 – 5000 Hz +/- 10%	0.5 to 20kHz (input transducer dependent & filters)	
Sampling Rate:	14,400 Hz	51.2 kHz	
Analyzer:	Not Applicable	Real-Time 1/1 & 1/3 Octave Analysis, Optional FFT	
FREQUENCY WEIGHTINGS			
Vibration:	Ws (Severity), Fa (0.4 – 100 Hz), Fb (0.4 – 1250 Hz), Fc (6.3 – 1250 Hz)	HP1, HP3, HP10, Vel1, Vel3, Vel10, VelMF, Dii1, Dii3, Dii10	
Sound:	Not Applicable	A, C, Lin	
Hand-Arm:	Wh	Wh	
Whole-Body:	Wb, Wc, Wd, We, Wg, Wj, Wk, WB	Wc, Wd, Wj, Wk, Wm, KB	
MEMORY STORAGE			
Setups:	Up to 10 User-defined setup files	No specific limit	
Data Files:	Up to 100 data files	No specific limit	
Time History:	Interval lengths of 1, 2, 5, 10, 20, 30 or 60 seconds. Up to 120 intervals per data file with Arms and PEAK/interval. Up to 240 intervals per data file with Arms or PEAK/interval	More than two weeks of one second RMS/MAX/MIN/Peak results	
Size:	512K	32MB non-volatile (flash-type)	

Figura I.2 –Especificación técnica del equipo VI-400 PRO.

Analog input

Table 1. Analog input specifications

Parameter	Conditions	Specification
A/D converter type		Successive approximation type
Input voltage range for linear operation, single-ended mode	CHx to GND	±10 volts (V) max
Input common-mode voltage range for linear operation, differential mode	CHx to GND	-10 V min, +20 V max
<i>Absolute maximum input voltage</i>	<i>CHx to GND</i>	<i>±28 V max</i>
<i>Input impedance</i>		<i>122 kΩ</i>
Input current (Note 1)	V _{in} = +10 V	70 μA typ
	V _{in} = 0 V	-12 μA typ
	V _{in} = -10 V	-94 μA typ
Number of channels	Software-selectable	8 single-ended / 4 differential
Input ranges, single-ended mode		±10 V, G=2
Input ranges, differential mode	Software-selectable	±20 V, G=1 ±10 V, G=2 ±5 V, G=4 ±4 V, G=5 ±2.5 V, G=8 ±2.0 V, G=10 ±1.25 V, G=16 ±1.0 V, G=20
Throughput (Note 2)	Software paced	250 S/s typ, PC-dependent
	Hardware paced	50 kS/s
Channel gain queue	Up to 16 elements	Software configurable channel, range, and gain.
Resolution (Note 3)	Differential	12 bits, no missing codes
	Single-ended	11 bits
CAL accuracy	CAL = 2.5 V	±36.25 mV max
Integral linearity error		±1 LSB typ
Differential linearity error		±0.5 LSB typ
Repeatability		±1 LSB typ
CAL current	Source	5 mA max
	Sink	20 μA min, 100 μA typ
Trigger source	Software-selectable	External digital: TRIG_IN
Pacer source	Software-selectable	<ul style="list-style-type: none"> ■ Internal ■ External (SYNC), rising edge triggered ■ Programmed IO

Figura I.3 –Especificación técnica del equipo USB1208-FS.

APENDICE A

Evaluación con respecto a la salud

Tabla A.1 – Evaluación con respecto a la salud, Punto 0.

TIEMPO DE MEDICION	0,27	horas			
EJES	X	Y	Z	SUMA	
Lpk	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
P-P	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
rms	0,0305	0,0056	0,0403	0,0593	m/s ²
MTVV	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
VDV	0,6145	0,1129	0,361	0,8670	m/s ^{1.75}
CRF	0,000	0,000	0,000	-	
K-Factor	1,4	1,4	1,0	-	
Max rms			0,0427		m/s ²
A(8), Max rms			0,0109		m/s ²
Max VDV			0,6145		m/s ^{1.75}
VDV (8)			0,3713		
TIEMPO DE EXPOSICION	8,00	horas			
	X	Y	Z	SUMA	
Tiempo para Alcanzar VAE=	1095,1050	31916,6378	1229,7331	568,9348	horas
Tiempo para Alcanzar VLE=	5300,3081	154476,5267	5951,9081	2753,6444	horas
A(8) equivalente	0,0427	0,0079	0,0403	0,0593	m/s ²

Confort

Confortable

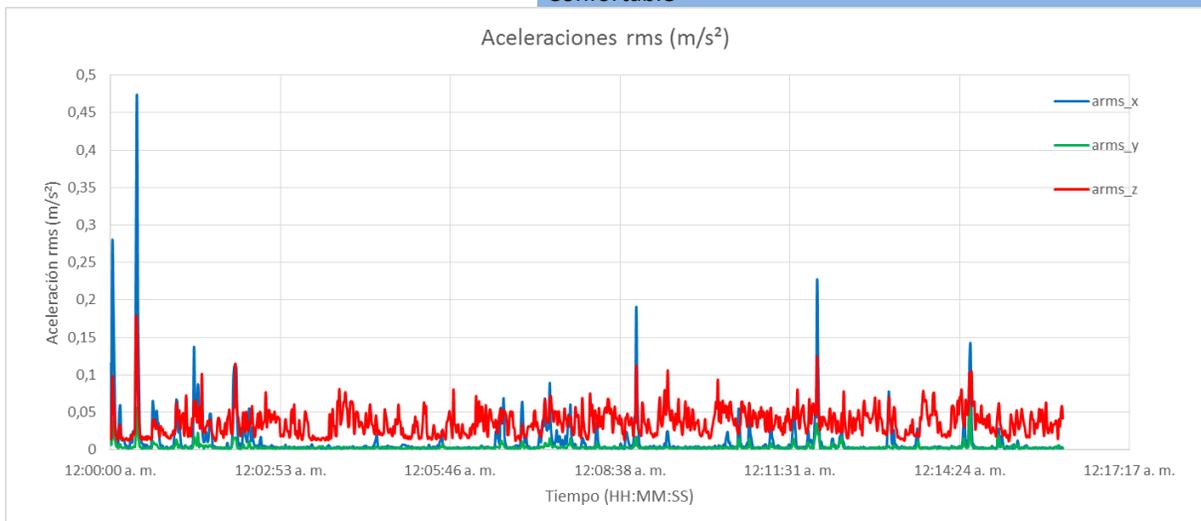


Figura A.1 – Valores rms del punto 0 en los tres ejes.

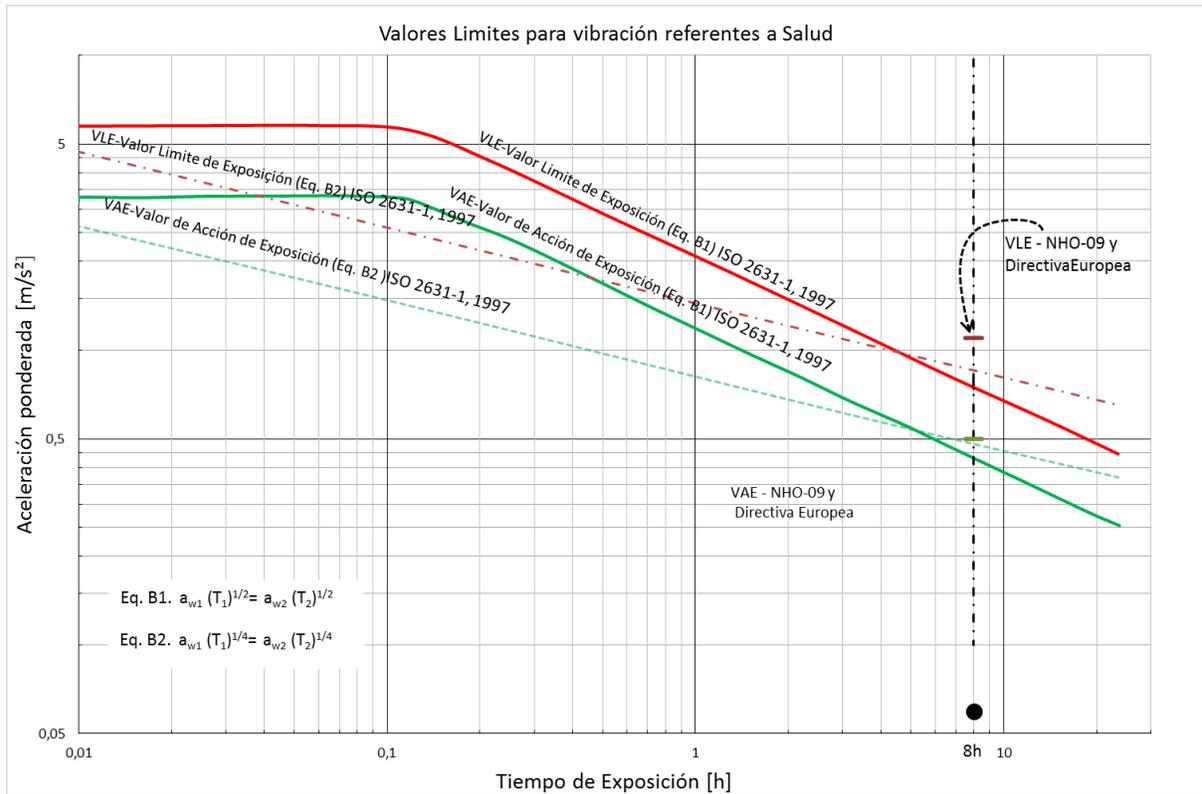


Figura A.2 –Valores límites para vibración referente a salud punto 0 [ISO 2631-1, 1997].

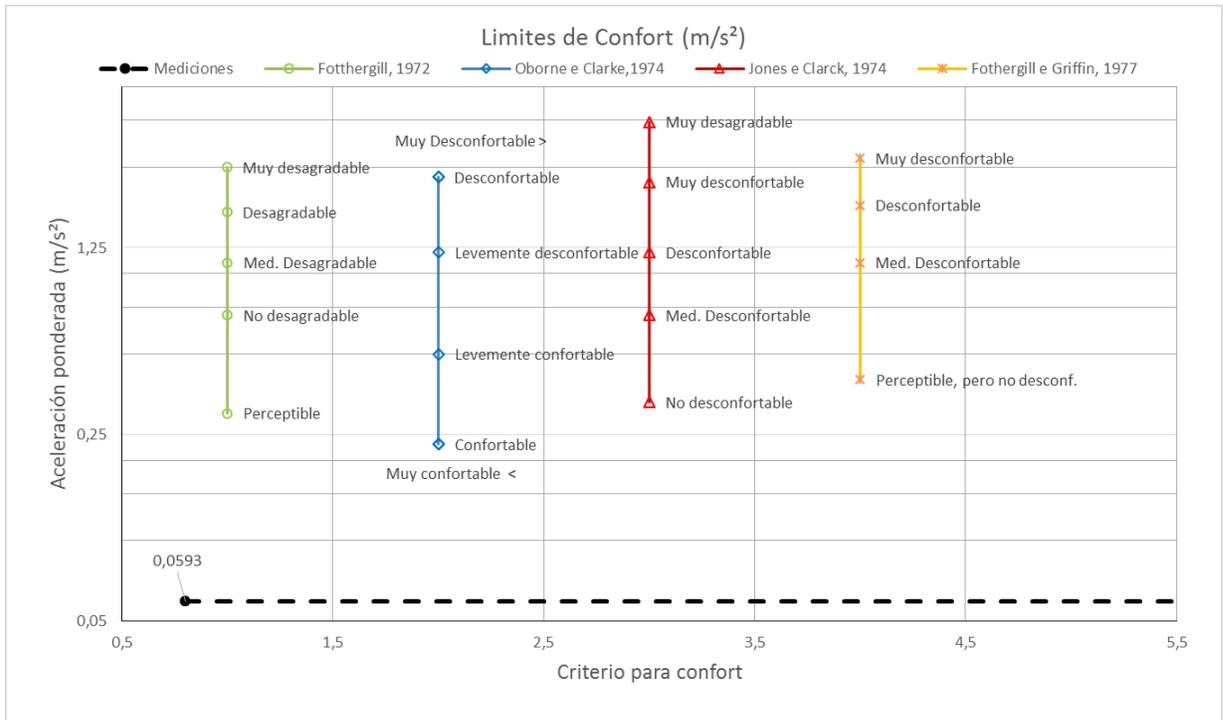


Figura A.3 –Valores límites para vibración referente a confort puto 0.

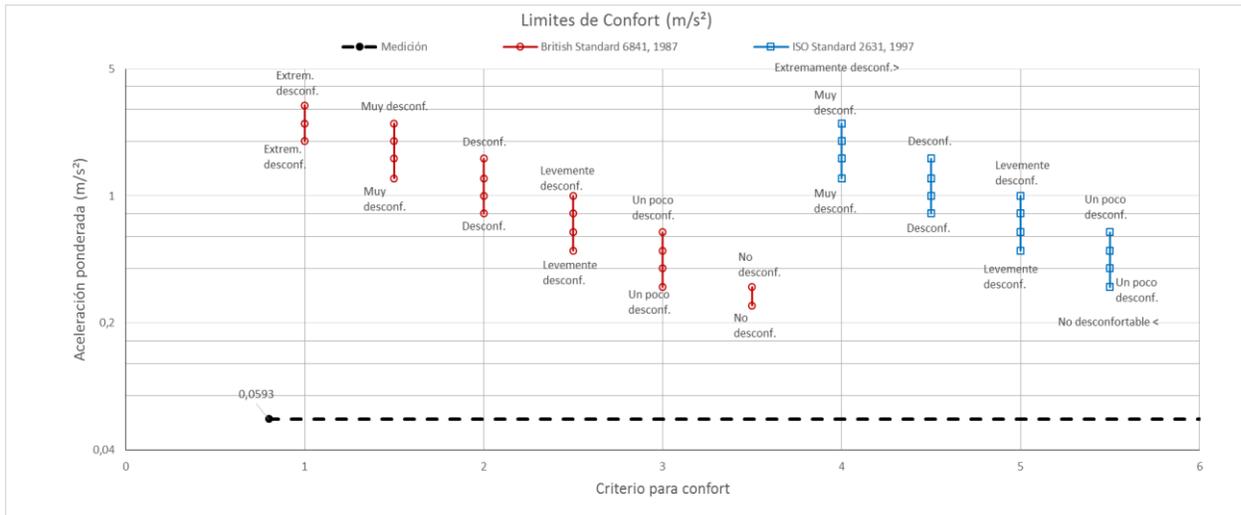


Figura A.4 –Valores límites para vibración referente a confort punto 0 (continuación).

Punto 1

Tabla A.2 – Evaluación con respecto a la salud, Punto 1.

TIEMPO DE MEDICION	0,26	horas			
EJES	X	Y	Z	SUMA	
Lpk	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
P-P	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
rms	0,0419	0,0236	0,0450	0,0810	m/s ²
MTVV	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
VDV	1,1928	0,4174	0,818	1,6996	m/s ^{1.75}
CRF	0,000	0,000	0,000	-	
K-Factor	1,4	1,4	1,0	-	
Max rms			0,0586		m/s ²
A(8), Max rms			0,0147		m/s ²
Max VDV			1,1928		m/s ^{1.75}
VDV (8)			0,7239		
TIEMPO DE EXPOSICION	8,00	horas			
	X	Y	Z	SUMA	
Tiempo para Alcanzar VAE=	581,8159	1803,1050	989,0205	304,4643	horas
Tiempo para Alcanzar VLE=	2815,9889	8727,0283	4786,8592	1473,6073	horas
A(8) equivalente	0,0586	0,0333	0,0450	0,0810	m/s ²

Confort

Confortable

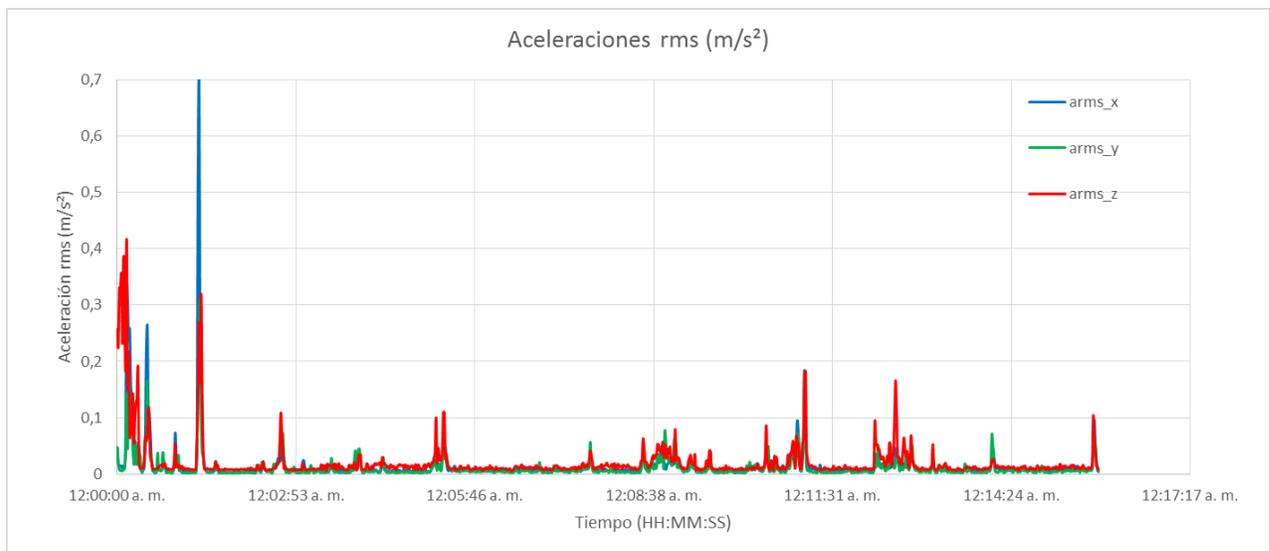


Figura A.5 –Valores rms del punto 1 en los tres ejes.

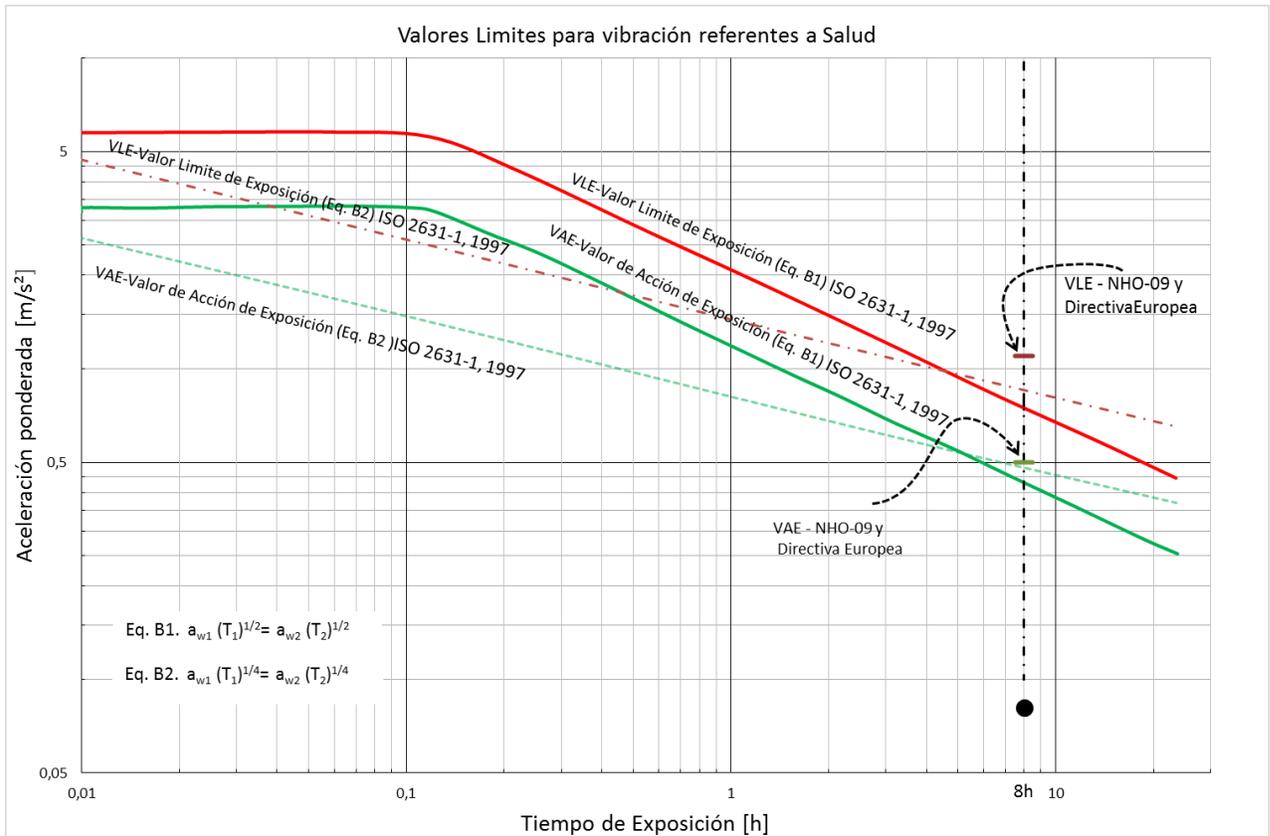


Figura A.6 –Valores límites para vibración referente a Salud punto 1 [ISO 2631-1, 1997].

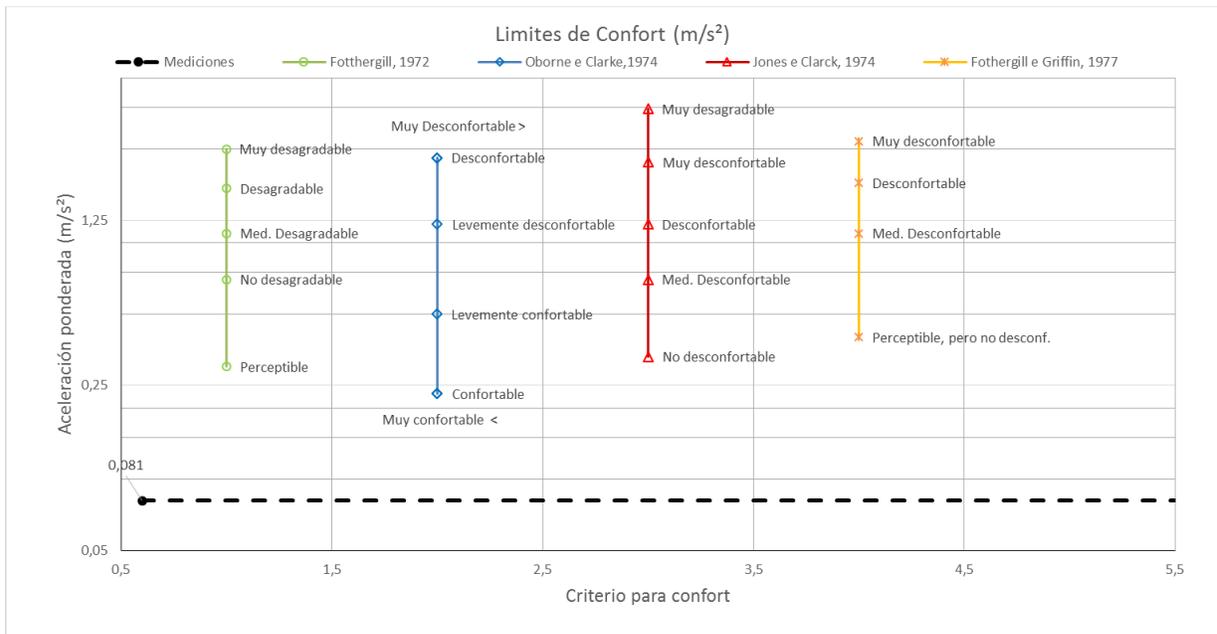


Figura A.7 –Valores límites para vibración referente a confort punto 1.

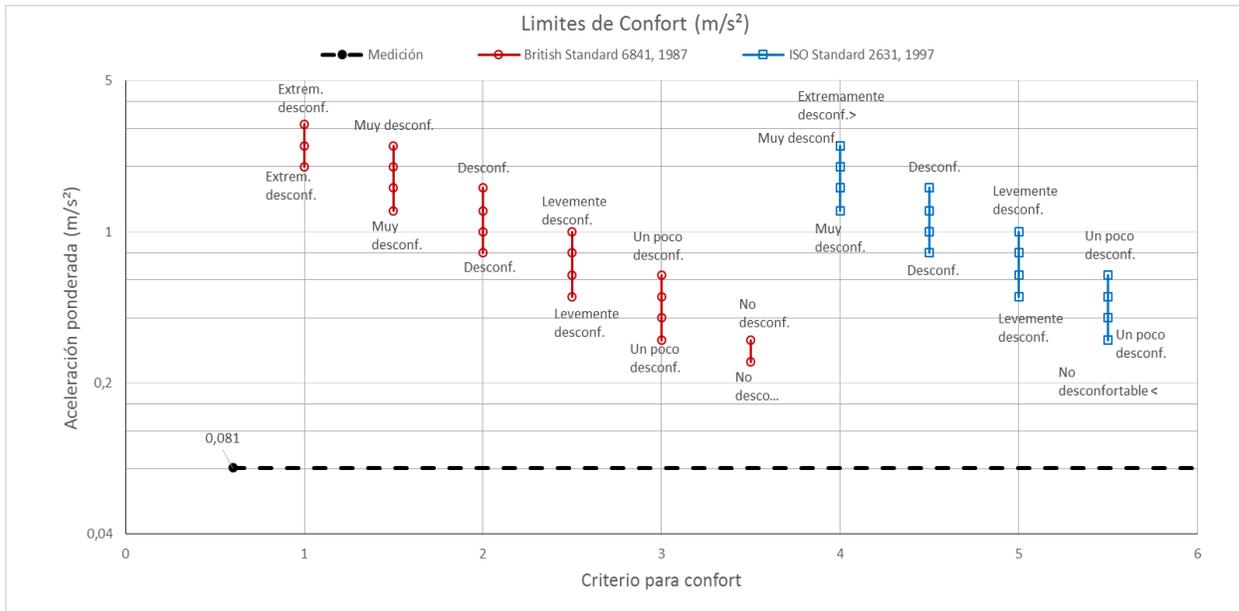


Figura A.8 –Valores límites para vibración referente a confort punto 1 (continuación).

Punto 2

Tabla A.3 – Evaluación con respecto a la salud, Punto 2.

TIEMPO DE MEDICION	0,64	horas			
EJES	X	Y	Z	SUMA	
Lpk	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
P-P	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
rms	0,0026	0,0021	0,0276	0,0280	m/s ²
MTVV	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
VDV	0,0235	0,0191	0,293	0,2927	m/s ^{^(1.75)}
CRF	0,000	0,000	0,000	-	
K-Factor	1,4	1,4	1,0	-	
Max rms			0,0276		m/s ²
A(8), Max rms			0,0079		m/s ²
Max VDV			0,2927		m/s ^{^(1.75)}
VDV (8)			0,1556		
TIEMPO DE EXPOSICION	8,00	horas			
	X	Y	Z	SUMA	
Tiempo para Alcanzar VAE=	156713,1890	229287,4941	2618,1177	2546,4977	horas
Tiempo para Alcanzar VLE=	758491,8346	1109751,4713	12671,6898	12325,0487	horas
A(8) equivalente	0,0036	0,0030	0,0276	0,0280	m/s ²

Confort

Comfortable

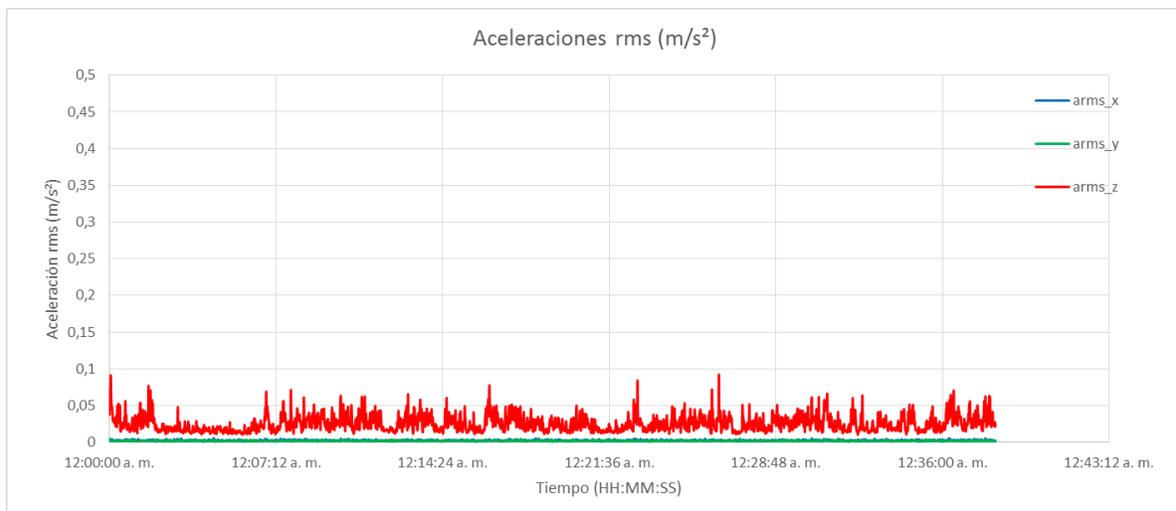


Figura A.9 – Valores rms del punto 2 en los tres ejes.

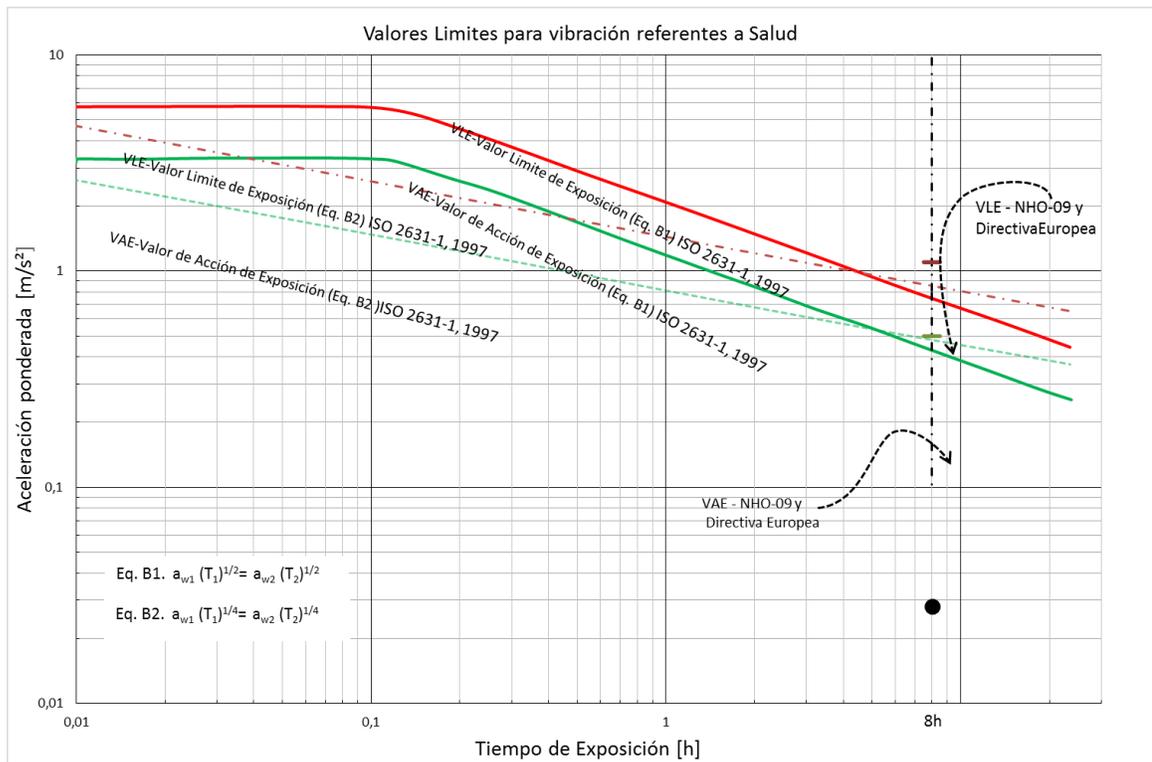


Figura A.10 –Valores límites para vibración referente a salud punto 2 [ISO 2631-1, 1997].

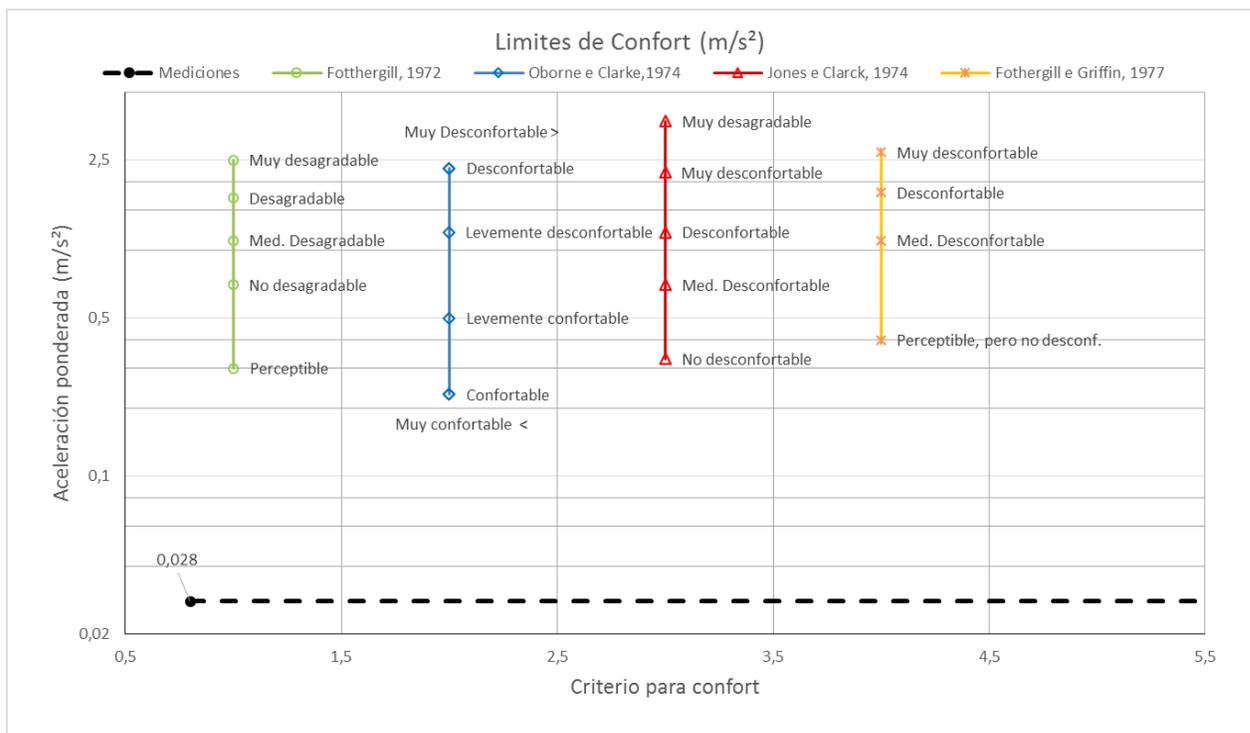


Figura A.11 –Valores límites para vibración referente a confort punto 2.

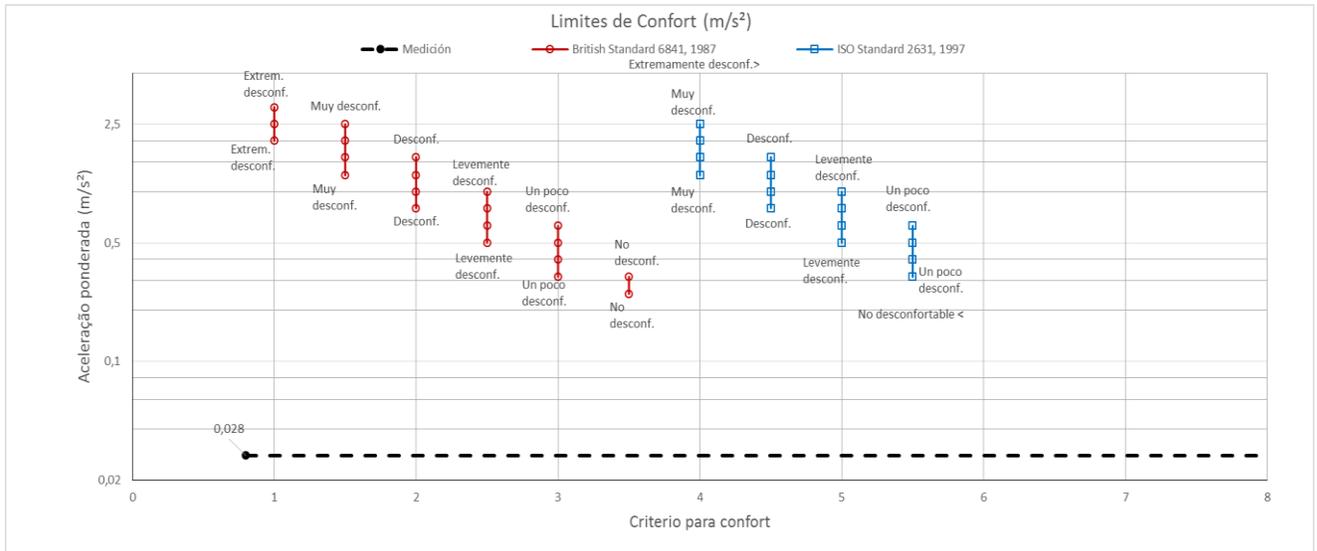


Figura A.12 –Valores límites para vibración referente a confort punto 2 (continuación).

Punto 3

Tabla A.4 – Evaluación con respecto a la salud, Punto 3.

TIEMPO DE MEDICION	0,05	horas			
EJES	X	Y	Z	SUMA	
Lpk	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
P-P	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
rms	0,0364	0,0256	0,0745	0,0972	m/s ²
MTVV	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
VDV	0,3981	0,2929	0,483	0,6512	m/s ^(1.75)
CRF	0,000	0,000	0,000	-	
K-Factor	1,4	1,4	1,0	-	
Max rms			0,0745		m/s ²
A(8), Max rms			0,0077		m/s ²
Max VDV			0,4826		m/s ^(1.75)
VDV (8)			0,1836		
TIEMPO DE EXPOSICION	8,00	horas			
	X	Y	Z	SUMA	
Tiempo para Alcanzar VAE=	769,8400	1529,3167	360,3157	211,4969	horas
Tiempo para Alcanzar VLE=	3726,0258	7401,8929	1743,9281	1023,6450	horas
A(8) equivalente	0,0510	0,0362	0,0745	0,0972	m/s ²

Confort

Comfortable

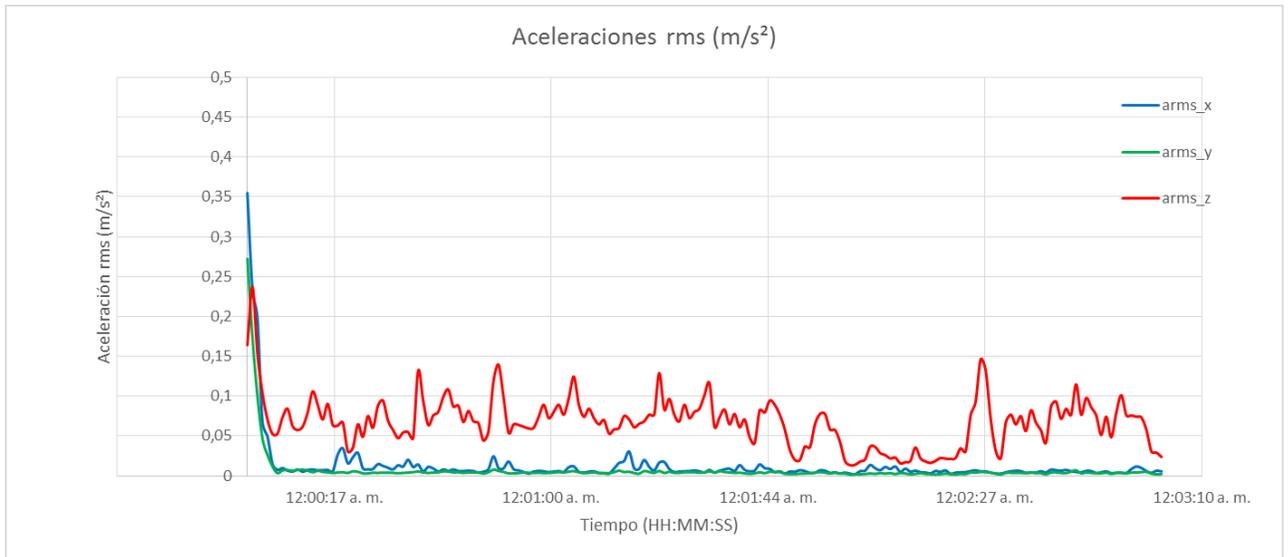


Figura A.13 –Valores *rms* del punto 3 en los tres ejes.

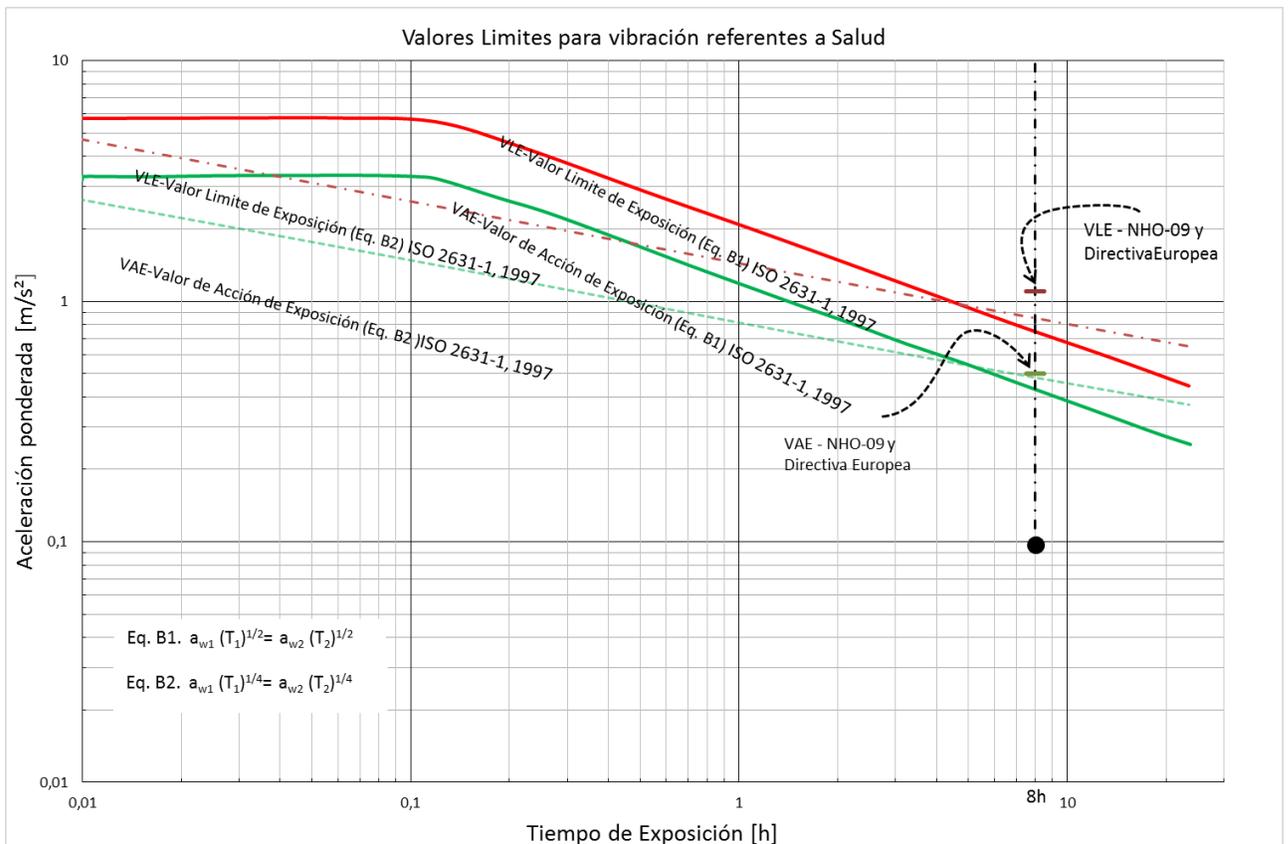


Figura A.14 –Valores límites para vibración referente a salud punto 3 [ISO 2631-1, 1997].

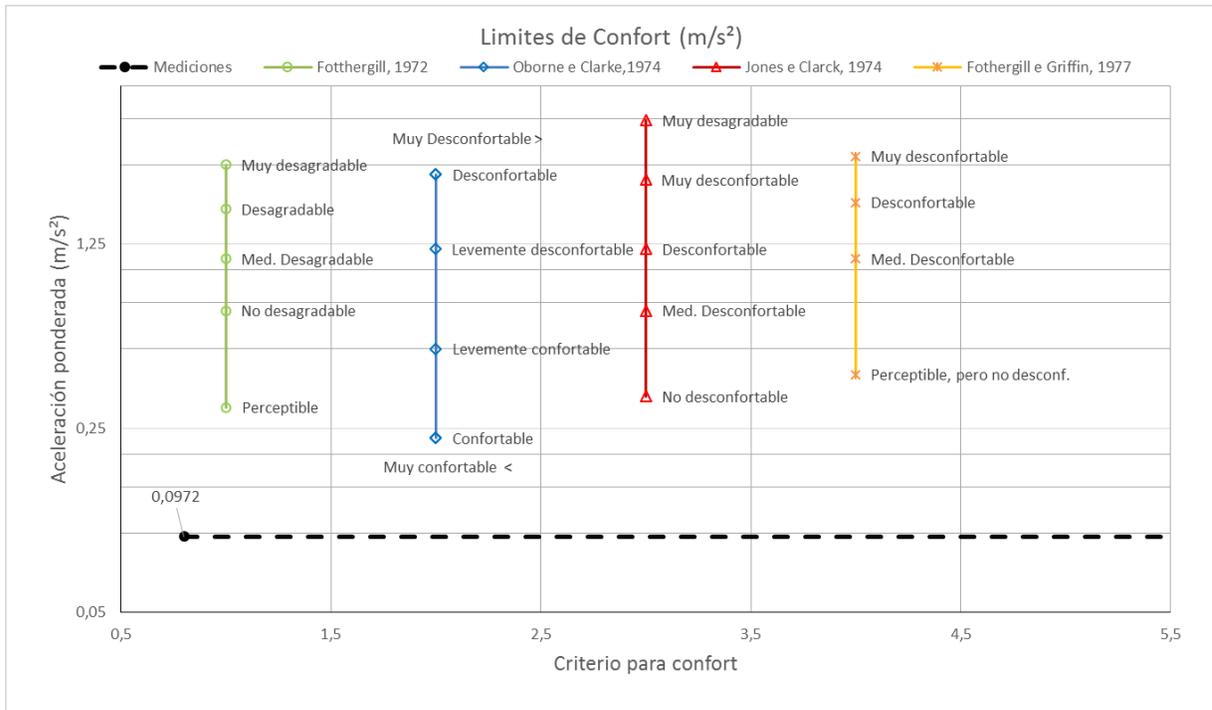


Figura A.15 –Valores límites para vibración referente a confort punto 3.

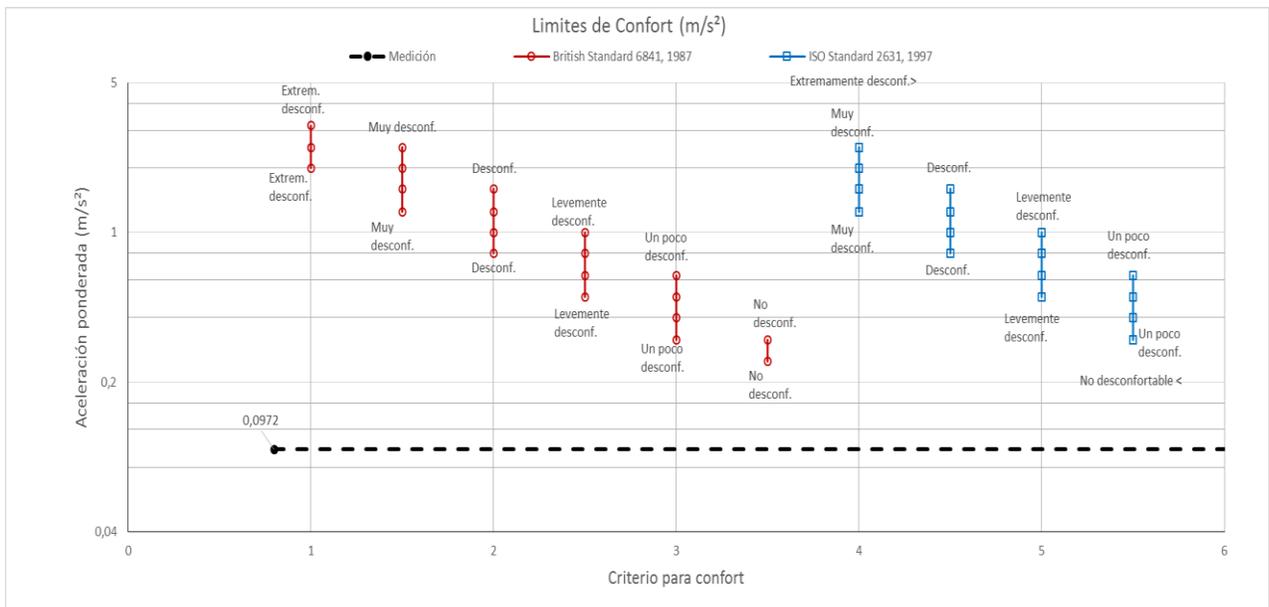


Figura A.16 –Valores límites para vibración referente a confort punto 3 (continuación).

Punto 6

Tabla A.5 – Evaluación con respecto a la salud, Punto 6.

TIEMPO DE MEDICION	0,05	horas				
EJES	X	Y	Z	SOMA		
Lpk	0,0000	0,0000	0,0000	-		m/s ²
P-P	0,0000	0,0000	0,0000	-		m/s ²
rms	0,4440	0,4538	0,2305	0,9213		m/s ²
MTVV	0,0000	0,0000	0,0000	-		m/s ²
VDV	5,3524	5,3945	2,764	8,9991		m/s ^{^(1.75)}
CRF	0,000	0,000	0,000	-		
K-Factor	1,4	1,4	1,0	-		
Max rms			0,6398			m/s ²
A(8), Max rms			0,0738			m/s ²
Max VDV			5,3945			m/s ^{^(1.75)}
VDV (8)			2,5477			
TIEMPO DE EXPOSICION	8,00	horas				
	X	Y	Z	SUMA		
Tiempo para Alcanzar VAE=	5,1765	4,8859	37,6451	2,3562		horas
Tiempo para Alcanzar VLE=	25,0543	23,6477	182,2022	11,4039		horas
A(8) equivalente	0,6216	0,6398	0,2305	0,9213		m/s ²

Confort

Poco desconfortable

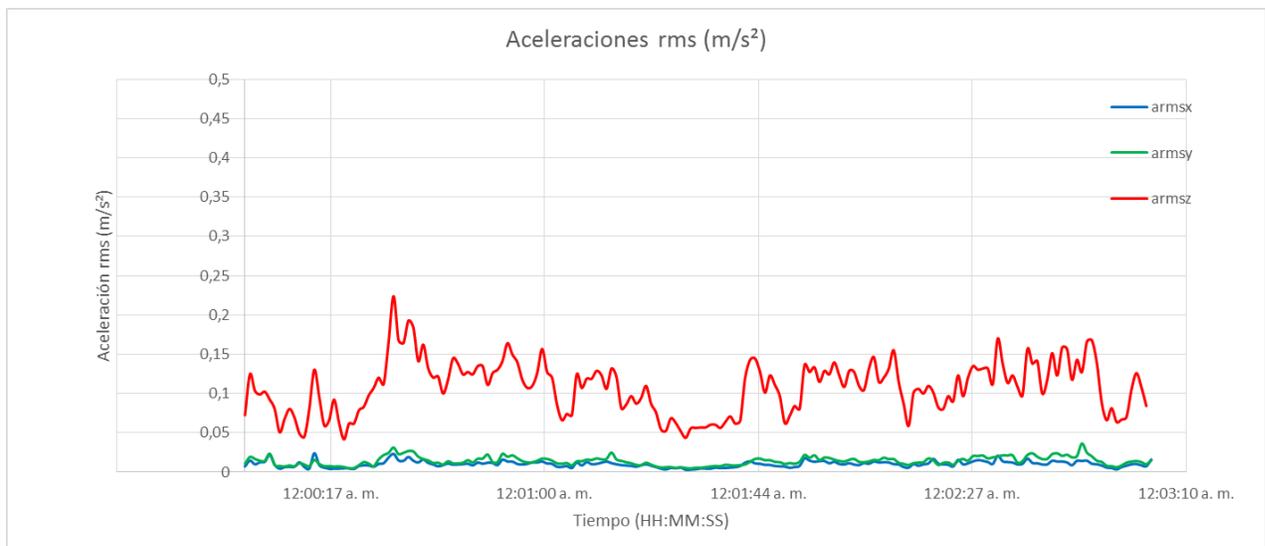


Figura A.17 – Valores rms del punto 6 en los tres ejes.

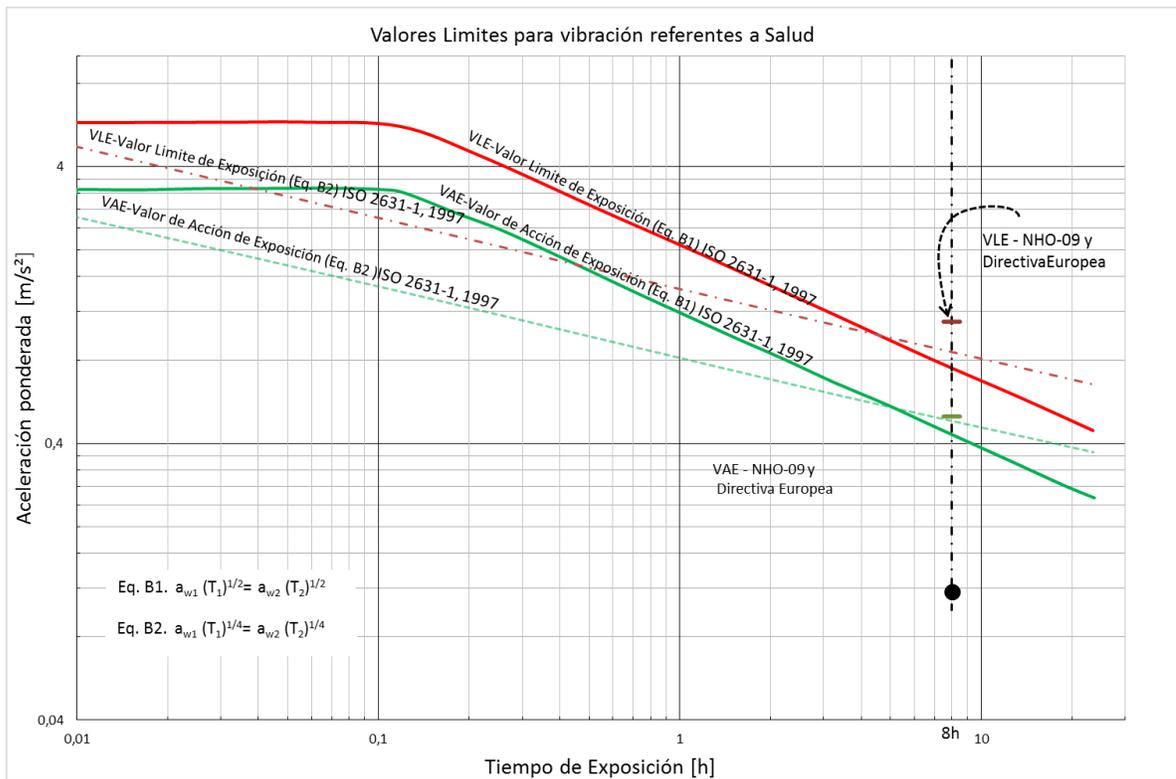


Figura A.18–Valores límites para vibración referente a salud punto 6 [ISO 2631-1, 1997].

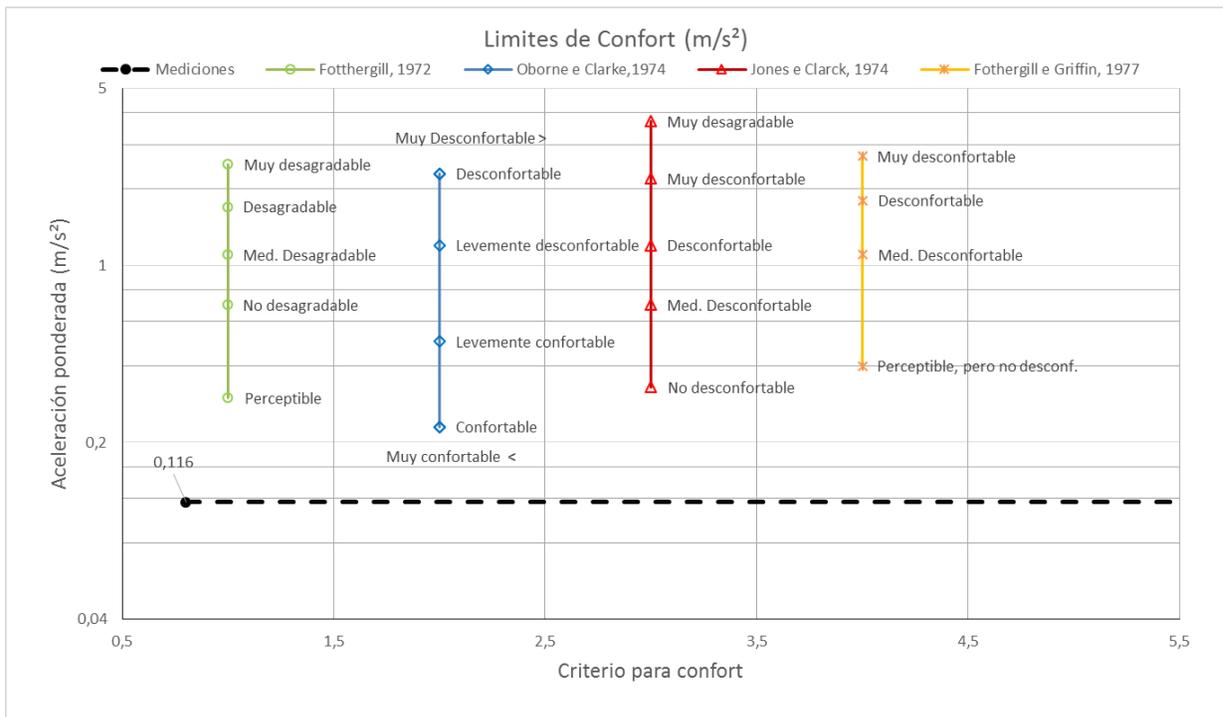


Figura A.19 –Valores límites para vibración referente a confort punto 6.

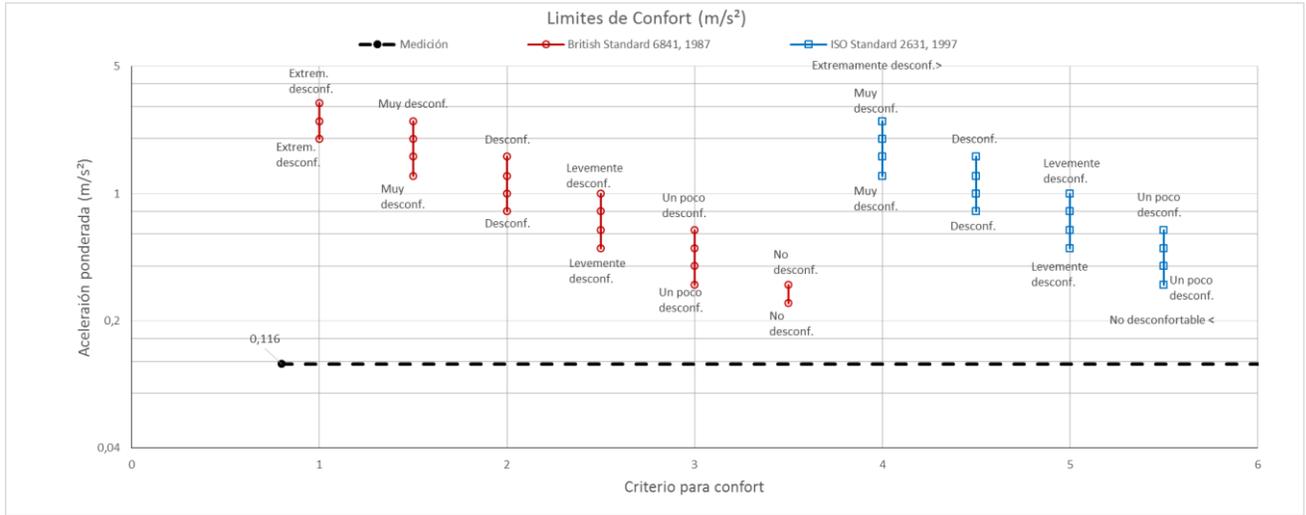


Figura A.20 –Valores límites para vibración referente a confort punto 6 (continuación).

Punto 8

Tabla A.6 – Evaluación con respecto a la salud, Punto 8.

TIEMPO DE MEDICION	0,05	horas			
EJES	X	Y	Z	SUMA	
Lpk	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
P-P	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
<i>rms</i>	0,5767	0,3755	0,8489	1,2856	m/s ²
MTVV	0,0000	0,0000	0,0000	-	m/s ²
VDV	6,4903	3,9495	6,075	9,7777	m/s ^(1.75)
CRF	0,000	0,000	0,000	-	
K-Factor	1,4	1,4	1,0	-	
Max <i>rms</i>			0,8489		m/s ²
A(8), Max <i>rms</i>			0,1028		m/s ²
Max VDV			6,4903		m/s ^(1.75)
VDV (8)			2,7643		
TIEMPO DE EXPOSICION	8,00	horas			
	X	Y	Z	SUMA	
Tiempo para Alcanzar VAE=	3,0683	7,1339	2,7755	1,2101	horas
Tiempo para Alcanzar VLE=	14,8507	34,5280	13,4335	5,8569	horas
A(8) equivalente	0,8074	0,5295	0,8489	1,2856	m/s ²
Desconfortable					

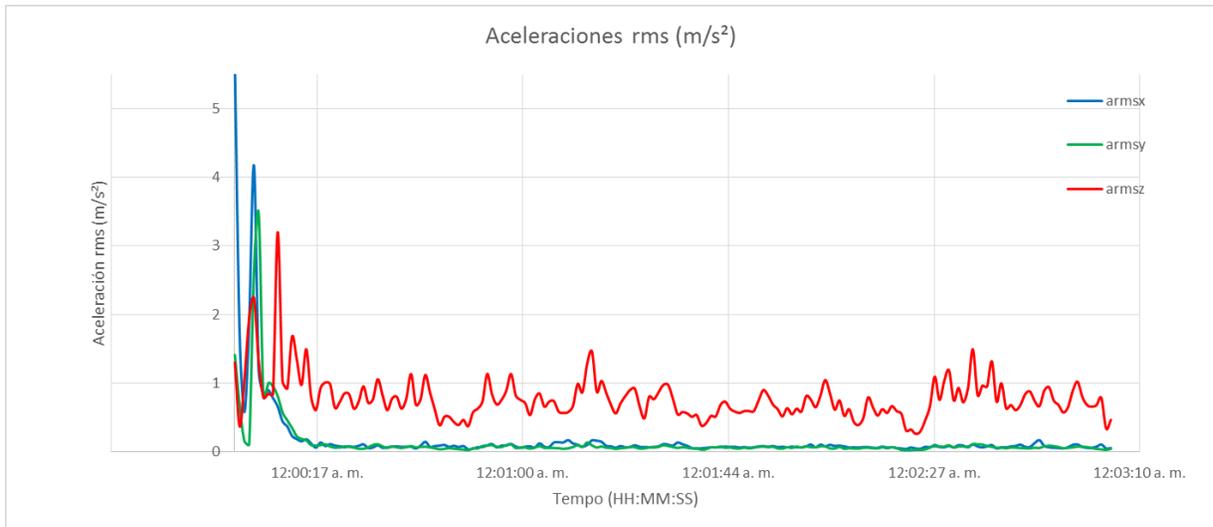


Figura A.21–Valores *rms* del punto 8 en los tres ejes.

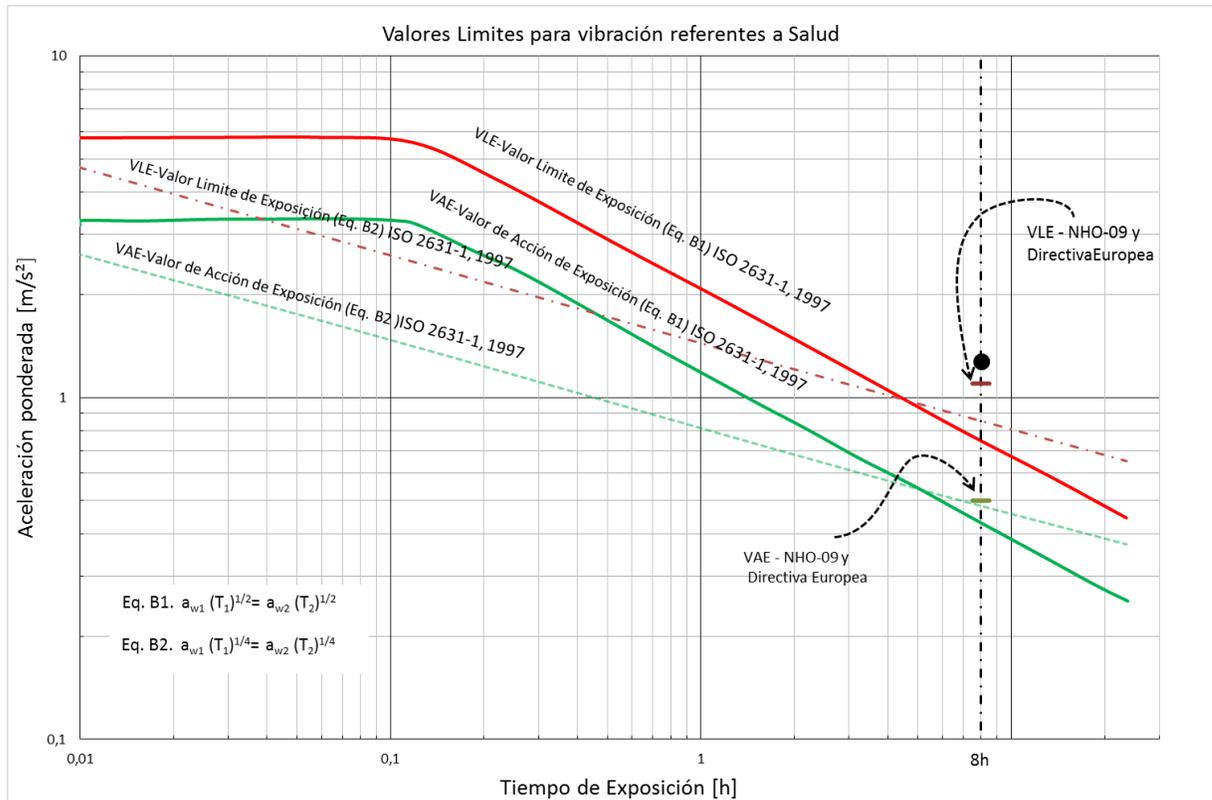


Figura A.22 –Valores límites para vibración referente a salud punto 8 [ISO 2631-1, 1997].

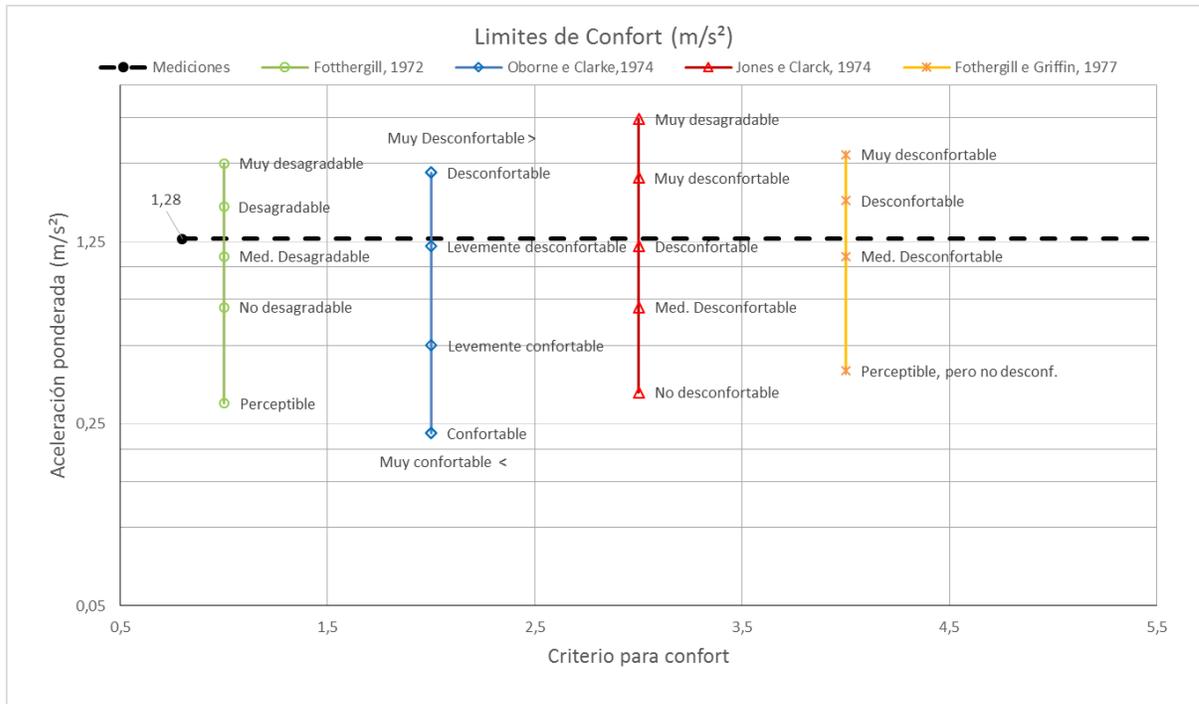


Figura A.23 –Valores límites para vibración referente a confort punto 8.

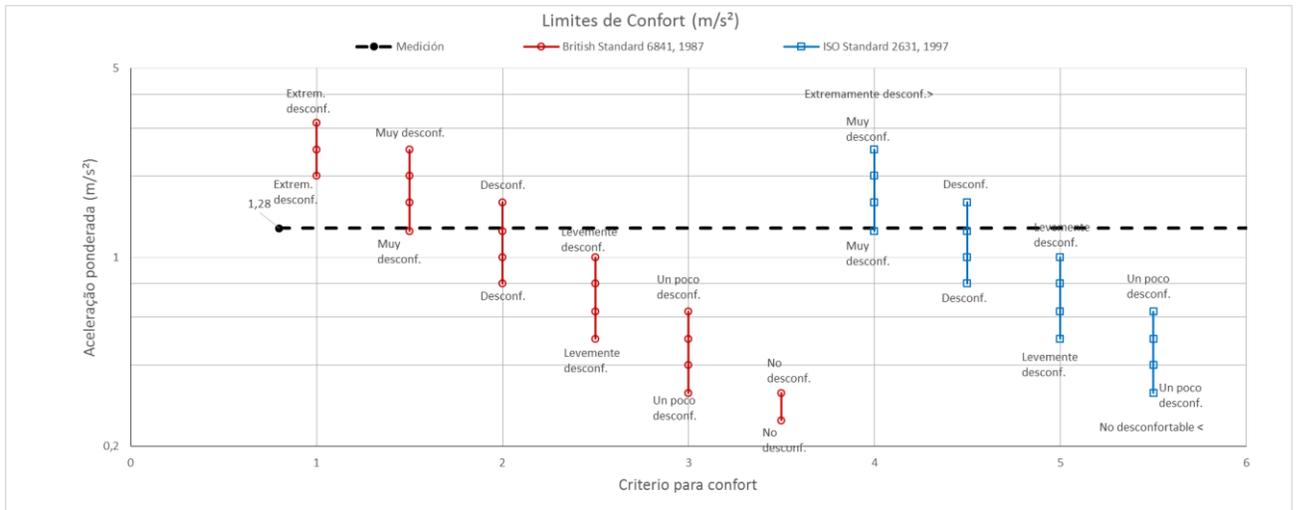


Figura A.24 –Valores límites para vibración referente a confort punto 8 (continuación).