

Evaluación, análisis y optimización de los sistemas de entrepiso Plycem para cargas gravitacionales



Abstract

Plycem, a company specialized in fiber cement products, offers mezzanine floor in which 22 mm plates over C cold rolled contours are utilized. Some clients who have used this system have been affected by service charges. Therefore, it is necessary to develop improvements to enhance its quality.

In order to accomplish these quality improvements, it is necessary to perform evaluation, analysis and optimization tasks towards the main usage conditions flaws within these structures.

When testing Plycem mezzanine floor systems, customers and professionals in the construction field were interviewed and similar case studies were considered. Based on this analysis, the vibration and the fissuring of the mezzanine floor are considered to be the main flaws.

Using design tables and studying the gathered information during the process allowed the analysis of these floor systems. During this stage qualitative- quantitative results about the main flaws were obtained.

This project is completed with the proposal for optimization alternatives. In this aspect, tests to measure the placement of ceramic over geotextile were performed and options to decrease vibration were developed.

Results from this study suggest that the building process for Plycem mezzanine floor systems requires appropriate technical support, inspection and the use of solutions to prevent flaws according to the proposals provided

Keywords: mezzanine floor, vibration, service charges, improvement.

Resumen

La empresa Plycem, especializada en la fabricación de productos de fibrocemento ofrece un entrepiso en el cual se utilizan láminas de 22 mm sobre perfiles C laminados en frío. Algunos clientes, al utilizar este sistema, se han visto afectados por fallas ante cargas de servicio. Por esta razón, es necesario efectuar mejoras que permitan beneficiar su calidad.

Para eliminar las fallas y lograr el mejoramiento de estas estructuras, es necesario realizar un trabajo de evaluación, análisis y optimización ante cargas generadas por condiciones de uso.

Al evaluar los sistemas de entrepiso Plycem se efectuaron encuestas a clientes y profesionales del sector construcción y se realizó un estudio de algunos casos en los que se ha empleado este sistema. A partir de este trabajo, se determina que las principales fallas son: la vibración y el fisuramiento de piso cerámico.

La implementación de tablas de diseño y el estudio de la información obtenida en el proceso de evaluación permitieron realizar un análisis de estos entrespisos. En esta etapa del proyecto se obtuvieron resultados cuali-cuantitativos acerca de las principales fallas detectadas.

El trabajo se completa con la propuesta de alternativas de optimización. En este aspecto se efectuaron pruebas de colocación de cerámica sobre un geotextil y se desarrollaron opciones que permiten disminuir la vibración.

A partir del trabajo realizado, se concluye que la construcción de los entrespisos Plycem requiere de una adecuada asesoría técnica, inspección y el uso de soluciones para la prevención de fallas según las propuestas brindadas.

Palabras clave: entrespisos, vibración, cargas de servicio, mejoramiento.

Evaluación, análisis y optimización de los sistemas de entrepiso Plycem para cargas gravitacionales

Evaluación, análisis y optimización de los sistemas de entrepiso Plycem para cargas gravitacionales

JOSÉ LUIS QUESADA SOLANO

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

Agosto del 2011

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen Ejecutivo	2
Introducción	4
Marco Teórico	6
Metodología	16
Resultados	24
Análisis de los resultados	58
Conclusiones	66
Recomendaciones	68
Apéndices	69
Anexos	72
Referencias	96

Prefacio

Siempre que se ejecute un proyecto constructivo, el profesional debe tener muy presente el concepto de calidad, para lo cual según la administración de proyectos, se requiere el máximo desempeño en cuanto a costo, tiempo y alcance.

Como parte de los sistemas constructivos, Plycem ofrece una alternativa de entepiso liviano fabricado con láminas de fibrocemento y perfiles de acero laminados en frío. Estos sistemas son eficientes en tiempo constructivo y además son favorables respecto del costo total del proyecto.

Al definir el alcance, el profesional debe entregar un proyecto cuyos resultados cumplan con las exigencias del cliente y por lo tanto no se deben admitir fallas que afecten la calidad final. El entepiso Plycem es un sistema que por sus características constructivas tiende a presentar fallas que afectan su condición de servicio. Esto, evidentemente, disminuye la calidad del producto que se le entrega al cliente.

Es por este motivo que surge la necesidad de realizar un proyecto en el cual se determinen las principales fallas que presentan estos entrepisos, sus causas, y la forma mediante la cual se pueden mejorar estos aspectos. El trabajo de optimización pretende que el sistema constituya una importante opción en el mercado de la construcción, no solamente en el nivel nacional, ya que Plycem cuenta con operaciones comerciales en toda América.

El objetivo principal del proyecto es optimizar el sistema de entepiso Plycem respecto de la condición de servicio, para lo cual es necesario realizar una evaluación y análisis de este sistema constructivo.

Se agradece a todas las personas de la empresa Plycem que colaboraron en este proyecto, en especial al Ing. Andrés Alvarado, jefe de Desarrollo del Producto, al personal de

dicho departamento y al señor Mauricio Chacón, asesor técnico.

El reconocimiento especial a las personas que contribuyeron en la elaboración de las encuestas porque sus comentarios y sugerencias fueron parte importante de este trabajo.

A los profesores de la carrera de Ingeniería en Construcción que colaboraron durante la realización del proyecto, especialmente al Ing. Gustavo Rojas por su labor como profesor guía.

Resumen Ejecutivo

La industria nacional de la construcción ofrece distintas alternativas para la instalación de entrepisos, cada uno con sus ventajas y desventajas. Es necesario que el profesional a cargo de un proyecto constructivo realice un análisis de cada una de las opciones y determine cuál es la más conveniente.

Dentro de estas alternativas se encuentra el sistema de entrepiso Plycem, el cual es considerado como liviano y se constituye de láminas de fibrocemento sobre perfiles C rolados en frío. Dentro de las principales ventajas se pueden citar su bajo peso, la facilidad para trabajar y el hecho de ser limpio y seco. Sin embargo, existen aspectos que necesitan mejorarse en este tipo de estructuras, principalmente en el tema de fallas, en la condición de servicio.

Algunas personas al utilizar los entrepisos Plycem, se han visto afectadas por problemas en la calidad del producto debido a las condiciones de uso. Por esta razón, se realizó una evaluación y análisis de los principales inconvenientes en los sistemas de entrepiso Plycem, a partir de lo cual se proponen alternativas para su optimización.

La empresa Plycem busca soluciones que disminuyan la posibilidad de fallas en la condición de servicio de sus entrepisos. A menudo, estas representan reclamos de clientes, lo que conlleva a la pérdida de confianza en los sistemas constructivos que ofrece la empresa.

Para efectuar la optimización de los entrepisos, fue necesario describir y analizar el sistema actual, identificar sus principales defectos, proponer cambios que contribuyan a su mejoramiento y determinar el costo de construir estas estructuras. Además, se realizó una investigación de entrepisos livianos en otros países con la finalidad de buscar aspectos constructivos que se puedan implementar en Costa Rica.

Para reconocer los principales aspectos que se necesitan mejorar, se realizaron

encuestas a personas que han utilizado el sistema de entrepiso Plycem, tanto a propietarios como ingenieros. Como resultado de este proceso, se determinó que es necesario prevenir aspectos relacionados con la vibración de la estructura y la generación de fisuras en el piso cerámico. Además, se revisaron algunos casos para buscar errores y precisar detalles positivos en la construcción de estos sistemas.

Luego de identificar cuáles aspectos era necesario mejorar, se efectuó un análisis relacionado con el cálculo de vibraciones en pisos. Para este fin se utilizó el documento "Floor vibration due to Human Activity" (Murray, 1997) publicado por el American Institute for Steel Construction (AISC) y la tesis: "Vibration Serviceability and Dynamic Modeling of Cold-Formed Steel Floor Systems" (Parnell, 2008). A partir de esta información, se desarrollaron hojas de cálculo que permitieron obtener el valor de frecuencia y aceleración máxima en 210 sistemas de entrepiso Plycem. Con estos resultados se determina que dichas estructuras presentan una vibración sobre el límite para el confort humano y por lo tanto necesitan disminuir los valores de aceleración.

Para lograr lo anterior, se propusieron dos alternativas de optimización. La primera, consiste en un reforzamiento de la estructura de soporte y en la segunda se propone la utilización de una sobrelosa de concreto. Ambas alternativas buscan aumentar la rigidez del sistema y de esta forma obtener valores de vibración aptos para residencias y oficinas.

En cuanto a las grietas en el acabado de piso, se efectuaron pruebas de instalación de cerámica utilizando un geotextil no tejido sobre las láminas Plystone. Se usa este material con el fin de que los movimientos generados en las juntas entre láminas no provoquen fisuras en la superficie de piso. Además, la presencia del geotextil sirve como una barrera impermeable que impide la absorción de agua del mortero,

provocada por la porosidad de las láminas de fibrocemento.

En total se realizaron 5 pruebas de colocación de cerámica, y luego de analizar los resultados, se propone utilizar el Geotextil NT1600 adherido con pegamento para madera sobre las láminas Plystone. Sobre este material se agrega el mortero pega cerámica para colocar el piso de forma convencional. Los resultados iniciales de esta alternativa se consideran satisfactorios; sin embargo, es necesario poner a prueba dicha solución a largo plazo y en condiciones de uso continuo para ser recomendada posteriormente a los clientes.

En el mercado de la construcción existen distintas opciones comerciales para el beneficio de la condición de servicio de los distintos entresijos. Por esta razón, se realizó una investigación de los productos o métodos que se pueden implementar en los entresijos Plycem. Esta investigación considera principalmente la aplicación, precio y disponibilidad de cada alternativa.

El proyecto contempla la realización de un presupuesto en el cual se toman en cuenta los principales componentes estructurales y los productos necesarios para la aplicación de piso cerámico de acuerdo con la propuesta del geotextil.

Finalizado el trabajo se concluye que en los sistemas de entresijo Plycem se pueden utilizar distintas alternativas o productos que benefician su funcionalidad en condiciones de uso. Sin embargo, lo primordial, es la correcta instalación del sistema, tanto de la estructura de soporte como de las láminas, para lo cual es importante que el cliente busque una adecuada asesoría en este tema.

Introducción

El desarrollo de producto en la construcción se puede definir como un proceso mediante el cual, a partir de las necesidades de este sector, se logran obtener ideas que permitan beneficiar el mercado constructivo. Sin embargo, es también un proceso que contempla cambios en lo existente con la finalidad de ofrecer productos cada vez más eficientes.

Como parte del mejoramiento de los sistemas constructivos de la empresa Plycem, se ha creado este proyecto, el cual pretende ser una guía para la correcta aplicación de sus entrepisos y busca la implementación de soluciones constructivas que beneficien la funcionalidad del sistema. Para lograrlo, se requiere determinar las principales fallas en la condición de servicio y de esta forma realizar propuestas que contribuyan con su optimización.

El entrapiso Plycem se considera liviano y se encuentra formado por láminas de fibrocemento apoyadas sobre una estructura de perfiles laminados en frío. La constitución del sistema y los errores en su instalación generan una serie de fallas que afectan la calidad del producto. Algunos de los clientes que han utilizado este entrapiso reclaman un exceso de vibración en la estructura y además, en muchos casos, cuando se instala piso cerámico sobre las láminas se generan fisuras, por lo que la mejora de estos aspectos es el principal objetivo del proyecto.

Al corregir estos problemas que afectan la calidad de los sistemas de entrapiso Plycem, la empresa podrá ofrecer un producto capaz de competir con las diversas alternativas que existen en el mercado de la construcción.

Cabe recalcar que se evaluarán únicamente las fallas generadas por las condiciones de uso en el entrapiso y no las fallas de tipo estructural, ya que existen diseños previos que contemplan la integridad de la estructura ante movimientos generados por fuerzas sísmicas.

El desarrollo del proyecto trata temas propios del área estructural, principalmente en lo que se refiere al análisis de vibraciones. Sin embargo, es un proyecto que no deja de lado el aspecto constructivo pues muchas de las fallas que se presentan en los entrepisos se originan a partir de errores en la instalación del sistema.

Como antecedentes a este proyecto, en el 2009 se realizó un análisis de la vibración en 27 sistemas de entrapiso Plycem. Este estudio menciona que dichos entrepisos presentan una vibración excesiva y son menos eficientes en este aspecto en comparación con otras alternativas (Morales, 2009). Para analizar a fondo este tema, se tomaron 210 casos distintos en la constitución del sistema y se determinó la aceleración relativa a la gravedad y la frecuencia de cada uno. Con estos cálculos se elaboró un análisis completo del comportamiento de los entrepisos Plycem ante fuerzas que generan vibración.

Para el cálculo de vibraciones en entrepisos que utilizan estructura de soporte metálica, se utilizó el documento "Floor vibration due to Human Activity" (Murray, 1997) publicado por el American Institute for Steel Construction (AISC) y la tesis: "Vibration Serviceability and Dynamic Modeling of Cold-Formed Steel Floor Systems" (Parnell, 2008).

El problema de fisuras en el piso cerámico se presenta generalmente por la incorrecta instalación del sistema. Sin embargo, el hecho de que las láminas utilizadas sean cementicias, ocasiona problemas en las juntas debido a la contracción del material. Los movimientos que se generan en las juntas tienden a fisurar la superficie de piso ya que la cerámica no puede soportar tal efecto. Para prevenir este inconveniente se efectuaron pruebas de colocación utilizando un geotextil. Dichas pruebas tienen como finalidad brindar una solución efectiva, económica y de fácil instalación.

Objetivo General

Determinar la condición óptima de servicio de los sistemas de entrepiso Plycem a partir de su análisis y evaluación.

Objetivos Específicos

1. Analizar y describir el sistema actual de entrepiso Plycem
2. Identificar los principales problemas de falla por servicio que se producen en los entrepisos Plycem.
3. Investigar la manera en que se construyen entrepisos livianos en otros países.
4. Proponer cambios en los sistemas de entrepiso Plycem que permitan mejorar las condiciones de servicio del actual sistema.
5. Desarrollar tablas de diseño para los sistemas de entrepiso Plycem.
6. Determinar el costo del sistema de entrepiso propuesto.

Marco Teórico

Entrepisos Plycem

Dado que el tema de este proyecto trata exclusivamente de los entrepisos construidos mediante el sistema Plycem, es importante conocer acerca de los elementos que lo constituyen y su proceso de instalación. Para este fin se realizó una revisión del capítulo 7 de la Guía de aplicaciones Plycem, a partir de lo cual se muestra la siguiente información.

Los entrepisos Plycem son un sistema constructivo mediante el cual se crea un plano horizontal que permite definir un límite vertical entre dos espacios de una edificación. Este plano horizontal debe tener la capacidad para soportar las cargas que actúan sobre él y además, debe transmitir esas cargas a las estructuras primarias (muros, vigas y columnas).

Para garantizar el adecuado funcionamiento estructural del sistema, es necesario que el diseño y la construcción se realicen de acuerdo con las recomendaciones brindadas por Plycem, además debe existir un profesional encargado de realizar los cálculos para el diseño estructural y la supervisión de los trabajos de construcción.

Los sistemas de entrepiso Plycem pueden construirse sobre una estructura de acero galvanizado o madera. Sin embargo, solamente se analizará el entrepiso con la estructura de acero galvanizado debido a que es el sistema más utilizado.

Componentes del Sistema

Los sistemas de entrepiso Plycem se componen de dos segmentos principales: la estructura de soporte y las láminas. Además existen los elementos de fijación y productos complementarios.

Estructura de soporte

Su función es recibir las cargas que actúan sobre el entrepiso (permanentes, temporales, viento, sismo) y transmitir las a la estructura primaria.

Para la estructura de soporte se puede utilizar acero o madera estructural, los cuales deben tener características de resistencia que le brinden al sistema la capacidad estructural necesaria para garantizar un adecuado funcionamiento.

El tipo de estructura de soporte más recomendado por Plycem es el sistema con perfiles laminados en frío. Esta estructura se constituye de dos tipos de perfil: perfil de anclaje PA y perfil de encuentro PE



Figura 1. Perfiles PA y PE

Los perfiles PE se utilizan como elementos de la estructura de soporte principal, es decir las viguetas y vigas de apoyo del entrepiso. Los PA son usados como estructura auxiliar y por lo tanto su función no es soportar la carga sobre el entrepiso.

Los perfiles laminados en frío que constituyen los sistemas de entrepiso Plycem, utilizan un código para identificar el perfil, el cual se explica con el siguiente ejemplo:

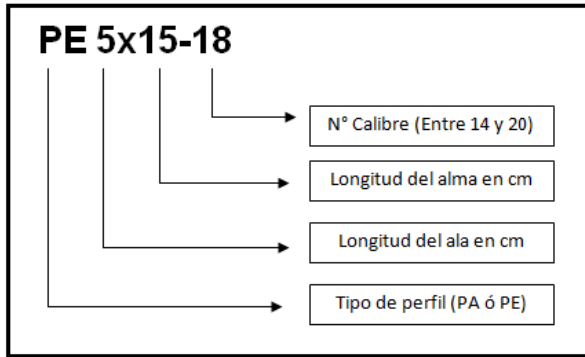


Figura 2. Nomenclatura utilizada en los perfiles

Láminas

Constituyen la superficie del entrepiso y el material que las constituye es el fibrocemento. Para entrepisos, se utilizan las láminas llamadas Plystone de 20, 22, 25 y 30 milímetros de espesor cuyos tamaños nominales son: 1,22 x 2,44 m (4' x 8') ó 1,22 x 3,05 m (4' x 10').

Cuadro 1. Información técnica de la lámina		
Descripción	Valor mínimo	Valor máximo
Resistencia a la flexión (seca) (N/mm ²)	7	
Módulo Elástico (seco)(kN/mm ²)	2,5	4
Densidad (kg/dm ³)	1	1,2
Humedad (%)		10
Movimiento de Humedad (mm/m)		1,3
Contracción total (mm/m)		4
Absorción de agua (ml/24h) Cara expuesta		1,5
Desarrollo de humo	0	
Propagación de llama	0	

De acuerdo con la utilización de la lámina, existen 2 tipos de entrepiso:

- Entrepisos secos: las láminas se utilizan como base para la colocación del piso flexible. El espesor mínimo de lámina es

de 20 mm pero varía según las condiciones de carga.

- Encofrados: la lámina funciona como un encofrado sobre el cual se puede colar una losa de concreto de bajo espesor.

Elementos de fijación

Fijación entre los elementos de acero galvanizado

Para estructuras de acero galvanizado, con espesores entre 0,8 y 1,4 mm, se utilizan tornillos de acero galvanizado #8 x 1/2" ó 3/4", cabeza extra plana antideslizante, rosca tipo "S", punta broca autopercutor (LH 8-050, LH 8-075).

Para ensamblar vigas, cerchas y otros elementos estructurales de acero galvanizado de hasta 2 mm de espesor se utilizan tornillos de acero galvanizado #10 ó #12 x 1/2" ó 3/4" y 1" de longitud, cabeza hexagonal, rosca S4, punta broca autopercutor (MM 12-050, 075, 150).

Fijación de láminas Plystone

Para el ensamble entre las láminas Plystone y la estructura de acero galvanizado (espesor entre 0,8 y 2mm), se utilizan tornillos de acero galvanizado #10 x 1 1/2" #10 x 1 3/4" cabeza de trompeta con estrías autoavellanantes, rosca S12, punta broca autopercutor, aletas para perforaciones dilatadas (PH 10-120, PH 10-175, PH 10-150).

Productos complementarios

Para el sellado de juntas entre láminas, aislamiento, eliminación de vibraciones, adherencia de recubrimientos, etc., se emplean algunos elementos tales como: morteros, sellantes, adhesivos, espumas, cintas y cortafuegos. Su aplicación debe cumplir con las recomendaciones de los fabricantes.

Vibraciones en pisos con estructura de acero

El estudio sobre las vibraciones en pisos con estructura de acero se realizó según el documento "Floor vibration due to Human Activity" (Murray, 1997) publicado por el American Institute for Steel Construction (AISC).

Previo al análisis de este tema es importante definir algunos términos relacionados con vibraciones. A continuación se definen los conceptos más importantes:

Cargas dinámicas

Según el tipo de fuerza existen cuatro tipos de cargas dinámicas: armónicas asociadas a maquinaria de rotación, periódicas producto de actividades como baile o aeróbicos y por maquinaria de impacto, de tránsito causadas por el movimiento de personas al caminar o correr y de impulso que se generan por ejemplo con el salto de una persona.

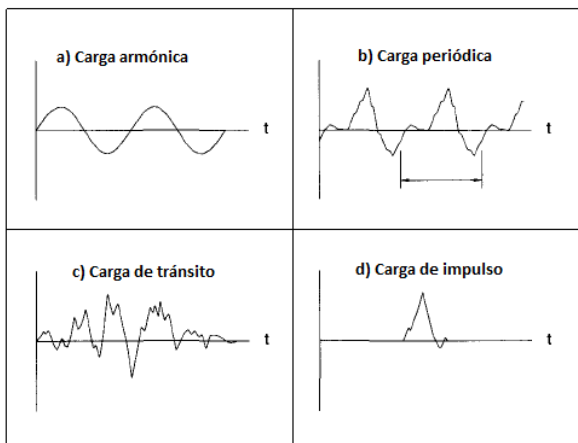


Figura 3. Tipos de cargas dinámicas (Tomado de: *Floor Vibrations due to human activity*)

Periodo y frecuencia

Al graficar el comportamiento una onda, se pueden identificar puntos equivalentes situados en un mismo punto de la onda. La distancia entre estos se mide en segundos y representa el periodo, el cual se asocia a cargas que generan movimientos repetitivos. El recíproco del periodo

es lo que se conoce como frecuencia y se mide en Hertz (Hz).

Frecuencia natural

Cuando a una estructura se le aplica una fuerza y se libera rápidamente, existe una vibración libre a la cual se le asocia una frecuencia conocida como frecuencia natural o fundamental del sistema.

Amortiguación

Se refiere a la pérdida de energía mecánica en un sistema, por lo que la vibración tiende a disminuir.

Resonancia

Es el efecto que se produce cuando la frecuencia de la fuerza que altera el sistema es igual a la frecuencia natural de la estructura. Esto provoca que la amplitud del movimiento sea muy grande, lo cual debe evitarse.

Cociente de aceleración

Es la aceleración del sistema expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad. De esta manera se define la aceleración límite que debe tener la estructura.

Principios de vibración en pisos

Al realizar el diseño de estructuras de piso, el cálculo de la vibración se vuelve complicado debido a que existen una variedad de fuerzas sobre la estructura que generan distintos modos de vibración. Por esta razón, es necesario aplicar una serie de criterios prácticos que se relacionan con la percepción humana y logran simplificar el problema.

Los problemas de vibración generalmente se deben a cargas de tránsito por lo que es complicado determinar la vibración de un sistema

si la ubicación de la fuerza presenta una variación en toda la superficie de análisis.

En los edificios con estructura de acero, a menudo se presentan problemas de vibración por el efecto de resonancia que se produce cuando la frecuencia natural de la losa coincide con la frecuencia de las actividades humanas.

Las cargas dinámicas producidas por actividades como aeróbicos son considerables y provocan una vibración resonante que no puede ser controlada con el aumento de la masa en el sistema. Por esta razón, la frecuencia natural debe ser mayor que la frecuencia producida por la fuerza que altera el sistema. Cuando la frecuencia natural del piso excede los 9 ó 10 Hz, la resonancia por vibraciones causadas por humanos se vuelve menos importante.

Criterios de aceptación para el confort humano

La respuesta humana al movimiento en pisos es un tema en el cual intervienen aspectos como la magnitud del movimiento y el ambiente alrededor. Esto aumenta la complejidad del problema. Así por ejemplo, la percepción de movimiento puede ser mayor en un lugar de trabajo que en el piso de un apartamento.

Por esta razón, el valor de los criterios de aceptación depende del sitio en el cual se analice el sistema, principalmente por el tipo de actividad que se efectúe. De esta forma, se tiene que para oficinas o residencias el límite de aceleración es un 0.5% de la gravedad y en un centro comercial se pueden admitir valores de hasta 1.5% de la gravedad. Los límites se establecen para frecuencias de vibración entre 4 y 8 Hz de modo que para frecuencias fuera de este rango, se aceptan mayores aceleraciones de vibración, tal y como se refleja en la figura 4.

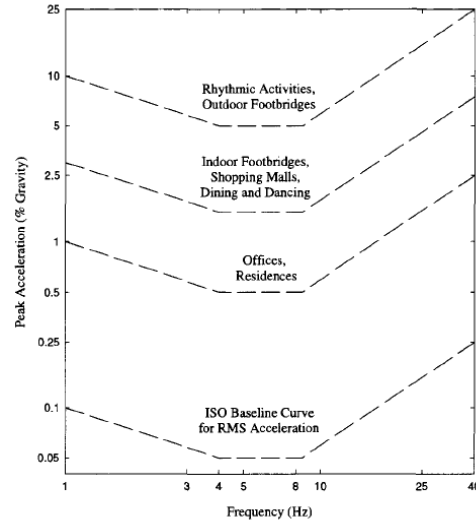


Figura 4. Aceleración máxima recomendada. (Tomado de: *Floor Vibrations due to human activity*)

La vibración que se genera por fuerzas producidas al caminar se basa en la respuesta dinámica de las vigas de apoyo. Por esta razón, el análisis de la estructura de apoyo es fundamental para el análisis de vibración en sistemas estructurales de oficinas, residencias, centros comerciales y otros. El criterio que fija los valores de aceptabilidad humana para movimientos de vibración en pisos se basa en la figura 4, la cual corresponde a los límites de aceleración recomendados por la norma ISO 2631-2,1989.

La fórmula mediante la cual se estima la aceleración máxima de un sistema es la siguiente:

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_0 \exp[-(1-0.35f_n)]}{\beta W} \leq \frac{a_0}{g}$$

Donde:

$\frac{a_p}{g}$ = estimación de la aceleración pico en unidades de la gravedad

$\frac{a_0}{g}$ = aceleración límite de la figura 4

f_n = frecuencia natural de la estructura de piso

P_0 = fuerza constante igual a 0,29 kN (65 libras) para los pisos y 0,41 kN (92 libras) de pasarelas.

El numerador $P_0 \exp(-0.35f_n)$ en la inecuación anterior representa una fuerza armónica provocada al caminar y que produce una respuesta resonante en la frecuencia natural del piso.

Debido a la variedad de fuerzas que existen en un sistema de piso, generalmente es difícil de efectuar el cálculo de la frecuencia natural. Cuando se considera una estructura constituida por una losa de concreto o cubierta apoyada en vigas de acero o viguetas apoyadas sobre muros o columnas, la frecuencia natural o fundamental se estima mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

- f_n : Frecuencia natural, Hz
- g : aceleración de la gravedad
- E_s : Módulo de elasticidad del acero
- I_t : Momento de inercia transformado
- w : Carga distribuida por unidad de longitud (carga muerta + carga viva)
- L : longitud del elemento

La ecuación anterior se puede simplificar, obteniendo la siguiente expresión:

$$f_n = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta}}$$

Donde:

Δ : deflexión en el centro del claro debido al peso.

La carga w que se utiliza en el cálculo de la frecuencia se obtiene de la suma de carga permanente más carga temporal, sin considerar las cargas de diseño ya que los cálculos se efectúan para condiciones de uso de la estructura y no para su condición última. La suposición para el cálculo de deflexión, es que existe una viga simplemente apoyada con carga uniforme.

Al efectuar el diseño por fuerzas producidas al caminar, se obtiene el valor de la aceleración máxima como porcentaje de la gravedad la cual no puede exceder el límite expresado en el cuadro 2 según sea la funcionalidad de la estructura. Además, este mismo cuadro indica el valor de la constante P_0 y el coeficiente de amortiguamiento. Generalmente, para una frecuencia natural superior a los 9.1 Hz, no se produce resonancia al caminar pero sí puede existir una cierta vibración que podría resultar molesta.

Cuadro 2. Valores recomendados para límites de aceleración ante vibraciones producidas al caminar			
	Constante de fuerza P_0	Coefficiente de amortiguamiento β	Aceleración límite a_0/g
Oficinas, residencias, iglesias	0.29 KN (65 lb)	0.02-0.05	0.5%
Centros comerciales	0.29 KN (65 lb)	0.02	1.5%
Pasillos internos	0.41 KN (92 lb)	0.01	1.5%
Pasillos externos	0.41 KN (92 lb)	0.01	5.0%

Los parámetros P_0 , β y a_0/g se estiman a partir de los datos de la tabla anterior.

Peso efectivo del panel:

El peso efectivo sobre las vigas se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$W = wBL$$

Donde:

- w : peso soportado por unidad de área
- L : Longitud de la vigueta
- B : ancho efectivo

La amortiguación asociada a los sistemas de piso depende en primer lugar de los componentes no estructurales, el mobiliario y los ocupantes. Existen valores recomendados para el amortiguamiento (β) entre 0.01 y 0.05. El valor de 0.01 es adecuado para pisos sin componentes no estructurales o mobiliarios y pocos ocupantes. El valor de 0.02 es adecuado para plantas con muy pocos componentes estructurales o mobiliario, por ejemplo, el piso de un centro comercial, áreas abiertas de trabajo o iglesias. El valor de 0.03 es

apto para pisos con componentes no estructurales y muebles, pero con particiones desmontables pequeñas, típicas de muchas oficinas modulares. El valor de 0.05 es adecuado para entresijos en oficinas y residencias.

Evaluación de los problemas de vibración y medidas correctivas

Antes de efectuar cualquier medida correctiva es importante conocer la fuente que produce la vibración; ya sea al caminar, por actividades rítmicas, trabajo de maquinarias o fuentes externas a la edificación. Para determinar el grado de vibración presente en la estructura, existen métodos que permiten conocer el rendimiento de una estructura respecto de las cargas dinámicas.

Métodos de evaluación

Los posibles métodos de evaluación son:

- Pruebas de rendimiento: La prueba de rendimiento es útil antes de realizar un cambio de uso en un piso existente.
- Cálculos: Para evaluar las propiedades dinámicas de una estructura se pueden utilizar los criterios de diseño para vibración provocada por fuerzas al caminar y por actividades rítmicas.
- Medición de vibraciones: se pueden efectuar mediciones de las propiedades dinámicas de una estructura para cuantificar las vibraciones asociadas a actividades humanas. Un ejemplo de prueba de medición es mediante la prueba de impacto de talón para el cual se utilizan dos acelerómetros, colocando uno en el lugar donde se espera una mayor vibración y el segundo en cualquier otro lugar. Con esto se puede obtener el factor de amortiguamiento y la frecuencia natural.

Medidas correctivas

Si al evaluar una estructura, se determina que es necesario disminuir los efectos de vibración presentes en el sistema, se pueden efectuar medidas como las siguientes:

Reducción de los efectos: en algunas situaciones se puede hacer uso de medidas que reduzcan las molestias asociadas a la vibración tales como la eliminación de señales de vibración molestas como el ruido producido por máquinas

Reubicación: las actividades que se realicen en un edificio se pueden ubicar de acuerdo con el grado de vibración que presenten de manera que las actividades con mayor vibración se ubiquen en los pisos más adecuados.

Aumento de la rigidez: Las vibraciones ocasionadas por actividades rítmicas se pueden ver reducidas si se logra un aumento de la rigidez en la estructura.

Los componentes estructurales de mayor flexibilidad dinámica (menor frecuencia fundamental) son generalmente los que deben ser rígidos. Para cargas dinámicas pequeñas tales como caminar, puede ser suficiente con evaluar solamente las vigas y viguetas del sistema estructural. Pero para cargas dinámicas graves, como ejercicios rítmicos, la evaluación debe tomar en cuenta todo el conjunto que compone el edificio, incluyendo las columnas y posiblemente las fundaciones.

Existen algunos métodos para aumentar la rigidez de los sistemas de piso. Por ejemplo, la colocación de columnas que soporten la estructura de piso hasta los cimientos, es un método muy eficaz; sin embargo, este planteamiento a menudo no es aceptado por el propietario. También es posible colocar un material visco-elástico como elemento amortiguador de manera que sea posible absorber parte de la energía de vibración.

Entrepisos livianos construidos en otros países

Los entrepisos livianos construidos mediante el sistema Steel Framing existen en todas partes del mundo. Estos entrepisos, en general se diseñan según las disposiciones del Método Prescriptivo, el cual es un documento de la North American Steel Framing Alliance (NASFA) y que contiene información acerca de todos los detalles constructivos relacionados con la construcción con estructuras de acero laminado en frío. El siguiente, es un resumen acerca del capítulo de entrepisos del método prescriptivo (las imágenes fueron tomadas de este mismo documento).

Capítulo 5 del Método Prescriptivo

Claros de viga permitidos

Existen tablas en las cuales se define el claro máximo de viga. Sugiere que el apoyo de las vigas de piso debe ser mínimo de 38 mm para pared exterior y 89 mm para el apoyo en pared interior.

Arriostramiento de vigas

A la parte superior de la vigueta se le puede brindar un soporte lateral mediante la aplicación de la lámina de piso sujeta a las vigas. Las vigas del piso con una longitud mayor de 3.7 m deben tener soportes en su parte inferior de la siguiente manera:

1. Una lámina de Gypsum instalada mínimo con tornillos No. 6
2. Elementos de acero instalados perpendicularmente a las vigas, con un ancho de al menos 38 mm y espesor mínimo de 0.84 mm. Se deben sujetar a las vigas utilizando mínimo tornillo No 8. También se pueden instalar arriostramientos en X entre las vigas con un espaciamiento máximo de 3.7 m

Voladizos

La longitud del voladizo no debe ser mayor de 24 pulgadas (61 cm). Las vigas doble voladizo se extenderán un mínimo de 6 pies (1.829 mm) hacia el interior y se sujetan con un mínimo de dos tornillos N ° 8 espaciados a 24 pulgadas (610 mm).

Empalme de vigas

Las vigas y otros elementos estructurales no se empalman a menos de que exista un diseño que lo apruebe.

Aberturas

Las aberturas que se presenten en pisos deberán estar enmarcadas con vigas de anclaje. Esta viga no debe ser mayor de 2.4 m de longitud y se fabrica con el mismo tamaño y grosor de las viguetas. La conexión se da mediante el uso de cuatro conectores angulares de 2" x 2" (5 cm x 5 cm) cuyo espesor no sea inferior al de las vigas de piso.

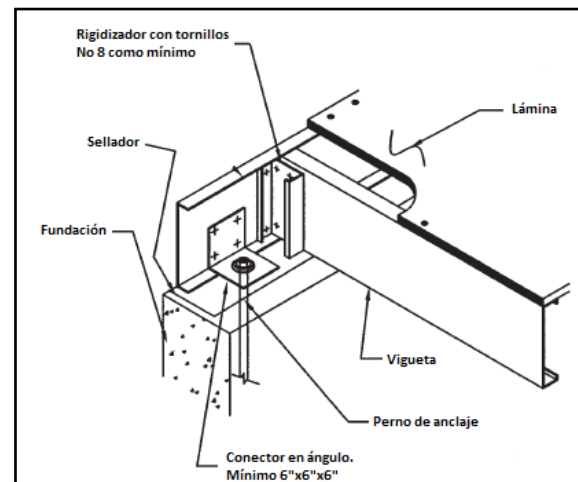


Figura 5. Conexión del entrepiso al cimiento (Tomado de: Prescriptive Method)

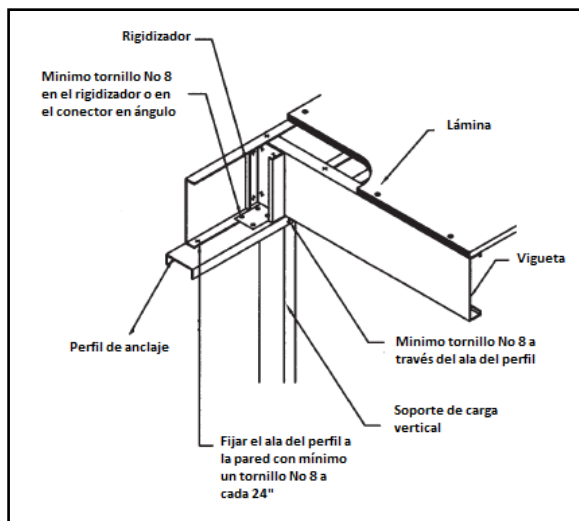


Figura 6. Conexión del entrepiso a la pared con estructura de acero (Tomado de: Prescriptive Method)

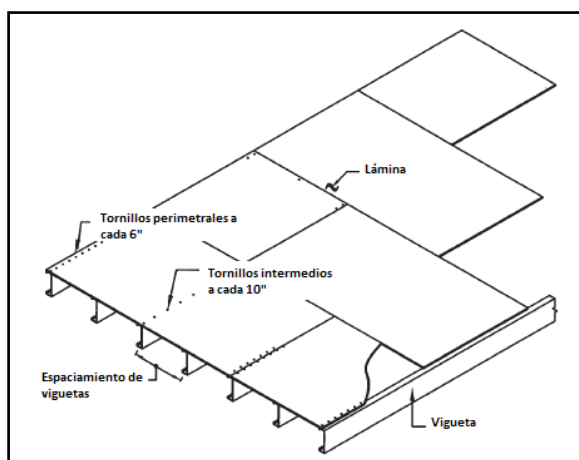


Figura 7. Detalle de instalación de la lámina (Tomado de: Prescriptive Method)

Como ejemplo de entrepisos construidos con sistema similar al utilizado por Plycem, se describe la información acerca de entrepisos construidos en Argentina, Estados Unidos y Australia.

Entrepisos livianos en Argentina

Patagonia Steel es una empresa especializada en la construcción de entrepisos mediante la utilización del sistema Steel Framing. En su

página de internet se muestra información completa acerca de la construcción de entrepisos, la cual se describe a continuación.

La estructura del entrepiso la constituyen perfiles tipo C laminados en frío generalmente con un alma de 20 cm y 1.6 mm de espesor. El entrepiso se utiliza de tres maneras:

1. Entrepiso seco

Utiliza una placa de multilaminado fenólico con un espesor de 25 mm atornillada a los perfiles (vigas). Como elemento amortiguador se utiliza un cordón de sellador poliuretánico sobre cada una de las vigas. Encima de las placas se coloca directamente alfombra o parquet (piso formado con madera). Para locales húmedos se utiliza un multilaminado de 12.5 mm junto con una placa cementicia de 12.5 mm sobre la cual se adhiere piso cerámico. Como aislamiento sonoro se puede utilizar una capa de lana de vidrio de 50 mm de espesor, colocada entre las vigas y el cielorraso. Además se puede colocar un bajo alfombra que disminuya el efecto de impacto.

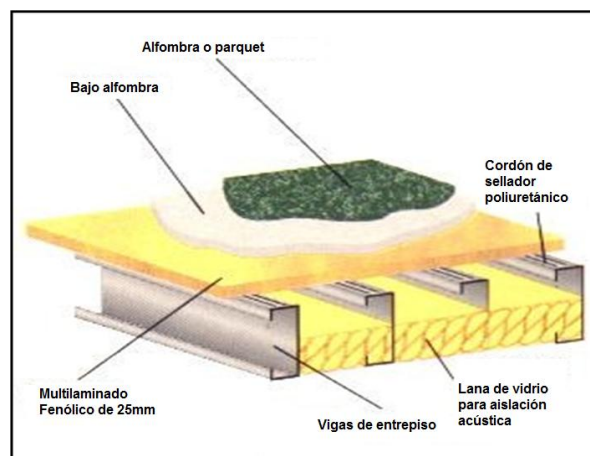


Figura 8. Detalle del entrepiso seco. (Tomado de: Patagonia Steel)

2. Entrepiso seco flotante

La instalación de este entrepiso es muy similar al caso 1. La diferencia es que en el entrepiso seco flotante sobre el multilaminado se coloca un panel rígido de lana de vidrio de unos 25 mm de espesor y luego se coloca la lámina cementicia o un multilaminado de 12.5 mm. La lana de vidrio

tiene como finalidad disminuir la vibración y servir como aislante acústico.

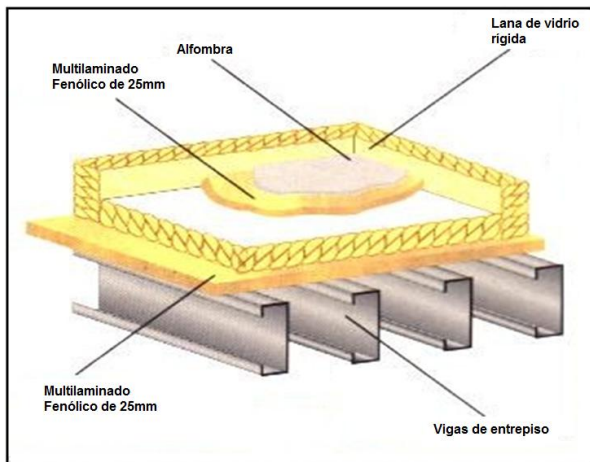


Figura 9. Detalle del entresado seco flotante (Tomado de: Patagonia Steel)

3. Entresado húmedo

Consiste en atornillar una chapa ondulada de 0.54 mm de espesor a las vigas, que funciona como un encofrado. Luego se coloca lana de vidrio rígida (25 mm de espesor), polietileno de 150 micrones y una malla electrosoldada para luego colar una losa de concreto de 4 a 5 cm de espesor.

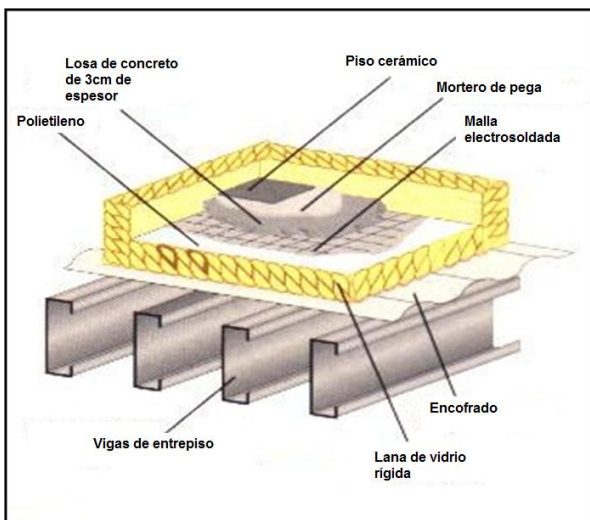


Figura 10. Detalle del entresado húmedo (Tomado de: Patagonia Steel)

Entresado liviano en Estados Unidos

De acuerdo con la información ofrecida por la American Steel Frame Services, Inc. en su página en internet, se describe un caso de construcción de entresado liviano en Estados Unidos localizada en Portsmouth Rhode Island, donde utilizaron perfiles laminados en frío de 20 cm de alma como elementos de soporte para la carga sobre el entresado. Estas viguetas fueron espaciadas a cada 61 cm, lo cual corresponde a la máxima separación permisible.



Figura 11. Construcción de entresado realizada en Estados Unidos (Tomado de: American Steel Frame Services)

Sobre cada uno de los perfiles utilizaron una cinta antivibración, la cual funciona como un elemento que permite amortiguar el contacto entre la lámina y los perfiles. Esta cinta también permite minimizar el problema de aislamiento acústico.

Como elemento de losa emplearon la lámina Advantech Flooring la cual tiene medida de 1.22x2.44 m y se fija a los perfiles mediante el uso de una pistola neumática.



Figura 12. Instalación de las láminas Advantech sobre perfiles con cinta antivibración. (Tomado de: American Steel Frame Services)

Entrepiso liviano en Australia

En Australia existe una empresa llamada Stramit la cual se dedica a la producción de elementos de acero. En su página de internet, ofrece un manual de diseño en el cual se brindan recomendaciones para la instalación de entrepisos. A continuación se muestra un resumen de dichas recomendaciones

Estos sistemas de entrepiso están constituidos por dos tipos de perfil: C-joist que funcionan como vigas de carga y C-bearer que son perfiles de anclaje.

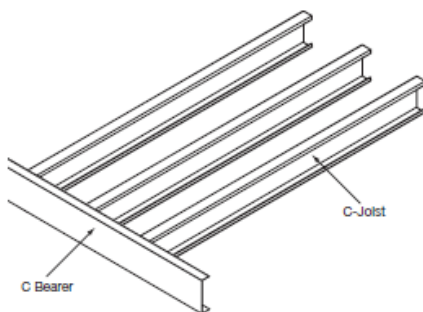


Figura 13. Vigas utilizadas por el sistema Stramit (Tomado de: Stramit Buildings Products)

En general, el piso está dividido en segmentos rectangulares cada uno con dos vigas principales y una serie de vigas intermedias. Cuando las principales están espalda con espalda, son atornilladas entre sí mediante dos tornillos de cabeza hexagonal SD 10Gx16 mm entre cada viga.

Se recomienda fijar un elemento de acero en la parte inferior de las vigas de modo que se logre evitar la rotación de estas debido a la carga aplicada. Estos elementos se pueden retirar luego cuando se instalan las láminas de cielorraso.

Técnicas de fijación.

Las vigas C se unen a la estructura de soporte según las indicaciones del diseñador estructural; por ejemplo, mediante el uso de métodos convencionales tales como tornillos. La estructura de soporte puede ser un marco a nivel de piso, un muro, postes de acero o concreto, etc.

Cuando el ala inferior no es accesible para realizar una conexión, mediante tornillos de fijación, se puede utilizar un conector en ángulo para fijar la viga a la estructura de soporte. En este caso, se utilizan 6 tornillos 10Gx16 mm (tamaño mínimo). Se deben utilizar tres tornillos a cada lado del conector dejando un mismo espaciamiento en los soportes.

Voladizos

La longitud del voladizo no debe ser mayor a un 10% del tramo adyacente.

Conexión con piso

Como superficie de piso se utiliza madera contrachapada de lámina estructural así como otros materiales con propiedades similares.

Metodología

Para la elaboración de este estudio se siguieron los siguientes pasos:

1. Descripción del sistema de entrepiso
2. Encuestas y revisión de algunos entrepisos
3. Análisis de vibraciones
4. Optimización del sistema respecto a vibraciones y agrietamiento de pisos cerámicos
5. Investigación de productos para optimización

Descripción del Sistema de entrepiso analizado

El sistema de entrepiso utilizado para el análisis de las condiciones de servicio consiste en una estructura de soporte con perfiles de acero laminados en frío con límite de fluencia mínimo de 2400 kg/cm² y un espesor mínimo de 0.9 mm (Calibre 20).

La estructura se encuentra constituida por viguetas de carga conformadas por perfiles PE y cuyo espaciamiento máximo es de 61 cm. También pueden colocarse a cada 41 cm ó a cada 30,5 cm. Perpendicular a estos perfiles de carga, se colocan perfiles PA como estructura auxiliar a cada 1,22 m con lo cual se conforma la estructura sobre la cual se fijan las láminas Plystone.

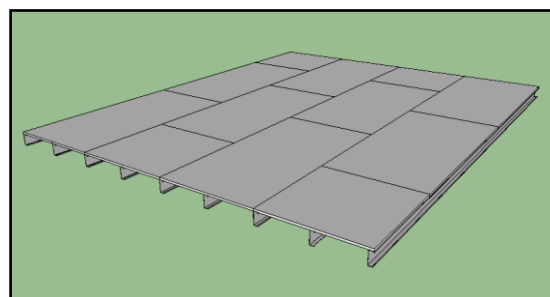
Cuadro 3. Perfiles utilizados como viguetas de carga en el análisis de vibración

A	PE 5x10-18
B	PE 5x10-16
C	PE 5X15-18
D	PE 5X15-16
E	PE 5x20-18
F	PE 5x20-16
G	PE 5x20-14

Las características geométricas de los perfiles utilizados se encuentran en el anexo 3.

Respecto de la superficie del entrepiso, se utilizó la lámina Plystone de 22 mm para el análisis y las pruebas realizadas. Las medidas de esta lámina son las siguientes:

Cuadro 4. Dimensiones nominales de la lámina Plystone		
Dimensión	Medida (mm)	Tolerancia (mm)
Espesor:	22.0	± 0.6
Ancho:	1219	± 2
Largo:	2438	± 2
Diagonal	2726	± 2



Google Sketch Up

Figura 14. Entrepiso con perfiles PE y lámina de 22mm

Evaluación del sistema

Encuestas

Como parte del proceso de evaluación de los sistemas de entrepiso Plycem, se aplicaron encuestas a clientes y profesionales de la construcción que han utilizado este tipo de

entrepiso, con la finalidad de conocer su opinión respecto del desempeño de la estructura ante cargas de servicio y su proceso constructivo.

Se realizó la encuesta a 10 personas para posteriormente elaborar un análisis que permitiera identificar los principales aspectos que necesita mejorar el sistema de entrepiso Plycem y de esta forma optimizar su condición de servicio.

Estas encuestas se realizaron mediante correo electrónico, por teléfono y de forma personal. Es importante destacar que el número de encuestas no es representativo del total de personas que utilizan este entrepiso. Esta es una de las limitaciones del proyecto, ya que se necesitaría realizar una mayor cantidad de encuestas para obtener datos con una mayor confiabilidad.

Revisión de algunos entrespisos construidos con el sistema Plycem

El proceso de evaluación se complementa también con el estudio de algunos entrespisos que han utilizado el sistema Plycem. Para este aspecto se obtuvo información de la empresa acerca de reclamos presentados en entrespisos y en otros casos se realizó una visita al sitio. La finalidad es observar las principales características estructurales y constructivas de cada uno de forma que sea posible identificar distintas alternativas de constituir este sistema de entrepiso.

Otro aspecto importante en la revisión de estos casos, es identificar algunos errores en su construcción, ya que en muchas ocasiones la mala instalación del sistema genera fallas que afectan la calidad del entrepiso y son motivo de reclamo por parte del cliente.

Análisis del sistema

A partir del proceso de evaluación del sistema, se procede a realizar un análisis estructural que permita cuantificar la condición del entrepiso respecto del tema de vibraciones.

Para tal fin, se elaboraron tablas de análisis que permiten valorar el sistema respecto

de los límites dados por la AISC, para luego realizar la propuesta de optimización mediante el uso de estas mismas tablas.

Para efectuar el análisis del sistema de entrepiso Plycem se implementaron hojas de cálculo con base en lo indicado en el documento: "Floor Vibration to due Human activity" de la AISC. Además, se utilizó el procedimiento establecido en la tesis de Russell Parnell titulada: "Vibration Serviceability and Dynamic Modeling of Cold-Formed Steel Floor Systems".

Datos de diseño para los materiales del entrepiso

Para las tablas de análisis se utilizaron los siguientes valores:

Módulo elasticidad (Acero)	2100000	kg/cm ²
Módulo Elasticidad Lámina	30600	kg/cm ²
Espesor de lámina	22	mm
Peso de lámina	23.1	kg/m ²
P0	0.29	KN
β	0.05	

La estructura del sistema de entrepiso se constituye de dos tipos de vigas:

- Viguetas de carga: Constituidas por perfiles laminados en frío en sección simple o sección caja, cuyas medidas son las indicadas en el cuadro 3.
- Vigas de apoyo: Vigas en sección caja formadas por perfiles laminados en frío. Los datos son los siguientes:

Perfil	PE 50x200-16	
Área	9.42	cm ²
h	20	cm
Ix	525.14	cm ⁴

Cargas de diseño

Para el análisis de vibraciones se utilizan las siguientes cargas:

Cuadro 7. Cargas de diseño	
Carga permanente	
100	kg/m ²
Carga temporal	
200	kg/m ²
250	kg/m ²
300	kg/m ²
350	kg/m ²
400	kg/m ²

La carga permanente equivale a 100kg/m² y se desglosa de la siguiente forma:

Peso de la lámina de 22 mm:	24kg/m ²
Peso perfiles:	10 kg/m ²
Cielo e Inst. electromecánicas:	30 kg/m ²
Acabados:	36 kg/m ²
	100 kg/m ²

La carga permanente no considera el peso de paredes livianas.

Dimensiones del entrepiso

Para la longitud máxima de cada vigueta se utilizaron los datos de diseño proporcionados por la empresa Plycem. El ancho del entrepiso se asume como 1.2 veces el largo de las viguetas de carga.

Método utilizado para el cálculo de vibraciones en el sistema de entrepiso

Parte A. Análisis de las viguetas de carga: Para el cálculo de vibraciones es necesario determinar la frecuencia fundamental de las viguetas de carga y la viga de apoyo. Para calcular la frecuencia fundamental de las viguetas de carga se debe determinar primero la deformación en el centro del claro:

$$\Delta = \frac{5wSL^4}{384EI_{eff}}$$

Donde:

Δ : Deformación de la vigueta (cm)

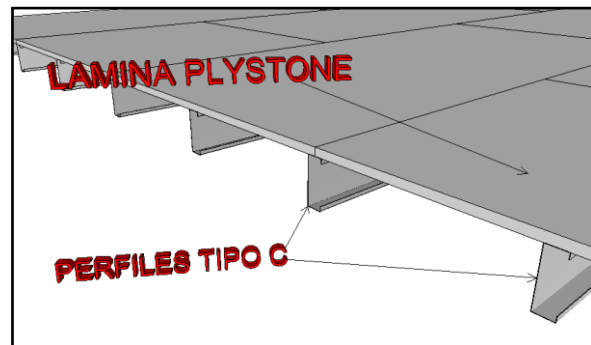
S : Espaciamiento entre viguetas (cm)

L : Longitud de la vigueta (cm)

EI_{eff} : Rigidez efectiva (kg•cm²)

w : Carga distribuida sobre el entrepiso (kg/m²)

$$I_{eff} = \frac{I_{comp}}{1 + \frac{0.15I_{comp}}{I_{chords}}}$$



Google Sketch Up

Figura 15. Sección a analizar del entrepiso

$$EA_{lam} = E_{lam} \times S \times t$$

Donde:

E_{lam} : Módulo de elasticidad de la lámina (kg/cm²)

S : Espaciamiento entre viguetas (cm)

t : Espesor de lámina (cm)

$$EI_{top} = E_{lam} \times S \times \frac{t^3}{12}$$

$$EI_{comp} = E_s I_{vig} + EI_{top} + E_s \cdot A_{vig} \cdot y^2 + EA_{lam} (h - y)^2$$

Donde:

EI_{comp} : Rigidez total de la sección a analizar (kg•cm²)

I_{vig} : Inercia de la vigueta (cm⁴)

E_s : Módulo de elasticidad del acero (kg/cm²)

A_{vig} : Área de la vigueta (cm²)

h : Distancia entre el centroide de la lámina y el centroide de la vigueta (cm)

y : Centroide de la sección a analizar (cm)

$$EI_{eff} = \frac{EI_{comp}}{1 + \frac{0.15EI_{comp}}{E_s I_{vig}}}$$

Donde:

EI_{eff} : Rigidez efectiva ($\text{kg}\cdot\text{cm}^2$)

EI_{comp} : Rigidez total de la sección

E_s : Módulo de elasticidad del acero (kg/cm^2)

I_{vig} : Inercia de la vigueta (cm^4)

Una vez obtenida la deformación es posible utilizar la siguiente fórmula para determinar la frecuencia fundamental o natural del sistema:

$$f_n = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta}}$$

Donde:

f_n : Frecuencia natural (Hz)

g : aceleración de la gravedad (cm/s^2)

Δ : deflexión en el centro del claro debido al peso (cm)

Es importante calcular la carga sobre las viguetas mediante la fórmula:

$$W = wBL$$

Donde:

W : Carga sobre las viguetas (kg)

B : Ancho para cálculo de carga (cm)

L : Longitud de vigueta (cm)

w : Carga distribuida sobre el entrepiso (kg/m^2)

$$B = C_j \left(\frac{D_s}{D_j} \right)^{0.25} L$$

Donde:

B : Ancho del entrepiso para el cálculo de la carga (m) $\leq B_{\max}$

C_j : 2.0

D_j : $\frac{I_t}{S}$

I_t : $\frac{EI_{eff}}{E_s t^3}$

D_s : $\frac{12}{12}$

Parte B: Análisis de la viga de apoyo: Luego se procede a realizar el análisis de las vigas de apoyo. Este análisis se efectúa de forma similar al de las viguetas de carga, por lo que se determina un valor para deflexión, frecuencia fundamental y carga sobre las vigas de apoyo.

Parte C: Determinación de la aceleración máxima del sistema

La aceleración máxima del sistema se calcula mediante la fórmula:

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_0 \exp(-0.35 f_n)}{\beta W}$$

Donde:

$\frac{a_p}{g}$ = aceleración máxima como porcentaje de g

f_n = frecuencia natural (Hz)

P_0 = fuerza constante igual a 0,29 kN (65 libras)

β : Amortiguamiento según la Cuadro 2.

W : Carga sobre las viguetas (kN)

De la parte A y B del análisis, se obtuvieron valores de frecuencia fundamental y carga total sobre cada elemento. Para calcular la aceleración máxima del sistema es necesario contemplar estos valores mediante el siguiente procedimiento:

$$\frac{1}{f_n^2} = \frac{1}{f_A^2} + \frac{1}{f_B^2}$$

Donde:

f_n : Frecuencia fundamental del sistema de entrepiso (Hz)

f_A : Frecuencia fundamental calculada para las viguetas de carga (Hz)

f_B : Frecuencia fundamental calculada para las vigas de apoyo (Hz)

$$W_T = \frac{\Delta_A}{\Delta_A + \Delta_B} W_A + \frac{\Delta_B}{\Delta_A + \Delta_B} W_B$$

Donde:

W_T : Carga total aplicada sobre el sistema de entrepiso (kN)

W_A : Carga aplicada sobre las viguetas de carga (kN)

W_B : Carga aplicada sobre las vigas de apoyo (kN)

Δ_A : Deflexión en viguetas (mm)

Δ_B : Deflexión en vigas de carga (mm)

Es importante recordar que el valor obtenido para la aceleración total del sistema debe ser menor que 0.5% de la gravedad debido a que se analizan entrepisos utilizados en oficinas y residencias

Tablas de diseño para cálculo de vibraciones

Para realizar el análisis de vibraciones en el sistema de entrepiso se utilizaron tablas que permiten conocer el dato de frecuencia y aceleración máxima correspondiente a cada sistema de entrepiso. Las tablas para cálculo de vibraciones muestran los siguientes datos:

- Sistema: Indica el perfil utilizado como viga de carga y el espaciamiento de estos elementos
- L: Longitud máxima de las vigas, los cuales son valores obtenidos de los datos de diseño suministrados por la empresa.
- B: Ancho del entrepiso el cual se asume como 1.2 veces L. para efectos del análisis.
- S: Espaciamiento de las vigas de carga
- h: Medida de la altura del perfil para vigas
- A perfil: Área de la sección transversal de cada viga de carga.
- Ix: Inercia de cada viga de carga
- Frecuencia natural: Valor que indica la frecuencia fundamental del sistema total de entrepiso
- Aceleración máxima: Indica la aceleración total del sistema del entrepiso como un porcentaje de la gravedad. Este valor debe ser inferior a 0.5%.

El análisis de vibraciones se realizó para carga permanente de 100 kg/m^2 y carga temporal entre 200 y 400 kg/m^2 .

Optimización del sistema

Optimización del entrepiso respecto a vibraciones

Posterior al cálculo de vibraciones en los sistemas de entrepiso Plycem, se plantean dos alternativas de optimización que permitan reducir la aceleración máxima hasta valores inferiores al límite permitido por la AISC (0.5% de g).

Como alternativas de optimización se analizaron dos posibilidades: mejorar la estructura de soporte mediante reforzamiento y la construcción de una sobrelosa de concreto.

Para la primera alternativa se realizó un cálculo de las secciones de viga que permitieran obtener un valor de aceleración menor a 0.5% de la gravedad. Con base en este cálculo se obtuvieron los cuadros del 20 al 29 en los cuales se muestra la longitud óptima de cada viga. Además en los cuadros 30 y 31 existe una propuesta del tipo de viga que se debe utilizar para distintos claros y valores de carga sobre el entrepiso de manera que el sistema propuesto cumpla con los criterios para el confort humano.

Respecto de la propuesta con sobrelosa de concreto, se realizó el análisis de vibración y el cálculo de la estructura de soporte para cuatro casos de entrepiso. En cada caso se proponen distintas alternativas para la estructura de soporte en las cuales se varía el tipo de perfil y su espaciamiento.

Agrietamiento de pisos cerámicos

Pruebas de optimización

Con la finalidad de mejorar el sistema de entrepiso Plycem, respecto del problema de agrietamiento de piso cerámico instalado sobre las láminas de fibrocemento Plystone, se realizaron una serie de pruebas que pretenden brindar una solución económica, sencilla y efectiva. Estas pruebas se realizaron en las instalaciones de la empresa Plycem, en entrepisos construidos especialmente para este

fin. Algunas de las pruebas se hicieron en la denominada “Casa de pruebas”, un entrepiso de 4.88x4.88 m con viguetas PE 5X15-16 @ 61 cm apoyadas directamente sobre una losa de concreto.

La alternativa propuesta para resolver el problema de agrietamiento de piso cerámico, consiste en colocar geotextil sobre las láminas Plystone de manera que este material funcione como un elemento de separación entre las láminas y el mortero de pega. De esta manera el geotextil evitaría que las láminas de fibrocemento absorban agua del mortero y además lograrían aislar el movimiento de las juntas, con lo cual no existiría daño en el acabado final.

Descripción e información técnica del geotextil

El geotextil es un material que forma parte de los denominados Geosintéticos. Es un material plano, permeable, sintético o natural y que puede ser tejido o no tejido. Se utilizan como sistemas de refuerzo, separación, filtración y drenaje en obras civiles tales como carreteras, terraplenes y muros de contención. De acuerdo con su forma de fabricación, los geotextiles se clasifican en dos tipos:

Geotextil Tejido: Formado por hilos entrecruzados y aplicados como sistemas de refuerzo y separación en suelos de mala calidad.

Geotextil No Tejido: Formados por filamentos superpuestos en forma laminar. Se utilizan como drenajes y para lograr una separación entre una capa de lastre y el suelo, ya que evitan la migración de finos.

Las funciones del geotextil son las siguientes:

- Separación: Evita la contaminación de agregados con suelo natural
- Refuerzo: Es posible formar un sistema de suelo reforzado mediante la unión de un geotextil con alta resistencia a la tensión y un suelo capaz de soportar fuerzas de compresión
- Filtración: Algunos geotextiles no tejidos poseen una alta permeabilidad, con lo cual se logra el paso de agua y la retención de las partículas de suelo.
- Drenaje planar: Algunos geotextiles no tejidos permiten el drenaje del agua en su plano.

- Protección: Los geotextiles no tejidos, debido a su espesor y resistencia al punzonamiento, logran proteger materiales laminares como geomembranas contra objetos punzantes.
- Barrera Impermeable: Cuando los geotextiles no tejidos se impregnan con materiales como cemento o emulsión asfáltica, se logra crear una membrana con propiedades permeables y viscoelastoplásticas que permiten evitar la generación de fisuras y filtración de agua en la estructura.

De acuerdo con la información suministrada por la empresa Amanco, se seleccionó el geotextil no tejido 1600 para las pruebas de colocación de piso cerámico. Esta selección es con base en la función que cumple cada tipo de geotextil de acuerdo con los datos mostrados en el anexo 2.

El Geotextil es muy utilizado como sistema de refuerzo en la construcción de carreteras. Sin embargo, debido a que posee una alta resistencia a la tensión, se decide hacer uso de este material en las pruebas de colocación de cerámica.

Colocación de cerámica sobre geotextil (Prueba 1)

La primera prueba se realizó en la Casa de pruebas y se colocó el geotextil en toda el área del entrepiso, el cual se fija sobre la lámina Plystone mediante el uso de grapas. Es importante que el geotextil quede bien extendido pues de lo contrario, la cerámica podría presentar desniveles en su colocación. En la mitad del área se realizó un remojo del geotextil con el propósito de que se evite la pérdida de humedad del mortero.

El ancho del geotextil no permite colocar un solo segmento sobre toda el área de piso; por esta razón, fue necesario realizar un traslape, el cual era de unos 25 cm. Sobre el geotextil se agregó el mortero para colocar posteriormente el piso cerámico. De manera que la colocación del piso se realizó de forma convencional.

Colocación de cerámica sobre geotextil (Prueba 2)

La segunda prueba se realizó en la Casa de pruebas, para lo cual fue necesario quitar el piso y las láminas de la prueba 1 y realizar la instalación de las láminas para la prueba 2. En esta segunda prueba, el geotextil se colocó únicamente en la mitad del entrepiso y en la otra mitad el mortero se agregó directamente sobre la lámina, a la cual se le aplicó Plasterbond. De esta forma, es posible efectuar una comparación entre las dos alternativas. En ambas pruebas se utilizó la misma estructura de soporte con perfiles tipo C colocados a cada 61 cm y láminas Plystone de 22 mm.

Colocación de cerámica sobre geotextil (Prueba 3)

El entrepiso de la prueba 3 se encuentra ubicado en la Casa de pruebas. Se utilizó lámina de 22 mm sobre los perfiles PE 5x15-16 @ 61 cm. En cada uno de los perfiles se colocó cinta antivibración como elemento amortiguador, lo cual beneficia aún más el sistema.

La lámina Plystone se coloca de acuerdo con las recomendaciones de Plycem y antes de colocar el geotextil es necesario limpiar la superficie. En esta prueba, el geotextil fue pegado a la lámina Plystone mediante el uso de pegamento para madera Resilikon 850, el cual se disuelve con agua en partes iguales.

El geotextil debe ser colocado de manera que la superficie quede lo más lisa posible para luego adicionar el pegamento y extenderlo uniformemente mediante el uso de rodillo. Es necesario dejar secar el geotextil por lo menos 48 horas antes de iniciar con la colocación de cerámica. En esta prueba se utilizó el mortero Sansón pega cerámica Plus el cual se agrega directamente sobre el geotextil. Posteriormente, se coloca piso cerámico y 24 horas después, se agrega la fragua.

Colocación de cerámica sobre geotextil (Prueba 4)

El entrepiso en el cual se realizó la cuarta prueba presenta condiciones distintas a las del entrepiso de la Casa de pruebas. Es una estructura que se encuentra a una altura de 70 cm y sus viguetas se constituyen de perfiles 5x10-20 @ 61 cm.

La estructura que presenta este entrepiso provoca una vibración excesiva, lo cual permite evaluar la solución con geotextil en un sistema con condiciones muy desfavorables.

En la prueba se utilizó geotextil no tejido 1600 adherido a las láminas Plystone de 22 mm mediante el uso de pegamento para madera. La colocación de la cerámica se realiza de forma convencional.

Es importante mencionar que, estructuralmente, este sistema no es adecuado para un entrepiso residencial y que la empresa Plycem no recomienda la utilización de perfiles calibre 20 como estructura de soporte en entrepisos. Sin embargo, para efectos de la prueba, se utilizaron estos elementos de forma que la solución fuera evaluada ante la vibración excesiva.

Colocación de cerámica sobre geotextil (Prueba 5)

La quinta prueba de colocación de cerámica sobre geotextil se realizó en un entrepiso de 4.88m x 4.88 m construido a una altura de 1.2 m. Los perfiles utilizados como viguetas son 5x15-16 colocados a cada 61 cm, por lo que la estructura presenta condiciones de vibración excesiva. La lámina utilizada es Plystone de 22 mm. La estructura no posee ningún tipo de protección a la intemperie, lo que permite evaluar la solución ante condiciones de lluvia.

La prueba se realizó de forma similar a la prueba 3 y 4. Se adhirió el geotextil a la lámina con pegamento para madera. La colocación del piso cerámico se realiza de forma convencional, utilizando mortero pega cerámica BBG Plus.

Investigación de productos para optimización de entrepisos

Existe una variedad de productos que permiten beneficiar la condición de servicio de los entrepisos en aspectos tales como la prevención de fisuras en el piso cerámico, la vibración y el aislamiento acústico.

Para conocer acerca de estos productos se realizó una investigación de las principales opciones para el mejoramiento de pisos en condiciones de uso. Parte de la investigación comprende la visita a algunas empresas especializadas, con la finalidad de recibir asesoría acerca del modo de aplicación y precio.

Esta investigación tiene como propósito brindar distintas alternativas comerciales de optimizar los sistemas de entrepiso Plycem, independientemente del precio o su disponibilidad.

Resultados



A partir del trabajo realizado, se obtuvieron resultados respecto a los siguientes aspectos:





1. Características y problemas presentados en entrepisos construidos con el sistema Plycem
2. Encuestas respecto a la condición de servicio del entrepiso Plycem.
3. Tablas de diseño para el cálculo de vibraciones
4. Propuestas de optimización para la reducción de vibraciones
5. Pruebas de instalación de piso cerámico
6. Alternativas comerciales de optimización

Con la finalidad de realizar una evaluación acerca de la manera cómo se construyen los entrepisos Plycem, se muestran los siguientes casos en los que se resume sus características principales.

Con estos resultados también se pretende conocer los principales errores que, en ocasiones, se presentan en la construcción de estos entrepisos. La evaluación de estos aspectos se muestra más adelante en la sección de análisis de resultados.

Cuadro 8. Descripción de entrepisos construidos con el sistema Plycem

Caso	Observaciones	Estructura usada	Problemas presentados
1. Entrepiso en Llano Grande de Cartago 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrepiso utilizado como terraza. • Debido a los problemas presentados se reconstruyó utilizando el sistema Metal Lath • Costo Metal Lath: ₡4800/m² 	<ul style="list-style-type: none"> • Tubo estructural de 4"x2" @ 61 cm • Lámina de 22 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Grietas en el piso cerámico • Oxidación en la estructura de soporte • Excesiva vibración
2. Entrepiso con instalación de cerámica usando Laticrete 	<ul style="list-style-type: none"> • En el nivel inferior existe la instalación de piso cerámico y como modo de prevenir la generación de grietas, se utilizó una solución con productos de la empresa Laticrete. • Costo Membrana Laticrete: ₡109465 • Rendimiento del producto 28 m² 	<ul style="list-style-type: none"> • Perfiles C 5x15 calibre 16 @ 41 cm • Lámina Plystone de 22 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • No existen problemas en este entrepiso

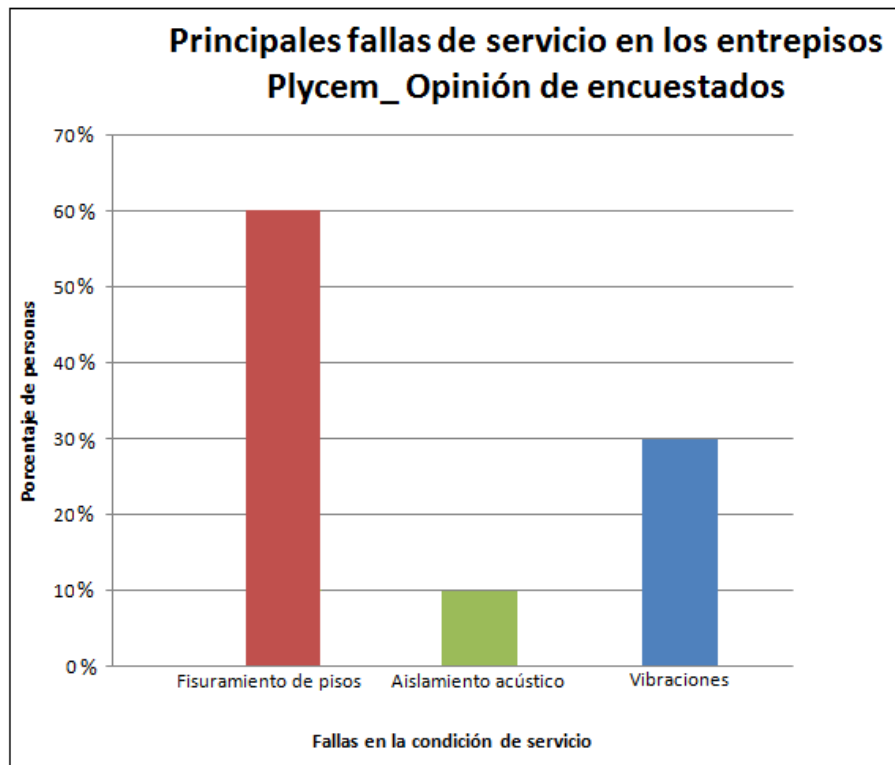
Caso	Observaciones	Estructura usada	Problemas presentados
<p>3. Entrepiso localizado en Grecia</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Estructura de unos 64 m² en la cual se instaló cerámica como acabado final 	<ul style="list-style-type: none"> Tubo rectangular de 4"x2" calibre 16 @ 61 cm Estructura auxiliar: tubo cuadrado de 1.5"x1.5" Lámina Plystone de 22 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Fisuras en la lámina Plystone Fisuras en el piso cerámico
<p>4. Entrepiso en centro educativo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Entrepiso de 75 m² instalado en un centro educativo Como acabado existe piso cerámico. No se colocó estructura auxiliar Las láminas no se colocaron de forma alternada 	<ul style="list-style-type: none"> Perfiles C calibre 16 sección doble @ 61 cm Sección de viga de 6"x4" Lámina de 17 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Fisuras en la lámina Plystone Levantamiento y fisuras en el piso cerámico.
<p>5. Entrepiso en San Rafael de Oreamuno</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Es un entrepiso de uso residencial Se encuentra muy bien estructurado Sobre las láminas Plystone se instaló piso cerámico 	<ul style="list-style-type: none"> Estructura en tubo cuadrado de 4"x4" @ 50 cm y construida de forma cuadriculada Espesor de cada tubo de acero: 1/8" Lámina Plystone de 22 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Fisura en la cerámica instalada en el baño. Este problema se presentó desde la instalación del piso.
<p>6. Entrepiso en Tibás</p> 	<ul style="list-style-type: none"> No se observan errores de instalación, por lo que las fallas pueden ser por producto. El edificio se encuentra destinado a apartamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> Perfiles laminados en frío, calibre 16 @ 61 cm. Lámina Plystone de 22 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> Existen fisuras en el piso cerámico.

Encuestas: Condición de servicio de los sistemas de entrepiso Plycem

El proceso de evaluación comprende la realización de encuestas a clientes y a profesionales de la construcción que han utilizado el entrepiso Plycem. El propósito de dichas encuestas es conocer acerca de los aspectos que más afectan la condición de servicio de estas estructuras y, de esta forma, identificar cuáles

son las fallas que requieren prevenirse para lograr el mejoramiento de estos sistemas.

Las fallas que se consideraron en las encuestas fueron: la vibración excesiva, el fisuramiento de piso y la necesidad de aislamiento acústico. Los resultados se muestran en la siguiente figura, y se basan en las encuestas que se presentan en el anexo 1.



Excel

Figura 16. Gráfico resumen de las encuestas

Tablas de diseño para cálculo de vibraciones

en los cuadros de vibración se resumen en los gráficos mostrados en las figuras 17 y 18.

Las tablas para el cálculo de vibraciones se realizaron con base en la teoría investigada y se utilizaron los valores de diseño suministrados por la empresa Plycem.

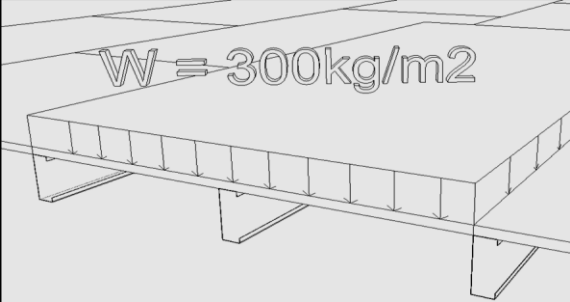
Las tablas muestran el resultado del análisis de vibración para distintas condiciones de carga y distinta sección de vigueta (simple o doble). Esta información se muestra en el título de cada cuadro.

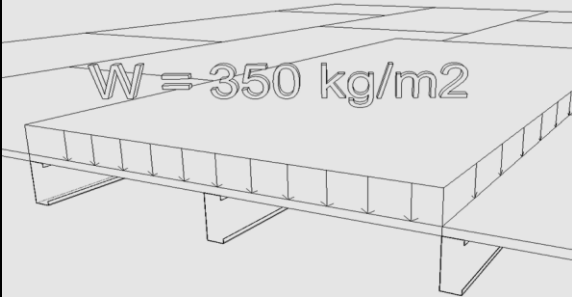
Los sistemas de entrepiso analizados se identifican mediante una letra y un número, de manera que la letra representa el tipo de perfil y el número indica la separación de viguetas. Estos valores se indican en el siguiente cuadro:

Cuadro 9. Identificación del sistema de entrepiso	
Tipo de perfil	
A	PE 5x10-18
B	PE 5x10-16
C	PE 5X15-18
D	PE 5X15-16
E	PE 5x20-18
F	PE 5x20-16
G	PE 5x20-14
Separación de viguetas	
1	30,5 cm
2	41 cm
3	61 cm

En cada uno de los cuadros, a partir del análisis realizado, se obtiene el valor de frecuencia y aceleración máxima del sistema. De esta forma es posible determinar en cada caso si los valores obtenidos se encuentran por debajo del límite permitido para el confort humano. En el caso de oficinas y residencias, la AISC establece como aceleración máxima permitida el 0,5% de la gravedad.

En total, se calculó la vibración en 210 casos de entrepiso Plycem, lo cual representa la totalidad de alternativas de constituir estos sistemas. Posteriormente, los cálculos obtenidos

Cuadro 10. Entrepiso con viguetas de sección simple y carga total de 300 kg/m²								
Sistema	L (m)	B (m)	S (cm)	h(cm)	Aperfil (cm²)	Ix (cm⁴)	Frecuencia (Hz)	Aceleración máxima (%)
A1	3,11	3,73	30,5	10	2,59	41,51	7,9	1,58
A2	2,72	3,26	40,6	10	2,59	41,51	9,2	1,31
A3	2,22	2,66	61	10	2,59	41,51	11,8	0,80
B1	3,33	4,00	30,5	10	3,21	51,15	7,5	1,59
B2	3,03	3,64	40,6	10	3,21	51,15	8,1	1,57
B3	2,65	3,18	61	10	3,21	51,15	9,0	1,50
C1	4,11	4,93	30,5	15	3,19	106,89	7,2	1,16
C2	3,56	4,27	40,6	15	3,19	106,89	8,6	0,97
C3	2,91	3,49	61	15	3,19	106,89	10,9	0,64
D1	4,58	5,50	30,5	15	3,96	132,1	6,4	1,27
D2	4,16	4,99	40,6	15	3,96	132,1	6,8	1,30
D3	3,48	4,18	61	15	3,96	132,1	8,3	1,12
E1	5,02	6,02	30,5	20	3,79	212,11	6,8	0,90
E2	4,35	5,22	40,6	20	3,79	212,11	8,0	0,78
E3	3,55	4,26	61	20	3,79	212,11	10,2	0,54
F1	5,75	6,90	30,5	20	4,71	262,57	5,7	1,02
F2	5,21	6,25	40,6	20	4,71	262,57	6,1	1,06
F3	4,25	5,10	61	20	4,71	262,57	7,8	0,89
G1	6,2	7,44	30,5	20	5,93	328,28	5,4	0,97
G2	5,63	6,76	40,6	20	5,93	328,28	5,8	1,03
G3	4,82	5,78	61	20	5,93	328,28	6,6	1,04
Valores máximos y mínimos de vibración								
Menor valor de frecuencia: 5,4 Hz								
Mayor valor de frecuencia: 11,8 Hz								
Rango de aceleración máxima: 0,54% - 1,59%								

Cuadro 11. Entrepiso con viguetas de sección simple y carga total de 350 kg/m²								
Sistema	L (m)	B (m)	S (cm)	h(cm)	Aperfil (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Frecuencia (Hz)	Aceleración máxima (%)
A1	2,89	3,47	30,5	10	2,59	41,51	8,5	1,29
A2	2,5	3,00	40,6	10	2,59	41,51	10,1	0,97
A3	2,04	2,45	61	10	2,59	41,51	13,0	0,54
B1	3,1	3,72	30,5	10	3,21	51,15	8,1	1,31
B2	2,82	3,38	40,6	10	3,21	51,15	8,7	1,28
B3	2,44	2,93	61	10	3,21	51,15	9,8	1,13
C1	3,78	4,54	30,5	15	3,19	106,89	7,9	0,93
C2	3,28	3,94	40,6	15	3,19	106,89	9,3	0,75
C3	2,67	3,20	61	15	3,19	106,89	12,0	0,45
D1	4,25	5,10	30,5	15	3,96	132,1	6,8	1,07
D2	3,86	4,63	40,6	15	3,96	132,1	7,4	1,08
D3	3,2	3,84	61	15	3,96	132,1	9,1	0,86
E1	4,62	5,54	30,5	20	3,79	212,11	7,4	0,73
E2	4	4,80	40,6	20	3,79	212,11	8,8	0,60
E3	3,26	3,91	61	20	3,79	212,11	11,2	0,39
F1	5,34	6,41	30,5	20	4,71	262,57	6,1	0,88
F2	4,79	5,75	40,6	20	4,71	262,57	6,7	0,88
F3	3,91	4,69	61	20	4,71	262,57	8,5	0,70
G1	5,75	6,90	30,5	20	5,93	328,28	5,8	0,84
G2	5,23	6,28	40,6	20	5,93	328,28	6,2	0,88
G3	4,43	5,32	61	20	5,93	328,28	7,3	0,84
Valores máximos y mínimos de vibración								
Menor valor de frecuencia: 5,8 Hz								
Mayor valor de frecuencia: 13 Hz								
Rango de aceleración máxima: 0,39% - 1,31%								

Cuadro 12. Entrepiso con viguetas de sección simple y carga total de 400 kg/m²								
Sistema	L (m)	B (m)	S (cm)	h(cm)	Aperfil (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Frecuencia (Hz)	Aceleración máxima (%)
A1	2,69	3,23	30,5	10	2,59	41,51	9,2	1,03
A2	2,33	2,80	40,6	10	2,59	41,51	10,9	0,75
A3	1,9	2,28	61	10	2,59	41,51	14,0	0,39
B1	2,91	3,49	30,5	10	3,21	51,15	8,6	1,09
B2	2,65	3,18	40,6	10	3,21	51,15	9,2	1,06
B3	2,27	2,72	61	10	3,21	51,15	10,6	0,87
C1	3,52	4,22	30,5	15	3,19	106,89	8,5	0,75
C2	3,05	3,66	40,6	15	3,19	106,89	10,1	0,58
C3	2,49	2,99	61	15	3,19	106,89	12,9	0,33
D1	4	4,80	30,5	15	3,96	132,1	7,2	0,92
D2	3,63	4,36	40,6	15	3,96	132,1	7,8	0,92
D3	2,98	3,58	61	15	3,96	132,1	9,8	0,68
E1	4,3	5,16	30,5	20	3,79	212,11	8,0	0,60
E2	3,72	4,46	40,6	20	3,79	212,11	9,5	0,48
E3	3,04	3,65	61	20	3,79	212,11	12,1	0,33
F1	5,03	6,04	30,5	20	4,71	262,57	6,4	0,77
F2	4,46	5,35	40,6	20	4,71	262,57	7,2	0,74
F3	3,64	4,37	61	20	4,71	262,57	9,2	0,56
G1	5,41	6,49	30,5	20	5,93	328,28	6,1	0,74
G2	4,92	5,90	40,6	20	5,93	328,28	6,6	0,77
G3	4,12	4,94	61	20	5,93	328,28	7,9	0,69

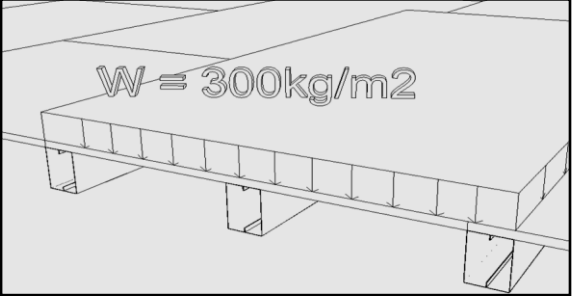
<p>Valores máximos y mínimos de vibración</p> <p>Menor valor de frecuencia: 6,1 Hz</p> <p>Mayor valor de frecuencia: 14 Hz</p> <p>Rango de aceleración máxima: 0,33% - 1,09%</p>	
---	--

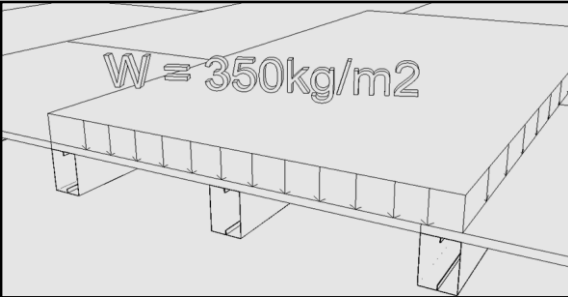
Cuadro 13. Entrepiso con viguetas de sección simple y carga total de 450 kg/m²								
Sistema	L (m)	B (m)	S (cm)	h(cm)	Aperfil (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Frecuencia (Hz)	Aceleración máxima (%)
A1	2,52	3,02	30,5	10	2,59	41,51	9,9	0,82
A2	2,19	2,63	40,6	10	2,59	41,51	11,6	0,58
A3	1,79	2,15	61	10	2,59	41,51	14,8	0,28
B1	2,77	3,32	30,5	10	3,21	51,15	8,9	0,95
B2	2,52	3,02	40,6	10	3,21	51,15	9,6	0,91
B3	2,13	2,56	61	10	3,21	51,15	11,4	0,67
C1	3,31	3,97	30,5	15	3,19	106,89	9,1	0,62
C2	2,87	3,44	40,6	15	3,19	106,89	10,8	0,46
C3	2,34	2,81	61	15	3,19	106,89	13,7	0,28
D1	3,8	4,56	30,5	15	3,96	132,1	7,5	0,81
D2	3,43	4,12	40,6	15	3,96	132,1	8,2	0,79
D3	2,8	3,36	61	15	3,96	132,1	10,5	0,54
E1	4,04	4,85	30,5	20	3,79	212,11	8,6	0,50
E2	3,5	4,20	40,6	20	3,79	212,11	10,1	0,38
E3	2,85	3,42	61	20	3,79	212,11	13,0	0,28
F1	4,77	5,72	30,5	20	4,71	262,57	6,7	0,68
F2	4,19	5,03	40,6	20	4,71	262,57	7,7	0,62
F3	3,42	4,10	61	20	4,71	262,57	9,8	0,45
G1	5,14	6,17	30,5	20	5,93	328,28	6,4	0,66
G2	4,68	5,62	40,6	20	5,93	328,28	6,8	0,69
G3	3,87	4,64	61	20	5,93	328,28	8,4	0,58

<p>Valores máximos y mínimos de vibración</p> <p>Menor valor de frecuencia: 6,4 Hz</p> <p>Mayor valor de frecuencia: 14,8 Hz</p> <p>Rango de aceleración máxima: 0,28% - 0,95%</p>	
---	--

Cuadro 14. Entrepiso con viguetas de sección simple y carga total de 500 kg/m²								
Sistema	L (m)	B (m)	S (cm)	h(cm)	Aperfil (cm²)	Ix (cm⁴)	Frecuencia (Hz)	Aceleración máxima (%)
A1	2,39	2,87	30,5	10	2,59	41,51	10,4	0,68
A2	2,07	2,48	40,6	10	2,59	41,51	12,4	0,45
A3	1,69	2,03	61	10	2,59	41,51	15,8	0,25
B1	2,65	3,18	30,5	10	3,21	51,15	9,2	0,83
B2	2,41	2,89	40,6	10	3,21	51,15	9,9	0,79
B3	2,04	2,45	61	10	3,21	51,15	11,8	0,58
C1	3,13	3,76	30,5	15	3,19	106,89	9,7	0,51
C2	2,71	3,25	40,6	15	3,19	106,89	11,5	0,37
C3	2,21	2,65	61	15	3,19	106,89	14,6	0,25
D1	3,63	4,36	30,5	15	3,96	132,1	7,8	0,72
D2	3,25	3,90	40,6	15	3,96	132,1	8,7	0,67
D3	2,65	3,18	61	15	3,96	132,1	11,1	0,44
E1	3,82	4,58	30,5	20	3,79	212,11	9,1	0,42
E2	3,31	3,97	40,6	20	3,79	212,11	10,8	0,31
E3	2,7	3,24	61	20	3,79	212,11	13,7	0,25
F1	4,57	5,48	30,5	20	4,71	262,57	7,0	0,62
F2	3,96	4,75	40,6	20	4,71	262,57	8,2	0,53
F3	3,23	3,88	61	20	4,71	262,57	10,4	0,37
G1	4,92	5,90	30,5	20	5,93	328,28	6,6	0,60
G2	4,47	5,36	40,6	20	5,93	328,28	7,1	0,62
G3	3,66	4,39	61	20	5,93	328,28	8,9	0,49

<p>Valores máximos y mínimos de vibración</p> <p>Menor valor de frecuencia: 6,6 Hz</p> <p>Mayor valor de frecuencia: 15,8 Hz</p> <p>Rango de aceleración máxima: 0,25% - 0,83%</p>	<p>Diagrama de un sistema de viguetas con una carga distribuida $W = 500 \text{ kg/m}^2$. El diagrama muestra una estructura de viguetas con una carga distribuida representada por flechas hacia abajo sobre la superficie superior.</p>
---	--

Cuadro 15. Entrepiso con viguetas de sección doble y carga total de 300 kg/m²								
Sistema	L (m)	B (m)	S (cm)	h(cm)	Aperfil (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Frecuencia (Hz)	Aceleración máxima (%)
A1	3,92	4,70	30,5	10	5,17	83,02	6,7	1,56
A2	3,56	4,27	40,6	10	5,17	83,02	7,2	1,59
A3	3,11	3,73	61	10	5,17	83,02	7,9	1,59
B1	4,2	5,04	30,5	10	6,42	102,31	6,4	1,51
B2	3,82	4,58	40,6	10	6,42	102,31	6,8	1,56
B3	3,33	4,00	61	10	6,42	102,31	7,5	1,59
C1	5,37	6,44	30,5	15	6,37	213,78	5,7	1,17
C2	4,88	5,86	40,6	15	6,37	213,78	6,1	1,23
C3	4,11	4,93	61	15	6,37	213,78	7,2	1,16
D1	5,76	6,91	30,5	15	7,92	264,2	5,4	1,11
D2	4,16	4,99	40,6	15	7,92	264,2	9,2	0,87
D3	4,58	5,50	61	15	7,92	264,2	6,4	1,27
E1	6,75	8,10	30,5	20	7,57	424,21	5,1	0,91
E2	6,14	7,37	40,6	20	7,57	424,21	5,4	0,98
E3	5,02	6,02	61	20	7,57	424,21	6,8	0,90
F1	7,25	8,70	30,5	20	9,42	525,14	4,9	0,88
F2	6,59	7,91	40,6	20	9,42	525,14	5,2	0,93
F3	5,75	6,90	61	20	9,42	525,14	5,7	1,02
G1	7,81	9,37	30,5	20	11,86	656,56	4,6	0,86
G2	7,1	8,52	40,6	20	11,86	656,56	4,9	0,88
G3	6,2	7,44	61	20	11,86	656,56	5,4	0,97
Valores máximos y mínimos de vibración								
Menor valor de frecuencia: 4,6 Hz								
Mayor valor de frecuencia: 9,2 Hz								
Rango de aceleración máxima: 0,86% - 1,59%								

Cuadro 16. Entrepiso con viguetas de sección doble y carga total de 350 kg/m²								
Sistema	L (m)	B (m)	S (cm)	h(cm)	Aperfil (cm²)	Ix (cm⁴)	Frecuencia (Hz)	Aceleración máxima (%)
A1	3,64	4,37	30,5	10	5,17	83,02	7,2	1,30
A2	3,31	3,97	40,6	10	5,17	83,02	7,7	1,32
A3	2,89	3,47	61	10	5,17	83,02	8,5	1,29
B1	3,9	4,68	30,5	10	6,42	102,31	6,8	1,27
B2	3,55	4,26	40,6	10	6,42	102,31	7,3	1,31
B3	3,1	3,72	61	10	6,42	102,31	8,1	1,31
C1	4,99	5,99	30,5	15	6,37	213,78	6,1	1,00
C2	4,53	5,44	40,6	15	6,37	213,78	6,5	1,04
C3	3,78	4,54	61	15	6,37	213,78	7,9	0,93
D1	5,35	6,42	30,5	15	7,92	264,2	5,8	0,96
D2	4,86	5,83	40,6	15	7,92	264,2	6,2	1,01
D3	4,25	5,10	61	15	7,92	264,2	6,8	1,07
E1	6,27	7,52	30,5	20	7,57	424,21	5,5	0,80
E2	5,66	6,79	40,6	20	7,57	424,21	5,9	0,84
E3	4,62	5,54	61	20	7,57	424,21	7,4	0,73
F1	6,73	8,08	30,5	20	9,42	525,14	5,2	0,77
F2	6,12	7,34	40,6	20	9,42	525,14	5,5	0,81
F3	5,34	6,41	61	20	9,42	525,14	6,1	0,88
G1	7,25	8,70	30,5	20	11,86	656,56	5,0	0,76
G2	6,59	7,91	40,6	20	11,86	656,56	5,3	0,77
G3	5,75	6,90	61	20	11,86	656,56	5,8	0,84
Valores máximos y mínimos de vibración					 <p>W = 350kg/m²</p>			
Menor valor de frecuencia: 5 Hz								
Mayor valor de frecuencia: 8,5 Hz								
Rango de aceleración máxima: 0,73% - 1,32%								

Cuadro 17. Entrepiso con viguetas de sección doble y carga total de 400 kg/m²

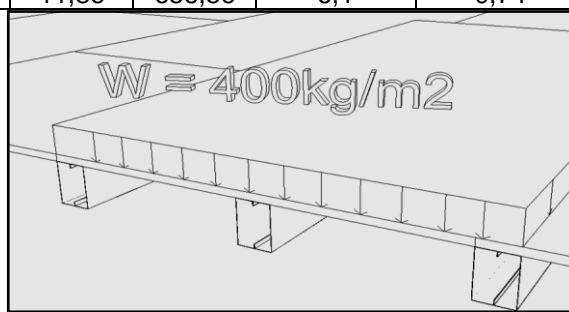
Sistema	L (m)	B (m)	S (cm)	h(cm)	Aperfil (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Frecuencia (Hz)	Aceleración máxima (%)
A1	3,42	4,10	30,5	10	5,17	83,02	7,6	1,11
A2	3,11	3,73	40,6	10	5,17	83,02	8,1	1,11
A3	2,69	3,23	61	10	5,17	83,02	9,2	1,03
B1	3,67	4,40	30,5	10	6,42	102,31	7,2	1,10
B2	3,34	4,01	40,6	10	6,42	102,31	7,7	1,12
B3	2,91	3,49	61	10	6,42	102,31	8,6	1,09
C1	4,69	5,63	30,5	15	6,37	213,78	6,5	0,88
C2	4,27	5,12	40,6	15	6,37	213,78	6,9	0,91
C3	3,52	4,22	61	15	6,37	213,78	8,5	0,75
D1	5,04	6,05	30,5	15	7,92	264,2	6,1	0,85
D2	4,58	5,50	40,6	15	7,92	264,2	6,6	0,89
D3	4	4,80	61	15	7,92	264,2	7,2	0,92
E1	5,9	7,08	30,5	20	7,57	424,21	5,8	0,71
E2	5,27	6,32	40,6	20	7,57	424,21	6,4	0,72
E3	4,3	5,16	61	20	7,57	424,21	8,0	0,60
F1	6,33	7,60	30,5	20	9,42	525,14	5,5	0,68
F2	5,76	6,91	40,6	20	9,42	525,14	5,9	0,72
F3	5,03	6,04	61	20	9,42	525,14	6,4	0,77
G1	6,82	8,18	30,5	20	11,86	656,56	5,3	0,68
G2	6,2	7,44	40,6	20	11,86	656,56	5,6	0,68
G3	5,41	6,49	61	20	11,86	656,56	6,1	0,74

Valores máximos y mínimos de vibración

Menor valor de frecuencia: 5,3 Hz

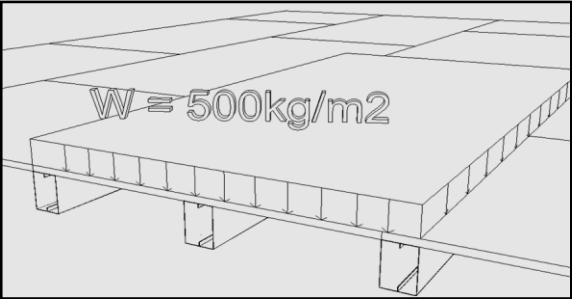
Mayor valor de frecuencia: 9,2 Hz

Rango de aceleración máxima: 0,6% - 1,12%

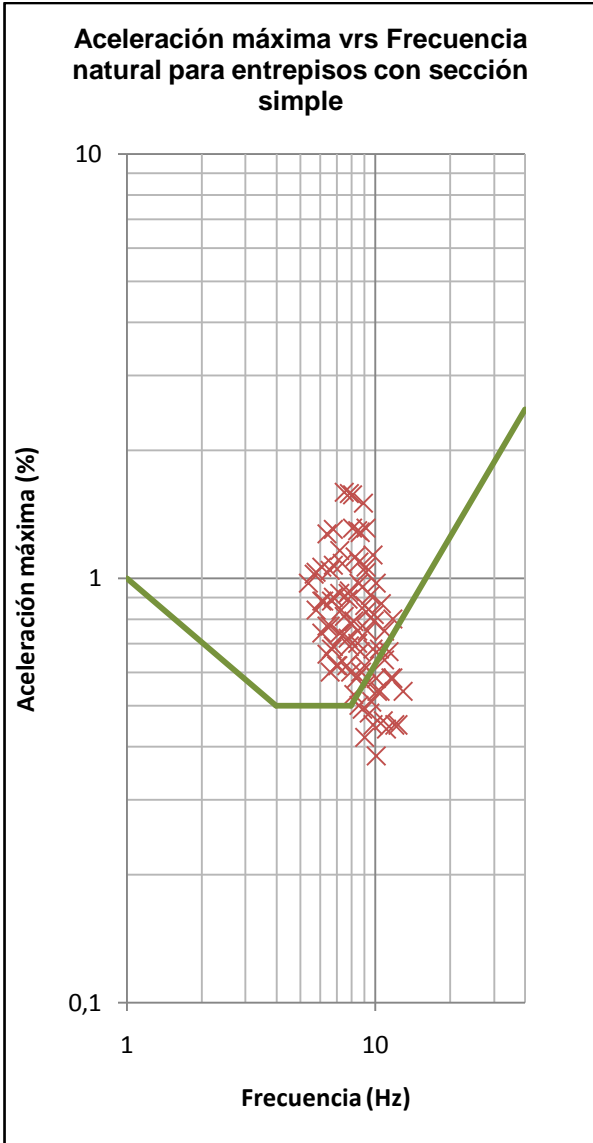


Cuadro 18. Entrepiso con viguetas de sección doble y carga total de 450 kg/m²								
Sistema	L (m)	B (m)	S (cm)	h(cm)	Aperfil (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Frecuencia (Hz)	Aceleración máxima (%)
A1	3,25	3,90	30,5	10	5,17	83,02	7,9	0,97
A2	2,96	3,55	40,6	10	5,17	83,02	8,5	0,97
A3	2,52	3,02	61	10	5,17	83,02	9,9	0,82
B1	3,49	4,19	30,5	10	6,42	102,31	7,5	0,97
B2	3,17	3,80	40,6	10	6,42	102,31	8,1	0,97
B3	2,77	3,32	61	10	6,42	102,31	8,9	0,95
C1	4,46	5,35	30,5	15	6,37	213,78	6,7	0,78
C2	4,05	4,86	40,6	15	6,37	213,78	7,2	0,80
C3	3,31	3,97	61	15	6,37	213,78	9,1	0,62
D1	4,78	5,74	30,5	15	7,92	264,2	6,4	0,75
D2	4,35	5,22	40,6	15	7,92	264,2	6,9	0,79
D3	3,8	4,56	61	15	7,92	264,2	7,5	0,81
E1	5,6	6,72	30,5	20	7,57	424,21	6,0	0,64
E2	4,95	5,94	40,6	20	7,57	424,21	6,8	0,62
E3	4,04	4,85	61	20	7,57	424,21	8,6	0,50
F1	6,01	7,21	30,5	20	9,42	525,14	5,8	0,62
F2	5,47	6,56	40,6	20	9,42	525,14	6,1	0,64
F3	4,77	5,72	61	20	9,42	525,14	6,7	0,68
G1	6,48	7,78	30,5	20	11,86	656,56	5,5	0,61
G2	5,89	7,07	40,6	20	11,86	656,56	5,8	0,62
G3	5,14	6,17	61	20	11,86	656,56	6,4	0,66

<p>Valores máximos y mínimos de vibración</p> <p>Menor valor de frecuencia: 5,5 Hz</p> <p>Mayor valor de frecuencia: 9,9 Hz</p> <p>Rango de aceleración máxima: 0,5% - 0,97%</p>	
---	--

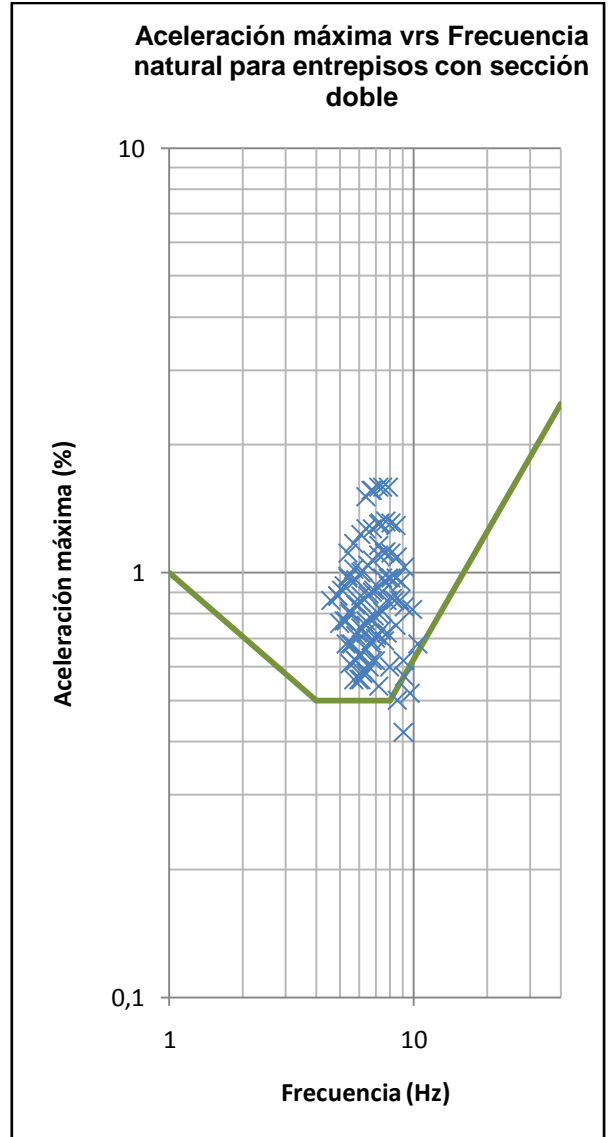
Cuadro 19. Entrepiso con viguetas de sección doble y carga total de 500 kg/m²								
Sistema	L (m)	B (m)	S (cm)	h(cm)	Aperfil (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Frecuencia (Hz)	Aceleración máxima (%)
A1	3,11	3,73	30,5	10	5,17	83,02	8,2	0,87
A2	2,83	3,40	40,6	10	5,17	83,02	8,8	0,86
A3	2,39	2,87	61	10	5,17	83,02	10,4	0,68
B1	3,33	4,00	30,5	10	6,42	102,31	7,8	0,86
B2	3,03	3,64	40,6	10	6,42	102,31	8,4	0,86
B3	2,65	3,18	61	10	6,42	102,31	9,2	0,83
C1	4,26	5,11	30,5	15	6,37	213,78	7,0	0,70
C2	3,83	4,60	40,6	15	6,37	213,78	7,6	0,69
C3	3,13	3,76	61	15	6,37	213,78	9,7	0,52
D1	4,58	5,50	30,5	15	7,92	264,2	6,7	0,69
D2	4,16	4,99	40,6	15	7,92	264,2	7,1	0,71
D3	3,63	4,36	61	15	7,92	264,2	7,8	0,72
E1	5,36	6,43	30,5	20	7,57	424,21	6,2	0,58
E2	4,68	5,62	40,6	20	7,57	424,21	7,2	0,54
E3	3,82	4,58	61	20	7,57	424,21	9,1	0,42
F1	5,75	6,90	30,5	20	9,42	525,14	6,0	0,56
F2	5,23	6,28	40,6	20	9,42	525,14	6,4	0,58
F3	4,57	5,48	61	20	9,42	525,14	7,0	0,62
G1	6,2	7,44	30,5	20	11,86	656,56	5,7	0,56
G2	5,63	6,76	40,6	20	11,86	656,56	6,1	0,56
G3	4,92	5,90	61	20	11,86	656,56	6,6	0,60
Valores máximos y mínimos de vibración								
Menor valor de frecuencia: 5,7 Hz								
Mayor valor de frecuencia: 10,4 Hz								
Rango de aceleración máxima: 0,42% - 0,87%								

De acuerdo con los datos obtenidos en las tablas para cálculo de vibraciones se realizaron los siguientes gráficos en los que se muestra la línea límite para el confort humano en oficinas y residencias.



Excel

Figura 17. Gráfico de Aceleración máxima vrs Frecuencia natural para sistemas de entrepiso con sección simple



Excel

Figura 18 Gráfico de Aceleración máxima vrs Frecuencia natural para sistemas de entrepiso con sección doble

Optimización mediante reforzamiento de la estructura de soporte

El sistema de entrepiso requiere mejorar su condición ante cargas que producen vibración de manera que la aceleración máxima logre disminuir. Para tal propósito, se realizó el cálculo de la longitud óptima para la cual el entrepiso presenta un adecuado funcionamiento en condiciones de vibración.

Para determinar la longitud de vigueta recomendada para el confort humano, se utilizó un valor de 0,5% de aceleración máxima permitida. Para valores de frecuencia natural mayores a 8 Hz, se permite que la aceleración del sistema alcance un mayor porcentaje. Sin embargo, la optimización se realizó fijando el 0,5% como valor límite.

Estos cuadros se realizaron para valores distintos de carga total, en la cual la carga permanente tiene un valor fijo de 100 kg/m². La separación de viguetas puede ser de 61, 41 ó 30,5 cm.

Cuadro 20. Longitud óptima en metros para vigueta con sección simple y carga total = 300 kg/m²			
Tipo de perfil a utilizar	Separación de viguetas (cm)		
	30.5	41	61
PE 5x10-18	2.47	2.30	2.07
PE 5x10-16	2.62	2.42	2.18
PE 5X15-18	3.35	3.10	2.79
PE 5X15-16	3.58	3.30	2.95
PE 5x20-18	4.25	3.90	3.50
PE 5x20-16	4.52	4.18	3.70
PE 5x20-14	4.90	4.45	3.95

Cuadro 21. Longitud óptima en metros para vigueta con sección simple y carga total = 350 kg/m²			
Tipo de perfil a utilizar	Separación de viguetas (cm)		
	30.5	41	61
PE 5x10-18	2.40	2.22	2.00
PE 5x10-16	2.55	2.36	2.12
PE 5X15-18	3.26	3.03	2.67
PE 5X15-16	3.48	3.20	2.88
PE 5x20-18	4.18	3.84	3.26
PE 5x20-16	4.47	4.08	3.61
PE 5x20-14	4.80	4.38	3.87

Cuadro 22. Longitud óptima en metros para vigueta con sección simple y carga total = 400 kg/m²			
Tipo de perfil a utilizar	Separación de viguetas (cm)		
	30.5	41	61
PE 5x10-18	2.35	2.18	1.90
PE 5x10-16	2.49	2.31	2.07
PE 5X15-18	3.22	2.97	2.49
PE 5X15-16	3.42	3.15	2.81
PE 5x20-18	4.10	3.72	3.04
PE 5x20-16	4.38	4.00	3.55
PE 5x20-14	4.70	4.31	3.80

Cuadro 23. Longitud óptima en metros para vigueta con sección simple y carga total = 450 kg/m²			
Tipo de perfil a utilizar	Separación de viguetas (cm)		
	30.5	41	61
PE 5x10-18	2.31	2.14	1.79
PE 5x10-16	2.44	2.25	2.03
PE 5X15-18	3.16	2.87	2.34
PE 5X15-16	3.36	3.10	2.76
PE 5x20-18	4.04	3.50	2.85
PE 5x20-16	4.32	3.96	3.42
PE 5x20-14	4.68	4.25	3.74

Cuadro 24. Longitud óptima en metros para vigueta con sección simple y carga total = 500 kg/m²			
Tipo de perfil a utilizar	Separación de viguetas (cm)		
	30.5	41	61
PE 5x10-18	2,26	2,07	1,69
PE 5x10-16	2,40	2,22	1,99
PE 5X15-18	3,10	2,71	2,21
PE 5X15-16	3,30	3,05	2,65
PE 5x20-18	3,82	3,31	2,70
PE 5x20-16	4,28	3,90	3,23
PE 5x20-14	4,63	4,20	3,66

Cuadro 25. Longitud óptima en metros para vigueta con sección doble y carga total = 300 kg/m²			
Tipo de perfil a utilizar	Separación de viguetas (cm)		
	30,5	41	61
PE 5x10-18	2,98	2,76	2,47
PE 5x10-16	3,18	2,93	2,60
PE 5X15-18	4,13	3,78	3,36
PE 5X15-16	4,42	4,02	3,58
PE 5x20-18	5,30	4,82	4,26
PE 5x20-16	5,68	5,20	4,54
PE 5x20-14	6,10	5,60	4,90

Cuadro 26. Longitud óptima en metros para vigueta con sección doble y carga total = 350 kg/m²			
Tipo de perfil a utilizar	Separación de viguetas (cm)		
	30,5	41	61
PE 5x10-18	2,90	2,68	2,40
PE 5x10-16	3,10	2,85	2,55
PE 5X15-18	4,05	3,70	3,28
PE 5X15-16	4,33	3,95	3,48
PE 5x20-18	5,20	4,72	4,15
PE 5x20-16	5,60	5,10	4,46
PE 5x20-14	6,02	5,53	4,80

Cuadro 27. Longitud óptima en metros para vigueta con sección doble y carga total = 400 kg/m²			
Tipo de perfil a utilizar	Separación de viguetas (cm)		
	30,5	41	61
PE 5x10-18	2,85	2,62	2,35
PE 5x10-16	3,04	2,78	2,48
PE 5X15-18	3,95	3,63	3,20
PE 5X15-16	4,26	3,86	3,40
PE 5x20-18	5,16	4,68	4,10
PE 5x20-16	5,56	5,00	4,40
PE 5x20-14	5,95	5,43	4,72

Cuadro 28. Longitud óptima en metros para vigueta con sección doble y carga total = 450 kg/m²			
Tipo de perfil a utilizar	Separación de viguetas (cm)		
	30,5	41	61
PE 5x10-18	2,80	2,57	2,30
PE 5x10-16	2,98	2,74	2,44
PE 5X15-18	3,90	3,56	3,15
PE 5X15-16	4,20	3,80	3,35
PE 5x20-18	5,10	4,62	4,04
PE 5x20-16	5,52	4,95	4,34
PE 5x20-14	5,90	5,40	4,68

Cuadro 29. Longitud óptima en metros para vigueta con sección doble y carga total = 500 kg/m²			
Tipo de perfil a utilizar	Separación de viguetas (cm)		
	30,5	41	61
PE 5x10-18	2,75	2,53	2,26
PE 5x10-16	2,93	2,68	2,40
PE 5X15-18	3,85	3,50	3,10
PE 5X15-16	4,15	3,75	3,30
PE 5x20-18	5,05	4,55	3,82
PE 5x20-16	5,40	4,95	4,28
PE 5x20-14	5,88	5,34	4,62

Tablas de diseño con secciones de optimización obtenidas del cálculo de vibración

A partir del cálculo de longitud óptima de cada uno de los casos de entrepiso analizado se desarrollaron las siguientes tablas de diseño. Dichas tablas tienen como objetivo brindar una recomendación acerca de la estructura de soporte que se debe utilizar para distintas longitudes de viga y según sea la carga distribuida total sobre el entrepiso.

Las longitudes mostradas se encuentran en un rango de 2 a 6 m y varían cada 25 cm, de manera que el usuario pueda buscar una longitud

de viga aproximada a la máxima que presenta el entrepiso. Luego de esto, utiliza el valor más apropiado para la carga total distribuida y al cruzar ambos términos (longitud y carga total) se obtiene el perfil de acero para la estructura de soporte. Dicha tabla es elaborada considerando que la vibración que se genera en el sistema de entrepiso no sea mayor a la recomendada por la norma ISO 2631-2, 1989.

La sugerencia mostrada por las tablas se compone de una letra y un número cuya nomenclatura se basa en lo indicado en el cuadro 9. De esta manera se obtiene entonces un tipo de perfil para la estructura de acero y su respectivo espaciamiento, ya sea 61, 41 ó 30,5 cm.

Cuadro 30. Sistemas de entrepiso propuestos para distintas longitudes de viga en sección simple					
Longitud de viga (m)	Carga total distribuida (kg/m²)				
	300	350	400	450	500
2,00	A3	A3	A2	A2	A2
2,25	A2	B2	B2	B2	B2
2,50	C3	C3	C3	C2	C2
2,75	C3	D3	D3	D3	C2
3,00	C2	D2	C2	D2	D2
3,25	D2	E3	E2	E2	F3
3,50	E3	F3	F3	E2	F2
3,75	E2	E2	E2	F2	F2
4,00	F2	F2	F2	E1	G2
4,25	G2	G2	G2	G2	G2
4,50	F1	F1	G1	G1	G1
4,75	G1	G1	G1	--	--
5,00	--	--	--	--	--
5,25	--	--	--	--	--
5,50	--	--	--	--	--
5,75	--	--	--	--	--
6,00	--	--	--	--	--

Cuadro 31. Sistemas de entrepiso propuestos para distintas longitudes de vigueta en sección doble					
Longitud de vigueta (m)	Carga total distribuida (kg/m²)				
	300	350	400	450	500
2,50	A2	A2	A2	A2	A2
2,75	A2	B2	B2	B2	A1
3,00	B2	B1	C3	C3	C3
3,25	C3	C3	C3	D3	D3
3,50	D3	D3	C2	C2	C2
3,75	C2	D2	D2	D2	D2
4,00	D2	E3	E3	E3	F3
4,25	E3	F3	F3	F3	F3
4,50	F3	F3	E2	E2	E2
4,75	E2	E2	G3	F2	F2
5,00	G3	F2	F2	F2	F2
5,25	F2	F2	G2	G2	G2
5,50	G2	F2	F1	F1	G1
5,75	F1	G1	G1	G1	G1
6,00	G1	G1	G1	--	--

Colocación de sobrelosa de concreto

Como segunda alternativa para la disminución de vibraciones en el sistema de entrepiso Plycem, se plantea la posibilidad de construir una sobrelosa de concreto sobre las láminas Plystone. Esta propuesta se desarrolla con la intención de lograr aumentar la rigidez del sistema de entrepiso, disminuyendo así la deflexión.

Para analizar esta opción se realizó el diseño estructural de cuatro casos de entrepiso con medida de 4,88 x 4,88 m. Para la carga temporal se tomaron valores de 200 y 250 kg/m² de manera que el diseño se realizara para la ocupación de una vivienda u oficina respectivamente. Los cálculos estructurales elaborados asumen que las viguetas se encuentran simplemente apoyadas.

Posteriormente, se calculó el dato de la aceleración correspondiente a estos entrepisos, diseñados considerando viguetas en sección simple y doble. El diseño se elaboró tomando en cuenta la combinación de carga 6-2 del Código Sísmico de Costa Rica. De acuerdo con los valores de diseño obtenidos, se proponen los perfiles requeridos en sección doble o sección simple. El valor de resistencia de los perfiles fue proporcionado por la empresa y se muestra en el cuadro del anexo 3.

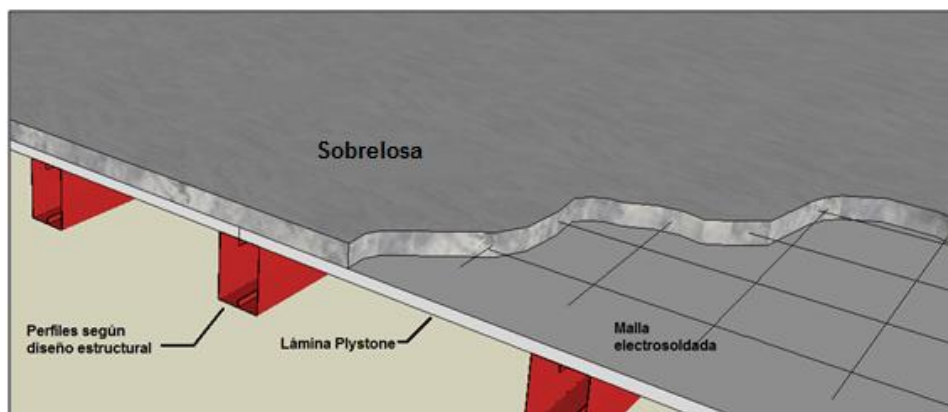
En este tipo de entrepiso, la lámina funciona como un encofrado por lo cual

generalmente se utilizan láminas de un menor espesor a la lámina de 22 mm. Por esta razón se realizaron dos casos con lámina de 22 mm y sobrelosa de 5 cm y otros dos casos considerando una lámina de 14 mm y sobrelosa de 7 cm. Lo anterior es con el fin de llevar a cabo una comparación de las alternativas en términos de la vibración y analizar qué tanto se reduce la aceleración máxima del sistema al aplicar una sobrelosa con mayor espesor.

En este tipo de entrepiso es importante considerar la colocación de una malla electrosoldada como refuerzo para contracción por temperatura del concreto. Además, se deben utilizar conectores de cortante en la conexión entre la sobrelosa y lámina Plystone con la estructura de soporte. El tipo de conector de cortante dependerá de los cálculos estructurales efectuados, pero por ejemplo podría considerarse la utilización de una varilla #3 @ 20 ó 25 cm.

En el siguiente cuadro se detallan las características distintivas de cada uno de los casos:

Caso	Espesor de sobrelosa (cm)	Espesor de lámina (mm)	Carga temporal (kg/m ²)
1	5	22	200
2	5	22	250
3	7	14	200
4	7	14	250



Google Sketch Up
Figura 19. Detalle de entrepiso con sobrelosa.

Propuesta con sobrelosa: Caso 1

Cuadro 33. Diseño de entrepiso con sobrelosa (caso1)		
Características del entrepiso		
Largo	4,88	m
Ancho	4,88	m
Espesor de sobrelosa	5	cm
Densidad del concreto	2400	kg/m ³
Espesor de la lámina	22	mm
Cargas sobre el entrepiso		
Peso de la lámina	24	kg/m ²
Peso de los perfiles	10	kg/m ²
Cielo e Instalaciones electromecánicas.	30	kg/m ²
Peso de sobrelosa	120	kg/m ²
Acabados	36	Kg/m ²
Carga permanente	220	Kg/m ²
Carga temporal	200	Kg/m ²
Carga total	420	Kg/m ²
Datos del análisis estructural (Combinación 1,2CP+1,6CT)		
Espaciamiento de viguetas = 61 cm		
Cortante máximo	878,4	kg
Momento máximo	107164	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Doble 5x20-16	
Espaciamiento de viguetas = 41 cm		
Cortante máximo	593	kg
Momento máximo	72305	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Simple 5x20-14	
	Sección Doble 5x15-16	
Espaciamiento de viguetas = 30,5 cm		
Cortante máximo	433,81	kg
Momento máximo	52925	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Simple 5x20-16	
	Sección Doble 5x15-18	

Propuesta con sobrelosa: Caso 2

Cuadro 34. Diseño de entrepiso con sobrelosa (caso2)		
Características del entrepiso		
Largo	4,88	m
Ancho	4,88	m
Espesor de sobrelosa	5	cm
Densidad del concreto	2400	kg/m ³
Espesor de la lámina	22	mm
Cargas sobre el entrepiso		
Peso de la lámina	23,1	kg/m ²
Peso de los perfiles	10	kg/m ²
Cielo e Instalaciones electromecánicas.	30	kg/m ²
Peso de sobrelosa	120	kg/m ²
Acabados	36	Kg/m ²
Carga permanente	219,1	Kg/m ²
Carga temporal	250	Kg/m ²
Carga total	469,1	Kg/m ²
Datos del análisis estructural (Combinación 1,2CP+1,6CT)		
Espaciamiento de viguetas = 61 cm		
Cortante máximo	986,69	kg
Momento máximo	120376	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Doble 5x20-16	
Espaciamiento de viguetas = 41 cm		
Cortante máximo	663,19	kg
Momento máximo	80909	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Doble 5x15-16	
Espaciamiento de viguetas = 30,5 cm		
Cortante máximo	493,35	kg
Momento máximo	60188	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Simple 5x20-16	
	Sección Doble 5x15-16	

Propuesta con sobrelosa: Caso 3

Cuadro 35. Diseño de entrepiso con sobrelosa (caso3)		
Características del entrepiso		
Largo	4,88	m
Ancho	4,88	m
Espesor de sobrelosa	7	cm
Densidad del concreto	2400	kg/m ³
Espesor de la lámina	14	mm
Cargas sobre el entrepiso		
Peso de la lámina	14,7	kg/m ²
Peso de los perfiles	8	kg/m ²
Cielo e Instalaciones electromecánicas.	30	kg/m ²
Peso de sobrelosa	168	kg/m ²
Acabados	36	Kg/m ²
Carga permanente	258,7	Kg/m ²
Carga temporal	200	Kg/m ²
Carga total	456,7	Kg/m ²
Datos del análisis estructural (Combinación 1,2CP+1,6CT)		
Espaciamiento de viguetas = 61 cm		
Cortante máximo	934,77	kg
Momento máximo	114043	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Doble 5x20-16	
Espaciamiento de viguetas = 41 cm		
Cortante máximo	628,29	kg
Momento máximo	76652	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Doble 5x15-16	
Espaciamiento de viguetas = 30,5 cm		
Cortante máximo	467,39	kg
Momento máximo	57021	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Simple 5x20-16	
	Sección Doble 5x15-16	

Propuesta con sobrelosa: Caso 4

Cuadro 36. Diseño de entrepiso con sobrelosa (caso4)		
Características del entrepiso		
Largo	4,88	m
Ancho	4,88	m
Espesor de sobrelosa	7	cm
Densidad del concreto	2400	kg/m ³
Espesor de la lámina	14	mm
Cargas sobre el entrepiso		
Peso de la lámina	14,7	kg/m ²
Peso de los perfiles	10	kg/m ²
Cielo e Instalaciones electromecánicas.	30	kg/m ²
Peso de sobrelosa	168	kg/m ²
Acabados	36	Kg/m ²
Carga permanente	258,7	Kg/m ²
Carga temporal	250	Kg/m ²
Carga total	508,7	Kg/m ²
Datos del análisis estructural (Combinación 1,2CP+1,6CT)		
Espaciamiento de viguetas = 61 cm		
Cortante máximo	1057,42	kg
Momento máximo	129005	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Doble 5x20-14	
Espaciamiento de viguetas = 41 cm		
Cortante máximo	710,72	kg
Momento máximo	86708	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Doble 5x20-16	
Espaciamiento de viguetas = 30,5 cm		
Cortante máximo	528,71	kg
Momento máximo	64503	kg-cm
Perfil propuesto	Sección Simple 5x20-14	
	Sección Doble 5x15-16	

Resultados comparativos para las alternativas de reducción de la vibración

Con la finalidad de efectuar una comparación entre las alternativas de optimización, se desarrolló el cuadro 37 con los cálculos de vibración para un entrepiso de 4,88 x 4,88m. Las alternativas consideradas son: primera alternativa: reforzamiento de la estructura de soporte y utilización de lámina de 22 mm; segunda alternativa: sobrelosa de 5 cm y lámina de 22 mm y tercera alternativa: utilización de una sobrelosa de 7 cm y lámina de 14 mm.

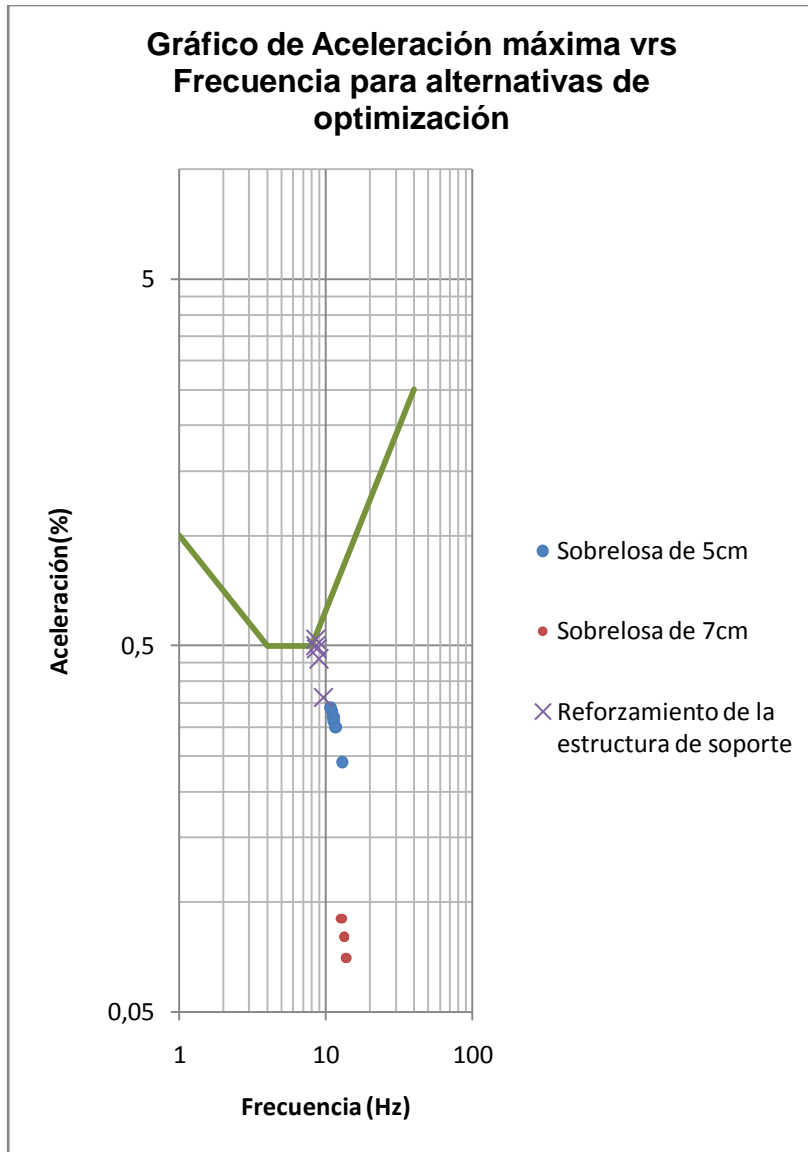
El diseño toma en cuenta una carga temporal de 200 y 250 kg/m² a fin de que represente la carga presente en un entrepiso

residencial o de oficina. Todos los cálculos se realizaron para la combinación 6-2 del Código Sísmico de Costa Rica. Los perfiles requeridos en cada caso se muestran en sección simple o doble y su espaciamiento (S) es de 61, 41 ó 30,5 cm.

Con los datos obtenidos de este análisis de vibración se realizó el gráfico de la Figura 19. Para este propósito se utilizaron los datos de frecuencia y aceleración máxima, los cuales se ubican en un gráfico que contiene la curva de valor límite de aceleración dada por la norma ISO 2631-2,1989. El gráfico tiene como finalidad observar el desempeño de las tres alternativas respecto del tema de vibraciones. De esta forma, es posible determinar cuál de las propuestas es más conveniente como medida de optimización, para lo cual es necesario elaborar un análisis comparativo

Cuadro 37. Datos comparativos para las distintas propuestas para disminución de vibraciones considerando un entrepiso de 4,88x4,88 m

Propuesta	Carga Viva (Kg/m ²)	Perfil requerido	S (cm)	Frecuencia (Hz)	Aceleración Máxima (%)
Reforzamiento de la estructura y utilización de lámina de 22 mm	200	5x20-14 (Simple)	30,5	8,6	0,50
	200	5x20-18 (Doble)	41	8,6	0,52
	200	5x20-14 (Doble)	61	8,7	0,49
	250	5x20-18 (Doble)	30,5	9,0	0,46
	250	5x20-14 (Doble)	41	9,7	0,36
Utilización de sobrelosa de 5 cm y lámina de 22 mm	200	5x20-16 (Doble)	61	11,3	0,32
	200	5x15-16 (Doble)	41	11,0	0,33
	200	5x20-16 (Simple)	30,5	12,9	0,24
	200	5x15-18 (Doble)	30,5	11,7	0,30
	250	5x20-16 (Doble)	61	11,4	0,32
	250	5x15-16 (Doble)	41	10,8	0,34
	250	5x20-16 (Simple)	30,5	11,4	0,31
	250	5x15-16 (Doble)	30,5	11,7	0,30
Utilización de sobrelosa de 7 cm y lámina de 14 mm	200	5x20-16 (Doble)	61	13,3	0,08
	200	5x15-16 (Doble)	41	12,7	0,09
	200	5x20-16 (Simple)	30,5	13,3	0,08
	200	5x15-16 (Doble)	30,5	13,6	0,07
	250	5x20-14 (Doble)	61	13,3	0,08
	250	5x20-16 (Doble)	41	13,9	0,07
	250	5x20-14 (Simple)	30,5	13,3	0,08
	250	5x15-16 (Doble)	30,5	12,9	0,09



Excel

Figura 20. Gráfico de Aceleración máxima vs Frecuencia (Hz) para las alternativas de mejoramiento de la vibración.

Pruebas realizadas con piso cerámico

Se realizaron un total de 5 pruebas que pretenden evaluar la solución al problema de agrietamiento de piso mediante la colocación de geotextil sobre la lámina Plystone.

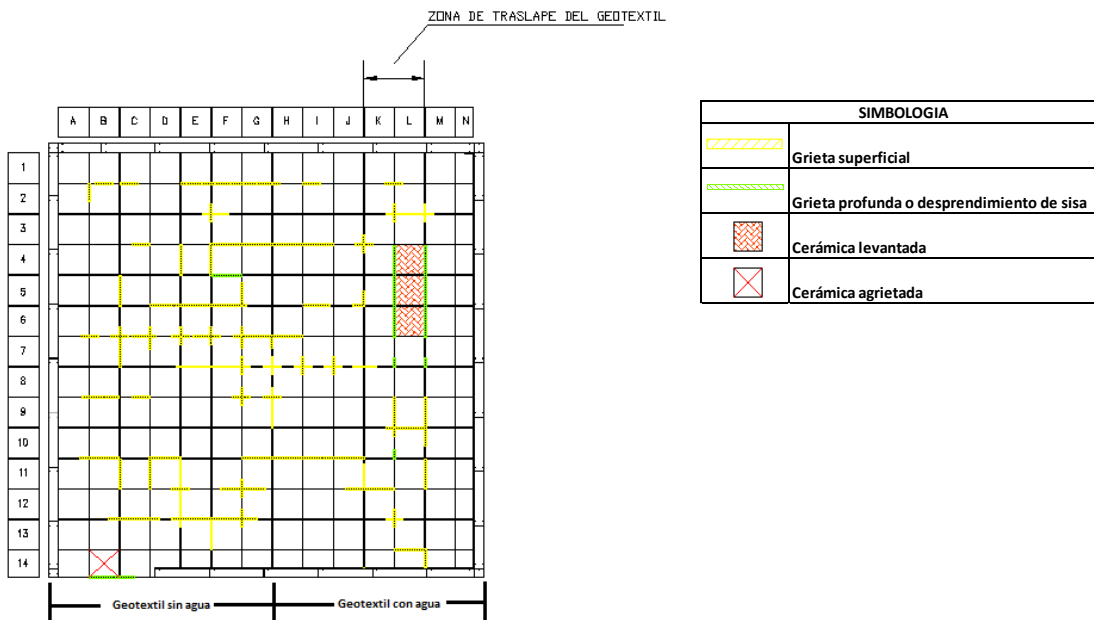
Las características varían entre cada una de las pruebas dependiendo del desarrollo en la ejecución y el propósito para el cual se realizaron.

Por esta razón, en el cuadro resumen de la prueba, se ofrece una descripción con el fin de identificar las condiciones que la caracterizan.

Cada una de las pruebas fue monitoreada para poder realizar un control de los resultados y de esta manera determinar la conveniencia de la alternativa con geotextil. Los resultados obtenidos cualitativamente mediante observación, se muestran en los siguientes cuadros:

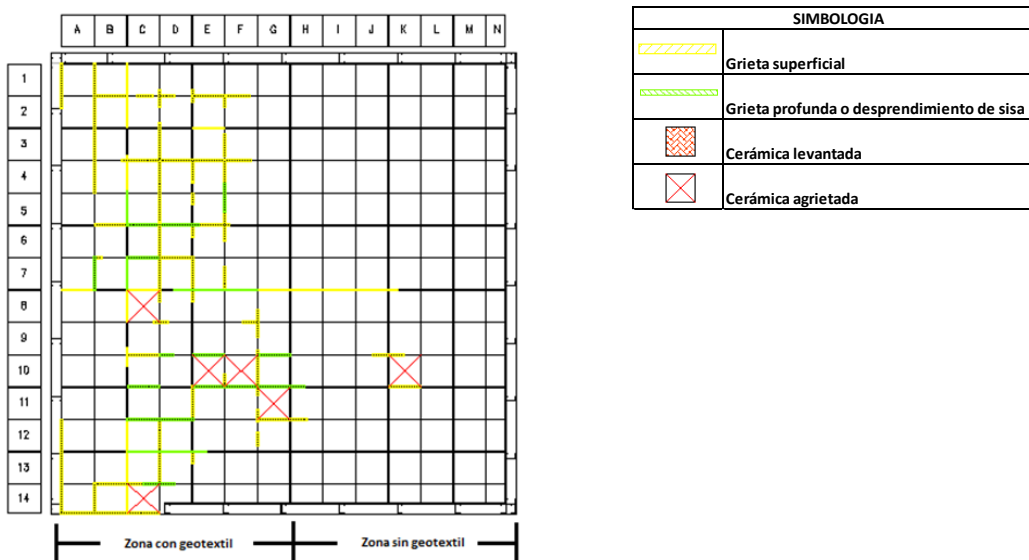
Cuadro 38. Resultados colocación de cerámica (prueba 1)			
Fecha inicio	12/11/2010	Fecha final	17/11/2010
Descripción de la prueba			
Prueba realizada en la Casa de pruebas, consiste en colocar un geotextil sobre las láminas Plystone en toda el área de piso mediante el uso de grapas. Sobre este material se agrega el mortero para luego colocar el piso cerámico.			
N° de piezas agrietadas		Fractura de sisa	
1		sí	
Observaciones			
Debido al tamaño del geotextil, fue necesario realizar un traslape de unos 25 cm. En esta zona se observa un desnivel en la superficie final del acabado. Además se presentó fractura y desprendimiento de la sisa. Al caminar sobre este piso se percibe un movimiento vertical de las piezas de cerámica. Las fallas se detectan 2 días después de terminada la prueba.			
Materiales utilizados			
Cerámica 33x33 cm	25	m ²	
Geotextil NT1600	25	m ²	
Lámina Plystone 22 mm	8	un	
Grapas	--	--	
Mortero Pega cerámica Bondex Plus	5	sacos	
Fragua	8	bolsas	

Figura 21. Grietas presentadas en la prueba 1 con geotextil



Cuadro 39. Resultados colocación de cerámica (prueba 2)			
Fecha inicio	16/12/2010	Fecha final	22/12/2010
Descripción de la prueba			
Prueba realizada en la Casa de pruebas, consiste en colocar un geotextil sobre las láminas Plystone mediante el uso de grapas en la mitad del área de piso. En la otra mitad se coloca la cerámica directamente sobre la lámina.			
N° de piezas agrietadas		Fractura de sisa	
5		sí	
Observaciones			
En la mitad con geotextil existen 5 piezas de cerámica que presentan grietas y se observan fisuras en la sisa. Además al caminar sobre esta mitad del entepiso se percibe que no existe una superficie firme, sino que las piezas tienden a moverse verticalmente al igual que en la prueba 1			
En la otra mitad donde colocó la cerámica directamente sobre la lámina los resultados son satisfactorios debido a que no existe fisuras en el acabado final. Las fisuras se detectan un día después de terminada la prueba.			
Materiales utilizados			
Cerámica 33x33 cm	25	m ²	
Geotextil NT1600	12	m ²	
Lámina Plystone 22 mm	8	un	
Grapas	--	--	
Mortero Pega cerámica Bondex Plus	5	sacos	
Fragua Laticrete 1500 Sanded Grout	7	bolsas	
Plasterbond	--	--	

Figura 22. Grietas presentadas en la prueba 2 con geotextil



Cuadro 40. Resultados colocación de cerámica (prueba 3)			
Fecha inicio	28/03/2011	Fecha final	01/04/2011
Descripción de la prueba			
Realizada en la casa de pruebas, se utilizó pegamento Resilikon 850 para adherir el geotextil a la lámina Plystone. El geotextil se colocó sobre toda el área de piso.			
N° de piezas agrietadas	Fractura de sisa		
0	No		
Observaciones			
En el monitoreo de la prueba no se detectan fisuras en el piso cerámico ni en la sisa. El acabado final provee una superficie firme de apoyo, sin movimiento alguno del piso cerámico.			
Materiales utilizados			
Cerámica 33x33 cm	25	m ²	
Geotextil NT1600	25	m ²	
Lámina Plystone 22 mm	8	un	
Pegamento Resilikon 850	3	galones	
Mortero Pega cerámica Sansón Plus	4	sacos	
Fragua Laticrete 1500 Sanded Grout	6	bolsas	

Cuadro 41. Resultados colocación de cerámica (prueba 4)			
Fecha inicio	02/05/2011	Fecha final	11/05/2011
Descripción de la prueba			
La prueba se realizó en un entrepiso que se encuentra a una altura de 70 cm y presenta una vibración excesiva. Se utilizó pegamento para madera en la adherencia del geotextil a la lámina Plystone.			
N° de piezas agrietadas	Fractura de sisa		
0	0		
Observaciones			
El entrepiso tiene una estructura no recomendada para una residencia ya que utiliza perfiles calibre 20. Esto ocasiona un exceso de vibración en la estructura. El acabado final muestra una superficie lisa, sin movimiento vertical de las piezas y sin fractura de sisa.			
Materiales utilizados			
Cerámica 33x33 cm	24	m ²	
Geotextil NT1600	24	m ²	
Lámina Plystone 22 mm	8	un	
Pegamento Resilikon 850	3	galones	
Pega cerámica BBG plus (20 kg)	4.5	bolsas	
Fragua Laticrete 1500 Sanded Grout	5	bolsas	

Cuadro 42. Resultados colocación de cerámica (prueba 5)			
Fecha inicio	12/05/2011	Fecha final	18/05/2011
Descripción de la prueba			
Prueba realizada en un entrepiso ubicado a una altura de 1.20m y totalmente al aire libre. Se utilizaron perfiles 5x15-16 @61cm en sección simple y su longitud es de 4.88 m. La solución se aplica de la misma forma que las pruebas 3 y 4.			
N° de piezas agrietadas		Fractura de sisa	
0		sí	
Observaciones			
La estructura que presenta el entrepiso provoca una vibración excesiva.			
El acabado final de piso muestra una superficie en la cual las piezas de piso cerámico no presentan levantamiento alguno. En las observaciones realizadas no se detectan fisuras ni desprendimiento del piso.			
Materiales utilizados			
Cerámica 33x33 cm	24	m ²	
Geotextil NT1600	24	m ²	
Lámina Plystone 22mm	8	un	
Pegamento Resilikon 850	4	galones	
Pega cerámica BBG plus (20 kg)	4.5	bolsas	
Fragua Laticrete 1500 Sanded Grout	6	bolsas	

Alternativas comerciales de optimización

En el mercado de la construcción existen algunas alternativas con las cuales es posible mejorar la funcionalidad de los sistemas de entrepiso. Estas alternativas consisten en métodos o productos especialmente creados para prevenir fallas que afectan la condición de uso de los entrepisos en aspectos tales como vibración, fisuras en piso cerámico o aislamiento acústico.

Para conocer acerca de estas opciones comerciales se visitaron algunas empresas especializadas en la venta de productos para la construcción con el fin de identificar las alternativas comerciales que pueden ser utilizadas en los sistemas de entrepiso Plycem. Los resultados de esta investigación se detallan a continuación. Además, se describe un sistema recomendado por Plycem para la prevención de grietas en piso cerámico conocido como Metal Lath.

Productos para la prevención de fisuras en piso

Membrana antifractura Laticrete

Laticrete es una empresa que ofrece sistemas de instalación para piso cerámico y otros, a nivel mundial. Dentro de estos sistemas se encuentran los productos antifractura que tienen como finalidad la prevención de grietas en la superficie de piso instalado.

Como parte de estos productos existe la membrana antifracturas la cual consiste de un caucho líquido y un tejido de refuerzo que se coloca sobre la junta de las láminas y de esta forma los movimientos de expansión y contracción son soportados por este producto para evitar la generación de grietas en el piso.

Para conocer acerca de la aplicación de este producto y su precio, se visitó la empresa Fernández y Aguilar ubicada en San José. De acuerdo con las recomendaciones de uno de los asesores técnicos de esta empresa, para la prevención de grietas en piso instalado sobre los entrepisos Plycem, se debe utilizar la membrana antifisura sobre la junta de las láminas para luego pegar la cerámica utilizando el Mortero

Laticrete 253 Oro Gris. Otra de las recomendaciones fue dejar juntas controladas en las zonas adyacentes a la pared, de manera que las cargas laterales al piso puedan ser soportadas por la junta y no provoquen fisuras en el piso.

Según la cotización brindada por Fernández y Aguilar el precio de la membrana antifractura es de 109465 colones la unidad mini que incluye dos galones de caucho líquido y un rollo de tela de 15 pulgadas de ancho. El rendimiento de este producto es de 28 m². El mortero Laticrete 253 tiene un costo de 7995 colones y un rendimiento de unos 8 m lineales por bolsa.

Solución con sellado de juntas

Una posibilidad de prevenir grietas en la superficie de piso instalado sobre entrepisos con láminas de fibrocemento, es realizar un sellado de la junta entre láminas utilizando un producto con propiedades elásticas.

Para analizar esta solución se realizó una visita a la empresa Aditec, ubicada en Pavas, la cual se dedica a la venta de productos químicos y aditivos. En esta empresa se recibió asesoría del señor José Pablo Chacón, el cual recomendó utilizar el producto Elasto Thane 230 en la junta entre láminas. Este producto es un sellador elastomérico de poliuretano, de un solo componente y posee gran elasticidad lo cual permite cerrar las uniones entre láminas y soportar los movimientos de contracción del fibrocemento.

El asesor de la empresa también recomendó utilizar el producto Acrylex como adherente del mortero a la lámina (producto similar al Plasterbond). Además, para pegar la cerámica existe el Mortero total set modificado. De acuerdo con la factura proforma el precio del Elasto Thane es de ₡129092.09 la cubeta de 5 galones y ₡2492.12 el cartucho de 10.5oz. Su rendimiento es de 94 m por galón. El precio del Acrylex es de ₡82389.06 la cubeta de 5 galones y el mortero recomendado tiene un valor de ₡2404.13 por saco de 20 kg.

Sistema Metal Lath

Existe un sistema de instalación de piso cerámico recomendado por la empresa Plycem el cual consiste en hacer un repello de 2 centímetros de espesor reforzado con una malla expandida para temperatura. Este sistema conocido como Metal Lath se aplica de la siguiente manera:

Las láminas se colocan en posición perpendicular a las viguetas alternando la junta transversal 122 cm. Sobre los perfiles utilizados como viguetas se aplica un cordón sellador de poliuretano, lo cual funciona como un elemento neutralizador de vibración o ruido. Las uniones entre láminas se dejan topadas.

Luego de colocar las láminas, se forra la superficie con felpa asfáltica dejando traslapes de 5 a 10 cm. Este material tiene como función crear una barrera impermeable que impida la pérdida de humedad en el mortero.

Sobre la felpa se coloca una malla expandida de acero galvanizado, fijándola a la estructura y a la lámina Plystone, para posteriormente aplicar un repello de mortero de 2 cm usando mortero de contrapiso. Se debe curar por una semana. La colocación del piso se realiza convencionalmente y se recomienda ubicar juntas de control o expansión. El costo de esta solución ronda los ₡4800 por metro cuadrado

Aplicación de producto Proflex

Proflex es una empresa ubicada en los Estados Unidos especializada en la fabricación de productos para el control de humedad, reducción de sonido y control de grietas en pisos. Dentro de los productos que ofrece esta compañía se pueden citar el PROFLEX 40 CISM, PROFLEX 70 SSC y PROFLEX 90 MSC, los cuales funcionan como productos para la prevención de grietas en pisos, a la vez que disminuyen la transmisión de ruido entre pisos. La diferencia entre los tres productos es el espesor de la membrana, por lo que entre mayor sea el espesor, mayor será el aislamiento acústico que proporciona.

Actualmente estos productos no se venden en el país, por lo que para utilizarlos deben ser importados. Sin embargo, constituyen una opción efectiva para la instalación de piso cerámico sobre los sistemas de piso que podría

ser comercializado por alguna empresa en el país.

Uso de cinta antivibración

Existen productos que se instalan entre las láminas y los perfiles de acero de un entepiso y que permiten crear un amortiguamiento y así disminuir la vibración. Estos productos consisten en una cinta de espuma con un lado adherente, el cual se coloca sobre la estructura de soporte.

Al instalar este producto, se logra crear una superficie más cómoda al caminar. Además, estas cintas facilitan la colocación de los paneles de subsuelo. Previo a la aplicación de la cinta, la superficie de los perfiles debe estar libre de suciedad. El producto se desenrolla a lo largo de las viguetas de forma que quede bien adherido a la superficie de acero. Posteriormente se colocan las láminas que constituyen el piso y se fijan normalmente a cada vigueta.

En el país, la empresa 3M ofrece algunos tipos de cinta que pueden utilizarse como elementos de amortiguamiento. De acuerdo con información brindada por el señor Víctor Sánchez, representante de ventas de 3M, el tipo de cinta que puede utilizarse es la 4412 que tiene un espesor de 2 mm.

Aislamiento acústico con lana de vidrio

La lana de vidrio es un material aislante muy utilizado a nivel mundial. Su composición le brinda características de aislante térmico y por su gran capacidad de absorción se puede utilizar como aislante acústico en muchas edificaciones tales como oficinas, talleres o viviendas.

Este material se puede utilizar en entepisos livianos tales como el de Plycem. Al instalarlo se coloca la lana de vidrio en el espacio ubicado entre las láminas de fibrocemento y el cielo raso.

En el país este producto es vendido por la empresa Fibrocentro. El material lo ofrecen en las siguientes presentaciones:

Espesor	Ancho x largo	m ² /bolsa	Precio
8,9 cm	0,4mx12,2 m	4,96	Ø8500
8,9 cm	0,6mx12,2 m	7,43	No disponible actualmente

Análisis de los resultados

Estudio de las encuestas

Las encuestas realizadas permitieron llevar a cabo una evaluación de los principales aspectos que necesitan mejorar los entrepisos Plycem a partir de la opinión de las personas que han utilizado estos sistemas. Los comentarios de cada encuestado fueron importantes para el desarrollo del proyecto ya que aclaran el desempeño de los sistemas de entrapiso y la forma en la cual se pueden mejorar

De acuerdo con los resultados obtenidos en las encuestas, se determina que respecto de las ventajas, el sistema es percibido principalmente como limpio, rápido y fácil de construir. En cuanto a las principales fallas de servicio se mencionan la vibración excesiva y los problemas en piso cerámico. Este último aspecto contempla la generación de fisuras en piso y el desprendimiento de las piezas.

Dentro de los principales comentarios se destaca la falta de asesoría técnica, lo cual provoca que el entrapiso no se construya de acuerdo con las recomendaciones dadas por Plycem. Por esta razón, algunos entrapisos presentan errores constructivos que ocasionan fallas en la condición de servicio del sistema.

Es importante que el entrapiso se construya con una adecuada estructura de soporte para que disminuya la vibración y existan menos posibilidades de daño en el piso cerámico. Por esta razón, muchas personas han construido con el sistema de entrapiso Plycem y no se les ha presentado ningún tipo de falla por condiciones de uso de la estructura.

Sobre el costo del sistema, las personas encuestadas opinan que el entrapiso Plycem no representa una ventaja económica, más bien, es importante reducir su costo.

Revisión de algunos entrapisos construidos con el sistema Plycem

Para el proceso de evaluación se analizaron algunos casos en los cuales se construyeron entrapisos mediante el sistema Plycem. Para cada uno se describen las principales características estructurales y constructivas de forma que sea posible identificar distintas opciones de establecer este sistema de entrapiso. Además, en algunos de estos casos se han presentado ciertas fallas, por lo que también se realizó un análisis de los problemas mostrados.

Primer caso: Entrapiso construido en Llano Grande de Cartago

Este es un entrapiso que presentó problemas de grietas en el piso cerámico, por lo que fue necesario quitar el piso y las láminas utilizadas, para reconstruirlo y emplear una solución que permitiera prevenir la formación de grietas.

La causa principal del problema fue la inadecuada construcción de la estructura de soporte, lo cual ocasiona que se produzca una vibración excesiva y el acabado cerámico presente fisuras. La estructura se constituye de tubo estructural de 4" x 2" (10 x 5 cm) espaciados a cada 61 cm. Además, se observa que los elementos de acero se encuentran oxidados en ciertas partes, producto de la falta de protección. Por esta razón, fue necesario reforzar la estructura de soporte.

Como solución al problema se empleó el método denominado Metal Lath, el cual consiste en hacer un repello de 2 centímetros de espesor

reforzado con una malla expandida para temperatura. Este sistema es efectivo pero no representa una solución económica pues su costo es de aproximadamente 4800 colones por metro cuadrado

Segundo caso: Entrepiso con instalación de cerámica usando Laticrete

En las instalaciones de la empresa Plycem existe una casa modelo que fue construida en su totalidad utilizando sus sistemas constructivos. Su estructura principal se constituye de madera y es una casa de dos niveles.

En el nivel inferior se instaló piso cerámico y para prevenir la generación de grietas se utilizó una solución con productos de la empresa Laticrete. El producto utilizado fue el Crack Insolation Kit que ayuda a prevenir la aparición de grietas en el piso cerámico.

La colocación de estos productos ofrece buenos resultados y logra prevenir la aparición de grietas. Sin embargo, representa una solución costosa pues una caja de membrana antifractura cuesta alrededor de 110000 colones y su rendimiento es de apenas 28 m².

Tercer caso: Entrepiso localizado en Grecia

En este entrepiso, una estructura de unos 64m², se utilizó lámina Plystone de 22 mm. La estructura de soporte consta de tubo rectangular de 2" x 4" (5 x 10 cm) calibre 16 con espaciado de 61cm. Además, se utilizó tubo cuadrado de 1.5" x 1.5" (3,8 x 3,8 cm) como estructura auxiliar.

Como acabado final, se colocó piso cerámico, agregando mortero directamente sobre las láminas para posteriormente colocar cada una de las piezas. Este entrepiso presenta problemas de fisuras en la lámina Plystone y el piso cerámico instalado como acabado final. Existen unas 22 láminas de 1.22 x 2.44 m colocadas en este entrepiso y de ellas, 9 presentan fisura.

La estructura auxiliar consta de elementos que no cumplen con las dimensiones mínimas recomendadas que son 2" (5 cm). El propietario dice no haber recibido asesoría en el

momento de construir este proyecto, por lo cual existe un desconocimiento de las recomendaciones.

Cuarto caso: Entrepiso en centro educativo

Como cuarto caso se presenta un entrepiso construido en un centro educativo el cual tiene un área aproximada de 75 m². En este entrepiso se instalaron láminas Plystone de 17 mm sobre una estructura de soporte que consiste en perfiles C calibre 16 en sección doble y espaciados a cada 61 cm. Cada sección de viga tiene dimensiones de 6" x 4" (15x10 cm).

En el caso de este entrepiso se presentaron problemas de fisuras en la lámina Plystone y un levantamiento y fisuramiento del piso cerámico instalado. Dentro de los principales errores constructivos se puede citar el hecho de que las láminas no se colocaron de forma trabada, ya que lo recomendable es alternar la junta cada 1,22 m. Además no existe estructura auxiliar por lo que las juntas transversales a las vigas no cuentan con elementos de apoyo.

Debido a la mala instalación, la cerámica no puede soportar los esfuerzos que se generan en las juntas y se produce el agrietamiento. Las fisuras observadas se prolongan a lo largo de la junta entre láminas. Cuando las láminas no se colocan de forma alternada se da un patrón de fisura a través de la longitud de junta.

Quinto caso: Entrepiso en San Rafael de Oreamuno

Este es un entrepiso de uso residencial que cuenta con un área aproximada de 120 m². Las láminas utilizadas son Plystone de 22 mm y la estructura de soporte es un sistema cuadrado constituido de tubo cuadrado de 4"x4" (10 cm x 10 cm) a cada 50 cm. El espesor de estos tubos es de 1/8" (3,2 mm).

Sobre las láminas Plystone se colocó piso cerámico el cual presenta una fisura en el baño de la casa. Según comentó el propietario, la fisura en el baño se presentó desde el momento en que se construyó la casa por lo que

posiblemente se haya debido a un error en la colocación del piso.

El entrepiso se encuentra muy bien estructurado, por lo que no presenta problemas de vibración. En general la condición de servicio del sistema se puede considerar como satisfactoria por parte del cliente, lo cual demuestra que los principales problemas de falla se pueden prevenir mediante la instalación de una buena estructura de soporte.

Sexto caso: Entrepiso en Tibás

Se trata de un entrepiso construido en un edificio de apartamentos en Tibás. El motivo de reclamo por parte del propietario se relaciona principalmente con la presencia de fisuras en el piso cerámico, lo cual perjudica el aspecto de cada apartamento.

Estos problemas de fisura no se deben a una incorrecta instalación, pues se determina que el entrepiso se encuentra bien estructurado y la instalación cumple con las recomendaciones de Plycem. Este caso demuestra que en ocasiones no es suficiente la buena construcción del entrepiso, sino que es necesario contar con soluciones preventivas ante fallas por producto.

Entrepisos livianos en otros países

Como parte de los objetivos del proyecto se realizó una investigación de algunos entrepisos livianos construidos a nivel mundial. Dentro de estos casos se encontró información de Argentina, Estados Unidos y Australia.

Al observar los detalles constructivos de estos sistemas es posible notar que no existen mayores diferencias en cuanto a las características estructurales. El sistema que ofrece Plycem se constituye de la misma forma que cada uno de los casos investigados.

El espaciamiento máximo entre perfiles es siempre de 24" (0,61 m) y la estructura de soporte es con base en perfiles laminados en frío. Sobre los elementos de acero se coloca una lámina atornillada cuya composición es de fibrocemento o un material similar.

En cuanto a elementos complementarios, existen algunos productos utilizados en otros países que podrían ser recomendados por

Plycem como parte del sistema constructivo. Dentro de estos se puede citar el uso de lana de vidrio como aislante acústico y la utilización de cinta antivibración.

En general, las edificaciones con estructura con base en perfiles laminados en frío se realizan según lo indicado en el Método Prescriptivo. Este documento es brindado por la North American Steel Framing Alliance (NASFA) e incluye una guía acerca de los principales detalles constructivos para las edificaciones de tipo liviano.

Análisis de Vibraciones

Mediante el uso de las tablas de análisis de vibraciones se obtuvo el dato de la aceleración máxima como un porcentaje de la gravedad para un total de 210 casos distintos de entrepiso. La totalidad se obtiene a partir de la variación de secciones (simple o doble) y el cambio en la carga temporal, para la cual se utilizaron valores entre 200 y 400 kg/m², según disposiciones del Código Sísmico de Costa Rica.

Los entrepisos analizados se estiman para una condición de uso en estructuras residenciales y de oficina, para lo cual se necesita que el valor de aceleración máxima obtenido sea menor a un 0.5% de la gravedad. Esto se establece para valores de frecuencia entre 4 y 8 Hz, por lo que para frecuencias obtenidas fuera de este rango, se admite una mayor aceleración, según criterio de la norma ISO. Sin embargo, se realizará el análisis tomando en cuenta que la aceleración no sobrepase el 0.5% de la gravedad.

Según los datos obtenidos se observa que el sistema de entrepiso disminuye su vibración si se da alguno de los siguientes casos:

Aumento de la carga distribuida sobre el entrepiso: Al variar la carga temporal sobre el entrepiso la vibración disminuye debido a que existe un mayor amortiguamiento del sistema.

Disminución de la longitud entre apoyos de las vigas: Al disminuir la longitud de las viguetas, la deformación de estos elementos disminuye, lo cual permite que el efecto de vibración sea menor.

Aumento de sección para las viguetas de carga: Los perfiles utilizados como perfiles de carga pueden variar su sección transversal, ya sea que

empleen un alma de mayor longitud ó que se coloquen como sección doble. Esto permite que la inercia de las secciones aumente y así el entrepiso tenga menor efecto de vibración.

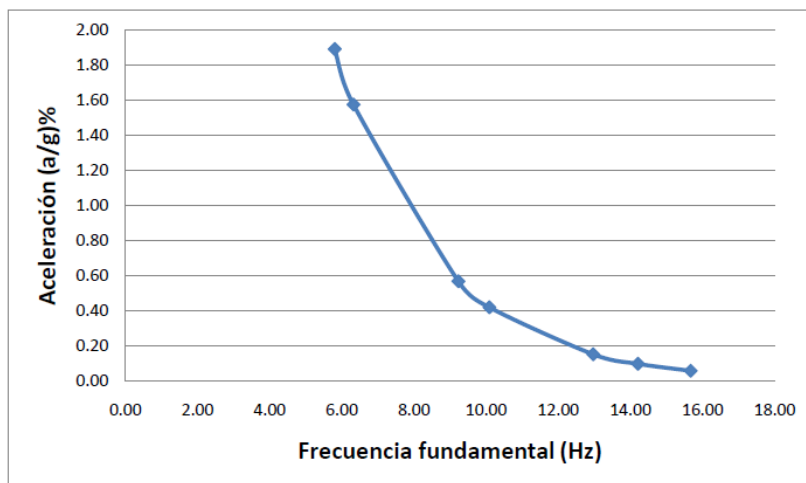
La aceleración obtenida del análisis permite establecer que los sistemas de entrepiso Plycem presentan una vibración notablemente por encima del límite permitido para el confort humano en entrepisos para oficinas y residencias. Los casos más críticos se presentan cuando se utilizan viguetas en sección simple con 10 cm de alma y calibre 18. De la totalidad de casos analizados, se tiene que un 80% de las estructuras de entrepiso Plycem presentan un valor de aceleración máxima por encima del valor límite recomendado.

En la sección de resultados se muestran las figuras 17 y 18, en las que se realizaron gráficos con los valores obtenidos en las tablas para cálculo de vibración. Estos gráficos representan la relación entre frecuencia y aceleración máxima para los sistemas de entrepiso Plycem, tanto para sección simple como para sección doble. Es posible notar que cuando la frecuencia natural es inferior a los 10 Hz, la vibración es más perceptible y por lo tanto, el entrepiso es menos confortable al caminar en estructuras residenciales y de oficinas.

En los cálculos realizados, la mayoría de casos en los cuales la aceleración máxima cumple con el límite para confort humano, es en sistemas con una carga temporal superior a 350 kg/m^2 . Lo anterior se debe a que el aumento de carga crea un amortiguamiento en el sistema que permite disminuir los efectos de vibración. Además al aumentar la carga, la longitud de viguetas debe disminuir debido a las condiciones de resistencia del perfil. Una menor longitud de viga permite obtener una menor aceleración.

De acuerdo con lo analizado, el uso de viguetas con mayor sección transversal y el aumento en la carga distribuida tenderían a disminuir la aceleración del sistema. La propuesta de optimización debe tomar en cuenta estos aspectos por lo que se puede considerar el reforzamiento de la estructura de soporte y la aplicación de una sobrecarga de concreto como una solución al problema de vibraciones.

La aceleración máxima del entrepiso es inversamente proporcional al peso aplicado sobre el sistema lo cual permite que la aceleración disminuya con un aumento en la carga. Además, conforme la frecuencia fundamental del sistema aumenta, la aceleración tiende a disminuir lo cual se refleja en el siguiente gráfico:



Excel

Figura 23. Gráfico de Frecuencia vrs. Aceleración para una carga total de 500 kg/m^2 y longitud de viguetas de 3.2 m

Por lo tanto, para disminuir la aceleración máxima, es necesario aumentar la frecuencia fundamental y generalmente se recomienda que dicha frecuencia no sea inferior a los 9 ó 10 Hz para evitar el efecto de resonancia que tiende a provocar un efecto excesivo de vibración. En el gráfico anterior se refleja que para obtener valores de aceleración inferiores a 0.5%, la frecuencia debe ser mayor a 10 Hz.

Primera propuesta: reforzamiento de la estructura de soporte

Las longitudes de viga utilizadas en el análisis de entepiso son datos obtenidos del análisis estructural correspondiente. Así, al utilizar estas longitudes, se garantiza la integridad de la estructura respecto de las cargas para las cuales fue diseñada cada condición del entepiso. Sin embargo, es necesario mejorar la estructura del entepiso para que el comportamiento del sistema sea además satisfactorio en cuanto a los efectos de vibración.

Este reforzamiento se puede lograr mediante el uso de secciones de acero con mayor sección transversal y que proporcionen una mayor inercia. Además, se puede disminuir el espaciamiento o la longitud entre apoyos de viguetas. Por ejemplo, para un entepiso que requiera una luz de 2.65 m y cuya carga sea de 200 kg/m², Plycem sugiere utilizar perfiles 5x10-16 @ 61 cm. Al utilizar estos elementos se obtiene una aceleración máxima de 1.5% lo cual se encuentra por encima del valor límite. Si se utiliza este mismo tipo de perfil pero en sección doble se obtiene una aceleración de 0.5% y así el entepiso sería adecuado para el confort humano.

Se debe tomar en cuenta que en algunos casos este reforzamiento estructural puede ser un tanto excesivo, lo cual elevaría el costo del entepiso, máxime tomando en cuenta el alto costo del acero.

Por medio de las tablas de análisis de vibración, se determinó la longitud de vigueta para la cual el sistema de entepiso obtiene un valor de aceleración inferior al 0.5% de la gravedad. Los resultados se muestran en los cuadros del 20 al 29.

Utilizando las longitudes óptimas se elaboraron los cuadros 30 y 31 con el fin de brindar una sugerencia acerca del tipo de perfil

que se debe utilizar y el espaciamiento de cada vigueta según la carga distribuida y la sección por utilizar (simple o doble).

Para emplear estas tablas es necesario conocer la carga de diseño sobre el entepiso y la longitud máxima del claro. Con estos valores se ingresa a la tabla y se lee el dato correspondiente, formado por una letra y un número. La letra representa el tipo de perfil a utilizar y el número, el espaciamiento que debe existir entre viguetas, de acuerdo con la información del cuadro 9.

Segunda propuesta: colocación de sobrelosa de concreto

Como segunda alternativa de solución, respecto del tema de vibraciones, se plantea la construcción de una sobrelosa de concreto sobre las láminas Plystone. Para analizar esta solución, se diseñaron cuatro sistemas de entepiso, los cuales presentan dimensiones de 4,88 x 4,88 m.

Era necesario diseñar la estructura de soporte debido a que la colocación de la sobrelosa implica el incremento en la carga permanente. Para los casos de entepiso se obtuvo distintas opciones para la colocación de viguetas por lo que se realizó el análisis de vibración para cada alternativa. El cálculo de la aceleración y la frecuencia de estos sistemas se muestra en el cuadro 37.

A partir del cálculo de vibración de estos sistemas se determina que la utilización de una sobrelosa permite obtener valores de aceleración inferiores al valor límite dado por la Norma ISO, el cual es de un 0.5% de la gravedad para oficinas y residencias.

Las razones por las cuales el sistema de entepiso se beneficia con el uso de una sobrelosa son las siguientes:

- La carga distribuida sobre el entepiso aumenta considerablemente, para obtener un mayor amortiguamiento en el sistema.
- Al aumentar la carga es necesario utilizar una mejor estructura de soporte que permite aumentar la inercia de los perfiles utilizados como vigueta de carga.
- Aumenta el módulo de elasticidad de la sección utilizada como superficie del entepiso, ya que el módulo del

fibrocemento es aproximadamente 7 veces inferior al del concreto. El incremento de este valor permite disminuir la deflexión del sistema.

Es importante resaltar que cuando se coloca una sobrelosa de concreto no es necesario que la lámina sea de 22 mm. Sin embargo, el análisis de los casos 1 y 2 se realizó utilizando este tipo de lámina. Lo recomendable es usar una lámina de menor espesor que permita reducir los costos del entrepiso. Por esta razón, los casos de análisis 3 y 4 utilizan una lámina de 14 mm y una sobrelosa de 7 cm.

Luego de realizar el cálculo de vibración de los casos con sobrelosa se efectuó una comparación entre las alternativas de optimización. Estos resultados se encuentran en el gráfico de la figura 20 y se basa en los datos del cuadro 37. El análisis comparativo se realizó para un entrepiso de 4,88 x 4,88 m en las tres opciones de mejoramiento de la vibración.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los valores más bajos de aceleración del sistema se obtienen al colocar una sobrelosa de 7 cm sobre una lámina Plystone de 14 mm. El aumento en el espesor del concreto disminuye notablemente los efectos de vibración hasta valores alrededor de un 0,10% de la gravedad. La opción de reforzamiento de la estructura de soporte con lámina de 22 mm permite obtener una aceleración inferior al 0,5%; sin embargo, es menos efectiva que la alternativa con sobrelosa y además implica el uso de perfiles de mayor calibre y dimensión.

Problema de fisuras en el piso cerámico

El segundo aspecto que desea mejorarse en el sistema de entrepiso Plycem es la prevención de grietas en el acabado final de piso.

Para corregir este aspecto se llevó a cabo una serie de pruebas utilizando un geotextil sobre las láminas Plystone. Se realizaron un total de 5 pruebas en las instalaciones de la empresa Plycem en las que fue posible evaluar esta solución mediante la inspección del proceso constructivo y el monitoreo de resultados. En todas las pruebas se tomaron fotografías que permiten ilustrar su desempeño. Dichas fotografías se muestran en el anexo 3.

Primera prueba con geotextil

En esta prueba se utilizó el geotextil grapado sobre la lámina Plystone y el entrepiso se dividió en dos secciones de manera que en una de las mitades se agregara agua al geotextil para evitar la pérdida de humedad del mortero.

El principal problema se evidenció en las grietas presentadas en la sisa. La mayoría se muestran de forma superficial; sin embargo, existen algunas grietas mayores que produjeron el desprendimiento del material de fragua.

La zona más crítica se da en el traslape del geotextil. En esta parte, las grietas son más profundas y algunas de las piezas de cerámica presentan un levantamiento, lo cual evidentemente afecta la calidad del acabado. Por esta razón, no es conveniente dejar un traslape de geotextil.

Al comparar las dos mitades del entrepiso no se observa mayor diferencia entre los resultados obtenidos, pues el adicionar agua al geotextil antes de colocar el mortero, no beneficia la condición final del acabado.

Segunda prueba con geotextil

Para la segunda prueba se decidió colocar geotextil únicamente en la mitad del entrepiso de modo que en la mitad restante, la cerámica se colocara directamente sobre la lámina. En esta prueba no existe traslape de geotextil.

Los resultados mostrados fueron más favorables en la zona donde se colocó la cerámica directamente sobre la lámina. En la zona con geotextil se presentaron un gran número de agrietamientos de sisa principalmente superficiales; sin embargo, existen ciertas grietas que son de mayor consideración. En la zona sin geotextil existen muy pocas grietas de sisa.

Donde se colocó el geotextil existen 5 piezas de cerámica fracturadas, mientras que en la otra mitad sólo existe una pieza fracturada pero no por condiciones normales de uso. Esta pieza se dañó debido a que cayó un objeto pesado sobre ella.

Al caminar sobre el entrepiso con geotextil se percibe un asentamiento de las piezas de piso cerámico debido a que no existe una superficie firme de apoyo. Esta es la principal razón por la cual la sisa presenta una gran

cantidad de agrietamientos. Las grapas no permiten fijar correctamente el geotextil a la lámina debido a que este material presenta una serie de abultamientos sobre los cuales el piso cerámico no se puede instalar de manera nivelada

Para esta prueba se realizó una segunda revisión aproximadamente mes y medio después de efectuada la primera. En la segunda revisión no se detectan cambios, es decir no se observa la presencia de nuevas fracturas en la condición del piso. Se considera que debido al tipo de estructura en la cual se encuentra construido este entrepiso, no es posible obtener resultados que reflejen la condición real de un entrepiso residencial. Lo anterior se debe a que la vibración y deflexión producidas en este entrepiso son mínimas al estar construido directamente sobre una losa de concreto. Por esta razón, la sección en la cual no existe geotextil, presenta una superficie de acabado sin fisuras.

Tercera prueba con geotextil

En la tercera prueba existe un cambio respecto de la forma de fijar el geotextil a la lámina Plystone. Debido a los malos resultados de las pruebas anteriores, se decidió utilizar un pegamento que permitiera colocar el geotextil de manera que exista una superficie lisa en la que se coloque el piso cerámico.

El adherir el geotextil de esta forma, permitió obtener mejores resultados sobre las pruebas anteriores. El monitoreo de la prueba se realizó durante un mes y no se detectan fisuras en el piso cerámico ni en el material de fragua.

Al caminar sobre el piso de esta prueba se aprecia una superficie firme y sin desniveles. Las piezas de cerámica no tienden a moverse verticalmente tal y como pasaba en las pruebas anteriores. El geotextil queda adherido a la lámina en su totalidad por lo que no se dan abultamientos del material, con lo cual existe una superficie lisa sobre la cual agregar el mortero de pega.

Es importante destacar que en esta prueba los resultados se ven favorecidos por el tipo de estructura que existe en la Casa de pruebas. Como las viguetas de carga están apoyadas directamente sobre una losa de concreto, existe poca vibración y deflexión del sistema con lo cual las condiciones de este

entrepiso no son las que se presentan normalmente en una construcción residencial. Además, a este entrepiso no se le aplicó ningún tipo de carga temporal, por lo que no es posible evaluar la solución con geotextil en condiciones de uso.

Una de las ventajas de utilizar el pegamento para madera es la facilidad para conseguirlo y su bajo costo, por lo que se puede comprar en cualquier ferretería. Una desventaja es el tiempo que tarda este pegamento en secar cuando se aplica sobre el geotextil, ya que tardó alrededor de 48 horas en secar totalmente. Cuando se aplica el pegamento es importante revisar que no queden zonas levantadas del geotextil, porque podría ocasionar un desnivel en el piso cerámico.

Cuarta prueba con geotextil

La cuarta prueba con geotextil se desarrolló en un entrepiso construido con perfiles de 5x10 cm calibre 20. El geotextil fue adherido a la lámina Plystone utilizando pegamento para madera y el piso cerámico se colocó de forma convencional.

La prueba fue revisada durante un periodo de 15 días a partir de finalizado el proceso de construcción. La vibración presente en la estructura se puede catalogar como fuertemente perceptible. Los perfiles usados en la prueba no cumplen los requerimientos mínimos de diseño residencial; sin embargo, la utilización de estos elementos es solamente para evaluar la alternativa con geotextil ante una mala estructuración.

El geotextil presenta una adecuada adherencia a la lámina de 22 mm y existe una superficie plana sobre la cual colocar el piso cerámico. Esto demuestra la efectividad de utilizar el pegamento para madera. Los resultados obtenidos de esta cuarta prueba se consideran positivos respecto del comportamiento del piso cerámico en condiciones de alta vibración, pues en las revisiones efectuadas no se observan fisuras en el piso ni grietas en la sisa. Las piezas de cerámica no presentan desprendimiento y al caminar se percibe una superficie totalmente firme. El exceso de vibración no muestra efectos negativos en la superficie de acabado.

Quinta prueba con geotextil

Esta última prueba tiene como propósito evaluar la colocación con geotextil ante una alta vibración y bajo condiciones de lluvia. Por esta razón, los perfiles utilizados como estructura de soporte, no cumplen los requerimientos de diseño y el entrepiso se encuentra totalmente expuesto a la intemperie.

Debido a que la colocación del geotextil en las pruebas 3 y 4 dio buen resultado, para esta prueba igualmente se utilizó el pegamento para madera como adherente a la lámina Plystone de 22 mm. La longitud de las viguetas es de 4.88 m y debido a que los perfiles utilizados no poseen la sección requerida para este claro de entrepiso, la vibración se percibe como severa.

La prueba se inspecciona durante 15 días y en este lapso no se detectan grietas en el piso cerámico. La sisa presenta fisuras alrededor de algunas de las piezas, quizás por un error de colocación o producto de las condiciones climáticas.

El último día de inspección se revisa la prueba bajo condiciones de lluvia. Lo primero que se observa es una acumulación del agua en el centro de la estructura. Esta situación demuestra que el entrepiso presenta una deformación excesiva debido al tipo de elementos que constituyen su estructura de soporte. El otro detalle que se observa es que existe una filtración de agua bajo el entrepiso a través de las conexiones atornilladas. La filtración detectada indica que existen fisuras en la sisa, y al no existir un desnivel en el entrepiso, el agua busca salida a través de ellas.

El principal problema con la filtración de agua se da cuando esta llega a tener contacto con el pegamento para madera, el cual se utilizó para la adherencia del geotextil. Si esto sucede, el pegamento reaccionará con el agua y empezará a escurrirse a través de las conexiones atornilladas. Al perder pegamento, el geotextil perderá adherencia y se puede dar un levantamiento en algunas partes del piso o se podrían presentar fisuras.

Por lo observado en la prueba 5, la solución con geotextil no puede ser recomendada en espacios expuestos a condiciones de lluvia, por ejemplo una terraza. Para este tipo de aplicaciones se necesitaría utilizar un pegamento

que no reaccione con el agua y además la sisa no puede presentar ningún tipo de fisura.

Presupuesto

Con la finalidad de conocer el precio unitario del sistema de entrepiso Plycem se desarrolló un presupuesto con base en una lista de precios suministrada por la Empresa Plycem.

Para un entrepiso de 4,88 x 4,88 m se presupuestó la instalación de piso cerámico sobre geotextil de acuerdo con el procedimiento establecido con el desarrollo de las pruebas de colocación.

El valor obtenido para este sistema de entrepiso es de 29.972 colones el metro cuadrado considerando los elementos de la estructura de soporte, las láminas Plystone y los materiales para colocación del piso cerámico. No se considera el precio de mano de obra. La tabla de cálculo con el presupuesto para este sistema de entrepiso, se encuentra el apéndice 2.

Conclusiones

1. De acuerdo con lo investigado, los entrepisos livianos presentan características de diseño e instalación muy similares entre los países. Estos entrepisos se construyen según las indicaciones del Método Prescriptivo que es un documento de la North American Steel Framing Alliance (NASFA). En él se indican los detalles constructivos de las estructuras que utilizan acero laminado en frío.
2. Los materiales que constituyen los entrepisos Plycem ocasionan que el sistema sea liviano en comparación con otros tipos que utilizan concreto como elemento de losa. Esta condición produce que los efectos de vibración sean más perceptibles. Por esta razón, es necesario efectuar cambios estructurales que disminuyan tales efectos mediante el incremento en la rigidez del sistema.
3. De acuerdo con el proceso de evaluación, las fallas que más afectan a los entrepisos Plycem son la vibración y las fisuras en el piso cerámico. Esto se concluye a partir de las encuestas realizadas y la revisión de algunos casos en los que se han producido fallas en la condición de servicio.
4. Las fallas que presentan los entrepisos Plycem en la condición de servicio se deben a dos razones: errores en la instalación del sistema o falla originada por la condición del producto. La responsabilidad de la empresa se limita al segundo aspecto.
5. La incorrecta instalación del entrepiso incrementa la posibilidad de falla por condiciones de uso de la estructura. Los principales errores que se cometen son la mala colocación de láminas y la utilización de una estructura de soporte no recomendada por la empresa.
6. De la totalidad de casos analizados, alrededor de un 80% presentan valores de aceleración por encima del máximo permitido según la norma ISO 2631-2,1989. Por tal razón, los entrepisos Plycem requieren considerar cambios que beneficien su desempeño ante fuerzas que generan vibración.
7. Al analizar los gráficos obtenidos en el estudio de la vibración, se observa que los valores de aceleración máxima son más altos para el confort humano cuando la frecuencia supera los 10 Hz. Esto sucede en sistemas de entrepiso que se encuentran bajo una mayor carga distribuida y se constituyen de perfiles con mayor rigidez.
8. De las alternativas propuestas, la opción más efectiva para disminuir los efectos de vibración, consiste en colocar una sobrelosa de 7 cm junto con una lámina Plystone de 14 mm.
9. Las láminas Plystone son fabricadas con un material cementicio lo que ocasiona problemas en las juntas debido a la contracción de la lámina. En algunos casos, esta condición tiende a producir fisuras en el piso cerámico debido a que este material no puede soportar los movimientos que se generan en las juntas.
10. La porosidad presente en las láminas de fibrocemento tiende a absorber agua del mortero pega cerámica. Esta pérdida de humedad puede ocasionar el desprendimiento del piso cerámico o la generación de fisuras debido al agrietamiento del mortero.
11. Para prevenir las fallas que se generan por características del producto es posible utilizar alternativas que contrarrestan los efectos adversos sobre el entrepiso. Estas soluciones contribuyen a complementar una adecuada instalación.
12. La colocación de piso cerámico sobre un geotextil muestra resultados satisfactorios en cuanto a su proceso de instalación y condición inicial del piso.
13. La colocación del geotextil sobre la lámina debe hacerse con un pegamento que logre una adecuada adherencia entre ambos

materiales. Al utilizar el pegamento para madera se obtuvo una superficie plana que permite instalar apropiadamente el piso cerámico.

14. La alternativa con geotextil es conveniente desde el punto de vista económico. Al comparar con otras soluciones anti fractura que existen en el mercado, se nota una importante diferencia de precio. Además los materiales requeridos para emplear esta solución son fáciles de conseguir.

Recomendaciones

Una vez efectuado este proyecto se recomienda:

1. Comprar el equipo necesario por parte de la empresa para realizar pruebas que permitan conocer el desempeño de los sistemas de entrepiso Plycem o contratar un laboratorio de primer orden para efectuar estos ensayos. Lo anterior con el fin de respaldar los resultados teóricos obtenidos.
2. Confeccionar folletos, como asesoría técnica de Plycem, que expliquen paso a paso la correcta instalación del sistema.
3. Ofrecer inspecciones periódicas, por parte de la empresa, a los proyectos en los cuales el cliente solicite la asesoría técnica. Esto permitiría evitar una deficiente instalación del entrepiso.
4. Proveer al sistema de una adecuada estructura de soporte y de una excelente instalación de las láminas para alcanzar un producto de óptima calidad.
5. Utilizar según los cuadros 30 y 31, el tipo de estructura de soporte para cada condición de carga distribuida y longitud máxima de viga, para obtener un diseño que cumpla con los límites para el confort humano brindados por AISC.
6. Usar el Geotextil NT1600 sobre las láminas Plystone con pegamento para madera como adherente; así, la colocación de cerámica se puede realizar de forma convencional. Esta solución es más económica que otras

alternativas como las membranas que ofrecen algunas empresas especializadas. Esto evita las fisuras en el piso cerámico.

7. Evaluar la colocación de cerámica sobre geotextil en condiciones de uso durante un lapso considerable pues el fisuramiento se puede presentar hasta un año después de instalado el sistema Plycem. Una forma de lograrlo sería implementar esta solución en un edificio de alto tránsito y monitorear constantemente los resultados.
8. Considerar que el pegamento para adherencia del geotextil no debe reaccionar con el agua por lo que la empresa debe hacer pruebas con otro tipo de adherente cuando se utilice esta solución en entrepisos Plycem que se encuentren expuestos a condiciones de lluvia.
9. Utilizar un buen producto para la fragua y su aplicación no debe permitir la presencia de fisuras (principalmente en condiciones de exposición a lluvias).
10. Impermeabilizar la superficie de entrepiso con productos disponibles en el mercado, cuando el sistema presente condiciones de exposición a lluvias.
11. Utilizar cinta antivibración y lana de vidrio como aislante del ruido, según lo investigado en entrepisos livianos usados en otros países. Estos contribuyen al mejoramiento de los sistemas de entrepisos.

Apéndices

Apéndice 1. Hoja de cálculo para diseños de entrepisos Plycem.

Apéndice 2. Presupuesto de entrepiso Plycem.

Apéndice 1. Hoja de cálculo para el diseño de entrepisos Plycem

Diseño del sistema de entrapiso Plycem			
Datos iniciales			
Espesor de la lámina	<input type="radio"/> 20 mm <input checked="" type="radio"/> 22 mm		
Longitud de viguetas	3	m	
1. Cargas sobre el entrapiso			
Carga permanente		Carga temporal	
Peso de la lámina	23.1	kg/m ²	
Peso de los perfiles	10	kg/m ²	
Cielo e Inst. electr.	30	kg/m ²	
Acabados	36	Kg/m ²	
Otros		kg/m ²	
Carga permanente:		99.1	kg/m ²
		Carga temporal:	300 kg/m ²
Carga total sobre el entrapiso		399.1	kg/m ²
2. Selección del perfil requerido para viguetas			
Alternativas de perfil (sección simple o doble)			
Separación viguetas (cm)	Sección simple	Sección doble	
30.5	PE 50x100-16	PE 50x100-18	
41	PE 50x150-18	PE 50x100-18	
61	PE 50x200-18	PE 50x150-18	
3. Revisión de la lámina Plystone			
Separación de viguetas	<input type="radio"/> 30.5 cm <input type="radio"/> 41 cm <input checked="" type="radio"/> 61 cm		
Denominador de deformación (L/?)	<input checked="" type="radio"/> 240 cm <input type="radio"/> 360 cm		
Factor de seguridad	3		
Cálculo por resistencia		Cálculo por deformación	
Carga permisible	462	kg/m ²	
		Deformación	0.16
Cumple por resistencia		Cumple por deformación	
La lámina resiste las cargas			

Apéndice 2. Presupuesto de entrepiso Plycem

Medidas del entrepiso			
Largo	4,88	m	
Ancho	4,88	m	
Separación de viguetas	61	cm	
Area del entrepiso	24	m ²	

Materiales para la construcción del entrepiso					
	Producto	Cantidad	unidad	Precio un.	Precio total por producto
Materiales del entrepiso Plycem	Lámina Plystone 22mm 1219x2438mm	8	u	¢31,427	¢251,416.0
	Perfil PE #16 5x15x610cm	9	u	¢16,862	¢151,758.0
	Perfil HG PA #20 3.2x10x610cm	5	u	¢6,164	¢30,820.8
	Tornillo PH 10-150	224	u	¢26	¢5,821.8
	Tornillo MM 10-075	144	u	¢10	¢1,464.48
	Arandela plana	24	u	¢12	¢298.3
	Tornillo LH 8-050	27	u	¢10	¢274.6
	Sikaflex	9	u	¢2,973	¢26,757.3
	Angular H.G. CAL 16 5x5x244cm G90	18	u	¢2,990	¢53,820
				Costo total	¢522,431
				Costo/m ²	¢21,938

Materiales para colocación de cerámica	Geotextil NT1600	24	m ²	¢734	¢17,616.0
	Pegamento para madera	3	gl	¢9,284	¢27,852.0
	Mortero Pega cerámica Bondex Plus	5	saco	¢3,800	¢19,000.0
	Cerámica 33x33	24	m ²	¢5,000	¢119,072.0
	Fragua Groutex Polímero	6	bolsa	¢1,300	¢7,800.0
				Costo total	¢191,340
				Costo/m ²	¢8,035

Costo total de la instalación	¢713,771
Costo total de la instalación/m²	¢29,972

Anexos

Anexo 1. Encuestas realizadas durante el proceso de evaluación.

Anexo 2. Datos técnicos del geotextil

Anexo 3. Datos técnicos de los perfiles.

Anexo 4. Fotografías de las pruebas de colocación de cerámica sobre geotextil.

Anexo 1. Encuestas realizadas durante el proceso de evaluación

Evaluación de la condición de servicio de los sistemas de entrepiso Plycem Encuesta para clientes

Nombre: Francis Gutiérrez Gutiérrez

Teléfono: 8980-4004

Correo electrónico: francismcc@gmail.com

Por favor seleccione una de las opciones marcando con X

1. ¿Hace cuanto tiempo se encuentra construido el entrepiso?

- Menos de seis meses
 De seis meses a un año
 Entre uno y cinco años
 Más de un cinco años

2. ¿El entrepiso fue construido según todas las especificaciones dadas por la Empresa Plycem?

- Sí
 No
 Ns/Nr

3. ¿Cuál es el uso que existe para la estructura?

- Residencia
 Oficina
 Bodega
 Otro.

¿Cuál? _____

4. ¿Qué tipo de acabado existe sobre el entrepiso?

- Piso Cerámico
 Alfombra
 Mosaico
 Madera
 Otro. ¿Cuál? _____

5. ¿Cuál de los siguientes aspectos considera que es más importante mejorar en el sistema de entrepiso?

- Vibraciones
 Aislamiento térmico y/o acústico
 Agrietamiento de pisos
 Otro.

¿Cuál? _____

6. ¿Cómo calificaría la estructura de entrepiso en términos de vibración?

- Imperceptible
 Apenas perceptible
 Moderadamente perceptible
 Fuertemente perceptible
 Severa

7. ¿Estaría dispuesto en pagar un costo adicional para mejorar la condición de servicio del sistema de entrepiso?

- Sí
 No

Comentarios

El entrepiso construido funciona como terraza y presentó fallas luego de un año de haberse construido. El cliente buscó asesoría técnica pero esta fue insuficiente y el entrepiso fue mal construido. La estructura de soporte no era suficiente para controlar los efectos de vibración y la principal falla se dio en el acabado con piso cerámico, el cual presenta diversas fisuras.

Evaluación de la condición de servicio de los sistemas de entrepiso Plycem Encuesta para clientes

Nombre: Marlon Quirós Araya
Teléfono: 8948-0669
Correo electrónico: marlon.quirós@plycem.com

Por favor seleccione una de las opciones marcando con una X

1. ¿Hace cuanto tiempo se encuentra construido el entrepiso?

- Menos de seis meses
 De seis meses a un año
 Entre uno y cinco años
 Más de un cinco años

2. ¿El entrepiso fue construido según todas las especificaciones dadas por la Empresa Plycem?

- Sí
 No
 Ns/Nr

3. ¿Cuál es el uso que existe para la estructura?

- Residencia
 Oficina
 Bodega
 Otro.

¿Cuál? _____

4. ¿Qué tipo de acabado existe sobre el entrepiso?

- Piso Cerámico
 Alfombra
 Mosaico
 Madera
 Otro. ¿Cuál? _____

5. ¿Cuál de los siguientes aspectos considera que es más importante mejorar en el sistema de entrepiso?

- Vibraciones
 Aislamiento térmico y/o acústico
 Agrietamiento de pisos
 Otro. ¿Cuál? Todas las anteriores

6. ¿Cómo calificaría la estructura de entrepiso en términos de vibración?

- Imperceptible
 Apenas perceptible
 Moderadamente perceptible
 Fuertemente perceptible
 Severa

7. ¿Estaría dispuesto en pagar un costo adicional para mejorar la condición de servicio del sistema de entrepiso?

- Sí
 No

Comentarios

Hay satisfacción con el sistema constructivo aplicado, solo considero necesario mejorar el asunto de la vibración, a pesar de tener una buena estructura como base si es considerable mejorar este punto

Evaluación de la condición de servicio de los sistemas de entrepiso Plycem Encuesta para clientes

Nombre: Federico Solano.
Teléfono: 2253-1591.
Correo electrónico: fsolano@ra.org.

Por favor seleccione una de las opciones marcando con una X

1. ¿Hace cuanto tiempo se encuentra construido el entrepiso?

- Menos de seis meses
 De seis meses a un año
 Entre uno y cinco años
 Más de un cinco años

2. ¿El entrepiso fue construido según todas las especificaciones dadas por la Empresa Plycem?

- Sí
 No
 Ns/Nr

3. ¿Cuál es el uso que existe para la estructura?

- Residencia
 Oficina
 Bodega
 Otro.

¿Cuál? _____

4. ¿Qué tipo de acabado existe sobre el entrepiso?

- Piso Cerámico
 Alfombra
 Mosaico
 Madera
 Otro. ¿Cuál? _____

5. ¿Cuál de los siguientes aspectos considera que es más importante mejorar en el sistema de entrepiso?

- Vibraciones
 Aislamiento térmico y/o acústico
 Agrietamiento de pisos
 Otro. ¿Cuál? Todas las anteriores

6. ¿Cómo calificaría la estructura de entrepiso en términos de vibración?

- Imperceptible
 Apenas perceptible
 Moderadamente perceptible
 Fuertemente perceptible
 Severa

7. ¿Estaría dispuesto en pagar un costo adicional para mejorar la condición de servicio del sistema de entrepiso?

- Sí
 No

Comentarios

La casa del señor Federico Solano fue construida utilizando materiales de fibrocemento. De acuerdo a lo comentado por las personas que habitan la casa, no existen inconvenientes respecto al entrepiso. Sin embargo en cuanto a paredes se presentaron fisuras a lo largo de las juntas entre láminas. El cliente sugiere que es necesaria una mayor asesoría técnica por parte de la empresa, lo cual permitiría conocer acerca de los inconvenientes del producto y su debida instalación.

Evaluación de la condición de servicio de los sistemas de entrepiso Plycem Encuesta para clientes

Nombre: Isaac Martínez Masís.
Teléfono: 8868-0437.
Correo electrónico: Isaac-sysde@hotmail.com

Por favor seleccione una de las opciones marcando con una X

1. ¿Hace cuanto tiempo se encuentra construido el entrepiso?

- Menos de seis meses
 De seis meses a un año
 Entre uno y cinco años
 Más de un cinco años

2. ¿El entrepiso fue construido según todas las especificaciones dadas por la Empresa Plycem?

- Sí
 No
 Ns/Nr

3. ¿Cuál es el uso que existe para la estructura?

- Residencia
 Oficina
 Bodega
 Otro.

¿Cuál? _____

4. ¿Qué tipo de acabado existe sobre el entrepiso?

- Piso Cerámico
 Alfombra
 Mosaico
 Madera
 Otro. ¿Cuál? _____

5. ¿Cuál de los siguientes aspectos considera que es más importante mejorar en el sistema de entrepiso?

- Vibraciones
 Aislamiento térmico y/o acústico
 Agrietamiento de pisos
 Otro.

¿Cuál? _____

6. ¿Cómo calificaría la estructura de entrepiso en términos de vibración?

- Imperceptible
 Apenas perceptible
 Moderadamente perceptible
 Fuertemente perceptible
 Severa

7. ¿Estaría dispuesto en pagar un costo adicional para mejorar la condición de servicio del sistema de entrepiso?

- Sí
 No

Comentarios

Es importante mencionar que la vibración está relacionada más con la estructura metálica que sostiene las láminas que la propia lámina, quizás una buena estructura ayuda mucho más a disminuir la vibración y una lámina más rígida complemente también a minimizar el problema de fisuras en el acabado cerámico. Una sugerencia podría ser cambiar el tamaño de la lámina y hacerla de un tamaño menor para ganar resistencia al tener menor superficie y disminuir el efecto de curvatura de la lámina.

Evaluación de la condición de servicio de los sistemas de entrepiso Plycem Encuesta para profesionales de la construcción

Nombre: Hugo Navarro.
Teléfono: 2550-2246.
Correo electrónico: hunavarro@tec.ac.cr.

1. ¿Cuál considera que es la principal ventaja de los sistemas de entrepiso Plycem?

Liviano y fácil de construir

2. ¿Cuál considera que es la principal desventaja de los sistemas de entrepiso Plycem?

Exceso de vibración y limitada capacidad estructural. Además experimenta cambios severos por temperatura si no se utiliza sobrelosa de concreto

3. ¿Cuáles cambios o mejoras considera que se deben realizar?

El sistema debe incorporar una sobrelosa de concreto. No creo que el problema de capacidad estructural se resuelva si solamente se utiliza la lámina de fibrocemento, aunque se aumente el espesor.

4. ¿Cuál de los siguientes aspectos considera que es más importante mejorar en el sistema de entrepiso?

Vibraciones
 Aislamiento acústico
 Agrietamiento de pisos
 Otro. ¿Cuál? Capacidad estructural (sobre todo a impacto) control de vibraciones y cambios por temperatura.

5. Usualmente, ¿Qué tipo de estructura utiliza para la construcción de los entrepisos Plycem?

Usualmente perfil de acero laminado en frío

6. En los entrepisos construidos con este sistema, ¿ha existido algún tipo de problemas presentados y que sean motivo de queja o reclamo por parte del propietario?

Sí. (Favor responder la pregunta 7)
 No

7. ¿Qué problemas se han presentado en los entrepisos que ha construido con el sistema Plycem y de qué forma los ha solucionado?

Al colocar la lámina sin sobrelosa de concreto, el entrepiso experimenta contracciones y expansiones muy severas, por la naturaleza misma del material, que afectan el acabado de piso y produciendo en muchos casos agrietamientos y reventaduras.

Comentarios

La lámina de fibrocemento es muy susceptible a los cambios de temperatura, por lo que en mi criterio no se puede suprimir la colocación de una sobrelosa de concreto. Además, el material al entrar en contacto con líquidos reduce su capacidad estructural, especialmente a cargas de impacto.

**Evaluación de la condición de servicio
de los sistemas de entrepiso Plycem
Encuesta para profesionales de la
construcción**

Nombre: Francisco Javier Calvo Piedra.
Teléfono: 2552-5237.
Correo electrónico: fcalvo@cfia.or.

1. ¿Cuál considera que es la principal ventaja de los sistemas de entrepiso Plycem?

Este sistema de entrepiso ofrece mucha limpieza durante su construcción

2. ¿Cuál considera que es la principal desventaja de los sistemas de entrepiso Plycem?

Quizás el sistema no es apto para utilizarse en pisos expuestos a la intemperie.

3. ¿Cuáles cambios o mejoras considera que se deben realizar?

El sistema no necesita contemplar mejoras

4. ¿Cuál de los siguientes aspectos considera que es más importante mejorar en el sistema de entrepiso?

- Vibraciones
- Aislamiento acústico
- Agrietamiento de pisos
- Otro.

¿Cuál? _____

5. Usualmente, ¿Qué tipo de estructura utiliza para la construcción de los entrepisos Plycem?

Vigas con tubo cuadrado o RT y lámina de 17 ó 22mm

6. En los entrepisos construidos con este sistema, ¿ha existido algún tipo de problemas presentados y que sean motivo de queja o reclamo por parte del propietario?

Sí. (Favor responder la pregunta 7)
 No

7. ¿Qué problemas se han presentado en los entrepisos que ha construido con el sistema Plycem y de qué forma los ha solucionado?

Comentarios

Este sistema requiere de un adecuado desarrollo constructivo en el que la instalación del sistema se ejecute correctamente. De esta manera se logran evitar problemas respecto a la condición de servicio de este sistema. Además es importante un adecuado diseño estructural en el que, por ejemplo, se contemple la construcción madre que logre evitar problemas de vibración.

**Evaluación de la condición de servicio de los sistemas de entrepiso Plycem
Encuesta para profesionales de la construcción**

Nombre: Mauricio Araya Rodriguez.
Teléfono: 8840-3289.
Correo electrónico: maraya@itcr.ac.cr.

1. ¿Cuál considera que es la principal ventaja de los sistemas de entrepiso Plycem?

Resistencia a la humedad.

2. ¿Cuál considera que es la principal desventaja de los sistemas de entrepiso Plycem?

Fisuramiento en las juntas

3. ¿Cuáles cambios o mejoras considera que se deben realizar?

Se debe corregir el llenado de la junta

4. ¿Cuál de los siguientes aspectos considera que es más importante mejorar en el sistema de entrepiso?

- Vibraciones
- Aislamiento acústico
- Agrietamiento de pisos
- Otro.

¿Cuál? _____

5. Usualmente, ¿Qué tipo de estructura utiliza para la construcción de los entrepisos Plycem?

Se utiliza cuadrícula de tubo estructural de 3" x 3" en 1.8mm @ 50cm

6. En los entrepisos construidos con este sistema, ¿ha existido algún tipo de problemas presentados y que sean motivo de queja o reclamo por parte del propietario?

Sí. (Favor responder la pregunta 7)

No

7. ¿Qué problemas se han presentado en los entrepisos que ha construido con el sistema Plycem y de qué forma los ha solucionado?

Comentarios

Se utilizó materiales de relleno flexibles en las uniones y mortero modificado con látex para adherir piso de porcelanato

**Evaluación de la condición de servicio
de los sistemas de entepiso Plycem
Encuesta para profesionales de la
construcción**

Nombre: Miguel Artavia Alvarado.
Teléfono: 8388-2891.
Correo electrónico: martaviacap@gmail.com.

1. ¿Cuál considera que es la principal ventaja de los sistemas de entepiso Plycem?

No requieren hacer concreto, fácil de modular; trabajos limpios y rapidez de colocación.

2. ¿Cuál considera que es la principal desventaja de los sistemas de entepiso Plycem?

Costo directo

3. ¿Cuáles cambios o mejoras considera que se deben realizar?

Alternativas de soporte para hacerlo más económico

4. ¿Cuál de los siguientes aspectos considera que es más importante mejorar en el sistema de entepiso?

- Vibraciones
- Aislamiento acústico
- Agrietamiento de pisos
- Otro. ¿Cuál? No he tenido problemas de este tipo

5. Usualmente, ¿Qué tipo de estructura utiliza para la construcción de los entepisos Plycem?

Metálica, tubo cuadrado y RT

6. En los entepisos contruidos con este sistema, ¿ha existido algún tipo de problemas presentados y que sean motivo de queja o reclamo por parte del propietario?

- Sí. (Favor responder la pregunta 7)
 No

7. ¿Qué problemas se han presentado en los entepisos que ha construido con el sistema Plycem y de qué forma los ha solucionado?

Evaluación de la condición de servicio de los sistemas de entrepiso Plycem Encuesta para profesionales de la construcción

Nombre: Rodrigo González Vargas.

Teléfono: 2260-5381.

Correo electrónico: rodrigo.gonzalezvargas@gmail.com.

1. ¿Cuál considera que es la principal ventaja de los sistemas de entrepiso Plycem?

Es un sistema liviano en cuanto a cargas

2. ¿Cuál considera que es la principal desventaja de los sistemas de entrepiso Plycem?

Problemas de contracción en juntas que puede fracturar el piso cerámico. Necesidad de aislamiento acústico

3. ¿Cuáles cambios o mejoras considera que se deben realizar?

Incorporar un sistema de aislamiento acústico. Mejorar el problema de contracción de las láminas

4. ¿Cuál de los siguientes aspectos considera que es más importante mejorar en el sistema de entrepiso?

Vibraciones

Aislamiento acústico

Agrietamiento de pisos

Otro.

¿Cuál? _____

5. Usualmente, ¿Qué tipo de estructura utiliza para la construcción de los entrepisos Plycem?

Perfiles laminados en frío o tubo cuadrado estructural. Lámina de 25mm de espesor

6. En los entrepisos construidos con este sistema, ¿ha existido algún tipo de problemas presentados y que sean motivo de queja o reclamo por parte del propietario?

Sí. (Favor responder la pregunta 7)

No

7. ¿Qué problemas se han presentado en los entrepisos que ha construido con el sistema Plycem y de qué forma los ha solucionado?

En una construcción realizada con este sistema de entrepiso se presentaron problemas de fisuras en el piso cerámico, lo cual evidentemente afecta la calidad estética.

Comentarios

Las grietas que se presentan en el piso cerámico son generalmente asociadas a problemas estructurales, lo cual crea cierto temor en el propietario.

El piso cerámico no debería utilizarse en este tipo de entrepiso, sino que debería usarse algún otro acabado menos propenso a fisuras.

No es recomendable utilizar este tipo de entrepisos para viviendas. Es mejor utilizar este entrepiso para bodegas u otros sitios donde el acabado final es menos relevante.

Evaluación de la condición de servicio de los sistemas de entrepiso Plycem

Encuesta para profesionales de la construcción

Nombre: Vernon Ortega Jiménez.

Teléfono: 8812-8779.

Correo electrónico: cortesaing@racsa.co.cr.

1. ¿Cuál considera que es la principal ventaja de los sistemas de entrepiso Plycem?

Es un sistema liviano y muy limpio

2. ¿Cuál considera que es la principal desventaja de los sistemas de entrepiso Plycem?

El sistema es muy flexible y por lo tanto tiene problemas de vibración que tienden a desprender las piezas del acabado cerámico.

3. ¿Cuáles cambios o mejoras considera que se deben realizar?

Encontrar una verdadera solución de entrepiso y no simplemente una propuesta de losa.

4. ¿Cuál de los siguientes aspectos considera que es más importante mejorar en el sistema de entrepiso?

Vibraciones

Aislamiento acústico

Agrietamiento de pisos

Otro. ¿Cuál? Problemas en el acabado final, particularmente desprendimiento del piso cerámico.

5. Usualmente, ¿Qué tipo de estructura utiliza para la construcción de los entrepisos Plycem?

Estructura en perfiles RT

6. En los entrepisos construidos con este sistema, ¿ha existido algún tipo de problemas presentados y que sean motivo de queja o reclamo por parte del propietario?

Sí. (Favor responder la pregunta 7)

No

7. ¿Qué problemas se han presentado en los entrepisos que ha construido con el sistema Plycem y de qué forma los ha solucionado?

El problema presentado fue un desprendimiento del piso cerámico debido posiblemente a los problemas generados por vibración.

Comentarios

Los ingenieros necesitan recibir una mayor asesoría técnica por parte de la empresa Plycem, lo cual permitiría conocer acerca de las recomendaciones adecuadas para lograr un entrepiso sin problemas en cuanto a la condición de servicio.

Anexo 2. Datos técnicos del geotextil brindados por Amanco

Función Campos de Aplicación	Separación	Filtración	Drenaje en el Plano	Refuerzo	Geotextil PAVCO Sugerido
Vías	✓	✓	✓	✓	NT 1600, NT 1800, NT 2000 NT 2500, NT 3000, NT 4000 NT 5000, NT 6000, NT 7000 T 1050, T 1400, T 1700 T 2400, TR 4000
Repavimentación					REPAV 400, REPAV 450
Ferrovías	✓	✓	✓	✓	NT 4000, NT 5000, NT 6000 NT 7000, T 2100, T 2400, TR 4000
Subdrenes	✓	✓	✓		NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 3000
Muros de Contención				✓	T 1400, T 1700, T 2100, T 2400, TR 4000
Terraplenes	✓			✓	NT 3000, NT 4000, NT 5000 NT 6000, NT 7000 T 1700, T 2100, T 2400 TR 4000
Gaviones	✓	✓			NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 3000
Muelles y Puentes	✓	✓			NT 1800, NT 2000, NT 3000 NT 4000, NT 5000
Presas, Diques y Canales	✓	✓			NT 3000, NT 4000, NT 5000 NT 6000, NT 7000
Túneles		✓	✓		NT 2000, NT 3000, NT 4000 NT 5000, NT 6000, NT 7000
Rellenos Sanitarios y Embalses	✓		✓		NT 1600, NT 1800, NT 2000 NT 3000, NT 4000, NT 5000 NT 6000, NT 7000
Filtro para Bolsacretos	✓	✓			NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 3000

Anexo 3. Datos técnicos de los perfiles utilizados en el diseño de entrepisos Plycem

Perfil	Información acerca de los perfiles utilizados para el diseño de entrepisos Plycem (Sección Simple)									
	ALMA D (mm)	ALA B (mm)	LABIO d (mm)	Espesor t (mm)	Area (cm ²)	Peso/m (kg/m)	Longitud (cm)	I _x (cm ⁴)	M _n *Φ(kg-cm)	V _n *Φ(kg)
PE 5x10-20	100	50	12,7	0,85	1,86	1,45	244, 305, 610	30,63	10009	584
PE 5x15-20	150	50	12,7	0,85	2,28	1,79	610	78,03	19133	382
PE 3.8x75-18	75	38	15	1,2	2,00	1,57	610	17,49	10835	951
PE 50 x75-18	75	50	15	1,2	2,29	1,79	610	21,42	11378	951
PE 50x100-18	100	50	15	1,2	2,59	2,03	610	41,51	16527	1268
PE 50x150-18	150	50	15	1,2	3,19	2,50	610	106,89	28367	1132
PE 50X200-18	200	50	15	1,2	3,79	2,97	610	212,11	42230	831
PE 50x100-16	100	50	15	1,5	3,21	2,52	610	51,15	23599	1652
PE 50x150-16	150	50	15	1,5	3,96	3,11	610	132,10	40628	1981
PE 50x200-16	200	50	15	1,5	4,71	3,70	610	262,57	60566	1628
PE 50x200-14	200	50	15	1,9	5,93	4,65	610	328,28	77844	3178

Perfil	Información acerca de los perfiles utilizados para el diseño de entrepisos Plycem (Sección Doble)									
	ALMA D (mm)	ALA B (mm)	LABIO d (mm)	Espesor t (mm)	Area (cm ²)	Peso/m (kg/m)	Longitud (cm)	I _x (cm ⁴)	M _n *Φ(kg-cm)	V _n *Φ(kg)
PE 5x10-20	100	50	12,7	0,85	3,71	2,91	244, 305, 610	61,26	22234	1167
PE 5x15-20	150	50	12,7	0,85	4,56	3,58	610	156,06	38267	764
PE 3.8x75-18	75	38	15	1,2	4,00	3,14	610	34,99	21670	1902
PE 50 x75-18	75	50	15	1,2	4,57	3,59	610	42,83	22755	1902
PE 50x100-18	100	50	15	1,2	5,17	4,06	610	83,02	33055	2535
PE 50x150-18	150	50	15	1,2	6,37	5,00	610	213,78	56733	2265
PE 50X200-18	200	50	15	1,2	7,57	5,94	610	424,21	84460	1661
PE 50x100-16	100	50	15	1,5	6,42	5,04	610	102,31	47197	3304
PE 50x150-16	150	50	15	1,5	7,92	6,22	610	264,20	81256	3962
PE 50x200-16	200	50	15	1,5	9,42	7,39	610	525,14	121132	3255
PE 50x200-14	200	50	15	1,9	11,86	9,31	610	656,56	155688	6356

Anexo 4. Fotografías de las pruebas de colocación de cerámica sobre geotextil

Anexo 4.1 Primera prueba



Fotografía 1. Colocación del geotextil



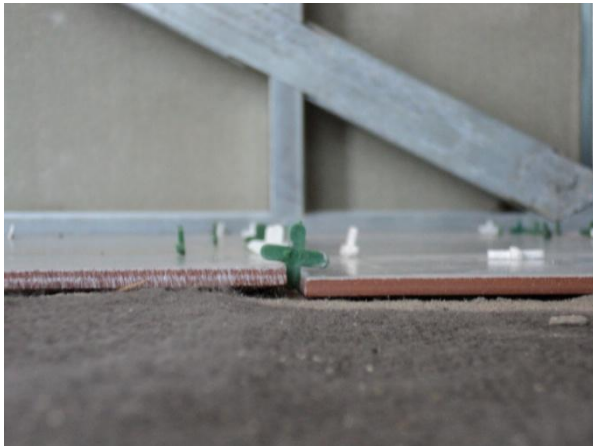
Fotografía 2. Fijación del geotextil mediante grapas



Fotografía 3. Zona de traslape del geotextil



Fotografía 4. Remojo del geotextil



Fotografía 5. Detalle del desnivel mostrado en la zona de traslape



Fotografía 7. Acabado final prueba 1



Fotografía 6. Colocación de fragua

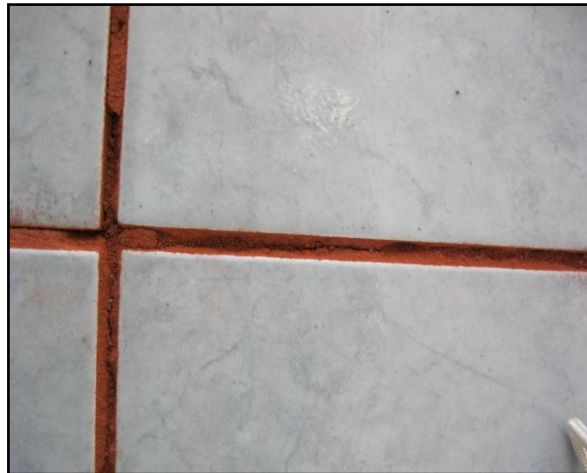
Anexo 4.2 Segunda prueba



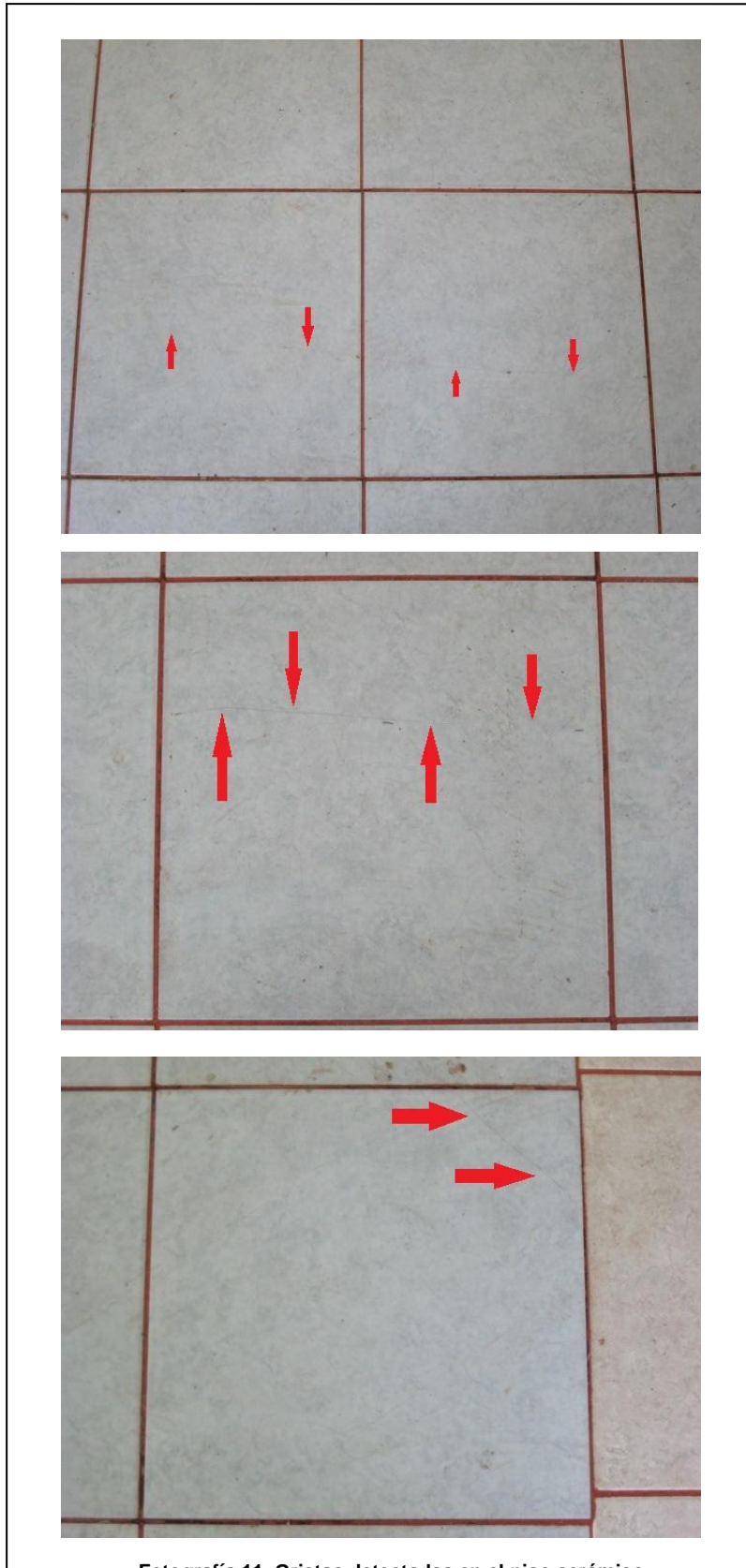
Fotografía 8. Colocación de cerámica sobre el área con geotextil



Fotografía 9 Colocación de cerámica sobre el área con geotextil



Fotografía 10. Grietas presentadas en la sisa



Fotografía 11. Grietas detectadas en el piso cerámico

Anexo 4.3 Tercera prueba



Fotografía 12. Instalación de láminas sobre perfiles



Fotografía 13. Colocación de geotextil



Fotografía 14. Colocación de pegamento sobre el geotextil



Fotografía 15. Instalación de piso cerámico



Fotografía 16. Distribución de la fragua sobre el área de piso.



Fotografía 17. Acabado final de la prueba 3

Anexo 4.4 Cuarta prueba



Fotografía 18. Instalación de la estructura de soporte



Fotografía 19. Fijación de las láminas



Fotografía 20. Colocación de pegamento sobre el geotextil



Fotografía 21. Geotextil adherido a la lámina Plystone



Fotografía 23. Colocación de fragua



Fotografía 22. Instalación del piso cerámico



Fotografía 24. Acabado Final prueba 4

Anexo 4.5 Quinta prueba



Fotografía 25. Detalle de la estructura de soporte



Fotografía 26. Fijación de las láminas



Fotografía 27. Adherencia del geotextil



Fotografía 28. Instalación del piso cerámico



Fotografía 29. Acabado Final Prueba 5

Referencias

Murray, T et al. 1997. *Floor Vibrations due to human activity*. **Steel Design Guide Series**, AISC.71p

Parnell, R. 2008. **VIBRATION SERVICEABILITY AND DYNAMIC MODELING OF COLD-FORMED STEEL FLOOR SYSTEMS**. Thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Civil Engineering. University of Waterloo. Canadá. 139p.

Morales, G. 2009. **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN COMPARATIVA DE ENTREPISOS METÁLICOS ANTE VIBRACIONES GENERADAS POR CARGAS DE SERVICIO**. Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 51p.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. 2002. **CODIGO SISMICO DE COSTA RICA 2002**. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. 288p.

Elhajj, N. 2000. **PRESCRIPTIVE METHOD FOR RESIDENTIAL COLD-FORMED STEEL FRAMING**. Edición año 2000: 199p.

PatagoniaSteel.
<http://www.patagoniasteel.com.ar/casasdeacero.htm>

American Steel Frame Services, Inc.
<http://www.americansteelframeservices.com/>

Stramit Building Products
<http://www.stramit.com.au/>