



Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (EII)

**PROYECTO FIN DE MÁSTER
MÁSTER EN GESTIÓN DE LA PREVENCIÓN DE
RIESGOS LABORALES, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE**

NORBERTO IBÁN LORENZANA

Ingeniero Técnico Industrial. Esp. Mecánica

**EVALUACIÓN DE RIESGOS ERGONÓMICOS ANTE
EXPOSICIONES VIBRATORIAS
DE BAJA FRECUENCIA AFECTANDO AL CUERPO**

Julio 2013

Dirigida por:

Dr. D. GREGORIO ANTOLÍN GIRALDO

D. JESÚS M^a MARTÍN MARROQUÍN

- Tutor Académico-

-Tutor de Empresa-



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

PROYECTO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN GESTIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE



EVALUACIÓN DE RIESGOS ERGONÓMICOS ANTE
EXPOSICIONES VIBRATORIAS
DE BAJA FRECUENCIA AFECTANDO AL CUERPO

Universidad de Valladolid



Presentado por **D. NORBERTO IBÁN LORENZANA**
Ingeniero Técnico Industrial. Especialidad Mecánica

Tutor **Dr. D. GREGORIO ANTOLÍN GIRALDO**
Profesor Titular de la Universidad de Valladolid y Coordinador del Máster

Tutor **D. JESÚS M.ª MARTÍN MARROQUÍN**
Responsable de Prevención de Riesgos Laborales en FUNDACIÓN CARTIF



Universidad de Valladolid

Este Proyecto Fin de Máster fue leído en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid el día /07/2013 ante el tribunal formado por:

Presidente:	D. Javier Agudo Bernal
Vocal:	D. ^a Cristina Hernández García
Secretario:	D. ^a Piedad López-Romero González

Expertos en Prevención de Riesgos Laborales.



ÍNDICE DEL CONTENIDO

1- INTRODUCCIÓN	
-1.1- El problema	1
-1.2- Motivo del trabajo	2
-1.3- Empresa	2
-1.4- Tutores de la Empresa y de la UVa	3
2- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	
-2.1- Antecedentes	5
-2.2- Objetivo específico	11
-2.3- Objetivos generales	16
3- METODOLOGÍA	
-3.1- Instrumentación	17
-3.2- Ensayos	18
4- ANTECEDENTES NORMATIVOS	21
5- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	27
6- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	35
7- RESULTADOS OBTENIDOS - EVALUACIÓN	37
8- VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA	39
9- CONCLUSIONES EXTRAÍDAS	41
10- OTRO TIPO DE INFORMACIÓN	
-10.1- TMDs	43
-10.2- Actividades Formativas	45
11- REFERENCIAS	55
ANEXO I Rutina Maple desarrollada para el post-procesado	57



1- INTRODUCCIÓN

1) El problema

La vibración se define como el movimiento oscilante que hace una partícula alrededor de algún punto fijo. Este movimiento puede ser regular en dirección, frecuencia y/o intensidad; o aleatorio, que es lo más normal. Ciertas estructuras destinadas a la circulación humana son propensas a padecer vibraciones de forma apreciable en condiciones de servicio. Estos fenómenos vibratorios se derivan de fenómenos de transmisión. Por ejemplo, la circulación del metro o acciones del viento pueden excitar alguna de las frecuencias de resonancia de algún edificio. Este fenómeno “resonancia” hace referencia a una vibración inducida a una cierta frecuencia, característica de la estructura receptora, y por la cual la intensidad de la vibración se ve ampliada. Otras fuentes, pudieran ser las máquinas de trabajo, prensas de embutición, equipos rotativos e incluso un simple ascensor o sistemas de ventilación mal ubicados pueden perturbar el equilibrio estático de una estructura. Hasta aquí se ve que las acciones de excitación son causadas por fuerzas excitadoras con una cierta independencia de la acción humana.

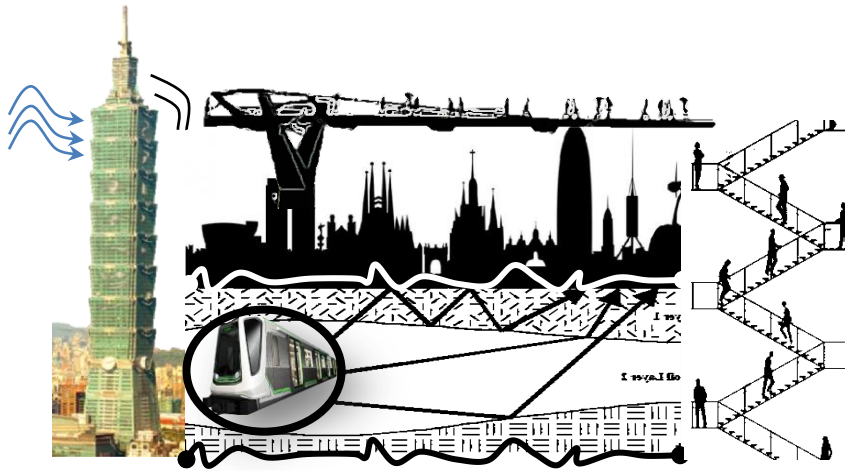


Figura 1: estructuras susceptibles de vibraciones

El presente proyecto está centrado en aquellas excitaciones que producen oscilaciones de baja frecuencia (hasta 80 Hz) producto de esas fuerzas externas y además se considerarán las acciones humanas tales como correr, andar o saltar... sobre estructuras que tienen modos propios de vibración dentro de un rango susceptible de ser excitado por los usuarios (fenómeno no tan estudiado) como pudiera pasar en los forjados de los edificios, en pasarelas, escaleras o graderíos en estadios etc.... Aunque las fuerzas inducidas por los peatones en movimiento son de baja intensidad, cuando su frecuencia coincide con alguna de las naturales de la estructura, pueden provocar movimientos significativos cuando ésta es ligera y poco amortiguada. Este comportamiento dinámico es apreciado por los distintos usuarios y puede provocar sensaciones molestas, sobre todo si se están realizando ciertas actividades que requieran fijar la mirada como es el caso de leer.

En la actualidad este comportamiento se ha acentuado en cierto modo por el desarrollo de nuevos materiales de construcción, con mayor resistencia específica, lo que provoca una disminución de la masa en la estructura y con ello aumenta la probabilidad de aparición de estos fenómenos vibratorios, como consecuencia de una relación cada vez menor entre las masa de la estructura y la de los usuarios. Por otro lado, la actual tendencia constructiva en los países desarrollados, con edificios de gran altura que albergan gran cantidad de oficinas y los planes de desarrollos urbanístico que favorecen la movilidad peatonal demandada por los ciudadanos, producen nuevos pasos sobre carreteras y ríos que no son solo funcionales sino también atractivos, lleva a concepciones estructurales singulares donde en ocasiones lo que prima es la rapidez constructiva y la estética en detrimento de la racionalidad, ya que a menudo se pasan por alto ciertos principios clásicos del diseño resistente contribuyendo de esta forma a la aparición de estos fenómenos.



1- INTRODUCCIÓN

2) Motivo del trabajo

Evolucionar en los conocimientos adquiridos en materia vibratoria y en sus efectos, tanto físicos como psicológicos sobre las personas, es la motivación de este proyecto. Ante el problema descrito, el número de personas que se ven afectadas laboralmente, bien directamente en su puesto de trabajo (sobre forjados vibrantes) o por sus desplazamientos hasta ellos, in itinere (pasarelas peatonales) va en aumento.

Lo que hoy podemos asegurar sobre cómo afectan las vibraciones al cuerpo humano, independientemente de su vía de entrada, es algo que nadie se planteaba como un problema hace 20 años. Esta reseña es clave para entender como la percepción del peligro, el riesgo o el confort es variable en el tiempo según aumentan tanto los conocimientos como las técnicas.

Hoy día, los fenómenos vibratorios, no es solo un problema sino que en muchos casos la técnica todavía no ha encontrado el modo de contrarrestar eficazmente sus efectos, obligando a tomar acciones correctoras que únicamente limitan los tiempos de exposición. En el caso de las vibraciones mano-brazo, por el uso de herramientas mecánicas, como puede ser un martillo neumático se usan guantes anti vibratorios, como equipos de protección individual, donde recientes estudios califican su eficacia como dudosa.

Ante esta perspectiva es, por tanto, intención de este trabajo revelar la importancia de estas vibraciones haciendo uso de los conceptos de confortabilidad y percepción que pasan hoy día más o menos desapercibidos, no solo en el ámbito laboral.

1- INTRODUCCIÓN

3) Empresa

Ante esta situación, y motivado por el centro donde se ha desarrollado el presente Proyecto Fin de Máster, FUNDACIÓN CARTIF, y aprovechando su dilatada experiencia en el análisis dinámico estructural, se ha creído oportuno, estudiar la relación de este tipo de vibraciones con los usuarios y su influencia sobre ellos realizado una evaluación de riesgos ergonómicos, analizando la normativa existente y las recomendaciones UNE-ISO 2631 *partes 1 (Julio 2008) y parte 2 (Noviembre 2011)*, elaboradas por el comité técnico AEN/CTN 81 *Prevención y Medios de Protección Personal y Colectiva en el Trabajo* cuya secretaría desempeña AENOR-INSHT



CARTIF es un centro con unas instalaciones de 16.500 m² (distribuidos en tres edificios), una plantilla de 190 investigadores, distribuidos en ocho áreas de conocimiento que se corresponden con diferentes sectores económicos y tecnológicos: Automatización y control de procesos, Robótica y visión artificial, **Ingeniería Mecánica**, Eficiencia energética, Gestión sostenible, Químico-Alimentaria, Ingeniería Biomédica y TICs. Como apoyo fundamental a la estructura del centro están los laboratorios que han ido surgiendo de las diferentes líneas de investigación: Análisis y Ensayos, Digitalización 3D, Caracterización de Biomasa, Biotecnología Agroalimentaria y Nanotecnología de los materiales.

Completan estos servicios otras tecnológicas como la gestión de la innovación y la transferencia de tecnología, pensados para incrementar el nivel de innovación de las empresas, organizar mejor sus actividades de I+D+i y obtener mayores beneficios de las ideas que generen.

CARTIF mantiene los mismos valores y objetivos con los que nació en 1994, siendo el principal el de contribuir al desarrollo de su entorno económico y social a través del uso y fomento de la innovación tecnológica, mediante el desarrollo y la difusión de la investigación. Mantiene, asimismo, importantes vínculos con la Universidad de Valladolid a través del trabajo de sus profesores.



1- INTRODUCCIÓN

⁴⁾Tutores

La realización de este proyecto se ha desarrollado gracias a la dirección de D. Jesús M^a Martín Marroquín, Director de Logística/Infraestructuras y Responsable de Prevención de Riesgos Laborales del centro tecnológico CARTIF como tutor por parte de la empresa y del Dr. D. Gregorio Antolín Giraldo Profesor Titular de la Universidad de Valladolid, y Director del Área de biocombustibles del centro tecnológico CARTIF como tutor asignado del Máster, del cual es además Coordinado. A ambos el autor agradece su tiempo y sus conocimientos para desarrollar este proyecto y su disposición para ofrecer los medios técnicos y humanos de los que dispone el centro, como pueda ser el personal del área de Diseño Estructural y de Control con quienes he realizado un trabajo de campo en mediciones vibratorias mediante diferentes dispositivos y quienes me han facilitado las herramientas para su posterior análisis y comprensión.

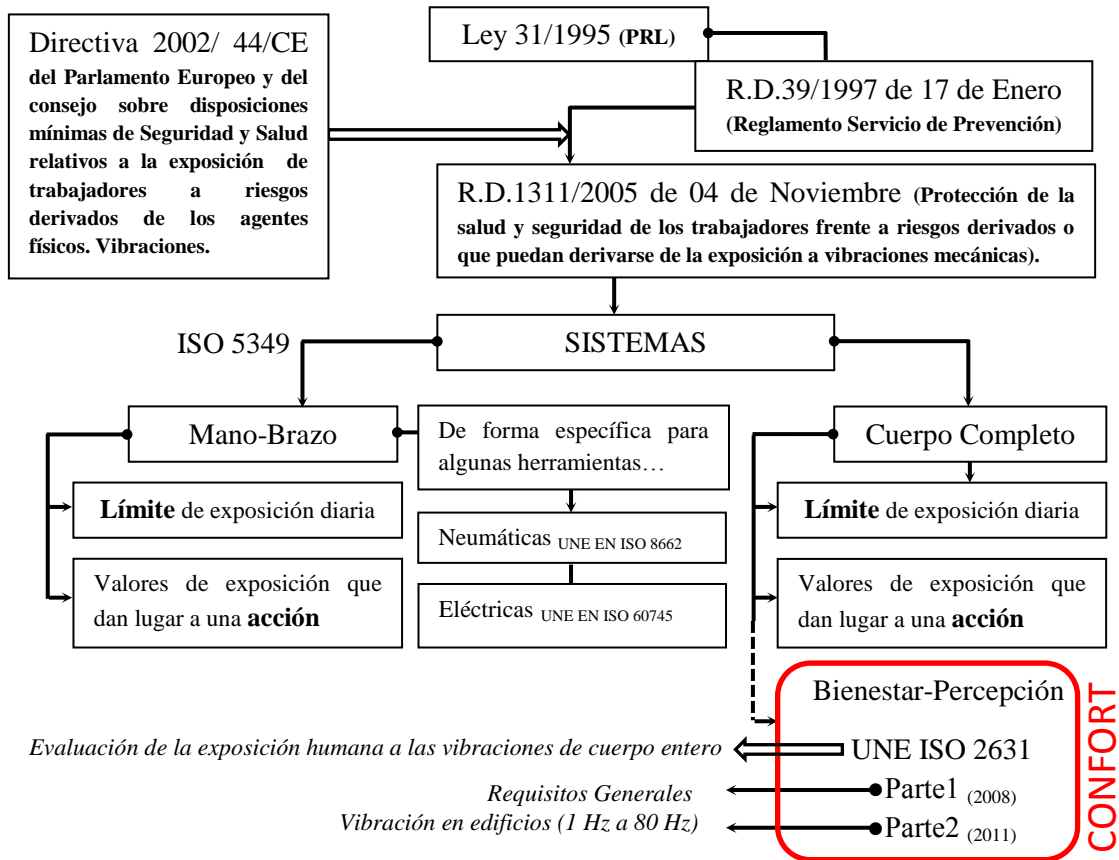




2- JUSTIFICACIÓN

1) Antecedentes

El siguiente esquema nos sitúa el ámbito del proyecto basándonos en el marco normativo referente a vibraciones.



La Norma ISO 2631 es una norma “referencia” aplicable a la exposición de seres humanos a vibraciones de cuerpo entero en los edificios desde el punto de vista del confort y de las molestias sufridas por sus ocupantes, que especifica métodos de medición para cuantificar vibraciones en relación con la salud, el bienestar y la percepción de las vibraciones incluyendo la incidencia del mal de movimiento (rango de frecuencias entre 0.5 Hz a 1 Hz).

Esta norma no tiene aplicación legal puesto que ningún real decreto hace referencia a ella. Esta parte de la norma no contiene límites de exposiciones a vibraciones pero la experiencia ha demostrado en numerosos países que las quejas referidas, por ejemplo, en los edificios de carácter residencial pueden proceder de los ocupantes de los mismos cuando las magnitudes de las vibraciones sobrepasan escasamente el umbral de percepción.

La Higiene Industrial es la disciplina Técnica, de entre las cuatro modalidades preventivas, encargada de estudiar y analizar casi todo lo que atañe a las vibraciones, como factores físicos ambientales que son. Analiza los métodos de medición, qué, cómo y dónde medir, evaluar sus magnitudes y sus reacciones sobre las personas. Concretamente, desde la perspectiva de la Higiene Industrial se distinguen dos tipos de exposiciones según la forma en la que ingresan en el organismo:

a) Vibraciones mano-brazo:

Son las vibraciones que entran en el cuerpo a través de las manos. Están causadas por distintos procesos de la industria, la agricultura, la minería y la construcción, en los que se agarran o empujan herramientas o piezas vibrantes con las manos o los dedos ó que tengan motor.

b) Vibraciones globales:

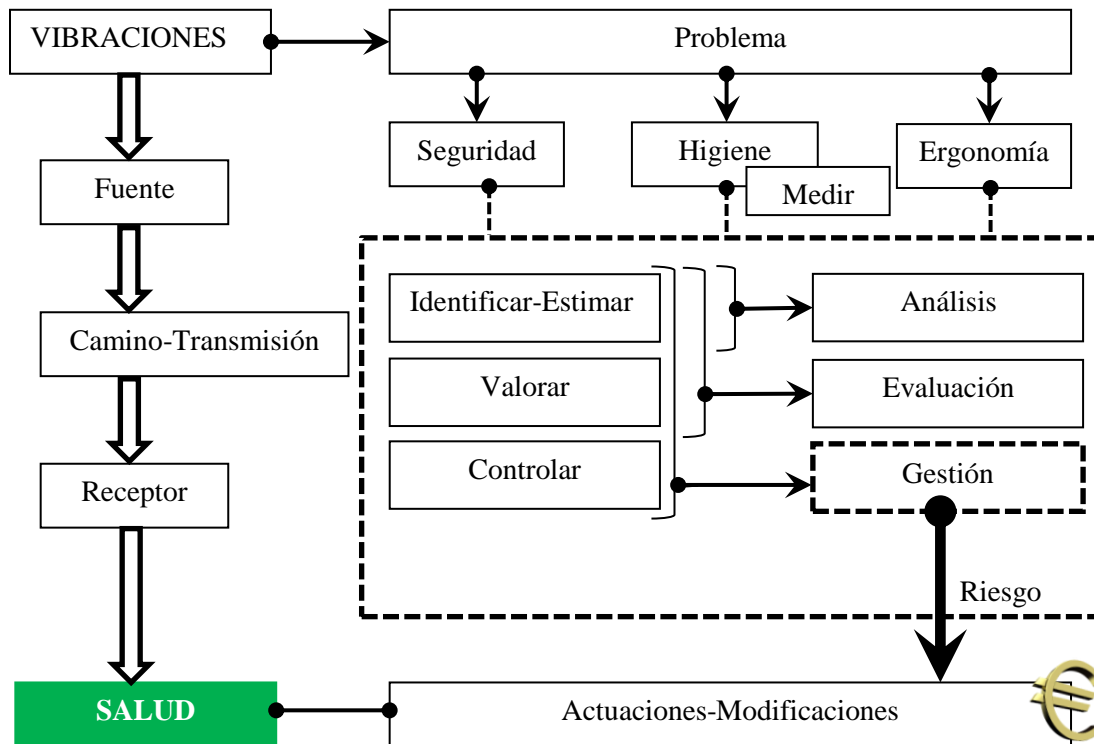
También conocidas como “de cuerpo completo”, se transmiten al cuerpo del trabajador. Ocurren cuando el cuerpo está apoyado en una superficie vibrante (por ejemplo, cuando se está sentado en



un asiento que vibra, de pie sobre un suelo vibrante o recostado sobre una superficie vibrante). Dentro de las vibraciones globales se estudian también los fenómenos derivados del mareo inducido por el movimiento el cual puede ser producido por oscilaciones del cuerpo de bajas frecuencias (aviones, barcos, etc).

Pero las vibraciones no solo se ajustan a criterios dados por la especialidad de higiene sino que tienen estrechas relaciones con otras especialidades como la de seguridad y la de ergonomía. Las vibraciones pueden producir una fatiga prematura que haga disminuir la atención sobre la tarea de un trabajador y provocar un accidente, aspecto que además está ligado a conceptos antónimos de comodidad o confort propios de la ergonomía.

El siguiente esquema engloba estas interacciones, donde se tiene presente la armonía entre las especialidades “todas tienen algo que decir al respecto”.



Las exposiciones a vibraciones mano-brazo son de sobra conocidas, múltiples estudios determinan perfectamente que trastornos producen y que medidas preventivas han de tomarse en consideración, uno de los trastornos más agresivos y conocidos es el de dedo blanco (fig.2).

Las vibraciones de cuerpo completo suelen estar vinculadas al riesgo de padecer alguna patología (por ejemplo músculo-esqueléticas), frecuentemente producidas por vibraciones de una máquina, las cuales suelen ocurrir a altos rangos de frecuencia, o bien son producto de la propia maquinaria móvil sobre la que se asienta el usuario, como camiones, excavadoras u otras máquinas de obra. Estas vibraciones también han sido de sobra analizadas desde el punto de vista de la seguridad industrial con nuevos materiales aislantes y absorbentes, e incluso desde la ergonomía, con mejores y más cómodos asientos instalados en los vehículos.



Figura 2: Dedos blancos y asiento anti vibratorio



Por tanto viendo hasta donde abarca el campo conocido del análisis vibratorio desde el punto de vista de la prevención y ya que es difícil pensar en las vibraciones de cuerpo completo como algo nocivo para la salud cuando estas son derivadas además por vibraciones de baja frecuencia, se dispone en esta parte de algunos “casos” encontrados en las comunidades españolas que den relevancia y, por tanto, destaquen la importancia y necesidad de un trabajo como este, sobre la exposición del cuerpo a vibraciones de bajas frecuencias debidas a la excitabilidad de las estructuras en ciertos rangos. Especialmente y como ya se ha mencionado, rangos propios de actividades humanas.

CASO1

Acceso al puerto de Málaga: Numerosos viandantes que se disponían a cruzar la nueva pasarela peatonal que cruza la Ronda Oeste se negaron a hacerlo, formado un tapón a la entrada del puente porque había gente que no se atrevía a cruzarlo y estaba paralizada, por los bruscos movimientos y oscilaciones que hacían zozobrar el puente con gran virulencia y optaron por dar un largo rodeo de más de 20 minutos. Quien finalmente atravesó la infraestructura, lo hizo en solitario y asido con fuerza a la barandilla.

El Ministerio de Fomento ha cortado con vallas y señales de “Peligro de caídas” el acceso al nuevo puente. Según informaban desde la Subdelegación de Gobierno en Málaga



CASO2

Misterio. No sabían si se trataba de un terremoto o de fenómenos paranormales. Trabajadores y pacientes del Hospital de Sant Joan se han estado quejando de unas extrañas "vibraciones" que les provocaban mareos e inestabilidad. Finalmente, el misterio quedó resuelto y el origen estaba más cerca de lo que en un principio de pensaba.

Los ordenadores se movían y las ventanas temblaban. El motivo: unas extrañas vibraciones sacudían el centro sanitario sin que, en un principio, nadie lograra determinar la causa de tan extraño fenómeno. Los temblores comenzaron el lunes. Al día siguiente, varios trabajadores del centro se pusieron en contacto con este periódico para denunciar que el hospital "lleva temblando dos días", lo que estaba provocando "mareos y sensación de inestabilidad entre los usuarios y el personal sanitario".

Las vibraciones se dejaban sentir con mayor intensidad en las plantas superiores de las zonas centro y sur del centro sanitario. "Mi ordenador llegó a temblar y a algunos compañeros incluso se les apagó". Los usuarios también mostraban su consternación por esta situación. "Estaba en una consulta de la tercera planta y me he tenido que marchar porque era insoportable, e igual que yo otras personas que estaban esperando se han ido".

Descartado un posible sismo, desde el Consistorio señalaron que las únicas obras que se están desarrollando en las inmediaciones del centro sanitario "son las del colector sur y puede ser que alguna apisonadora haga ruido". Sin embargo, añadían, "es muy raro que esto provoque vibraciones en el hospital". El tema también llegó al Consejo de Salud celebrado el martes, sin que tampoco se llegase a una conclusión que explicase los temblores del centro. Después de tres días de temblores el misterio quedó finalmente desvelado ayer a





mediodía. El servicio de mantenimiento del centro hospitalario resolvió la incógnita.

Las vibraciones procedían de unos trabajos que se están desarrollando en la cubierta del edificio y para los que se está empleando "una máquina con una cinta de goma, que es la que provoca la vibración, sumado a que los trabajos se están desarrollando entre dos pilares del edificio". Desde este servicio señalaron ayer que, de continuar las quejas, los trabajos se realizaran con otro sistema que reduzca las molestias.



Puede no ser fácil de entender la relación de estos sucesos en un ámbito preventivo, pero hasta el momento el autor solo ha querido hacer hincapié en el desconocimiento existente sobre los órdenes de las vibraciones y en cómo estas pueden afectar al comportamiento y a las decisiones tomadas por las personas.

No estamos hablando de sucesos vibratorios con los que podamos padecer alteraciones vasculares o músculo-esqueléticas graves sino sensaciones que aunque inocuas, las percibimos como indeseables e incluso molestas, que en el peor de los casos nos produzcan malestar o mareos que pudieran inducirnos a una caída. También debemos de tener en cuenta que pueden provocar fallos de fatiga y roturas en las estructuras. Concretamente en una azucarera de Valladolid se produjo sobre la estructura en la que trabajaban operarios grietas en las soldaduras debidas a las oscilaciones de dicha estructura producto de la resonancia de ésta con una máquina. Es fácil vaticinar las graves consecuencias, si no se hubiese detectado a tiempo, que hubieran podido ocurrir sobre los trabajadores.

El siguiente ejemplo visualiza mejor el cometido del proyecto y como éste se acota en un ámbito preventivo (evaluación de la percepción y con ello la incomodidad sufrida por las personas a raíz de las vibraciones de baja frecuencia que actúan sobre el cuerpo completo).

Imaginemos a una persona caminando por el piso de una sala de oficinas, un hospital o cualquier otro tipo de recinto el cual es excitable por un trabajador cuya frecuencia de paso resuena con uno de los modos de vibración del piso produciendo en alguna zona las máximas oscilaciones, y que esta zona este situada en una área de trabajo donde se requiera estar sentado frente a una pantalla de visualización de datos, o que est  destinada a trabajos de precisión (como los que puedan requerirse en una sala de operaciones o en un laboratorio) o cuya función sea la de descanso y ésta no pueda cumplir su cometido.

Podemos visualizar esa situación en el siguiente dibujo (fig.3) donde se muestra el comportamiento real de un forjado vibrante.

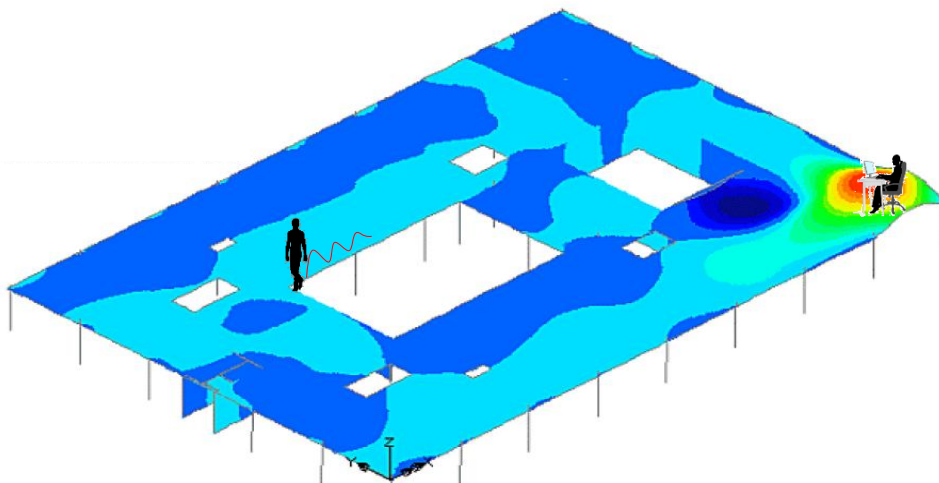


Figura 3: Forjado excitado por el paso de una persona



Ambos trabajadores pueden ser susceptibles de esas vibraciones, en principio el que pudiera sentir menor grado de confort es, evidentemente, el que esta en el area donde se producen mayores desplazamientos (indicado con color rojo mas intenso) y no solo por éstos sino por la postura y la tarea que está realizando. Aunque el que va andando también percibirá las aceleraciones que él mismo está provocando si estas son lo suficientemente significativas, además, si mientras está andando está haciendo uso del móvil para leer o enviar un sms incluso con aceleraciones muy bajas podría percibir molestias.

Está demostrado que pequeñas vibraciones, apenas perceptibles, nos causan una sensación molesta que podría ser peligrosa según la actividad que estemos realizando.

El centro Tecnológico CARTIF, conocedor de la existencia de estos fenómenos vibratorios en varias estructuras destinadas al tránsito de personas, donde el fenómeno vibratorio ocurre con motivo del paso humano sobre el propio piso, en escaleras o en pasarelas peatonales, se ha embarcado en proyectos que analizan dichas situaciones. Es un fenómeno bastante común en naves industriales de varias plantas con estructura de acero donde estas se ven excitadas precisamente por el trajín de su personal o por alguna maquina instalada (como ya se comentó en el ejemplo de la azucarera de Valladolid) haciendo que alguna de sus zonas sea especialmente sensible ante, en principio, inofensivas vibraciones que producen verdaderas incomodidades físicas en las personas y que además pueden producir paradas en los equipos o disminuir la resistencia de ciertas estructuras debidas a la fatiga.

Estas vibraciones son percibidas de forma significativamente distinta entre medios de transporte, donde el movimiento es esperado, y en edificaciones o infraestructuras como pasarelas, donde en principio sería deseable que los movimientos no fueran perceptibles. Los rangos normales de vibración de las estructuras de edificación y de algunas infraestructuras como pasarelas, dentro de niveles perceptibles (por encima de 0.01 m/s^2) pueden situarse entre los 0.5 Hz y los 100 Hz. En este rango de frecuencias actúan simultáneamente varios mecanismos sensitivos del cuerpo humano. Se tiene además la dificultad de que similares valores en amplitud son percibidos de distinta manera en función de su frecuencia. La mecánica de la percepción vibrotáctil no está tan estudiada como la vista o el oído, siendo este uno de los campos de investigación activa tanto en medicina como en ingeniería biomecánica.

Si las frecuencias son muy bajas las oscilaciones se pueden apreciar por la vista. Por debajo de 1 Hz es el sistema vestibular del oído interno quien nos informa sobre nuestra posición, siendo éste órgano sensorial capaz de detectar la dirección de la aceleración de la gravedad. Entre aproximadamente 1 Hz y 315 Hz actúan los mecanorreceptores táctiles. Por encima de unos 50 Hz es de nuevo el oído quien percibe las vibraciones en forma de sonido (estando el espectro audible entre los 20 Hz y los 20 KHz).

A diferencia de otros sentidos, el del tacto, en lo que a percepción de vibraciones se refiere, proporciona información distribuida por todo el cuerpo. Desde el punto de vista somático, se pueden identificar mecanorreceptores, aunque en otras ocasiones son los movimientos relativos de los órganos internos del cuerpo quienes proporcionan al sistema nervioso la sensación de movimiento y vibración.

En el mundo real todas las piezas, estructuras o sistemas que vibran son medios continuos con propiedades elásticas y por supuesto las personas no somos una excepción. En este sentido, entre 4 y 8 Hz se aprecia el movimiento del estómago dentro de la cavidad abdominal y del corazón dentro de la caja torácica (fig.4). A este respecto hay varios estudios sobre transmisibilidad e impedancias entre los órganos del cuerpo. Intentar describir su comportamiento vibratorio mediante unas ecuaciones analíticas que describan el fenómeno lleva a ecuaciones muy complejas y difíciles, tanto de resolver como de comprender e interpretar dicha solución.

Se puede construir un modelo discreto que simula el comportamiento del cuerpo humano frente a las vibraciones. De su estudio se pueden evaluar las frecuencias de resonancia de cada parte del mismo, concluyendo que el cuerpo humano no es igual de sensible a todas las frecuencias de vibración.

Cada parte del cuerpo tiene su mayor sensibilidad a diferentes frecuencias, teniendo presente que no hay dos cuerpos iguales se presentan en la figura 4 algunos rangos estimados.

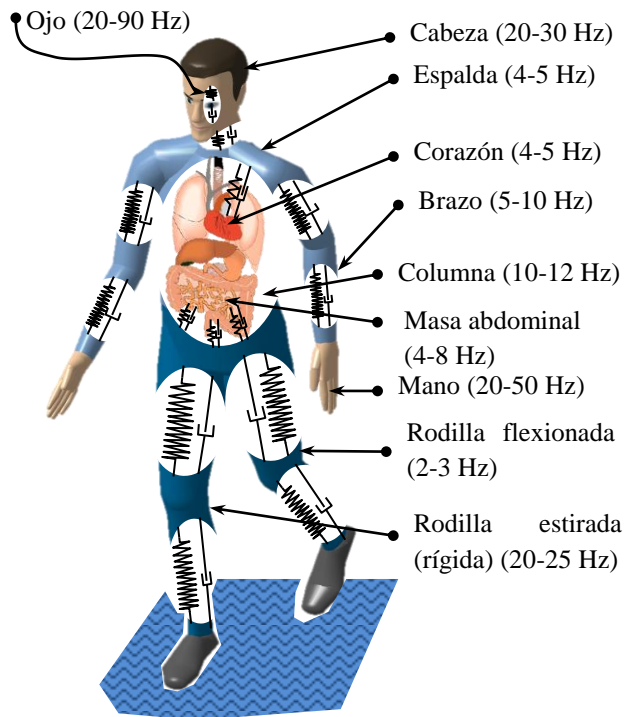


Figura 4: Resonancias del Cuerpo Humano

Al igual que pasa con otros sentidos, la percepción de las vibraciones puede variar con la exposición. Pero esta dependencia es variada. Así, por ejemplo, hay vibraciones (según su intensidad y contenido en frecuencias) que empiezan a ser molestas a partir de unos determinados segundos y otras que transcurridos algunos minutos comienzan a pasar desapercibidas. En este sentido, la aplicación de la ley de saturación de Zwislocki, por la que la percepción nerviosa decae exponencialmente con el tiempo, válida para todos los sentidos, no está tan clara para el caso de vibraciones.

Como en otros sentidos, rige el efecto de aprendizaje por el que tras un cierto entrenamiento se puede aumentar la sensibilidad (bajar el umbral de percepción). Por otra parte, a diferencia de lo que pasa con otros sentidos, donde el umbral de percepción aumenta con la edad (es decir, se hace necesario mayor estímulo para percibir la misma sensación), en el caso de las vibraciones no está suficientemente estudiado. De hecho es usual que las personas mayores se quejen más del movimiento de forjados, pasarelas y medios de transporte en general.

También, como en otros sentidos, hay que tener en cuenta el efecto de enmascaramiento. Consiste en que la percepción de un determinado estímulo puede estar impedida por un segundo estímulo, bien sea simultáneo, previo y en algún caso posterior. Es evidente que el hecho de que la persona esté en movimiento (andando, por ejemplo) hace que el movimiento del soporte (forjado, pasarela o piso del medio de transporte) no sea tan molesto. Así, por ejemplo, si el cambio de un medio fijo (cómodo) a uno móvil (incómodo) es progresivo, los usuarios perciben este último como menos incómodo.

En términos generales, según Mistrol y Griefahn, en el rango entre 2 y 30 Hz, a igualdad de amplitud, se percibe mayor incomodidad estando sentado que de pie. Con independencia de la dirección, por encima de unos 5 Hz el movimiento se percibe fundamentalmente en las piernas, ya que se va amortiguando rápidamente hacia arriba. Por debajo de 2 Hz puede haber pérdida de equilibrio, fundamentalmente ante movimientos horizontales que se manifiesta en redistribuciones de las presiones plantares o en pequeños pasos para desplazar el centro de gravedad. A estas bajas frecuencias, aunque las vibraciones verticales no afectan a la pérdida del equilibrio desde el punto de vista estático, ya que el centro de gravedad no se desplaza, sí afectan al sistema vestibular del oído interno y pueden producir sensación de mareo.



Ante perturbaciones por movimiento del soporte, el cuerpo humano reacciona, voluntaria o involuntariamente para recuperar o mantener el equilibrio, cuando la reacción es involuntaria pueden aparecer fenómenos de sincronización que pueden originar incluso problemas a la integridad resistente cuando la estructura está ocupada por múltiples usuarios.

Por tanto, con estas nociones generales y al igual que se realizan estudios, por medio de encuestas higiénicas, referentes a la ventilación, temperatura, humedad, olores ... en edificios, para determinar ciertos problemas, y calificar al edificio como edificio enfermo o no (para realizar las acciones pertinentes). El concepto de edificio enfermo viene determinado mayoritariamente por el grado de confort sobre diferentes aspectos ambientales dentro del edificio. Se propone por tanto según la norma UNE-ISO 2631 aplicar criterios de confort a las estructuras en cuanto a las vibraciones mecánicas ya que pueden ser percibidas por los ocupantes afectándoles en su grado de confort al realizar su tarea. En concreto su confort y su calidad de vida pueden verse reducidos. Pero dicha norma no aporta límites definidos, posiblemente por la gran variabilidad de los usuarios y por falta de información.

2- JUSTIFICACIÓN

2) Objetivo específico

El objetivo específico del proyecto es mostrar el procedimiento para realizar una evaluación y obtener una valoración sobre las vibraciones presentes en una estructura real. También es misión del proyecto comentar alguna posible acción correctiva antes estos fenómenos para prevenir efectos molestos sobre las personas usuarias de esas estructuras. Hoy día este tipo de análisis comienzan a proliferar como mostramos en la siguiente figura.

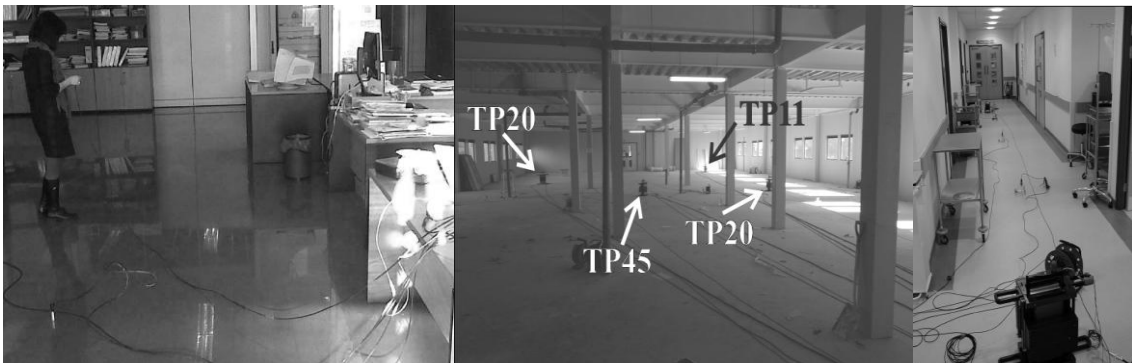


Figura 5: Diferentes forjados sometidos a estudio

En estas imágenes vemos los equipos y el cableado distribuido por las superficies vibrantes para realizar la toma de muestras. Estos procesos de toma de muestras se denominan OMA y EMA y están basados en la disposición de acelerómetros por las superficies y en uso de agitadores “shakers”, dispositivos destinados a realizar barridos de frecuencia para excitar las estructuras en todas sus frecuencias propias y modos. Con estos resultados y los programas adecuados de lectura y análisis podemos obtener conocimientos suficientes para entrar a valorar la peligrosidad, el confort de cualquier zona o área sometida a vibraciones (fig.6). Así se valorará el riesgo que pudiera existir ante posibles excitaciones.

El conocimiento del comportamiento estructural intervendrá por tanto a la hora de colocar una máquina en un determinado lugar o destinar las zonas dentro de las instalaciones a sus usos más correctos. Circunstancia que como veremos durante el desarrollo del trabajo, no es tan evidente.

Seguidamente se muestra un estudio del comportamiento de un edificio mediante los procedimientos comentados. Los modos representan las diferentes deformaciones con escalas amplificadas. Destacar que las muestras o registros son de aceleraciones y aunque es habitual y suficientemente intuitivo hablar de aceleraciones lo es más aun hablar de milímetros al hablar de deformaciones. Por eso se comenta en este punto que los desplazamientos que se registran habitualmente son inferiores al milímetro, o de ese orden para estructuras como pasarelas peatonales.

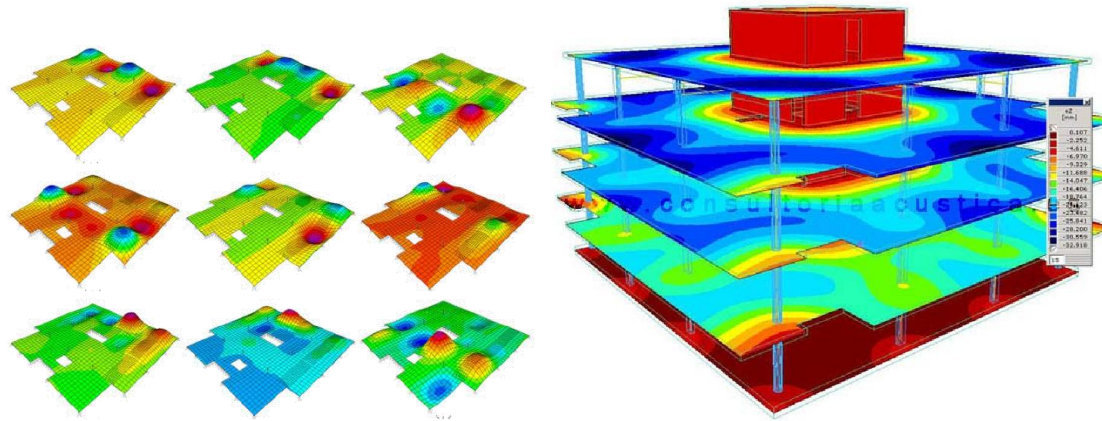


Figura 6: Resultados de algunos estudios vibratorios

Como el acceso a una instalación de trabajo con problemas de este tipo es complejo, porque en muchos casos es desconocido incluso para los propios trabajadores de la empresa, se va a realizar este estudio sobre una pasarela peatonal, escenario complejo estructuralmente hablando y de creciente interés en la actualidad. Además el proceso de medida es menos laborioso. Centrando el trabajo en el estudio de varios indicadores propuestos por las distintas guías de diseño para valorar la adecuación al servicio de estructuras vibrantes, se realiza, a través de un caso práctico con una problemática real, una valoración crítica y una discusión de potenciales factores que deben ser tenidos en cuenta, evidenciando la necesidad de completar los criterios de las normativas actuales.

Previo a la construcción de una estructura, la normativa constructiva plantea estudios dinámicos que eviten en dichas superficies transitables precisamente los rangos del paso humano (de 1.6 a 2.4 Hz y de 3.5 a 4.5 Hz) o de otras actividades. Para ello se realizan modelos con programas de elementos finitos que simulan su comportamiento, previo a su construcción. Pero esto no siempre es efectivo y mucho menos una garantía de confortabilidad, por ello se realizan análisis operacionales modales sobre la estructura real una vez construida.

Valladolid tiene dos pasarelas peatonales, de construcción más o menos actual, que cruzan al río Pisuegra en la ciudad. Una une el museo de la ciencia con el Paseo Zorrilla a la altura del Corte inglés (fig.7) y la otra une los barrios de Arturo Eyries y La Rubia (fig.8). Ambas pasarelas registran en el ayuntamiento diversas quejas por los movimientos oscilantes a los que frecuentemente están sometidos los viandantes que las atraviesan.

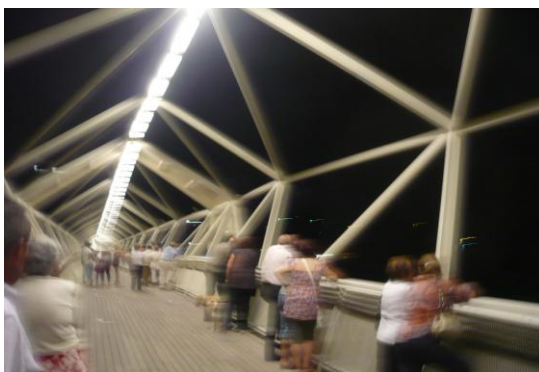


Figura 7: Pasarela del museo de la ciencia



Figura 8: Pasarela PPGB

Por su situación urbana, con numerosos centros comerciales, zonas de ocio, colegios, centros de salud, etc...en sus alrededores, estas pasarelas son, el medio por el cual muchos trabajadores acceden a sus puestos de trabajo. Justificación suficiente, desde un punto de vista laboral, para comprender su necesidad de estudio. Un forjado es entendible propiamente dentro de un edificio o área de trabajo no así una



estructura externa como es una pasarela, por eso se hace uso del término “in itinere” o “en misión” en el ámbito laboral y de sus normas básicas en peatones.

- Utilizar siempre el trayecto más seguro.
- Caminar por las aceras y evitar pisar por sus bordes.
- Hacerse ver a los conductores, procurando no sorprenderles.
- Mirar a la izquierda y a la derecha antes de cruzar.
- Cruzar por los pasos señalizados para peatones. Cruzar rápido, pero sin correr ni detenerse en la calzada.
- Cruzar los semáforos sólo con luz verde. Hay que esperar a que paren los vehículos
- Obedecer todas las señales de tráfico y las indicaciones de los agentes.
- Hacerse ver de noche por zonas mal iluminadas, utilizando ropa de alta visibilidad.
- En carretera caminar por la izquierda y por el arcén para que se vean venir los vehículos de frente.

Pues bien, qué duda cabe que las pasarelas peatonales han contribuido a disminuir atropellos en grandes ciudades donde el tráfico es más agresivo. Hoy día estas pasarelas proliferan además como sistemas para mejorar la fluidez del tráfico, suprimiendo semáforos para el paso de peatones.

Si entendemos que cruzar por una pasarela es un elemento de seguridad, ésta debiera abarcar algo más profundo, es decir, ofertar además de una seguridad un confort ya que al igual que pasa con los EPIs, la comodidad de sus diseños debe atraer al usuario a su uso.

Es especialmente relevante todo este asunto en los tiempos que corren, en los que se promueve una movilidad menos agresiva con el medio ambiente, ya que el uso de estas pasarelas comulgan con la reducción del uso del vehículo al acortar distancias favoreciendo una movilidad más sostenible .

Concretamente en el siguiente mapa, se representa con una línea continua el desplazamiento en vehículo de uno de los camareros del CAFÉ MONASTERIO antes de la construcción de la pasarela peatonal y con trazo verde discontinuo el trayecto a pie del mismo empleado ambos desde su vivienda habitual.

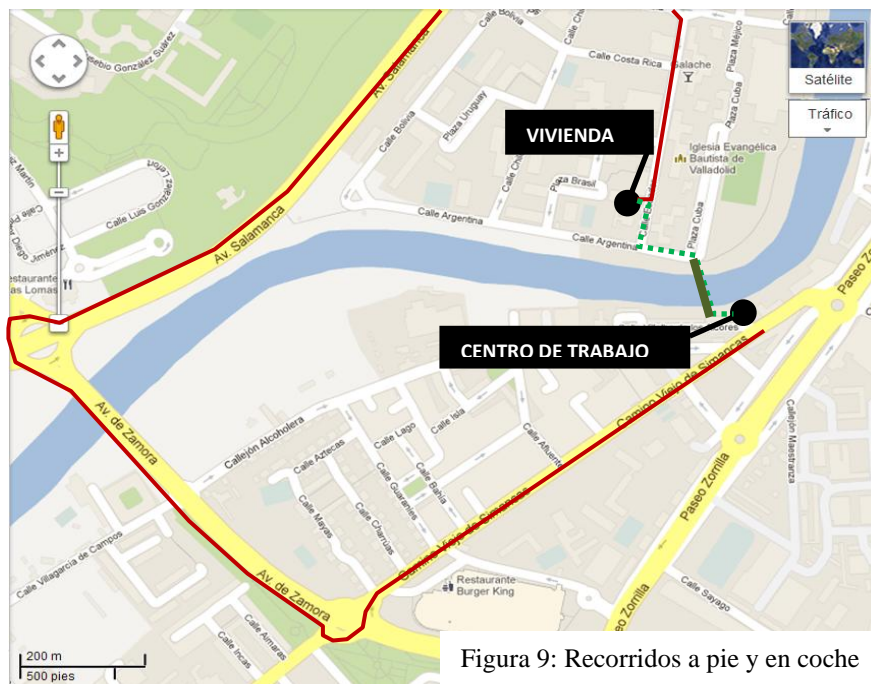


Figura 9: Recorridos a pie y en coche

A lo largo de los años ciertas empresas han costeado de su bolsillo obras urbanas para facilitar el acceso a las plantas de trabajo, así fue el caso de Michelin en Valladolid, quien se costeó la pequeña raqueta que da acceso a sus instalaciones a pesar de que ella está fuera de las mismas. Otro ejemplo destacable es el de la pasarela peatonal que une Palmas Altas con Los Bermejales construida por la sociedad Centro Tecnológico Palmas Altas S.A. -gestora de la sede central de la multinacional hispalense Abengoa- para conectar dichas instalaciones con el entorno urbano de Los Bermejales (Sevilla), salvando el trazado de la autovía SE-30. Así inciden en que este nuevo acceso hará posible un desplazamiento "más cómodo, seguro y sostenible" de los empleados a la ciudad y al centro de trabajo beneficiando a más de 2.500 trabajadores.



El problema vibratorio que estamos tratando queda claramente encapsulado no solo como un problema de ámbito higiénico, ergonómico, o de seguridad sino como algo que tiene una planificación (estudio para su ubicación) y por tanto una gestión tanto previa como continua en el control de estas vías de accesos, para lograr así, que los problemas vibratorios que reducen el confort, la coordinación de los usuarios y que podrían provocar caídas, o simples malestares generales, tanto en estas estructuras como en otras ya comentadas, sean primero reconocidas y segundo atajadas.



Figura 10: Pasarela Peatonal Pedro Gómez Bosque (PPGB)

La estructura de estudio elegida como banco de ensayos para tal fin ha sido la pasarela colgante “Doctor Pedro Gómez Bosque (Valladolid)”, proyectada por Carlos Fernández Casado, Oficina de Proyectos y C.I.C. La pasarela cruza el río Pisuerga a su paso por Valladolid, entre los barrios de Arturo Eyries y La Rubia, inaugurada en el año 2011 enmarcado dentro de la tipología de “banda tesa”. Está formada por una pletina de acero de 30 milímetros de espesor, de unos 4 metros de anchura transitable y 94 metros de longitud. Una representación de su sección transversal se muestra en la figura 11.

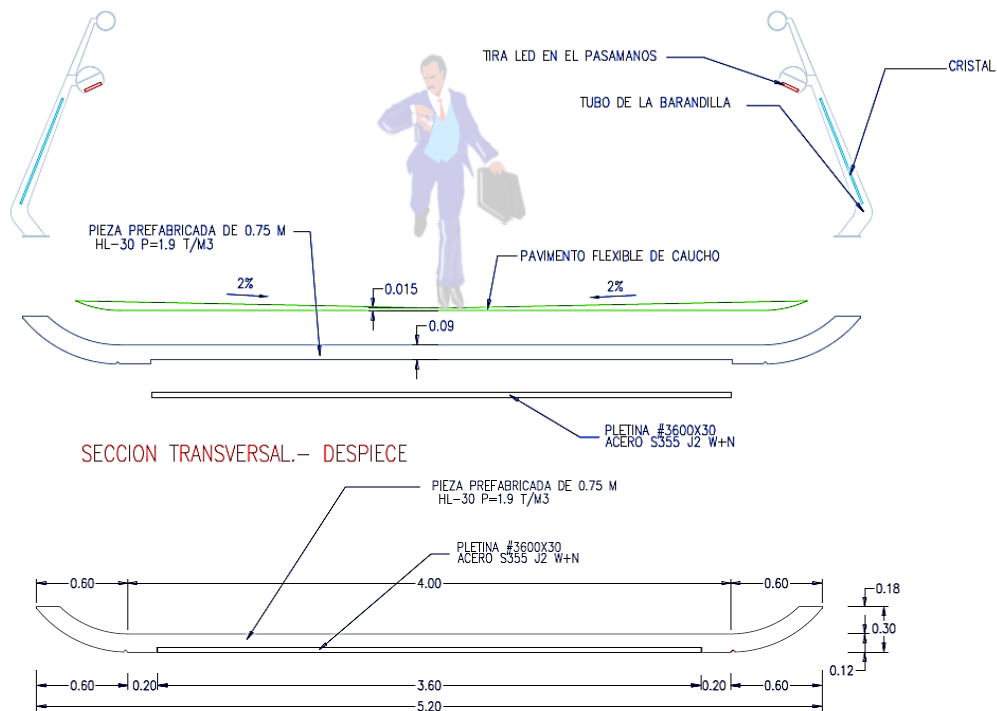


Figura 11: Sección transversal de la pasarela

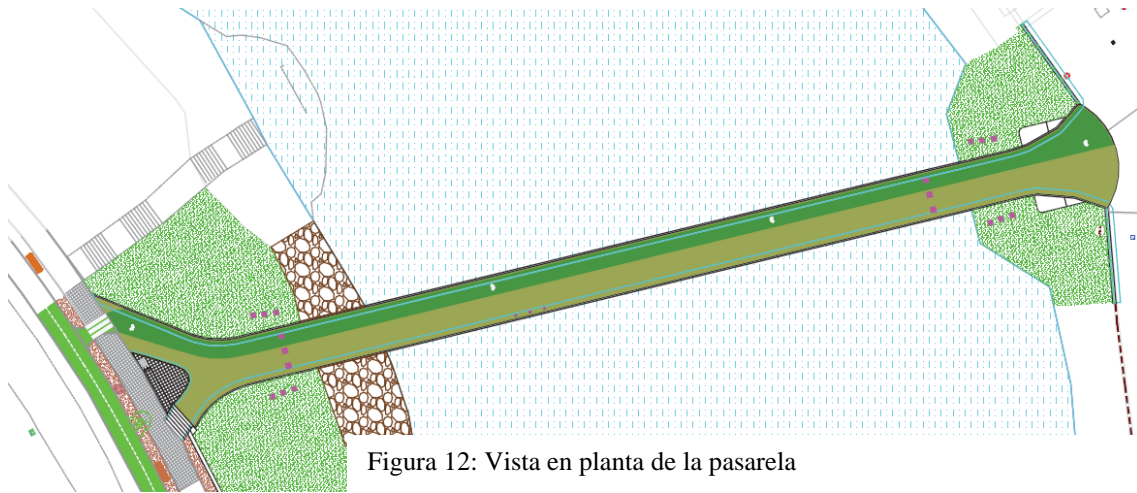


Figura 12: Vista en planta de la pasarela

Por medio de un procedimiento OMA se analiza la pasarela, obteniendo varios modos de vibración que pueden ser excitados por el tránsito de los usuarios, destacando el primer modo de flexión a 0.85 Hz, el segundo a 1.38 Hz y el tercero a 1.76 Hz. Habida cuenta que la frecuencia normal del paso humano está en el rango entre 1.6 y 2.2 Hz, pueden aparecer amplitudes apreciables al caminar en torno a 1.76 Hz, al excitarse con facilidad el correspondiente modo de flexión vertical.

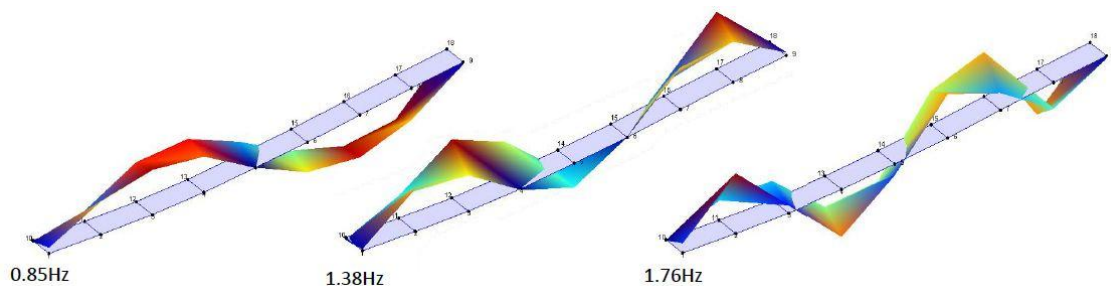


Figura 13: Frecuencias y deformadas

En algunas normativas, recomendaciones y guías de diseño se dan pautas para estimar esta incomodidad mediante distintos indicadores, si bien su utilidad es limitada al depender de distintos factores, algunos difícilmente cuantificables y otros incluso subjetivos.

No todos los seres humanos perciben movimientos, oscilaciones o/y vibraciones de igual forma. Hay diferencias en frecuencias, duración, condiciones de contacto y amplitudes umbrales que se manifiestan de distintas maneras. En ello influyen las características psicossomáticas de cada individuo, la información percibida por otros sentidos y la existencia o no de otros estímulos o vibraciones enmascarantes. En la Tabla 1 se clasifican y enumeran, entre otros, distintos factores que pueden intervenir.

Factores físicos	-Características estructurales, (estáticas y dinámicas como rigidez, frecuencias propias, modos, amortiguamientos y masas modales) -Número de usuarios y actividad de los mismos (andar, correr, ...) -Tipo de pavimento
Factores fisiológicos del viandante	-Biomecánica y Biometría (sexo, constitución, peso, ritmo, características conductuales, sensibilidad sensorial, ...) -Postura, tipo de calzado, si va cargado o no, ... -Tiempo de exposición
Factores psicológicos	-Estado de ánimo -Movimiento esperado o no -Comentarios de otros usuarios -Indicios visuales (transparencia y altura de las barandillas y vallas de protección, altura sobre el suelo, cercanía de otras construcciones, ...) -Preocupación por la integridad estructural

Tabla 1: Factores que pueden afectar a la percepción de la incomodidad



Por tanto es difícil estimar la adecuación en servicio en las etapas de diseño y cálculo por simulación y en ocasiones, tras la construcción de la pasarela, podrían ser necesarias intervenciones correctoras para limitar los movimientos que experimenta ante cargas normales de uso. Entre los factores que deben ser tenidos en cuenta se tiene el número de usuarios, su actividad (parados, andar, correr,...) y el ritmo de la misma, la flexibilidad del pavimento, el tipo de barandillas y la visibilidad a través de ellas, la altura sobre el suelo, la previsión del movimiento esperado por el usuario, etc.

En este trabajo se valoran estadísticamente los resultados de una encuesta sobre la percepción de las vibraciones en la pasarela peatonal escogida, cuya superficie transitable entra en resonancia con el paso de los peatones que la transitan. Se han realizado ensayos con un conjunto significativo de usuarios, quienes han respondido a una encuesta con el fin de recopilar datos sobre la cuantía en que se perciben las vibraciones de la propia pasarela. Se realizó un estudio estadístico que permite valorar la relación entre características dinámicas y la comodidad de sus usuarios en cuanto a la percepción de vibraciones.

2- JUSTIFICACIÓN

3) Objetivo General

Con el conocimiento adquirido de los análisis realizados, se determina de una manera real, un modelo simplista sobre la confortabilidad del usuario ante las vibraciones de una estructura excitable con su propio paso. Este trabajo puede servir como referencia aplicable para los tránsitos a través de las superficies soportantes sobre las que anden las personas para valorar si es necesario tomar alguna estrategia para evitar problemas de vibraciones de baja frecuencia producto de la excitación humana. Tales acciones correctoras serían:

- (1) rigidizar la estructura, lo que suele conllevar modificaciones y gastos económicos importantes.
- (2) aumentar la masa de la estructura para reducir los factores dinámicos.
- (3) aumentar el amortiguamiento de la estructura mediante equipos/amortiguadores externos.

Considerando que rigidizar o incrementar la masa de una estructura es complicado y puede involucrar cambios estructurales y no estructurales, la última opción parece la más adecuada si se pretende mejorar la respuesta dinámica de cualquier estructura. Para añadir amortiguamiento se pueden instalar amortiguadores entre dos puntos de la estructura con desplazamiento relativo entre ellos o emplear otras estrategias. Se presenta la implementación de un absorvedor pasivo de vibraciones basado en una masa inercial (TMD, "Tuned Mass Damper") (fig.14) implementado en uno de los vanos de la Pasarela de Museo de la Ciencia (PMC) de Valladolid. En el apartado 10.1 se aportará más información referente a esta medida correctora.



Figura 14: TMD instalado en la pasarela



3- METODOLOGÍA

1) Instrumentación



Las normas sobre instrumentación hacen referencia a las características de los equipos, sistemas de medida, adquisición, analizadores de vibraciones y sensores, empleados en la medida y análisis de vibraciones. Engloban aspectos muy diversos como calibración, pruebas de seguridad, temperatura, etc. Al mismo tiempo, es importante destacar el hecho de cómo hay que cuidar particularmente el aspecto de los sensores, si se piensa utilizar el aparato en zonas potencialmente explosivas (es decir, en estos casos, tanto el aparato como el sensor han de ser intrínsecamente seguros). Algunas de las normas más habituales que suelen cumplir los aparatos y sensores de medida pueden ser las denominadas como: IEC, MIL y CISPR.

Entre las normas nacionales, destacar las siguientes:

- UNE 21 328 75 (1) “Características relativas a los transductores electromecánicos, medida de choques y vibraciones”.
- UNE 21 328 75 (2) “Captadores de vibraciones y elementos sensibles empleados en estos captadores”.
- UNE 95 010 86 “Vibraciones y choques, terminología”.

A su vez, entre las normas ISO cabe mencionar la ISO 2954 “Vibración mecánica en maquinaria rotativa y alternativa – Requerimientos para los instrumentos de medida de la severidad de vibración”.

No obstante, es importante constatar como un número importante de aparatos de medida de vibraciones no cumple, en general, ninguna norma internacional. En la mayor parte de los casos, se confía en el renombre de ciertas marcas como garantía suficiente.

Respecto a la forma de medida, la norma de referencia es la UNE EN ISO 8041 de 2006 “Respuesta humana a las vibraciones-Instrumentos de medida” que anula y sustituye a UNE ENV 28041 de 1994. Una evaluación de estas características, requiere de la utilización de diverso equipamiento especializado de alta precisión y para ello es necesaria una homologación del producto con evaluaciones patrón, y verificaciones periódicas que por supuesto cumplen los equipos usados del Centro Tecnológico CARTIF. Según la norma para realizar las mediciones se pueden usar equipos especializados como los vibrómetros que ponderan en frecuencia dando por pantalla la medida requerida o con analizadores multicanal y un post procesado en PC para ponderar y analizar, que es lo que se ha realizado en este caso haciendo uso de los siguientes elementos:

Cámara de grabación de video más trípode

Metronomo

Sistema de adquisición multicanal MGCplus de HBM

Portátil con Software de análisis de datos y visualización CATMAN

Acelerómetros IEPE con soporte regulador

- Masa: 50 g
- Sensibilidad: 120mV (m/s^2)
- Frecuencia de resonancia: 2.5 kHz
- Rango de medida: $\pm 49 m/s^2$



Figura 15: Equipos



Antes de empezar con la toma de medidas es necesario seleccionar, para cualquier situación, los puestos más susceptibles de presentar vibraciones mecánicas. En este estudio hemos posicionado el acelerómetro (punto rojo) como vemos en el siguiente dibujo a unos 28 metros desde el Barrio de la Rubia.

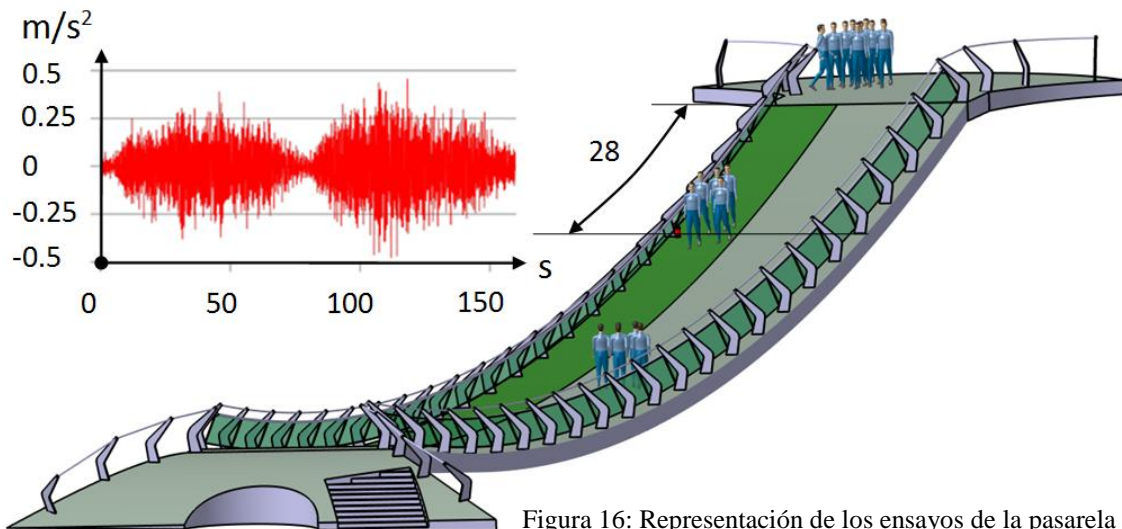


Figura 16: Representación de los ensayos de la pasarela

Esta posición del acelerómetro ha sido determinada gracias a estudios previos sobre el comportamiento modal de la estructura. Estos estudios están basados en análisis modales operacionales, consistentes en la disposición de acelerómetros en diferentes posiciones de la pasarela y siempre uno fijo. Estas medidas son analizadas luego con diferentes softwares y sus respectivas licencias para el estudio de las frecuencias y de los modos propios de la estructura como son Sigview y ARTeMIS.

Por último en este apartado comentar algunos aspectos en la preparación y montaje del equipo, como son la correcta posición del acelerómetro, para lo que hemos usado el soporte regulador y el sincronizado de las medidas con el video para conocer en todo momento la ocupación y la actividad realizada en relación a las medidas registradas por el acelerómetro el cual se ha posicionado de tal forma que registrase las aceleraciones verticales por ser los modos de flexión que se han analizado anteriormente, los que están dentro del rango de excitabilidad con el paso humano.

3- METODOLOGÍA

2) Ensayos

Ya se ha indicado el uso de encuestas y por tanto se ha de agradecer la colaboración y entusiasmo a todos los encuestados.

El número de encuestados fue de 57, y el grupo fue reclutado gracias a la colaboración del director de la División de Ingeniería Mecánica de CARTIF y de la EII de la UVa quien congregó a sus alumnos para la realización de dichos ensayos.

Con la finalidad de recoger de forma rápida las impresiones de los encuestados tras cruzar la pasarela, se ha elaborado un formulario en el que se recogen tanto los datos físicos de cada individuo (peso, altura, edad, sexo, tipo y talla de zapato y si llevaban o no equipaje) como su valoración en cuanto a la confortabilidad de la marcha durante los aproximadamente dos minutos y medio que se tarda en cruzar la pasarela (ida y vuelta).

Para facilitar al encuestado la identificación de las posibles sensaciones y tratando de estandarizar las distintas valoraciones se han definido 10 niveles, ponderados progresivamente de 0 a 9 como se ve en el cuestionario “tipo” que se adjunta a continuación (fig.17) y que fue repartido entre dichos alumnos. Los ensayos se realizaron a lo largo de una jornada (mañana) y tras cada paseo se anotó la hora para poder correlacionar la valoración del encuestado con la aceleración promedio de la pasarela durante el tiempo de tránsito correspondiente.



		#1																			
<p>Encuesta sobre percepción de vibraciones por los peatones Pasarela Peatonal PEDRO GÓMEZ BOSQUE</p>																					
Fecha	Mañana																				
	Tarde																				
Altura:	cm	Tipo de calzado. nº de pie																			
Peso Masa:	Kg	bolso o mochila(Kg)																			
		Hombre																			
		Mujer																			
Zapatillas, Zapatos, Botas, Tacones,...																					
0 → Imperceptible. 1 → Se nota solo si me fijo. 2 → Se nota, pero no desvía mi atención. 3 → Se nota, pero no me impide andar con normalidad. 4 → Se nota apreciablemente. Digno de comentar.		5 → Empieza a resultar incómodo al andar. 6 → Necesito adaptar mi paso en algunos momentos. 7 → Adapto mi paso y procuro cruzar cuanto antes. 8 → Sensación de inseguridad. Deseo salir cuanto antes. 9 → Intolerable. Me pienso en dar la vuelta.																			
Paseo 1	Carril Peatonal									Carril Bici											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Figura 17: Formato de la encuesta

La realización de los ensayos consistió en atravesar la pasarela de un extremo al otro y vuelta al mismo extremo. Se realizó tanto en grupos, de diversos tamaños, como de forma individual. En todos los casos, la pasarela permanecía abierta al público y los encuestados caminaban a su propio ritmo de paso. Esto supone que la ocupación registrada mediante video no concuerda con el número de valoraciones en ciertos paseos, como veremos más adelante en los resultados. La siguiente figura muestra varios de esos instantes durante los paseos.



Figura 18: Instantes durante los ensayos





4- ANTECEDENTES NORMATIVOS

A falta de más concreción, ISO10137/2007 establece, para aceleraciones verticales (a_v) y horizontales (a_H), los umbrales de percepción de la figura 19 y aconseja que no se exceda 30 veces dicho umbral para aceleraciones horizontales o para verticales donde por alguna razón sea importante garantizar la comodidad de las personas paradas sobre la superficie vibrante. Para peatones circulando se establece el límite de las vibraciones verticales en 60 veces dicho umbral.

Sin embargo, estas disposiciones son muy simplistas, entre otras razones debido a que el contenido en frecuencias de la oscilación de pasarelas y forjados es múltiple, y por tanto se hace necesario obtener algún indicador ponderado.

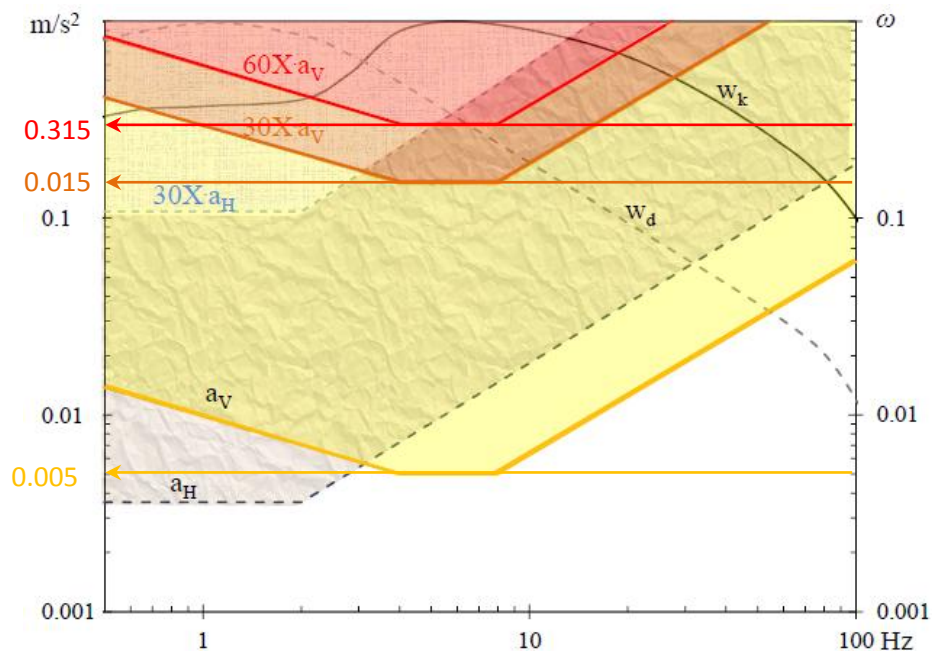


Figura 19: Umbral de percepción, funciones de ponderación y límites admisibles, según ISO10137/2007

Si la percepción de la vibración se relacionara con una única propiedad física, los umbrales podrían ser valores concretos definidos, pero al intervenir varias magnitudes se suelen expresar gráficamente en forma de mapas de percepción equivalente (líneas o superficies). Diversos estudios indican que la comodidad depende no solo de la amplitud de la vibración sino también de su frecuencia. Reiher y Meister, fueron los primeros investigadores en establecer, en 1931, el concepto de contornos de confort equivalentes. La cuantificación de la amplitud se puede hacer en términos de cualquier magnitud cinemática (desplazamiento, velocidad, aceleración, etc.)

Generalmente se usa la aceleración, por ser fácilmente medible, y más con el desarrollo de modernos acelerómetros. Tampoco es complicado, mediante analizadores de señales, determinar la frecuencia de una determinada oscilación.

Realmente la comodidad no se puede medir directamente y para su cuantificación hay que recurrir a modelos que tengan en cuenta no solo parámetros físicos sino también percepciones subjetivas. De hecho lo que generalmente se mide es incomodidad, siendo la comodidad ausencia de incomodidad. Cuando una persona está cómoda puede dedicar toda su atención a la actividad que quiera llevar a cabo (hablar, leer, usar el móvil,...). Según cuando empiecen a percibirse las vibraciones y cómo afecten a la actividad, así se podrán clasificar en más o menos incómodas. Entre las metodologías existentes para evaluar la incomodidad cabe destacar las subjetivas donde el usuario informa sobre sus percepciones, tras ser preguntado o encuestado y las basadas en la observación, por expertos, del comportamiento de los usuarios, buscando indicios como cambios posturales, cambios de ritmo del paso, apoyo en las barandillas, etc. que informen sobre la incomodidad. Ambos métodos se suelen complementar con



mediciones instrumentales de la aceleración del suelo, de los miembros del cuerpo, del ritmo cardíaco, etc. También hay posibilidad de hacer experimentos en distintos entornos, desde usuarios no informados sobre estructuras reales hasta voluntarios entrenados sobre modelos controlados en laboratorio.

Fairley y Griffin proponen el concepto de “ponderación por frecuencia”, donde para cada frecuencia se determina el valor ω por el que debe ser multiplicada la amplitud para ser percibida de forma similar. Estos valores están incluidos en la figura 19 tanto para movimientos verticales como horizontales. Matemáticamente la técnica consiste en invertir los contornos de sensación equivalente y normalizarlos por una constante arbitraria. Esta técnica es la usada en las normas BS6841 (1987), ISO2631-1(2008) o ENV12299 (1999), entre otras. Los valores de ponderación están evaluados sometiendo a los sujetos a un barrido en frecuencia de vibraciones senoidales de amplitud creciente. Con esta información las normativas proponen limitaciones sobre la exposición del cuerpo a vibraciones, en amplitud, frecuencia y duración. Resumidamente, a modo de ejemplo, en la sección 6 de ISO-2631-1 se proporciona un método de evaluación de la incomodidad para gente expuesta a vibraciones (propias del desempeño de determinados trabajos o del uso de medios de transportes), bien sean puramente senoidales, simplemente periódicas, aleatorias o transitorias.

Se obtiene el valor a_ω ponderando la aceleración en cada frecuencia (mediante una convolución) y dirección por los distintos pesos ω . Tras ello se evalúa el valor cuadrático medio (rms), también conocido como valor eficaz, en esa dirección (X frontal, Y lateral o Z vertical) durante un determinado tiempo T mediante:

$$a_\omega = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_\omega(t)^2 dt \right]^{1/2} \tag{1}$$

y con estos valores se calcula el “valor de vibración total” a v_{TV} a través de

$$a_{vTV} = (k_x^2 a_{\omega_x}^2 + k_y^2 a_{\omega_y}^2 + k_z^2 a_{\omega_z}^2)^{1/2} \tag{2}$$

Valor recomendado para medir el bienestar según ISO 2631-1 8.2, donde los multiplicadores k_x , k_y y k_z dependen de la postura del individuo y de su actividad. Para gente a pie todos valen la unidad. Este valor a_{vTV} es el que se compara con los límites de la figura 20 para cuantificar la sensación de incomodidad. Nótese que el umbral de percepción en el rango (0.5 ÷ 80 Hz) en dirección vertical, que es la que se va a evaluar en la estructura de estudio de este supuesto, está establecido según gráfica 1 en 0.005 m/s^2 . En la valoración práctica de la exposición de vibraciones que afectan a todo el cuerpo se tienen en cuenta tres criterios fisiológicos fundamentales.

a) El primero es el límite de la capacidad de trabajo reducida por fatiga. Se dan los límites de aceleración en función de la frecuencia y del tiempo de exposición para valorar la capacidad de trabajo reducida por fatiga (de interés) para tiempos de exposición diarios entre un minuto y 24 horas, para ejes verticales y transversales.

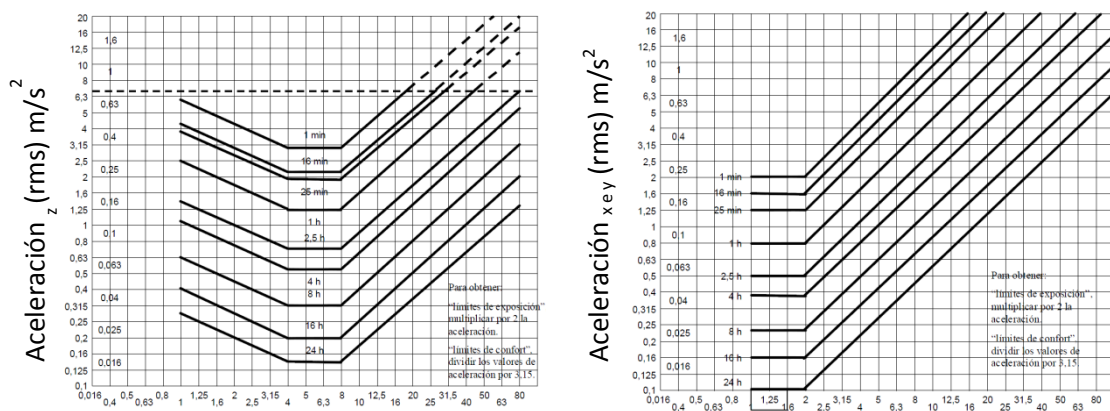
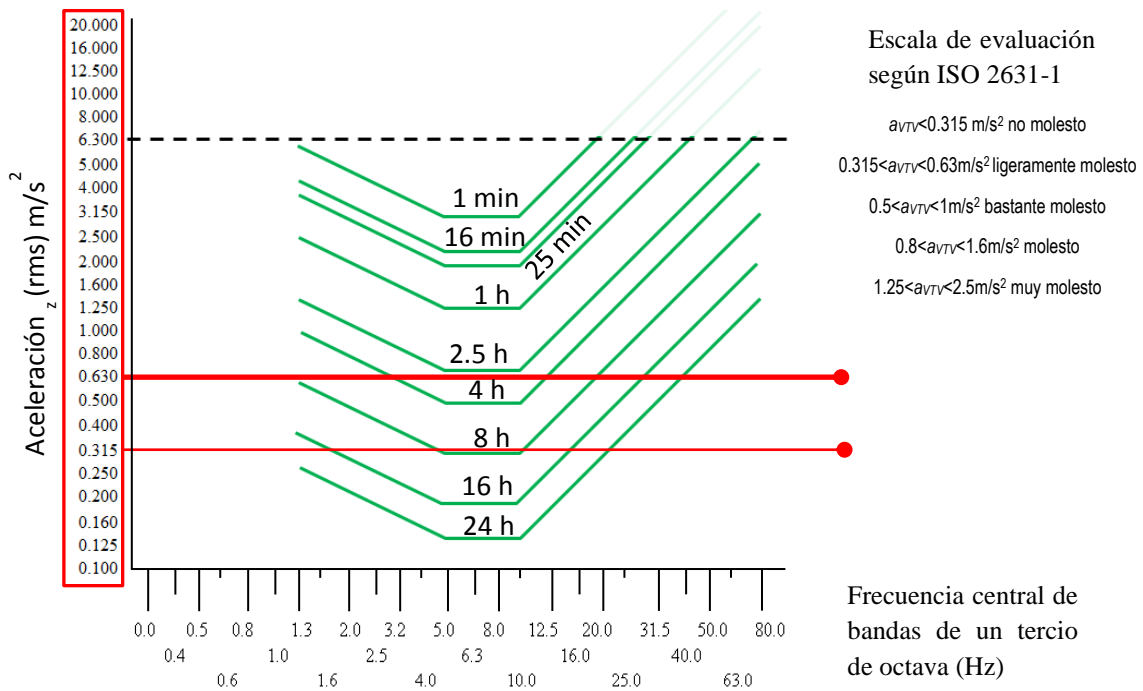


Figura 20: Frecuencia central de bandas de un tercio de octava (Hz)



Para el caso que se está tratando, se considera únicamente las aceleraciones verticales, por tanto ampliando figura 20 correspondiente a la dirección vertical y notando que al someter a evaluación únicamente la aceleración vertical el a_{vTV} es realmente a_w .



b) Límite de exposición. Se pretende asegurar la salud y seguridad del trabajador. Se calcula multiplicando por 2 los límites de capacidad de trabajo reducido por fatiga o aumentándolos en 6 dB.

c) Límite de confort reducido. Se pretende asegurar una comodidad mínima, se calcula dividiendo entre 3.15 el correspondiente límite de capacidad de trabajo reducida por fatiga, o disminuyendo 10 dB.

Aunque en la expresión (2), para vibraciones en varios ejes, se consideran solamente frecuencias y amplitudes, hay estudios que revelan que también habría que tener en cuenta la fase. En la propia norma se comenta la dificultad de aplicar esta metodología cuando las excitaciones no son armónicas. Cuando el movimiento es aleatorio en vez de senoidal, a igualdad de valores rms, hay mayor percepción de incomodidad, resultando aún mayor si tiene transitorios y golpes bruscos. Es por ello que en estos casos se proponen otras expresiones como el valor de la dosis de vibración “VDV” (vibration dose value, $\text{m/s}^{1.75}$) o valor máximo de la vibración transitoria “MTVV τ ” (maximum transient vibration value, m/s^2) definidas mediante:

$$VDV = \left[\int_0^T a_w(t)^4 dt \right]^{1/4} \quad MTVV_\tau = \max \left\{ \left[\frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} a_w(t)^2 dt \right]^{1/2} \right\}_{t_0=\tau..T} \quad (3)$$

Donde τ es el tamaño de la ventana de integración, cuyo valor recomendado es de 1 s. Cuanto menor es τ , más se aproxima MTVV τ al pico máximo ponderado. Se recomienda el uso de estos nuevos indicadores cuando $MTVV_\tau > 1.5 a_{vTV}$ o $VDV > 1.75 a_{vTV} T^{1/4}$. A modo de ejemplo, para trabajos sedentarios en jornada de 8 h, por debajo de $VDV = 0.13 \text{ m/s}^{1.75}$ no aparecerían quejas, hasta $0.26 \text{ m/s}^{1.75}$ sería aceptable y por encima de $0.51 \text{ m/s}^{1.75}$ molesto, aunque para actividades a pie o uso de maquinaria, la norma ISO2631 no exige medidas protectoras por debajo de $8.5 \text{ m/s}^{1.75}$. MTVV τ está más indicado para actividades donde son probables impactos o impulsos repentinos, definiéndose sus valores de referencia según cada actividad.

Otros autores proponen promedios potenciales del tipo:



$$rm\lambda = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_{\omega}(t)^{\lambda} dt \right]^{1/\lambda} \quad (4)$$

Donde en función de la actividad del usuario receptor se especifican valores concretos de λ , usualmente entre 3 y 4. De nuevo, cuanto mayor es λ , más se tienen en cuenta los valores máximos. La existencia de esta variedad de indicadores revela que no hay consenso en la comunidad científica sobre cómo cuantificar las variables cinemáticas responsables de la incomodidad inducida por las vibraciones. Aplicado a pasarelas, hay quienes incluso consideran que la frecuencia no afecta a la percepción de incomodidad, habida cuenta de que las cargas de uso (viandantes) son predominantemente aleatorias y no predomina la respuesta libre sino la transitoria, también aleatoria. A diferencia de otras fuentes de incomodidad (trabajo con herramientas, usuarios de vehículos, etc.) en estructuras como pasarelas los ocupantes sienten fundamentalmente los mayores valores pico de la aceleración a_{max} , tendiendo a olvidar valores menores.

A parte de la complejidad de la propia vibración de entrada, conteniendo varias direcciones, frecuencias y fases, hay que tener en cuenta que se transmiten en cada sujeto de forma distinta, interactuando, filtrándose y amortiguándose de los pies a la cabeza en función de la constitución de cada persona. Surge adicionalmente la duda de dónde medir y cómo promediar.

Existen varias guías y recomendaciones con indicaciones específicas para los diseñadores sobre la respuesta dinámica admisible en pasarelas. En casi todas ellas se indican rangos no deseables en las frecuencias naturales, para evitar resonancias con las frecuencias normales de la marcha humana, y límites máximos de la aceleración bajo cargas definidas. En la Tabla 2 se resumen las indicaciones más relevantes de algunas de ellas.

Normativas	Frecuencias críticas (Hz)		Aceleraciones máximas de confort (m/s ²)	
	Vertical	Lateral	Vertical	Lateral
ISO 10137 [18]	1.7÷2.3		60X umbral vertical	30X umbral horizontal
Eurocódigo (ENV1995)	<5	<2.5	0.7	0.2
RPX95, (España)			0.5, 0.5 $\sqrt{f_v}$	
EAE 2011(España)	1.6÷2.4 3.5÷4.5	0.6÷1.2	min(0.5, 0.5 $\sqrt{f_v}$, 0.7)	0.2 (0.4)
BS 5400 (Reino Unido) [19]	<5		0.5, 5 $\sqrt{f_v}$	
Din102 (Alemania) [20]	1.6÷2.4 3.5÷4.5		0.5, 5 $\sqrt{f_v}$	
SETRA (Francia)	1.0÷5.0		0.5, 1.0, 2.5	0.15, 0.3, 0.8

Tabla 2: Frecuencias críticas y valores de aceleración máxima de confort

Así, por ejemplo siguiendo el eurocódigo, si la pasarela no tiene frecuencias naturales menores de 5 Hz en la dirección vertical se puede considerar que es adecuada al uso y no son necesarias comprobaciones adicionales. En direcciones transversales o torsionales, el rango a evitar está por debajo de 2.5 Hz. Pero es difícil, con diseños resistentes racionales, no tener ninguna frecuencia natural significativa en los rangos indicados. En este caso, hay que garantizar que las aceleraciones máximas en condiciones normales de uso (entre 0.1 y 0.5 viandantes por m²) no superan ciertos valores límite. El eurocódigo establece 0.7 m/s² para vibraciones verticales y 0.2 m/s² para las laterales. Estos límites, en algunas normativas, se imponen en función de f_v , siendo f_v la frecuencia natural de la estructura en dirección vertical más susceptible de ser excitada por los viandantes (andando o corriendo).

En España, las únicas referencias normativas al respecto se recogen en las recomendaciones RPX, donde se establece como aceleración vertical máxima el valor de 0.5 $\sqrt{f_v}$ m/s² en zonas transitables por peatones. Para las frecuencias habituales en puentes multiuso (calzada central para vehículos y laterales para peatones) se suelen clasificar las vibraciones como ligeramente perceptibles por debajo de 0.034 m/s², hasta 0.1 m/s² como claramente perceptibles, hasta 0.55 m/s² como molestas y hasta 1.8 m/s² como intolerables. Valores superiores deberían evitarse. La reciente Instrucción de Acero Estructural se limita a indicar que se deben evitar frecuencias verticales en los rangos (1.6 Hz, 2.4 Hz) y (3.5 Hz, 4.5 Hz) y que



en caso de no ser posible, no se superen los $0.5\sqrt{f_v}$ o los 0.7 m/s^2 cuando sea transitada por un único peatón andando o corriendo. En la dirección horizontal el rango de frecuencias a evitar es $0.6 \text{ Hz} \div 1.2 \text{ Hz}$ y que no se superen los 0.2 m/s^2 o, excepcionalmente, los 0.4 m/s^2 .

En la guía francesa SETRA, enfocada específicamente hacia pasarelas ligeras, se definen 4 rangos de frecuencias según el riesgo asumible y se establecen tres niveles de confort en función de las aceleraciones máximas, si bien la adecuación al uso de la pasarela depende del tráfico peatonal esperado. Para movimientos verticales, el confort es máximo por debajo de 0.5 m/s^2 , medio entre 0.5 y 1.0 m/s^2 y mínimo entre 1.0 y 2.5 m/s^2 . Por encima de 2.5 se considera inaceptable. Para movimientos laterales los límites son 0.15 , 0.30 y 0.80 respectivamente. Los rangos según las frecuencias en la dirección vertical son: poco riesgo entre 2.6 y 5.0 Hz , riesgo medio entre 1.0 y 1.7 y entre 2.1 y 2.6 Hz y alto riesgo entre 1.7 y 2.1 Hz . En la dirección lateral son: bajo entre 1.3 y 2.5 Hz , medio entre 0.3 y 0.5 y entre 1.1 y 1.3 y alto entre 0.5 y 1.1 Hz .

Estas aceleraciones son difíciles de estimar en etapas de diseño. A la dificultad de estimar las excitaciones (según el número y actividad de usuarios de la pasarela) se añade la usual complejidad estructural y la difícil estimación de las propiedades dinámicas de los materiales en servicio, incluyendo cimentaciones, condiciones de apoyo, efecto de las barandillas, del pavimento, de la existencia de bancos, farolas, etc. Aun así muchas de estas normativas indican métodos aproximados para estimar estas aceleraciones.

Más allá de estos métodos aproximados podría intentarse una simulación mediante métodos numéricos como el Método de los Elementos Finitos. Aunque la capacidad de cálculo computacional es alta, para la resolución del problema dinámico se necesitan datos que no siempre son fáciles de estimar en la etapa de diseño. Algunos de estos parámetros son críticos, como el amortiguamiento estructural, pudiendo resultar que a pesar de que las estimaciones hayan sido satisfactorias, tras la construcción la estructura tenga problemas funcionales (por el excesivo movimiento) que demanden rediseño o medidas correctoras.

Hay que tener en cuenta que además puede haber comportamientos de interacción y propiedades locales que no pueden ser incorporadas en el modelo de forma sencilla. Así, pudiera ocurrir que una determinada pasarela tenga dos pavimentos distintos, uno rígido (en la zona del carril bici, por ejemplo) y otro flexible (aglomerado de caucho) en la zona peatonal. A pesar de que el comportamiento estructural es exactamente el mismo, las sensaciones percibidas por un viandante son distintas dependiendo de si está en la zona de pavimento rígido o en la de flexible.





5- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Dada la esbeltez de la pasarela y su débil rigidez a flexión, responde de forma significativamente distinta en función del número de usuarios. Por ello se han definido diferentes grupos de personas con la finalidad de estudiar la influencia de la variable “ocupación”. Además, a fin de obtener unos resultados realistas en condiciones normales de uso, no solamente se ha mantenido la pasarela abierta al público sino que los grupos podían transitar simultáneamente por ambos carriles y en cualquier dirección. Independientemente de si los paseos eran individuales o en grupo, cada cuestionario se rellenó tras la finalización de los mismos de forma individual. Además, a través de la grabación de video se obtuvo, por conteo visual, la ocupación del puente para cada franja temporal. El número total de cuestionarios recopilados fue de 477 distribuidos como indicamos a continuación con la tabla 3 “registros”.

	H _R	m _V	T _U	T _E	V _E	\bar{x}	σ^2	σ
9.12	2	6	5	0 3 0 1 1		1.00	1.20	1.10
9.14	4	7	5	3 1 2 0 1		1.40	1.04	1.02
9.15	5	7	5	2 3 0 3 0		1.60	1.84	1.36
9.16	6	7	5	1 2 1 1 2		1.40	0.24	0.49
9.17	7	7	5	6 3 2 2 3		3.20	2.16	1.47
9.19	9	7	5	0 0 1 0 0		0.20	0.16	0.40
9.20	10	11	5	1 0 1 1 0		0.60	0.24	0.49
9.21	11	10	5	0 4 0 3 3		2.00	2.80	1.67
9.24	14	10	5	0 0 3 0 0		0.60	1.44	1.20
9.26	16	14	10	4 8 5 3 3 4 3 4 3 3		4.00	2.20	1.48
9.27	17	10	9	4 3 7 8 5 3 4 4 2		4.44	3.36	1.83
9.39	29	14	14	2 3 3 2 3 3 3 3 2 6 2 3 2 4		2.93	1.07	1.03
9.42	32	17	17	1 1 7 7 7 4 6 2 3 6 6 7 3 3 5 5 1		4.35	4.82	2.19
9.43	33	31	14	3 3 1 4 2 3 3 4 3 3 3 3 2 2		2.79	0.60	0.77
9.44	34	32	17	3 3 2 2 2 4 4 4 2 4 3 3 3 3 3 3		3.00	0.47	0.69
9.45	35	16	14	4 7 2 2 6 6 6 5 3 3 6 3 4 3		4.29	2.63	1.62
9.48	38	34	15	3 3 1 3 3 3 4 3 2 2 2 4 4 2 3		2.80	0.69	0.83
9.50	40	26	26	2 7 7 6 3 4 3 4 4 5 3 4 5 3 3 4 4 3 2 3 3 3 3 4 3 3		3.77	1.64	1.28
9.52	42	51	22	4 4 4 2 7 4 6 7 5 6 4 4 4 4 3 4 4 3 3 7 3 4		4.36	1.87	1.37
9.56	46	27	26	6 4 4 4 7 5 7 7 7 6 4 4 7 4 6 3 4 3 4 6 6 4 4 4 5 5		5.00	1.69	1.30
9.57	47	53	24	1 3 3 3 4 4 5 4 4 5 2 1 1 3 4 3 2 2 4 3 2 4 3 3		3.04	1.29	1.14
10.01	51	28	26	7 8 8 5 2 3 4 4 4 4 1 0 4 6 6 4 4 2 6 4 3 4 4 4 4 3		4.15	3.44	1.85
10.02	52	52	22	1 2 4 4 4 2 6 6 6 2 3 2 3 3 2 2 3 4 5 4 4		3.41	1.97	1.40
10.06	56	28	25	4 3 4 5 5 4 1 4 5 5 4 4 4 2 4 2 2 3 3 5 6 3 4 5 3		3.76	1.38	1.18
10.12	62	59	57	2 4 7 8 6 6 8 8 6 8 5 4 5 5 5 5 3 5 5 5 5 5 3 3 5 7 6 5 8 6 5 3 4 5 5 7 4 7 5 5 5 1 5 3 4 4 8 6 4 5 4 6 4 5 3 3 5		5.05	2.44	1.56
10.17	67	48	47	1 3 5 4 6 6 6 7 6 2 3 4 2 4 5 3 4 4 5 3 3 2 2 3 6 5 5 9 6 2 5 3 6 4 6 4 5 4 2 3 3 4 4 7 1 7 5		4.23	2.99	1.73
10.25	75	37	33	8 7 9 8 9 8 9 9 9 9 6 8 7 8 8 8 8 8 9 9 9 7 7 8 8 6 6 7 7 9 8 8		7.94	0.84	0.92
10.32	82	15	14	8 9 7 7 6 6 8 8 8 8 8 8 9 7		7.64	0.80	0.89

Tabla 3: Registros

En todos los casos, los datos objetivos (comportamiento dinámico de la estructura y ocupación) han sido emparejados con los resultados de las encuestas para que correspondan al mismo instante temporal.

De la tabla resumen debemos destacar los hechos de que a las horas 09:17 y 09:21 las evaluaciones subjetivas fueran realizadas mientras los encuestados caminaban de forma conjunta en un mismo sentido, como un grupo, mientras que el resto de casos hasta el de las 09:24 inclusive, aunque caminaron en el mismo intervalo de tiempo, no lo hicieron ni en la mismo sentido ni en la misma zona.

A partir de las 09:24 los encuestados caminaron como grupo. Y en las últimas muestras 10:25 y 10:32 algunos alumnos fueron seleccionados para realizar una carrera al trote, mientras sus compañeros realizaban el paseo, siendo ellos los que contestaron a la encuesta. En el siguiente registro global (fig.17) de las aceleraciones se pudo vislumbrar la duración de los paseos, de las acciones, incluso en algún caso ver la ida y la vuelta del paseo. Como vemos la duración de los ensayos nos llevó aproximadamente poco más de 80 minutos sin contar la preparación y disposición del equipo de medida.

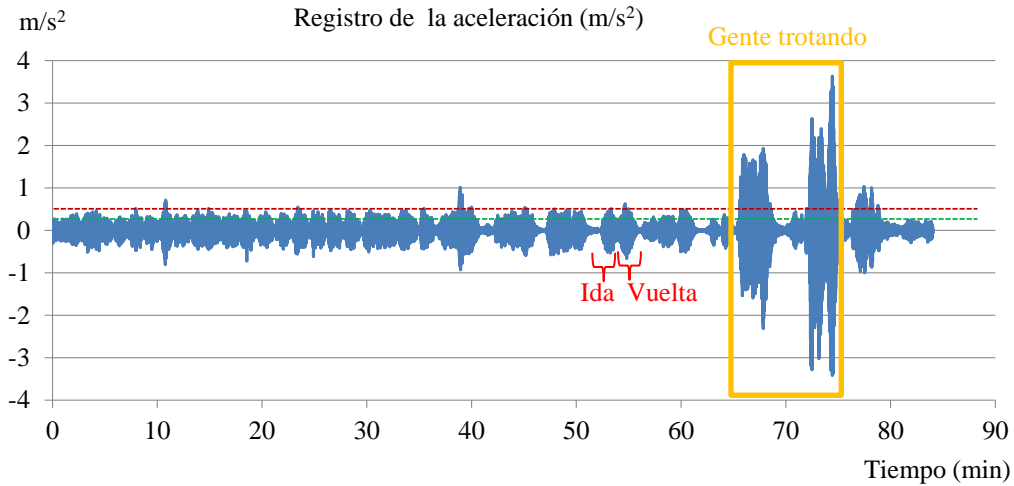


Figura 21: Registro de aceleración del ensayo

También se representa con líneas discontinuas los límites dados de la percepción aceptable (0.315 m/s^2), en verde, y del límite de confort (0.5 m/s^2), en rojo. La duración aproximada de cada paseo es de 165 s. Con este dato se ha delimitado los intervalos a analizar en el registro de aceleraciones, lo que se denomina “ventanas de estudio”.

Como se muestra en la figura 22 estas ventanas de dos minutos y medio son un intervalo de datos que se seleccionan para calcular los valores requeridos de la aceleración. Este intervalo se caracteriza por su ocurrencia, es decir, tiene lugar dos minutos y medio antes de las valoraciones (del 0 al 9) realizadas por los encuestados. Estableciéndose de esta forma un ajuste temporal entre los registros y las valoraciones personales. Entendiendo de esta forma que la valoración de la percepción es la que ha tenido lugar mientras se ha producido el paseo.

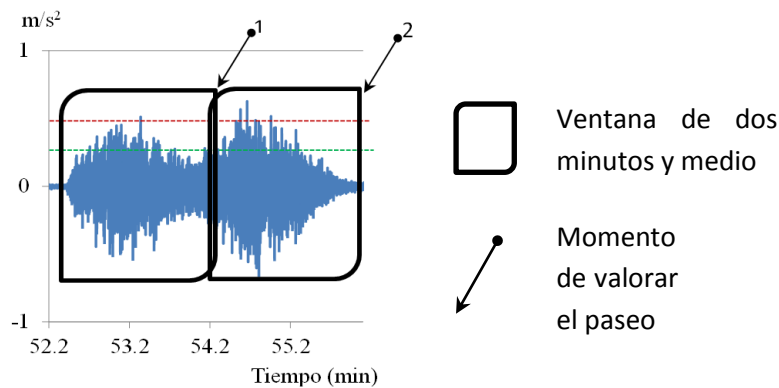


Figura 22: Registro de un paseo ida y vuelta

Para tratar de obtener una correspondencia con lo percibido por el usuario (valoración subjetiva) y con la idea comentada anteriormente se ha implementado mediante el programa Matlab una rutina que discretiza la señal en ventanas de dos minutos, como la señal de las aceleraciones fue registrada a una frecuencia de muestreo de 200 Hz, el número de datos por minuto es de 12000, por tanto para dos minutos el grupo de datos a los que se somete a operaciones para calcular valores, como valores eficaces y otros que hemos visto en el apartado de antecedentes, es de 24000.



```

1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2 % Programa: RMS_MTVV_VDV_norberto_PPGB.m
3 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
4
5 clear all
6 close all
7 clc
8
9 filename=uiigetfile({'*.txt'; '*.asc'; '*.mat'; '*.asc'; '*.*'});
10 registro=load(filename, '-ascii');
11 format long
12
13 [I] = meshgrid(1,1);
14
15 ax=input('¿acelerometro a evaluar (1Vmc=2, 2Hmc=3, 3Vmc=4, 4V1/4cb=5 ?): ');
16
17 for i=1:75 ;
18     tde=i+2;
19     |
20     acceleration2=registro(:,ax);
21     t0=registro(:,1);
22     tdei=(tde-2)*12000;
23     tdef=(tde)*12000;
24     t0= t0(tdei:tdef);
25     acceleration2=acceleration2(tdei:tdef);
26
27     plot(t0, acceleration2)
28
29     %fs=input('Frecuencia de muestreo: ');
30     fs=200;
31     %d=input('Decimation: ');
32     d=1;
33     %%%%%%%%%%%

```

Figura 23: Líneas de código del postprocesado (incluidas en Anexo)

Seleccionando aquellos resultados correspondientes a los momentos de valoración y reiterando que para la hora 09:12 (valoraciones subjetivas) los valores de cálculo son resultado de los 24000 datos analizados correspondientes entra los instantes 09:10 y 09:12 obtenemos:

H _R	m _V	T _U	T _E	a _{max}	RMS	RMS _w	MTVV	MTVV _w	\bar{x}	σ^2	σ
9.12	2	6	5	0.347	0.084	0.057	0.172	0.119	1.00	1.20	1.10
9.14	4	7	5	0.285	0.091	0.056	0.166	0.119	1.40	1.04	1.02
9.15	5	7	5	0.338	0.106	0.059	0.194	0.097	1.60	1.84	1.36
9.16	6	7	5	0.338	0.096	0.061	0.194	0.097	1.40	0.24	0.49
9.17	7	7	5	0.428	0.094	0.064	0.147	0.108	3.20	2.16	1.47
9.19	9	7	5	0.392	0.109	0.070	0.203	0.120	0.20	0.16	0.40
9.20	10	11	5	0.414	0.123	0.074	0.213	0.120	0.60	0.24	0.49
9.21	11	10	5	0.508	0.140	0.084	0.256	0.139	2.00	2.80	1.67
9.24	14	10	5	0.367	0.087	0.062	0.192	0.126	0.60	1.44	1.20
9.26	16	14	10	0.635	0.115	0.077	0.281	0.153	4.00	2.20	1.48
9.27	17	10	9	0.407	0.094	0.067	0.172	0.119	4.44	3.36	1.83
9.39	29	14	14	0.498	0.114	0.080	0.211	0.132	2.93	1.07	1.03
9.42	32	17	17	0.631	0.147	0.097	0.322	0.178	4.35	4.82	2.19
9.43	33	31	14	0.631	0.110	0.085	0.228	0.178	2.79	0.60	0.77
9.44	34	32	17	0.560	0.123	0.093	0.276	0.156	3.00	0.47	0.69
9.45	35	16	14	0.560	0.126	0.091	0.276	0.178	4.29	2.63	1.62
9.48	38	34	15	0.501	0.129	0.097	0.231	0.165	2.80	0.69	0.83
9.50	40	26	26	0.515	0.125	0.088	0.248	0.144	3.77	1.64	1.28
9.52	42	51	22	0.528	0.125	0.093	0.270	0.182	4.36	1.87	1.37
9.56	46	27	26	1.048	0.212	0.131	0.603	0.295	5.00	1.69	1.30
9.57	47	53	24	1.048	0.228	0.141	0.603	0.295	3.04	1.29	1.14
10.01	51	28	26	0.517	0.122	0.093	0.199	0.166	4.15	3.44	1.85
10.02	52	52	22	0.590	0.148	0.111	0.265	0.211	3.41	1.97	1.40
10.06	56	28	25	0.511	0.166	0.113	0.268	0.184	3.76	1.38	1.18
10.12	62	59	57	0.642	0.161	0.115	0.319	0.204	5.05	2.44	1.56
10.17	67	48	47	0.600	0.119	0.092	0.226	0.174	4.23	2.99	1.73
10.25	75	37	33	2.192	0.677	0.431	1.410	0.794	7.94	0.84	0.92
10.32	82	15	14	3.708	0.921	0.494	2.341	1.130	7.64	0.80	0.89

Tabla 4: Valores de evaluación considerados por ISO 2631



Notar que aun siendo la percepción algo subjetivo, se ha cuantificado numéricamente de forma discreta según se ha indicado, siendo el objetivo del siguiente apartado la búsqueda de alguna correlación entre la variable subjetiva, representada por esa media de valoraciones y otras objetivas como pudieran ser las representadas en el cuadro rosa.

Primero se comentará que se entiende por correlación. La correlación (r) es la dependencia (lineal en este caso) entre diferentes variables que permite predecir el comportamiento de una de las variables en función de la otra.

Una vez calculado el valor del coeficiente de correlación interesa determinar si tal valor obtenido muestra que las variables de análisis están relacionadas en realidad o tan solo presentan dicha relación como consecuencia del azar. En otras palabras, se cuestiona la significación de dicho coeficiente de correlación. Un coeficiente de correlación se dice que es significativo si se puede afirmar, con una cierta probabilidad, que es diferente de cero.

El coeficiente de correlación lineal es un índice cuyos valores absolutos oscilan entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 mayor ser la correlación, y menor cuanto más cerca de cero. Pero como interpretar un coeficiente determinado? ¿Qué significa un coeficiente de 0.6?. ¿Es alto o bajo?. No puede darse una respuesta precisa. Depende en gran parte de la naturaleza de la investigación. Por ejemplo, una correlación de 0.6 sería baja si se trata de la fiabilidad de un cierto test, pero sin embargo, sería alta si estamos hablando de su validez.

No obstante, se intenta abordar el tema desde dos perspectivas distintas. Por un lado, desde la perspectiva de la significación estadística mencionada. Desde este enfoque una correlación es efectiva si puede afirmarse que es distinta de cero. Pero ha de decirse que una correlación significativa no necesariamente ha de ser una correlación fuerte; simplemente es una correlación diferente de cero. O en otros términos, es una correlación que es poco probable que proceda de una población cuya correlación es cero. Tan solo se está diciendo que se ha obtenido "algo" y que ese "algo" es (probablemente) más que "nada". La significación depende en gran medida del tamaño de la muestra, una correlación de 0.01 puede ser significativa en una muestra suficientemente grande y otra de 0.9 no serlo en una muestra muy pequeña.

Por tanto se hace referencia a los apuntes de la asignatura de Gestión de la calidad impartida por D. José María García Terán en el Máster de Gestión de Prevención de Riesgos Laborales, Calidad y Medio Ambiente donde se muestra el criterio seleccionado para este trabajo y es mostrado en forma de tabla en la siguiente figura.

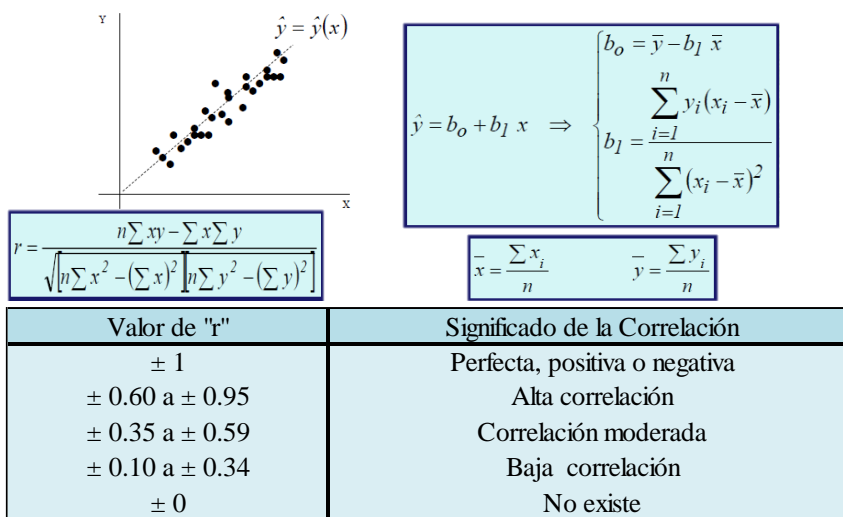


Figura 24: Interpretación de coeficientes de correlación

Por tanto en la siguiente tabla se ven los grados de correlación obtenidos entre las siguientes variables representadas. Como vemos existen algunos valores muy cercanos a uno que no han sido destacados, pues su correlación era absolutamente esperada, como es el caso por ejemplo de la desviación típica y de la varianza. Luego, en **negrita** se ha destacado una correlación débil entre la valoración media y el total de usuarios y en **rojo**, correlaciones fuertes entre estas mismas valoraciones medias y casi todos los valores objetivos del análisis de la señal.



CORRELACIONES	T_U	a_{max}	RMS	RMS_w	MTVV	$MTVV_w$	\bar{x}	σ^2	σ
T_U	1.000	0.132	0.112	0.187	0.098	0.156	0.444	0.097	0.153
a_{max}		1.000	0.984	0.968	0.996	0.991	0.720	-0.159	-0.134
RMS			1.000	0.992	0.511	0.509	0.228	0.230	0.253
RMS_w				1.000	0.972	0.989	0.751	-0.177	-0.152
MTVV					1.000	0.993	0.692	-0.190	-0.165
$MTVV_w$						1.000	0.730	-0.176	-0.147
\bar{x}							1.000	0.304	0.349
σ^2								1.000	0.977
σ									1.000

Tabla 5: Coeficientes de correlación

Tras la recogida de datos, quedarse solo con la idea, lógica, de que el comportamiento vibratorio efectivamente afecta en nuestra percepción de comodidad, parece un poco pobre teniendo en cuenta que se está en disposición de destacar algún parámetro más que podría tener cierta relevancia como es el caso del género. Para ello se trata/analiza con tablas dinámicas mediante Excel los datos recopilados pudiendo así mostrar:

	Altura cm	Masa Kg	Genero	Paseo	a_{max}	RMS	Percepción	Hora
Sujeto13	175	91	Hombre	Paseo1	0.347	0.084	1	9:12
Sujeto14	177	72	Hombre	Paseo1	0.347	0.084	0	9:12
Sujeto19	180	85	Hombre	Paseo1	0.347	0.084	3	9:12
Sujeto21	177	70	Hombre	Paseo1	0.347	0.084	1	9:12
Sujeto20	158	58	Mujer	Paseo1	0.347	0.084	0	9:12
Sujeto8	162	62	Mujer	Paseo1	0.285	0.106	0	9:14
Sujeto26	184	65	Hombre	Paseo7	0.285	0.091	1	9:14
Sujeto15	176	66	Mujer	Paseo7	0.285	0.091	1	9:14
Sujeto3	165	56	Mujer	Paseo1	0.285	0.106	2	9:14
Sujeto4	167	60	Mujer	Paseo1	0.285	0.106	3	9:14
Sujeto9	166	58	Mujer	Paseo1	0.338	0.106	3	9:15
Sujeto 10	182	83	Hombre	Paseo1	0.338	0.106	0	9:15
Sujeto22	180	77	Hombre	Paseo7	0.338	0.091	0	9:15
Sujeto7	169	63	Mujer	Paseo7	0.338	0.091	3	9:15
Sujeto16	173	57	Mujer	Paseo7	0.338	0.091	2	9:15
Sujeto13	175	91	Hombre	Paseo7	0.338	0.096	2	9:16
Sujeto14	177	72	Hombre	Paseo7	0.338	0.096	1	9:16



Sujeto33	178	82	Hombre	Paseo11	0.600	0.119	5	10:17
Sujeto45	170	67	Hombre	Paseo8	0.600	0.119	1	10:17
Sujeto32	170	59	Hombre	Paseo10	0.600	0.119	5	10:17
Sujeto28	173	68	Mujer	Paseo11	0.600	0.119	5	10:17
Sujeto40	170	64	Mujer	Paseo10	0.600	0.119	4	10:17

Tabla 6: Datos de los encuestados ordenados por horas

como por regla general la percepción de incomodidad es más elevada en la mujer aun cuando ambos géneros están sometidos a las mismas aceleraciones (Tabla6).

En esta segunda parte no se ha considerado parte del estudio los paseos en los que había gente corriendo por eso la tabla anterior acaba con la hora de 10:17. Pues bien, si analizamos esos datos en función de las valoraciones realizadas por los hombres y por las mujeres tenemos:



Aceleración			MEDIA
0.347	M	0	0.000
	H	1 0 3 1	1.250
0.2853	M	0 1 2 3	1.500
	H		
0.3381	M	3 3 2 1	2.250
	H	1 0 0 2 1 2 1	1.000
0.4284	M	6 3 2	3.667
	H	2 3	2.500
0.3919	M		0.200
	H	0 0 1 0 0	
0.4142	M	1 0 1	0.667
	H	1 0	0.500
0.5085	M	0 4 0 3	1.750
	H	3	3.000
0.3673	M		0.600
	H	0 0 3 0 0	
0.6349	M	4 8 3	5.000
	H	5 4 4 3 3 3	3.667
0.4068	M	4 7 8 5 3	5.400
	H	3 4 4 2 3	3.200
0.4976	M	2 3 2 3 6 2 3 2	2.875
	H	4 3 3 3 3 2	3.000
0.6309	M	7 7 7 4 6 6 7 1 4 3 3 3	4.833
	H	1 1 6 2 3 3 3 5 5 1 3 3 4 2 3 3 2 3 2	2.895
0.5602	M	3 2 2 4 3 3 3 6 6 6	3.800
	H	3 3 2 4 4 2 4 4 3 3 4 7 3 3 3 6 3 5 2 2 4	3.500
0.5009	M	4 2 2 2 3 4 4 1	2.750
	H	3 3 3 3 3 3 2 3	2.875
0.5147	M	4 4 4 3 3 7 7 6 3 3 3 3	4.167
	H	2 3 4 5 3 5 3 3 4 4 3 4 3 2	3.429
0.528	M	4 3 3 7 6 6 7 2	4.750
	H	4 4 7 4 5 4 4 3 3 4 4 4 4 4	4.143
1.048	M	6 4 4 7 7 7 4 6 4 7 6 3 3 3 4 3 4 4 4 6	4.800
	H	4 7 3 3 5 4 5 4 5 4 6 4 4 6 4 1 2 1 1 3 3 3 2 3 2 5 4 4 5 4	3.700
0.5173	M	6 6 3 4 5 8 4 8 2 6	5.200
	H	1 7 2 3 3 0 4 4 4 4 4 4 4 4 4	3.500
0.5897	M	5 3 3 4 4 6 3 4 7	4.333
	H	2 3 2 2 2 2 3 1 6 2 4 4 4	2.846
0.5106	M	4 6 5 4 4 3 5 3 5 4	4.300
	H	4 4 4 4 5 3 3 1 4 5 3 2 5 2 2 3	3.375
0.6421	M	7 6 8 7 5 8 6 7 8 8 6 4 5 5 5 4 7 5 5 4 4 6 4 8	5.917
	H	2 8 5 5 4 4 5 5 3 5 5 3 3 5 5 5 3 4 5 5 3 3 5 6 6 3 5 4 6 1	4.406
0.5998	M	4 7 5 6 6 2 2 4 4 5 6 6 4 5 3 3 5 4	4.500
	H	7 1 3 4 6 6 4 4 5 3 4 5 3 2 2 3 5 2 3 3 4 2 4 7 5 1 5	3.815

Tabla 7: Distinción de la valoración por género

Se han resaltado los valores en rojo para destacar los casos en los que efectivamente las valoraciones femeninas han sido superiores a las masculinas bajo un mismo nivel vibratorio, representado en la tabla 6 por medio de la aceleración máxima.

Aquí se ha de comentar algunas circunstancias que a priori parecen no tener sentido, como son la desigualdad de valoraciones para un mismo nivel vibratorio. Estas desigualdades cree el autor son debidas a la notable diferencia existente entre ambos carriles. Esta diferencia ha sido motivada por cuestiones constructivas. Así existe una diferencia de espesores en las capas del recubrimiento del suelo. La capa que recubre el carril bici (CB) es de 2 centímetros de caucho reciclado y el espesor del carril peatonal (CP) es de 5 centímetros. Diferencia que debido a las propiedades deformables de uno y otro carril influye no solo en la transmisibilidad del paso del peatón sobre el carril sino en su percepción sobre la vibración. Así para el caso de aceleración 0.6309 vemos valoraciones altas (5, 6 y 7) y también bajas (1, 2 y 3) para ambos géneros.

Solo explicables porque en verdad exista esa diferencia. Esto da pie a un estudio con una mayor profundidad, y por tanto se intenta destacar, no solo la diferencia de percepción en cuanto al género, sino, entre los diferentes carriles. Evitando así mezclar valoraciones que den lugar a errores.

La siguiente tabla visualiza esas diferencias entre carriles y se acerca a valores más representativos en cuanto a las diferencias de percepción entre géneros y para tipo de carril.



		amax	RMSw			MEDIA CB	MEDIA CP
CP	9.12	0.347	0.0565	M	0		0.000
				H	1 0 3 1		1.333
CB	9.14	0.285	0.056	M	0 1 2 3	1.500	
				H	1	1.000	
CP/CB	9.15	0.338	0.0594	M	3 3 2 1	1.000	2.667
	9.16			H	1 0 0 2 1 2 1	1.400	0.000
CP	9.17	0.428	0.061	M	6 3 2		3.667
				H	2 3		2.500
CB	9.19	0.392	0.0698	M	0 0 1 0 0	0.200	
				H	0 0 1 0 0		
CP	9.20	0.414	0.0737	M	1 0 1		0.667
				H	1 0		0.500
CB	9.21	0.508	0.0841	M	0 4 0 3	1.750	
				H	3	3.000	
CP	9.24	0.367	0.0615	M			
				H	0 0 3 0 0		0.600
CP	9.26	0.635	0.0772	M	4 8 3		5.000
				H	5 4 4 3 3 3		3.667
CP	9.27	0.407	0.0672	M	4 7 8 5 3		5.400
				H	3 4 4 2 3		3.200
CB	9.39	0.498	0.0802	M	2 3 2 3 6 2 3 2	2.875	
				H	4 3 3 3 3 2	3.000	
CP/CB	9.42	0.631	0.0969	M	7 7 7 4 6 6 7 1 4 3 3 3	3.500	5.500
	9.43			H	1 1 6 2 3 3 3 5 5 1 3 3 4 2 3 3 2 3 2	2.455	3.500
CP/CB	9.44	0.560	0.0911	M	3 2 2 4 3 3 3 6 6 6	2.667	5.500
	9.45			H	3 3 2 4 4 2 4 3 3 4 7 3 3 3 6 3 5 2 2 4	2.667	4.182
CB	9.48	0.501	0.0884	M	4 2 2 2 3 4 4 1	2.750	
				H	3 3 3 3 3 2 3	2.875	
CP	9.50	0.515	0.0933	M	4 4 4 3 3 7 7 6 3 3 3 3		4.167
				H	2 3 4 5 3 5 3 3 4 4 3 4 3 2		3.429
CB	9.52	0.528	0.1306	M	4 3 3 7 6 6 7 2	4.750	
				H	4 4 7 4 5 4 3 3 4 4 4 4 4	4.143	
CP/CB	9.56	1.048	0.1409	M	6 4 4 7 7 7 4 6 4 7 6 3 3 4 3 4 4 4 6	3.778	5.636
	9.57			H	4 7 3 3 5 4 5 4 5 4 6 4 4 6 4 1 2 1 1 3 3 3 2 3 2 5 4 4 5 4	2.714	4.643
CP	10.01	0.517	0.0933	M	6 6 3 4 5 8 4 8 2 6		5.200
				H	1 7 2 3 3 0 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4		3.500
CB	10.02	0.590	0.1113	M	5 3 3 4 4 6 3 4 7	4.333	
				H	2 3 2 2 2 2 3 1 6 2 4 4 4	2.846	
CB	10.06	0.511	0.1127	M	4 6 5 4 4 3 5 3 5 4	4.300	
				H	4 4 4 4 5 3 3 1 4 5 3 2 5 2 2 3	3.375	
CP/CB	10.12	0.642	0.1154	M	7 6 8 7 5 8 6 7 8 8 6 4 5 5 5 4 7 5 5 4 4 6 4 8	4.933	7.556
				H	2 8 5 5 4 4 5 5 3 5 5 5 3 3 5 5 5 3 4 5 5 3 3 5 6 6 3 5 4 6 1	3.947	5.545
CP/CB	10.17	0.600	0.0918	M	4 7 5 6 6 2 2 4 4 5 6 6 4 5 3 3 5 4	3.500	5.750
				H	7 1 3 4 6 6 4 4 5 3 4 5 3 2 2 3 5 2 3 3 4 2 4 7 5 1 5	3.000	5.667

Tabla 8: Distinción de la valoración por género y superficie de tránsito

Resulta interesante ver como las valoraciones medias de confortabilidad vibratoria de los viandantes en función del carril esclarecen la influencia del recubrimiento superficial.

Para ello se ha señalado, partiendo de la tabla 7 y mediante el visionado e identificación del video que valoraciones eran, según el grupo y el género, hechas sobre cada carril. Se realizaron diferentes paseos, de modo que en unas ocasiones los encuestados caminaban sobre el mismo carril y en otras algunos caminaban sobre un carril y otros sobre el otro (CP/CB).

En la anterior tabla se representan en negrita las valoraciones sobre el carril peatonal (CP) y en gris clarito las referentes al carril bici (CB). En esta ocasión los valores en rojo han sido marcados para destacar las valoraciones que siendo de 5 o más, y que por tanto, tienen un significado lo suficientemente representativo adverso a los deseos en mayor o menor medida de los requerimientos ideales de una superficie transitable.

Por tanto, ante una situación tan peculiar como esta, en la que por circunstancias constructivas, la zona destinada específicamente al uso humano (carril peatonal), es más perjudicial para el confort humano ante vibraciones que otra zona, en este caso el carril bici, pero que en una instalación podría ser una dependencia con usos inadecuados, se hace necesaria una intervención correctora para prevenir situaciones no deseadas.

Mencionar antes de concluir con el apartado la intolerancia sufrida en las valoraciones (tabla 3) cuando la pasarela estuvo sometida a acciones de personas corriendo.





6- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Ante lo que se ha expuesto se ha encontrado por un lado relevancia entre las valoraciones y las aceleraciones máximas. También se ha visto que las medias de las valoraciones tienen su mayor correlación con los valores eficaces ponderados (RMS_w), lo que da una idea de porque la norma 2631 considera estos valores, como los más relevantes, a la hora de realizar valoraciones.

Por tanto veremos en la siguiente figura de forma conjunta los resultados obtenidos de forma global, sin distinciones de género o superficie.

Se muestran las valoraciones medias y su intervalo de confianza del 95%, la ocupación real de la pasarela y las medidas RMS ponderadas para cada momento temporal donde las encuestas fueron contestadas.

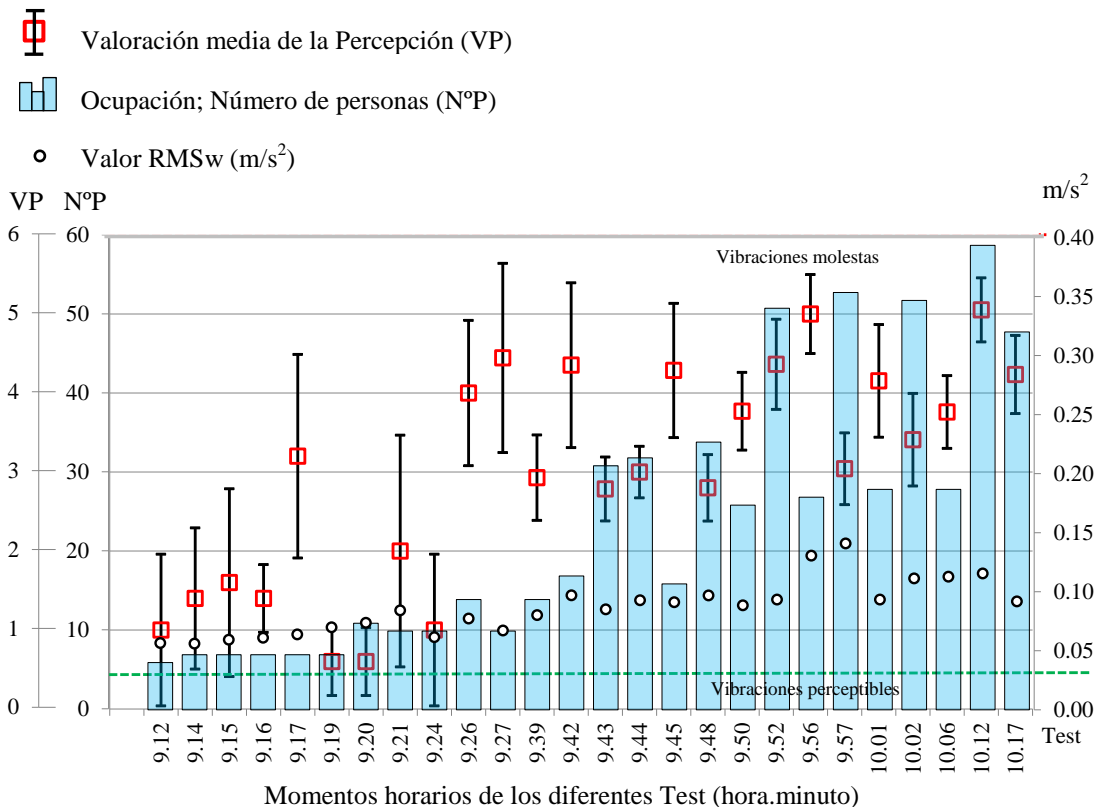


Figura 25: Representación conjunta de los diferentes parámetros

Esta gráfica de fondo sirve para apoyar las numerosas ideas extraídas sobre estos fenómenos vibratorios. Por un lado destacar que todas las medidas extraídas, las calculadas, según ISO mediante valores eficaces ponderados, están por encima del valor que la propia norma da para la percepción (línea verde discontinua a 0.015 m/s^2). Por tanto se ha de destacar que las valoraciones realizadas por los encuestados tienen una cierta base lógica, es decir, ante estos valores eficaces ponderados es de esperar que los usuarios notasen algo, como así han valorado.

Si bien es cierto que estos mismos valores han quedado lejos de valores como 0.315 m/s^2 , valor en m/s^2 que representa según la normativa analizada el límite de confort y que por tanto no es molesto para el usuario (a partir de este valor comienzan las primeras apariciones, en según qué individuos, de percepciones molestas, que aún son consideradas como aceptables). Si se analizan las valoraciones de forma aislada y sus significados encontramos algunos casos para los que sí ha resultado molesto cruzar con el nivel de vibración evaluado, aunque tal y como se aprecia en la figura 25 y hablando de valoraciones medias se ve que apenas se ha superado valoraciones “5” con significado “empieza a resultar incómodo”. Aunque los ha habido, con un porcentaje muy alto, bajo según qué condiciones de ocupación, han de ser tenidos en consideración, quizás no para este escenario de investigación pero sí, en el caso que estos fuesen resultados sobre el forjado de una sala de oficinas donde los usuarios trabajen.



Para afianzar los resultados, y a fin de evitar truncamientos debidos a la desigualdad superficial entre las zonas transitadas se discretizan las valoraciones por carriles, y por género sin perder de vista el análisis global (fig.25) para lograr una mejor comprensión sobre, donde y para quien son más molestas las vibraciones de esta pasarela, así con este objetivo se muestra la figura 26.

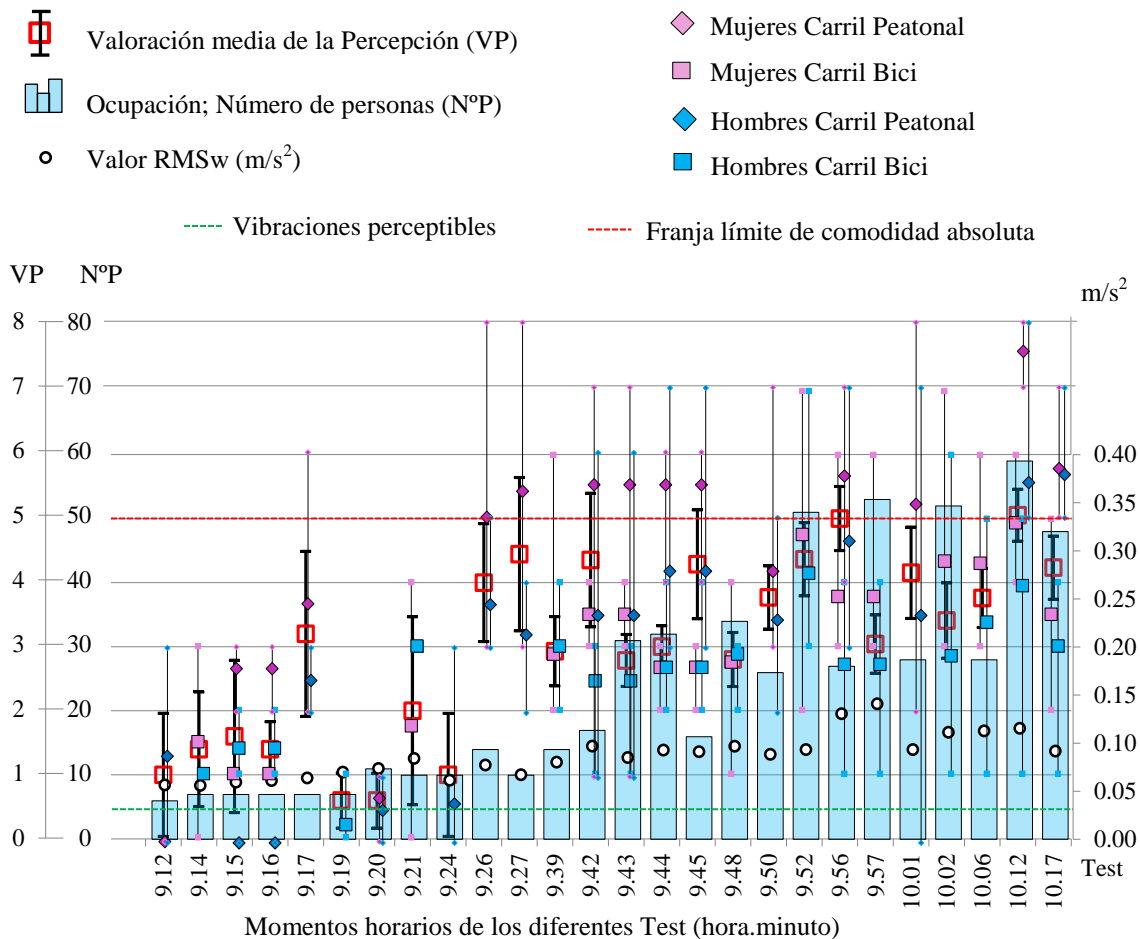


Figura 26: Representación conjunta de los diferentes parámetros y escenarios

Se observa de una manera bastante clara como para mismos valores RMS_w las valoraciones fueron más desagradables en el carril peatonal y como estas son claramente superiores a las realizadas por los hombres.

También se ha de observar como la ocupación es un factor importante, cuando se sobrepasa una cierta cantidad, aunque no parece muy influyente en las percepciones si a partir de este valor sigue aumentando el número de personas. Esto se puede observar, viendo como en los primeros paseos, cuando los grupos eran de 5 no se sobrepasa el límite de valoraciones (5) y si para otros test.

Si se presta atención a la figura 25 el hecho de que sea tan notable, las diferencias en valoraciones, para casos consecutivos, y sabiendo que los grupos caminaban por ambos carriles fue lo que revelo la importancia de profundizar en el estudio respecto de la superficie o tipo de carril y su influencia en la percepción.

Otro aspecto fundamental es detectado en la figura 25, donde se observa una tendencia en la dispersión de las valoraciones, respecto a los niveles de percepción. De esta forma podemos afirmar que un valor eficaz de aceleraciones ponderadas alto pondrá de acuerdo a las personas en su valoración, mientras que una vibración débil afectará más o menos según las personas.

Ante el estudio mostrado en el siguiente apartado realizaremos una valoración a la que están sometidos los usuarios sobre el piso de esta estructura concreta y valorar la necesidad o no de una medida correctora.



7- RESULTADOS OBTENIDOS- EVALUACIÓN

Se ha de tener presente que este estudio ha sido realizado un día normal en el que se podría considerar que el escaso viento que hubiera era despreciable y por tanto lo definiríamos como un día sin viento, es decir, la única fuerza de excitación fue el paso humano.


Por tanto, un buen prevencionista invertiría tiempo en registrar nuevas medidas bajo otras circunstancias más desfavorables, con nuevas valoraciones personales, con poblaciones de estudio más variadas y nuevas medidas.

Con el test realizado se propone una valoración sobre dicha estructura siguiendo la figura 27, en el cual se hace mención no solo a las vibraciones sino también a otros factores que pueden influir, como se ha comentado, no solo en el confort sino también en la seguridad. La seguridad estructural propia de ramas más técnicas no es misión de este proyecto.

EVALUACION VIBRATORIA		INFORME			PASARELA PEATONAL PGB		
Localización : Valladolid				Evaluación:	Inicial	Periódica	
Uso	<i>muy concurrido</i>		Modelo:	TESADA		año 2013	
Trabajadores:	Cualquier usuario			Fecha de evaluación:	01/03/2013		
				Fecha de última evaluación:			

	Identificación de Peligros	Probabilidad			Consecuencias			Estimación del riesgo					
		Baja	Media	Alta	LD	D	ED	Trivial	Tolerable	Moderado	Importante	Intolerable	
1	Suelo resvaladizo												
	Caidas mismo nivel	x			x			x					
	Caidas distinto nivel	x					x			x			
2	Diseño barandilla												
	Forma-Golpes			x	x					x			
	Materiales-sensibilidad óptica			x	x					x			
3	Calidad del alumbrado												
	Deficiente			x	x					x			
4	Contacto eléctrico												
	Contactos indirectos	x					x			x			
5	Vibraciones Andando/Corriendo												
	Mareo simple (sin caída)			A x	A x					A x			
	Desequilibrios y caídas mismo nivel		A x				A x					A x	
	Desequilibrios y caídas distinto nivel	A x								A x			
	DisConfort			A x	A x					A x			

LD= ligeramente dañino; D=dañino; ED=extremadamente dañino

Riesgos No Controlados	Acción requerida		Plazo
5	Vibraciones	Cartel prohibido correr Instalación dispositivo amortiguador de masa sintonizado "TMD"	 6 meses

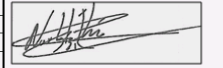

Evaluación de:	Norberto Ibán Lorenzana		Fecha próxima evaluación:	19/11/2013
Plan de acción de:	Norberto Ibán Lorenzana			
		Firma	Director	Antolin L.I. Firma

Figura 27: Evaluación de la pasarela

Esta pasarela no parece tener elementos que impidan, de ningún modo, el acceso a personas con situaciones especiales. Y se dice parece porque en realidad si existe un problema. Y es, que aunque la rampa dimensionada para su acceso desde el lado de Arturo-Eiries tiene una pendiente dentro del margen legal la forma curva, de la pasarela, provoca que presente una pendiente longitudinal variable a lo largo de su desarrollo. El valor medio es del orden del 3%, pero en algunos tramos es inevitable superar el 4%, produciéndose los valores máximos en los arranques, del 9.5% en el estribo del margen izquierdo y del 5.5% en el derecho. Por tanto, aunque el valor medio está dentro del máximo establecido en el “reglamento de accesibilidad y supresión de barreras” existen dos tramos de la pasarela donde esta se supera.

Dependiendo de la situación especial a la que nos estemos refiriendo podría verse agravada la exposición a la vibración y como consecuencia dificultar el desplazamiento de dichas personas y aumentando para ciertos colectivos las sensaciones molestas, agravando el riesgo de caídas.

Remarcar que este estudio se ha realizado con una población, en la que por su edad, están condicionados fisiológicamente a percibir el desagrado vibratorio en menor grado que personas de mediana edad.



Por tanto, y considerando esto en la evaluación se ha pensado que para otra población que supere a está en unos 20 años los resultados hubiesen mostrado valoraciones menos benévolos con esos niveles vibratorios, por eso y visto que las valoraciones rozan en algunos momentos valoraciones de discomfort habiendo analizado una situación muy favorable, se intuye una más que posible aparición de problemas, bajo cualquier variación climatológica que aumente la adversidad, como puede ser rachas ventosas o pensando en personas más exigentes sensorialmente hablando no es de extrañar que se deba de pensar en proponer algún sistema correctivo.

En el apartado 10.1 se hace mención concreta al sistema “TMD” propuesto, por ser CARTIF un referente europeo en el conocimiento y diseño de esta técnica. Comentaremos su principio teórico y ejemplos de aplicación en otros campos.



8- VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA

NOTA. Según el Manual de Operación y Financiación de CTA, se considera Estudio de viabilidad Técnica previo a un proyecto de I+D+i a todo aquel estudio destinado a la adquisición de conocimientos para la articulación de un proyecto de I+D+i cuyos resultados previstos sean la creación o mejora de productos, procesos o servicios tecnológicos.

El alcance del proyecto es la realización de evaluaciones ergonómicas frente a las vibraciones a las que está sometido un viandante que cruza por la pasarela peatonal Pedro Gómez Bosque de Valladolid.

El estudio conlleva un grado de innovación pues, tras agrupar la normativa actual, y valorar respecto dicha normativa se comprueba que esta pueda ser excesivamente permisiva frente a la incomodidad de los peatones. Como banco de ensayos se ha usado una pasarela pero esta metodología resultaría de interés a otras estructuras más complejas y que requieran mayor estudio.

Las colaboraciones del autor, como Ingeniero Mecánico, con experiencia en el campo estructural le han permitido iniciarse en este estudio de carácter multidisciplinar. A lo largo del proyecto se ha ido justificando la necesidad de realizar evaluaciones vibratorias sobre ciertas estructuras en las que la normativa constructiva no asegura el bienestar y el confort de los usuarios o trabajadores. Sería imperativo fomentar este tipo de evaluaciones en toda estructura que, por su circunstancia, pueda ser excitada por las acciones de sus usuarios. Estas evaluaciones conllevan un grado de conocimientos previos, tanto técnicos como de manejo y elección de equipos, por tanto es esencial que sean realizados por personal profesional que determine al comenzar la evaluación cuándo es o no es conveniente continuar con ella. Esta decisión estará basada en análisis modales mediante procedimientos OMA o EMA.

Dedicación (horas)	Nº	Proceso	Motivo
20	1	Estado del Arte	Conocer la estructura, entorno, usuarios, materiales, dimensiones normativa aplicable, necesidad de estudio...
4	2	Diseñar EMA /OMA	Equipos, posiciones donde medir, fijas, móviles...frecuencia de muestreo
8	3	EMA /OMA (toma de datos)	Adquirir los registros necesarios para simular por ordenador
10	4	EMA /OMA (uso de datos)- ARTeMIS-Femtools	Simulación por ordenador-conocer Frecuencias y modos
1	5	Estimar	Necesidad de continuar o no
4	6	Diseñar la encuesta y los ensayos	Organización previa a los test
6	7	Reunión-Contactos	Con las personas participantes
3	8	Ensayos para valoraciones	Registros de aceleraciones (frec. muestreo) y Rellenar las encuestas
40	9	Postproceso	Justificar la relación entre el nivel vibratorio y las valoraciones
20	10	Resultados	Conclusiones
8	11	Viabilidad	Justificar el proyecto técnica y económicamente
15	12	Documentación	Organización de los Datos-Resultados
139			

Mayoración económica aplicando 5% de amortización para recursos y licencias debidas a :

Equipos	Software-Licencias
MGC-PLUS	Catman
Acelerómetros	Sigview
Cableado	Catia V5
Conexiones	Matlab
Generador	Excel
Portatil	ARTeMIS
PC-de mesa	Femtools
Camara de video	

Humanos	
Trabajador	139 Horas
Responsable de Control	11 Horas

COSTE TOTAL
9987.48

Coste Hora de Investigador CARTIF = 63.78€

		€
Estudio		
	€	9987.48
TMD	Diseño	1373
	Construcción	480
	Instalación	325
		2178
Señal	Compra	19.95
	Instalación	6
		25.95

Coste Total

12191.43

El precio es asumible considerando que no solo se actúa en favor de las personas evitando colapsos estructurales, sino que paliaremos fenómenos de fatiga de las estructuras alargando así su vida útil, lo que a la larga supondría sin duda un ahorro económico de gran envergadura.





9- CONCLUSIONES EXTRAÍDAS

En general los seres humanos son más sensibles a las vibraciones que las propias estructuras. Por tanto, los límites para evitar daños estructurales, no garantizan la comodidad de sus ocupantes.

En cuanto a la carga generada por los peatones, éstos mientras caminan producen una fuerza dinámica variable en el tiempo con tres componentes: vertical, horizontal-lateral y horizontal-longitudinal. Esta fuerza debida a las aceleraciones y deceleraciones de la masa del peatón ha sido estudiada durante muchos años, en particular la componente vertical ya que es habitualmente la de mayor magnitud.

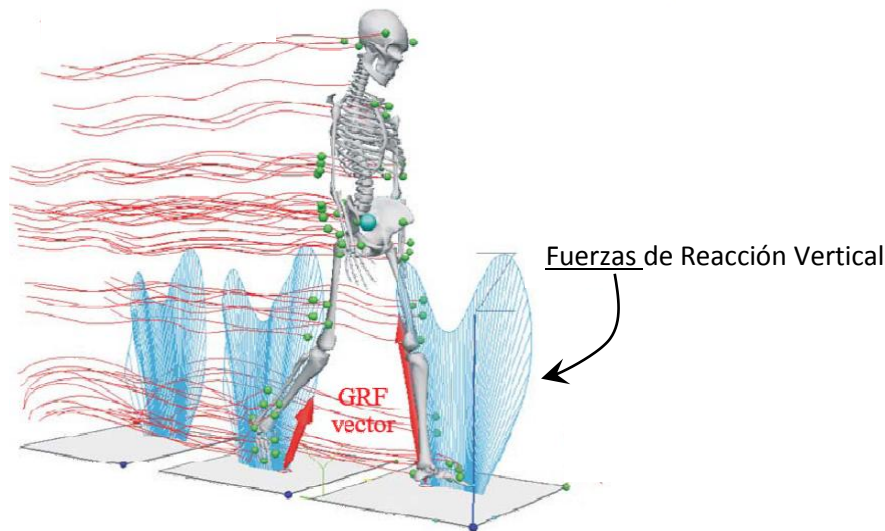


Figura 28: Variaciones de la fuerza al caminar

Analizando todo lo expuesto, se han dado ya informaciones concluyentes. Estas se han usado para realizar la evaluación y de entre lo más importante, rescatar para este apartado lo paradójico que resulta el hecho que justamente la superficie peatonal destinada a la circulación de personas y sobre la que se ha circulado en estos ensayos revelan que es menos propicia a la circulación de personas que el carril bici. A juzgar por los resultados globales parece no ser necesaria ninguna medida correctora. Pero como se ha visto, la superficie afecta a la sensibilidad y evidencia una más que posible problemática precisamente en el carril peatonal.

Si a esto se le suma que la población de estudio no solo no ha sido uniforme, sino que además está en el escalafón con mayor dificultad de percepción, previsiblemente ante una población de mayor edad las valoraciones fuesen más deterministas y mostrasen el problema de forma más evidente.

Estas evidencias se destacarían en mayor medida en la evaluación, con riesgos menos tolerables, evidenciando las necesidades de tratar las vibraciones sobre las que caminamos.

Los resultados sobre la pasarela arrojan una duda sobre si sería necesario realmente o no tratar las vibraciones dadas, ya que quizás una medida suficiente podría ser una simple permutación en la preferencia de los carriles. No obstante, las valoraciones en ciertos momentos, con un uso normal están en torno a “comienza a resultar incómodo” incluso para el carril bici y por tanto ante lo expuesto se creó que ante otra población los resultados se hubiesen situado por encima de estas valoraciones evidenciando la necesidad de tomar algún tipo de medida. Como la señal de prohibido correr y el TMD.

Respecto al cartel de prohibido correr, mencionar que, aunque no ha sido intención evaluar esta acción humana, queda reflejado en la tabla 3, valoraciones con 8 y 9 para los instantes 10:25 y 10:32. Para esos mismos tiempos suceden valores RMS_w que sobrepasan los valores confortables de la ISO 2632.



En cualquier caso las aceleraciones registradas y analizadas mediante sus RMS ponderadas distan levemente de las recomendaciones ISO 2631 y por tanto con estas recomendaciones en la mano sería difícil encontrar un ayuntamiento que aprobase la instalación de un TMD para esta estructura. Aun así y ya que estos dispositivos amortiguadores aportan no solo confort al usuario, sino durabilidad estructural es algo que casi seguro con el tiempo empezará a aplicarse de una forma regulada legalmente al igual que ha ocurrido con otros elementos urbanos que interaccionan en las actividades de las personas, como ascensores, accesos a edificios...

**10- OTRO TIPO DE INFORMACIÓN****1) TMDs**

Un amortiguador de masa o Tuned Mass Damper (TMD) es un dispositivo que consiste en su forma más sencilla y conocida en una masa conectada que es acoplada por medio de un muelle y un amortiguador a una estructura con el objeto de mejorar la respuesta dinámica de la estructura. La frecuencia del TMD es sintonizada a una frecuencia particular de la estructura tal que cuando la estructura vibra a esa frecuencia como consecuencia de una perturbación externa, el absorbedor resuena a una frecuencia similar pero desfasado con el movimiento de la estructura. En general, la energía de excitación se convierte en energía inercial en la estructura, siendo una parte importante de esta energía transferida o “difractada” al TMD.

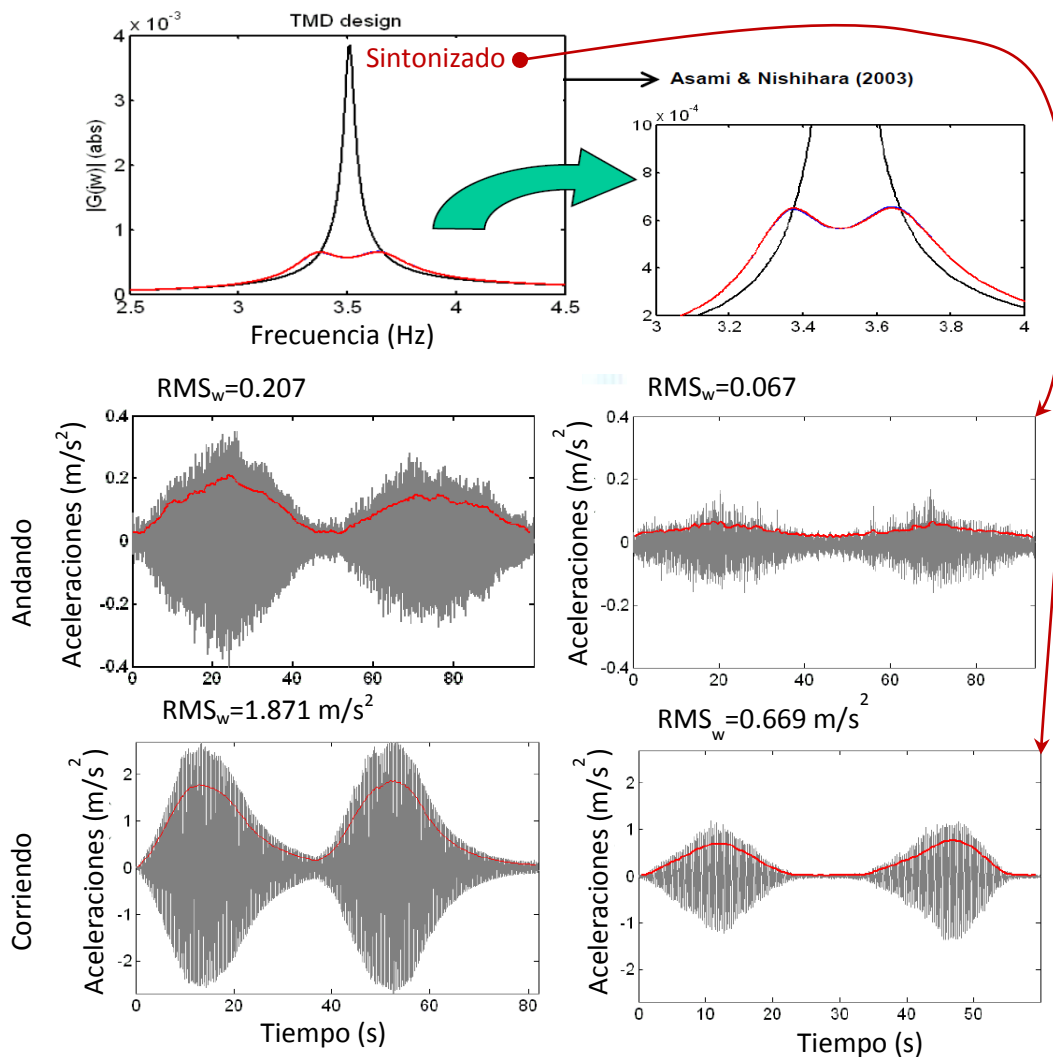


Figura 29: Actuación del TMD sobre la pasarela del Museo de la Ciencia “Valladolid”

De forma resumida, el principio de funcionamiento del TMD es el siguiente:

1-La respuesta dinámica de una estructura puede ser tal que a una determinada frecuencia (3.5 Hz en el ejemplo de la figura 29) pueden aparecer vibraciones de gran amplitud y bajo amortiguamiento estructural.

2-Cuando en el vano de ese modo de vibración se añade una masa que se une a la estructura mediante muelle, esa masa sigue a la estructura, adquiriendo un movimiento vibratorio similar, pero con un determinado desfase.

3-La respuesta dinámica del sistema ensamblado “estructura más TMD” ya no es la misma de la estructura original, ni en frecuencias ni en densidad espectral. El efecto de la introducción de la masa más el muelle provoca un desdoble de la frecuencia objetivo y una disminución de la intensidad del pico.



En el ejemplo de la figura se pasa de 3.5 Hz y una intensidad relativa de 4 a dos picos menores de frecuencias 3.4 Hz y 3.6 Hz y de tan solo 0.8 de intensidad relativa.

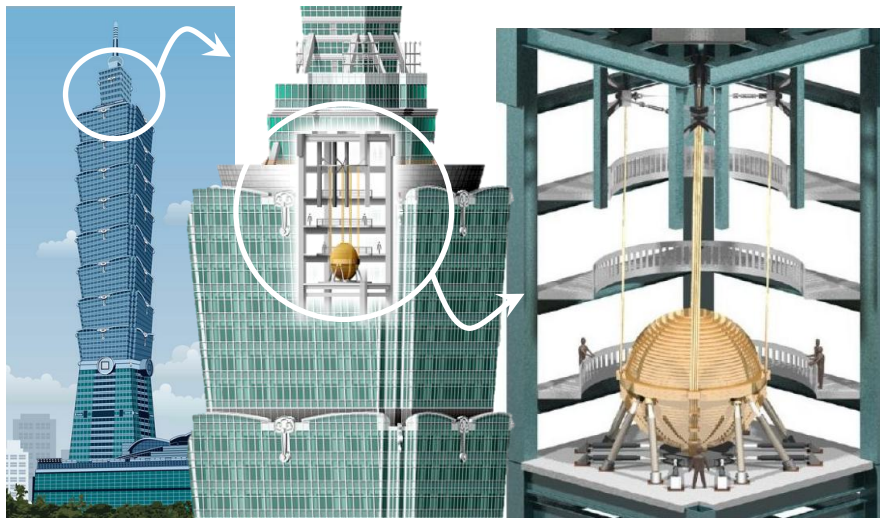
4-Estos cambios dinámicos por sí solo hacen que el conjunto se comporte mejor bajo excitaciones en torno a las frecuencias problemáticas (resonancia), al ser significativamente menor la densidad espectral y por tanto las amplitudes máximas esperadas.

5-Adicionalmente si además se instala un amortiguador entre la masa móvil y la estructura, al haber desplazamientos relativos entre ambos (al ir en desfase), hay disipación de energía y por tanto se aumenta el amortiguamiento estructural del conjunto, consiguiendo reducciones adicionales al bajar aún más los picos de las frecuencias desdobladas.

Para que todos estos fenómenos ocurran es necesario que la masa y el muelle que se añaden sean los correctos y adecuados a la estructura, es decir, que el conjunto este sintonizado. Para el correcto sintonizado existen diversas teorías y metodologías que se salen del alcance de este estudio.

El estudio, análisis y solución a aplicar en cada situación dependerá tanto del tipo de estructura como del origen de la vibración. En cuanto a las estructuras civiles, cada una de estas tiene asociadas unas propiedades de masa, volumen, altura, rigidez, y flexibilidad que vendrán determinadas tanto por el diseño y tipo de materiales elegidos para su construcción, como por criterios de seguridad, estética, funcionalidad y coste.

A continuación se muestra el ejemplo más conocido aplicado sobre un edificio “Taipéi 101” en el que la frecuencia de la masa añadida (680 t) se consigue no añadiendo un muelle sino ajustando la longitud del péndulo.



Y otro desarrollado en CARTIF e instalado sobre la pasarela del Museo de la Ciencia en Valladolid de tan solo 180 kg, el mismo mostrado anteriormente en la figura 14.





10- OTRO TIPO DE INFORMACIÓN

2) + Actividades Formativas

Se detallan a continuación una pequeña memoria sobre otras actividades en terreno preventivo realizadas en colaboración con el responsable de prevención de riesgos laborales de Fundación CARTIF basadas en la revisión de la documentación de la empresa, en la formación sobre conceptos vistos durante las visitas a las diferentes instalaciones identificando, medidas de emergencia, instalaciones de agua, aire comprimido, gas y otros aspectos referentes a:

La situación del Servicio de prevención de FUNDACIÓN CARTIF
Trabajador designado con Servicio de prevención ajeno, caracterizado por la no existencia de un grupo representante de los trabajadores, eximido por no haberse formado un comité.

La Evaluación de Riesgos Laborales en FUNDACIÓN CARTIF

Fichas de identificación de riesgos evitables y de evaluación de riesgos laborales por puesto de trabajo. Realizar los estudios específicos indicados en las fichas de evaluación de riesgos, previa contratación de esta actividad con el Servicio de Prevención.

Garantizar la adquisición de equipos de trabajo y/o la adecuación de los ya adquiridos conforme al R.D. 1215/1997 sobre equipos de trabajo.

En caso de relacionarse riesgos evitables, adoptar de inmediato las medidas que se proponen u otras que sean de eficacia similar previa consulta al Servicio de Prevención.

Los riesgos que hayan sido valorados como Intolerables, Importantes y Moderados, en este orden, para aplicar las medidas preventivas.

Llevar a la práctica aquellas actuaciones “elementales” que, aplicadas en una máquina, instalación, proceso o procedimiento, reduzcan o eliminen el riesgo en el origen.

Anteponer como principio las protecciones colectivas a las individuales.

Adoptar las medidas adecuadas para que los trabajadores reciban información, sobre los riesgos que afecten a la empresa en su conjunto como a cada tipo de trabajo o función.

Garantizar que cada trabajador reciba una formación teórica y práctica en materia preventiva, suficiente y adecuada, tanto en el momento de la contratación, como cuando se produzcan cambios en las funciones que desempeñen, se introduzcan nuevas tecnologías o existan cambios en los equipos de trabajo.

Los fabricantes, importadores y suministradores tanto de maquinaria, equipos, útiles de trabajo, productos y sustancias químicas deberán suministrar información que indique la forma correcta de utilización por los trabajadores, las medidas preventivas adicionales que deban tomarse y los riesgos laborales que conlleven tanto su uso normal, como su manipulación o empleo inadecuado. Asimismo el empresario deberá garantizar que las informaciones sean facilitadas a los trabajadores en términos que resulten comprensibles para los mismos.

En el caso de que se contrate algún trabajador especialmente sensible, ó que alguno de los existentes pase a esta situación, el empresario garantizará de manera específica la protección de los trabajadores que, por sus propias características personales o estado biológico conocido, incluidos aquellos que tengan reconocida la situación de discapacidad física, psíquica o sensorial, sean especialmente sensibles a los riesgos derivados del trabajo.

Para trabajadoras embarazadas o en periodo de lactancia, el empresario adoptará las medidas necesarias, para que en caso de que los agentes, procedimientos o condiciones de trabajo puedan influir negativamente en la salud de las trabajadoras o del feto, evitar la exposición a dicho riesgo, a través de una adaptación de las condiciones o del tiempo de trabajo de la trabajadora afectada; o desempeño de un puesto de trabajo o función diferente y compatible con su estado cuando la adaptación de las condiciones o del tiempo de trabajo no resulte posible o, a pesar de la adaptación, las condiciones de un puesto de trabajo pudieran influir negativamente en la salud de la trabajadora embarazada o del feto.

Los trabajadores especialmente sensibles serán informados de los riesgos generales en su puesto de trabajo y de los riesgos específicos que en la evaluación se han detallado para cada caso presente en la empresa.

Garantizar el cumplimiento del Real Decreto 171/2004, de 30 de enero sobre coordinación de actividades empresariales en los supuestos de concurrencia de actividades empresariales en un mismo centro de trabajo. Estos supuestos son los siguientes:

De acuerdo con el artículo 20 de la LPRL, el empresario designará al personal encargado de poner en práctica las medidas de emergencia en materia de primeros auxilios, lucha contra incendios y evacuación de los trabajadores.



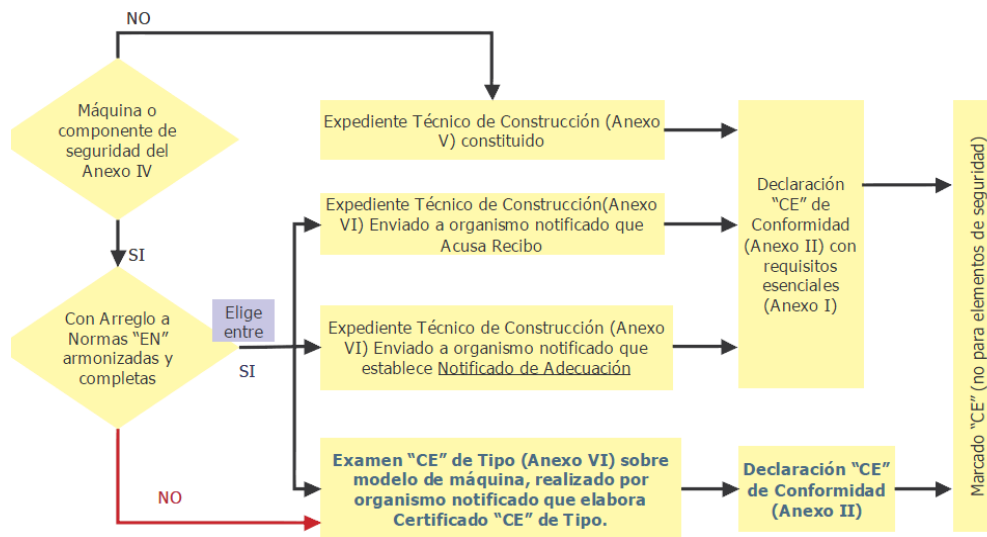
Para lo cual se ha analizado:

La diferencia entre:	
Organismos Notificados	Normas Armonizadas
<p>Los diferentes procesos de Evaluación de la Conformidad establecidos por las diferentes Directivas, implican en algunos casos la participación de un Organismo Notificado, bien en la fase de diseño (Examen CE de Tipo) o bien en la fase de producción (controles de diversos tipos sobre la producción y los productos).</p> <p>Hay que tener en cuenta que todos los Organismos Notificados no lo están para los mismos Módulos de Evaluación de la Conformidad, incluso ni siquiera para la misma Directiva. Por ello, si existiera alguna duda es conveniente consultar con el Organismo Notificado, que confirmará si está capacitado para prestar el servicio tecnológico que requiere la certificación de producto considerada.</p>	<p>Para la Evaluación de la Conformidad con los Requisitos Esenciales de cada Directiva, el fabricante puede utilizar su criterio técnico o los criterios establecidos en las Normas Armonizadas. En caso de realizar el diseño según estas normas, el producto tiene presunción de conformidad con el Requisito Esencial afectado. Las Normas Armonizadas conservan su carácter de Voluntarias, aunque se aconseje su uso siempre que se pueda. Cada Directiva dispone de una lista de Normas Armonizadas, estas listas no están cerradas y siguen creciendo a medida que avanza el proceso normalizador.</p>

Para comprender:

Metodología para realizar la certificación de la conformidad de máquinas e instalaciones CE

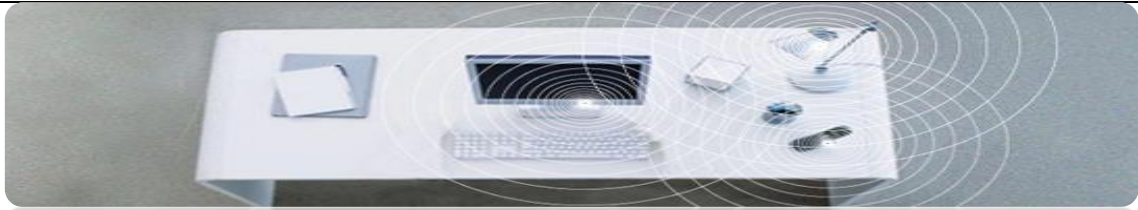
Es responsabilidad del Responsable de Prevención de Riesgos Laborales el aseguramiento del cumplimiento de las normas legales para la fabricación y posterior comercialización de las máquinas. Es responsabilidad de todo el personal el cumplimiento de toda la normativa aplicable a la fabricación de las máquinas y a su posterior comercialización. Para certificar la conformidad de una máquina primero tendremos que determinar de qué tipo de máquina se trata.



Según:

DIRECTIVA 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 17/5 de 2006 relativa a máquinas.
 DIRECTIVA 2006/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12/12 de 2006 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.
 DIRECTIVA 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15/12 de 2004 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética

Continuando con otros aspectos como:



Compatibilidad electromagnética

La directiva europea 2004/108/CEE impone una serie de normas de obligado cumplimiento, para todos los productos que puedan generar o verse afectados por perturbaciones electromagnéticas conducidas o radiadas. Por ello, es fundamental conocer tanto las normativas de aplicación, como realizar la selección correcta en los equipos y sistemas necesarios para su realización.

Real Decreto 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos asegurar que no generan niveles de perturbación electromagnética superiores a los definidos en las distintas normas de Emisión, y que a la vez, son inmunes a los niveles de interferencias establecidos por las normas de inmunidad.



Normas de almacenamiento y utilización de botellas de gases comprimidos

Emplazamiento: estará prohibida su ubicación en locales subterráneos o en lugares con comunicación directa con sótanos, excepto cuando se trate únicamente de botellas de aire, así como en huecos de escaleras y de ascensores, pasillos, túneles, bajo escaleras exteriores, en vías de escape especialmente señalizadas y en aparcamientos. Los semisótanos deberán cumplir los requisitos en cuanto a ventilación, estipulados.

Para su debido almacenamiento, se identificará el contenido de las botellas y se protegerán contra cualquier tipo de proyecciones incandescentes o agresión mecánica que pueda dañar a las botellas y no se permitirá que choquen entre sí ni contra superficies duras (uso de cadenas de seguridad). Las botellas con caperuza no fija no se asirán por ésta. Durante todo desplazamiento, las botellas, incluso si están vacías, deben tener la válvula cerrada y la caperuza debidamente fijada aunque estén vacías.

Las botellas se almacenarán siempre en posición vertical, y debidamente protegidas para evitar su caída. Las botellas llenas y vacías se almacenarán en grupos separados.

Las zonas de almacenamiento de botellas deben tener indicados los tipos de gases almacenados, de acuerdo con la clasificación que establece la ITC MIE-AP-7 del Reglamento de Aparatos a Presión, así como la prohibición de fumar o encender fuegos.

Almacenes en área abierta: dispondrán de una zona de protección de 1 m en proyección horizontal a partir del pie de los recipientes y 2 m en proyección vertical para gases más ligeros que el aire y de 1 m para gases más densos que el aire medidos desde el punto más alto donde sea previsible una posible fuga.



Envasado y etiquetado

Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo o Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.

El primer paso para la correcta gestión de los residuos es identificar aquellos residuos producidos y diferenciarlos entre ellos. Para la identificación de los residuos se sigue el PNT-11 Identificación de los residuos.

Para Envasado de los residuos Peligrosos se seguirán las siguientes directrices:

Los envases y sus cierres estarán concebidos y realizados de forma que se evite cualquier pérdida de su contenido y construidos con materiales no susceptibles de ser atacados por el contenido, ni de formar con



éste combinaciones peligrosas.

Los contenedores suministrados y sus cierres serán sólidos y resistentes para responder con seguridad a las manipulaciones necesarias y se mantendrán sin defectos estructurales y sin fugas aparentes.

El envasado de los Residuos Peligrosos se hará de forma que se evite generación de calor, explosiones, igniciones, formación de sustancias tóxicas o cualquier efecto que aumente su peligrosidad o dificulte su gestión.

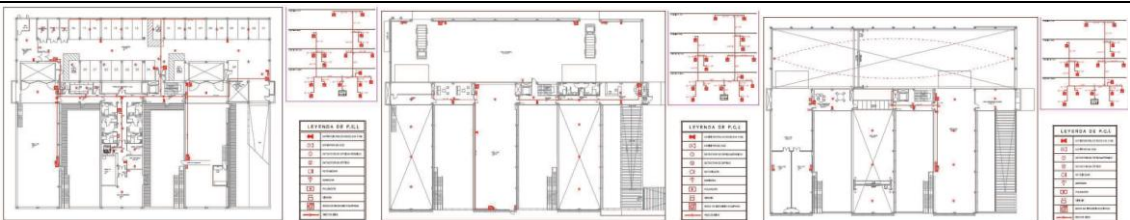
Para Etiquetado de recipientes y envases que contengan Residuos Peligrosos se seguirán las siguientes directrices:

- Los envases para la recogida de Residuos Peligrosos estarán correctamente identificados mediante la etiqueta que contendrá necesariamente la siguiente información el código de Identificación de los residuos que contiene, según el sistema de identificación que se describe en el Anexo I del R.D. 833/1988 y las modificaciones establecidas por el R.D. 952/1997, nombre, dirección y teléfono del titular de los residuos, fecha de envasado, la naturaleza de los riesgos que presentan los residuos, con pictogramas indicativos dibujados en negro sobre fondo amarillo-naranja (nocivo, tóxico, inflamable, corrosivo, etc.)
- Las etiquetas estarán firmemente fijadas sobre los envases, debiendo ser anuladas, si fuera necesario indicaciones o etiquetas anteriores de forma que no induzcan a error o desconocimiento del origen y contenido del envase en ninguna operación posterior del residuo.
- El tamaño de la etiqueta no será en ningún caso inferior a 10 X 10 cm.

Nombre: CARTIF	Nombre: CARTIF	Nombre: CARTIF			
Dirección: Parque Tecnológico de Boecillo, parc. 205, 47151 Boecillo - VALLADOLID	Dirección: Parque Tecnológico de Boecillo, parc. 205, 47151 Boecillo - VALLADOLID	Dirección: Parque Tecnológico de Boecillo, parc. 205, 47151 Boecillo - VALLADOLID			
Teléfono: 983 54 65 04	Teléfono: 983 54 65 04	Teléfono: 983 54 65 04			
Descripción: Disoluciones ácidas	Descripción: Disoluciones básicas	Descripción: Aceites usados			
CODIGO IDENTIFICACIÓN	CER	CODIGO IDENTIFICACIÓN	CER	CODIGO IDENTIFICACIÓN	CER
Q7/R13/L21/C23/H8/A871/B0019	060106	Q7/D15/L21/C24/H8/A871/B0019	060205	Q7/D15/L8/C51/H14/A871/B0019	130206
Fecha envasado:	Fecha envasado:	Fecha envasado:			
Pictograma de Seguridad:	Pictograma de Seguridad:	Pictograma de Seguridad:			



Planes de Emergencia y Evacuación



Procedimiento: La persona que detecta la emergencia avisará de viva voz (o bien vía telefónica) al miembro del grupo de seguridad del área, e intentará atajar la emergencia haciendo uso de los medios apropiados que estén a su disposición.

Una vez controlada la emergencia el miembro del grupo de seguridad lo comunicará al jefe de intervención para su posterior registro y estudio. Si se observa que la emergencia se extiende y no se puede sofocar, se debe pasar a EMERGENCIA PARCIAL, para lo cual la persona que ha detectado la emergencia accionará la alarma más cercana.

Precauciones a tomar: si el incendio es del tipo E (eléctrico), se procurará desconectar la línea o máquina que lo haya producido. Usar siempre el extintor o material más apropiado.

EMERGENCIA PARCIAL:

Situación con clara posibilidad de extinción con los medios y personal disponibles en CARTIF, en los casos en que la extinción conlleve más tiempo del indicado para el conato de emergencia. Los efectos de la emergencia quedarán limitados a un sector y no afectarán a otros sectores colindantes.



El Director de Gestión de División evacuará el personal de esta zona, mientras que el E.P.I. dirigido por el Jefe de Intervención, utilizará todos los medios disponibles para atajar el fuego.

El Jefe de Emergencias desconectará la sirena e indicará al resto del personal, por megafonía, que esté preparado para una posible evacuación, la causa y lugar del suceso. Inmediatamente se personará en el lugar de la emergencia.

El Telefonista encargado de llamar a los medios externos (bomberos, policía...) se preparará para tal fin.

El encargado de zona del Equipo de Primera Intervención junto con el Director de Gestión de División (conocedor de las conexiones y suministros de su zona) cortará el suministro eléctrico, gas y aire acondicionado de la zona afectada. El resto de personal del CARTIF en previsión de una posible evacuación deberá:

Guardar toda la información o documentación

Cerrar las ventanas del edificio, puertas de armarios y cajones. En el caso de que se comunique una amenaza de bomba, las ventanas del edificio deberán permanecer abiertas.

Una vez controlada la emergencia el Jefe de Emergencias comunicará a todo el personal el FIN DE LA EMERGENCIA. El Jefe de Intervención lo registrará y estudiará.

Si no se está completamente seguro del control de la emergencia, se deberá pasar inmediatamente a EMERGENCIA GENERAL, para lo cual el Jefe de Emergencias volverá a la sala de control y seguirá el punto 2.3 "Emergencia General". Si el Jefe de Emergencias no se encuentra en el lugar de la emergencia el Jefe de Intervención será el que decida la comunicación de EMERGENCIA GENERAL y continuará junto con el resto del E.P.I. intentado atajar la emergencia hasta que considere que su seguridad se encuentra amenazada.

EMERGENCIA GENERAL

Situación que precisa la actuación de todos los equipos y medios de protección propios y la ayuda de medios externos. La emergencia general comporta la evacuación de todas las personas del edificio.

Puntos de reunión

ENTRADA PRINCIPAL DEL EDIFICIO CARTIF 1 Y

PLAZA DE EDIFICIOS DE USOS COMUNES para amenaza de bomba

Viendo otros aspectos de las emergencias como son:

Las normas de actuación en caso de amenaza de bomba.

Visión general sobre emergencias fuera del horario de trabajo, plano de situación.

Plan de emergencia del Parque.





Aspectos eléctricos

Revisión de Legislación aplicable tales como Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico; Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión o Diferentes instrucciones técnicas como:

- _ ITC-BT-01: Terminología
- _ ITC-BT-03: Instalaciones autorizadas
- _ ITC-BT-18: Puesta a tierra
- _ ITC-BT-24: Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra los contactos directos e indirectos.
- _ ITC-BT-30: Locales característicos especiales

Para lo cual durante las visitas se vieron:

Sistemas de protección, reconociendo que es, que hace un diferencial o un magnetotérmico.

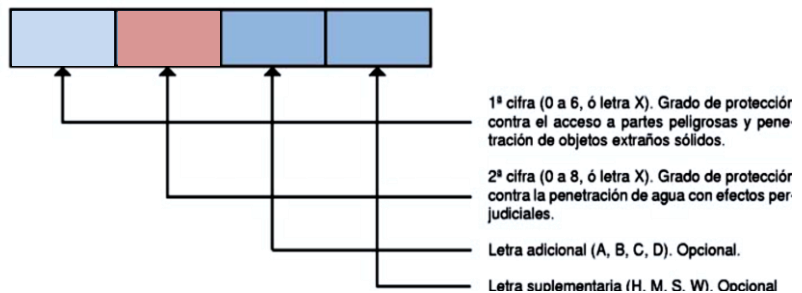
Equipo “SAI” Sistema de Alimentación Ininterrumpido como prevención ante un corte eléctrico para que detecten la falta de corriente y avisan de forma automática vía e-mail tanto al Responsable de Mantenimiento, como al Director de Infraestructuras, que acudirán al SAI correspondiente y tomarán las medidas oportunas.

Grado de protección eléctrico:

Las envolventes de los equipos eléctricos constituyen preventiva y funcionalmente un elemento importante por cuanto deben garantizar una protección contra contactos eléctricos directos de las personas y, a su vez, una protección del propio equipo contra penetración de agentes ambientales sólidos y líquidos (Código IP) y contra los impactos mecánicos externos (Código IK), evitando deterioros que puedan afectar a la seguridad de los usuarios o al funcionamiento y longevidad del aparato.

Códigos IP

Sistema de codificación para indicar los grados de protección proporcionados por una envolvente contra el acceso a partes peligrosas, la penetración de cuerpos sólidos extraños, la penetración de agua y para suministrar una información adicional unida a la referida protección. Se identifica mediante las siglas IP seguidas de dos cifras, que pueden ser sustituidas por la letra "X" cuando no se precisa disponer de información especial de alguna de ellas. Opcionalmente, las cifras pueden ir seguidas de una o dos letras que proporcionan información adicional.



IP	Primera Cifra = Protección contra:		Segunda Cifra = Protección contra:
	Contactos eléctricos directos	Penetración de cuerpos sólidos extraños	Penetración de agua
0	Ninguna protección	Ninguna protección	Ninguna protección
1	Penetración mano	Cuerpos Ø > 50 mm	Goteo vertical
2	Penetración dedo Ø > 12 mm ; Long.< 80 mm	Cuerpos Ø > 12.5 mm	goteo desviado 15° de la vertical
3	Penetración herramienta	Cuerpos Ø > 2.5 mm	Lluvia. Goteo desviado 60° de la vertical
4	Penetración alambre	Cuerpos Ø > 1 mm	Proyecciones de agua en todas direcciones
5	Igual que 4	Puede penetrar polvo en cantidad no perjudicial	Chorros de agua en todas direcciones
6	Igual que 4	No hay penetración de polvo	Fuertes chorros de agua en todas direcciones
7			Inmersión temporal
8			Inmersión prolongada (sumergible)



Sala de Centro de Transformación

El acceso a los recintos de servicio eléctrico está reservado a los trabajadores cualificados y/o autorizados (Real Decreto 614/2001). Para el resto del personal el acceso sólo está permitido si se cumple una doble condición:

Que hayan recibido la información previa sobre los riesgos existentes y las precauciones que es preciso adoptar antes y durante el acceso.

Que estén permanentemente bajo la vigilancia de algún trabajador cualificado.

- No utilizar utensilios con mangos largos que pudieran alcanzar el interior de las celdas.
- No derramar o mojar el suelo o equipos con agua.
- Prohibido utilizar como zona de almacenamiento.
- No acceder a las celdas de los transformadores ni abrir los armarios y demás envolventes de material eléctrico sino se es un trabajador cualificado, se han adoptado todas las medidas de prevención y protección y dispone de autorización.
- Cualquier maniobra que comporte un claro riesgo de contactos eléctricos, especialmente en AT, se efectuará con presencia de 2 personas.

- La realización de operaciones que presenten un riesgo elevado deben llevarse a cabo de manera controlada. Es necesaria la autorización del Permiso de trabajo específico por el responsable del local o personal UPV que ha realizado la contratación y la aplicación de las medidas preventivas y de control indicadas en el mismo.

Nunca tocar directamente a la persona mientras esté en contacto con la fuente que causó la descarga eléctrica. Antes de tocar al accidentado, si es posible, es decir, sin peligro para uno mismo, cortar la corriente en el contador. Se cortará la corriente accionando el interruptor, disyuntor, seccionador, etc. Si no es posible cortar la corriente, desenchufar el cable, pero tocar sólo la parte aislada del mismo.

- Cuando fracasen los pasos previos y no sea posible desconectar la corriente para separar al accidentado o se tardara demasiado, por encontrarse lejos el interruptor, tratar de desenganchar a la persona utilizando materiales aislantes, tales como madera, goma, etc., con los cuales se pueda, a distancia, hacer presa en el cable o en el accidentado. Utilizar el equipo de protección personal.

- Se debe tener en cuenta las posibles caídas o despedidas del accidentado al cortar la corriente, poniendo mantas, abrigos, almohadas, etc. para aminorar el golpe de la caída.

- Si la ropa del accidentado ardiera, se apagaría echando encima mantas, prendas de lana,... nunca acrílicas, o bien le haríamos rodar por la superficie en que se encontrase. Nunca se utilizará agua.

- Separar la víctima con auxilio de pértiga aislante y estando provisto de guantes y calzado aislante y actuando sobre banqueta aislante

- Si la víctima no está en contacto con partes en tensión, procede a rescatarla no aproximándose más allá de las distancias de seguridad.

- Librada la víctima, deberá intentarse su reanimación inmediatamente, practicándole la respiración artificial y el masaje cardíaco.

- Si está ardiendo, utilizar mantas o hacerle rodar lentamente por el suelo.



Sala de Bombas o cuarto de protección contra incendios

Una bomba contra incendio que está fuera de servicio por alguna razón en cualquier momento, constituye un impedimento al sistema de protección contra incendio. Deberá volver a ponérsela en servicio sin demora. El equipamiento que aumente el riesgo de incendio (tal como las calderas) y no esté relacionado con los sistemas de protección contra incendios no deberá estar en el cuarto de bombas.

Los cuartos y gabinetes de bombas deberán estar secos y libres de condensación. Podrá ser necesario algo de calefacción, para lograr un ambiente seco. El exterior de las tuberías de acero no enterradas deberá mantenerse pintado. Son preferibles las bridas soldadas a las tuberías.

Generalmente se requiere una bomba jockey para bombas controladas automáticamente conectadas a baja tensión.



Instalación de extintores de incendios. Normativa y mantenimiento

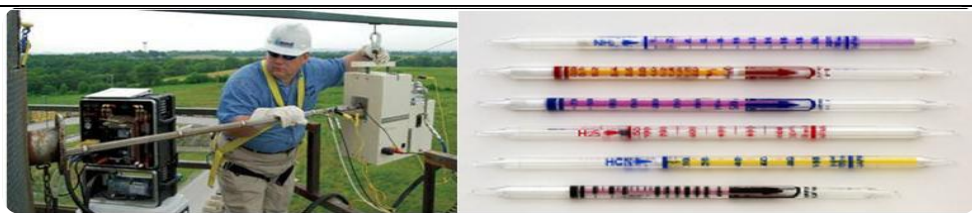
El extintor debe estar colocado a una altura visible y accesible. Debe colocarse siempre en una pared vertical y de ser posible siempre cerca de los puntos de evacuación. El extintor nunca debe encontrarse colocado de tal forma que la parte superior del extintor supere los 1,70 metros. Es recomendable colocar extintores cerca de los puntos en los que existen más probabilidades de que se inicie un fuego y a partir de aquí separados cada 15 metros (las BIES cada 25 metros) señalizándolo mediante una señal cuadrada o rectangular situada en la pared encima del extintor. Esta señal debe ser de color rojo con la palabra extintor o un dibujo de un extintor en color blanco. El color rojo debe siempre ocupar como mínimo el 50% de la señal.

Es muy importante que los extintores de incendios se encuentren colocados en lugares visibles y accesibles. En caso de incendio la rapidez puede resultar decisiva ya que un pequeño fuego puede convertirse en un gran incendio en cuestión de pocos minutos.

El mantenimiento deben realizarlo dos personas diferentes, el titular del extintor y el instalador. El titular del extintor de incendios debe realizar las comprobaciones cada tres meses y debe comprobarse la accesibilidad, el estado de los seguros, precintos, inscripciones y mangueras. Se comprobara también la carga del extintor y de la botella de gas si llevara. Debe comprobarse también el buen funcionamiento de los elementos mecánicos como pueden ser las válvulas, la palanca o la manguera.

El instalador profesional autorizado debe realizar las comprobaciones cada año, debe comprobar la carga y presión del extintor así como el estado del agente extintor en el caso de extintores de polvo con botellín de presión. Deberá comprobarse también la presión de impulso del agente extintor y el estado de la manguera, válvulas y seguros.

Se practicó con el uso correcto y el tipo de extintor necesaria para cada área en función de tipo de fuego que previsiblemente pudiese ocurrir (CO₂, polvo ABC...). Se vieron las puertas corta fuegos y los recubrimientos intumescentes aplicados que protegen estructuralmente a la estructura portante del edificio contra el fuego.



Familiarización con el muestreo de emisiones atmosféricas

Metodología- EPIs

Coordinación empresarial-documentación a intercambiar

Equipos

Sonda isocinética

Medición de humos de combustión con Analizador Testo

Medición del Índice de opacidad Bacharach

Analizador de COV's

Medición de inmisión de partículas

Mantenimiento de los equipos

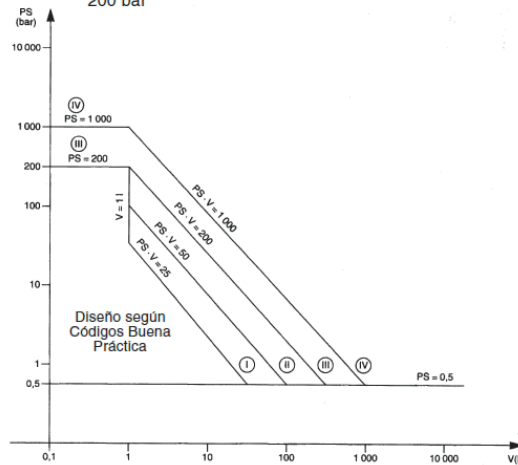


Aparatos a presión (AP)

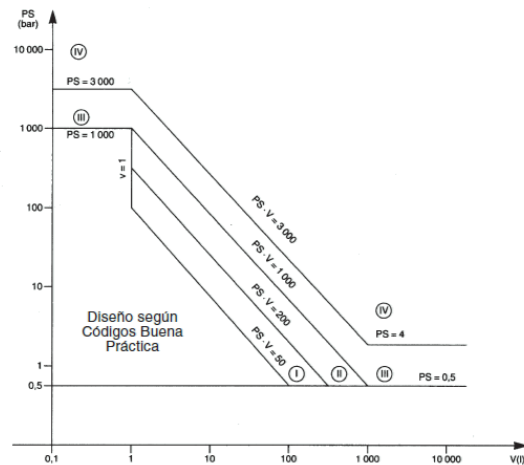
Se fundamenta en el Real Decreto (RD) 769/1999 por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva 97/23/CE, relativa a los equipos a presión y que modifica al RD 1244/1979 de 4 de abril, que aprobó el Reglamento de aparatos a presión. Aplicado al diseño, fabricación y evaluación de conformidad de los equipos y de los conjuntos sometidos a una presión máxima admisible superior a 0.5 bar.

Para la determinación de la categoría a que pertenece cada equipo presión se recurrirá a gráficas del tipo:

Cuadro I. Equipos: Si $V > 1$ l y $PS \times V > 25$ bar x litro, o bien $PS > 200$ bar



Cuadro II. Equipos: Si $V > 1$ l y $PS \times V > 50$ bar x litro



Existiendo otras gráficas para para otros requerimientos se ha practicado con el uso de estas.

Los equipos a presión y/o los conjuntos cuyas características sean inferiores o iguales a los límites contemplados en la Tabla I, deberán estar diseñados y fabricados de conformidad con las buenas prácticas de la técnica al uso en un Estado de la Unión Europea, a fin de garantizar su seguridad en la utilización. Se adjuntarán con los equipos a presión unas instrucciones de uso suficientes y llevarán marcas que permitan la identificación del Fabricante o de su Representante en la Unión Europea. Dichos equipos y/o conjuntos a presión no deberán llevar el marcado “CE”.





11- REFERENCIAS.

- 1- Murcia J., "Tecnología de pasarelas con estructura de membrana" Informes de la Construcción, Vol.59, No. 507 (2007), pp. 21-31.
- 2- R.D. 1311/2005. Protección frente a los riesgos derivados de la exposición a vibraciones mecánicas
- 3- Pérez Arroyo S. "Proyecto de pasarelas peatonales para "RENFE-ENSIDESA". Madrid 1987, España", Informes de la Construcción, Vol: 40 Issue ,No.: 45-55 (1989), pp. 400.
- 4- Narros A., "Pasarela peatonal Pedro Gómez Bosque, sobre el río Pisuerga en la ciudad de Valladolid. Un Nuevo record de longitud en pasarelas colgadas de banda tesa." Revista Técnica Cemento Hormigón N° 947 (2011)
- 5- ISO 2631-1:2008 "Evaluación de exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero-requisitos generales
- 6- ISO 2631-2:2011 "Vibraciones en Edificios"
- 7- Harper F.C., "The forces applied to the floor by the foot in walking", in:W.J.Warlow, B.L. Clarke (Eds.), Department of Scientific and Industrial Research (DSIR), HMSOr, (1961).
- 8- Griffin M.J. *Handbook of human vibration*. Academic Press, London, New York, 1996.
- 9- Innocent P.R. and Sandover J. "A pilot study of the effects of noise and vibration acting together; subjective assessment and task performance" United Kingdom Group on Human Response to Vibration, Sheffield, 1972.
- 10- Andrew N. Rimell and Neil J. Mansfield "Design of Digital Filters for Frequency Weightings Required for Risk Assessments of Workers Exposed to Vibration" Department of Human Sciences, Loughborough University, Loughborough, Leicestershire, LE11 3TU, UK, Industrial Health 2007.
- 11- Howarth H.V.C. "A review of experimental investigations of the time dependency of subjective reaction to whole-body vibration". United Kingdom Group on Human Response to Vibration, Journal of sound and vibration, Volume: 113 Issue: 3 (1987), pp. 609-609.
- 12- ISO 4866:2010 "Mechanical vibration and shock -- Vibration of fixed structures - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures", 2010.
- 13- VDI 2057 – "Effect of mechanical vibrations on human beings" Verein Deutscher Ingenieure, 1987.
- 14- DIN 4150 – "Vibration in buildings. Deutsches Institut ur Normung e.V.", 1987.
- 15- Gómez M., Alfaro C., "Evaluación de las vibraciones sobre el confort, percepción y mareo producido por el movimiento" Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- 16- Istrate M.V., Lorenzana Ibán A., Ibán Lorenzana N., and Vasallo Belver A.. Cuantificación de la percepción de la vibración en pasarelas peatonales. DYNA Ingeniería e Industria. Julio-Agosto (2012), pp. 467-473.
- 17- Bellmann M.A., "Perception of Whole-Body Vibrations: From basic experiments to effects of seat and steering-wheel vibrations on the passenger's comfort inside vehicle", Thesis, Fachbereich Physik der Universitt Oldenburg, 2002.
- 18- Zivanovic S, Pavic A, Reynolds P. "Vibration serviceability of footbridges under human-induced excitation: a literature review". Journal of sound and vibration. Volume: 279 Issue: 1-2 (2005), pp. 1-74 DOI: 10.1016/j.jsv.2004.01.019.
- 19- SETRA. Technical guide Footbridge: Assesment of vibration behavior of footbridges under pedestrian loading, Bagneux: Setra, 2006.
- 20- Mackenzie D., Barker C., Mcfadyen N. y Ilison B., "Footbridge Pedestrian Vibration Limits", 2005.
- 21- Comité Europeo de Normalización CEN. EUROCÓDIGO 5. UNE-ENV 1995-1-1. UNE-ENV 1995-1-1. Madrid: AENOR, 1995.
- 22- EAE-2011. Instrucción de Acero Estructural. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento, 2011







ANEXO I

Rutina Maple desarrollada para el post-procesado

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%   Primera version:  14 de Noviembre 2011
%
%   Autor: Norberto Ibán Lorenzana
%
%Resumen: Programa que calcula máximos, rms, MTVV y VDV tanto de
%la señal original como de la señal ponderada por la norma BS6841
%o ISO 2631
%
%Programa: RMS_MTVV_VDV_norberto_PPGB.m
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all
close all
clc

filenametxt=uigetfile({'*.txt'; '*.asc'; '*.mat'; '*.asc'; '*..*'});
registro=load(filenametxt, '-ascii');
format long

[I] = meshgrid(1,1);

ax=input('¿acelerometro a evaluar
(1Vmc=2, 2Hmc=3, 3Vmc=4, 4V1/4cb=5 ? : ');

for i=1:75 ;
    tde=i+2;

    acceleration2=registro(:,ax);
    t0=registro(:,1);
    tdei=(tde-2)*12000;
    tdef=(tde)*12000;
    t0= t0(tdei:tdef);
    acceleration2=acceleration2(tdei:tdef);

plot(t0, acceleration2)

%fs=input('Frecuencia de muestreo: ');
fs=200;
%d=input('Decimation: ');
d=1;
fs=fs/d;
acceleration=decimate(acceleration2,d);
```



```
t0=decimate(t0,d);
dt=1/fs;
numdata=length(t0);
time=0:dt:(dt*(numdata-1));

%weighted acceleration Wb
%acceleration_w = wt6841(acceleration, fs,1,1);
a=acceleration;
%curve=input('BS6841 curve (1=b, 2=c, 3=d, 4=e, 5=f, 6=g) ');
curve=1;
resample_factor=1;

f1=[.4 .4 .4 .4 .08 .8];
f2=[100 100 100 100 .63 100];
Q1=[0.71 0.71 0.71 0.71 0.71 0.71];
f3=[16 8 2 1 Inf 1.5];
f4=[16 8 2 1 .25 5.3];
f5=[2.5 NaN NaN NaN .0625 NaN];
f6=[4 NaN NaN NaN .1 NaN];
Q2=[.55 .63 .63 .63 .86 .68];
Q3=[.9 NaN NaN NaN .8 NaN];
Q4=[.95 NaN NaN NaN .8 NaN];
K=[.4 1 1 1 .4 .42];

w1 = 2*pi*f1;
w2 = 2*pi*f2;
w3 = 2*pi*f3;
w4 = 2*pi*f4;
w5 = 2*pi*f5;
w6 = 2*pi*f6;

if nargin <= 3
    resample_factor = 1;
end

resampled=0;
if resample_factor~=1
    resampled=1;
    length_old = length(a);
    fs_old=fs;
    a = resample(a,round(fs*resample_factor),round(fs));
    fs = round(fs*resample_factor);
end

% Apply high pass filter
B1 = [1 0 0];
A1 = [1 w1(curve)/Q1(curve) w1(curve)^2];
[b1,a1] = bilinear(B1,A1,fs);
a = filter(b1,a1,a);
```



```
%Apply low pass filter
B2 = [0 0 w2(curve)^2];
A2 = [1 w2(curve)/Q1(curve) w2(curve)^2];
[b2,a2] = bilinear(B2,A2,fs);
a = filter(b2,a2,a);

% Apply frequency weightings
% a-v transition
B34 = [0 K(curve)*w4(curve)^2/w3(curve) K(curve)*w4(curve)^2];
A34 = [1 w4(curve)/Q2(curve) w4(curve)^2];
[b34,a34] = bilinear(B34,A34,fs);
a = filter(b34,a34,a);
% upward step
if (curve==1) | (curve==5)
    B56 = [w6(curve)^2/w5(curve)^2 w6(curve)^2/w5(curve)/Q3(curve)
w6(curve)^2];
    A56 = [1 w6(curve)/Q4(curve) w6(curve)^2];
    [b56,a56] = bilinear(B56,A56,fs);
    a = filter(b56,a56,a);
end

if resampled==1
    a = resample(a,round(fs_old),round(fs_old*resample_factor));
    if length(a)~=length_old
        a = a(1:length_old,:);
    end
end

acceleration_w = a;

% Potential Spectral Density
x=acceleration_w;
y=fft(x,numdata);
p=y.*conj(y)/numdata;
f=(fs)*(0:(numdata/2)-1)/numdata;

len=length(time);
tf=time(len);
dt=1/fs;
%initial and final time for the plots
t_ini=0;
t_final=tf;

ini_data=ceil(t_ini*len/tf+eps);
final_data=round(t_final*len/tf);
t_plot=time(ini_data:final_data);
t_plot=0:dt:((length(t_plot)-1)*dt);
```



```
acceleration_plot=acceleration(ini_data:final_data);
acceleration_w_plot=acceleration_w(ini_data:final_data);

a_max=max(acceleration_plot);
a_w_max=max(acceleration_w_plot);

%tiempo_rms=input('Tiempo de la RMS (s) (0=tiempo total): ');
%cambio_rms=input('Cambio en la ventana (s) (0=1 muestra): ');
tiempo_rms=0;
cambio_rms=1;
if tiempo_rms==0
    tiempo_rms=tf;
end
if cambio_rms==0
    cambio_rms=1/fs;
end

[acc_rms,a_max_rms,time_rms] =
rms_trend_lambda_max(acceleration_plot,fs,tiempo_rms,cambio_rms,2)
;
RMS=max(acc_rms);

[acc_w_rms,a_max_rms,time_rms] =
rms_trend_lambda_max(acceleration_w_plot,fs,tiempo_rms,cambio_rms,
2);
RMS_w=max(acc_w_rms);

[acc_mtvv,a_max_rms_mtvv,t_rms] =
rms_trend_lambda_max(acceleration_plot,fs,1,0.25,2);
MTVV=max(acc_mtvv);

[acc_w_mtvv,a_max_rms_mtvv,t_rms] =
rms_trend_lambda_max(acceleration_w_plot,fs,1,0.25,2);
MTVV_w=max(acc_w_mtvv);

%respuesta=input('¿Quiers calcular Rmlambda? (1=Yes/0=No): ');
respuesta=1;
if respuesta==1
    %lambda=input('Valor de lambda: ');
    lambda=4;
    %tiempo_rms_l=input('Tiempo de la RMS (s) (0=tiempo total): ');
    %cambio_rms_l=input('Cambio en la ventana (s) (0=1 muestra):
');
    tiempo_rms_l=0;
    cambio_rms_l=1;
    if tiempo_rms_l==0
        tiempo_rms_l=tf;
    end
end
```



```
    if cambio_rms_l==0
        cambio_rms_l=1/fs;
    end
    [acc_rms_l,a_max_rms_l,t_rms_l] =
rms_trend_lambda_max(acceleration_plot,fs,tiempo_rms_l,cambio_rms_
l,lambda);
    RMS_lambda=max(acc_rms_l);
    [acc_w_rms_l,a_max_rms_l,t_rms_l] =
rms_trend_lambda_max(acceleration_w_plot,fs,tiempo_rms_l,cambio_rm
s_l,lambda);
    RMS_w_lambda=max(acc_w_rms_l);
end

%respuesta2=input('?Quieres calcular VDV? (1=Yes/0=No): ');
respuesta2=0;
if respuesta2==1
    h = waitbar(0,'Calculando...');
    VDV(1)=0;
    for jj=2:length(t_plot)
        VDV(jj)= ((acceleration_w_plot(jj-1,1))^4)*(1/fs)+VDV(jj-
1) ;
        waitbar(jj/length(t_plot),h)
    end
    close(h)

VDVmax=VDV(length(t_plot))^(0.25)
end

I(i+1,1)= a_max;
I(i+1,2)= RMS;
I(i+1,3)= RMS_w;
I(i+1,4)= MTVV;
I(i+1,5)= MTVV_w;
end

nombrefichero=['valores','.txt'];
save(nombrefichero,'I','-ascii','-tabs','-double');

%=====
```