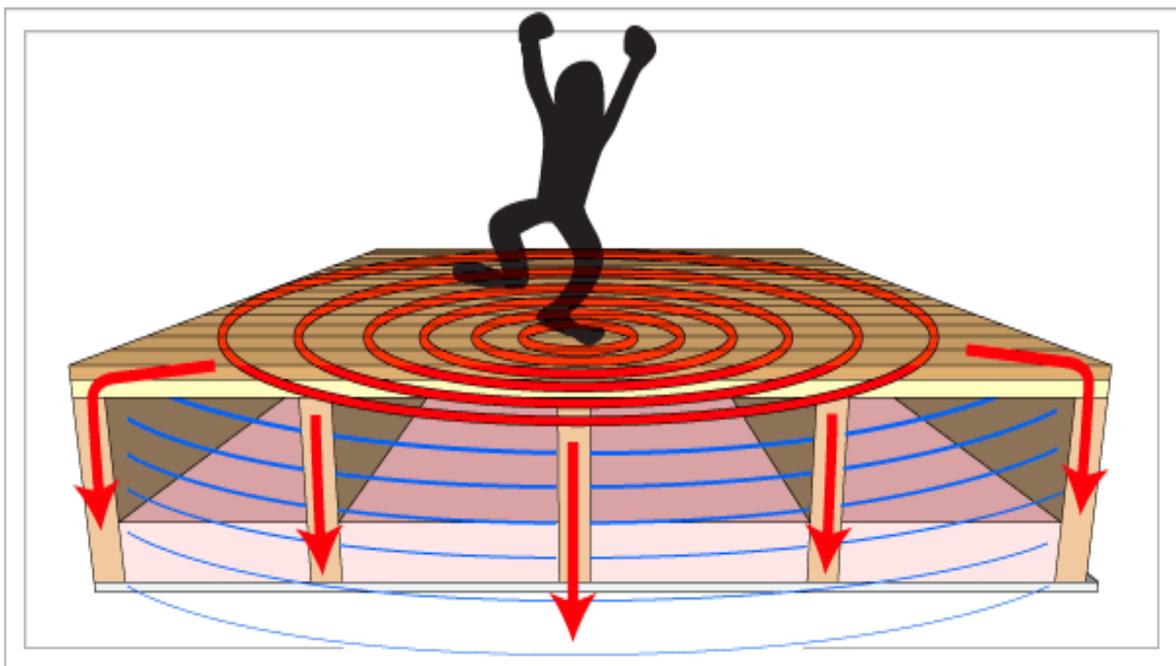


Análisis y evaluación comparativa de entrepisos metálicos ante vibraciones generadas por cargas de servicio



Enero 2010

Abstract

This work corresponds to an analysis of service capacity and performance due to the loads producing vibrations induced by people walking on mezzanines with metal structure composed specifically concrete slab on cold formed sections, asbestos cement sheets on profiles and metaldeck system. Particularly, it has been proposed as a starting point for the analysis and comparison of all systems, the analysis of a mezzanine structure for offices, houses or stores.

Raised composited slab systems are widely used in our country, however, there is no national reference to address the issue, let alone permissible acceleration values on the severity and frequency to effectively categorize these options on a scale of perception of vibration. This paper uses established testing procedures in the Design Guide called Floor Vibrations due to Human Activity.

The above comparison is in terms reasonably similar because they have proposed types of materials, fillers and similar dimensions which allow, at the end, to raise an objective overview of comparison on service capacity and performance of these structures based on values of relative acceleration and frequency.

Key Words: Vibration, Mezzanines, frequencies, accelerations, Performance.

Resumen

El trabajo realizado corresponde a un análisis de capacidad de servicio y desempeño ante las cargas inducidas por vibraciones que producen personas al caminar en entresijos de estructura metálica, específicamente los compuestos por losa de concreto sobre perfiles, láminas de fibrocemento sobre perfiles y el sistema metaldeck. De forma particular, se ha propuesto como punto de partida para el estudio y la comparación de todos los sistemas, el análisis de una estructura de entresijo destinada a viviendas, oficinas o locales comerciales pequeños.

Los sistemas de entresijo planteados son ampliamente usados en nuestro país, sin embargo, no existe referencia nacional que aborde el tema, menos aún valores permisibles de aceleración relativa a la gravedad y frecuencias, para categorizar efectivamente estas opciones en una escala de percepción de las vibraciones. En este trabajo se recurre a los procedimientos de análisis establecidos en la Guía de diseño llamada Floor Vibrations due to Human Activity¹.

La comparación citada se plantea en términos razonablemente similares, ya que se han propuesto calidades de materiales, cargas y dimensiones similares, las cuales permitirán al final plantear un panorama objetivo de comparación acerca de la capacidad de servicio y el desempeño de estas estructuras con base en los valores de aceleración relativa y frecuencia.

Palabras Clave: Vibraciones, Entresijos, Frecuencias, Aceleraciones, Desempeño.

¹ AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide,

Análisis y evaluación comparativa de entrepisos metálicos ante vibraciones generadas por cargas de servicio

GUILLERMO MORALES GRANADOS

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	5
Metodología.....	7
Marco Teórico.....	11
Resultados.....	24
Análisis de los resultados.....	44
Conclusiones y Recomendaciones.....	50
Referencias.....	52

Prefacio

El presente trabajo tiene como objetivo principal realizar un análisis comparativo de las alternativas de entrepiso compuesto metal - concreto de uso más común en el medio nacional y se hace referencia a un modelo de análisis de vibraciones, establece criterios comparativos de desempeño y capacidad de servicio, a fin de evidenciar el comportamiento ante cargas inducidas por la acción de personas al caminar.

La información disponible en el país en este tema es muy escasa, por lo que este trabajo pretende despertar el interés en el tema de la comunidad técnica e incentivar a que se realicen las investigaciones y comités técnicos que valoren la necesidad de tener una normativa o al menos una referencia nacional en materia de vibraciones de estructuras de entrepiso e incorporarlas en el Código Sísmico costarricense.

Los resultados presentados tienen la finalidad de dar una guía preliminar a los estudiantes y profesionales de ingeniería y arquitectura que deseen investigar o hacer planteamientos de estructuras de entrepiso, así como dar un panorama general sobre el desempeño y capacidad de servicio de los sistemas de entrepiso analizados en esta investigación.

Se agradece la colaboración a los profesores Gustavo Rojas y Sonia Vargas de la Escuela de Ingeniería en Construcción por su guía para la realización de este trabajo y a mi familia, que sin su apoyo incondicional este trabajo no hubiese sido posible de realizar.

Resumen ejecutivo

El análisis de las vibraciones por capacidad de servicio, es un estudio particular y complementario a la revisión sísmo-resistente de las estructuras de edificaciones. Por lo general, el diseñador no realiza una valoración apropiada de este análisis y parte de supuestos usados por mucho tiempo y que ciertamente han perdido vigencia ante estudios y desarrollos más recientes. El estudio particular de las vibraciones tiene como uno de sus fines, asegurar que cada estructura de piso, durante su período de vida, presentará un comportamiento satisfactorio ante las cargas y sistemas de fuerzas que actúan de manera independiente o combinada sobre él y los usuarios, estarán de manera confortable, haciendo uso de esta parte de las edificaciones.

Producto de la investigación realizada para la ejecución de este proyecto se determinó que en la reglamentación nacional (Código Sísmico y Reglamento de Construcciones) no hay referencias de estudios o normativa especial que valore la acción de la vibración en los entrepisos ante las cargas inducidas por la acción de las personas, lo cual hace presumir, que este fenómeno pocas veces es valorado y cuidado sino, despreciado.

Ante esta situación se propone este tema, con el fin de convertirlo en el inicio de una serie de proyectos similares, los cuales propicien la investigación e implementación de herramientas de cálculo y de entendimiento práctico del problema de las vibraciones en las estructuras, como una de las dificultades fundamentales relacionadas con el comportamiento ante el uso normal de las estructuras.

El problema de las vibraciones en entrepisos de es posible evidenciarlo muy fácilmente, sin embargo, el entendimiento real del fenómeno

tomó muchos años en poder ser planteado en términos de los materiales, sus capacidades, geometría de la estructura y la incidencia de cargas. Esta situación, en la mayoría de los casos, no implica comportamientos asociados con esfuerzos más allá de los valores permitidos para los materiales, pero sí implica necesariamente problemas asociados con la calidad de servicio, desempeño y percepción de las vibraciones por parte de las personas, que por naturaleza, tienden a asociar este comportamiento a deficiencias en los diseños o capacidades limitadas de los insumos empleados.

El problema de las vibraciones de entrepisos no es algo reciente, ya que desde 1828 se tienen referencias al respecto. Los análisis tradicionales establecían que el control de las vibraciones era posible de lograr si se limitaban las deflexiones máximas por cargas viva a factores relacionados con el peralte de la sección, o con la separación entre apoyos de las vigas que conforman los entrepisos. Algunas metodologías se establecieron, sin embargo, con el paso del tiempo, estas empezaron a perder vigencia pues obedecen a diferentes épocas, tecnologías, métodos de diseño y hasta a diferentes materias primas que en algunos casos, han entrado en desuso.

Con el surgimiento de nuevas herramientas de diseño y una tendencia a un mayor aprovechamiento de las capacidades de los recursos, se ha llegado al punto en el cual las estructuras son mucho más livianas y esbeltas que antes, eso implica necesariamente diferencias en cuanto al comportamiento estructural y funcional de todos los elementos que la conforman, pues si bien es cierto, soportan las cargas impuestas, podrían presentar problemas relacionados con la capacidad de

servicio y uno de ellos en particular, es la vibración.

La metodología de diseño y revisión de vibraciones en entresijos de estructura metálica utilizada en la actualidad es la referida en el documento² "Floor Vibrations due to human Activity" de la American Institute of Steel Construction (1997). En el documento citado, se hace un análisis detallado de los procedimientos de valoración de las vibraciones inducidas por diversas fuentes, ya sean estas por personas caminando, sollicitaciones rítmicas u operación de equipo. Se abarca un apartado acerca de los criterios de diseño, cuando existen equipos sensibles en los pisos y se incluye además, un apartado general de evaluación de las vibraciones y medidas correctivas.

El procedimiento de análisis parte de las propiedades de los materiales y la configuración geométrica de los entresijos, y tiene como objetivo, el obtener un par ordenado de valores que se grafican y permiten hacer la comparación respecto a un modelo predeterminados, y así categorizar los rangos perceptibles de aceleraciones y frecuencias en función del uso específico de la estructura, sea esta habitación u oficina, centros comerciales o pasarelas internas, o lugares de actividades rítmicas o pasarelas externas.

Como un ejemplo de este gráfico, se invita al lector remitirse a la sección de Análisis de Resultados.

Ahora bien, dado que este informe se enfoca a la incidencia de las cargas de personas caminando, se desarrolla el tema específico correspondiente a los capítulos 1, 2, 3 y 4 del documento de referencia, y se complementa con otras investigaciones y artículos relacionados, todo ello incluido en el Marco Teórico.

Con el fin de obtener un análisis comparativo del comportamiento ante las cargas inducidas por la acción de personas caminando sobre los entresijos, el presente trabajo analiza tres tipos de estas estructuras con algunas características en común, haciendo variaciones en aspectos

² AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

geométricos que inciden fundamentalmente en la frecuencia y la aceleración relativa, con el fin de obtener criterios que fundamenten el comportamiento ante la variación de estas propiedades. Se ha decidido variar la separación entre apoyos y el espaciamiento paralelo entre vigas, para incidir directamente en la rigidez de la estructura y evidenciar numéricamente el comportamiento de cada tipo de entresijo.

Las estructuras propuestas para el análisis son las siguientes:

Caso 1

Sistema de entresijo de acción compuesta entre una losa de concreto de espesor 10cm y una resistencia a la compresión de 245 kg/cm², soportado sobre vigas de perfiles de acero laminados en frío (RT), unidos ambos materiales por conectores de cortante en cantidad suficiente para transmitir efectivamente los esfuerzos cortantes. En este caso se hizo el proporcionamiento de 23 estructuras de entresijo, las cuales, fueron calculadas, las variables citadas de aceleración relativa y frecuencia.

Caso 2

Sistema de entresijo soportado por vigas de acero laminado en frío (RT) con una superficie formada por dos láminas de fibrocemento de 25mm de espesor cada una (conocido como Plystone, en Costa Rica). Tal sistema es soportado principalmente por la capacidad de las vigas a momento flector.

En este caso se hizo el proporcionamiento de 27 estructuras de entresijo, las cuales fueron calculadas las variables citadas de aceleración relativa y frecuencia.

Caso 3

En este caso se incluyeron variables adicionales como entresijos de 2 espesores de losa, láminas de calibres 22 y 20, así como largos de piso que variaron desde los 3m a los 9m.

En este caso se hizo el proporcionamiento de 56 estructuras; fueron calculadas, a cada una de

ellas, las variables citadas de aceleración relativa y frecuencia.

Los resultados obtenidos se resumen en la Sección de Resultados, más específicamente en los cuadros N° 22 y N° 23, así como en la sección de análisis de resultados, en la figura N° 24. En estos casos, se muestra que los entresijos de sistema compuesto lámina de acero y concreto, desempeñan los valores de aceleración o frecuencia para la aplicación sugerida, sin embargo, en el caso de los entresijos de fibrocemento, a pesar de que cumplen con los rangos de la frecuencia sugerida por el método de cálculo, presentan altos valores de aceleración relativa. Una de las posibles razones por las cuales sucede esta situación, es porque el sistema que utiliza fibrocemento presenta un peso muerto muy bajo comparado con los otros sistemas, lo cual hace pensar que el amortiguamiento es mucho menor y por lo tanto, hay una mayor aceleración ante la incidencia de la misma carga de una persona caminando que sugiere el método de análisis.

Introducción

El acero ha tenido un gran auge en la construcción, principalmente en estructuras de varios niveles. Rapidez de instalación, limpieza, excelente relación capacidad/peso y su gran variedad de secciones listas para usar, entre otras razones, le han conferido grandes ventajas comparativas con respecto a otros sistemas de construcción como el concreto reforzado y la madera. Asimismo, la preservación del ambiente y el auge de las conciencias en el uso de los recursos, han otorgado al acero, una gran preponderancia en el campo de reciclaje de las materias primas. Asimismo, el desarrollo de tecnologías en la fabricación de aleaciones, materiales, herramientas de diseño y análisis estructural, así como una normativa en constante actualización; han permitido a los proyectistas, proponer diseños en los cuales se optimiza el uso de cada elemento sismo-resistente para soportar las acciones de las cargas impuestas.

Sin embargo, a pesar de estos avances y propuestas recientes, se dejan de lado con frecuencia, análisis relacionados con la operación y capacidad de servicio propia de los usos de las estructuras y la percepción de los usuarios ante su comportamiento, refiriéndose específicamente a la vibración de entresijos.

Los efectos de las cargas vivas y las deflexiones asociadas inciden de manera fundamental en los efectos y comportamientos percibidos por los usuarios de los entresijos; en este caso en particular, ya que, sea como propietarios o como usuarios, se tiende a calificar a una estructura como segura o no, en función de lo que perciban de las vibraciones estructurales ante una condición de uso normal.

El entendimiento, la determinación y comparación de las vibraciones de los entresijos con valores categorizados en rangos, se convierten en un

aspecto de gran importancia para aquellas estructuras donde la susceptibilidad al movimiento por el tipo de uso definido puede ser una restricción importante.

Refiriéndose específicamente al alcance de este proyecto, se quiere conocer el fundamento teórico de las vibraciones en entresijos de estructura metálica y se plantea un análisis comparativo de los sistemas propuestos en función del comportamiento a las principales variables que inciden en el dimensionamiento de los mismos.

Una vez realizado un reconocimiento teórico del problema, se hace una identificación de variables, como se muestra en el cuadro N° 7 para los tres tipos de entresijos analizados, a saber:

- Entresijo de vigas de perfiles laminados en frío de acero con losa de concreto.
- Entresijo de vigas de acero y láminas de fibrocemento.
- Entresijos de sistema compuesto lámina de acero y concreto.

Desarrollada esta etapa, se hizo la construcción de hojas de cálculo en Microsoft Excel, las cuales se usaron las propiedades de las secciones de los modelos propuestos y con ellos, los cálculos para las relaciones entre las aceleraciones y frecuencias de vibraciones posibles de acuerdo con los modelos propuestos. Como guía para la elaboración de este proyecto de graduación se ha tomado el documento llamado Steel design Guide Floor Vibrations due to human activity (1997).³

Se tiene por lo tanto, una serie de diseños de entresijos, y en estos serán calculadas las variables aceleración relativa a la gravedad ($a_0/g\%$) y frecuencia (f) con las cuales se podrán

³ AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

comparar los valores obtenidos con los de referencia para categorizar su condición dentro de los rangos permisibles. La sección de Análisis de Resultados mostrará los procedimientos que se siguieron para obtener los resultados de este informe, así como en la sección de Conclusiones se expondrá una explicación detallada de las principales características de cada uno de los sistemas respecto al comportamiento ante las cargas inducidas por la acción humana, que en este caso particular se refiere a la acción ejercida por una persona caminando por un piso.

investigación realizada, se determinó la existencia de metodologías de análisis para sistemas de entresijos de concreto o de madera, de esta manera se abre un amplio espacio de estudio para la comunidad técnica a nivel nacional, con lo cual es posible a un futuro no muy lejano, crear normativa y detalles típicos de diseños que sirvan de referencia al desarrollo profesional, asegurando una capacidad de servicio adecuada y un desempeño satisfactorio a aquellas construcciones de entresijos, sea en cualquier material o para cualquier aplicación.

Objetivo general

Realizar un análisis para la comparación de los sistemas de entresijo con estructuras metálicas ante las cargas debidas a la actividad humana.

Objetivos específicos

1. Investigar acerca de la temática de la vibración de entresijos.
2. Recopilar los fundamentos teóricos para diseño de entresijos de estructura metálica
3. Identificar las variables que intervienen en el análisis de vibración de los entresijos, tomando como punto de partida la normativa de referencia y literatura encontrada.
4. Construir hojas de cálculo en Excel que permitan verificar la capacidad de los entresijos ante cargas propuestas.
5. Determinar los valores que permitan categorizar y predecir el comportamiento de los entresijos ante las cargas inducidas por la acción de personas transitando.
6. Sugerir aspectos constructivos tendientes a contrarrestar las vibraciones en los sistemas de entresijo analizados.

Dado que el tema del análisis de desempeño de pisos ha sido poco estudiado en nuestro país, este informe pretende ser uno de los primeros pasos a fin de motivar a más estudiantes a interesarse en este tema, ya que existen dos campos adicionales al planteado en este informe, que son las vibraciones inducidas por las cargas rítmicas y por las cargas inducidas por la operación de equipos. Asimismo, producto de la

Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se ha realizado una búsqueda de literatura sobre el tema del desempeño de entresijos de estructura metálica ante las vibraciones inducidas por actividades humanas, así como lo relativo a entresijos metálicos de los tres tipos siguientes: losa de concreto sobre perfiles de acero tipo RT, láminas de fibrocemento y entresijos de sistema compuesto lámina de acero y concreto. Esta revisión se hizo tomando en cuenta la información disponible acerca del tema en enlaces académicos, así como bibliografía y documentación de diversos fabricantes de sistemas de entresijo y documentación de instituciones usadas como normativa y referencia en diversos países, ya que a nivel nacional, no fue posible encontrar documentación específica para el desarrollo del tema de las vibraciones en entresijos por la acción de las personas.

El documento⁴ "Floor vibrations due to human activity" del Steel Design Guide Series, de la American Institute of Steel Construction (1997) detalla la aplicación de una metodología de cálculo que explica el fenómeno de las vibraciones y la parametrización del efecto en función de la percepción de las personas. Una vez estableció un marco teórico de referencia, se procedió a plantear los tres tipos de entresijos que se usaron como modelos para determinar el comportamiento de las vibraciones para las sollicitaciones que se producen por la acción de las personas al caminar.

Se trató de homologar las principales variables en función de los tres tipos de entresijos usados en el cálculo, a fin de establecer un criterio para la comparación de los resultados y poder medir el efecto del cambio de esas variables. Los valores de cargas vivas, propiedades físicas de los materiales, espaciamiento de vigas y longitudes

⁴ AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

entre apoyos, espesor de concreto más comúnmente utilizado en la práctica, fueron las variables que determinaron los valores de comparación y análisis.

En la sección de marco teórico se hace una descripción detallada de las principales consideraciones tomadas en cuenta en el modelado del problema de las vibraciones que se generan por la acción de los peatones y personas.

Los sistemas de entresijo analizados son similares pues su estructura es soportante en acero y se han calculado los siguientes casos:

Caso 1

Sistema de entresijo de acción compuesta entre una losa de concreto de espesor 10cm y una resistencia a la compresión de 245 kg/cm², soportado sobre vigas de perfiles de acero laminados en frío (RT). Este sistema para que trabaje de una forma óptima, debe tener conectores de cortante, los cuales deben ser diseñados a fin de garantizar una transmisión efectiva de esfuerzos de cortantes en la interfase de ambos materiales.

Para este primer sistema se usó la siguiente distribución de longitudes y espaciamientos de vigas y con el uso de las cargas propuestas, se realizó el proporcionamiento de la sección de RTs.

CUADRO N° 1, LARGO DE VIGAS		
ident	largo	un
a	3,00	m
b	4,00	m
c	5,00	m
d	6,00	m
e	7,00	m
f	8,00	m
g	9,00	m

MS Office, Excel

CUADRO Nº 2 SEPARACIÓN DE VIGAS		
ident	largo	un
1	40,00	cm
2	50,00	cm
3	60,00	cm
4	70,00	cm

MS Office, Excel

Con los cuadros anteriores, fue posible elaborar una matriz de datos compuesta por las combinaciones posibles de largos y espaciamento de vigas. El modelo de análisis de vibración de entresijos utilizado supone que las vigas transversales están soportadas sobre unas vigas longitudinales, las cuales fueron igualmente diseñadas con base en criterios de esfuerzos de trabajo. Con las variables identificadas del modelo completo de análisis de vibraciones y aceleraciones, se hace el cálculo de la aceleración porcentual respecto al valor de la aceleración de la gravedad y la frecuencia natural de la estructura ante la incidencia de una carga estándar, según el modelo del texto de referencia.

Con este par ordenado de valores, es posible remitirse a la figura 3 y al cuadro 5, y en función de los resultados, calificar los valores obtenidos contra los permisibles según los rangos de referencia en función de la utilidad del piso en cuestión.

Algunos de los supuestos adicionales con base en los cuales se hicieron los proporcionamientos de estos entresijos son:

1. Se determinó una relación de largo/ancho del entresijo de estudio de 1,2.
2. La cantidad de vigas se estima de acuerdo con los espaciamentos propuestos de las vigas, según los cuadros 1 y 2.
3. Se hizo una revisión de los esfuerzos de trabajo en las vigas transversales y el proporcionamiento de la viga lateral para cada caso, en el entendido de que se está partiendo de un entresijo formado integralmente por una estructura de acero en todos los lados.
4. Para el proporcionamiento de las vigas laterales de apoyo, se ha supuesto una

relación de deflexión máxima de $L/360$, para cada una y en este caso, se han propuestos vigas del tipo IPN para ser usadas como vigas laterales de apoyo del entresijo.

Este procedimiento de cálculo se usó para los 23 entresijos diseñados de este primer tipo.

Caso 2

Sistema de entresijo soportado por vigas de acero laminado en frío (RT) con una superficie formada por dos láminas de fibrocemento de 25mm de espesor (conocido como Plystone, comercialmente en Costa Rica). Tal sistema es soportado principalmente por la capacidad de las vigas a momento flector.

Para este segundo sistema se usó la siguiente distribución de longitudes y espaciamentos de vigas, y con el uso de las cargas propuestas, se realizó el proporcionamiento de la sección de RTs formada complementariamente por el espesor de 2 láminas de fibrocemento adheridas entre sí con pegamento epóxico y atornilladas al perfil de acero.

CUADRO Nº 3 LARGO DE VIGAS		
ident	largo	un
a	3,00	m
b	4,00	m
c	5,00	m
d	6,00	m
e	7,00	m
f	8,00	m
g	9,00	m

MS Office, Excel

CUADRO Nº 4 SEPARACIÓN DE VIGAS		
ident	largo	un
1	30,00	cm
2	40,00	cm
3	50,00	cm
4	60,00	cm

MS Office, Excel

Los cuadros anteriores, permitieron elaborar una matriz de datos compuesta por las combinaciones posibles de largos y espaciamentos. El cuadro 4 indica la separación de vigas en este tipo de entrepisos. El modelo supone además, que las vigas transversales están soportadas sobre unas longitudinales, las cuales fueron igualmente diseñadas con base en criterios de esfuerzos de trabajo y una deflexión máxima equivalente a $L/360$ en cada caso. Con las variables identificadas del modelo completo de análisis de vibraciones y aceleraciones, se hace el cálculo de la aceleración porcentual respecto al valor de la gravedad y la frecuencia natural de la estructura ante la incidencia de una carga estándar, según el modelo del texto de referencia.

Con este par ordenado de valores, es posible remitirse a la figura 3 y al cuadro 6 y calificar los valores obtenidos contra los permisibles según los rangos de referencia, en función de la utilidad del piso en cuestión.

Para realizar las modelaciones de los entrepisos, se tomaron algunos supuestos los cuales se enuncian a continuación:

1. Se determinó una relación de largo/ancho del entrepiso de estudio de 1,2.
2. La cantidad de vigas se estima con base en los espaciamentos propuestos de las vigas, según los cuadros 3 y 4.
3. Se ha hecho una revisión de los esfuerzos permisibles en las vigas transversales y se ha hecho el proporcionamiento de la una viga lateral, en el entendido de que se está partiendo de un entrepiso formado integralmente por una estructura de acero en todos los lados.

Este procedimiento de cálculo se usó para los 27 entrepisos de este segundo tipo.

Caso 3

En este caso, se analizan varias secciones del sistema de entrepiso conocido como sistema de lámina colaborante.

La estrategia de proporcionamiento de este sistema varió de los anteriores, ya que se trató de sacarle provecho a las láminas de menores calibres según las tablas de diseño del fabricante, a fin de que las comparaciones con los otros sistemas fueran razonablemente consistentes, principalmente a la hora del proporcionamiento de las cargas que soportan los entrepisos analizados. En el caso del análisis de los entrepisos de sistema compuesto lámina de acero y concreto se incluyeron variables adicionales como entrepisos de 2 espesores de losa, láminas de calibres 22 y 20, así como largos de piso que variaron desde los 3m a los 9m.

Al igual que en los sistemas anteriores, se realizó el proporcionamiento de una viga de carga principal que asumiera las cargas de las vigas transversales de apoyos intermedios de los tramos de entrepisos propuestos.

El largo de la viga lateral de carga, está calculado en función de 4 veces la sección de ancho crítico para vibraciones según lo establecido en el manual de diseño de ACESCO (2007).⁵

En todos los casos se hizo de forma complementaria una revisión de los esfuerzos de trabajo de las vigas respectivas y en ningún momento se superaron los valores máximos de trabajo para la resistencia del acero estructural de las vigas.

En este tercer caso, se trabajó el diseño de 56 entrepisos.

El proceso de proporcionamiento de la cantidad de entrepisos indicada se llevó cabo de forma manual a través de una hoja de cálculo para cada tipo de entrepiso, excepto por el diseño del entrepisos de sistema compuesto lámina de acero y concreto, que se realizó tomando los cuadros de ayuda suministrados por el fabricante en el manual de diseño.

Todos los resultados se tabularon de forma ordenada y se tomaron como insumos de separación de vigas, longitud entre apoyos, cargas, espesores, propiedades de los materiales, área de acero y momento de inercia de las vigas a fin de hacer posterior a este

⁵ ACESCO, 2007. Manual Técnico Metaldeck Grado 40

proceso, la estimación de los valores de aceleración y frecuencia estimada de los entresijos. Este valor, que conforma un par ordenado en la gráfica de Aceleraciones máximas recomendadas para actividades debidas a actividades humanas (Allen y Murray; ISO 2631-2; 1989)⁶ permite determinar si el entresijo estudiado, tiene un valor fuera de los rangos determinados para cada aplicación en particular.

Cada punto se graficó y se muestra en gráficos particulares por tipo de entresijo y uno general, donde, de manera comparativa, se presentan con respecto a los valores permisibles dependiendo de la aplicación a la que se destine cada entresijo.

En la sección de Resultados y Análisis se muestran los cuadros y gráficos correspondientes a cada una de las opciones de entresijo analizadas, haciendo una correlación con los principales principios enunciados en el Marco Teórico de este informe.

Se hace referencia en este informe de manera complementaria a una serie de recomendaciones que tienen como objetivo principal sugerir aspectos constructivos para mitigar la incidencia de las vibraciones en los entresijos.

⁶ AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

Marco Teórico

Concepto de vibraciones en entresijos producidos por las actividades humanas

Desde un punto de vista de capacidad de servicio de las edificaciones y sus elementos estructurales, el análisis de las vibraciones inducidas por la acción humana puede definirse como el estudio de los movimientos y efectos producidos por las cargas aplicadas sobre una estructura de piso. Para este caso en particular se entiende que una persona que camina, un grupo de baile rítmico o un grupo de personas que hace aeróbicos o algún equipo mecánico en operación podrían inducir vibraciones sobre un piso o plataforma, e incide de una forma negativa sobre el desempeño, el servicio y el confort que puedan sentir los ocupantes del mismo o el desempeño de algún equipo en especial, sensible a la operación en condiciones de vibración, aún si es auto inducida.

Desde 1828 se introdujo el concepto de rigidez relativa a las vibraciones. Tredgold⁷ escribió en ese entonces, que las vigas de grandes luces deben ser construidas con una mayor altura, a fin de evitar los inconvenientes de “que todo se mueva en una habitación cuando alguien camina por ella”.

Los análisis más tradicionales sobre el comportamiento de las estructuras en vibración, se han hecho limitando las deflexiones por cargas vivas a valores menores a $L/360$.

Simultáneamente se han manejado criterios de relaciones peralte-longitud entre apoyos menores a 24, es decir, $h/L < 24$, sin embargo, estas consideraciones, a pesar de que fueron aplicadas

con cierto éxito a sistemas estructurales de acero, no han logrado abarcar y satisfacer demandas actuales de capacidad de servicio y desempeño en lo que a vibraciones se refiere.

La posibilidad de resonancia se ignoró en el análisis de los pisos y pasarelas durante muchos años, sin embargo, hace más de treinta años se empezaron a presentar problemas de vibraciones en estructuras de piso que, tradicionalmente habían tenido un comportamiento satisfactorio y que en principio, cumplían con los valores de referencia citados anteriormente. Nuevos usos a estructuras antiguas a saber, casas antiguas que ahora son oficinas o locales comerciales, cada vez más personas haciendo uso del mismo espacio y falta de reforzamiento apropiado de acuerdo con el nuevo uso, pueden ser algunas de las causas de la ocurrencia de esta problemática.

Desde entonces, ha habido una mayor intención de conocer el comportamiento de la vibración en función de las fuerzas que actúan sobre los pisos y entresijos y el potencial de resonancia. A manera de ejemplo, en este sentido, se indica que en países de tradición militar, los soldados “rompen paso” cuando les corresponde marchar a través de un puente o pasarela peatonal, a fin de evitar el peligro que representa que el puente llegue a estado de resonancia.

Dentro de este análisis intervienen varios cálculos preliminares, como por ejemplo:

- La primera frecuencia natural del piso.
- La máxima aceleración, velocidad o desplazamiento para una sollicitación de referencia.
- Una estimación del amortiguamiento.
- Una escala conocida de confort o comodidad de las personas o valores de referencia en el caso de uso de equipos electrónicos o especializados que

⁷ AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

requieren valores máximos de vibraciones.

A continuación se definen algunos términos fundamentales utilizados en el desarrollo de este proyecto.

Clasificación de las cargas

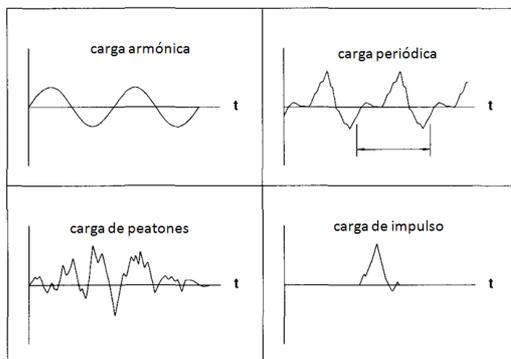
En el análisis de las vibraciones, las cargas que intervienen se agrupan de la siguiente forma:

Armónicas: son aquellas inducidas por equipo o maquinaria en funcionamiento.

Periódicas: son las cargas inducidas por actividades rítmicas tales como baile, aeróbicos o impactos.

Cargas de tránsito de personas: es la carga más elemental de este análisis y corresponde a la que ocasionan los peatones al caminar a través de un piso.

Puntuales o de impulso: son cargas de impacto que pueden ser producidas por un salto, un golpe o la caída de un objeto en el piso.



Fuente: AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

Figura 1, modelo de frecuencia según tipo de cargas.

Período y frecuencia: El período de una oscilación es el tiempo transcurrido entre dos puntos equivalentes de la oscilación. Es el mínimo lapso que separa dos instantes en donde el sistema se encuentra exactamente en el mismo estado, sean estas mismas posiciones, mismas velocidades, mismas amplitudes. El periodo (T) es inverso de la frecuencia (f).

Estado de movimiento fijo: es aquel movimiento con frecuencia y amplitud máxima constantes.

Movimiento de peatones: es el movimiento producido por la acción de los peatones caminando y caracterizada por el movimiento producido por un impulso y seguido de un amortiguamiento.

Frecuencia natural y vibración libre: La frecuencia natural es aquella en la que un sistema mecánico seguirá vibrando, después que se quita la carga que originó el movimiento y este estado de vibración, se conoce como vibración libre.

Amortiguamiento: Es la capacidad de las estructuras de piso de recuperar su estado de reposo luego de que ha iniciado una vibración producida por alguna fuerza dinámica y es una capacidad del sistema de disipar energía del movimiento.

Resonancia: cuando la frecuencia de la fuerza que se aplica a un piso es igual a la frecuencia natural del mismo, se produce el fenómeno de la resonancia.

Principios generales de las vibraciones de pisos.

La vibración de los pisos ha sido un problema complejo de analizar a pesar de que las molestias asociadas siempre han sido percibidas. Actualmente se han hecho simplificaciones importantes en las metodologías de cálculo que brindan una herramienta de revisión apropiada y diseños con resultados satisfactorios, en relación con las pruebas realizadas.

La mayoría de la problemática asociada a la vibración es ocasionada por la acción de fuerzas repetitivas como maquinaria en operación, las acciones humanas de caminar, baile y ejercicios aeróbicos, aunque el caminar, es un movimiento un poco más complejo, pues implica una carga que se desplaza a través de la superficie con cada paso. En la mayoría de estos casos, el comportamiento de la fuerza es sinusoidal o de

un tipo muy similar y su comportamiento puede ser descrito con una ecuación de la siguiente forma:

$$F = P [1 + \sum \alpha_i \cos(2\pi i f_{step} t + \phi_i)] \quad \text{Ec 1}$$

Donde:

P = peso base de una persona tomado como 157 libras para diseño.

α = valores dinámicos para la fuerza armónica

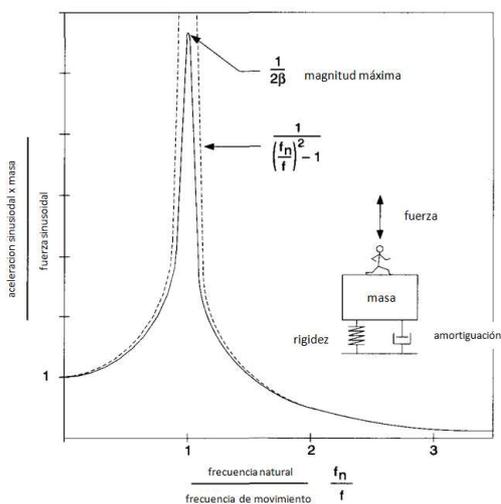
i = múltiple armónico para la frecuencia de paso

f_{step} = frecuencia de paso de la actividad

ϕ_i = ángulo de fase de la armónica

En teoría, si una frecuencia asociada con la fuerza sinusoidal coincide la frecuencia natural de un modo de vibración, ocurrirá la resonancia, fenómeno que amplificará un aumento significativo de la vibración.

El fenómeno de la resonancia es mostrado en la siguiente figura. El modelo que muestra la estructura de piso está representado por una masa conectada al piso por un resorte y un amortiguador. Una persona ejerce una fuerza vertical sinusoidal a la masa conforme ocurre el desplazamiento.



Fuente: AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

Figura 2, Modelo teórico a la respuesta sinusoidal.

Debido al hecho que la frecuencia natural de los pisos de losa de concreto soportados por una

estructura metálica puede ser similar, o inclusive, puede igualar la frecuencia armónica de las actividades humanas, la amplificación de la resonancia está asociada con la mayoría de problemas ocurridos en ese tipo de edificios.

Criterios de confortabilidad

Los diversos comportamientos de las personas ante las vibraciones del piso son muy diversos y complejos, sin embargo están relacionados con la magnitud del movimiento, el ambiente que circunda a la persona que percibe y la persona misma. Por ejemplo, un movimiento constante puede ser más molesto que uno generado por un solo impacto.

El umbral de percepción de la vibración puede ser mucho menor en un lugar de trabajo lleno de personas, que en una habitación de un apartamento, así como la percepción de un anciano en un piso superior, puede ser considerablemente diferente a la de un adulto joven en un piso inferior estando en un mismo edificio, para una misma cantidad de movimiento.

La apreciación de la vibración depende de la actividad que las personas estén desarrollando, así, las personas en oficinas o apartamentos residenciales, generalmente no estarían de acuerdo en percibir aceleraciones mayores a 0,5% de la gravedad, mientras que personas que estén tomando parte activa en acciones de mayor movimiento, podrían llegar a aceptar aceleraciones 10 veces mayores, o sea, 5% del valor de la gravedad o más. Cuando se da el caso de que personas, están al lado de actividades que ocasionan vibraciones en los pisos, por ejemplo, al lado de lugares de levantamiento de pesas, baile o un gimnasio de aeróbicos, estarán en disposición de aceptar aceleraciones en un rango intermedio, alrededor de 1,5% del valor de g .⁸

⁸ AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

Criterios recomendados para diseño estructural

A través del tiempo se han propuesto varios criterios para el confort de las personas y a continuación se muestran los criterios recomendados para las solicitaciones generadas por cargas de personas caminando y solicitaciones rítmicas. Los autores, Allen y Murray (1989) propusieron el método y el criterio para determinar las propiedades requeridas del piso y los procedimientos de diseño, y aunque este método es más complejo que modelos previos, tiene un mayor rango de aplicaciones y los resultados obtenidos son más económicos.

Las consideraciones generales del método para análisis de vibraciones originadas por personas caminando toman en cuenta los siguientes parámetros.

Solicitaciones por peatones

La metodología de cálculo toma en cuenta, lo siguiente:

1. Aceleraciones

Las aceleraciones límites recomendadas están dadas en la norma ISO 2631-2, 1998 y los valores de referencia son ajustados por cada espacio propuesto. La norma ISO indicada sugiere valores límites en función de la aceleración de la gravedad, como múltiplos de una línea base. Los valores de referencia se muestran en el siguiente gráfico.

Para propósitos de diseño, los límites se pueden suponer en un rango de 0,8 a 1,5 veces los valores indicados de referencia, sin embargo, esto depende de la duración y la frecuencia de vibración de los eventos.

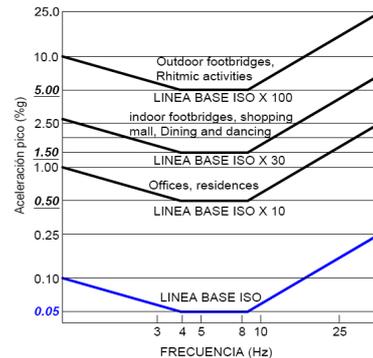


Figura 3, Aceleraciones máximas recomendadas para solicitaciones debidas a actividades humanas (Allen y Murray; ISO 2631-2; 1989)

Una componente de la fuerza armónica que está en función del tiempo y concuerda la frecuencia natural del piso en estudio es:

$$F_i = P\alpha_i \cos(2\pi i f_{step} t) \quad \text{Ec 2}$$

Donde:

P = peso de una persona tomado como 157 libras para diseño.

α = valores dinámicos según cuadro siguiente

i = múltiple armónico para la frecuencia de paso

f_{step} = valores dinámicos según cuadro siguiente

CUADRO N° 5 FRECUENCIAS COMUNES DE FUERZAS Y COEFICIENTES DINAMICOS						
armónica	persona caminando	clase de aeróbico	grupo de baile			
i	fn (Hz)	α_i	fn (Hz)	α_i	fn (Hz)	α_i
1	1,6 a 2,2	0,5	2,2 a 2,75	0,5	1,5 a 3	0,5
2	3,2 a 4,4	0,2	4 a 5,5	0,2	-	-
3	4,8 a 6,6	0,1	6,8 a 8,25	0,1	-	-
4	6,4 a 8,8	0,05	-	-	-	-

MS Office, Excel

2. Función de resonancia

Una función a la respuesta de la resonancia

$$\frac{a}{g} = \frac{R\alpha_i P}{\beta W} \cdot \cos(2\pi i f_{step} t) \quad \text{Ec 3}$$

a/g = razón entre la aceleración del piso y la aceleración de la gravedad

R = factor de reducción
 β = razón de amortiguamiento
 W = peso efectivo del piso

El factor de reducción R toma en cuenta que la condición total de oscilación continua no se logra alcanzar en un piso con una caminata y además, la persona que camina y percibe el disturbio, no están simultáneamente en el lugar donde ocurre el máximo desplazamiento. Este valor de R debe ser considerado como 0,7 para pasarelas y 0,5 para configuraciones de piso de dos sentidos de vibración.

Para efectos de evaluación, la aceleración pico debido a caminatas puede ser estimada de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_o \exp(-0.35f_n)}{\beta W} \leq \frac{a_o}{g} \quad \text{Ec 4}$$

Frecuencia natural de sistemas de pisos soportados por vigas de acero

La variable más importante para el diseño por capacidad de servicio y la evaluación de sistemas de pisos es la frecuencia natural.

Relaciones fundamentales

Los sistemas de pisos soportados en vigas de acero son sistemas bidireccionales que tienen varios modos de vibración, con frecuencias similares en ambas direcciones, sin embargo, en la realidad, hay características particulares difíciles de modelar (acción compuesta, condiciones límites o de discontinuidad, particiones y divisiones no estructurales).

Para este caso, el criterio utilizado parte de que el piso consiste en una losa de concreto soportada sobre vigas, y estas a su vez están soportadas por vigas principales entre columnas o paredes. La frecuencia natural, de un modo crítico es estimada haciendo el cálculo de ambos sentidos, como vigas independientes y luego combinar los efectos. Para una viga, la frecuencia natural puede estimarse de las siguientes fórmulas:

$$f_n = \frac{\pi}{2} \left[\frac{gE_s I_t}{wL^4} \right]^{1/2} \quad \text{Ec 5}$$

$$f_n = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta}} \quad \text{Ec 6}$$

$$f_n = 0.18 \sqrt{\frac{g}{(\Delta_j + \Delta_g)}} \quad \text{Ec 7}$$

Para un sistema de frecuencias, el modo combinado puede ser considerado mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{f_n^2} = \frac{1}{f_j^2} + \frac{1}{f_g^2} \quad \text{Ec 8}$$

Las variables de las ecuaciones anteriores son:

g = valor de la gravedad.

E_s = módulo de elasticidad del acero

I_t = momento de inercia transformado

L = longitud de claro.

W = carga uniforme distribuida por unidad de longitud

Δ = deflexión en el centro del claro debida a la sobrecarga

Δ_g, Δ_j = deflexiones debido al peso que soportan las vigas y paneles

f_n = frecuencia natural

f_j = frecuencia natural de las vigas

f_g = frecuencia natural de panel

Acción compuesta

En los cálculos de la frecuencia natural debe valorarse el módulo de sección transformado si la losa esta adherida a las vigas de soporte principales. Esta suposición se usa aunque en las vigas no se hayan adherido conectores de cortante, ya que también se considera el efecto de las fuerzas de fricción entre las superficies del concreto y el acero.

Para efectos de cálculo y para tomar en cuenta la rigidez del concreto sobre el metal bajo cargas dinámicas, a diferencia de las estáticas, se considera que la razón entre los módulos de

elasticidad del acero y del concreto como 1,35 veces. También, para determinar el momento de inercia transformado de la sección, en el caso de vigas o similares, se recomienda que el ancho efectivo de la losa de concreto se tome como la separación entre vigas, pero no más de 0,40 veces la longitud entre apoyos. Para elementos de borde el ancho efectivo de losas se toma como la mitad de la longitud entre vigas pero no más que 0,20 veces la longitud entre apoyos, más la proyección del borde libre de la losa, más allá de la línea de centro de la última viga.⁹

Cargas distribuidas

El peso soportado w , usado en las ecuaciones de referencia anteriormente indicadas, se estima con cuidado. Debe estimarse la verdadera carga muerta que queda después de haberse construido los entrepisos o la edificación como tal. Para cargas vivas, se recomiendan los valores de $0,5 \text{ KN/m}^2$ para pisos de oficinas, en caso que exista un mobiliario completo, si no, corresponde hacer un ajuste. Para pisos residenciales, se sugiere usar $0,25 \text{ KN/m}^2$. En caso de pasarelas, gimnasios y centros de compras se sugiere que la carga viva sea tomada como cero.

Diseño para solicitaciones por carga de personas caminando

Criterio recomendado

Los sistemas tradicionales de diseño, que limitaban las deflexiones por carga viva a $L/360$, brindan rangos de frecuencias entre 5 y 8 Hz, sin embargo, en la actualidad, con el uso de materiales más livianos, es posible determinar mayores separaciones entre apoyos para salvar mayores distancias en el caso de pisos y vigas de carga de entrepisos.

El método de diseño toma en cuenta la respuesta de las vigas a la acción de la caminata de las personas y puede ser usado para entrepisos, pasarelas en oficinas, residencial, puentes peatonales y centros de compras.

⁹ AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

Para todo caso en donde el diseño sea satisfactorio, debe cumplirse con la siguiente ecuación:

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_o \exp(-0.35f_n)}{\beta W} \quad \text{Ec 9}$$

En la siguiente tabla se indican valores típicos para P_o , B y límites de a_o/g

CUADRO Nº 6 VALORES RECOMENDADOS PARA LOS PARAMETROS a_o/g			
uso del lugar	fuerza constante (lb) P_o	razon de amortiguamiento β	aceleración límite (a_o/g)
oficinas residencias, iglesias	65	0,02 a 0,05	0,50%
centros de compras	65	0,02	1,50%
pasarelas internas	92	0,01	1,50%
pasarelas externas	92	0,01	5,00%

MS Office, Excel

Si la frecuencia natural obtenida es mayor que 9 ó 10 Hz, una resonancia por los pasos que la ocasionen no se producirá; sin embargo, la vibración producida resultará molesta. Pisos con frecuencias menores a 3Hz son susceptibles a movimientos de vibración muy bruscos¹⁰.

Estimación de parámetros requeridos para el análisis

Para efectos de la ecuación 9, los valores de P_o y β se indican en el cuadro 6. Para pasarelas simplemente apoyadas f_n se calcula usando las ecuaciones.

$$f_n = \frac{\pi}{2} \left[\frac{gE_s I_t}{wL^4} \right]^{1/2} \quad \text{Ec 10}$$

¹⁰ AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

$$f_n = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta}} \quad \text{Ec 11}$$

Peso efectivo W

Los valores de W, se estiman haciendo las consideraciones de ancho y espesor efectivo.

$$W = wBL \quad \text{Ec 12}$$

En donde:

W=peso soportado por unidad de área

B=ancho efectivo

L=longitud del claro

Para vigas, el ancho efectivo que a usar es:

$$B_j = C_j (D_s / D_j)^{1/4} L_j \quad \text{Ec 13}$$

Este valor *B_j* no debe ser mayor que 2/3 del largo del entrepiso.

En la ecuación 13, las variables son:

B_j= ancho efectivo en vigas

C_j= constante de valor 2 para vigas en la mayoría de los casos. Se usa el valor de 1 cuando las vigas están paralelas a un extremo interno.

D_s= momento de inercia transformado por unidad de espesor de la losa ($12 \cdot d^3 / 12(n)$)

D_j= momento de inercia transformado por unidad de espesor de la viga *I_t/S*

L_j= separación de viga

Amortiguamiento

Este aspecto depende principalmente de los sistemas no estructurales, mobiliarios y ocupantes. En el cuadro 6, se recomienda el rango general de uso.

Estos valores son aproximadamente la mitad de los valores de referencia en criterios de diseño anteriormente usados, ya que no incluyen los efectos de la transmisión de la vibración.

Rigidez del piso

Para sistemas de piso con una frecuencia natural mayor a 9 – 10 Hz, el piso debería tener al menos una rigidez mínima bajo una carga concentrada de 1 KN por milímetro. A continuación se indica el procedimiento de cálculo para la rigidez.

$$\Delta_{jp} = \frac{\Delta_{oj}}{N_{eff}} \quad \text{Ec 14}$$

La deflexión total del piso se determina con la ecuación:

$$\Delta_p = \Delta_{jp} + \Delta_{gp} / 2 \quad \text{Ec 15}$$

Este valor corresponde a la máxima deflexión de la viga más flexible debida a una carga concentrada de 1 KN, calculada con el mismo momento de inercia que se usa en el cálculo de la frecuencia natural. La deflexión Δ_{gp} se estima con la fórmula

$$\Delta = \frac{P_1 L^3}{48EI_t} \quad \text{Ec 16}$$

Hay que tener cuidado de la condición de apoyos del modelo utilizado, pues el factor 1/48, puede cambiarse a 1/96 o 1/192, en función de la condición de los apoyos y la continuidad de la viga.

Estimación de parámetros

La principal variable por considerar en el análisis de vibración es la aceleración vertical, o sea la frecuencia natural. La carga en función de la actividad y la transmisión de la vibración a determinados lugares de los aposentos o superficie de los pisos afectados son también aspectos importantes por considerar.

Menos importantes son el amortiguamiento y el peso efectivo del peso.

Normativa nacional

El Código Sísmico de Costa Rica (2002) no hace alusión alguna acerca de los lineamientos por

seguir cuando se realizan proporcionamientos o revisiones de diseños de pisos y los efectos de las vibraciones, producto de las cargas inducidas por la acción de las personas.

Las únicas referencias indicadas respecto a la temática de vibración, aluden al análisis de las vibraciones producidas por sismos y sus efectos en los elementos estructurales.

El Reglamento de Construcciones se refiere únicamente a lo siguiente:

Artículo XX.14.- Otras cargas.

*En estructuras que deban soportar cargas temporales o sobrecargas que produzcan impacto o **vibraciones**, las fuerzas adicionales resultantes serán tomadas en cuenta mediante un incremento porcentual de tales cargas, según se indica a continuación:*

XX.14.1 Para soportes de ascensores..... 100%

XX.14.2 Para vigas principales (vigas-riel) de grúas-puente y para las conexiones de esas vigas25%

XX.14.3 Para soportes de maquinaria liviana movida por motor aplicado directamente al eje o por medio de transmisión.....20%

XX.14.4 Para soportes de maquinaria de movimiento alternativo o movida mediante interposición de contrapesos.....80%

XX.14.5 Para tirantes formados por barras roscadas, que soporten pisos o balcones33% (el subrayado no es parte del documento original) ¹¹

Se menciona, además, que en el caso de motores productores de alguna vibración a la estructura principal, estos deben colocarse apropiadamente aislados, a fin de evitar la transmisión de esa vibración.

De lo indicado en el Reglamento, se infiere el hacer un estudio y debe tomarse lo recomendado para valorar el efecto de cargas productoras de vibraciones; sin embargo; sin mencionarse expresamente la condición de análisis de vibraciones inducidas por personas que realizan actividades.

¹¹ Reglamento de Construcciones. N° INVU 4290

Tipos de entrepisos a analizar

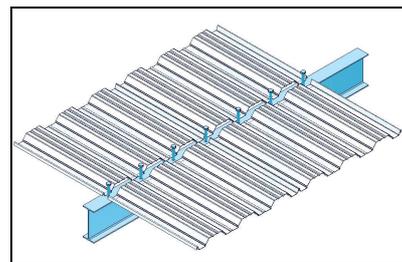
De acuerdo con el alcance planteado para este proyecto, se realizará un análisis comparativo de las vibraciones inducidas por la acción humana en tres tipos de entrepiso, a saber:

1. Entrepisos de sistema compuesto lámina de acero y concreto.
2. Entrepiso de vigas de acero compuestas.
3. Entrepiso liviano de RT y láminas de fibrocemento.

A continuación se hace una descripción sobre los sistemas de entrepiso, que de manera comparativa, se analizan en este informe.

Entrepisos de sistema compuesto lámina de acero y concreto

El sistema de entrepisos de sistema compuesto lámina de acero y concreto trabaja bajo el principio de losa compuesta, es decir, aquella estructura constituida por la combinación de dos o más materiales tales como: acero de refuerzo, concreto, y lámina de acero trabajando integralmente en la transmisión de esfuerzos de flexión y cortantes por la acción del peso propio y las cargas impuestas.



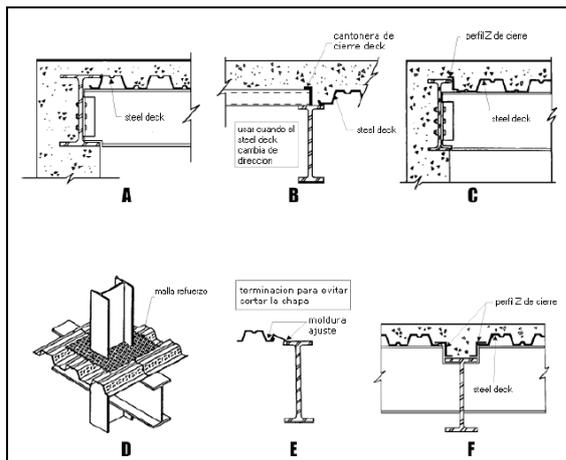
Fuente: Manual Acesco.

Figura N° 4, esquema del sistema de entrepiso compuesto lámina de acero y concreto

También se denomina de este modo a aquellos elementos de entrepisos elaborados por un mismo material, pero con diferente resistencia, módulo de elasticidad, ocasionados por una construcción en distintas etapas.

El sistema de losa entrepisos de sistema compuesto lámina de acero y concreto consiste en una lámina de acero preformada, diseñada para soportar el peso del colado de una losa de concreto y cargas adicionales debido al proceso constructivo de la misma. El sistema aprovecha las características de la lámina de acero preformada sobre la cual se chorrea el concreto. En este análisis, se combinan la lámina y el concreto y una vez que este ha alcanzado su resistencia máxima, permite obtener un sistema de losa estructural práctico para la mayoría de edificaciones. Tiene entre otras ventajas sobre los sistemas tradicionales, su aspecto, su rapidez en obra, gran resistencia, limpieza, bajo peso y economía.

El sistema puede utilizarse en edificios donde la estructura principal es en concreto o en acero y debe conectarse adecuadamente a las vigas principales de apoyo para servir de diafragma estructural.



Fuente: Manual Acesco

Figura N° 5. Esquema general del entropiso de sistema compuesto lámina de acero y concreto sobre una estructura de acero.

El acero utilizado es del tipo Lamina en Frío (Cold Rolled) con un comportamiento esencialmente elasto-plástico, con esfuerzo de fluencia mínimo nominal igual a 2810 kg/cm^2 (40ksi) y con un módulo de elasticidad igual a $2.07 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$. El acero debe cumplir además con la norma ASTM A611, grados C, o norma ASTM A446, grados A,C y E.

En la figura N° 5 se presenta el arreglo típico para el montaje de las láminas de entropisos de sistema compuesto trabajando como sección compuesta colocada sobre una viga de acero, donde los conectores de cortante son requeridos para garantizar el comportamiento y trabajo conjunto de la lámina y el concreto.

El procedimiento de diseño recomendado por el fabricante es la revisión de las características físicas, que garanticen que la lámina cumplirá de manera satisfactoria las cargas impuestas para trabajar bajo las siguientes solicitaciones:

- Formaleta
- Sección transversal compuesta, donde la lámina corresponde al acero de refuerzo positivo

Se revisan las deflexiones máximas producto de las cargas indicadas y se proponen secciones transversales, se hacen verificaciones de esfuerzos para las condiciones supuestas tanto en el acero como en el concreto, hasta lograr la sección que técnicamente cumpla.

Se calculan los conectores de cortante y se realiza una propuesta de la sección de viga intermedia de apoyo, garantizando así que la lámina cumplirá de manera segura los esfuerzos de adherencia y la condición prevista de máxima deflexión.

En el manual de diseño Metaldeck (2007)¹² el fabricante de la lámina suministra tablas que guían al diseñador en la elección de la lámina y espesor de concreto adecuados y, es resultado de la aplicación de los siguientes pasos:

- 1- Revisión de cargas actuando como formaleta y plataforma de trabajo
 - 1.1 Deflexiones admisibles
 - 1.2 Esfuerzos admisibles
 - 1.2.1 Esfuerzos admisibles para cargas distribuidas
 - 1.2.2 Esfuerzos admisibles para cargas concentradas

¹² ACESCO, 2007. Manual Técnico Metaldeck Grado 40

- 1.3 Selección preliminar de lámina
- 2- Revisión Tableros de acero y concreto actuando como unidad compuesta
 - 2.1 Deflexiones admisibles
 - 2.2 Esfuerzos admisibles a tensión en el acero
 - 2.3 Esfuerzos admisibles a compresión en el concreto
 - 2.4 Resistencia de adherencia a cortante
- 3- Proporcionamiento de viga de apoyo
 - 3.1 Revisión por capacidad
 - 3.2 Revisión de viga por deflexión permisible

En la sección de Resultados de este informe, adjuntan las tablas de proporcionamiento utilizadas.

Entrepiso de perfiles de acero estándar y losa de concreto

Este otro sistema trabaja bajo el concepto de losa compuesta. Este sistema se conforma por el soporte principal de vigas de acero y una losa de concreto colada de manera integral, usando como formaleta láminas de HG ondulado. Esta cumple una función de formaleta únicamente. La acción compuesta entre la losa y las vigas se logra a través de la colocación de conectores de cortante, los que favorecen la acción conjunta de las mejores capacidades de ambos materiales a través de la transferencia de esfuerzo cortante en la interfase de ambos materiales: en el concreto, la capacidad de esfuerzos de compresión y en el acero, la capacidad de soportar mayores esfuerzos de tensión.

Uno de los elementos primordiales de este sistema de entresijos es el conector de cortante, pues su colocación, en comparación a otro sistema que no utilice este elemento, implica un ahorro estimado de entre un 10% y un 20%.



Fuente: Manual Metalco.

Figura N° 6, entresijo de vigas de acero y losa de concreto

Para efectos de este trabajo, y de acuerdo con el conocimiento adquirido a través de la carrera en el curso de Estructuras de Acero, impartido en el Instituto Tecnológico de Costa Rica por el Ingeniero Álvaro Poveda Vargas, en el segundo semestre de 1996, el análisis estudiado para este caso, usa el método de diseño elástico de una sección compuesta. Se supone que la viga alcanza su momento límite cuando el esfuerzo en la fibra inferior de la viga de acero llega al esfuerzo permisible F_b o ese esfuerzo en la fibra superior de la losa de concreto alcanza un esfuerzo permisible similar a f'_c . Con base en este análisis se presentan dos condiciones,

1. cuando el eje neutro está en la viga de acero y por lo tanto, toda la sección de concreto y parte de la viga se encuentran en compresión
2. cuando el eje neutro está en el concreto y la totalidad de la viga está en tensión

La estimación de los conectores de cortante se estima tomando en cuenta la sección 14 del AISC, ya que se calculan haciendo referencia al método por teoría última. Esto se determina de esta forma y se parte de la teoría de que los conectores son dúctiles y cuando alcanzan su carga de fluencia, continúan manteniendo su carga aún cuando se deformen plásticamente, por este motivo bajo carga estática, se pueden separar los conectores de cortante uniformemente entre los puntos de momento máximo y momento cero.

Para el cálculo y proporcionamiento de este tipo de estructura, los resultados fueron estimados

con base en una hoja de cálculo que de forma automática, determina los valores de esfuerzos y hace las verificaciones respectivas.

Entrepisos de perfiles laminados en frío y láminas de fibrocemento

Como tercera alternativa de análisis, se considera en este trabajo, el sistema de entepiso basado perfiles de acero laminados en frío y una superficie compuesta por una o dos láminas de fibrocemento de al menos 20mm de espesor. En este caso, se utilizan dos láminas de fibrocemento de 25mm de espesor.

El diseño de los perfiles se basa en el método de los estados límites, el cual consiste en dimensionar los componentes estructurales de acero formado en frío, de manera que no se exceda ningún estado límite aplicable cuando la estructura se somete a cualquier combinación apropiada de cargas.



Fuente: Productos Plycem.

Figura N° 7, entepiso de estructura de acero y superficie de fibrocemento

Identificación de las variables

Las principales variables que intervienen en el análisis de las vibraciones causadas por actividades humanas en entrepisos se agrupan a continuación. El análisis comparativo propuesto, parte de las siguientes consideraciones:

Se hará un análisis de las variables, a fin de evaluar los porcentajes de aceleración con base en el método del Manual de referencia del presente trabajo y tomando como base esto, se analizarán los resultados y se harán las comparaciones entre las diversas propuestas que es posible obtener de los modelos analizados.

CUADRO N° 7 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL ANÁLISIS DE VIBRACIÓN DE ENTREPISOS						
sección	variables	simbolo	un	metaldeck	compuesto	fibrocemento
geometría del entepiso	longitud entre apoyos	L	m, cm	x	x	x
	separación de vigas	b	cm	x	x	
cargas	vivas		kg/m ²	x	x	x
	muertas		kg/m ²	x	x	x
vigas	area de acero	As	cm ²	x	x	x
	momento de inercia de la sección	I	cm ⁴	x	x	x
	módulo sección de la viga	S	cm ³	x	x	x
	altura de viga	h	cm	x	x	x
	resistencia del acero	fy	kg/cm ²	x	x	x
	modulo de elasticidad del acero	Es	kg/cm ²	x	x	x
	deflexion máxima	Δ	cm, mm	x	x	x
superficie	espesor de losa	e, h	cm, mm	x	x	1*
	resistencia del concreto	f'c	kg/cm ²	x	x	1*
	módulo elasticidad concreto	Ec	kg/cm ²	x	x	1*

MS Office, Excel

1*: se utiliza el mismo método de cálculo que el usado para el de losa de concreto, sin embargo se utilizan los valores correspondientes a las láminas de fibrocemento.

Evaluación de las vibraciones y posibles soluciones¹³

Muchos de los problemas de las vibraciones son detectados hasta que la estructura ya está construida, razón por la cual, el diseñador debe tomar especial cuidado en la previsión de esta complicación y advertir a los clientes o usuarios de las estructuras, que ante un eventual cambio en el uso de un piso o entrepiso, existe, de forma asociada, un aumento en las condiciones de vibración.

El primer paso por seguir es determinar la fuente de la vibración, si esta se debe a personas caminando, a actividades rítmicas, equipos o fuentes externas a los pisos que transmiten las vibraciones a través del piso.

El segundo paso por considerar es una evaluación del desempeño del piso, en el cual se plantea la elaboración de mediciones específicas y revisiones particulares en las memorias de cálculo de los diseñadores y determinar con ello, si se realizó una revisión de este aspecto en los cálculos preliminares y el impacto que tienen las decisiones tomadas en el diseño sobre las condiciones analizadas. En este caso, es posible usar acelerómetros y determinar los valores de vibración y aceleración del entrepiso, sea en los claros entre vigas y en los medios de las vigas de la misma forma, a fin de evaluar las condiciones límite y tomar las acciones correspondientes.

Medidas de mitigación

Una de las medidas de mitigación de los efectos de las vibraciones es la reducción de los mismos. Esta condición puede definirse como aquella medida, en la cual no se hace nada acerca del problema estructural, sino más bien, se atienden asuntos relacionados con el sonido del mobiliario que se mueve debido al movimiento del piso.

Otra medida de mitigación se relaciona con la reubicación de la fuente de vibración o de las personas o cosas susceptibles a los efectos de la vibración del piso y en este caso, es posible

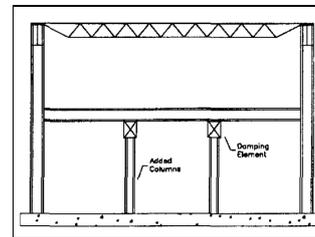
¹³ AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

hacer un traslado físico hacia lugares con paredes o columnas cercanas.

La reducción de masa de los pisos no necesariamente produce beneficios en la disminución de la vibración, sin embargo, una descenso de masa puede aumentar suficiente la frecuencia natural de la estructura y por lo tanto, reajustar el potencial de resonancia.

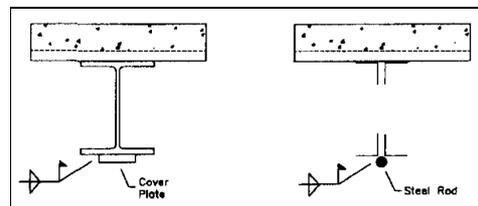
La medida de mitigación que pudiera parecer más obvia, es el aumento en la rigidez del piso. Dentro de las principales medidas están las siguientes:

- Adicionar columnas intermedias.



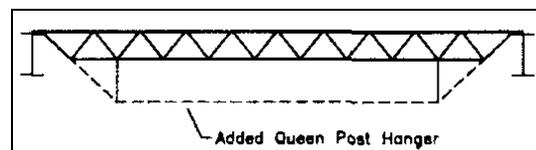
Fuente: AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

- Adicionar placas de acero o barras de acero en la cuerda o placa inferior.



Fuente: AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

- Colocar tensores inferiores.



Fuente: AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

Otra medida de mitigación, es el aumento de la amortiguación. Esta condición depende en primer

término de la existencia de divisiones o particiones, cielo raso, mobiliario y la misma presencia de personas.

El aislamiento de la zona más susceptible a la vibración es una medida temporal que resuelve parcialmente este problema. La reducción de la vibración o sus efectos en pisos largos, en los cuales puede producirse un fenómeno de "ola" se logra reforzando de forma alterna las vigas, a fin de quebrar la posibilidad de resonancia de la estructura.

El aislar la plataforma que constituye un entrepiso mediante la colocación de amortiguadores o resortes puede ser una medida efectiva para disminuir estos efectos negativos, sin embargo, debe tenerse especial cuidado en que este mecanismo no afecte la capacidad sísmica resistente del edificio en análisis.

Aparte de estas medidas, existen otras que de una forma más directa, en función del origen del exceso de la vibración, que pueden ser tomadas en cuenta. Una primera medida es hacer una determinación de la existencia de diafragmas. La existencia de diafragmas bien colocados y construidos permite que las vigas trabajen de forma conjunta, haciendo una distribución efectiva de las cargas entre las vigas longitudinales, reduciendo de esta forma el potencial de vibraciones excesivas.

El reforzamiento de las vigas, mediante la colocación de pletinas en la parte inferior, adecuadamente adheridas permite tener un aumento en la capacidad de carga de las vigas y por lo consiguiente una reducción en el efecto de las vibraciones.

Es posible encontrar en el mercado reforzamientos especializados de fibras de carbono, que adheridos mediante resinas permiten aumentar la capacidad de las vigas.

En cada caso particular, debe hacerse un análisis detallado de las cargas que tomaron parte en el diseño y las nuevas cargas a las cuales está expuesta la estructura en estudio, a fin de garantizarse de que la medida de mitigación sea

efectiva y mejore o restituya la capacidad de servicio del entrepiso en análisis de acuerdo a las cargas reales que en un momento actual estén tomando parte de su uso.

Resultados

A continuación se muestran los resultados de todos los cálculos efectuados en este informe para cada caso específico, según el tipo de entrepiso analizado.

Dentro de los principales supuestos elaborados para este análisis, se partió de los criterios indicados más adelante y de las recomendaciones mostradas en los manuales de referencia de fabricantes de los materiales; y a fin de comparar los sistemas de entrepiso de una forma razonable,

En primer lugar, se ha estimado para el sistema de entrepiso de losa de concreto con estructura de perfiles de acero, que el espesor de la losa es de 10cm y tiene una resistencia a la compresión de 245 kg/cm². Esta losa se encuentra adherida efectivamente a las vigas a través de conectores de cortante. Esta suposición se hace a fin de que sea posible considerar una transmisión de los esfuerzos cortantes a través de la interface de unión de estos materiales y que sea posible, potenciar las capacidades en tracción del acero y compresión del concreto.

Se parte del caso en el cual, el cálculo del reforzamiento de la losa cuenta con la cantidad de acero requerida para soportar las cargas impuestas en las luces respectivas, de acuerdo con la separación propuesta de vigas que va desde 0,40m a 0,70m.

Las propiedades geométricas utilizadas como insumos para que la hoja de cálculo realice las estimaciones correspondientes, han sido tomadas del catálogo de perfiles de acero de Metalco, los cuales, según lo indicado, utilizan un acero con una resistencia de 2,520 kg/cm² y un módulo de elasticidad de 2,1x10⁶ Kg/ cm².

Los valores de cargas que se han utilizado son los siguientes:

Carga viva: 250 kg/m² ¹⁴

Carga de cielo raso y luminarias: 50 kg/m²

Carga de acabado de piso y mobiliario y divisiones livianas: 30 kg/m²

Peso de lámina de fondo y conectores (HG): 5 kg/m²

Peso de losa de concreto reforzado sin alivianar: 250 kg/m².

Como una condición particular, se ha estimado la existencia de una relación de 1,2 entre el largo y el ancho de las vigas de entrepiso, para los entrepisos que utilizan perfiles laminados en frío.

Se ha supuesto además, para fines comparativos, que cada entrepiso analizado está soportado por vigas principales de acero de capacidad suficiente y se utilizan vigas IPN para este fin. Las propiedades de estas se forman parte del análisis combinado de las vibraciones y los resultados se muestran en el cuadro N° 10.

Entrepisos de RT y losa de concreto

Para dimensionar los entrepisos de perfiles de acero con losa de concreto evaluados y comparados en este informe, se usó la hoja de cálculo cuya imagen se muestra a continuación, la cual relaciona de forma dinámica los valores de las propiedades de los materiales que intervienen en el diseño de los resultados, lo que da como producto final el proporcionamiento final de la estructura para el sistema de cargas impuesto.

Para este caso, se realizó la corrida de esta hoja 23 veces, una vez por cada combinación de largo de vigas transversales y espaciamientos según los valores que se indican en los cuadros 1 y 2.

Los resultados de ese proceso se indican en los cuadros N° 8 y 10.

¹⁴ Código Sísmico de Costa Rica 2002.

Diseño de entresijos de RT y láminas de HG, losa de concreto

n	8,39	
f _c	245	kg/cm ²
f _y	36	ksi
longitud	5	m
separación / viguetas	40	cm
carga viva	250	kg/m ²
espesor de losa	10	cm
espesor de lámina canal	2	cm
carga de piso	50	kg/m ²
cielo raso e iluminación	30	kg/m ²
peso lámina de HG	5	kg/m ²
ancho efectivo	40	cm
peso de losa	106	kg/m

Resistencia Acero y Concreto.

A33	240
A36	245
A40	270
A42	280

ksi kg/cm²

Tipo de piso
pisos de cerámica

Escoger RT

RT 0-16
RT 1-16
RT 1-13
RT 3-16
RT 3-13

1

datos de las viguetas

Sx	25,62	cm ³	y	22,2	cm
As	6,18	cm ²	lt	1706,4	cm ⁴
wpp	4,82	kg/m	esfuerzo en acero	995,54	kg/cm ²
lx	192,12	cm ⁴			
h	15,0	cm			

RT cumple

carga total	244,42	kg/m	esfuerzo en concreto	25,4	kg/cm ²
momento de diseño	763,8	kg-m			
Sx mín	55,11	cm ³			
As*h	92,7	cm ³			
sección transformada	686,9	cm ³			

concreto cumple

			cortante	611,1	kg
			f _v	171,2	kg/cm ²

cortante cumple

eje neutro en acero

conectores de cortante

F	99960	kg
qu	4990	kg
# de conectores	20,03	
separación	12,47878169	cm

Tipo de conectores
1/2
diámetro en pulg

resumen

1	RT 3-13	@	40
conec	1/2	@	12

[Limpiar](#)

MS Office, Excel

Figura N° 8, Imagen de la hoja de cálculo utilizada para el diseño de entresijos

Los cuadros mostrados en esta sección, evidencian la secuencia de valores obtenidos del proceso de cálculo. Cada uno está encabezado por la información que contiene y sirven de referencia para la posterior etapa de Análisis de Resultados.

CUADRO N° 8 DATOS DE MATERIALES		
f'c	245,0	kg/cm2
fy	2.520,0	kg/cm2
Es	2.100.000,0	kg/cm2
Ec	236.352,4	kg/cm2
n	8,4	
carga viva	250,0	kg/m2
carga de piso	50,0	kg/m2
cielo raso e ilumi	30,0	kg/m2
peso lámina de HG	5,0	kg/m2
peso de losa	240,0	kg/m2
espesor de losa	10,0	cm
peso de viga	incluido en cálculo	

MS Office, Excel

CUADRO N° 9 MATRIZ DE ESTIMACIÓN DE CANTIDAD DE VIGAS					
L (m)	1,2	0,4	0,5	0,6	0,7
3,0	3,6	9,0	7,2	6,0	5,1
4,0	4,8	12,0	9,6	8,0	6,9
5,0	6,0	15,0	12,0	10,0	8,6
6,0	7,2	18,0	14,4	12,0	10,3
7,0	8,4	21,0	16,8	14,0	12,0
8,0	9,6	24,0	19,2	16,0	13,7

MS Office, Excel

CUADRO N° 10 LARGO DE VIGAS		
a	3,0	m
b	4,0	m
c	5,0	m
d	6,0	m
e	7,0	m
f	8,0	m
g	9,0	m

MS Office, Excel

CUADRO Nº 11 SEPARACIÓN DE VIGAS		
1	40,0	cm
2	50,0	cm
3	60,0	cm
4	70,0	cm

MS Office, Excel

combinación largo vigas y espaciament o	CUADRO Nº 12, ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES PARA DISEÑO DE ENTREPISO												
	L m	As cm2	Ix cm4	d cm	n	b cm	As cm2	Ix cm4	d cm	w viga kg/m	fb kg/cm2	#	detalle de viga
a1	3,0	2,9	24,3	7,0	9,0	40,0	33,4	2.140,0	20,0	26,2	837,0	1,0	rt 0 16
a2	3,0	2,9	24,3	7,0	8,0	50,0	39,5	3.060,0	22,0	31,1	1.027,0	1,0	rt 0 16
a3	3,0	2,9	24,3	7,0	6,0	60,0	33,4	2.140,0	20,0	26,2	1.217,0	1,0	rt 0 16
a4	3,0	3,4	52,9	10,0	6,0	70,0	39,5	3.060,0	22,0	31,1	1.405,0	1,0	rt 1 16
b1	4,0	3,4	52,9	10,0	12,0	40,0	53,3	5.740,0	26,0	41,9	1.487,0	1,0	rt 0 16
b2	4,0	3,4	52,9	10,0	10,0	50,0	61,0	7.590,0	28,0	47,9	1.493,0	1,0	rt 1 16
b3	4,0	5,0	76,5	10,0	8,0	60,0	53,3	5.740,0	26,0	41,9	1.236,0	1,0	rt 1 13
b4	4,0	5,0	76,5	10,0	7,0	70,0	61,0	7.590,0	28,0	47,9	1.424,0	1,0	rt 1 13
c1	5,0	5,0	76,5	10,0	15,0	40,0	86,7	15.700,0	34,0	68,0	1.340,9	1,0	rt 1 13
c2	5,0	6,2	192,1	15,0	12,0	50,0	86,7	15.700,0	34,0	68,0	1.214,0	1,0	rt 3 13
c3	5,0	6,2	192,1	15,0	10,0	60,0	86,7	15.700,0	34,0	68,0	1.430,8	1,0	rt 3 13
c4	5,0	7,4	375,1	20,0	9,0	70,0	97,0	19.610,0	36,0	76,1	1.265,8	1,0	rt 4 13
d1	6,0	7,4	375,1	20,0	18,0	40,0	118,0	29.210,0	40,0	92,4	1.105,0	1,0	rt 4 13
d2	6,0	7,4	375,1	20,0	15,0	50,0	132,0	36.970,0	42,5	104,0	1.346,0	1,0	rt 4 13
d3	6,0	7,4	375,1	20,0	12,0	60,0	118,0	29.210,0	40,0	92,4	1.585,0	1,0	rt 4 13
d4	6,0	9,7	487,6	20,0	11,0	70,0	132,0	36.970,0	42,5	104,0	1.422,0	1,0	rt 4 11
e1	7,0	9,7	487,6	20,0	21,0	40,0	163,0	56.480,0	47,5	128,0	1.234,0	1,0	rt 4 11
e2	7,0	9,7	487,6	20,0	17,0	50,0	163,0	56.480,0	47,5	128,0	1.438,0	1,0	rt 4 11
e3	7,0	14,7	750,0	20,0	14,0	60,0	163,0	56.480,0	47,5	128,0	1.172,5	2,0	rt 4 13
e4	7,0	14,7	750,0	20,0	12,0	70,0	163,0	56.480,0	47,5	128,0	1.339,0	2,0	rt 4 13
f1	8,0	14,7	750,0	20,0	24,0	40,0	212,0	99.180,0	55,0	166,0	1.089,0	2,0	rt 4 13
f2	8,0	14,7	750,0	20,0	20,0	50,0	254,0	139.000,0	60,0	199,0	1.312,0	2,0	rt 4 13
f3	8,0	14,7	750,0	20,0	16,0	60,0	212,0	99.180,0	55,0	166,0	1.531,0	2,0	rt 4 13

MS Office, Excel

combinación largo vigas y espaciamiento	CUADRO N° 13, DATOS DEL ANALISIS DE ENTREPISOS DE RT Y LOSA DE CONCRETO PARA VIGA DE APOYO								
	Δ	lxx viga lateral	IPN	As	lxx	w/m	w	M (x)	fb vigas laterales
	cm	cm4		cm2	cm4		kg/cm	kg*cm	kg/cm2
a1	4,80	1.824	200	33	2.140	26	18	197.010	921
a2	5,99	2.509	220	40	3.060	31	18	197.561	710
a3	7,18	1.824	200	33	2.140	26	18	197.010	921
a4	3,85	2.904	220	40	3.060	31	18	197.561	710
b1	6,97	5.781	260	53	5.740	42	23	468.380	1.061
b2	8,70	6.551	280	61	7.590	48	23	469.580	866
b3	7,24	5.781	260	53	5.740	42	23	468.380	1.061
b4	8,43	6.166	280	61	7.590	48	23	469.580	866
c1	11,85	14.189	340	87	15.700	68	29	919.688	996
c2	5,90	14.189	340	87	15.700	68	29	919.688	996
c3	7,06	14.189	340	87	15.700	68	29	919.688	996
c4	4,22	16.471	360	97	19.610	76	30	922.219	847
d1	5,05	29.513	400	118	29.210	92	35	1.594.080	1.091
d2	6,28	33.467	425	132	36.970	104	36	1.599.300	919
d3	7,51	29.513	400	118	29.210	92	35	1.594.080	1.091
d4	6,76	36.217	425	132	36.970	104	36	1.599.300	919
e1	7,26	54.944	475	163	56.480	128	42	2.543.713	1.070
e2	9,01	56.930	475	163	56.480	128	42	2.543.713	1.070
e3	7,08	54.944	475	163	56.480	128	42	2.543.713	1.070
e4	8,22	54.944	475	163	56.480	128	42	2.543.713	1.070
f1	8,18	94.122	550	212	99.180	166	48	3.812.800	1.057
f2	10,13	107.121	600	254	139.000	199	48	3.839.200	829
f3	12,07	94.122	550	212	99.180	166	48	3.812.800	1.057

MS Office, Excel

REVISIÓN DE ACELERACIÓN Y FRECUENCIA POR CARGAS DEBIDAS A CAMINATA DE PERSONAS
CASO: ENTREPISO DE PERLING CON LOSA DE CONCRETO

Cargas

carga permanente 325,00 kg/m²

carga temporal 250,00 kg/m²

$\beta =$ 0,03

vigas 1 transversales						vigas 2 longitudinales			
L=	As=	Ix=	d=	n	b (cm)	As=	Ix=	d=	w viga=
8,00	14,74	750,00	20,00	16,00	60,00	212,00	99.180,00	55,00	166,00
m	cm ²	cm ⁴	cm	espacios @		cm ²	cm ⁴	cm	kg/m
			H (cm)						
									960,00

datos	
Es=	2.100.000,00 kg/cm ²
δ_{conc}	2.400,00 kg/m ³
f'c=	245,00 kg/cm ²
Ec=	240.462 kg/cm ²
Ec definitivo	240.461,85 kg/cm ²
n=	6,47 razon de módulos
h1=	10,00 cm
h2=	- cm
h prom=	10,00 cm
analisis de viga	
y=	- 2,94 cm
Ix=	3.854,94 cm ⁴
w=	444,60 kg/m
Δj =	2,93 cm
f=	3,29 Hz
Ds=	12,88 cm ³
Dj=	64,25 cm ⁴ /cm
Bj=	10,71 m
2/3*B=	40,00 cm
Wj=	95.198,77 kg
analisis de viga de apoyo	
y=	3,55 cm
Ix=	247.014,51 cm ⁴
w=	5.929,66 kg/m
Δg =	1,26 cm
f=	5,01 Hz
Dj=	64,25 cm ³
Dg=	308,77 cm ⁴ /cm
Bg=	1,17 m
3*L	24,00 cm
2/3*(3*L)	16,00 m
Wj=	83.044,98 kg
analisis combinado	
$\Delta'g$ =	1,13 cm
W=	91.807,57 kg
βW =	2.754,23 kg
evaluación	
ap/g=	fn=
0,40%	2,80
	Hz

MS Office, Excel

Figura N° 9, ejemplo de memoria de cálculo para análisis de vibración de entresijos, losa de concreto

La figura N° 9 muestra la hoja de cálculo construida, con el fin de resolver el procedimiento que estima los valores de a_{op}/g y la frecuencia de los pisos. Para los 23 entrepisos analizados de este apartado, se consideró un par ordenado de datos para cada uno y esos valores se graficaron en la figura N° 10, la cual se enseña en el apartado de Análisis de Resultados.

Entrepisos de RT y superficie de fibrocemento

Para dimensionar los entrepisos de perfiles de acero con losa de concreto que se evalúan y comparan en este informe, se usó la hoja de cálculo cuya imagen se muestra a continuación, la cual relaciona de forma dinámica los valores de las propiedades de los materiales que intervienen en el diseño, para obtener el proporcionamiento final del entrepiso. Para este caso, se realizó la corrida de esta hoja 27 veces, una vez por cada combinación de largo de vigas transversales y espaciamientos de vigas propuestos según cuadros 3 y 4. Los resultados de ese proceso se indican en los cuadros N° 11 y 13.

Se indica que para el cálculo de los valores que dan soporte a esta sección, se siguieron los mismos principios usados para el entrepiso de vigas de acero y losa de concreto, y se hace las correspondientes correcciones en cuanto a las cargas y valores respectivos de las propiedades del material de superficie.

Los valores de las cargas son los siguientes:

Carga viva: 250 kg/m^2

Carga de cielo raso y luminarias: 50 kg/m^2

Carga de acabado de piso y mobiliario y divisiones livianas: 30 kg/m^2

Peso de losa de superficie de fibrocemento: 59 kg/m^2 .

Los valores de las propiedades del fibrocemento se obtuvieron del Manual de Productos de Plycem y las separaciones sugeridas obedecen a lo que en la práctica común se acostumbra y se utiliza 60 cm como separación máxima de vigas.

Se ha supuesto que para la colocación de las láminas de fibrocemento, se ha instalado algún adhesivo epóxico para garantizar que estas al

colocarse, transmitan de forma eficiente los esfuerzos de la interfase, así como que su instalación se ha hecho traslapando las juntas de las láminas a fin de evitar la generación de planos de agrietamiento reflejados en el piso o en el acabado final de las láminas.

Diseño de entresijos de RT y fibrocemento

Resistencias Acero y fibrocemento

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid gray;">A33</td><td style="border: 1px solid gray;">85</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid gray;">A36</td><td style="border: 1px solid gray;">90</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid gray;">A40</td><td style="border: 1px solid gray;">95</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid gray;">A42</td><td style="border: 1px solid gray;">100</td></tr> </table>	A33	85	A36	90	A40	95	A42	100	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid gray;">ksi</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid gray;">kg/cm2</td></tr> </table>	ksi	kg/cm2
A33	85										
A36	90										
A40	95										
A42	100										
ksi											
kg/cm2											

n	13,83		
fc	90	kg/cm2	
fy	36	ksi	
longitud	5	m	
separación / viguetas	40	cm	

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid gray; text-align: center;">250</td><td>kg/m2</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid gray; text-align: center;">5</td><td>cm</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid gray; text-align: center;"> </td><td>cm</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid gray; text-align: center;">50</td><td>kg/m2</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid gray; text-align: center;">30</td><td>kg/m2</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid gray; text-align: center;">5</td><td>kg/m2</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid gray; text-align: center;">40</td><td>cm</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid gray; text-align: center;">24</td><td>kg/m</td></tr> </table>	250	kg/m2	5	cm		cm	50	kg/m2	30	kg/m2	5	kg/m2	40	cm	24	kg/m	Tipo de piso pisos de cerámica
250	kg/m2																
5	cm																
	cm																
50	kg/m2																
30	kg/m2																
5	kg/m2																
40	cm																
24	kg/m																

Escoger RT RT 3-16 RT 3-13 RT 4-16 RT 4-13 RT 4-11	1
--	---

datos de las viguetas

Sx	25,62	cm3	
As	6,18	cm2	
wpp	4,82	kg/m	
lx	192,12	cm4	
h	15	cm	

	15,3	cm	
	666,9	cm4	
esfuerzo en acero	1161,4	kg/cm2	

RT cumple

	26,1	kg/cm2	
--	------	--------	--

lamina cumple

	406,1	kg	
cortante	113,7	kg/cm2	

cortante cumple

conectores de cortante

	15300	kg	
	4990	kg	
# de conectores	3,07		
separación	81,52804036	cm	

Tipo de conectores	1/2
	diámetro en pulg

resumen

1	RT 3-13	@	40
conec	1/2	@	82

Limpiar

MS Office, Excel

Figura N° 10, imagen de la hoja de cálculo utilizada para el diseño de entresijos.

CUADRO Nº 14 DATOS DE MATERIALES		
resistencia a la compresión	90,0	kg/cm2
fy	2.520,0	kg/cm2
Es	2.100.000,0	kg/cm2
Ec	151.789,3	kg/cm2
n	13,8	
carga viva	250,0	kg/m2
carga de piso	50,0	kg/m2
cielo raso e iluminación	30,0	kg/m2
peso lámina de HG		kg/m2
espesor de losa	5,0	cm
peso de fibrocemento	59,0	kg/m2
peso de viga	incluido en cálculo	

MS Office, Excel

CUADRO Nº 15 MATRIZ DE ESTIMACIÓN DE CANTIDAD DE VIGAS						
L (m)	1,2	0,3	0,4	0,5	0,6	
3,0	3,6	12,0	9,0	7,2	6,0	
4,0	4,8	16,0	12,0	9,6	8,0	
5,0	6,0	20,0	15,0	12,0	10,0	
6,0	7,2	24,0	18,0	14,4	12,0	
7,0	8,4	28,0	21,0	16,8	14,0	
8,0	9,6	32,0	24,0	19,2	16,0	
9,0	10,8	36,0	27,0	21,6	18,0	

MS Office, Excel

CUADRO Nº 16 LARGO DE VIGAS		
a	3,0	m
b	4,0	m
c	5,0	m
d	6,0	m
e	7,0	m
f	8,0	m
g	9,0	m

MS Office, Excel

CUADRO Nº 17 SEPARACIÓN DE VIGAS		
1	30,0	cm
2	40,0	cm
3	50,0	cm
4	60,0	cm

MS Office, Excel

combinación de dimensiones	CUADRO Nº 18 ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES PARA DISEÑO DE ENTREPISO								
	L	As	Ix	d	n	b	fb	#	detalle de viga
	m	cm ²	cm ⁴	cm		cm	kg/cm ²		
a1	3,00	2,90	24,27	7,00	12,00	30,00	928,00	1,00	rt 0 16
a2	3,00	2,90	24,27	7,00	9,00	40,00	1.188,00	1,00	rt 0 16
a3	3,00	2,90	24,27	7,00	7,00	50,00	1.446,00	1,00	rt 0 16
a4	3,00	3,38	52,85	10,00	6,00	60,00	1.264,00	1,00	rt 1 16
b1	4,00	3,38	52,85	10,00	16,00	30,00	1.226,00	1,00	rt 1 16
b2	4,00	4,99	76,48	10,00	12,00	40,00	1.129,00	1,00	rt 1 13
b3	4,00	4,99	76,48	10,00	10,00	50,00	1.366,00	1,00	rt 1 13
b4	4,00	4,17	131,00	15,00	8,00	60,00	1.488,00	1,00	rt 3 16
c1	5,00	4,99	76,48	10,00	20,00	30,00	1.388,00	1,00	rt 1 13
c2	5,00	6,18	192,12	15,00	15,00	40,00	1.161,00	1,00	rt 3 13
c3	5,00	6,18	192,12	15,00	12,00	50,00	1.405,00	1,00	rt 3 13
c4	5,00	7,37	375,00	20,00	10,00	60,00	1.170,00	1,00	rt 4 13
d1	6,00	6,18	192,12	15,00	24,00	30,00	1.314,00	1,00	rt 3 13
d2	6,00	7,37	375,00	20,00	18,00	40,00	1.181,00	1,00	rt 4 13
d3	6,00	7,37	375,00	20,00	15,00	50,00	1.438,00	1,00	rt 4 13
d4	6,00	9,73	488,00	20,00	12,00	60,00	1.331,00	1,00	rt 4 11
e1	7,00	7,37	375,00	20,00	28,00	30,00	1.272,00	1,00	rt 4 13
e2	7,00	9,73	488,00	20,00	21,00	40,00	1.289,00	1,00	rt 4 11
e3	7,00	9,92	511,42	20,00	17,00	50,00	1.512,70	2,00	rt 4 16
e4	7,00	14,74	750,00	20,00	14,00	60,00	1.271,00	2,00	rt 4 13
f1	8,00	12,36	384,00	15,00	32,00	30,00	1.345,00	2,00	rt 3 13
f2	8,00	14,74	750,00	20,00	24,00	40,00	1.198,00	2,00	rt 4 13
f3	8,00	14,74	750,00	20,00	20,00	50,00	1.431,00	2,00	rt 4 13
f4	8,00	19,46	975,00	20,00	16,00	60,00	1.334,00	2,00	rt 4 11
g1	9,00	14,74	750,00	20,00	36,00	30,00	1.214,30	2,00	rt 4 13
g2	9,00	19,46	975,00	20,00	27,00	40,00	1.232,00	2,00	rt 4 11
g3	9,00	19,46	975,00	20,00	22,00	50,00	1.426,00	2,00	rt 4 11

MS Office, Excel

combinación de dimensiones	CUADRO Nº 19, DATOS DEL ANALISIS DE ENTREPISOS DE RT Y FIBROCEMENTO								
	Δ	lxx viga lateral	IPN	As	lxx	w/m	w	M (x)	fb vigas laterales
	cm	cm4		cm2	cm4	kg/m	kg/cm	kg*cm	kg/cm2
a1	2,46	1.238,15	180	27,9	1.450,00	21,90	11,89	133.751,25	830,18
a2	3,26	1.238,15	180	27,9	1.450,00	21,90	11,89	133.751,25	830,18
a3	4,07	1.137,81	180	27,9	1.450,00	21,90	11,89	133.751,25	830,18
a4	2,24	1.238,15	180	27,9	1.450,00	21,90	11,89	133.751,25	830,18
b1	3,58	3.930,46	240	46,1	4.250,00	36,20	15,92	318.440,00	899,12
b2	3,31	3.930,46	240	46,1	4.250,00	36,20	15,92	318.440,00	899,12
b3	4,12	4.442,52	260	53,3	5.740,00	36,20	15,92	318.440,00	721,21
b4	2,87	3.930,46	240	46,1	4.250,00	36,20	15,92	318.440,00	899,12
c1	6,11	9.639,00	300	69	9.800,00	54,20	19,99	624.750,00	956,25
c2	3,24	9.639,00	300	69	9.800,00	54,20	19,99	624.750,00	956,25
c3	4,02	9.639,00	300	69	9.800,00	54,20	19,99	624.750,00	956,25
c4	2,47	9.639,00	300	69	9.800,00	54,20	19,99	624.750,00	956,25
d1	5,08	20.145,39	380	107	24.100,00	84,00	24,18	1.088.100,00	857,84
d2	3,46	20.145,39	380	107	24.100,00	84,00	24,18	1.088.100,00	857,84
d3	4,29	22.769,95	380	107	24.100,00	84,00	24,18	1.088.100,00	857,84
d4	3,97	20.145,39	380	107	24.100,00	84,00	24,18	1.088.100,00	857,84
e1	4,86	37.546,74	450	147	45.850,00	115,00	28,38	1.738.275,00	853,02
e2	4,98	37.546,74	450	147	45.850,00	115,00	28,38	1.738.275,00	853,02
e3	5,87	38.903,72	450	147	45.850,00	115,00	28,38	1.738.275,00	853,02
e4	4,86	37.546,74	450	147	45.850,00	115,00	28,38	1.738.275,00	853,02
f1	8,36	64.242,10	500	179	68.740,00	141,00	32,53	2.602.400,00	946,46
f2	5,66	64.242,10	500	179	68.740,00	141,00	32,53	2.602.400,00	946,46
f3	6,98	72.611,61	500	179	68.740,00	141,00	32,53	2.602.400,00	946,46
f4	6,48	64.242,10	500	179	68.740,00	141,00	32,53	2.602.400,00	946,46
g1	6,96	104.038,71	600	254	139.000,00	199,00	37,00	3.746.250,00	808,54
g2	6,97	104.038,71	600	254	139.000,00	199,00	37,00	3.746.250,00	808,54
g3	8,76	109.926,34	600	254	139.000,00	199,00	37,00	3.746.250,00	808,54

MS Office, Excel

REVISIÓN DE ACELERACIÓN Y FRECUENCIA POR CARGAS DEBIDAS A CAMINATA DE PERSONAS
CASO: ENTREPISO DE PERLING CON SUPERFICIE DE FIBROCEMENTO

Cargas

carga permanente 139,00 kg/m²

carga temporal 250,00 kg/m²

$\beta =$ 0,03

vigas 1 transversales						vigas 2 longitudinales			
L=	As=	Ix=	d=	n	b (cm)	As=	Ix=	d=	w viga=
9,00	19,46	975,00	20,00	22,00	50,00	254,00	139.000,00	199,00	37,00
m	cm ²	cm ⁴	cm	espacios @		cm ²	cm ⁴	cm	kg/m
			H (cm)						
				1.100,00					

datos		h1=	5,00	cm	
		h2=	-	cm	
		h prom=	5,00	cm	
Es=	2.100.000,00	kg/cm ²			
δ conc	2.400,00	kg/m ³			
f'c=	90,00	kg/cm ²			
Ec=	145.742	kg/cm ²			
Ec definitivo	145.741,89	kg/cm ²			
n=	13,83	razon de módulos			
analisis de viga			analisis de viga de apoyo		
y=	3,98	cm	y=	60,22	cm
Ix=	3.020,29	cm ⁴	Ix=	1.433.151,61	cm ⁴
w=	213,00	kg/m	w=	3.834,37	kg/m
Δ j=	2,87	cm	Δ g=	0,24	cm
f=	3,33	Hz	f=	11,44	Hz
Ds=	0,75	cm ³	Dj=	60,41	cm ³
Dj=	60,41	cm ⁴ /cm	Dg=	1.592,39	cm ⁴ /cm
Bj=	6,01	m	Bg=	0,87	m
2/3*B=	33,33	cm	3*L	27,00	cm
Wj=	34.591,78	kg	2/3*(3*L)	18,00	m
			Wj=	40.951,19	kg
analisis combinado					
Δ 'g=	0,44	cm			
W=	35.444,37	kg			
β W=	1.063,33	kg			
evaluación					
ap/g=		fn=			
0,94%		3,10			
		Hz			

MS Office, Excel

Figura N° 11, ejemplo de memoria de cálculo para análisis de vibración de entrepisos, en una estructura de acero y superficie de fibrocemento

La figura N° 10 muestra la hoja de cálculo elaborada para resolver el procedimiento que estima los valores de a_{op}/g y la frecuencia de los pisos. Para los 27 entrepisos analizados de este apartado, se estimó un par ordenado de datos para cada uno y esos valores se graficaron en la figura N° 11, la cual se muestra en el apartado de Análisis de Resultados.

Entrepisos de sistema compuesto lámina de acero y concreto

El proporcionamiento de los entrepisos de sistema compuesto de lámina de acero y concreto se ha realizado, haciendo uso de las tablas de diseño que uno de los fabricantes ha puesto a disposición para este fin. Se adjunta en las figuras 12 y 13 las tablas usadas para la construcción de este informe.

El procedimiento de selección de la lámina y del espaciamiento máximo de los soportes se hace utilizando el valor de la carga total máxima del sistema, inclusive la losa de concreto reforzado, las cargas temporales, permanentes. La tabla mostrada, tiene información de los espesores de losa por tipo y calibre de lámina, así como la luz final del entrepiso. Un dato adicional de mucha importancia que aporta esta tabla, es la luz recomendada por el fabricante para hacer el colado de la estructura sin usar un apoyo intermedio temporal.

Habiendo ejecutado el cálculo de la lámina de entrepiso, en función del espesor, la carga máxima y la separación recomendada de las vigas transversales, se hace la estimación de las propiedades de la viga transversal de apoyo de las láminas. Para este fin, se valora la inercia de la sección con base en una deflexión máxima sugerida de $L/360$. También se realiza el cálculo de la viga longitudinal que soporta el sistema propuesto, necesario a fin de hacer la ecuación de interacción en el análisis de vibración. Estos resultados se muestran en los cuadros N° 14 y 15

TABLAS DE AYUDA PARA DISEÑO METALDECK 2"												
Luz (m)	Calibre 22 (0,75mm)			Calibre 20 (0,90mm)			Calibre 18 (1,20mm)			Calibre 16 (1,50mm)		
	Espesor Total de la Losa											
	100 mm	120 mm	140 mm	100 mm	120 mm	140 mm	100 mm	120 mm	140 mm	100 mm	120 mm	140 mm
2,0	1006	1209	1331	1035	1213	1386	1109	1337	1564	1108	1331	1555
2,1	958	1151	1268	986	1155	1320	1056	1273	1490	1055	1268	1481
2,2	915	1099	1210	941	1103	1260	1008	1215	1422	1007	1210	1414
2,3	875	1051	1157	900	1055	1205	965	1163	1360	963	1158	1352
2,4	838	1008	1109	863	1011	1155	924	1114	1304	923	1110	1296
2,5	805	967	1065	828	970	1109	887	1070	1252	886	1065	1244
2,6	765	930	1024	796	933	1066	853	1028	1203	852	1024	1196
2,7	696	896	986	767	899	1027	822	990	1159	821	986	1152
2,8	634	862	951	739	866	990	792	955	1117	791	951	1111
2,9	579	788	918	707	837	956	765	922	1079	764	918	1072
3,0	529	722	887	649	809	924	740	891	1043	739	888	1037
3,1	-	661	852	-	783	894	-	863	1009	-	859	1003
3,2	-	606	782	-	750	866	-	836	978	-	832	972
3,3	-	557	719	-	691	840	-	810	948	-	807	942
3,4	-	511	661	-	638	815	-	786	920	-	783	915
3,5	-	469	608	-	589	763	-	763	894	-	761	889
3,6	-	431	552	-	544	706	-	682	869	-	740	864
3,7	-	-	493	-	-	653	-	-	846	-	-	841
3,8	-	-	-	-	-	605	-	-	823	-	-	818
3,9	-	-	-	-	-	556	-	-	797	-	-	797
4,0	-	-	-	-	-	501	-	-	744	-	-	778
Luz Máxima sin apuntalamiento (m)												
	2,01	1,84	1,71	2,30	2,10	1,95	2,81	2,56	2,37	3,25	2,96	2,74

Fuente: Manual Acesco.

Figura Nº 12, Tabla de ayuda de diseño de sistema entrepisos compuesto de lámina de acero y concreto para lámina de 2".

TABLAS DE AYUDA PARA DISEÑO METALDECK 3"								
Luz (m)	Calibre 22 (0,75mm)		Calibre 20 (0,90mm)		Calibre 18 (1,20 mm)		Calibre 16 (1,50 mm)	
	130 mm	150 mm	130 mm	150 mm	130 mm	150 mm	130 mm	150 mm
2,0	1842	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950
2,1	1650	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950
2,2	1483	1879	1778	1950	1950	1950	1950	1950
2,3	1338	1695	1607	1950	1907	1950	1905	1950
2,4	1210	1535	1458	1849	1828	1950	1826	1950
2,5	1097	1393	1325	1683	1754	1898	1753	1894
2,6	998	1267	1208	1535	1610	1825	1685	1821
2,7	909	1155	1104	1403	1476	1758	1623	1753
2,8	829	1055	1010	1285	1356	1695	1565	1691
2,9	757	965	926	1180	1249	1590	1511	1632
3,0	693	883	851	1084	1152	1467	1436	1578
3,1	635	810	782	998	1064	1356	1330	1527
3,2	582	743	720	919	984	1256	1233	1479
3,3	533	683	664	848	912	1164	1146	1435
3,4	489	627	612	783	845	1080	1066	1361
3,5	449	576	565	723	785	1004	993	1269
3,6	412	530	521	669	729	934	925	1184
3,7	378	487	481	618	678	869	844	1106
3,8	347	447	444	572	631	809	762	1034
3,9	318	411	410	529	587	754	687	967
4,0	-	377	-	489	-	703	-	905
Luz Máxima sin apuntalamiento (m)								
	2,42	2,24	2,81	2,59	3,49	3,22	3,96	3,65

Fuente: Manual Acesco.

Figura N° 13, Tabla de ayuda de diseño de sistema entrepisos compuestos de lámina de acero y concreto, para lámina de 3".

combinación de dimensiones	CUADRO Nº 20 DATOS DEL ANALISIS DE ENTREPISOS DE METALDECK										
	espesor de losa	viga transversal						viga longitudinal			
		L	As	Ix	d	n	b	As	Ix	d	w viga
	m	cm2	cm4	cm		cm	cm2	cm4	cm	kg/m	
metaldeck de 2", calibre 22	10cm	3,0	22,8	935	16,0	4,0	257,0	118,0	29.210	40,0	92,4
metaldeck de 2", calibre 22	10cm	4,0	33,4	2.140	20,0	4,0	257,0	132,0	36.970	42,5	104,0
metaldeck de 2", calibre 22	10cm	5,0	46,1	4.250	24,0	4,0	257,0	163,0	56.480	47,5	128,0
metaldeck de 2", calibre 22	10cm	6,0	61,0	7.590	28,0	4,0	257,0	179,0	68.740	50,0	141,0
metaldeck de 2", calibre 22	10cm	7,0	77,7	12.510	32,0	4,0	257,0	212,0	99.180	55,0	166,0
metaldeck de 2", calibre 22	10cm	8,0	97,0	19.610	36,0	4,0	257,0	212,0	99.180	55,0	166,0
metaldeck de 2", calibre 22	10cm	9,0	118,0	29.210	40,0	4,0	257,0	254,0	139.000	60,0	199,0
metaldeck de 2", calibre 20	10cm	3,0	22,8	935	16,0	4,0	268,0	118,0	29.210	40,0	92,4
metaldeck de 2", calibre 20	10cm	4,0	33,4	2.140	20,0	4,0	268,0	147,0	45.850	45,0	115,0
metaldeck de 2", calibre 20	10cm	5,0	46,1	4.250	24,0	4,0	268,0	163,0	56.480	47,5	128,0
metaldeck de 2", calibre 20	10cm	6,0	61,0	7.590	28,0	4,0	268,0	212,0	99.180	55,0	166,0
metaldeck de 2", calibre 20	10cm	7,0	77,7	12.510	32,0	4,0	268,0	212,0	99.180	55,0	166,0
metaldeck de 2", calibre 20	10cm	8,0	97,0	19.610	36,0	4,0	268,0	254,0	139.000	60,0	199,0
metaldeck de 2", calibre 20	10cm	9,0	118,0	29.210	40,0	4,0	268,0	254,0	139.000	60,0	199,0
metaldeck de 2", calibre 22	12cm	3,0	22,8	935	16,0	4,0	237,0	107,0	24.100	38,0	84,0
metaldeck de 2", calibre 22	12cm	4,0	22,8	935	16,0	4,0	237,0	118,0	29.210	40,0	84,0
metaldeck de 2", calibre 22	12cm	5,0	46,1	4.250	24,0	4,0	237,0	147,0	45.850	45,0	115,0
metaldeck de 2", calibre 22	12cm	6,0	61,0	7.590	28,0	4,0	237,0	163,0	56.480	47,5	128,0
metaldeck de 2", calibre 22	12cm	7,0	77,7	12.510	32,0	4,0	237,0	179,0	68.740	50,0	141,0
metaldeck de 2", calibre 22	12cm	8,0	86,7	15.700	34,0	4,0	237,0	212,0	99.180	55,0	166,0
metaldeck de 2", calibre 22	12cm	9,0	107,0	24.100	38,0	4,0	237,0	212,0	99.180	55,0	166,0
metaldeck de 2", calibre 20	12cm	3,0	22,8	935	16,0	4,0	266,0	118,0	29.210	40,0	92,4
metaldeck de 2", calibre 20	12cm	4,0	33,4	2.140	20,0	4,0	266,0	147,0	45.850	45,0	115,0
metaldeck de 2", calibre 20	12cm	5,0	46,1	4.250	24,0	4,0	266,0	163,0	56.480	47,5	128,0
metaldeck de 2", calibre 20	12cm	6,0	61,0	7.590	28,0	4,0	266,0	212,0	99.180	55,0	166,0
metaldeck de 2", calibre 20	12cm	7,0	77,7	12.510	32,0	4,0	266,0	212,0	99.180	55,0	166,0
metaldeck de 2", calibre 20	12cm	8,0	97,0	19.610	36,0	4,0	266,0	254,0	139.000	60,0	199,0
metaldeck de 2", calibre 20	12cm	9,0	118,0	29.210	40,0	4,0	266,0	254,0	139.000	60,0	199,0

MS Office, Excel

combinación de dimensiones	CUADRO Nº 21 DATOS DEL ANALISIS DE ENTREPISOS DE METALDECK										
	espesor de losa	viga transversal						viga longitudinal			
		L	As	Ix	d	n	b	As	Ix	d	w viga
m	cm ²	cm ⁴	cm		cm	cm ²	cm ⁴	cm	kg/m		
metaldeck de 3", calibre 22	13cm	3,0	27,9	1.450,0	18,0	4,0	271,0	132,0	36.970,0	42,5	104,0
metaldeck de 3", calibre 22	13cm	4,0	39,5	3.060,0	22,0	4,0	271,0	147,0	45.850,0	45,0	115,0
metaldeck de 3", calibre 22	13cm	5,0	53,3	5.740,0	26,0	4,0	271,0	179,0	68.740,0	50,0	141,0
metaldeck de 3", calibre 22	13cm	6,0	69,0	9.800,0	30,0	4,0	271,0	212,0	99.180,0	55,0	166,0
metaldeck de 3", calibre 22	13cm	7,0	77,7	12.510,0	32,0	4,0	271,0	212,0	99.180,0	55,0	166,0
metaldeck de 3", calibre 22	13cm	8,0	97,0	19.610,0	36,0	4,0	271,0	254,0	139.000,0	60,0	199,0
metaldeck de 3", calibre 22	13cm	9,0	118,0	29.210,0	40,0	4,0	271,0	254,0	139.000,0	60,0	199,0
metaldeck de 3", calibre 20	13cm	3,0	27,9	1.450,0	18,0	4,0	271,0	132,0	36.970,0	42,5	104,0
metaldeck de 3", calibre 20	13cm	4,0	39,5	3.060,0	22,0	4,0	271,0	147,0	45.850,0	45,0	115,0
metaldeck de 3", calibre 20	13cm	5,0	53,3	5.740,0	26,0	4,0	271,0	179,0	68.740,0	50,0	141,0
metaldeck de 3", calibre 20	13cm	6,0	69,0	9.800,0	30,0	4,0	271,0	212,0	99.180,0	55,0	166,0
metaldeck de 3", calibre 20	13cm	7,0	77,7	12.510,0	32,0	4,0	271,0	212,0	99.180,0	55,0	166,0
metaldeck de 3", calibre 20	13cm	8,0	97,0	19.610,0	36,0	4,0	271,0	254,0	139.000,0	60,0	199,0
metaldeck de 3", calibre 20	13cm	9,0	118,0	29.210,0	40,0	4,0	271,0	254,0	139.000,0	60,0	199,0
metaldeck de 3", calibre 22	15cm	3,0	22,8	935,0	16,0	4,0	253,0	118,0	29.210,0	40,0	92,4
metaldeck de 3", calibre 22	15cm	4,0	33,4	2.140,0	20,0	4,0	253,0	132,0	36.970,0	42,5	104,0
metaldeck de 3", calibre 22	15cm	5,0	46,1	4.250,0	24,0	4,0	253,0	163,0	56.480,0	47,5	128,0
metaldeck de 3", calibre 22	15cm	6,0	61,0	7.590,0	28,0	4,0	253,0	179,0	68.740,0	50,0	141,0
metaldeck de 3", calibre 22	15cm	7,0	77,7	12.510,0	32,0	4,0	253,0	212,0	99.180,0	55,0	166,0
metaldeck de 3", calibre 22	15cm	8,0	97,0	19.610,0	36,0	4,0	253,0	212,0	99.180,0	55,0	166,0
metaldeck de 3", calibre 22	15cm	9,0	118,0	29.210,0	40,0	4,0	253,0	254,0	139.000,0	60,0	199,0
metaldeck de 3", calibre 20	15cm	3,0	22,8	935,0	16,0	4,0	253,0	118,0	29.210,0	40,0	92,4
metaldeck de 3", calibre 20	15cm	4,0	33,4	2.140,0	20,0	4,0	253,0	132,0	36.970,0	42,5	104,0
metaldeck de 3", calibre 20	15cm	5,0	46,1	4.250,0	24,0	4,0	253,0	163,0	56.480,0	47,5	128,0
metaldeck de 3", calibre 20	15cm	6,0	61,0	7.590,0	28,0	4,0	253,0	179,0	68.740,0	50,0	141,0
metaldeck de 3", calibre 20	15cm	7,0	77,7	12.510,0	32,0	4,0	253,0	212,0	99.180,0	55,0	166,0
metaldeck de 3", calibre 20	15cm	8,0	97,0	19.610,0	36,0	4,0	253,0	212,0	99.180,0	55,0	166,0
metaldeck de 3", calibre 20	15cm	9,0	118,0	29.210,0	40,0	4,0	253,0	254,0	139.000,0	60,0	199,0

MS Office, Excel

Nota: el tipo de viga no se indica, sin embargo se aclara que corresponde a las columnas llamadas, la referencia del tipo de viga IPN que se usará.

REVISIÓN DE ACCELERACIÓN Y FRECUENCIA POR CARGAS DEBIDAS A CAMINATA DE PERSONAS
CASO: ENTREPISO DE METALDECK

Cargas

carga permanente 325,00 kg/m²

carga temporal 250,00 kg/m²

$\beta =$ 0,03

vigas 1 transversales						vigas 2 longitudinales			
L=	As=	Ix=	d=	n	b (cm)	As=	Ix=	d=	w viga=
9,00	118,00	29.210,00	40,00	4,00	253,00	254,00	139.000,00	60,00	199,00
m	cm ²	cm ⁴	cm	espacios @		cm ²	cm ⁴	cm	kg/m
			H (cm)	1.012,00					

datos		h1=	5,00	cm
		h2=	5,00	cm
		h prom=	11,25	cm
Es=	2.100.000,00	kg/cm ²		
δ conc	2.400,00	kg/m ³		
f'c=	245,00	kg/cm ²		
Ec=	240.462	kg/cm ²		
Ec definitivo	240.461,85	kg/cm ²		
n=	6,47	razon de módulos		
analisis de viga				
y=	7,85	cm		
Ix=	102.972,50	cm ⁴		
w=	1.958,22	kg/m		
Δ j=	0,77	cm		
f=	6,41	Hz		
Ds=	18,34	cm ³		
Dj=	407,01	cm ⁴ /cm		
Bj=	8,29	m		
2/3*B=	168,67	cm		
Wj=	86.654,29	kg		
analisis de viga de apoyo				
y=	4,48	cm		
Ix=	421.503,84	cm ⁴		
w=	6.967,99	kg/m		
Δ g=	1,08	cm		
f=	5,44	Hz		
Dj=	407,01	cm ³		
Dg=	468,34	cm ⁴ /cm		
Bg=	1,76	m		
3*L	27,00	cm		
2/3*(3*L)	18,00	m		
Wj=	137.803,09	kg		
analisis combinado				
Δ 'g=	1,31	cm		
W=	118.829,81	kg		
β W=	3.564,89	kg		
evaluación				
ap/g=		fn=		
0,21%		3,90		
		Hz		

MS Office, Excel
Figura N° 14, ejemplo de memoria de cálculo para análisis de vibración de entresijos, sistema compuesto.

CUADRO Nº 22 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES A ENTREPISOS							
entrepiso perfiles mas losa				entrepiso perfiles mas lamina			
L (m)	b(cm)	fn (Hz)	ap/g	L (m)	b(cm)	fn (Hz)	ap/g
3,00	40,00	9,53	0,25%	3,00	30,00	6,35	1,51%
3,00	50,00	8,97	0,28%	3,00	40,00	5,94	1,69%
3,00	60,00	9,49	0,25%	3,00	50,00	5,71	1,78%
3,00	70,00	8,57	0,31%	3,00	60,00	6,45	1,47%
4,00	40,00	6,21	0,46%	4,00	30,00	4,97	1,56%
4,00	50,00	6,13	0,45%	4,00	40,00	5,12	1,50%
4,00	60,00	6,23	0,45%	4,00	50,00	4,79	1,62%
4,00	70,00	6,29	0,43%	4,00	60,00	5,30	1,42%
5,00	40,00	4,54	0,52%	5,00	30,00	3,92	1,56%
5,00	50,00	4,98	0,47%	5,00	40,00	4,74	1,23%
5,00	60,00	4,84	0,48%	5,00	50,00	4,47	1,35%
5,00	70,00	5,08	0,46%	5,00	60,00	5,12	1,07%
6,00	40,00	4,24	0,44%	6,00	30,00	4,05	1,21%
6,00	50,00	4,04	0,46%	6,00	40,00	4,62	1,01%
6,00	60,00	3,93	0,48%	6,00	50,00	4,22	1,12%
6,00	70,00	3,91	0,47%	6,00	60,00	4,46	1,07%
7,00	40,00	3,51	0,42%	7,00	30,00	4,02	1,00%
7,00	50,00	3,31	0,44%	7,00	40,00	4,01	1,01%
7,00	60,00	3,52	0,42%	7,00	50,00	3,75	1,08%
7,00	70,00	3,41	0,43%	7,00	60,00	4,04	1,00%
8,00	40,00	3,08	0,38%	8,00	30,00	3,13	1,07%
8,00	50,00	2,92	0,38%	8,00	40,00	3,63	0,93%
8,00	60,00	2,80	0,40%	8,00	50,00	3,33	0,99%
8,00	70,00	-	-	8,00	60,00	3,50	0,97%

MS Office, Excel

CUADRO Nº 23 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES A ENTREPISOS DE SISTEMA METALDECK

L (m)	esp (cm)	b(cm)	fn (Hz)	ap/g	L (m)	esp (cm)	b(cm)	fn (Hz)	ap/g
3,00	7,50	257,00	3,02	0,55%	6,00	9,25	271,00	3,49	0,28%
3,00	7,50	268,00	2,74	0,56%	6,00	9,25	271,00	3,49	0,28%
3,00	9,50	237,00	3,71	0,49%	6,00	11,25	253,00	3,86	0,29%
3,00	9,50	266,00	3,08	0,51%	6,00	11,25	253,00	3,86	0,29%
3,00	9,25	271,00	3,09	0,46%	7,00	7,50	257,00	3,40	0,30%
3,00	9,25	271,00	3,09	0,46%	7,00	7,50	268,00	3,14	0,30%
3,00	11,25	253,00	3,71	0,45%	7,00	9,50	237,00	3,87	0,28%
3,00	11,25	253,00	3,71	0,45%	7,00	9,50	266,00	3,45	0,28%
4,00	7,50	257,00	3,01	0,46%	7,00	9,25	271,00	3,30	0,28%
4,00	7,50	268,00	2,98	0,45%	7,00	9,25	271,00	3,30	0,28%
4,00	9,50	237,00	3,75	0,50%	7,00	11,25	253,00	4,00	0,25%
4,00	9,50	266,00	3,32	0,41%	7,00	11,25	253,00	4,00	0,25%
4,00	9,25	271,00	3,08	0,39%	8,00	7,50	257,00	3,23	0,28%
4,00	9,25	271,00	3,08	0,39%	8,00	7,50	268,00	3,28	0,27%
4,00	11,25	253,00	3,68	0,38%	8,00	9,50	237,00	3,96	0,27%
4,00	11,25	253,00	3,68	0,38%	8,00	9,50	266,00	3,58	0,24%
5,00	7,50	257,00	3,24	0,38%	8,00	9,25	271,00	3,43	0,25%
5,00	7,50	268,00	2,97	0,39%	8,00	9,25	271,00	3,43	0,25%
5,00	9,50	237,00	3,91	0,34%	8,00	11,25	253,00	3,79	0,24%
5,00	9,50	266,00	3,30	0,35%	8,00	11,25	253,00	3,79	0,24%
5,00	9,25	271,00	3,31	0,32%	9,00	7,50	257,00	3,37	0,25%
5,00	9,25	271,00	3,31	0,32%	9,00	7,50	268,00	3,13	0,25%
5,00	11,25	253,00	3,90	0,32%	9,00	9,50	237,00	3,78	0,25%
5,00	11,25	253,00	3,90	0,32%	9,00	9,50	266,00	3,41	0,23%
6,00	7,50	257,00	3,23	0,34%	9,00	9,25	271,00	3,27	0,23%
6,00	7,50	268,00	3,33	0,32%	9,00	9,25	271,00	3,27	0,23%
6,00	9,50	237,00	3,89	0,31%	9,00	11,25	253,00	3,90	0,21%
6,00	9,50	266,00	3,67	0,29%	9,00	11,25	253,00	3,90	0,21%

MS Office, Excel

Análisis de los resultados

De forma particular, se examinaron los resultados obtenidos para cada uno de los entrepisos estudiados y de forma comparativa, se agruparon los datos en un solo gráfico a fin de evidenciar algunos hechos acerca del comportamiento particular de cada uno de los entrepisos, tal y como será descrito.

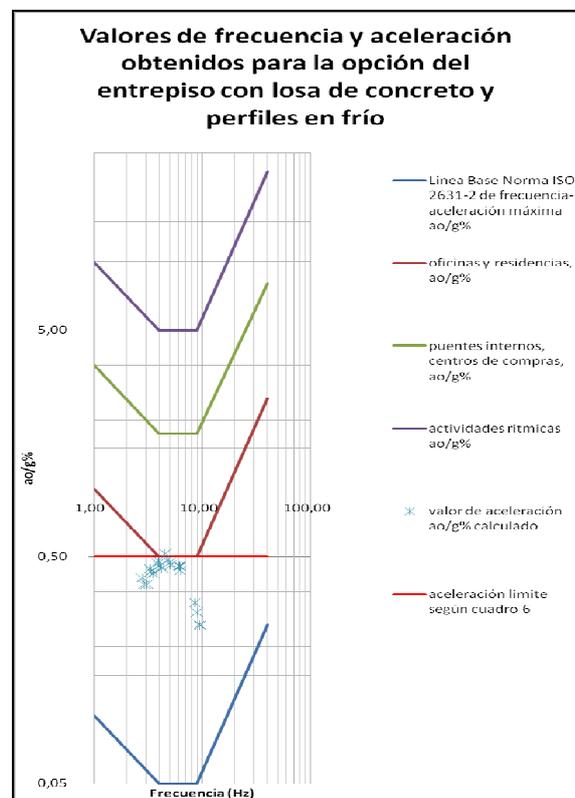
Entrepisos de RT y losa de concreto.

La figura N° 15 se muestra los resultados obtenidos para frecuencias y aceleraciones de los entrepisos de perfiles y losa de concreto, que se tabularon en el cuadro N° 22. Se han plotado los puntos sobre el gráfico de referencia de la norma ISO 2631-2; 1989, que se indica en la figura 3 Aceleraciones máximas recomendadas para solicitaciones debidas a actividades humanas (Allen y Murray; 1989).

De acuerdo con lo que es posible apreciar en la figura citada, los valores obtenidos de frecuencia están en un rango de 9,53 Hz a 2,80 Hz, con aceleraciones comprendidas entre 0,25% y 0,52% de g.

Los valores alcanzados muestran, en su mayoría, concordancia con lo que indica el cuadro 6 respecto a los valores límites de la aceleración, así como, una tendencia bajo la línea de referencia de frecuencias y aceleraciones recomendadas para oficinas establecidas en la figura 15; por lo cual es posible afirmar que las características mecánicas y las dimensiones de los elementos sugeridos son satisfactorios para la mayoría de los casos y podrían desempeñarse de una forma muy eficiente ante las solicitaciones demandadas por personas caminando sobre las estructuras.

Un fenómeno interesante de evidenciar, es que los valores que se muestran en el cuadro N° 22 indican, que conforme aumenta la longitud entre apoyos de las vigas de entrepiso, para una misma separación de vigas, la frecuencia del sistema disminuye, sin embargo, la aceleración relativa aumenta por cada metro de longitud de viga.



MS Office, Excel

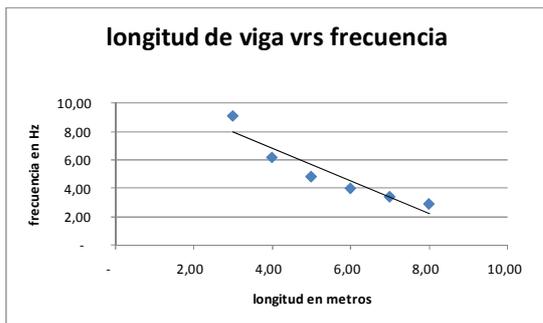
Figura N° 15, Valores de ao/g y frecuencia obtenidos para los entrepisos de perfiles y losa de concreto

El entrepiso que muestra la mayor frecuencia es el configurado con la menor longitud y la menor separación de vigas y por su parte, el sistema

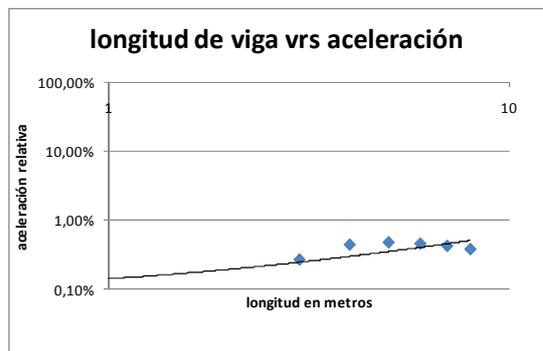
que tiene la menor frecuencia es aquel con mayor claro entre apoyos y mayor separación de vigas.

Este comportamiento se debe a que entrepisos de mayor rigidez mostrarán frecuencias mayores, que aquellos otros en los cuales, una menor rigidez permitiría que el sistema, tienda a deformarse más y absorber los efectos de la carga como medida de amortiguamiento, característica otorgada a las propiedades físicas del entrepiso, tales como el peso propio soportado, los esfuerzos en los materiales trabajando de forma compuesta, la deflexión total del sistema y los ya mencionados como la separación de vigas y longitud entre apoyos.

Para este caso particular, es posible indicar que para un sistema de entrepiso de acción compuesta, con las características descritas anteriormente en este informe, los valores de frecuencia y aceleración, respecto a la longitud muestran el siguiente comportamiento:

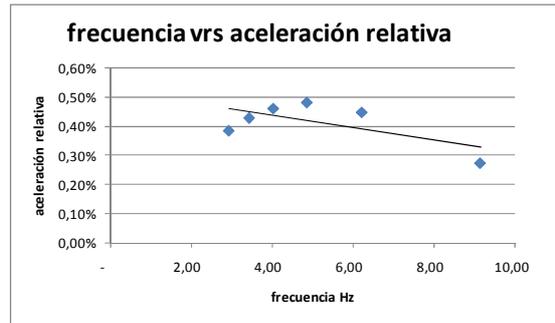


MS Office, Excel
Figura Nº 16, Comportamiento de la frecuencia al aumentar la longitud de viga



MS Office, Excel
Figura Nº 17, Comportamiento de la aceleración al aumentar la longitud de vigas

La figura 16 recalca lo que se ha indicado en relación con la frecuencia, sin embargo, la aceleración muestra un comportamiento diferente, tal y como es posible notar en las figuras 17 y 18, pues se nota la existencia de una tendencia de aumento en la aceleración relativa al acrecentar la frecuencia y la longitud entre apoyos.



MS Office, Excel
Figura Nº 18, Comportamiento de la frecuencia vrs variación en la aceleración relativa de vigas

Entrepisos de RT y superficie de fibrocemento

Luego de plotear los pares ordenados de frecuencia y aceleración relativa sobre el gráfico de referencia de la norma ISO citada, se obtiene el gráfico que se muestra en la figura 19.

De acuerdo con lo que es posible apreciar en la figura citada, los valores derivados de frecuencia están en un rango de 6,45 Hz a 3,10 Hz, con aceleraciones comprendidas entre 1,78% y 0,88% de g.

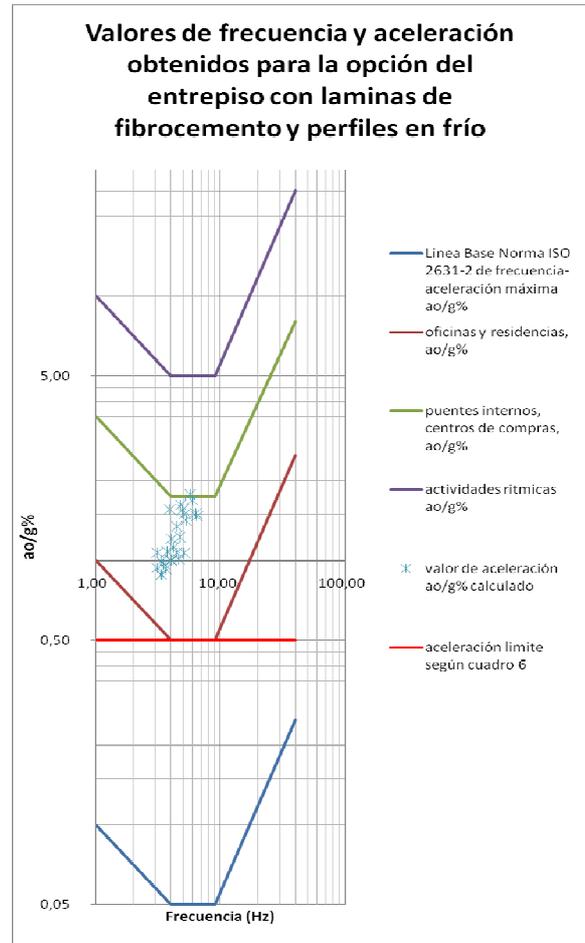
Para este caso, los valores obtenidos de aceleraciones superan el límite indicado en el cuadro 6 para el uso de la estructura de análisis propuesta. La principal divergencia de este sistema de entrepiso con respecto al anterior es la diferencia de peso en la superficie, ya que la losa de concreto tiene un peso unitario de 240 kg/m², mientras que el piso de fibrocemento, suponiendo igualdad en el resto de las condiciones pesa tan solo 59 kg/m². Además de esta condición, es posible afirmar que la mayor parte del esfuerzo a flexión, es tomado por las vigas, dado que no es posible considerar la resistencia a la compresión de las láminas

colabora de igual forma que el concreto en la toma de esfuerzos combinados a flexión.

A pesar de que en este caso, el sistema sobrepasa los valores de referencia para la aceleración, la frecuencia se mantiene dentro de los valores permisibles (mayor a 3 Hz y menor a 8Hz). El efecto del peso, como un elemento de amortiguación de las vibraciones demuestra en este caso, que un balance adecuado entre peso y capacidad puede incidir notoriamente en comportamiento de las estructuras ante las vibraciones inducidas por una carga.

Este sistema constructivo es ampliamente usado en vivienda y edificaciones comerciales livianas y presenta por lo general, vibraciones perceptibles por ejemplo cuando alguien corre o un objeto cae, sin embargo, presenta un desempeño satisfactorio, aunque vibraciones que podrían resultar molestas a los ocupantes, pues superan el valor límite de referencia de 0,5%g, establecido en el cuadro 6.

Dado que el comportamiento de las vibraciones y aceleraciones relativas es similar al sistema anterior, es posible decir los mismos razonamientos sobre la incidencia de la separación entre apoyos y el espaciamiento de las vigas. Los valores señalados en el cuadro N° 22 y en la figura N° 20 permiten apreciar, que conforme aumenta la longitud entre apoyos de las vigas de entrepiso, para una misma separación de vigas, la frecuencia del sistema tiende a disminuir. Sin embargo, la aceleración relativa tiende a aumentar ante incrementos en la longitud de viga.



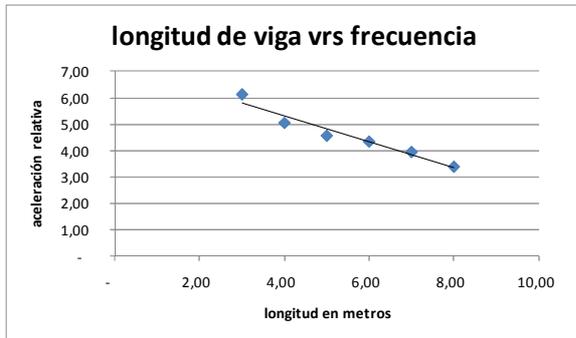
MS Office, Excel

Figura N° 19, Valores de aop/g y frecuencia obtenidos para los entrepisos de perfiles y superficie de fibrocemento

El sistema de entrepiso que muestra la mayor frecuencia es el configurado con la menor longitud y la menor separación de vigas y por su parte, el sistema que tiene la menor frecuencia es aquel con mayor claro entre apoyos y mayor separación de vigas, similar condición al sistema anterior y atribuible a la rigidez de cada una de las secciones resistentes y la amortiguación ofrecida.

Un dato importante para evidenciar de acuerdo con los resultados, es que en este tipo de entrepiso hay una variabilidad menor en la frecuencia, pues entre los valores máximos y mínimos de la frecuencia, hay solamente 2,72 Hz,

a diferencia del sistema de losa de concreto que tiene un rango de 6,21 Hz de diferencia.



MS Office, Excel

Figura N° 20, comportamiento de la frecuencia al aumentar la longitud de viga

Entrepisos de Sistema Compuesto

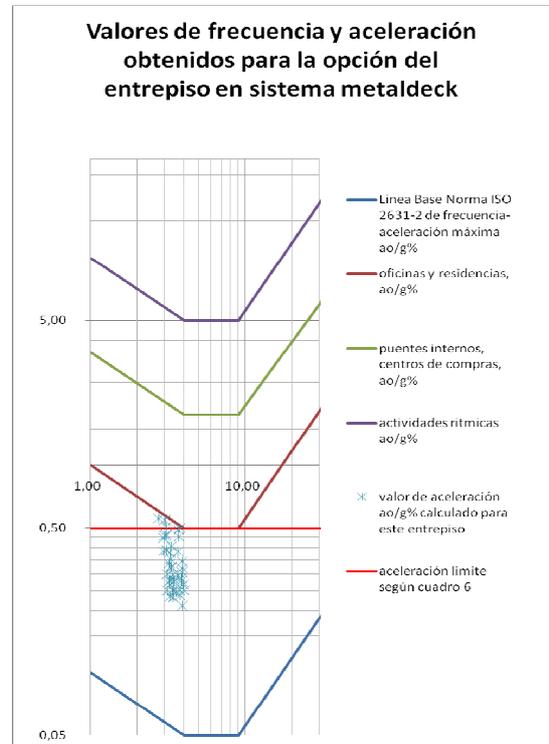
Al obtener los resultados de este sistema de entrepiso, se adquieren valores de frecuencia y de aceleración relativa contenidos en un rango con una variabilidad reducida. El valor de la frecuencia mayor es de 4 Hz y el menor de 2,74 Hz; respecto a la aceleración los valores máximos y mínimos son 0,56% y 0,21% respectivamente.

Este rango determina que los entrepisos propuestos para la comparación, están dentro de lo establecido para un uso de oficina.

Este sistema de entrepiso es mayormente usado en edificios comerciales y edificios destinados a bodegas de una moderada capacidad, dadas sus buenas características de soporte y un uso muy eficiente del acero de refuerzo que es la lámina misma que trabaja de forma integral con el concreto.

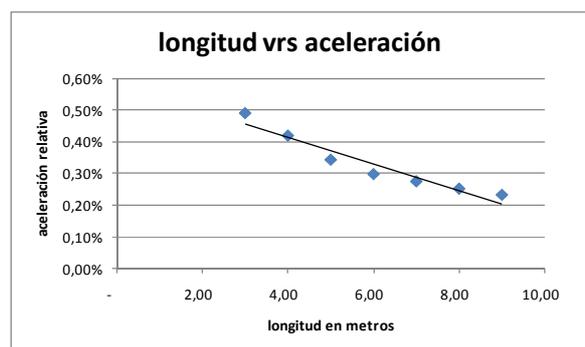
A diferencia de los sistemas de entrepiso anteriores, es posible notar como al aumentar la longitud del claro entre las vigas hay una tendencia al aumento de la frecuencia, según es posible apreciar en la figura N° 23. Esto puede deberse a que conforme aumenta la longitud del entrepiso, aumenta la cantidad de vigas intermedias y el momento de inercia de las mismas, al aumentarse el largo de estas, proceso

que conlleva al ajuste por deflexión y capacidad de carga. En todo momento se han verificado los esfuerzos de flexión en ambas vigas y las deflexiones máximas, limitadas a L/360.



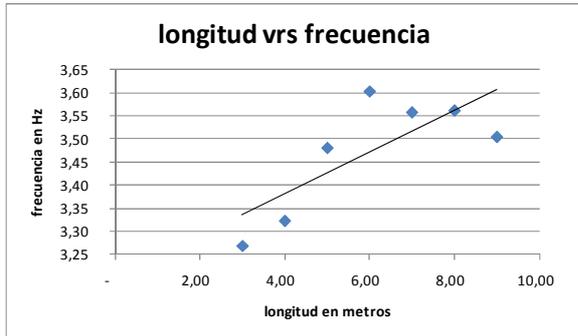
MS Office, Excel

Figura N° 21, Valores de a_0/g y frecuencia obtenidos para los entrepisos de sistema compuesto



MS Office, Excel

Figura N° 22, comportamiento de la aceleración al aumentar la longitud de vigas



MS Office, Excel
 Figura N° 23, comportamiento de la frecuencia al aumentar la longitud de vigas

Por su parte, al ver la tendencia de la aceleración ante el aumento de la longitud, es posible notar una disminución de esta variable. Este fenómeno podría deberse a que existe una mejor distribución de las vibraciones al aumentar la longitud y un mayor efecto de amortiguamiento, producto de la ubicación de vigas de mayor sección colocadas a fin de satisfacer mayores luces entre apoyos.

En lo que respecta a la comparación particular de este sistema, se han usado en este análisis del sistema metaldek 4 tipos diferentes de láminas, a saber láminas calibre 22 y 20 y láminas de 3" y 2". Con base en los resultados es posible afirmar que preexiste una variación muy pequeña desde el punto de desempeño en el análisis de vibración, para este grupo de láminas y espaciamientos propuesto.

Respecto al espaciamiento de las vigas, por ser esta una condición particular de este tipo de entrepiso, no es posible hacer un análisis de la incidencia al variar este espaciamiento en las vibraciones y aceleración correspondiente.

Comparación de los sistemas

En vista de que se han realizado los cálculos partiendo de cargas, propiedades de materiales y condiciones similares para resolver un mismo problema, la comparación planteada es en términos de desempeño y de capacidad de servicio de los entrepisos analizados desde el punto de vista de las vibraciones.

La frecuencia natural a la cual se recomienda el diseño de entrepisos debe ser superior a 3 Hz, debido a que la frecuencia de pasos de una persona en promedio, está normalmente en valores cercanos a un paso por segundo, lo cual podría provocar que en algún armónico cercano, pudiera estarse incidiendo en resonancia de la estructura. De acuerdo con los valores obtenidos, ninguna de las opciones de entrepiso planteada ocasiona este fenómeno.

Ahora bien, se ha escogido para análisis la condición más restrictiva, en cuando a valores de aceleración relativa, por tratarse del análisis comparativo de opciones de entrepiso para un lugar de oficinas.

En la figura N° 24 se han graficado los valores de los tres sistemas y las opciones planteadas satisfacen los requisitos de frecuencia y aceleración indicados en los capítulos 2 y 4 del documento Floor Vibrations due to human Activity¹⁵, con excepción del sistema de perfiles y lámina de fibrocemento, que excede los valores de aceleración a límites bajo la curva de a_0/g de puentes internos y centros de compras, lugares con más personas en movimiento y por lo que la incidencia de la aceleración puede tener valores mayores al no ser tan importante la percepción de un poco más de vibraciones en el piso.

Este fenómeno, de acuerdo con lo que es posible notar de las variables de cada sistema, está relacionado directamente con la carga que debe soportar cada sistema, puesto que un mayor valor de carga muerta, corresponde a una menor aceleración relativa.

Este valor mayor de carga muerta, produce un efecto de amortiguación en las vibraciones y por lo consiguiente en la aceleración relativa, ya que una masa mayor, requiere una sollicitación más grande para vibrar a una frecuencia similar.

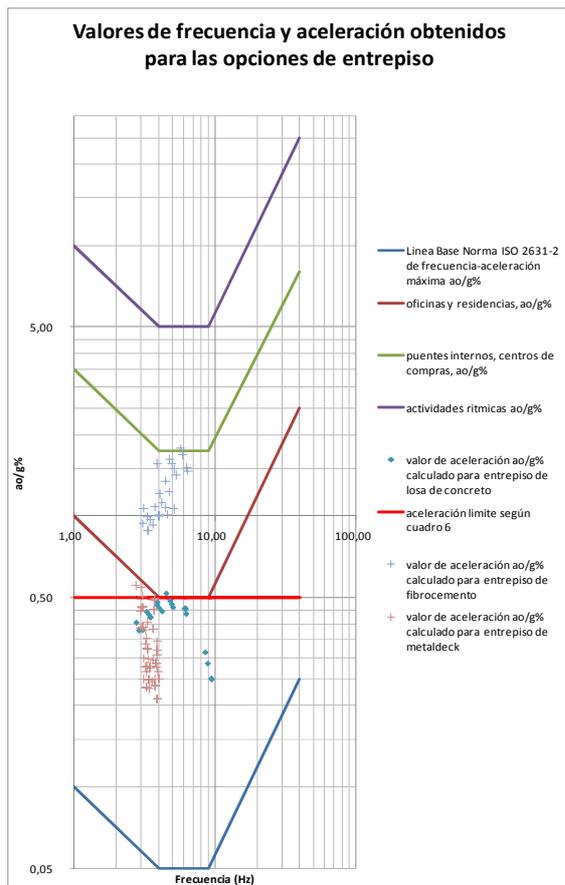
En el caso de los entrepisos de fibrocemento, a la luz de los resultados, es importante considerar en el diseño, los elementos de amortiguación necesarios (una opción puede ser incluir el peso de estructuras livianas, que aportan rigidez y

¹⁵ AISC, CISC Floor Vibrations due to human activity. Steel Design Guide.

peso que inciden en la reducción de la aceleración) a fin de controlar este aspecto y evitar fuertes sacudidas de los pisos que pudieran producir deterioros importantes en el mobiliario o equipos colocados sobre él. Estos valores de aceleración deben ser reducidos a fin de evitar problemáticas asociadas al mal desempeño de los entresijos ante las vibraciones, al superar el límite de 0,5% del valor de la aceleración de la gravedad.

tiene una limitación importante en relación con la regularidad de las dimensiones por analizar. En el mismo sentido, el valor de la carga de incidencia es una variable que depende de algunos otros valores, como por ejemplo la incidencia de una persona de mayor peso al que el método sugiere o cargando algún paquete de cierto tamaño, podría determinar un comportamiento diferente al que pueda resultar de esta investigación.

Otro aspecto que debería estar mejor categorizado en el método, es el efecto del amortiguamiento, dado que el efecto de las divisiones estructurales, elementos de división ligeros o elementos de mobiliario asociados, deberían aportar un análisis particular en función de la rigidez aportada al sistema.



MS Office, Excel

Figura Nº 24, Valores combinados de aop/g y frecuencia obtenidos para los entresijos analizados

Ahora bien, haciendo un comentario respecto con la metodología de análisis, ciertamente el método permite obtener criterios objetivos para la determinación de valores que clasifican el comportamiento esperado de las estructura de pisos metálicos dentro de escalas de percepción válidamente aceptadas, sin embargo, el método

Conclusiones y Recomendaciones

Luego de haber realizado este informe de proyecto de graduación sobre el análisis y evaluación comparativa de entresijos metálicos ante vibraciones generadas por cargas de servicio se llega a las siguientes conclusiones:

1. No existe referencia nacional a ninguna metodología de diseño o procedimiento comparativo internacional, que valore el comportamiento de los entresijos de estructura metálica.
2. No se hallan detalles típicos ni recomendaciones de fabricantes que específicamente estén orientadas a guiar a los diseñadores o constructores sobre los requisitos de serviciabilidad en materia de comportamiento de estructuras de entresijo metálico
3. Actualmente sólo hay una referencia en la normativa del AISC para hacer las evaluaciones de desempeño y capacidad de servicio de entresijos de estructura metálica, la cual es la Guía de Diseño N° 11.
4. El método de diseño y revisión de capacidad de servicio para vibración en entresijos de estructura metálica utilizada, se aplica de una manera eficiente a estructuras de forma regular.
5. El sistema de entresijo formado por una estructura metálica de perfiles y losa de concreto, unida por conectores de cortante se desempeña eficientemente tanto por capacidad de carga, como por capacidad de servicio ante las vibraciones inducidas por personas caminando para separaciones comprendidas entre 40cm y 70cm, con luces entre apoyos mayores a 4m y menores a 9m. para luces mayores a 4m es necesario la colocación de diafragmas.
6. El fenómeno de las vibraciones es un asunto relacionado con el desempeño de las estructuras y la capacidad de servicio que las personas perciben ante los movimientos producidos por diversas acciones, una de ellas la incidencia de las actividades humanas.
7. El método analizado sólo considera vibraciones inducidas por las acciones humanas que son verticales y perpendiculares sobre el entresijo.
8. La percepción de las vibraciones y la categorización de los rangos máximos y mínimos en función del uso de las estructuras está determinado por valores estadísticos de confortabilidad de las personas.
9. A cada aplicación del uso de los entresijos, corresponde un rango de aceleraciones relativas a la gravedad terrestre, que determinan la disposición de las personas a aceptar vibraciones y de determinada magnitud
10. El sistema de entresijo con superficie de fibrocemento presenta problemas de desempeño por altas aceleraciones relativas, de acuerdo con los datos analizados en esta investigación, por lo

cual corresponde plantear métodos específicos de control de vibraciones para este sistema de entresijos de cada vez más frecuente por su velocidad de construcción y limpieza de proceso.

11. Las cargas muertas inciden directamente en la reducción de las aceleraciones producidas por las vibraciones inducidas por personas que caminan a través de los entresijos de estructura metálica analizados en este informe.
12. En términos generales, es posible afirmar que para los sistemas de entresijo soportados en perfiles de acero, a mayor longitud, corresponde una disminución de las frecuencias naturales de vibración.
13. Los entresijos de estructura metálica deben diseñarse para frecuencias mayores a 3Hz, a fin de evitar el potencial de resonancia, ya que la frecuencia de paso de las personas es aproximadamente a 1 paso por segundo, lo cual podría producir una coincidencia de frecuencias en una armónica cercana a la frecuencia indicada.

Con base en las conclusiones anteriormente citadas y al desarrollo del trabajo de forma integral, se recomiendan lo siguiente respecto a la investigación y mejor comprensión del método

1. Correlacionar esta metodología de cálculo con la usada para otros sistemas constructivos y evidenciar diferencias y similitudes aplicables a los sistemas.
2. Proponer trabajos y proyectos a nivel académico a fin de comprobar físicamente la incidencia por solicitaciones mayores a las indicadas por el método estudiado y evidenciar desempeños posibles de las estructuras que se analicen.
3. Con base en la bibliografía disponible del tema, se recomienda hacer un Comité Especializado que estudie las posibilidades reales de hacer investigación más profunda acerca del tema de la vibración en entresijos de

estructura metálica y recomiende valores, secciones, características y especificaciones técnicas a incluir en un apartado especial del Código Sísmico de Costa Rica, que sirvan de modelo y de guía a los diseñadores para cumplir con los estándares internacionales de capacidad de servicio y desempeño en la construcción nacional de estructuras similares a las analizadas en este trabajo de graduación.

4. En la Sección de Marco Teórico de este informe se presentan recomendaciones de los aspectos tendientes a contrarrestar los efectos de las vibraciones en los pisos, a fin de dar pistas en el caso de análisis de pisos existentes o aspectos que deben revisarse en el proporcionamiento y análisis de vibración.
5. Se recomienda como un estudio adicional al realizado, verificar el comportamiento con otros perfiles de acero, tales como el tubo cuadrado, rectangular y secciones estándar, a fin de tener un panorama comparativo completo en cuanto a las opciones posibles de entresijos metálicos.

Referencias

Productos de Concreto. 2008. *Entrepisos de concreto. Productos de Concreto*. Catalogo de Productos. 18p.

Productos Plycem. 2005. *Entrepisos. Productos Plycem*. Catalogo de Productos, capítulo 7. 39p.

ACESCO, 2007. *Manual Técnico Metaldeck Grado 40*. 98p.

Hines, E M et al. 2005. *Floor System Vibration Control*. Tufts University, Dept. Civ. & Env. Eng. 12p.

Linda M. Hanagan. 2003. *Floor Vibration Serviceability: Tips and Tools for Negotiating a Successful Design*. **MODERN STEEL CONSTRUCTION**.

Murray, Thomas et al. 1997. *Floor Vibrations due to human activity*. **Steel design Guide**, AISC, CISC. 71p.

Naeim, Farzad. 1991. *Design Practice to prevent floor vibrations*. **Structural Steel Educational Council**. 28p.

Valverde, Diego. 2005. **MATRICES COMPARATIVAS TECNICO-ECONOMICAS PARA LOS TIPOS DE ENTREPISOS MAS USADOS EN COSTA RICA**. Informe proyecto final de graduación. ITCR. 79 p.

Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. **Código Sísmico de Costa Rica 2002**. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Tercera edición. Cartago, Costa Rica. 2003.

REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES

Publicado en La Gaceta No. 56, Alcance 17 del 22 de marzo de 1983. Sesión de Junta Directiva del INVU No. 4290 celebrada el 4 de marzo de 1993. Reglamento de Construcciones. San José, 10 de noviembre de 1982.- Clara Zomer, Presidenta Ejecutiva.

Ing Gustavo Rojas Moya. Ingeniero Civil. Profesor Escuela de Ingeniería en Construcción. ITCR.