

59:91

ESTUDIO
DE VIBRACIONES
EN CARRETILLAS

DOCUMENTOS
TECNICOS



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

ESTUDIO DE VIBRACIONES EN CARRETILLAS

59 : 91

Autor:
MANUEL GOMEZ-CANO HERNANDEZ
Ingeniero Industrial
CNNT Madrid

Marzo 1991

I.S.B.N.: 84-7425-323-3

Dep. Legal: B. 16567.91

N.I.P.O.: 211-91-007-2

Edita: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
Torrelaguna, 73 - 28027 MADRID

Imprime: Servicio de Ediciones y Publicaciones I.N.S.H.T.- MADRID.

F.D. 2099

INDICE

| | |
|--|----|
| I INTRODUCCION | 5 |
| II OBJETIVO | 7 |
| III CONCEPTOS GENERALES DE VIBRACIONES | 9 |
| 1. Conceptos físicos vibraciones | 9 |
| 2. Biodinámica de las vibraciones | 10 |
| 3. Exposición a las vibraciones | 11 |
| IV CRITERIOS DE VALORACION | 15 |
| V EQUIPOS Y METODOS DE MEDIDA | 17 |
| VI MUESTRA PILOTO ESTUDIADA | 19 |
| VII METODOLOGIA EMPLEADA | 21 |
| 1. Elaboración de la encuesta | 21 |
| 2. Selección de equipos y técnicas de muestreo | 22 |
| VIII EXPLOTACION DE RESULTADOS | 29 |
| 1. Carretillas de conducción convencional | 29 |
| 2. Carretillas retráctiles | 37 |
| IX. CONSIDERACIONES FINALES | 39 |
| X MEDIDAS PREVENTIVAS | 43 |
| XI BIBLIOGRAFIA | 45 |
| ANEXO I | 47 |
| ANEXO II | 51 |

I - INTRODUCCION

Hasta el día de la fecha, son muchos los estudios que se han realizado sobre las condiciones y dispositivos de seguridad que deben llevar incorporadas las carretillas de transporte, a fin de prevenir o proteger de los accidentes que pueden ocasionar a los propios conductores o al personal transeúnte, pero sin embargo son muy escasos por no decir nulos, los realizados sobre los posibles problemas ocasionados por las vibraciones transmitidas al conductor a través de la propia carretilla o sus elementos asociados.

Los estudios a los que hemos tenido acceso sobre la exposición a vibraciones en este tipo de máquinas u otras de características similares, indican que dichas vibraciones son transmitidas lógicamente a través del propio asiento del conductor a la zona lumbar y que pueden afectar bien a la propia salud del trabajador o bien a su capacidad para el trabajo por fatiga o como situación menos desfavorable al propio confort o bienestar del trabajador.

El avance industrial ha hecho de este tipo de máquinas, un elemento indispensable para los distintos procesos de fabricación, de tal manera que rara es la empresa que no dispone de alguna carretilla, lo que nos lleva a pensar que, sin tener que recurrir a una cuantificación más precisa, el número de carretillas en nuestro país es muy elevado. Esto nos lleva a la necesidad de seguir ahondando en el conocimiento de las condiciones de trabajo en estas operaciones y más concretamente en el de la exposición a los niveles y tipos de vibraciones que los propios usuarios se encuentran al realizar su trabajo.

II - OBJETIVO

Con este primer estudio sobre esta materia, se pretende que los técnicos prevencionistas puedan tener unos primeros datos y conocimientos, sobre cuales son para algunos de los diferentes tipos de carretillas que se vienen utilizando en nuestra industria, tanto los parámetros que deben ser tenidos en cuenta para valorar una exposición a vibraciones, como de los propios niveles de exposición de los conductores para algunas de las diferentes situaciones que se pueden presentar, los criterios de evaluación existentes, la sintomatología que presentan, así como por último las medidas generales de control a adoptar para eliminar o al menos disminuir los niveles de vibración transmitidos por la propia carretilla.

El Centro Nacional de Nuevas Tecnologías como parte de sus actuaciones ha iniciado este trabajo con un objetivo meramente divulgativo, debiendo indicar que se trata de una primera aproximación a un estudio más profundo o concluyente sobre exposición a vibraciones globales en puestos de trabajo de carretilleros.

III - CONCEPTOS GENERALES DE VIBRACIONES

Antes de entrar más profundamente en el desarrollo de este trabajo, vamos a recordar brevemente algunos conceptos de las vibraciones que consideramos de fundamental importancia y que facilitarán la comprensión de algunos conceptos o expresiones que van a ser utilizados más adelante.

1. Conceptos físicos de vibraciones

Así las vibraciones como fenómeno físico se pueden considerar como una serie de oscilaciones de las partículas alrededor de un punto de equilibrio, que se transmiten a través de un medio físico cualquiera.

El número de oscilaciones que realiza un punto en la unidad de tiempo se denomina frecuencia y se expresa en ciclos/sg o Hercios (Hz).

La magnitud del desplazamiento se denomina amplitud y en el caso particular de las vibraciones se suelen utilizar para representarlo, bien el valor instantáneo del desplazamiento de la partícula, de la velocidad o de su aceleración, aunque es esta última forma la más utilizada a la hora de expresar la magnitud de la vibración.

Generalmente las vibraciones que se producen en la vida real, no suelen constar de una única componente, sino que realmente son vibraciones complejas, suma o superposición de distintas vibraciones con diferentes frecuencias y magnitudes, por lo que a la hora de

representarlas se suelen utilizar los espectros de frecuencias, que no son más que una representación que relaciona las diferentes magnitudes con las frecuencias.

Como hemos dicho, la forma más utilizada de representar la magnitud de una vibración es la aceleración, aunque muchas veces se pueden representar en dB, viniendo dado entonces el valor de la aceleración en dB por la expresión:

$$\text{Aceleración en dB} = 20 \log. a/a_0$$

a = Aceleración del punto en m/sg^2

a_0 = Aceleración de referencia que generalmente se toma como $10^{-6} \text{ m}/\text{sg}^2$

A la hora de estudiar las repercusiones que tienen las vibraciones sobre el individuo, se ha demostrado que el margen de frecuencia que puede afectar al individuo es mucho menor que en el ruido, variando desde 0,1 Hz hasta varios centenares de estos.

Dentro de los intervalos de frecuencia que pueden interesar desde el punto de vista de afección a la persona, podremos a su vez considerar los siguientes intervalos:

Muy baja frecuencia (>1 Hz) que corresponden a los que se producen en el transporte por carretera, viario y marítimo.

Baja frecuencia (>1 Hz y <80 Hz) que son las ocasionadas por carretillas elevadoras, vehículos de maquinaria agrícola como tractores, remolques, etc. así como vehículos y maquinarias de obras públicas.

Altas frecuencias (hasta 1000 Hz) caso de las máquinas rotativas, (tronzadoras, pulidoras, etc.) máquinas alternativas (lijadoras, motosierras, etc.) máquinas percusoras, martillos picadores, etc.

2. Biodinámica de las vibraciones

Se conoce como impedancia la capacidad que tiene la superficie del cuerpo humano de transmitir una cierta cantidad de la energía mecánica que le llega del exterior, según que la proporción de energía transmitida sea alta o baja se dice que presenta igualmente una alta o baja impedancia.

A determinadas frecuencias en las que las impedancias se igualan, se provoca una amplitud en el movimiento vibratorio del cuerpo mucho mayor que a otras y se dice que está en resonancia.

Las frecuencias que inciden en el cuerpo según en la posición y dirección que ocupe, suelen presentar resonancias en los siguientes márgenes:

Caderas, cabeza y hombros entre 3 y 6 Hz.

Cabeza-hombros, cabeza y nuca entre 20 y 40 Hz.

Ojos entre 60 y 90 Hz.

Mandíbula entre 100 y 200 Hz.

Tiene gran importancia asimismo la orientación de entrada de la vibración en el organismo humano, pudiéndose distinguir tres ejes ortogonales de entrada a saber:

Eje X. Eje transversal según la dirección espalda-pecho, también denominado a_x

Eje Y. Eje lateral según la dirección derecha-izquierda, también denominado a_y

Eje Z. Eje longitudinal según la dirección pies-cabeza, también denominado a_z

En la figura 1 se representan estos ejes.

3. Exposición a las vibraciones

Las vibraciones pueden afectar al organismo humano de dos formas claramente diferenciadas, una de forma local que tiene lugar cuando una zona específica del cuerpo está en contacto directo a las vibraciones y otra de forma generalizada o global que tiene lugar cuando todo el organismo en cada una de sus partes responde al movimiento vibratorio que le llega.

Las causas por las que el organismo presenta una respuesta a las vibraciones pueden ser de dos tipos a saber:

Causas extrínsecas que dependen del movimiento propiamente dicho y cuyos parámetros fundamentales son: frecuencia, distribución en el tiempo, amplitud de la vibración, dirección, punto de

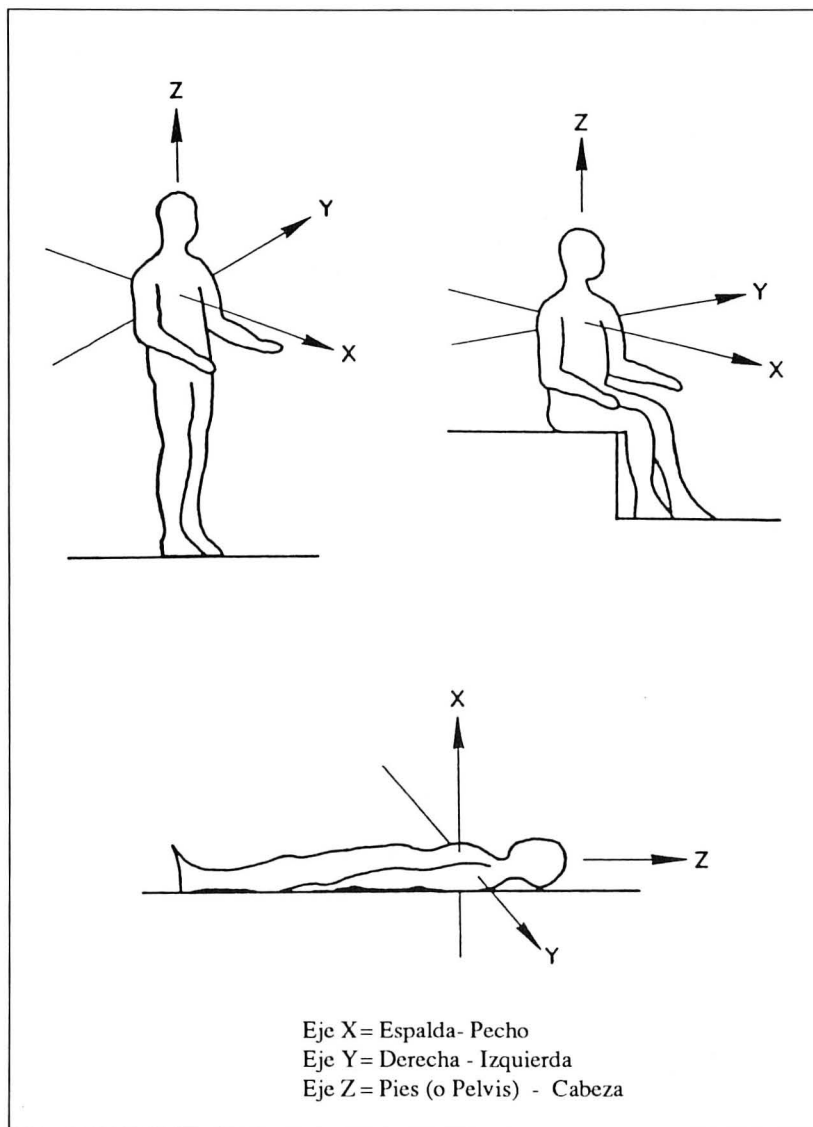


Figura 1. Dirección del sistema de coordenadas para la valoración de las vibraciones mecánicas aplicadas al hombre

aplicación, interacción entre energía absorbida y el cuerpo, efecto de las prendas de vestir, etc.

Causas intrínsecas que dependen fundamentalmente de factores corporales como son tamaño de éste, posturas, tensiones, etc.

Desde el punto de vista fisiológico se pueden considerar que existen tres niveles diferentes subjetivos de sensación, que van a tener gran importancia a la hora de su valoración y son:

Vibración perceptible

Vibración molesta

Vibración intolerable

y que posteriormente van a tener relación con la sensación de confort o bienestar, fatiga y daño para la salud respectivamente.

IV. CRITERIOS DE VALORACION

Ante la ausencia en nuestro país de legislación o normas al respecto, se ha considerado de entre los diferentes criterios internacionales existentes para valorar la exposición de los conductores de carretillas a las vibraciones, la Norma Internacional ISO 2631 "Guía para la estimación de la exposición de los individuos a vibraciones globales del cuerpo", en base a ser la norma más avanzada en esta materia, así como por considerar que el caso que nos ocupa encuadra perfectamente en su ámbito de aplicación.

Como aspectos más característicos de esta norma habría que señalar:

Se refiere a vibraciones globales o transmitidas a todo el cuerpo.

La evaluación de la exposición humana a las vibraciones se realiza en el intervalo de frecuencia comprendido entre 1 y 80 Hz.

La valoración, se realiza mediante la evaluación de los niveles de valor eficaz (RMS) de la aceleración de la vibración expresado en m/sg^2 , o en dB (ref $10^{-6} \text{ m}/\text{sg}^2$) en tercios de bandas de octava dentro del intervalo de 1 a 80 Hz.

La evaluación se realiza teniendo en cuenta cual es la dirección de transmisión de las vibraciones, ya sean según el eje a_x (espalda-pecho), eje a_y (derecha-izquierda) o el eje a_z (pies-cabeza).

La medición de las vibraciones debe ser efectuada lo más próxima posible al punto o superficie a través del cual se transmiten las vibraciones al cuerpo humano.

Estos aspectos encuadran perfectamente en la valoración de la exposición a vibraciones en puesto de trabajo de carretillas, dado que por la propia concepción y tipo de trabajo la transmisión de las vibraciones no son de tipo local, sino que son transmitidas en un principio a todo el organismo, las frecuencias de la vibración producidas en estos puestos de trabajo, están fundamentalmente comprendidas entre 1 y 80 Hz, la posición de trabajo nos hace pensar que se transmitirán fundamentalmente según la dirección pies-cabeza y el punto de contacto entre las vibraciones y el cuerpo, se encuentra en la región lumbar lo que hace posible que puedan ser medidas las vibraciones en este punto.

Asimismo de entre los tres criterios fisiológicos que contempla dicha norma:

Límite del confort reducido.

Límite de la capacidad de trabajo reducida por fatiga.

Límite de exposición.

hemos considerado como criterio básico y primario de referencia el de la disminución de la capacidad para el trabajo por fatiga, dado que es el que mejor pudiera representar la exposición de los conductores de carretillas a las vibraciones, sin que esto signifique que en circunstancias particulares se pueda emplear como criterio de valoración cualesquiera de los otros dos restantes.

V - EQUIPOS Y METODOS DE MEDIDA

Para la evaluación de los niveles de vibraciones se han utilizado los siguientes equipos de medida:

Vibrómetro para respuesta humana modelo 2512 de la firma comercial Bruel & Kjaer S.A. construido en consonancia con los requisitos establecidos por la Norma Internacional ISO 2631 que suministra para la evaluación de las vibraciones globales y dentro de la gama de 1 a 80 Hz, medidas del nivel de vibración continuo equivalente (L_{eq}), durante todo el tiempo de medida, que representa el nivel de aceleración en ponderación de frecuencia, así como el nivel de aceleración puntual y pico de la vibración expresados en dB referencia 10^{-6} m/s^2 para cada una de las tres direcciones ortogonales de la vibración.

Acelerómetro de asiento triaxial, modelo 4322 de la firma comercial Bruel & Kjaer S.A., diseñado especialmente para medidas de cuerpo completo y que permite igualmente captar las vibraciones en las tres direcciones ortogonales.

Filtro pasa-banda sintonizable tipo 1621, de la firma comercial Bruel & Kjaer S.A. En anchos de banda del 3 y 23 % (tercios de banda de octava) que cubre la gama de 0,2 Hz a 20 KHz con frecuencia de sintonía continuamente variable, que permite unido al registrador de nivel Modelo 2317 de la misma casa comercial que el resto de los aparatos empleados, indicar y registrar el espectro de los niveles de vibración para cada uno de los ejes en el rango de frecuencias a estudiar (1 a 80 Hz), al ancho de banda seleccionado.

Para poder llevar a efecto la medición de los niveles de vibración con una representatividad de la situación real de trabajo, se optó por colocar el acelerómetro triaxial o de vibraciones globales, entre el propio asiento del conductor y el punto de apoyo del cuerpo del conductor sobre éste. Ahora bien dado que la flexibilidad del asiento podría amortiguar la transmisión de las vibraciones y por tanto desvirtuar la medición, entre el propio asiento y la zona lumbar, se ha colocado una plancha metálica en todos los casos estudiados, en tanto que el resto del equipo por imposibilidades físicas, se ha tenido que colocar dentro de la propia carretilla, teniendo cuidado que en la zona de ubicación no produjera interferencias en el propio trabajo del conductor, así como posibles alteraciones en el cable de unión del acelerómetro y del equipo propiamente dicho de medidas de vibraciones.

En la figura nº 2 se indica gráficamente cual ha sido la forma de situar el acelerómetro y el equipo de medida.

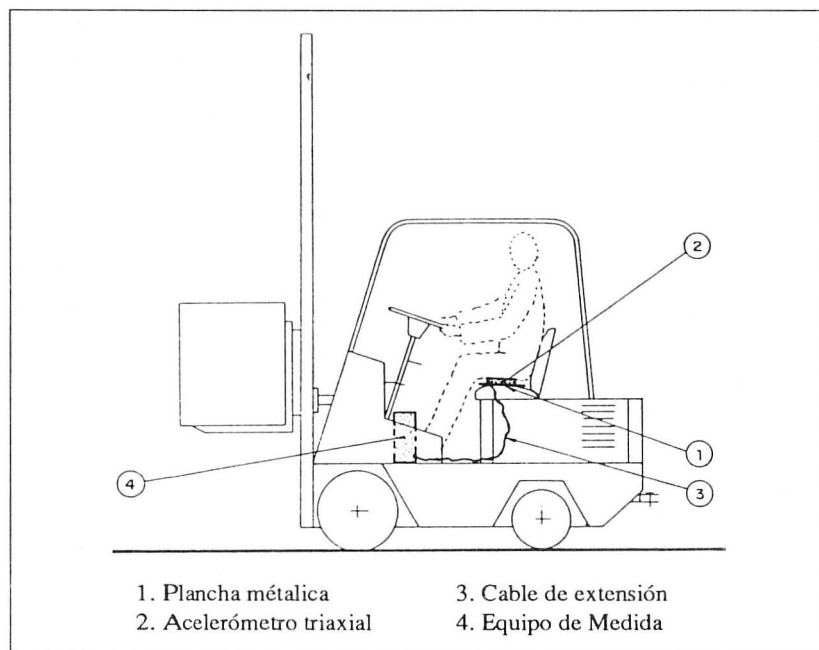


Figura 2. Situación del equipo de medida

VI - MUESTRA PILOTO ESTUDIADA

Para la realización de este estudio piloto, se han seleccionado 3 empresas que se prestaron voluntariamente a la realización de este estudio y sobre un número total de 42 carretillas distribuidas de la siguiente manera:

| EMPRESA | SECTOR | Nº DE CARRETILLAS ELEVADORAS |
|---------|--------------------------------------|---------------------------------|
| A | Automoción | 21 |
| B | Fabricación de productos Textiles | 11 |
| C | Reparación de vagones de ferrocarril | 10 |

Hay que destacar en este punto que debido al largo período de tiempo que suponía la realización de las mediciones, así como por las necesidades de trabajo de las propias empresas sólo ha sido posible realizar el estudio en las condiciones encontradas de trabajo, sin la posibilidad de buscar situaciones ideales de funcionamiento.

VII. METODOLOGIA EMPLEADA

Para la realización del estudio se han seguido las siguientes etapas:

Elaboración y cumplimiento de una encuesta.

Selección de técnicas y equipos de medición.

Reconocimiento médico.

1. Elaboración de la encuesta

Se ha elaborado y validado previamente una pequeña encuesta, que aparece descrita en el Anexo 1, en la que se recogen una serie de datos, tanto de tipo personal como técnico, así como las causas extrínsecas, consideradas como parámetros que pudieran influir en la exposición a vibraciones. Se ha cumplimentado únicamente, mediante la técnica de entrevista por los propios técnicos desarrollantes del proyecto, con el objeto de, además de tener un pequeño banco de datos, realizar posteriormente una serie de cruces de variables que permitieran llegar a obtener una serie de conclusiones válidas.

Aunque en esta encuesta se consideraban también una serie de ítems referidos a sintomatología del trabajador, sólo se han cumplimentado en aquellos puestos de trabajo donde se tenía el convencimiento de que no se iban a realizar reconocimientos médicos a los trabajadores, a fin de que estos les fueran realizados por el propio Médico del Trabajo y no existieran posibilidades de falsas o erróneas cumplimentaciones.

De un mero análisis de la encuesta podemos extraer los siguientes datos de interés:

La distinción importante y básica del tipo de accionamiento de la propia carretilla, bien eléctrica o de gas-oil como más frecuentes en las industrias.

La capacidad de carga de la carretilla que puede influir en el espectro en vacío del nivel de vibraciones.

El tipo y estado de las ruedas que puede influir en el amortiguamiento propio de las vibraciones.

La velocidad de circulación que se podría considerar inicialmente, directamente proporcional al nivel de vibraciones.

La superficie de tránsito que en función de su continuidad o discontinuidad puede afectar no sólo al nivel de vibraciones sino a las frecuencias dominantes.

La existencia y tipo de amortiguación del asiento que al igual que antes puede influir en los niveles y frecuencias dominantes de la vibración.

La existencia de medios de protección personal para las vibraciones a fin de minimizar su transmisión.

Unido a estos datos se han realizado una ficha de campo en el que se reflejan los niveles de vibración, seleccionando como criterio de evaluación el de la disminución de la capacidad para el trabajo por fatiga y estableciendo para cada dirección de las vibraciones su nivel equivalente, así como sus valores de referencia para los diferentes tiempos de exposición.

2. Selección de equipos y técnicas de muestreo

En el propio apartado V de este documento, se han descrito los equipos que se consideraban necesarios para la correcta evaluación de los niveles de vibraciones, así como su ubicación en la carretilla con el ánimo de evitar falsas transmisiones o ruidos eléctricos debidos a una mala colocación de los propios cables.

Después de la selección de los equipos, se procedió a iniciar el estudio de campo realizando las mediciones de forma que se pudiera

valorar el espectro de frecuencias continuo de los niveles de aceleración de las vibraciones (en el rango lógico de 1 a 80 Hz), pero debido a la dificultad que esto suponía, como consecuencia de las posibles variaciones y situaciones que se presentaban a lo largo del estudio, así como al excesivo tiempo que suponía el tener que medir sucesivamente a lo largo de los tres ejes, lo que harían interminable el trabajo y por lo tanto inoperativo, se optó tal y como permite el criterio de evaluación seleccionado, simplificar el trabajo de la siguiente manera:

Realizar las mediciones para cada uno de los tres ejes únicamente ponderados en las frecuencias de 1 a 80 Hz.

Seleccionar un período de medición, correspondiente aproximadamente a un 20 % de la jornada de trabajo, período que se puede considerar como representativo.

La primera decisión, es debida a que la distribución del espectro de frecuencias es muy variable dependiendo de la carga, velocidad, tipo de superficie de tránsito, etc... y con los medios técnicos disponibles se hacía sumamente largo en el tiempo y de difícil por no decir imposible interpretación de los resultados.

Las figuras 3 y 4 representan dos espectros reales de vibraciones obtenidas para distintas carretillas y diferentes situaciones que permiten justificar plenamente la decisión tomada.

En el mismo sentido hay que considerar que la propia Norma ISO 2631 tomada como criterio de evaluación, considera aceptable, que

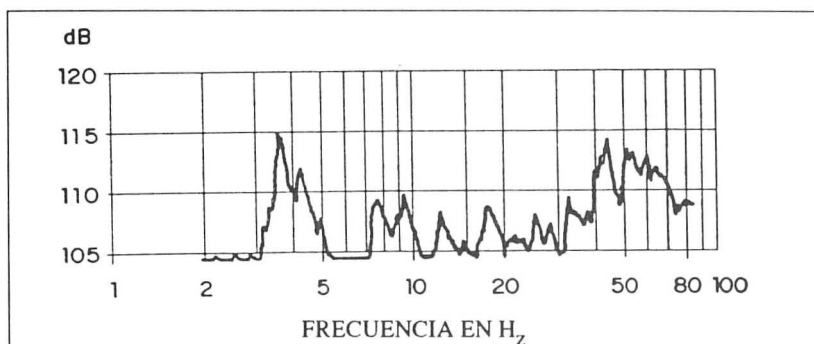


Figura 3. Espectro de frecuencias de vibración de una carretilla Diesel a media carga pasando por un terreno continuo a velocidad normal

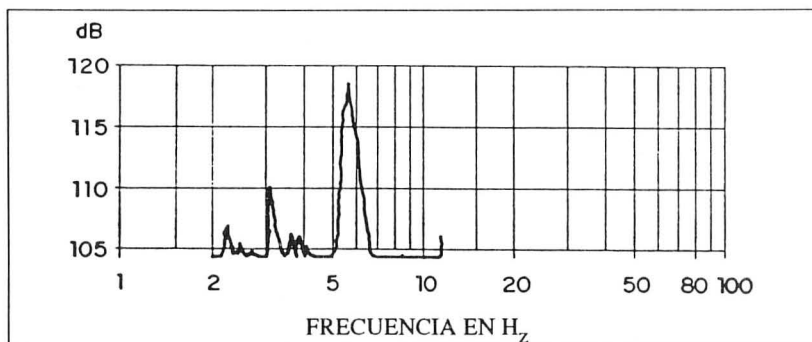


Figura 3. Espectro parcial de frecuencias de vibración de una carretilla eléctrica presentando un pico a 5 H_z al entrar en un terreno irregular a gran velocidad

en aquellas situaciones en las que es difícil realizar un espectro de frecuencias, efectuar dicha valoración mediante la medición de los niveles de vibraciones ponderados en frecuencia, con la única consideración de que se conecte una red de ponderación adecuada entre el captador de vibraciones y el propio aparato de lectura, cosa que el equipo utilizado en nuestro caso lleva incorporado. De esta forma se caracterizan los efectos de la vibración sobre el hombre en cada uno de los tres ejes por un solo número.

Si aplicamos este método reducido, las curvas de referencia empleadas son las de las frecuencias fijas de 4 a 8 Hz para las medidas del eje a_z y de 1 a 2 Hz para los ejes a_x y a_y que se representan en las figuras 5 y 6 respectivamente. En la práctica se utilizan para los distintos criterios seleccionados las curvas, niveles de aceleración de vibraciones-tiempo de exposición, que se reflejan en la figura número 7 a, junto a la que se representa para mayor comodidad un nomograma para transformar los niveles de aceleración de m/sg^2 a dB (ref $10^{-6} m/sg^2$) y viceversa. (Figura número 7 b).

Aunque el método empleado es sólo aproximado, hay que hacer la consideración de que es un método muy conservador y por lo tanto los resultados que presente sobrevaloran la exposición, pero sin embargo tiene la gran ventaja de ser un método rápido y ágil para la realización de un primer estudio aproximativo que entra dentro de los objetivos de este estudio.

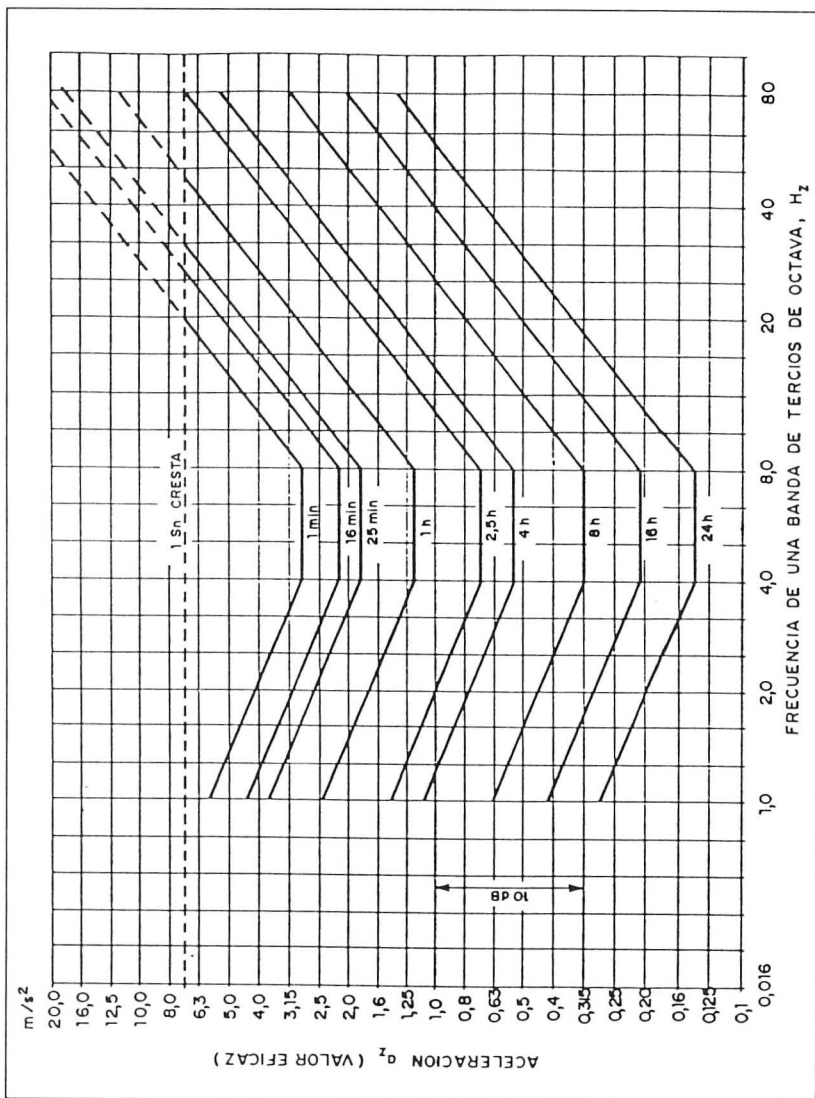


Figura 5. Límites de exposición a una aceleración longitudinal (a_z) en función de la frecuencia y del tiempo de exposición.

"Límite de capacidad reducida por fatiga.

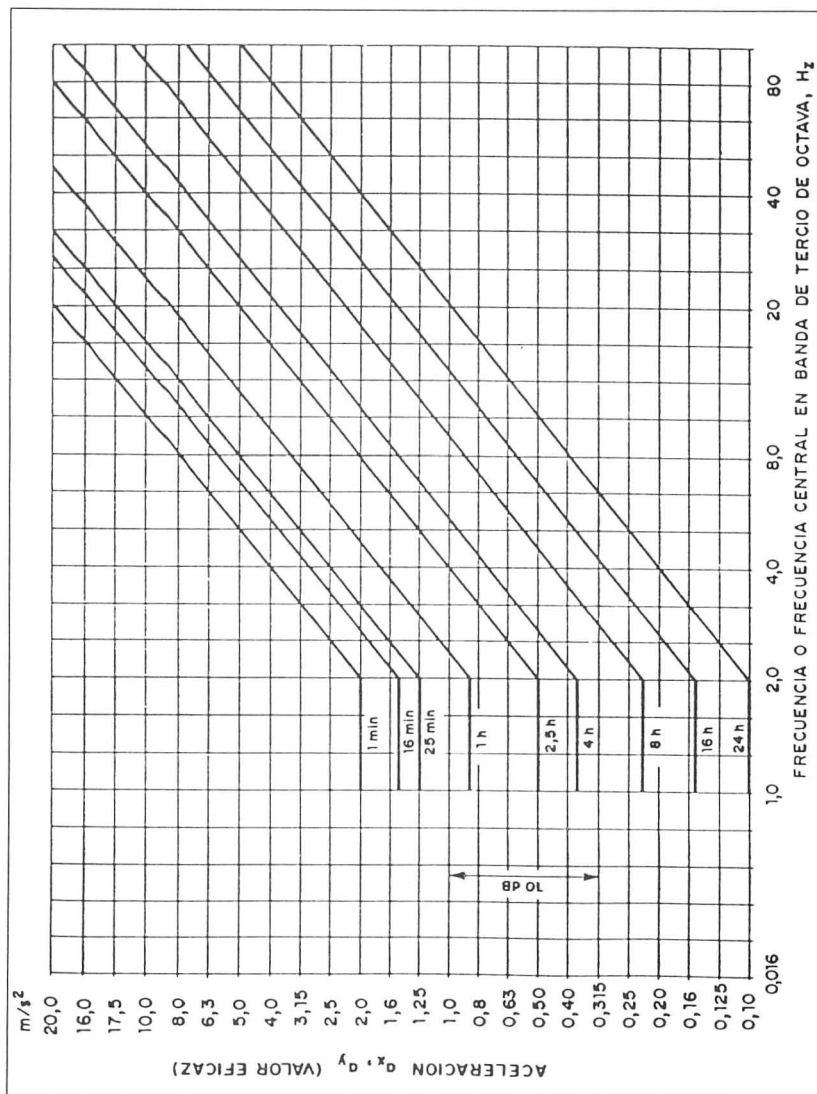


Figura 6. Límites de exposición a una aceleración transversal (a_x, a_y) en función de la frecuencia y del tiempo de exposición.
"Límite de capacidad reducida por fatiga."

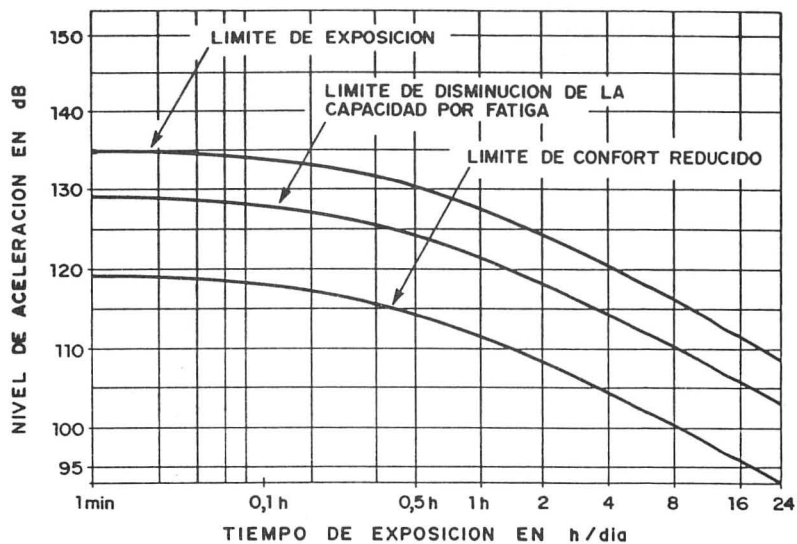


Figura 7 a. Relación entre niveles de aceleración - tiempo de exposición ponderado en frecuencia para los distintos criterios fisiológicos de valoración

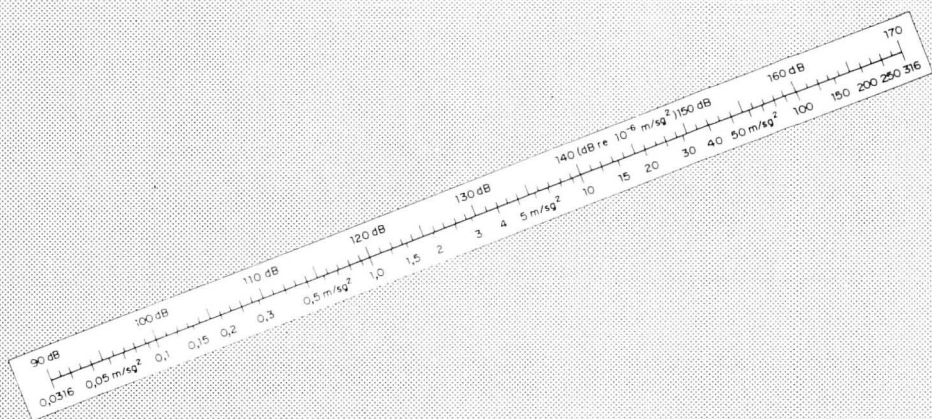


Figura 7 b. Nomograma para conversión de aceleración en m/seg² a dB (Ref. 10^{-6} m/seg²)

VIII.- EXPLOTACION DE RESULTADOS

A la hora de realizar la explotación de los datos, observamos que se han estudiado tanto carretillas de conducción convencional, como carretillas retráctiles (conducción lateral) y como consecuencia de que desde el punto de vista de la diferente sintomatología que presentan cada una de ellas y que las del segundo tipo mencionado no son tan habituales en nuestras industrias como las de conducción convencional, se ha optado por realizar el estudio separándolas en dos grupos fundamentales.

Carretillas de conducción convencional.

Carretillas de tipo retráctil.

1- Carretillas de conducción convencional

De entre todas las carretillas estudiadas, 42 en total, 37 corresponden a este tipo, pudiéndose observar en la tabla nº 1, cuales han sido tanto en valores absolutos, como porcentuales, los datos obtenidos como resultado de la Encuesta correspondiente a estas 37 carretillas.

Igualmente en la tabla nº 2 se indican los resultados de los niveles equivalentes medios de aceleración de las vibraciones para cada uno de los ejes medidos, expresados en dB (ref 10^{-6} m/sg²) considerando como base toda una jornada de trabajo (8h/dfa). Ahora bien, como se ha comentado anteriormente, que uno de los parámetros básicos para el estudio de los niveles de vibraciones era el tipo de accionamiento,

**TABLA Nº 1. DATOS ABSOLUTOS
Y MARGINALES DE LA ENCUESTA**

| | Nº Carretillas | Porcentaje en % |
|---|----------------|-----------------|
| Carretillas eléctricas | 22 | 59,46 |
| Carretillas de Gas-oil | 15 | 40,54 |
| Carretillas con placa de indicación de carga máxima | 33 | 89,19 |
| Carretillas con una carga máxima < 2 Tm | 11 | 29,72 |
| Carretillas con una carga máxima > 2 Tm y < 4 Tm | 26 | 70,28 |
| Carretillas con limitadores de carga | 37 | 100 |
| Carretillas con ruedas macizas | 37 | 100 |
| Las ruedas se encuentran en buen estado de uso y conservación | 30 | 81,09 |
| Condiciones de mantenimiento adecuadas | 25 | 67,56 |
| Velocidad de conducción normal | 30 | 81,09 |
| La carretilla elevadora se usa en exteriores | 23 | 62,16 |
| Disponer de asiento acolchado | 37 | 100 |
| El asiento dispone de amortiguación de aumento | 26 | 70,27 |
| Amortiguación por muelles | 26 | 70,27 |
| Amortiguación del asiento hidráulico y neumático | 0 | 0 |
| Los conductores utilizan protección personal antivibratoria | 0 | 0 |
| Superficie de tránsito inadecuada | 23 | 62,17 |
| Superficie de tránsito rugosa | 23 | 62,17 |
| Circula por rampas con inclinación excesiva | 0 | 0 |
| El estado del suelo es deficiente | 23 | 62,17 |

en la misma tabla se indican los valores tanto para todo tipo de carretillas, como para las movidas por electricidad o gas-oil.

El análisis de esta tabla, nos permite antes de llegar a establecer unas conclusiones definitivas del estudio, a considerar como situación esperada y lógica para este tipo de trabajo, que los niveles predominantes se presentan en la dirección del eje z lo que nos permite en un principio y en consonancia con la propia Norma ISO 2631 tomada como criterio de valoración, seguir analizando los resultados obtenidos, para una mayor agilidad del trabajo, únicamente en este eje.

Siguiendo en esta línea y admitiendo que la distribución de los resultados de las aceleraciones medidas en el eje z sigue una distribución tipo Normal N y que para un grado de confianza elegido de $\alpha = 95 \%$ los límites superiores e inferiores del intervalo de confianza calculados según las fórmulas:

$$LI = \bar{x} - 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$LS = \bar{x} + 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

LI = Límite inferior del intervalo de confianza.

LS = Límite superior del intervalo de confianza.

\bar{x} = Valor medio de la aceleración en dB.

σ = Desviación típica.

n = Tamaño de la muestra (nº de carretillas estudiadas)

nos dan los límites dentro de los cuales se encuentra el valor medio de las aceleraciones medidas con un nivel de confianza del 95 %, podemos calcular estos valores para cada una de las situaciones reflejadas en la tabla nº 2, con lo que obtenemos los valores representados en la tabla nº 3.

En las tablas 4, 5 y 6 se muestran de una forma semejante a las expresadas en las tablas 2 y 3 los niveles medios de aceleración medidos, así como los límites del intervalo de confianza para las diferentes situaciones presentes.

**TABLA Nº 2. VALORES DE LOS NIVELES
DE ACELERACION EQUIVALENTES**

| Nº DE CARRETILLAS ESTUDIADAS | TIPO DE ACCIONAMIENTO | VALORES MEDIOS DE LA ACELERACION EXPRESADOS COMO Leq EN dB PARA LOS EJES | | |
|---------------------------------|----------------------------|--|-------|-------------------------------|
| | | Ax | Ay | Az |
| 37 | Eléctricas y de Gas-oil | 110,8 | 110,8 | 113,5 $\sigma_{n-1} = 6,6$ |
| 22 | Eléctricas | 111,6 | 111,6 | 114,4 $\sigma_{n-1} = 7,4$ |
| 15 | Gas-oil | 109,7 | 110,4 | 112,2 $\sigma_{n-1} = 5$ |

Aplicando la prueba F de Snedecor las muestras de carretillas eléctricas y de gas-oil resultan HOMOGENEAS.

Aplicando la prueba de homogeneización de muestras, no existe diferencia significativa entre los valores medios en el eje A_z para las carretillas eléctricas y de gas oil.

**TABLA Nº 3. LIMITES ENTRE LOS CUALES
SE HALLA COMPRENDIDO EL VERDADERO
VALOR DE LA ACELERACION ($\alpha = 95\%$)**

| TIPO DE CARRETILLAS | LIMITE INFERIOR EN dB | LIMITE SUPERIOR EN dB |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Eléctricas y de Gas-oil | 111,3 | 115,6 |
| Eléctricas | 111,3 | 117,5 |
| Gas-oil | 109,6 | 114,7 |

A fin de poder comparar los valores medios globales encontrados tanto para carretillas eléctricas y de gas-oil (Tabla nº 2), como para cada una de ellas, en función de que el estado de las ruedas sea bueno o malo (tabla nº 4), existencia o no de amortiguación en el asiento (tabla nº 5) y que el estado de la superficie de tránsito sea o no adecuado (tabla nº 6) se ha utilizado el método estadístico de homogeneización de las medias de dos muestras.

Para la utilización de este método hay que considerar que el número de muestras disponible en cada situación es menor que 30, así como que no es conocida la varianza poblacional, sino que únicamente lo es la de la muestra.

Para poder realizarlo se debe estudiar en primer lugar la homogeneidad de las dos dispersiones con una $p < 0,05$ mediante la utilización de la F de Snedecor para dicha muestra, que se calcula mediante la fórmula:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$$

donde

σ_1 = desviación típica de la prueba 1

σ_2 = desviación típica de la prueba 2

y se compara con una F obtenida de las tablas existentes al respecto que establecen las máximas dispersiones entre dos varianzas que el azar permite para n_1 y n_2 grados de libertad, donde:

n_1 = número de pruebas de la muestra 1

n_2 = número de pruebas de la muestra 2

Si el cociente F calculado de las muestras, superan el valor de la tabla, la desproporción resulta excesiva para ser atribuida al azar y las varianzas difieren de una forma estadísticamente significativas con la seguridad seleccionada.

En el caso de homogeneidad de las muestras (las varianzas o desviaciones típicas en este caso particular por simplificación de

**TABLA Nº 4. VALORES DE ACELERACION (A_z)
EN FUNCION DEL ESTADO DE LAS RUEDAS**

| TIPO DE CARRETILLAS | RUEDAS | Nº | NIVEL DE ACELERACION MEDIO EN A_z EN dB | LIMITE SUPERIOR EN dB | LIMITE INFERIOR EN dB |
|----------------------------|-------------|----|--|--------------------------|--------------------------|
| Eléctricas y de Gas-oil | Buen estado | 30 | 113,3 $\sigma = 7,26$ | 113,8 | 112,8 |
| | Mal estado | 7 | 114,5 $\sigma = 2,15$ | 115,1 | 113,9 |
| Eléctricas | Buen estado | 15 | 114,4 $\sigma = 9,05$ | 115,6 | 113,2 |
| | Mal estado | 7 | 114,6 $\sigma = 2,15$ | 115,2 | 114 |
| Gas-oil | Buen estado | 15 | 112,2 $\sigma = 4,98$ | 112,8 | 111,6 |
| | Mal estado | | | | |

Aplicando la prueba F de Snedecor las muestras de carretillas eléctricas y de gas-oil resultan HOMOGÉNEAS.

Aplicando la prueba de homogeneización de muestras, no existe diferencia significativa entre los valores medios en el eje A_z para las carretillas eléctricas y de gas-oil.

TABLA Nº 5. VALORES DE ACELERACION (A_z) EN FUNCION DE LA EXISTENCIA DE AMORTIGUACION EN EL ASIENTO

| TIPO DE CARRETILLAS | ASIENTO | Nº | NIVEL DE ACELERACION MEDIO EN dB | LIMITE SUPERIOR EN dB | LIMITE INFERIOR EN dB |
|-------------------------|-------------------|----|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Eléctricas y de Gas-oil | Con amortiguación | 26 | 113,2 $\sigma = 7,4$ | 113,8 | 112,6 |
| | Sin amortiguación | 11 | 114,2 $\sigma = 4,3$ | 115 | 113,4 |
| Eléctricas | Con amortiguación | 11 | 114,6 $\sigma = 9,94$ | 116,4 | 112,8 |
| | Sin amortiguación | 11 | 114,2 $\sigma = 4,3$ | 115 | 113,4 |
| Gas-oil | Con amortiguación | 15 | 112,2 $\sigma = 4,98$ | 112,8 | 111,6 |
| | Sin amortiguación | | | | |

Aplicando la prueba F de Snedecor las muestras de carretillas eléctricas y de gas-oil resultan HOMOGENEAS.

Aplicando la prueba de homogeneización de muestras, no existe diferencia significativa entre los valores medios en el eje A_z para las carretillas eléctricas y de gas-oil.

**TABLA Nº 6. VALORES DE ACELERACION (A_z) EN FUNCION
DEL ESTADO DE LA SUPERFICIE DE TRANSITO**

| TIPO DE CARRETILLAS | ESTADO SUPERFICIE DE TRANSITO | Nº | NIVEL DE ACELERACION MEDIO EN dB | LIMITE SUPERIOR EN dB | LIMITE INFERIOR EN dB |
|----------------------------|-------------------------------------|----|--|--------------------------|--------------------------|
| Eléctricas y de Gas-oil | Adecuada | 14 | 109,7 $\sigma = 4,96$ | 110,4 | 109 |
| | No adecuada | 23 | 115,8 $\sigma = 6,46$ | 116,3 | 115,3 |
| Eléctricas | Adecuada | 6 | 109,8 $\sigma = 4,91$ | 111,4 | 108,2 |
| | No adecuada | 16 | 116,2 $\sigma = 7,65$ | 117,1 | 115,3 |
| Gas-oil | Adecuada | 8 | 109,6 $\sigma = 4,99$ | 110,8 | 108,4 |
| | No adecuada | 7 | 115,1 $\sigma = 2,41$ | 115,8 | 114,4 |

Aplicando la prueba F de Snedecor las muestras de carretillas eléctricas y de gas-oil resultan HOMOGÉNEAS.

Aplicando la prueba de homogeneización de muestras, si existe diferencia significativa entre los valores medios en el eje A_z para las carretillas eléctricas y de gas-oil.

cálculos) se establece para una $p < 0,05$ que las muestras difieren en una manera estadísticamente significativa siempre que:

$$m_1 - m_2 > t \cdot S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

$$\text{siendo } S = \sqrt{\frac{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 1}}$$

donde t es el valor de la t de Student para $n_1, n_2 - 1$ grados de libertad.

Para mayor simplificación de este estudio en el pie de las tablas antes referenciadas se refleja el resultado de estos cálculos estadísticos, así como en el Anexo II aparecen las tablas utilizadas para su cálculo.

Como continuación y teniendo en cuenta los parámetros que en el apartado 7.1. habíamos considerado que podían influir en la variación de los niveles de aceleración, así como los datos que puedan ser significativos, obtenidos en el estudio de la encuesta de los reflejados en la tabla nº 1 vemos que los siguientes cruces de variables solo podrían estar en:

Estado de las ruedas.

Existencia o no de amortiguación en el asiento.

Superficie de tránsito.

Con la particularidad de que en base a los pocos datos que se obtienen en estos cruces, no se puede realizar cruces sucesivos que pudieran ser significativos.

No obstante en las tablas números 4, 5 y 6 se tienen de una forma muy semejante a las expresadas en los números 2 y 3 los niveles de aceleración y sus límites de intervalo de confianza para estas situaciones.

2. Carretillas retráctiles

Se conocen con este nombre a aquellas carretillas elevadoras, en las que el plano de conducción es ortogonal con el de la dirección del movimiento de la propia carretilla.

Para el estudio de la exposición a los niveles de vibración, se ha seguido el mismo procedimiento operativo que con las de conducción convencional, habiéndose obtenido en la encuesta unos resultados similares, pero dado el escaso número de carretillas que se han podido estudiar, sólo vamos a exponer los niveles medios de aceleración en las distintas direcciones tal y como queda reflejado en la Tabla nº 7 de la que se puede extraer que el eje dominante es el eje a_y .

**TABLA Nº 7. VALORES DE LOS NIVELES
DE ACCELERACION EQUIVALENTE**

| Nº DE CARRETILLAS ESTUDIADAS | VALORES MEDIOS DE LA ACCELERACION EXPRESADOS COMO Leq EN dB PARA LOS EJES | | |
|---------------------------------|--|-------|-------|
| | X | Y | Z |
| 5 | 108 | 110,2 | 107,1 |

El interés del estudio de estas carretillas estriba en que aunque no se manifiesta una sintomatología diferente al resto, si pueden manifestarse problemas de tipo osteo-muscular al tener que forzar el propio conductor movimientos y posiciones inadecuadas.

IX - CONSIDERACIONES FINALES

De la serie de datos obtenidos a lo largo de todo el estudio y considerando que la muestra total estudiada de 42 puestos de trabajo, no es lo suficientemente grande para permitir cruces sucesivos de variables significativas, unido a la gran dificultad que con los medios técnicos descritos entraña la valoración de los niveles de aceleración en tercios de bandas de octava, se pueden obtener a título de resumen las siguientes conclusiones:

Las vibraciones predominantes en las carretillas de conducción convencional, tal y como queda reflejado en la tabla nº 2, se presentan en la dirección longitudinal (dirección pies-cabeza), lo que permite realizar todo el estudio de vibraciones únicamente sobre el eje z simplificándose entonces en gran medida el proceso de medición.

En las carretillas de tipo retráctil, por su propio tipo de funcionamiento el eje predominante es el lateral (dirección derecha-izquierda) tal y como queda reflejado en la tabla nº 7.

Los niveles medios de aceleración de las vibraciones tanto para el conjunto de todas las carretillas, como para las eléctricas o de gas-oil aplicando los intervalos de confianza calculados con una significación del 95 % tal y como se refleja en la tabla nº 3, son inferiores a los establecidos en la Norma ISO 2631 para el criterio fisiológico de disminución de capacidad por fatiga (ver fig. nº 7a) siempre que la exposición real diaria sea inferior a 4 horas. Para

exposiciones superiores a este tiempo no se puede afirmar con dicho grado de significación, que sean superiores a los mismos límites anteriores, pudiéndose concluir únicamente que están muy próximos a dicho límite.

Consecuencia de la consideración anterior es que lógicamente en las situaciones habituales de trabajo, los niveles de aceleración para todo tipo de carretillas no superan los criterios fisiológicos de daño a la salud, así como si superan los criterios de confort establecidos por la misma Norma ISO 2631.

No se encuentran diferencias significativas entre los niveles medios de aceleración de las carretillas eléctricas y las de gas-oil. Tanto para el conjunto total de las carretillas como para las de tipo eléctrico o de gas-oil el estado encontrado de las ruedas tal y como se refleja en la tabla nº 2 no influye de una manera apreciable en la variación de los niveles medios de aceleración, como lo demuestra el hecho de que no exista diferencia significativa entre sus valores medios.

Al igual que en el párrafo anterior se puede deducir de los resultados de la tabla nº 5, que la existencia de amortiguación no hace variar significativamente el valor medio de las aceleraciones, aunque aquí hay que hacer la consideración de que el tipo de amortiguación observado en las diferentes carretillas estudiadas no se considera como el más idóneo para la amortiguación de las vibraciones transmitidas por las propias carretillas.

El desplazamiento de las carretillas de todo tipo, por superficies de tránsito adecuadas tal y como se puede deducir de los valores reflejados en la tabla nº 6, reducirá así mismo el nivel de aceleración de las vibraciones transmitidas al cuerpo del conductor, como lo demuestra el hecho de que existan diferencias significativas entre los valores medios de las aceleraciones en las carretillas desplazándose por superficies de tránsito adecuadas o no.

Del simple análisis de los datos obtenidos, así como de las diferentes experiencias recogidas a través de la cumplimentación de la encuesta y del desarrollo del propio estudio se pueden también obtener una serie de consideraciones marginales:

La mayoría de los trabajadores no manifiesta ningún síntoma de

molestias o malestar, como consecuencia de la conducción de las carretillas.

No existe una conciencia sobre el riesgo de exposición a las vibraciones, como lo manifiesta el simple hecho de que ni se han dotado, ni los propios conductores han solicitado cinturones anti-vibrátiles.

El hecho apuntado anteriormente de que los niveles de aceleración de vibraciones estuvieran próximos a los límites establecidos por el criterio de disminución de la capacidad o del trabajo por fatiga podrá suponer una mayor probabilidad de producción de accidentes que afectarán tanto a los propios conductores, como al resto de los trabajadores o personal transeúnte, así como para las propias máquinas o instalaciones, como lo demuestra el hecho de que en un 8 % de las carretillas estudiadas se haya producido alguna vez algún accidente.

Con respecto a los resultados de los Reconocimientos Médicos no se emiten en este trabajo ninguna conclusión final y será objeto de una publicación específica.

X - MEDIDAS PREVENTIVAS

Con carácter general y basándose tanto en los datos obtenidos a lo largo del propio estudio realizado por este Centro Nacional, como los recogidos a través de otras experiencias y de la bibliografía consultada, se deberían realizar las siguientes medidas a fin de reducir los niveles de vibraciones:

Realizar periódicamente un mantenimiento preventivo adecuado de la propia carretilla y de sus elementos asociados a fin de evitar una transmisión innecesaria de las vibraciones al cuerpo del conductor.

Colocar en la medida de lo posible asientos con una amortiguación apropiada de las vibraciones.

Procurar que las superficies por las que transitan las carretillas sean lo más uniformes posible, evitando desniveles y discontinuidades en el terreno, así como en el caso en que esto no fuera posible realizarlo a velocidades reducidas.

Establecer en el caso de trabajos continuos, a intervalos regulares periodos de descanso o de no exposición, que podrían ser de 10 minutos por cada hora de trabajo.

En los casos en que no fuera posible tomar las medidas preventivas señaladas anteriormente, poner a disposición de los conductores cinturones antivibrátiles.

Establecer tanto acciones formativas como informativas en materia de prevención de riesgos profesionales a los trabajadores expuestos.

BIBLIOGRAFIA

J.VILLAGEand J.B. MORRISSON

Whole-body vibration in underground load-haul-dump. vehicles *Ergonomics* .
1989 vol 32 n° 10 1167-1183.

P. DONATI y J. BISTCH

Mediciones, interpretación y prevención técnica de las vibraciones transmitidas al hombre

INRSS (Francia)

H.DUPOIS y F. HARTUNG

Valoración de las características de la vibración en puestos de trabajo de conductor de máquinas excavadoras según ISO/DIS 7096 "Tiefland-Berufsnossenschaft"

vol 93 n° 5.1891. pag.320.

NORMA INTERNACIONAL ISO 2631/1

Guía para la estimación de la exposición de los individuos a vibraciones globales del cuerpo 1985.

PROYECTO NORMA INTERNACIONAL ISO/DIS 8041

Respuesta de individuos a las vibraciones -aparatos de medida.

ANEXO I

VIBRACIONES GLOBALES EN CARRETILLAS ELEVADORAS

FICHA AMBIENTAL

Operario Edad

D.N.I.

Empresa

Carretilla Marca Modelo

Número Tiempo de Exposición en h/ día

Antigüedad en el puesto de trabajo en años

MEDIDA DE VIBRACIONES GLOBALES

CRITERIO

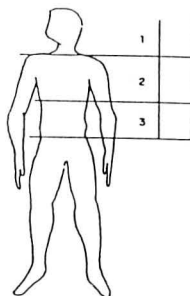
| | | |
|---|-----------------------|--|
| 1 | DAÑOS PARA LA SALUD | |
| 2 | DISMINUCION CAPACIDAD | |
| 3 | CONFORT | |

| | EJES | | | TLV(h/día) DIS. CAPAC. | TLV(h/día) DAÑO SALUD |
|----------|--|--|--|--|--|
| | X | Y | Z | | |
| Leq (dB) | <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> | <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> | <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> | <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> | <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> |
| t (h) | <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> | <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> | <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> | <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> | <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 20px; display: inline-block;"></div> |

FICHA DE CARRETILLAS ELEVADORAS ELECTRICAS (Conductor sentado y retráctiles)

| | SI | NO |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1. La carretilla es eléctrica. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. La carretilla es de gas- oil. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. La carretilla tiene placa de indicación de cargas máximas (diagrama). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Carga máxima en T.M. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Existen limitadores adecuados de carga máxima. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Las ruedas son macizas. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Las ruedas son de aire. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Las ruedas tienen cámara de aire intermedia. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Las ruedas se encuentran en buen estado de conservación y uso. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Las condiciones de mantenimiento se consideran adecuadas. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11. La velocidad de conducción es rápida. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12. La velocidad de conducción es normal. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13. La velocidad de conducción es lenta. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14. La carretilla elevadora se utiliza en exteriores. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15. El asiento es acolchado. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 16. El asiento es rígido. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17. El asiento del puesto de conducción lleva amortiguación. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18. La amortiguación del asiento es por muelles. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19. La amortiguación del asiento es hidráulica o neumática. .. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20. Los conductores utilizan protección personal del tipo de cinturones antivibrátiles. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

- | | SI | NO |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 21. Los conductores utilizan protección personal contra vibraciones de otro tipo. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 22. Las superficies de tránsito son adecuadas. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 23. La superficie de tránsito es lisa. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 24. La superficie de tránsito es rugosa. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 25. La superficie de tránsito es variable. (lisa y rugosa). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 26. En caso negativo INDICAR LAS CAUSAS: | | |
| 27. Rampas con inclinación excesiva. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 28. Deficiente estado del suelo. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 29. Tiene dolores de espalda. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 30. Si contesta a la pregunta anterior afirmativamente, señale en el dibujo la zona dolorosa. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |



- | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 31. Tiene dolores de estómago. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 32. Padece con frecuencia náuseas o vómitos. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 33. Tiene molestias en el vientre (abdomen). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 34. Orina de color oscuro. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 35. Le duelen las rodillas. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 36. Tiene varices. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 37. Ha sufrido algún accidente laboral en la carretilla. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

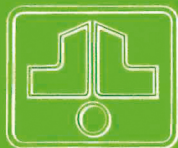
ANEXO II

TABLA Nº 1. DISTRIBUCION F DE SNÉDECOR

| $\frac{gl_1}{gl_2}$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | 12 | 20 | 50 | ∞ |
|---------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|----------|
| | 0,05 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,05 | 0,01 |
| 1 | 1.610 | 4.052 | 199 | 4.999 | 216 | 5.403 | 225 | 5.625 | 230 | 5.764 |
| 2 | 18.5 | 98.5 | 190 | 99.0 | 191 | 99.2 | 192 | 99.2 | 19.3 | 99.3 |
| 3 | 10.1 | 34.1 | 9.5 | 30.8 | 9.3 | 29.5 | 9.1 | 28.8 | 9.0 | 28.2 |
| 4 | 7.7 | 21.2 | 6.9 | 18.0 | 6.6 | 16.7 | 6.4 | 16.0 | 6.3 | 15.5 |
| 5 | 6.6 | 16.3 | 5.8 | 13.3 | 5.4 | 12.1 | 5.2 | 11.4 | 5.0 | 11.0 |
| 6 | 6.0 | 13.7 | 5.1 | 10.9 | 4.8 | 9.8 | 4.5 | 9.1 | 4.4 | 8.7 |
| 7 | 5.6 | 12.2 | 4.7 | 9.5 | 4.3 | 8.4 | 4.1 | 7.8 | 4.0 | 7.4 |
| 8 | 5.3 | 11.3 | 4.5 | 8.6 | 4.1 | 7.6 | 3.8 | 7.0 | 3.7 | 6.6 |
| 9 | 5.1 | 10.6 | 4.3 | 8.0 | 3.9 | 7.0 | 3.6 | 6.4 | 3.5 | 6.1 |
| 10 | 5.0 | 10.0 | 4.1 | 7.6 | 3.7 | 6.5 | 3.5 | 6.0 | 3.3 | 5.6 |
| 12 | 4.7 | 9.3 | 3.9 | 6.9 | 3.5 | 5.9 | 3.3 | 5.4 | 3.1 | 5.1 |
| 14 | 4.6 | 8.9 | 3.7 | 6.5 | 3.3 | 5.6 | 3.1 | 5.0 | 3.0 | 4.7 |
| 16 | 4.5 | 8.5 | 3.6 | 6.2 | 3.2 | 5.3 | 3.0 | 4.8 | 2.8 | 4.4 |
| 18 | 4.4 | 8.3 | 3.5 | 6.0 | 3.2 | 5.1 | 2.9 | 4.6 | 2.8 | 4.2 |
| 20 | 4.3 | 8.1 | 3.5 | 5.8 | 3.1 | 4.9 | 2.9 | 4.4 | 2.7 | 4.1 |
| 24 | 4.3 | 7.8 | 3.4 | 5.6 | 3.0 | 4.7 | 2.8 | 4.2 | 2.6 | 3.9 |
| 30 | 4.2 | 7.6 | 3.3 | 5.4 | 2.9 | 4.5 | 2.7 | 4.0 | 2.5 | 3.7 |
| 50 | 4.0 | 7.2 | 3.2 | 5.1 | 2.8 | 4.2 | 2.6 | 3.7 | 2.4 | 3.4 |
| 100 | 3.9 | 6.9 | 3.1 | 4.8 | 2.7 | 4.0 | 2.5 | 3.5 | 2.3 | 3.2 |
| ∞ | 3.8 | 6.6 | 3.0 | 4.6 | 2.6 | 3.8 | 2.4 | 3.3 | 2.2 | 3.0 |

TABLA Nº 2. DISTRIBUCION t DE STUDENT

| Grados de libertad | p = 0,05 | p = 00,01 | p = 0,001 |
|--------------------|----------|-----------|-----------|
| 1 | 12,71 | 63,66 | 636,62 |
| 2 | 4,30 | 9,92 | 31,60 |
| 3 | 3,18 | 5,84 | 12,92 |
| 4 | 2,78 | 4,60 | 8,61 |
| 5 | 2,57 | 4,03 | 6,87 |
| 6 | 2,45 | 3,71 | 5,96 |
| 7 | 2,36 | 3,50 | 5,41 |
| 8 | 2,31 | 3,35 | 5,04 |
| 9 | 2,26 | 3,25 | 4,78 |
| 10 | 2,23 | 3,17 | 4,59 |
| 11 | 2,20 | 3,11 | 4,44 |
| 12 | 2,18 | 3,05 | 4,32 |
| 13 | 2,16 | 3,01 | 4,22 |
| 14 | 2,14 | 2,98 | 4,14 |
| 15 | 2,13 | 2,95 | 4,07 |
| 16 | 2,12 | 2,92 | 4,01 |
| 17 | 2,11 | 2,90 | 3,96 |
| 18 | 2,10 | 2,88 | 3,92 |
| 19 | 2,09 | 2,86 | 3,88 |
| 20 | 2,09 | 2,84 | 3,85 |
| 21 | 2,08 | 2,83 | 3,82 |
| 22 | 2,07 | 2,82 | 3,79 |
| 23 | 2,07 | 2,81 | 3,77 |
| 24 | 2,06 | 2,80 | 3,74 |
| 25 | 2,06 | 2,79 | 3,72 |
| 26 | 2,06 | 2,78 | 3,71 |
| 27 | 2,05 | 2,78 | 3,69 |
| 28 | 2,05 | 2,76 | 3,67 |
| 29 | 2,05 | 2,76 | 3,66 |
| 30 | 2,04 | 2,75 | 3,65 |
| ∞ | 1,96 | 2,58 | 3,29 |



MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL
INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO