

# Matrices comparativas técnico-económicas para los tipos de entrepisos más usados en Costa Rica



# Abstract

The floors probably could be one of the most expensive elements in the construction of a building, that is the reason that upgrading them to the maximum has given as result a great variety of technical solutions. The project will consist in analyze the alternatives, comparing them between so much for its structural behavior (deformation, vibration, own weight), as his cost (materials, manpower, direct costs).

This great variety of floors, makes think about several materials used alone or combining between them. Some examples are the concrete, iron, wood, sheets of galvanized iron, and others.

For the design, the last theory is the method to use, obtaining this way minor sections, and taking advantage to the maximum of the capacity of the elements.

At the end of the job, data tables and graphs are presented as help of the design as well as some examples to explain the utilization of these helps and conclude that inside the technical-economical comparative analysis, there is no floor more adequate that other without before the designer studies the kindness of every system and the destiny of floor for its selection.

Key words: floor, design, deformation, vibration, cost.

# Resumen

Los entresijos quizás son uno de los elementos más costosos de la construcción de un edificio, por lo que el tratar de optimizarlos al máximo, ha dado como resultado una gran variedad de soluciones técnicas. El proyecto consistirá en analizar estas alternativas, comparándolas entre ellas tanto por su comportamiento estructural (deformación, vibración, peso propio), como por su costo (materiales, mano de obra, costos directos).

Esta gran variedad de entresijos, hace pensar en varios materiales, usados solos o en una combinación entre ellos. Ejemplos son el concreto, acero, la madera, láminas de hierro galvanizado, entre otros.

Para el diseño, la teoría última es el método a usar, obteniendo así menores secciones y aprovechando al máximo la capacidad de los elementos.

Al final del trabajo, se presentan tablas y gráficos como ayudas de diseño, así como algunos ejemplos para explicar la utilización de estas ayudas y se concluye con que dentro del análisis comparativo técnico-económico de los entresijos, no hay un entresijo más adecuado que otro, sin que antes el diseñador estudie las bondades de cada sistema y el destino de piso para su selección.

Palabras claves: entresijo, diseño, deformaciones, vibraciones, costos.

# **Matrices comparativas técnico-económicas para los tipos de entrepisos más usados en Costa Rica**

DIEGO ALFREDO VALVERDE GUTIÉRREZ

Junio del 2005

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>PREFACIO .....</b>                          | <b>1</b>  |
| <b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>                 | <b>2</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                       | <b>4</b>  |
| <b>METODOLOGÍA.....</b>                        | <b>5</b>  |
| REQUISITOS GENERALES.....                      | 6         |
| TIPOS DE ENTREPISOS A ANALIZAR .....           | 9         |
| DISEÑO Y SELECCIÓN DE ENTREPISOS .....         | 11        |
| DEFORMACIÓN Y VIBRACIÓN DE<br>ENTREPISOS.....  | 16        |
| PRESUPUESTO DE LOS TIPOS DE<br>ENTREPISOS..... | 18        |
| <b>RESULTADOS .....</b>                        | <b>19</b> |
| <b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>         | <b>66</b> |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>                       | <b>71</b> |
| <b>APÉNDICES.....</b>                          | <b>73</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                             | <b>74</b> |
| <b>REFERENCIAS .....</b>                       | <b>75</b> |

# Prefacio

El desafío actual de todo diseñador es construir con calidad y al más bajo precio, sin descuidar el confort humano, con deformaciones y vibraciones pequeñas poco perceptibles por el ser humano.

Se analizarán por ello la mayoría de entrepisos que el mercado ofrece, asimismo aquéllos que el diseñador proponga, para ser utilizados en una construcción. Se calcularán las deflexiones máximas, vibraciones y costos para cada tipo, con el fin de poder tener un criterio de selección.

Es muy común, que el ingeniero encargado del diseño no haga un análisis comparativo para seleccionar el sistema de entrepisos que mejor le convenga, sino que simplemente se decide por uno y lo utiliza. Por tanto, se presentará un estudio completo para que estudiantes de ingeniería, puedan usar el documento y comprender el diseño y análisis de un entrepiso, así como ingenieros, profesionales interesados y empresas que proveen los diferentes tipos de entrepisos y puedan de esta manera tener una fuente de consulta, en donde se refleje cuál es el entrepiso que mejor se comporta funcional y económicamente, bajo ciertas condiciones de carga.

Como objetivo del proyecto está el hacer un análisis comparativo técnico-económico de los tipos de entrepisos comunes en Costa Rica.

Se agradece a aquellos asesores técnicos Ing. Randall Aguilar de la empresa EXSTROM, Ing. Hubber Guzmán (ESCOSA), Ing. Alina Coto (EUROBAU), quienes brindaron información valiosa, muy especialmente a mi profesor guía Ing. Mauricio Carranza quien supo guiarme y asesorarme para que este proyecto se haya concretado.

# Resumen ejecutivo

Debido a que el diseñador estructural siempre que va a calcular los elementos estructurales de una edificación, se ve enfrentado a decidir cual sistema de entrepiso va a usar. En este estudio se presentaron los tipos de entrepisos más comunes usados comúnmente en Costa Rica, junto con sus costos y su funcionalidad, de manera tal que se pudiesen comparar y de este modo seleccionar el más adecuado entre ellos, bajo ciertos parámetros.

Este proyecto lo dedico, en primera instancia, a Dios quien me dio la sabiduría y la fortaleza necesarias para desarrollar el tema, a mi familia, especialmente por darme el apoyo durante mi carrera y durante todos los meses en los cuales se desarrolló este estudio.

Se elaboró un pequeño manual con tablas y gráficos, de forma tal que los estudiantes de la Escuela de Ingeniería en Construcción, ingenieros y personas interesadas, puedan usarlo como una guía de diseño, además en él se explican los conceptos básicos para diseño y selección de entrepisos.

El objetivo principal de este trabajo, como se mencionó anteriormente, fue hacer un análisis compartido de algunos entrepisos, bajo ciertos parámetros propuestos inicialmente. De manera que se escogieron las cargas actuantes sobre el entrepiso.

Como el Código Sísmico de Costa Rica 2002, propone para diferentes destinos de piso una cierta carga temporal, se usaron cargas de  $250 \text{ kg/m}^2$ ,  $500 \text{ kg/m}^2$  y  $800 \text{ kg/m}^2$ , abarcando todos los destinos de piso. Las cargas temporales más el peso propio, las cargas permanentes de acabados de piso, sistemas electromecánicos, divisiones livianas, muebles u otras consideraciones, fueron las cargas de diseño.

La geometría en planta del piso fue otro parámetro que se tomó en consideración para realizar las comparaciones. Se propusieron longitudes de 2m ,3m ,4m, 5m, 6m, distancias muy comunes en edificaciones nuestras.

Se efectuó la selección de los tipos de entrepisos, logrando que fuesen los más utilizados en Costa Rica. Primero la losa monolítica, losa compuesta, losacero, entrepisos pretensados EUROBAU y PC, entrepisos livianos ESCOSA Y PBC.

La losa monolítica se diseñó con el método de coeficientes propuestos por el ACI (American Concrete Institute). En la losa, por ser de dos direcciones, se distribuye la carga como un porcentaje de ésta por la distancia al cuadrado. Se determina el momento máximo positivo así como el negativo y se diseña como una viga de un ancho unitario obteniendo el área de acero requerida.

La losa compuesta consta de dos materiales (acero y concreto). La sección de acero resiste las fuerzas en tensión y el concreto fuerzas en compresión. De forma tal, que se diseñó como una viga compuesta y asumiéndose que durante el proceso constructivo se apuntaló, este efecto logra, que sea hasta que el concreto alcance un 75% de su resistencia, que empiece a esforzarse la estructura, no antes, entonces la sección de acero, se disminuye, porque no tiene que soportar ninguna carga durante este proceso constructivo.

Los demás sistemas de entrepiso fueron seleccionados de las tablas que el fabricante proporciona en sus manuales técnicos, facilitando los cálculos, sólo si se constató que las deformaciones y vibraciones fueran menores a los límites admisibles (longitud de viga entre 360 para deformación y un 0.5% de la gravedad para la vibración), como se determinaron en los entrepisos mencionados anteriormente.

En algunos casos se utilizaron en diafragmas para evitar grandes deformaciones o vibraciones.

Se presupuestó cada tipo de entrepiso, fijando los costos de materiales, mano de obra, cargas sociales, materiales, utilidad y administración, además se obtuvieron los tiempos de construcción.

La indagación anterior, proporcionó mucha información de provecho para el análisis, de manera tal, que no se puede descartar un tipo de entrepiso en un rápido análisis ya que cada uno de ellos posee sus bondades así como sus desventajas.

Según sean los requerimientos de diseño así un entrepiso es más adecuado que otro. Si se desea un entrepiso liviano, o que vibre poco, que la deformación sea mínima, que el costo sea bajo o como en muchos casos que se construya en el menor plazo, se escoge el parámetro que se considere de mayor importancia y decide el tipo de entrepiso.

Es así, como, se concluye en el informe, que los gráficos y tablas desarrolladas sirven de herramientas, ya sea para el diseño, selección o presupuestación de un entrepiso. Además se definen las diferentes alternativas a estudiar para su selección final y decisión de cuál debe ser el más adecuado.

# Introducción

Cuando se decide construir una edificación de varios niveles, el ingeniero estructural debe de seleccionar el sistema de entrepiso más adecuado para ciertas condiciones y factores de diseño, de manera tal que en este proyecto se presentan los conceptos fundamentales, procedimientos de diseño y selección de entrepisos, así como cuadros comparativos de los diferentes entrepisos utilizados comúnmente en Costa Rica, identificando las ventajas y desventajas de uno u otro, y con ciertos criterios de comparación, ejemplo: el peso propio de cada sistema de entrepiso, de cuánto se deforman o vibran ante una cierta magnitud de carga, o por el costo se identifique el entrepiso que mejor se comporte, tanto estructuralmente como económicamente.

El tema de este proyecto se encuentra dentro del área de las estructuras, siendo indispensable tener algún conocimiento sobre mecánica de materiales y análisis estructural. En resumen se obtuvieron tablas de diseño, precios unitarios y una justificación válida para la escogencia, que cumplan con los requisitos mínimos y se encuentren bajo la normativa y límites admisibles.



# Metodología

Para la elaboración del proyecto se recolectó la mayor cantidad de información necesaria para desarrollarlo. Se visitaron las empresas que venden entrepisos y se les pidió asesoramiento así como manuales técnicos, necesarios para la selección y diseño de los entrepisos.

Para el caso de los entrepisos no prefabricados, que deben ser diseñados para ser construidos en obra, por ejemplo los entrepisos compuestos y la losa de concreto, se trató en lo posible encontrar la mayor cantidad de bibliografía que trate sobre estos temas y de este modo extraer las ecuaciones necesarias para el diseño.

Superados los pasos anteriores se procedió con el desarrollo del proyecto siguiendo los siguientes pasos: selección de los entrepisos a analizar, cálculo de las cargas actuantes, deformaciones, vibraciones, elaboración de un presupuesto para cada tipo de entrepiso, descripción y de esta manera generar las matrices comparativas (tablas, gráficos) necesarias para elegir el tipo de entrepiso que mejor se comporte tanto funcionalmente como económicamente para las condiciones de cargas y luces impuestas

# Requisitos generales

Para iniciar el análisis y diseño de los diferentes entresijos se deben estimar las cargas tanto permanentes como temporales, las longitudes de claros entre apoyos, identificar las características y propiedades de los materiales.

## Cargas

Las fuerzas que actúan sobre un entresijo y que se consideran para su diseño, son básicamente las cargas gravitacionales. Éstas se clasifican en cargas permanentes y cargas temporales. Las cargas permanentes incluyen el peso propio de la estructura y de los sistemas. En adición al peso del entresijo, se debe incluir el peso de componentes no estructurales (sistemas y componentes arquitectónicos, eléctricos y mecánicos). Las cargas temporales son aquellas que pueden o no estar actuando sobre el entresijo en cualquier momento y su posición puede no ser fija. Ejemplos de cargas temporales son los muebles, el equipo y los ocupantes de los edificios. En general, la magnitud de una carga viva no está tan bien definida como la de una carga muerta y usualmente el valor está definido en los códigos. Para el análisis comparativo del trabajo se eligieron tres casos de carga temporal descritos en la tabla 1.2 cubriendo así casi todos los destinos de piso que el código sísmico de Costa Rica presenta.

Tabla 1 Cargas muertas consideradas

| Descripción                     | Carga permanente (kg/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Ductos mecánicos                | 10                                    |
| Cielos de gypsum                | 25                                    |
| Terrazo (25 mm), concreto 50 mm | 120                                   |

Tabla 2 Cargas temporales consideradas (CSCR 02)

| Destino del piso  | Carga temporal (kg/m <sup>2</sup> ) |
|---|-------------------------------------|
| Habitación, oficinas, despachos, laboratorios, salones de lectura, aulas, salas de juegos y similares | 250                                 |
| Comercios, bodegas, fábrica de mercancía ligera, bibliotecas, salones de archivo.                     | 500                                 |
| Comercios, bodegas y fábricas de mercancía pesada   | 800                                 |

## Factores de carga

Los entresijos al ser diseñados por teoría última, las cargas deben afectarse por un factor de carga especificado en el código sísmico de Costa Rica (CSCR 02). Al no considerarse el efecto del sismo y no actuar sobre el entresijo cargas de empuje, no se toman en cuenta las demás combinaciones de carga.

$$CU = 1.2 CP + 1.6 CT \quad (\text{ec 1.1.})$$

donde:

CU = carga última  
 CP = carga permanente  
 CT = carga temporal

## Dimensiones

La geometría en planta del entresijo, se definió de la siguiente manera: longitudes de la luz libre en ambas direcciones de 2m, 3m, 4m, 5m y 6m, con el fin de formar paneles cuadrados en donde la relación entre ancho y largo sea de 1. Los

entrepisos estarán apoyados sobre vigas y muros en todo el perímetro.

## Diafragma

Diafragma es un sistema estructural ubicado en un plano horizontal, o casi horizontal, capaz de transmitir fuerzas gravitacionales y sísmicas a los sistemas sismo-resistentes.

Como diafragma flexible, se define el diafragma que en el proceso de transmisión de las fuerzas gravitacionales y sísmicas, experimenta deformaciones significativas en su propio plano y que no son capaces de distribuir las fuerzas de un sismo a los sistemas sismo-resistentes. En vivienda, aquella parte de la casa, ya sea un techo o un entrepiso que no es capaz de transmitir fuerzas de torsión a los elementos resistentes que lo soportan; cuando están presentes las fuerzas del sismo son distribuidas en proporción al área tributaria que le corresponde a cada elemento. Clasifican como tales los siguientes sistemas: sistemas de pisos de madera apoyados en viguetas metálicas o de madera.

Diafragma rígido el que en el proceso de transmisión de las fuerzas gravitacionales y sísmicas, no experimenta deformaciones significativas en su propio plano. En, vivienda, aquella parte de la edificación, ya sea un techo o entrepiso, que es capaz de transmitir fuerzas de torsión a los elementos resistentes que lo soportan.

Las losas de entrepiso, siempre y cuando posean la rigidez y resistencia adecuadas, se pueden considerar como diafragmas infinitamente rígidos en su plano, capaces de transmitir las fuerzas sísmicas a los sistemas sismo-resistentes.

En la medida de lo posible, los entrepisos deben ser analizados y diseñados para que se comporten como diafragmas rígidos en su plano, capaces de distribuir las fuerzas sísmicas entre los sistemas sismo-resistentes, de acuerdo con sus respectivas rigideces y capacidades. El profesional responsable del diseño debe verificar que la rigidez y capacidad estructural de los diafragmas sea la adecuada para cumplir con estos requerimientos. Los diafragmas de entrepiso se consideran componentes frágiles y, por consiguiente deben diseñarse para resistir los

cortantes y torsores incrementados por el valor de sobre-resistencia. Cuando los entrepisos no se diseñen como diafragmas rígidos, cada uno de los sistemas sismo-resistentes debe ser capaz de resistir, de manera individual, las fuerzas sísmicas correspondientes a sus respectivas áreas tributarias.

En el caso de análisis del presente trabajo todos los entrepisos se consideran rígidos, debido a los materiales con que se construyen.

## Detalle de Refuerzo

### Refuerzo Longitudinal

Debe colocarse refuerzo longitudinal en los elementos estructurales de concreto reforzado para resistir tensión axial, compresión axial, tensión y compresión por flexión, y los refuerzos inducidos por variación de temperatura y retracción de fraguado en el concreto.

### Acero mínimo

La cuantía mínima para el refuerzo por retracción de fraguado y temperatura debe ser 0.002.

### Anclaje final

En los bordes de la losa, el refuerzo por retracción de fraguado y temperatura debe terminar en un gancho estándar. El doblaje del gancho debe colocarse tan cerca de la cara exterior del concreto como lo permitan los requisitos de recubrimiento del refuerzo. La distancia mínima entre la cara exterior del concreto y la sección crítica donde el gancho desarrolla toda su resistencia no debe ser menor de 25 veces el diámetro de la varilla.

### Empalmes por traslape

La longitud mínima de traslape para empalmar barras de refuerzo debe ser 50 veces el diámetro de la varilla. El empalme por traslape de mallas

electrosoldadas debe sobreponer por lo menos dos alambres transversales de cada una de las mallas, y la distancia traslapada no debe ser menor de 250 mm.

# Tipos de entrepisos a analizar

Losas o placas de entrepiso son los elementos rígidos que separan un piso de otro, contruidos monóticamente o en forma de vigas sucesivas apoyadas sobre los muros o vigas estructurales.

Existen varios sistemas de entrepisos, y el diseñador estructural debe contemplar varias alternativas, más adelante se estudiarán, para que la selección final considere las ventajas y desventajas de cada sistema.

## Losa monolítica

Una losa es una amplia placa plana, generalmente horizontal, cuyas superficies superior e inferior son paralelas o casi paralelas entre sí. Puede estar apoyada en vigas de concreto reforzado (y se vacía por lo general en forma monolítica con estas vigas), en muros de mampostería o de concreto reforzado, en elementos de acero estructural, en forma directa en columnas o en el terreno en forma continua.

Este sistema consiste en una cuadrícula de vigas en las dos direcciones principales en planta, con una losa de concreto en el espacio entre ellas. Las vigas se localizan en las líneas o ejes de columnas, salvando la distancia entre ellas. La losa tiene una altura menor que las vigas y está sostenida por ellas. La losa puede tener voladizos por fuera de la viga perimetral.

Es importante resaltar que se pueden usar vigas intermedias, apoyadas sobre las vigas perimetrales. Se pueden usar una o varias vigas en cada vano. Las vigas intermedias pueden utilizarse en una dirección o en las dos direcciones. El uso de muchas vigas intermedias conduce al sistema de viguetas.

En este sistema cada uno de los elementos tiene la altura y el ancho apropiados para cumplir con los requisitos de resistencia y servicio; por ello tienen un peso propio relativamente bajo. El sistema se puede usar con luces de cualquier longitud, puede adaptarse a

cualquier distribución en planta y se pueden localizar ductos y perforaciones sin mayores problemas.

La altura de los elementos resultantes puede ser grande si se emplea un número pequeño de elementos; pero el tratar de reducir esta altura implica una formaleta cada vez más elaborada debido al número de elementos. Puede requerir de cielo raso en usos de oficinas y apartamentos.

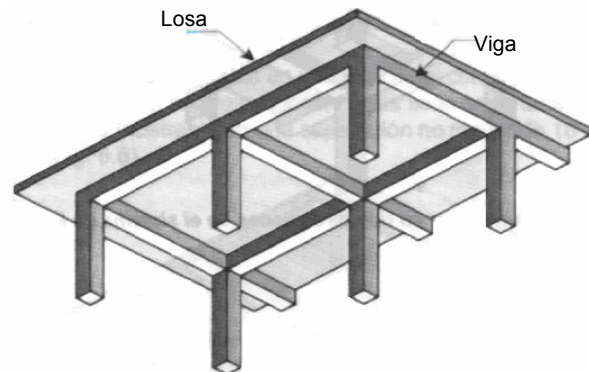


Figura 1. Sistema de losa de concreto sobre vigas

## Losa compuesta

Se conoce por losa compuesta, a aquella estructura que está constituida por la combinación de dos o más materiales tales como: acero, concreto, y lámina de acero.

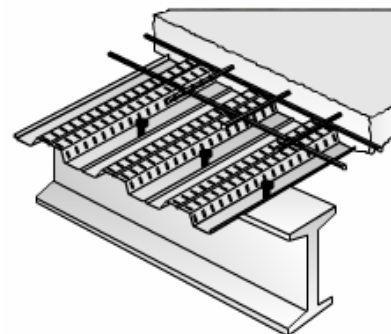


Figura 2. Sistema entrepiso losa compuesta

También se denomina de este modo a aquellos elementos compuestos por un mismo material, pero con diferente resistencia, módulo de elasticidad y/o diferentes etapas de construcción. El comportamiento de las estructuras compuestas está influenciado en una gran proporción por las propiedades de los materiales que se combinan, ya que de su adecuada combinación depende el óptimo comportamiento de los elementos de los cuales ellos forman parte.

La diferencia entre la resistencia y rigidez de los materiales que intervienen en el elemento compuesto afectan la distribución de cargas de la estructura. La resistencia y rigidez intrínseca del acero atraen proporcionalmente más carga que el concreto. Para tomar tales diferencias es necesario transformar la sección en otra que asuma propiedades comunes para toda su geometría, transformando las propiedades de los dos materiales diferentes en uno solo, para ello se emplean los coeficientes de relación de módulos de elasticidad y resistencia.

## Sistema con base en viguetas

Consiste en una serie de viguetas paralelas, apoyadas sobre vigas de carga. Las vigas de carga se localizan en las líneas o ejes de columnas, salvando la distancia entre ellas. Una losa maciza delgada cubre la distancia entre viguetas. La distancia libre entre viguetas, medida por debajo de la losa, no debe de exceder 80 centímetros.

Cuando las viguetas tienen la misma altura de las vigas se puede utilizar una formaleta plana apoyada sobre puntales. Para viguetas de menor altura que las vigas se requiere una formaleta más elaborada. Para crear los vacíos se emplean bloques o cajones de diferentes formas y materiales. Entre los más populares están: elementos permanentes o removibles de madera, elementos removibles recubiertos con metal, fibra de vidrio, plásticos o espumas de estireno o rellenos con bloques de concreto o arcilla.

Con el fin de mejorar las características de distribución de las cargas y evitar que cargas concentradas sean soportadas por una sola vigueta, se emplean elementos transversales

llamados diafragmas, con una separación no mayor de 10 veces la altura total de la vigueta, sin exceder los 4 metros.

Las viguetas pueden salvar luces medianas a grandes, con un peso propio relativamente bajo. Es fácil ubicar ductos y perforaciones pequeñas. Para cargas temporales o cargas permanentes de magnitud apreciable. Es difícil cumplir con holgura los requisitos de funcionamiento relacionados con deflexiones debido a la altura relativamente pequeña del sistema. La distancia libre entre viguetas depende del espesor de la losa superior y del número de viguetas, lo cual le permite al diseñador gran libertad en la escogencia de las dimensiones apropiadas.

El sistema de viguetas requiere más mano de obra que otros sistemas. Para disposiciones oblicuas en planta, tanto el diseñador como la construcción son más costosos que en otros sistemas. Para edificaciones destinadas a oficinas o apartamentos el sistema requiere de cielo raso, o un afinado inferior de concreto lo que a su vez requiere de elementos de aligeramiento permanentes. Las perforaciones o ductos grandes interrumpen varias viguetas, cuya carga debe ser transferida a otras viguetas, lo que complica el diseño y la construcción.

## Sistema de entrepisos prefabricados

Consiste en losas elaboradas con elementos de concreto prefabricado: en este caso, bloques huecos de concreto o bloques de poliestireno, se apoyan en un sistema de vigas (también prefabricadas) para luego recibir un recubrimiento homogéneo de concreto preparado in situ. Según sea el tipo de entrepiso prefabricado, así serán las cargas, luces, utilización o no de diafragmas y proceso constructivo que requieran. En el anexo se adjuntan los manuales técnicos de las empresas analizadas en este proyecto.

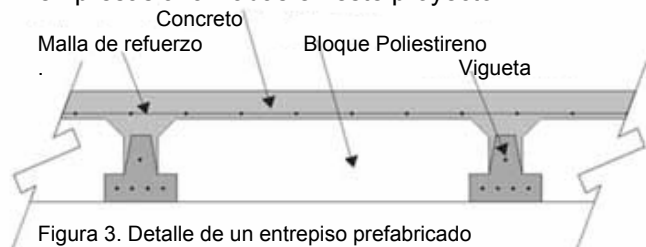


Figura 3. Detalle de un entrepiso prefabricado

# Diseño y selección de entrepisos

Existen varias posibilidades de sistemas de entrepisos para escoger, algunos deben de diseñarse y otros el fabricante proporciona información técnica de diseño para escoger el tipo de vigueta a utilizar.

## Losa monolítica

Para el diseño de una losa de concreto en dos direcciones, se utilizará el método de los coeficientes. Éste utiliza tablas de coeficientes de momento que cubren varias condiciones. Estos coeficientes se basan en análisis elásticos pero también tienen en cuenta la redistribución inelástica. En consecuencia, el momento de diseño en cada dirección es menor en cierta cantidad que el momento máximo elástico en esa dirección. Los momentos en las dos direcciones se calculan a partir de:

$$M_a = C_a w l_a^2 \quad (\text{ec } 1)$$

$$M_b = C_b w l_b^2 \quad (\text{ec } 2)$$

donde

$C_a, C_b$  = coeficientes de momentos tabulados.

$w$  = carga uniforme.

$l_a, l_b$  = longitud libre en la dirección corta y larga.

En la región central del panel de losa el refuerzo positivo a flexión se debe determinar a partir de los valores de resistencia requerida a momento positivo. A una distancia igual a 1/8 medida desde la cara de cualquier apoyo interior, se puede suspender hasta la mitad del refuerzo positivo a flexión requerido en el centro del vano correspondiente. Se puede disminuir linealmente el refuerzo positivo a flexión requerido en la región central del panel, hasta un tercio de su valor en el borde del panel, pero no por debajo del valor

requerido por retracción de fraguado y temperatura.

El refuerzo negativo a flexión en los bordes de apoyo de los paneles se debe determinar a partir de los valores de resistencia requerida por momento negativo. A una distancia igual a 1/5 medida desde la cara de cualquier apoyo interior, se puede suspender hasta la mitad del refuerzo negativo a flexión requerido en el apoyo. A una distancia igual a 1/4 medida desde la cara de cualquier apoyo exterior, se puede suspender todo el refuerzo negativo a flexión requerido en el apoyo. Se puede disminuir gradualmente el refuerzo negativo a flexión requerido en la región central del panel, hasta un tercio de su valor en el borde del panel, pero no por debajo del valor requerido por retracción de fraguado y temperatura.

La cantidad de acero requerido a flexión se calcula a partir de:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * Mu}{\phi * 0.85 * f'c * b}} \quad (\text{ec } 3)$$

$$A_s = 0.85 * \frac{f'c * b * a}{f_y} \quad (\text{ec } 4)$$

donde

$a$  = altura del bloque rectangular equivalente de esfuerzos.

$d$  = altura efectiva de la sección, medida como la distancia entre la fibra extrema a compresión y el centroide del refuerzo a tensión.

$Mu$  = momento mayorado en la sección.

$\phi$  = factor de reducción de resistencia.

$f'c$  = resistencia especificada a la compresión del concreto.

$f_y$  = esfuerzo de fluencia especificado del refuerzo.

$b$  = ancho de la sección del elemento

## Temperatura y retracción del concreto

El concreto se retrae a medida que la pasta de cemento se endurece. Las losa y otros elementos están por lo general rígidamente unidos a otras partes de la estructura y no pueden contraerse libremente; esto genera esfuerzos de tensión conocidos como esfuerzos de retracción de fraguado. Es decir, la losa tiende a contraerse y, si está restringida para hacerlo, se generan esfuerzos internos de tensión.

Puesto que el concreto es débil a tensión, es muy probable que estos esfuerzos de temperatura y retracción de fraguado produzcan agrietamientos. El acero exigido por el Código ACI para control de grietas de retracción y temperatura también representa el refuerzo mínimo admisible en la dirección de la luz para losas en una dirección es de  $\rho = 0.0020$ .

## Control de deflexiones

Los cálculos de las deflexiones se basan en el diagrama parabólico de momentos, con una ordenada máxima  $M$  en el centro de la luz producto de la carga.

$$\Delta_l = \frac{3}{32} \frac{M_b l_b^2}{E_c I_{eff}} \quad (\text{ec } 5)$$

$$\Delta_d = \frac{1}{16} \frac{M_b l_b^2}{E_c I_{eff}} \quad (\text{ec } 6)$$

donde

$\Delta_d$  = Deformación debido a la carga muerta.

$\Delta_l$  = Deformación debido a la carga viva.

$M_b$  = Momento máximo.

$l_b$  = Longitud libre en la dirección larga.

$E_c$  = Módulo de elasticidad.

$I_{eff}$  = Momento de inercia de la franja unitaria.

Las deflexiones de la losa calculadas según las ecuaciones anteriores, son las deflexiones

elásticas iniciales que se producen inmediatamente después de la aplicación de la carga. Para cargas sostenidas, como las debidas a cargas muertas, se recomienda que el aumento de la deflexión con el tiempo se determine con un multiplicador dependiente del tiempo  $\epsilon = 3$ . Ésta indica que la mitad de la deflexión dependiente del tiempo habrá ocurrido en tres meses; sólo la mitad restante se presentará después de la instalación de particiones u otros elementos.

$$\Delta_d = 3 * \frac{1}{2} * \left[ \frac{1}{16} \frac{M_b l_b^2}{E_c I_{eff}} \right] \quad (\text{ec } 7)$$

donde

$\Delta_d$  = Deformación debido a la carga muerta considerando el incremento dependiente del tiempo.

$$\Delta_t = \Delta_l + \Delta_d \quad (\text{ec } 8)$$

donde

$\Delta_t$  = Deformación total, sumatoria deformación debida a carga viva más carga muerta.

## Losa sección compuesta

### Apuntalamiento temporal

Este elemento provisional debe emplearse en algunas ocasiones con el objeto de evitar las deflexiones mayores a las admisibles o cuando el perfil, trabajando por sí solo, no dé las capacidades de carga para la luz total, debido a la colocación del concreto fresco, formaleta y otras cargas propias del proceso constructivo. Garantiza que la carga permanente y carga temporal serán tomadas por la sección compuesta. Para efectos del análisis, se consideran apuntalamientos en los puntos intermedios de la luz, con el fin de reducir los esfuerzos y deformaciones de la sección de acero mientras el concreto fragua. De emplearse el apuntalamiento temporal, éste debe permanecer hasta que el concreto haya adquirido un 75% de



su resistencia a la compresión a los 28 días. En ese instante la sección comienza a trabajar como compuesta y todas las cargas son resistidas por la sección compuesta. El uso de apuntalamientos temporales permite obtener perfiles más livianos generando ahorro en los costos.

## Ancho efectivo

Los anchos efectivos de las secciones compuestas son empleados para estimar qué porción de la losa actúa como parte de la viga. Cuando los perfiles se encuentran cerca uno del otro la distribución de esfuerzos de flexión en la zona de compresión es bastante uniforme, mientras que cuando la distancia entre los perfiles aumenta, la distribución de esfuerzos varía mucho y su distribución es no lineal a través del perfil. Para abordar el problema se establece un ancho efectivo menos ancho que la losa real pero con esfuerzos constantes, se supone que este ancho efectivo soporta la misma compresión total que una losa real.

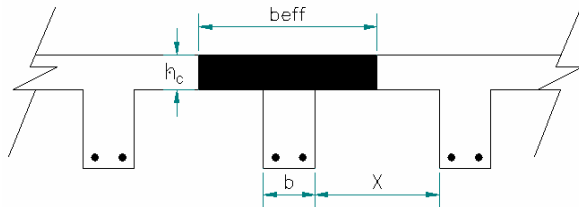


Figura 4. Ancho efectivo del ala para vigas con losa a ambos lados

Para

$$b_{eff} = \min \begin{cases} \frac{l}{4} \\ 16 * h_c + b \\ X + b \end{cases} \quad (\text{ec 9})$$

donde

$b_{eff}$  = Ancho efectivo del ala a compresión en una sección T.

$l$  = Longitud libre de la luz libre dirección larga.

$h_c$  = Espesor del ala en una sección T

$X$  = Distancia libre entre vigas

$b$  = Ancho del alma

## Relación Modular

El coeficiente  $n$  depende del material predominante con el cual se va a realizar el diseño de la sección compuesta. Por ejemplo, en una sección compuesta con viga metálica y losa de hormigón, la sección transformada predominante es la de acero, por lo tanto, la parte de hormigón se transforma en "sección de acero equivalente". Esto implica que la distancia transversal del concreto deberá ser dividida por el coeficiente  $n$ .

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (\text{ec 10})$$

$$n_{ef} = \frac{E_s}{\alpha \cdot E_c} \quad (\text{ec 11})$$

$$n_{dinamico} = \frac{E_s}{1.35E_c} \quad (\text{ec 12})$$

donde

$n$  = Radio modular.

$n_{ef}$  = Radio modular considerando la sección agrietada.

$n_{dinamico}$  = Radio modular dinámico.

$E_s$  = Módulo de elasticidad del acero.

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto.

$\alpha$  = Coeficiente de agrietamiento.

## Centroide y Momentos de inercia

Para la construcción de una losa compuesta, se puede utilizar una lámina y viga de acero, unidas por medio de un dispositivo mecánico llamado conector de cortante, creando con esto un solo cuerpo estructural. La losa de concreto en el patín de la viga compuesta toma las fuerzas en

compresión, mientras que la sección del acero, soporta los esfuerzos de tensión.

Pueden presentarse dos condiciones de distribución de esfuerzos:

- a) Cuando el eje neutro cae dentro del espesor de la losa de concreto

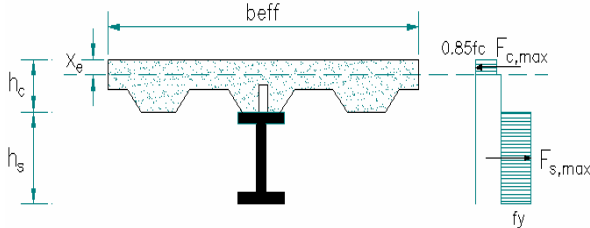


Figura 5. Distribución de esfuerzos plásticos con eje centoidal en la losa de concreto

Para  $x_e < h_c$

$$\frac{1}{n} \frac{b_{eff} * x_e^2}{2} + A_s * x_e - A_s \left[ \frac{h_s}{2} + h_c \right] = 0 \quad (\text{ec } 13)$$

$$I = \frac{1}{n} \frac{b_{eff} * x_e^3}{3} + I_x + A_s (h_s + h_c - x_e) \quad (\text{ec } 14)$$

donde

$b_{eff}$  = Ancho efectivo del ala a compresión en una sección T.

$n$  = Radio modular

$x_e$  = Centroide total de la sección compuesta.

$A_s$  = Área de la sección de acero.

$h_s$  = Altura de la sección de acero.

$h_c$  = Espesor del ala en una sección T

$I$  = Inercia de la sección.

Indica que el concreto debe ser capaz de soportar toda la carga de compresión.

- b) Cuando el eje neutro queda por debajo de la losa, dentro del acero.

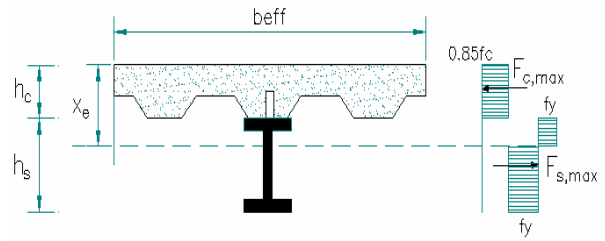


Figura 5. Distribución de esfuerzos plásticos con eje centoidal en la viga de acero

Para  $x_e > h_c$

$$x_e = \frac{h_c}{2} + \frac{A_s}{A_s + \frac{h_c * b_{eff}}{n}} \left( \frac{h_s + h_c}{2} \right) \quad (\text{ec } 15)$$

$$I = \frac{b_{eff} * h_c}{n} \left( x_e - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{b_{eff} * h_c^3}{12 * n} + I_x + A_s \left( \frac{h_s}{2} + h_c - x_e \right)^2 \quad (\text{ec } 16)$$

donde

$b_{eff}$  = Ancho efectivo del ala a compresión en una sección T.

$n$  = Radio modular

$x_e$  = Centroide total de la sección compuesta.

$A_s$  = Área de la sección de acero.

$h_s$  = Altura de la sección de acero.

$h_c$  = Espesor del ala en una sección T

$I$  = Inercia de la sección.

Indica que la compresión afecta también al perfil de acero.

## Análisis inelástico

La sección compuesta puede diseñarse mediante el análisis inelástico, éste se basa en los criterios de resistencia que requieren el empleo de coeficientes de mayoración de cargas mayores a 1.0 (1.2 para cargas permanentes y 1.6 para cargas temporales), con los cuales se

incrementan las cargas de servicio para la determinación de las máximas solicitaciones de acuerdo con estados hipotéticos de carga.

La resistencia nominal por flexión de una viga compuesta en la región de momento positivo puede determinarse por la resistencia plástica del perfil estructural

$$F_{c,\max} = 0.85b_{eff} \cdot h_c \cdot f'_c \quad (\text{ec } 17)$$

$$F_{s,\max} = A_s \cdot f_y \quad (\text{ec } 18)$$

$$F_{c,\max} > F_{s,\max} \Rightarrow F_c = F_s = A_s \cdot f_y \quad (\text{ec } 19)$$

$$0.85b_{eff} \cdot y_{pl} \cdot f'_c = A_s \cdot f_y \quad (\text{ec } 20)$$

$$y_{pl} = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85b_{eff} \cdot f'_c} \quad (\text{ec } 21)$$

$$M_{pl} = A_s \cdot f_y \cdot \left( \frac{h_s}{2} + h_c - \frac{x_{pl}}{2} \right) \quad (\text{ec } 22)$$

$$M_{pl} > M_u \quad (\text{ec } 23)$$

**donde**

$h_s$  = Altura de la sección de acero.

$h_c$  = Espesor del ala en una sección T

$A_s$  = Área de la sección de acero.

$b_{eff}$  = Ancho efectivo del ala a compresión en una sección T.

$f_y$  = Esfuerzo de cadencia del acero.

$f'_c$  = Resistencia a compresión del concreto a 28 días

$y_{pl}$  = Centroides de la sección en el rango plástico.

$M_{pl}$  = Momento plástico.

Al final, el momento plástico que se obtiene de las ecuaciones anteriores se compara con el momento actuante sobre la estructura y si éste es menor, es aceptada la sección.

## Selección de entrepisos prefabricados

Cada empresa que vende las viguetas de entrepisos posee sus propios manuales técnicos, facilitando la selección del tipo de vigueta y bloque. Este procedimiento consiste en determinar el claro máximo admisible que uno quiere obtener, y con base en las condiciones de carga y refuerzo del elemento estructural, se entra a las tablas de diseño de cada compañía y se elige el tipo más conveniente que cumpla con los requerimientos propuestos. En los anexos se adjuntan estos manuales para su mayor comprensión.

# Deformación y vibración de entrepisos

Uno de los principales efectos que se deben tomar en cuenta para el diseño de los entrepisos son las deformaciones y vibraciones, las cuales en muchos de los casos van a definir el tamaño de las secciones.

Se debe proveer el confort humano dentro de una edificación. Por ende, la vibración y deformación de la estructura, deben de estar dentro de los límites admisibles.

Tabla 3. Límites admisibles, vibración y deformación

|                        | Límite  |
|------------------------|---------|
| Frecuencia             | 9-10 Hz |
| Aceleración a/g x 100% | 0.5 %   |
| Deformación            | L/360   |

## Vibración

El diseño se basó en un análisis por la excitación debido a personas caminando. Los materiales por sí mismos tienen una frecuencia natural entre 5 y 8 hz, entendiéndose por frecuencia el número de oscilaciones por unidad de tiempo y expresada en Hertz. Es por ello que al calcular la frecuencia ésta debe ser mayor de los 9-10 hz para que no sea perceptible la vibración, además evitando que se dé el efecto de resonancia en donde se iguala la frecuencia natural de la estructura con la frecuencia producto de la excitación, provocando que la amplitud de la onda tienda cada vez más a aumentar y aumentar. Se considera como un primer criterio de aceptabilidad el siguiente:

$$f = \sqrt{\frac{g}{\Delta}} > 9-10 \text{ hz} \quad (\text{ec.24})$$

donde

$f$  = Frecuencia de la estructura.

$g$  = Gravedad 9.86 g/s<sup>2</sup>

$\Delta$  = Deformación debido a las cargas aplicadas

Se puede mencionar como otro criterio el cálculo de la máxima aceleración debido al caminado. Se aproxima la relación de los pasos comparando el coeficiente dinámico y la frecuencia con la fórmula  $\alpha = 0.83\exp(-0.35f)$ .

$$\frac{a}{g} = \frac{P_o \exp(-0.35f)}{\beta W} \leq \frac{a_o}{g} \quad (\text{ec 25})$$

donde

$\frac{a}{g}$  = Estimación de la aceleración máxima.

$\frac{a_o}{g}$  = Aceleración límite 0.5 %

$P_o$  = Constante de la fuerza representando la excitación igual a 0.29 kN

$\beta$  = Radio de amortiguamiento, 0.05

$W$  = Peso efectivo soportado por las viguetas.

## Peso efectivo

El peso efectivo soportado por una vigueta se calcula como:

$$W = wBL \quad (\text{ec 26})$$

donde

$w$  = Peso soportado no mayorado por unidad de área

$B$  = Ancho efectivo

$L$  = Longitud de la vigueta

## Ancho efectivo

Para las viguetas el ancho efectivo se expresa como:

$$B = C_j \cdot \left( \frac{D_s}{D_j} \right) \cdot l < \frac{2}{3} \cdot l \quad (\text{ec 27})$$

$D_s$  = Momento de inercia transformado por unidad de ancho de la losa de concreto

$$D_s = \frac{h_c^3}{12n}$$

$h_c$  = Altura de la losa de concreto

$n$  = Radio modular dinámico =  $E_s / 1.35E_c$

$D_j$  = Momento de inercia transformado por

unidad de ancho de la sección  $D_j = \frac{I}{S}$

$l$  = Longitud de la vigueta

$C_t = 2$

## Deformación

Debido al gran momento de inercia de la sección transformada, las deflexiones en las vigas compuestas son menores que en las vigas no compuestas. Sin embargo, este gran momento de inercia está disponible sólo después de que la losa de concreto ha endurecido. Al considerar un apuntalamiento durante el proceso de construcción se calcula la deflexión inicial ya con la sección compuesta.

$$\Delta(t=0) = \frac{5}{384} \frac{Wl^4}{E_s I} \quad (\text{ec 28})$$

$\Delta$  = Deformación inicial

$I$  = Inercia de la sección.

$E_s$  = Módulo de elasticidad del acero.

$l$  = Longitud de la vigueta

$W$  = Carga uniforme no mayorada.

Una complicación adicional surge si la viga está sometida a una carga sostenida, como el peso de las divisiones, después de que el concreto ha endurecido. En las regiones de momento positivo, el concreto en compresión continuamente estará sometido a un fenómeno conocido como flujo plástico. Este fenómeno es una deformación que tiene lugar bajo la carga sostenida de compresión. Después de la deformación inicial, la deformación adicional tendrá lugar a muy pequeña velocidad sobre un largo periodo. El efecto sobre una viga compuesta consiste en incrementar la curva y, por tanto, la deflexión vertical. La deflexión a largo plazo sólo puede ser estimada; el procedimiento usual es utilizar un área reducida de concreto en la sección transformada para obtener un menor momento de inercia y una mayor deflexión calculada. El área reducida se calcula al usar  $2n$  o  $3n$  en vez de la razón modular  $n$  real. Para efectos del proyecto se emplea un valor de  $2n$ .

$$\Delta(t = \infty) = \frac{5}{384} \frac{Wl^4}{E_s I} \quad (\text{ec 28})$$

$\Delta$  = Deformación a través del tiempo.

$I$  = Inercia de la sección reducida.

$E_s$  = Módulo de elasticidad del acero.

$l$  = Longitud de la vigueta

$W$  = 50% de la carga viva + carga muerta.

Además del cálculo de la deflexión a través del tiempo se debe adicionar un valor por el incremento de la deflexión, producto de la contracción del concreto.

$$\delta_{sh} = 0.125 \cdot \varepsilon_{sh} \cdot \frac{h_c \cdot S \cdot (x_e - h_s)}{n_{ef} \cdot I} \quad (\text{ec 30})$$

$x_e$  = Centroides de la sección compuesta reducida.

$h_s$  = Altura de la sección de acero.

$h_c$  = Espesor del ala en una sección T

$I$  = Inercia de la sección reducida.

$S$  = Separación entre viguetas.

$\varepsilon_{sh}$  = Deformación unitaria del concreto en compresión,  $200 \times 10^{-6}$

# Presupuesto de los tipos de entrepisos

Un presupuesto es la estimación del costo de un proyecto previo a la construcción de éste. Se trata, por lo tanto de una aproximación al valor real.

Para efectos de este proyecto se, analizarán y estimarán los costos directos de mano de obra y de materiales. Los costos indirectos y utilidades serán propuestos ya que estos valores varían de una empresa a otra. un 3% sobre el costo de los materiales para equipo y 10% sobre los costos directos para utilidades, imprevistos y administración.

Para el cálculo del costo de los materiales utilizados en cada entrepiso, se cuantificarán las cantidades necesarias para cada tipo y se afectarán por el costo unitario en dólares.

Igualmente para la determinación del costo por mano de obra, se estima el rendimiento de la cuadrilla y se afecta por el monto por mano de obra / horas hombre.

Al final se obtendrá un presupuesto por costos unitarios.

# Resultados

Como primer paso se escogieron los tipos de entrepisos:

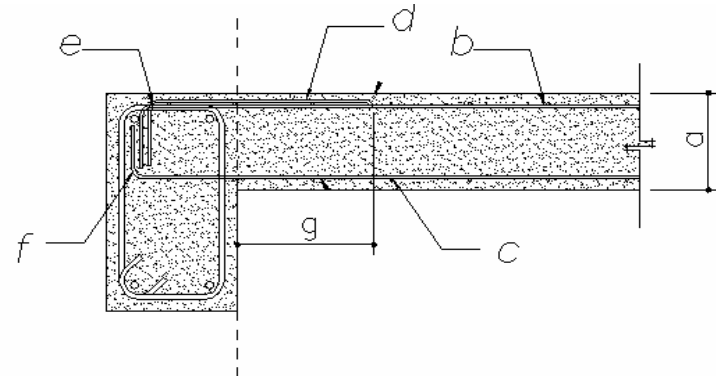
1. Losa de concreto.
2. Losa compuesta de concreto y acero.
3. Losacero.
4. Entrepiso liviano PBC.
5. Entrepiso liviano ESCOSA.
6. Entrepiso pretensado PC.
7. Entrepiso pretensado EUROBAU.

Según sea la carga sobreimpuesta y la distancia entre apoyos así es el tipo de vigueta, cantidad de acero a utilizar y concreto.

Posteriormente se presentan cuadros y gráficos con los datos obtenidos de los cálculos hechos para la determinación del peso propio por metro cuadrado, las deformaciones, vibraciones, costos totales y unitarios, para cada uno de los tipos de entrepisos. Implícitamente todos los resultados son menores a los límites admisibles.

En el análisis de resultados se presentan ejemplos explicando la utilización de los gráficos y cuadros para su mejor comprensión.

**Cuadro 1. Diseño losa de concreto, carga viva 250 kg/m<sup>2</sup> \***



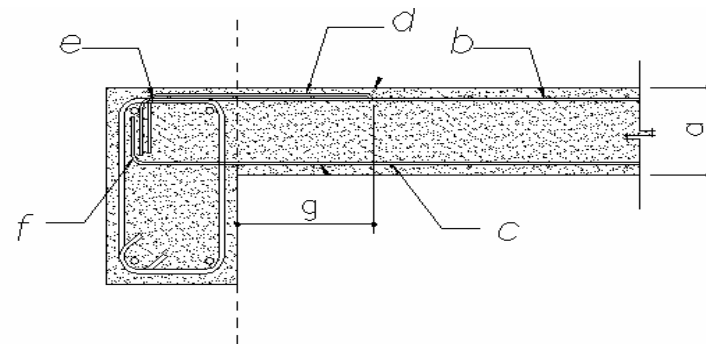
**DETALLE DE ENTREPISO**

| Longitud | a<br>(espesor) | b<br>(refuerzo superior) | c<br>(refuerzo inferior) | d<br>(Bastones) | e<br>(Longitud de desarrollo refuerzo superior) | f<br>(Longitud de desarrollo refuerzo superior) | g<br>(longitud de desarrollo bastones) |
|----------|----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|---|---|--|
| 2 m      | 10 cm          | #3 @ 35 cm a.d.          |                          | -               | 30 cm   | 30 cm   | -                                      |
| 3 m      | 12 cm          | #3 @ 30 cm a.d.          | #3 @ 30 cm a.d.          | -               | 30 cm   | 30 cm   | -                                      |
| 4 m      | 15 cm          | #3 @ 20 cm a.d.          | #3 @ 20 cm a.d.          | -               | 30 cm   | 30 cm   | -                                      |
| 5 m      | 18 cm          | #3 @ 15 cm a.d.          | #3 @ 15 cm a.d.          | -               | 30 cm   | 30 cm   | -                                      |
| 6 m      | 20 cm          | #4 @ 20 cm a.d.          | #3 @ 15 cm a.d.          | -               | 40 cm   | 30 cm   | -                                      |

\* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup>



**Cuadro 2. Diseño losa de concreto, carga viva 500 kg/m<sup>2</sup> \***

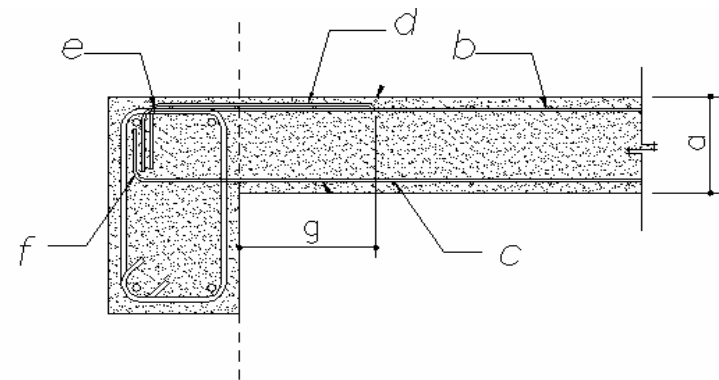


**DETALLE DE ENTREPISO**

| Longitud | a<br>(espesor) | b<br>(refuerzo superior) | c<br>(refuerzo inferior) | d<br>(Bastones) | e<br>(Longitud de desarrollo refuerzo superior) | f<br>(Longitud de desarrollo refuerzo superior) | g<br>(longitud de desarrollo bastones) |
|----------|----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|---|---|--|
| 2 m      | 12 cm          | #3 @ 30 cm a.d.          | #3 @ 30 cm a.d.          | -               | 30 cm   | 30 cm   | -                                      |
| 3 m      | 15 cm          | #3 @ 20 cm a.d.          | #3 @ 20 cm a.d.          | -               | 30 cm   | 30 cm   | -                                      |
| 4 m      | 15 cm          | #3 @ 20 cm a.d.          | #3 @ 20 cm a.d.          | #3 @ 80 cm      | 30 cm   | 30 cm   | 100 cm                                 |
| 5 m      | 18 cm          | #3 @ 20 cm a.d.          | #3 @ 20 cm a.d.          | #3 @ 30 cm      | 30 cm   | 30 cm   | 125 cm                                 |
| 6 m      | 20 cm          | #3 @ 15 cm a.d.          | #3 @ 17 cm a.d.          | #4 @ 35 cm      | 30 cm   | 30 cm   | 150 cm                                 |

\* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup>

**Cuadro 3. Diseño losa de concreto, carga viva 800 kg/m<sup>2</sup> \***

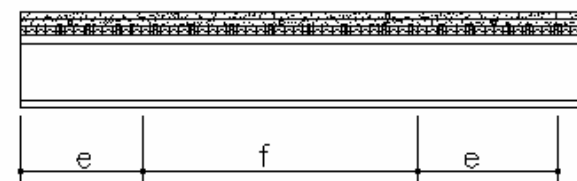
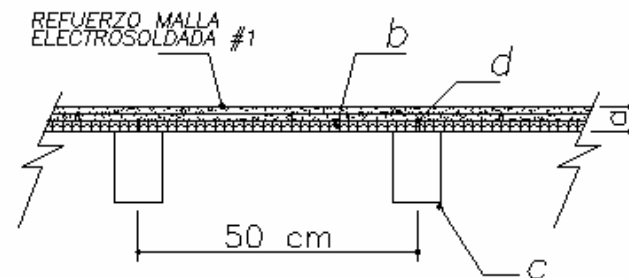


**DETALLE DE ENTREPISO**

| Longitud | a<br>(espesor) | b<br>(refuerzo superior) | c<br>(refuerzo inferior) | d<br>(Bastones) | e<br>(Longitud de desarrollo refuerzo superior) | f<br>(Longitud de desarrollo refuerzo superior) | g<br>(longitud de desarrollo bastones) |
|----------|----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|---|---|--|
| 2 m      | 12 cm          | #3 @ 30 cm a.d.          | #3 @ 30 cm a.d.          | -               | 30 cm   | 30 cm   | -                                      |
| 3 m      | 15 cm          | #3 @ 20 cm a.d.          | #3 @ 20 cm a.d.          | -               | 30 cm   | 30 cm   | -                                      |
| 4 m      | 15 cm          | #4 @ 20 cm a.d.          | #3 @ 20 cm a.d.          | -               | 40 cm   | 30 cm   | -                                      |
| 5 m      | 18 cm          | #4 @ 15 cm a.d.          | #3 @ 18 cm a.d.          | -               | 40 cm   | 30 cm   | -                                      |
| 6 m      | 22 cm          | #4 @ 25 cm a.d.          | #3 @ 15 cm a.d.          | #3 @ 20 cm      | 40 cm   | 30 cm   | 150 cm                                 |

\* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup>

**Cuadro 4. Diseño losa compuesta, carga viva 250 kg/m<sup>2</sup> \***



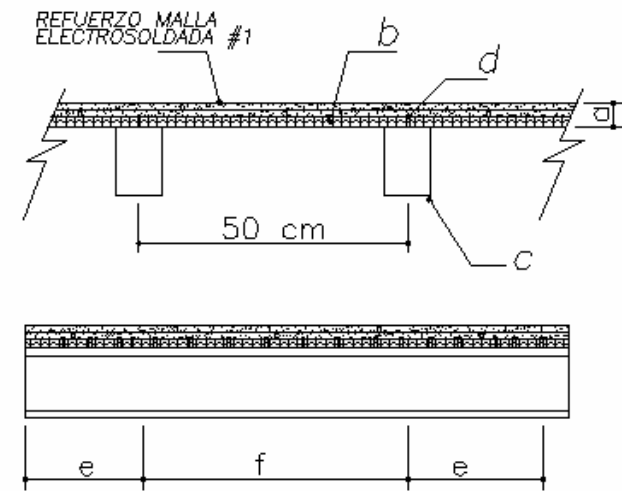
**DETALLE DE ENTREPISO**

| Longitud | a<br>(Espesor) | b<br>(Lámina) | c<br>(Tubo estructural) | d<br>(conectores de cortante) | Tramos colocar conectores |        |                |
|----------|----------------|---------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------|----------------|
|          |                |               |                         |                               | e                         | f      |                |
| 2 m      | 5 cm           | HG # 26       | 96x23x1.80 mm           | 1 # 3 @ 35 cm                 | 34 cm                     |        | -              |
|          |                |               |                         | 1 # 3 @ 35 cm                 |                           | 1.31 m |                |
| 3 m      | 5 cm           | HG # 26       | 150x100x1.80 mm         | 1 # 3 @ 35 cm                 | 45 cm                     |        | -              |
|          |                |               |                         | 1 # 3 @ 35 cm                 |                           | 2.10 m |                |
| 4 m      | 5 cm           | HG # 26       | 200x100x1.80 mm         | 1 # 3 @ 25 cm                 | 55 cm                     |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                         | 1 # 3 @ 35 cm                 |                           | 2.90 m |                |
| 5 m      | 5 cm           | HG # 26       | 150x100x4.76 mm         | 2 # 3 @ 30 cm                 | 57 cm                     |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                         | 2 # 3 @ 35 cm                 |                           | 3.86 m |                |
| 6 m      | 5 cm           | HG # 26       | 200x100x4.76 mm         | 2 # 3 @ 25 cm                 | 57 cm                     |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                         | 2 # 3 @ 30 cm                 |                           | 4.86 m |                |

\* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup>

\* Entrepiso apuntalado

**Cuadro 5. Diseño losa compuesta, carga viva 500 kg/m<sup>2</sup> \***



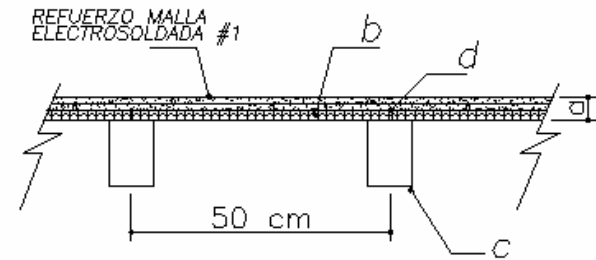
**DETALLE DE ENTREPISO**

| Longitud | a<br>(Espesor) | b<br>(Lámina) | c<br>(Tubo estructural ) | d<br>(conectores de cortante) | Tramos colocar conectores |        |                |
|----------|----------------|---------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------|----------------|
|          |                |               |                          |                               | e                         | f      |                |
| 2 m      | 5 cm           | HG # 26       | 96x23x1.80 mm            | 1 # 3 @ 35 cm                 | 34 cm                     |        | -              |
|          |                |               |                          | 1 # 3 @ 35 cm                 |                           | 1.31 m |                |
| 3 m      | 5 cm           | HG # 26       | 150x100x1.80 mm          | 1 # 3 @ 20 cm                 | 45 cm                     |        | -              |
|          |                |               |                          | 1 # 3 @ 30 cm                 |                           | 2.10 m |                |
| 4 m      | 5 cm           | HG # 26       | 200x100x3.17 mm          | 2 # 3 @ 35 cm                 | 55 cm                     |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                          | 2 # 3 @ 40 cm                 |                           | 2.90 m |                |
| 5 m      | 6 cm           | HG # 26       | 200x100x4.76 mm          | 2 # 3 @ 20 cm                 | 57 cm                     |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                          | 2 # 3 @ 25 cm                 |                           | 3.86 m |                |
| 6 m      | 7 cm           | HG # 26       | 200x100x4.76 mm          | 2 # 3 @ 15 cm                 | 57 cm                     |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                          | 2 # 3 @ 20 cm                 |                           | 4.86 m |                |

\* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup>

\* Entrepiso apuntalado

**Cuadro 6. Diseño losa compuesta, carga viva 800 kg/m<sup>2</sup>\***



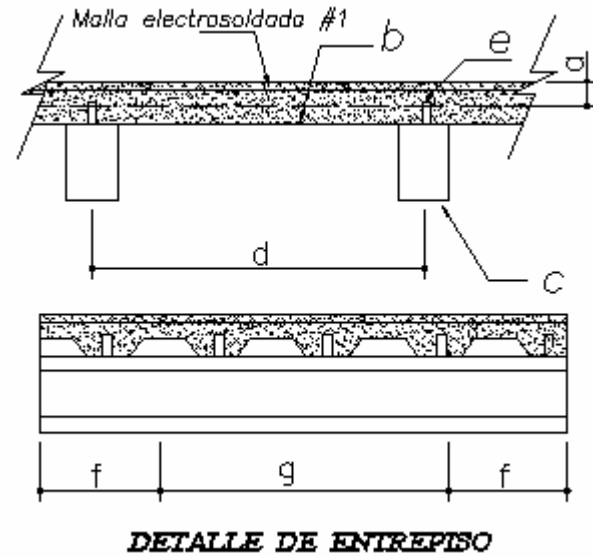
**DETALLE DE ENTREPISO**

| Longitud | a<br>(Espesor) | b<br>(Lámina) | c<br>(Tubo estructural)            | d<br>(conectores de cortante) | Tramos colocar conectores |        |                |
|----------|----------------|---------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------|----------------|
|          |                |               |                                    |                               | e                         | f      |                |
| 2 m      | 5 cm           | HG # 26       | 150x50x1.80 mm                     | 1 # 3 @ 25 cm                 | 34 cm                     |        | -              |
|          |                |               |                                    | 1 # 3 @ 35 cm                 |                           | 1.31 m |                |
| 3 m      | 5 cm           | HG # 26       | 200x100x1.80 mm                    | 1# 3 @ 15 cm                  | 45 cm                     |        | -              |
|          |                |               |                                    | 1 # 3 @ 25 cm                 |                           | 2.10 m |                |
| 4 m      | 5 cm           | HG # 26       | 200x100x3.17 mm                    | 2 # 3 @ 25 cm                 | 55 cm                     |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                                    | 2 # 3 @ 35 cm                 |                           | 2.90 m |                |
| 5 m      | 5 cm           | HG # 26       | 200x100x4.76 mm<br>100x100x1.80 mm | 2 # 3 @ 25                    | 57 cm                     |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                                    | 2 # 3 @ 35                    |                           | 3.86 m |                |
| 6 m      | 5 cm           | HG # 26       | 200x100x4.76 mm<br>100x100x1.80 mm | 2 # 3 @ 15                    | 57 cm                     |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                                    | 2 # 3 @ 20                    |                           | 4.86 m |                |

- \* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup>
- \* Entrepiso apuntalado

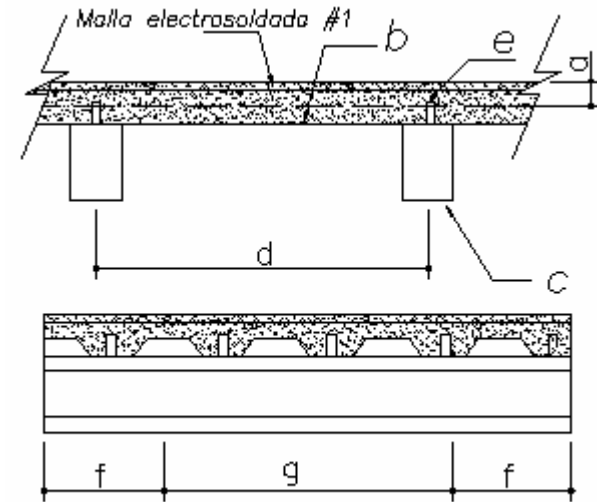
| Longitud | a<br>(Espesor) | b<br>(Lámina) | c<br>(Tubo estructural ) | d<br>(Separación viguetas) | e<br>(conectores de cortante) | Tramo colocar conectores |        |                |
|----------|----------------|---------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------|----------------|
|          |                |               |                          |                            |                               | f                        | g      |                |
| 2 m      | 5 cm           | Calibre #24   | -                        | -                          | -                             | -                        | -      | -              |
| 3 m      | 5 cm           | Calibre #24   | 150X50X1.80 mm           | 1.50 m                     | 1 # 3 @ 30 cm                 | 53 cm                    |        | -              |
|          |                |               |                          |                            | 1 # 3 @ 35 cm                 |                          | 1.95 m | -              |
| 4 m      | 5 cm           | Calibre #24   | 150X100X3.17 mm          | 2.00 m                     | 2 # 3 @ 25 cm                 | 53 cm                    |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                          |                            | 2 # 3 @ 35 cm                 |                          | 2.95 m |                |
| 5 m      | 5 cm           | Calibre #24   | 200x100x4.76 mm          | 1.60 m                     | 2 # 3 @ 20 cm                 | 63 cm                    |        | Viga Diafragma |
|          |                |               |                          |                            | 2 # 3 @ 25 cm                 |                          | 3.75 m |                |
| 6 m      | 5 cm           | Calibre #24   | W 8x35 pulg              | 2.00 m                     | 2 # 3 @ 15 cm                 | 65 cm                    |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                          |                            | 2 # 3 @ 15 cm                 |                          | 4.70 m |                |

**Cuadro 7. Diseño Losacero, carga viva 250 kg/m<sup>2</sup>\***



- \* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de  $155 \text{ kg/m}^2$
- \* Entrepiso apuntalado

**Cuadro 8. Diseño Losacero, carga viva 500 kg/m<sup>2</sup>\***



**DETALLE DE ENTREPISO**

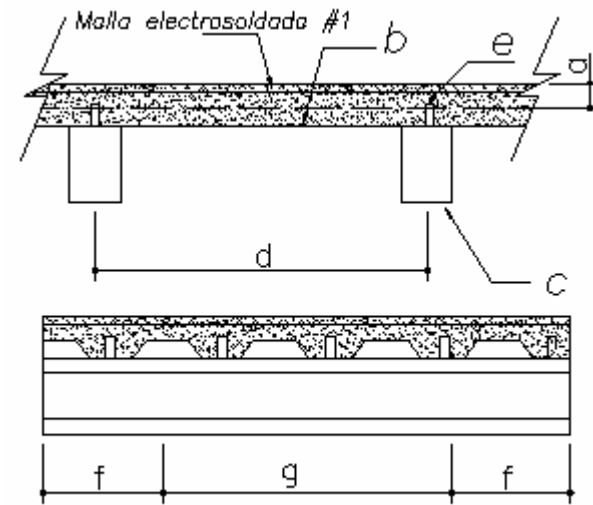
| Longitud | a<br>(Espesor) | b<br>(Lámina) | c<br>(Tubo estructural ) | d<br>(Separación viguetas) | e<br>(conectores de cortante) | Tramo colocar conectores |        |                |
|----------|----------------|---------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------|----------------|
|          |                |               |                          |                            |                               | f                        | g      |                |
| 2 m      | 5 cm           | Calibre #24   | -                        | -                          | -                             | -                        | -      | -              |
| 3 m      | 5 cm           | Calibre #24   | 150X50X1.80 mm           | 1.50 m                     | 1 # 3 @ 25 cm                 | 53 cm                    |        | -              |
|          |                |               |                          |                            | 1 # 3 @ 35 cm                 |                          | 1.95 m |                |
| 4 m      | 5 cm           | Calibre #24   | 150X100X3.17 mm          | 2.00 m                     | 2 # 3 @ 20 cm                 | 53 cm                    |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                          |                            | 2 # 3 @ 25 cm                 |                          | 2.95 m |                |
| 5 m      | 5 cm           | Calibre #24   | 200x100x4.76 mm          | 1.60 m                     | 2 # 4 @ 20 cm                 | 63 cm                    |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                          |                            | 2 # 4 @ 25 cm                 |                          | 3.75 m |                |
| 6 m      | 5 cm           | Calibre #24   | W 8x35 pulg              | 2.00 m                     | 2 # 4 @ 15 cm                 | 65 cm                    |        | Viga diafragma |
|          |                |               |                          |                            | 2 # 4 @ 15 cm                 |                          | 4.70 m |                |

\* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup>

\* Entrepiso apuntalado



**Cuadro 9. Diseño Losacero, carga viva 800 kg/m<sup>2</sup>\***



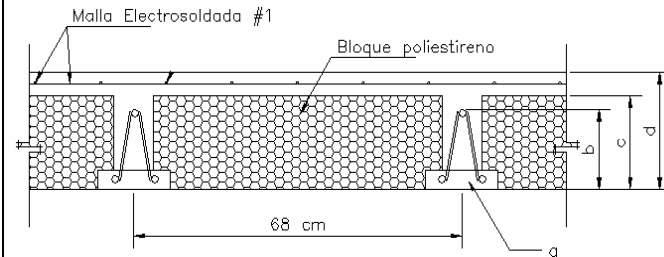
**DETALLE DE ENTREPISO**

| Longitud | a<br>(Espesor) | b<br>(Lámina) | C<br>(Tubo estructural ) | d<br>(Separación<br>viguetas) | e<br>(conectores de<br>cortante) | Tramo colocar<br>conectores |        |                   |
|----------|----------------|---------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------|-------------------|
|          |                |               |                          |                               |                                  | f                           | g      |                   |
| 2 m      | 5 cm           | Calibre #24   | -                        | -                             | -                                | -                           | -      | -                 |
| 3 m      | 5 cm           | Calibre #24   | 150X50X1.80 mm           | 1.50 m                        | 1 # 3 @ 20 cm                    | 53 cm                       |        | -                 |
|          |                |               |                          |                               | 1 # 3 @ 30 cm                    |                             | 1.95 m |                   |
| 4 m      | 5 cm           | Calibre #24   | 150X100X4.16 mm          | 2.00 m                        | 2 # 4 @ 20 cm                    | 53 cm                       |        | Viga<br>diafragma |
|          |                |               |                          |                               | 2 # 4 @ 30 cm                    |                             | 2.95 m |                   |
| 5 m      | 5 cm           | Calibre #24   | W 8x18 pulg              | 1.60 m                        | 2 # 4 @ 15 cm                    | 63 cm                       |        | Viga<br>Diafragma |
|          |                |               |                          |                               | 2 # 4 @ 20 cm                    |                             | 3.75 m |                   |
| 6 m      | 5 cm           | Calibre #24   | W 8x35 pulg              | 2.00 m                        | 2 # 4 @ 15 cm                    | 65 cm                       |        | Viga<br>diafragma |
|          |                |               |                          |                               | 2 # 4 @ 15 cm                    |                             | 4.70 m |                   |

\* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup>

\* Entrepiso apuntalado

**Cuadro 10. Selección de entrepiso liviano PBC\***



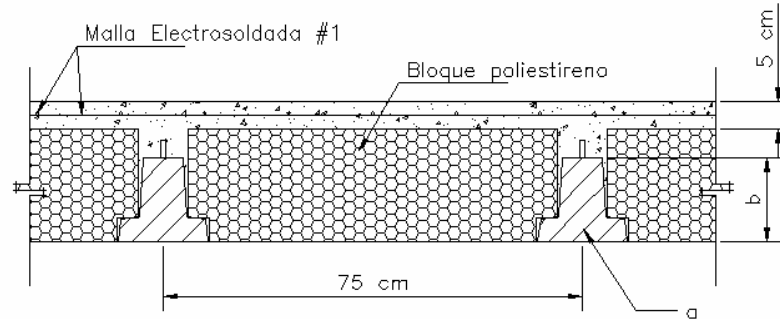
**DETALLE DE ENTREPISO**

|              |                             |       |       |       |                   |                             |       |       |       |                   |
|--------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------------------|
| Carga muerta | <b>155 kg/m<sup>2</sup></b> |       |       |       |                   | <b>155 kg/m<sup>2</sup></b> |       |       |       |                   |
| Carga viva   | <b>250 kg/m<sup>2</sup></b> |       |       |       |                   | <b>500 kg/m<sup>2</sup></b> |       |       |       |                   |
| Longitud     | a<br>(Vigueta)              | b     | c     | d     |                   | a<br>(Vigueta)              | b     | c     | d     |                   |
| 2 m          | 15-A                        | 15 cm | 15 cm | 20 cm | N.A.              | 15-A                        | 15 cm | 15 cm | 20 cm | -                 |
| 3 m          | 15-E                        | 15 cm | 15 cm | 20 cm | N.A.              | 15-E                        | 15 cm | 15 cm | 20 cm | -                 |
| 4 m          | 15-E                        | 15 cm | 15 cm | 20 cm | Viga<br>diafragma | 15-E                        | 15 cm | 20 cm | 25 cm | Viga<br>diafragma |
| 5 m          | 15-H                        | 15 cm | 15 cm | 20 cm | Viga<br>diafragma | 15-H                        | 15 cm | 20 cm | 25 cm | Viga<br>diafragma |
| 6 m          | -                           | -     | -     | -     | -                 | -                           | -     | -     | -     | -                 |

\* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup>

\* Entrepiso apuntalado

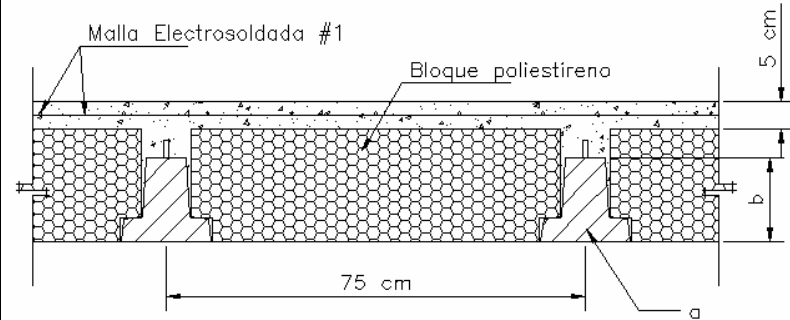
**Cuadro 11. Selección entrepiso liviano ESCOSA, carga viva 250 kg/m<sup>2</sup>\***



| Longitud | a (Vigueta) | b     | (# de torones) | (Diámetro torón) | Apuntalado |                |
|----------|-------------|-------|----------------|------------------|------------|----------------|
| 2 m      | VC-15 H660  | 15 cm | 2              | 8 mm             | No         | -              |
| 3 m      | VC-15 H660  | 15 cm | 2              | 8 mm             | No         | -              |
| 4 m      | VC-15 H660  | 15 cm | 2              | 8 mm             | No         | Viga diafragma |
| 5 m      | VC-15 H660  | 15 cm | 2              | 9 mm             | No         | Viga diafragma |
| 6 m      | VC-15 E660  | 15 cm | 2              | 9 mm             | Sí         | Viga diafragma |

\* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup>

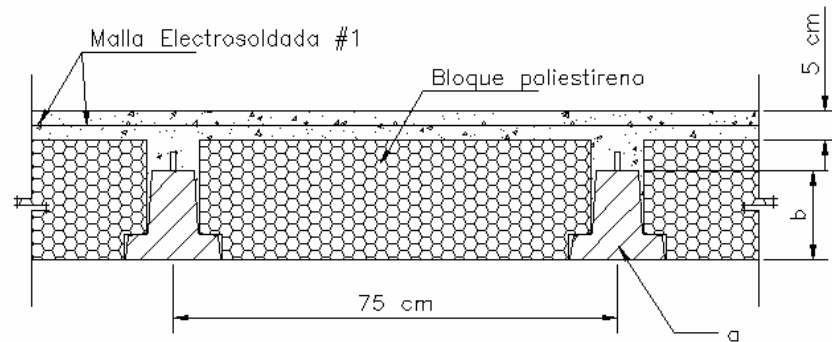
**Cuadro 12. Selección entrepiso liviano ESCOSA, carga viva 500 kg/m<sup>2</sup>\***



| Longitud | a (Vigueta) | b     | (# de torones) | (Diámetro torón) | Apuntalado |                |
|----------|-------------|-------|----------------|------------------|------------|----------------|
| 2 m      | VC-15 H660  | 15 cm | 2              | 8 mm             | No         | -              |
| 3 m      | VC-15 H660  | 15 cm | 2              | 8 mm             | No         | -              |
| 4 m      | VC-15 H660  | 15 cm | 2              | 9 mm             | No         | Viga diafragma |
| 5 m      | VC-15 H660  | 15 cm | 2              | 9 mm             | No         | Viga diafragma |
| 6 m      | VC-20 U660  | 20 cm | 2              | 9 mm             | Sí         | Viga diafragma |

\* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup>

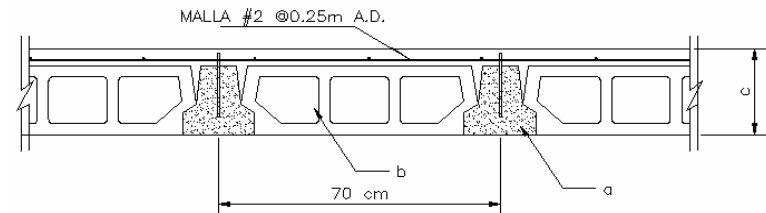
**Cuadro 13. Selección entrepiso liviano ESCOSA,  
carga viva 800 kg/m<sup>2</sup>\***



| Longitud | a (Vigueta) | b     | (# de torones) | (Diámetro torón) | Apuntalado |                |
|----------|-------------|-------|----------------|------------------|------------|----------------|
| 2 m      | VC-15 H660  | 15 cm | 2              | 8 mm             | No         | -              |
| 3 m      | VC-15 H660  | 15 cm | 2              | 8 mm             | No         | -              |
| 4 m      | VC-15 E660  | 15 cm | 2              | 8 mm             | No         | -              |
| 5 m      | VC-15 U660  | 20 cm | 2              | 9 mm             | No         | Viga diafragma |
| 6 m      | -           | -     | -              | -                | -          | -              |

\* Se considera el peso propio y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup>

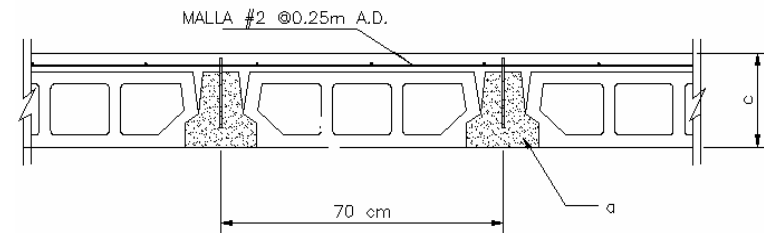
**Cuadro 14. Selección de entrepiso pretensado P.C., para diferentes cargas y luces entre apoyos\***



| Carga muerta | 155 kg/m <sup>2</sup>     |                       |                |                |                | 155 kg/m <sup>2</sup>     |                       |                |                |                |
|--------------|---------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Carga viva   | 250 kg/m <sup>2</sup>     |                       |                |                |                | 500 kg/m <sup>2</sup>     |                       |                |                |                |
| Longitud     | a<br>(Vigueta pretensada) | b<br>(tipo de bloque) | c<br>(espesor) | Apuntalamiento |                | a<br>(Vigueta pretensada) | b<br>(tipo de bloque) | c<br>(espesor) | Apuntalamiento |                |
| 2 m          | 15 cm de altura           | "O" de 15 cm          | 20 cm          | No             | -              | 15 cm de altura           | "O" de 15 cm          | 20 cm          | No             | -              |
| 3 m          | 15 cm de altura           | "O" de 15 cm          | 20 cm          | No             | -              | 15 cm de altura           | "O" de 15 cm          | 20 cm          | No             | -              |
| 4 m          | 15 cm de altura           | "O" de 15 cm          | 20 cm          | No             | Viga diafragma | 15 cm de altura           | "O" de 15 cm          | 20 cm          | No             | Viga diafragma |
| 5 m          | 15 cm de altura           | "O" de 15 cm          | 20 cm          | Si             | Viga diafragma | 15 cm de altura           | "O" de 15 cm          | 20 cm          | Si             | Viga diafragma |
| 6 m          | 20 cm de altura           | "U" de 25 cm          | 30 cm          | Si             | Viga diafragma | 20 cm de altura           | "U" de 25 cm          | 30 cm          | Si             | Viga diafragma |

\*La carga permanente representa pesos por acabados. Se incluye el peso propio dentro los resultados.

**Cuadro 15. Selección de entrepiso pretensado EUROBAU., para diferentes cargas y luces entre apoyos\***



| Carga muerta | <b>155 kg/m<sup>2</sup></b> |        |                |                |                | <b>155 kg/m<sup>2</sup></b> |        |                |                |                |
|--------------|-----------------------------|--------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|--------|----------------|----------------|----------------|
| Carga viva   | <b>250 kg/m<sup>2</sup></b> |        |                |                |                | <b>500 kg/m<sup>2</sup></b> |        |                |                |                |
| Longitud     | a<br>(Vigueta pretensada)   | Torón  | c<br>(espesor) | Apuntalamiento |                | a<br>(Vigueta pretensada)   | Torón  | c<br>(espesor) | Apuntalamiento |                |
| 2 m          | 15 cm de altura             | Tipo 1 | 20 cm          | No             | -              | 15 cm de altura             | Tipo 1 | 20 cm          | No             | -              |
| 3 m          | 15 cm de altura             | Tipo 1 | 20 cm          | No             | -              | 15 cm de altura             | Tipo 1 | 20 cm          | No             | -              |
| 4 m          | 15 cm de altura             | Tipo 1 | 20 cm          | No             | Viga diafragma | 15 cm de altura             | Tipo 1 | 20 cm          | Si             | Viga diafragma |
| 5 m          | 15 cm de altura             | Tipo 1 | 20 cm          | No             | Viga diafragma | 20cm de altura              | Tipo 2 | 25 cm          | Si             | Viga diafragma |
| 6 m          | 20 cm de altura             | Tipo 2 | 25 cm          | Si             | Viga Diafragma | 20 cm de altura             | Tipo 3 | 25 cm          | Si             | Viga diafragma |

\*La carga permanente representa pesos por acabados. Se incluye el peso propio dentro los resultados.

**Cuadro 16. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 2 m**

| Entrepiso                           | Peso Propio (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
|-------------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|
| Losa de concreto monolítica.        | 240                              | 0.11             | 2.51E-07         |
| Losa compuesta de concreto y acero. | 157                              | 1.32             | 0.234            |
| Losacero                            | 210                              | 0.83             | 0.06             |
| Entrepiso liviano PBC.              | 180                              | 0.34             | 0.00088          |
| Entrepiso liviano ESCOSA.           | 175                              | 0.27             | 0.0003           |
| Entrepiso pretensado PC.            | 325                              | 0.4              | 0.0015           |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.       | 282                              | 0.38             | 0.0011           |

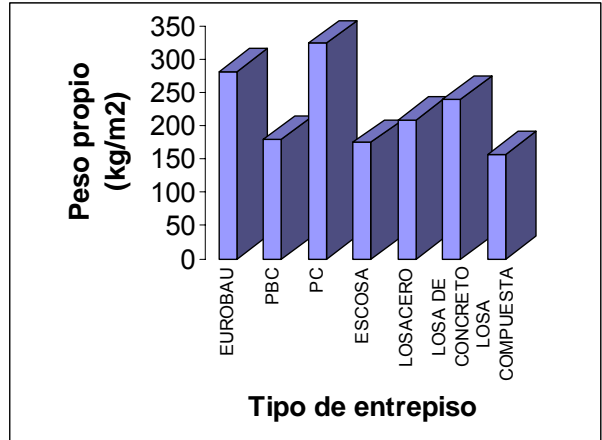


Gráfico 1. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

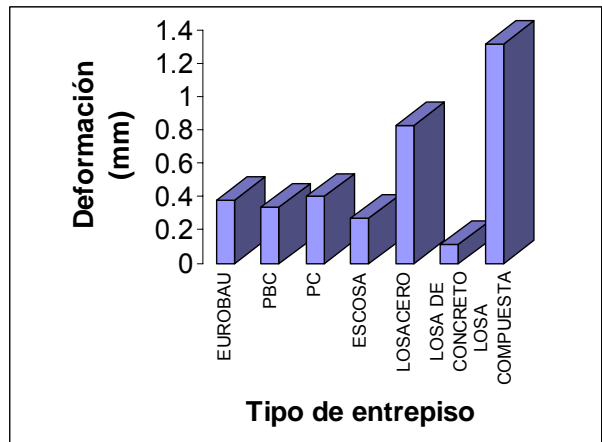


Gráfico 2. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

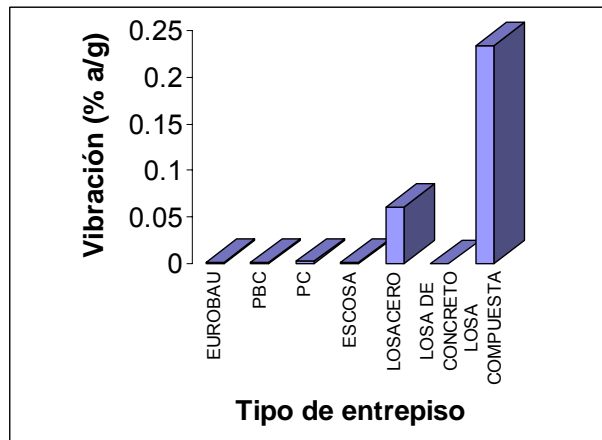


Gráfico 3. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>



| <b>Cuadro 17. Costos totales y unitarios para los entresijos con una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 2 m</b> |          |                       |
|--|----------|-----------------------|
| Entresijo  | Costo    | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica  | \$139.50 | \$34.87               |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | \$138.77 | \$34.69               |
| Losacero   | \$156.65 | \$39.16               |
| Entresijo liviano PBC.   | \$166.71 | \$41.68               |
| Entresijo liviano ESCOSA.  | \$233.92 | \$58.48               |
| Entresijo pretensado PC.   | \$225.61 | \$56.40               |
| Entresijo pretensado EUROBAU.  | \$177.35 | \$44.34               |

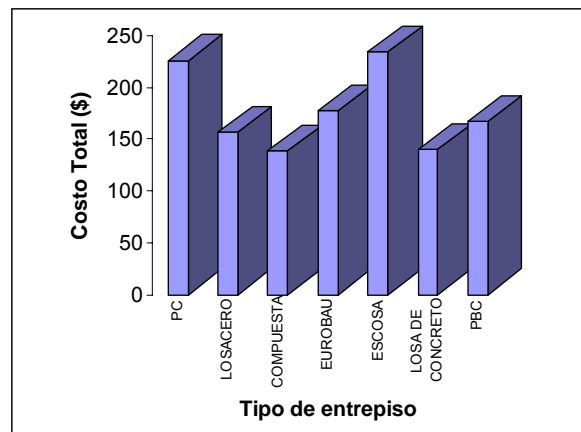


Gráfico 4. Costos totales para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

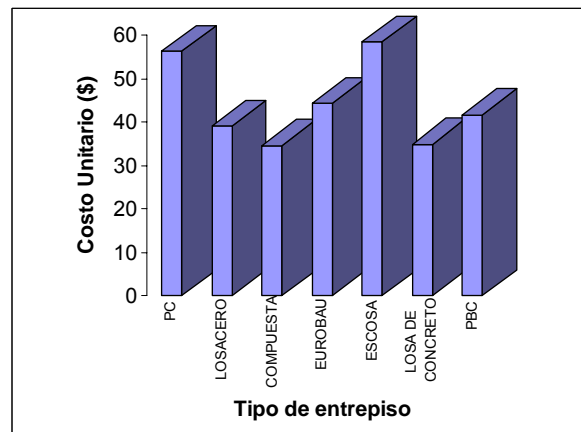


Gráfico 5. Costos Unitarios para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 18. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 3 m</b> |                           |                  |                  |
|--|---------------------------|------------------|------------------|
| Entrepiso  | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
| Losa de concreto monolítica.   | 288                       | 0.33             | 0.00042          |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | 156                       | 2.07             | 0.319            |
| Losacero   | 211                       | 1.69             | 0.187            |
| Entrepiso liviano PBC.   | 180                       | 1.72             | 0.245            |
| Entrepiso liviano ESCOSA.  | 175                       | 1.36             | 0.159            |
| Entrepiso pretensado PC.   | 325                       | 2.03             | 0.282            |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.  | 282                       | 1.88             | 0.256            |

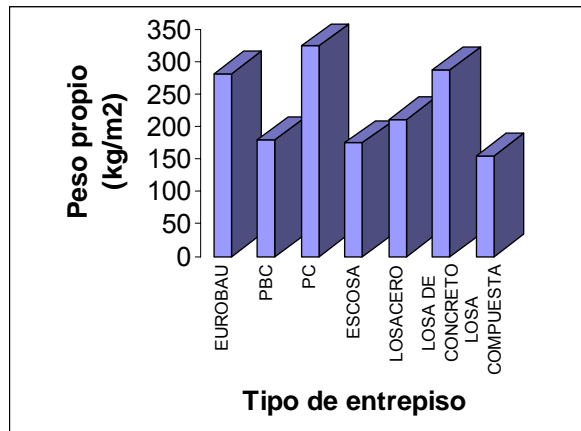


Gráfico 6. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

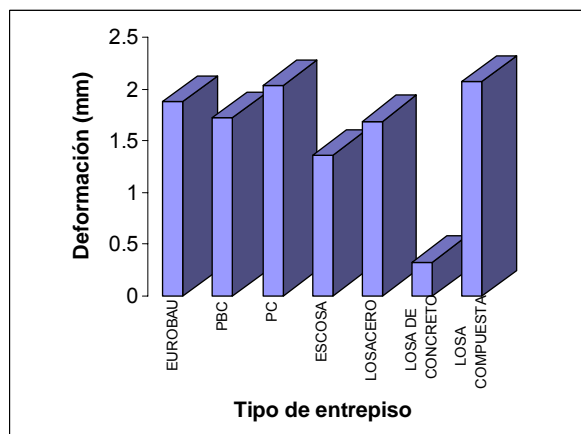


Gráfico 7. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

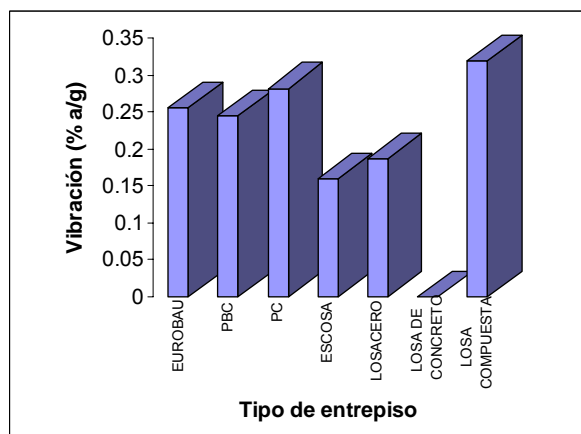


Gráfico 8. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 19. Costos totales y unitarios para los entrepisos con una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 3 m</b> |          |                       |
|--|----------|-----------------------|
| Entrepiso  | Costo    | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica  | \$375.09 | \$41.68               |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | \$342.54 | \$38.06               |
| Losacero   | \$344.40 | \$38.27               |
| Entrepiso liviano PBC.   | \$380.93 | \$42.33               |
| Entrepiso liviano ESCOSA.  | \$508.77 | \$56.53               |
| Entrepiso pretensado PC.   | \$490.06 | \$54.45               |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.  | \$389.18 | \$43.24               |

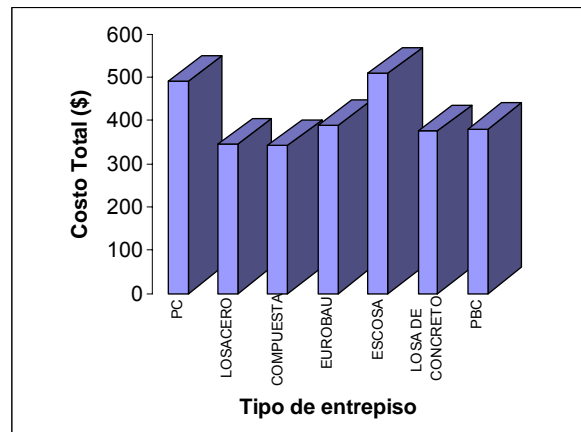


Gráfico 9. Costos totales para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

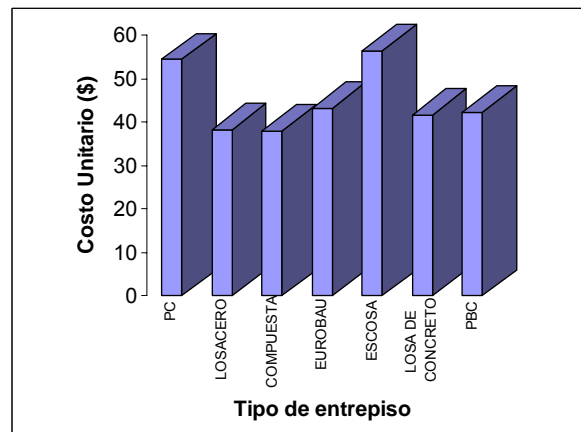


Gráfico 10. Costos Unitarios para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 20. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 4 m</b> |                           |                  |                  |
|--|---------------------------|------------------|------------------|
| Entrepiso  | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
| Losa de concreto monolítica.   | 360                       | 0.57             | 0.0031           |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | 157                       | 2.58             | 0.274            |
| Losacero   | 211                       | 2.63             | 0.274            |
| Entrepiso liviano PBC.   | 180                       | 1.35             | 0.072            |
| Entrepiso liviano ESCOSA.  | 175                       | 1.07             | 0.044            |
| Entrepiso pretensado PC.   | 325                       | 1.6              | 0.086            |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.  | 282                       | 1.48             | 0.077            |

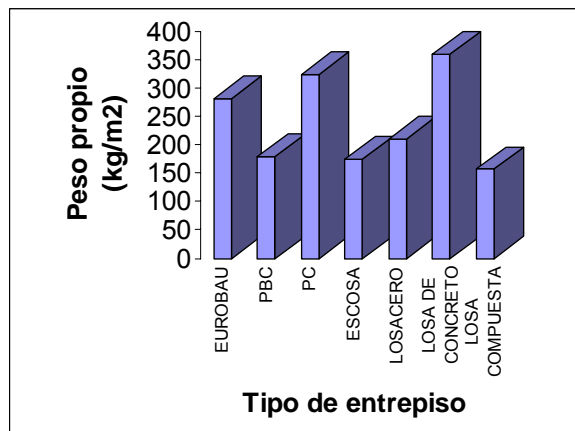


Gráfico 11. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

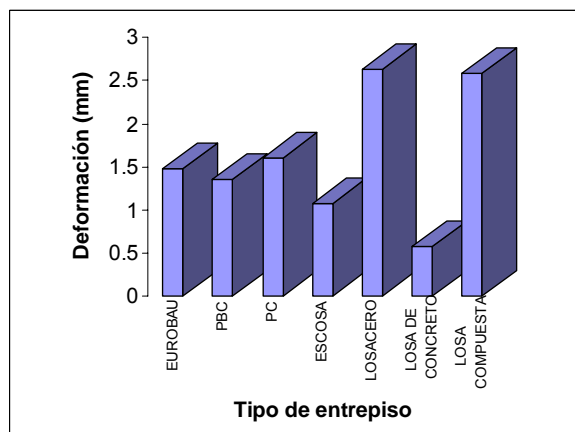


Gráfico 12. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

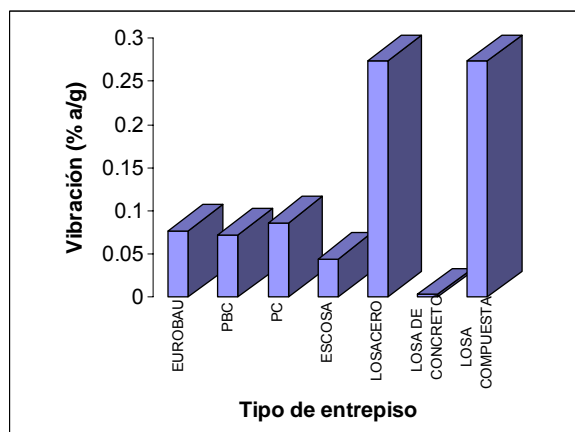


Gráfico 13. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 21. Costos totales y unitarios para los entresijos con una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 4 m</b> |          |                       |
|--|----------|-----------------------|
| Entresijo  | Costo    | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica  | \$723.10 | \$45.19               |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | \$924.76 | \$57.80               |
| Losacero   | \$591.78 | \$36.99               |
| Entresijo liviano PBC.   | \$702.02 | \$43.88               |
| Entresijo liviano ESCOSA.  | \$935.49 | \$58.47               |
| Entresijo pretensado PC.   | \$879.50 | \$54.97               |
| Entresijo pretensado EUROBAU.  | \$717.21 | \$44.83               |

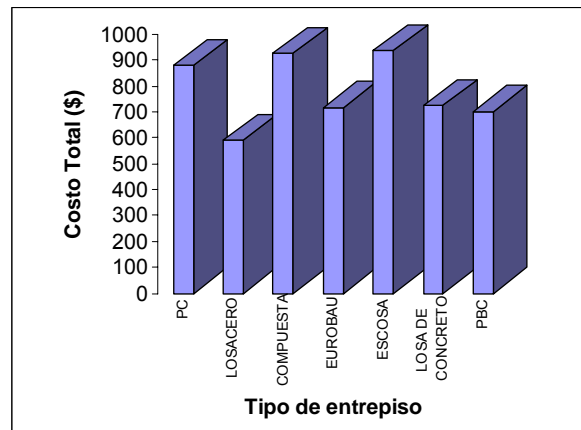


Gráfico 14. Costos totales para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

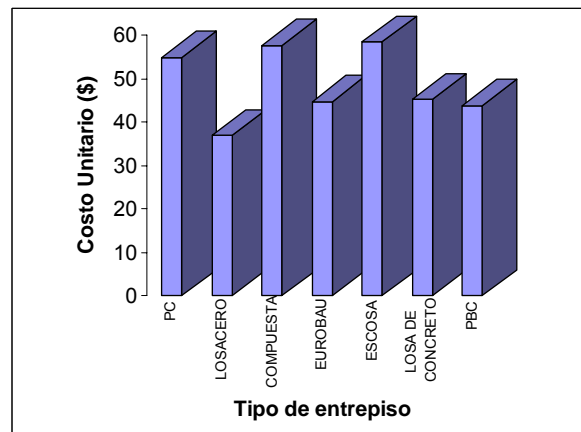


Gráfico 15. Costos Unitarios para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 22. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 5 m</b> |                           |                  |                  |
|--|---------------------------|------------------|------------------|
| Entrepiso  | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
| Losa de concreto monolítica.   | 432                       | 0.87             | 0.0086           |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | 183                       | 1.81             | 0.074            |
| Losacero   | 212                       | 3.87             | 0.357            |
| Entrepiso liviano PBC.   | 180                       | 3.29             | 0.527            |
| Entrepiso liviano ESCOSA.  | 175                       | 2.61             | 0.279            |
| Entrepiso pretensado PC.   | 325                       | 3.89             | 0.394            |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.  | 282                       | 3.61             | 0.373            |

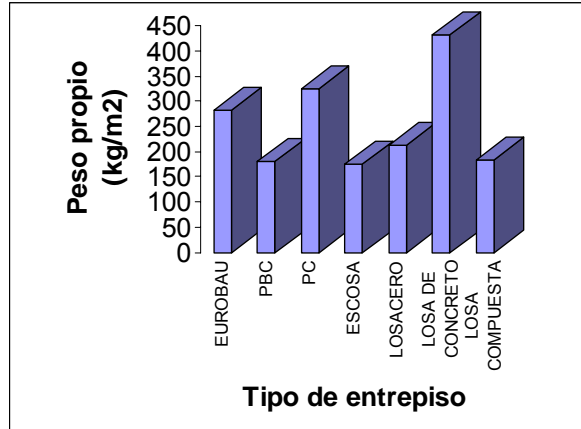


Gráfico 16. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

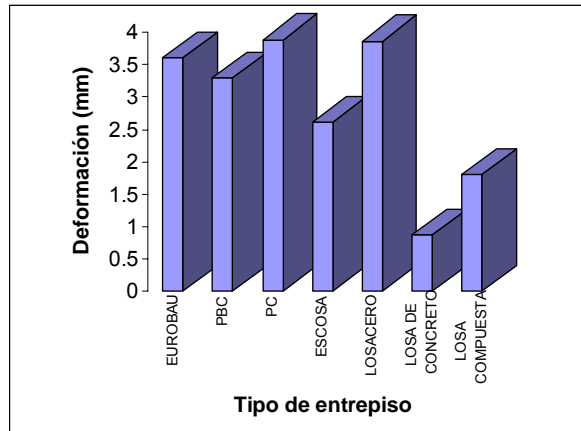


Gráfico 17. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

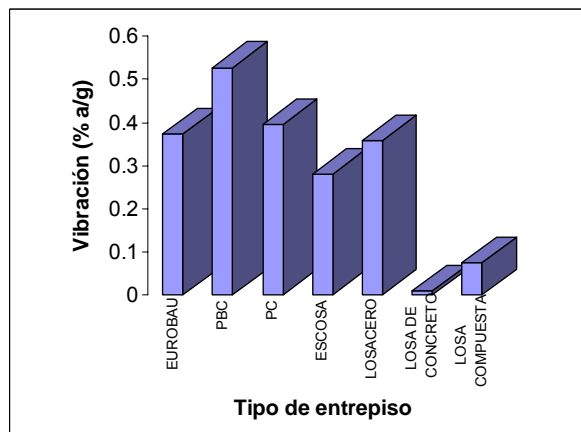


Gráfico 18. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 23. Costos totales y unitarios para los entresijos con una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 5 m</b> |           |                       |
|--|-----------|-----------------------|
| Entresijo  | Costo     | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica  | \$1275.61 | \$51.02               |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | \$1879.38 | \$75.18               |
| Losacero   | \$906.94  | \$36.28               |
| Entresijo liviano PBC.   | \$1069.60 | \$42.78               |
| Entresijo liviano ESCOSA.  | \$1478.23 | \$59.13               |
| Entresijo pretensado PC.   | \$1375.62 | \$55.02               |
| Entresijo pretensado EUROBAU.  | \$1101.86 | \$44.07               |

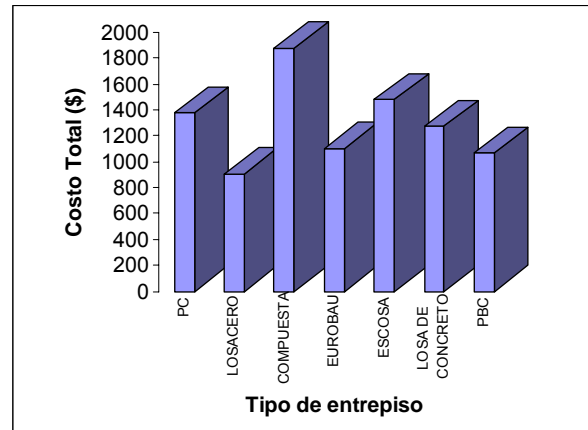


Gráfico 19. Costos totales para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

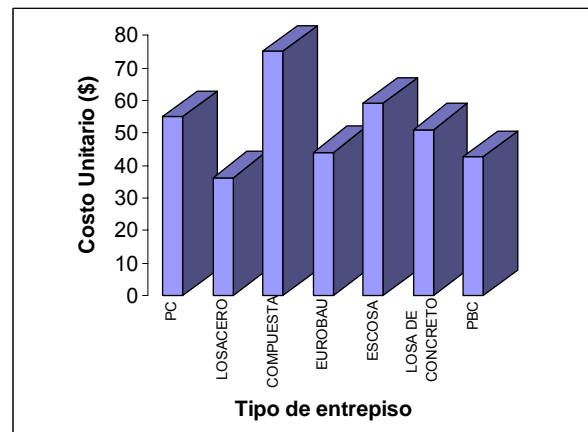


Gráfico 20. Costos Unitarios para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 24. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 6 m</b> |                           |                  |                  |
|--|---------------------------|------------------|------------------|
| Entrepiso  | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
| Losa de concreto monolítica.   | 480                       | 1.38             | 0.022            |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | 183                       | 3.76             | 0.231            |
| Losacero   | 213                       | 3.8              | 0.232            |
| Entrepiso liviano PBC.   | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso liviano ESCOSA.  | 190                       | 3.06             | 0.277            |
| Entrepiso pretensado PC.   | 360                       | 2.68             | 0.15             |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.  | 310                       | 7.43             | 0.702            |

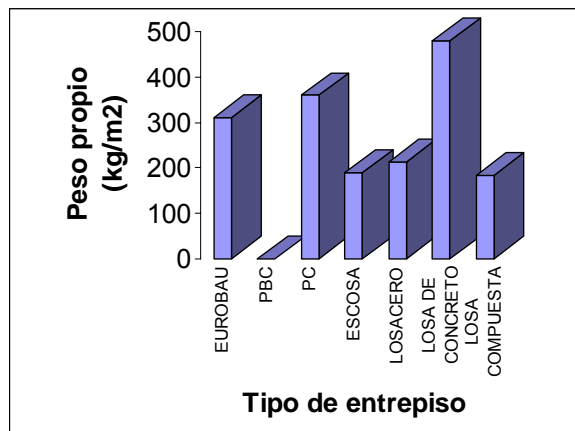


Gráfico 21. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

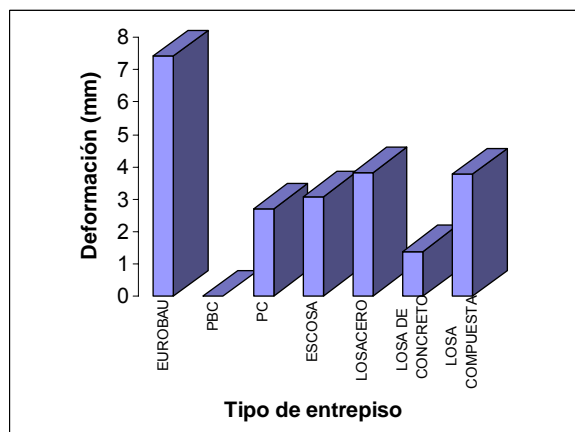


Gráfico 22. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

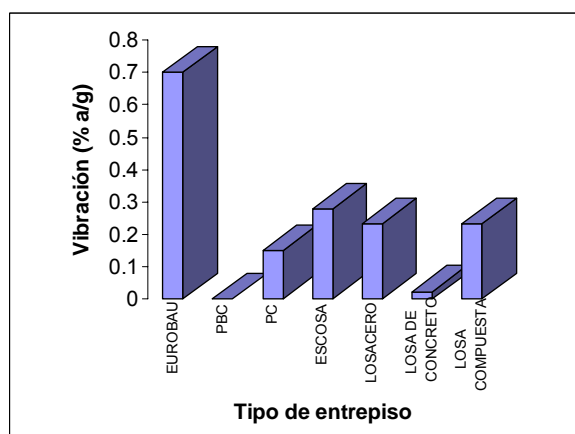


Gráfico 23. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>



| <b>Cuadro 25. Costos totales y unitarios para los entrepisos con una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 6 m</b> |           |                       |
|--|-----------|-----------------------|
| Entrepiso  | Costo     | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica  | \$1933.56 | \$53.71               |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | \$2708.87 | \$75.25               |
| Losacero   | \$1306.50 | \$36.29               |
| Entrepiso liviano PBC.   | -         | -                     |
| Entrepiso liviano ESCOSA.  | \$2146.82 | \$59.63               |
| Entrepiso pretensado PC.   | \$2170.97 | \$60.30               |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.  | \$1687.41 | \$46.87               |

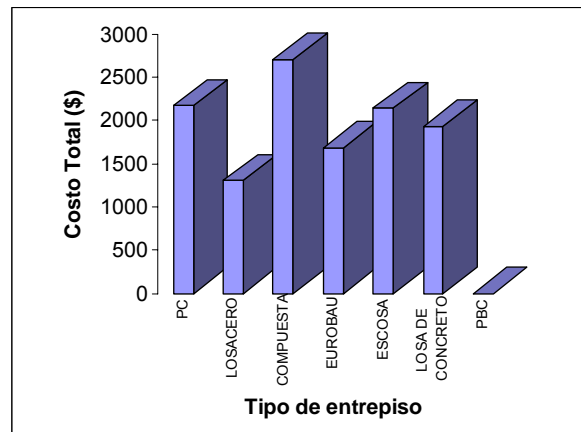


Gráfico 24. Costos totales para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

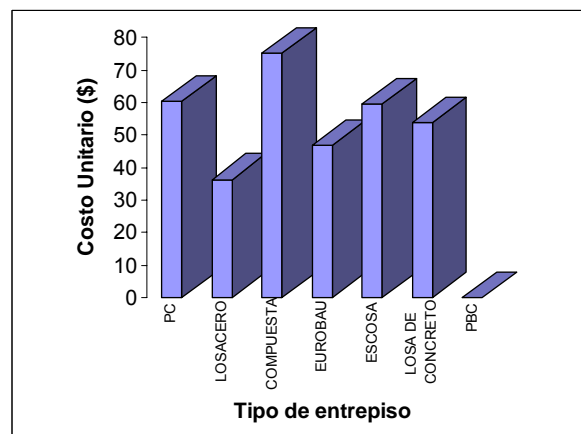


Gráfico 25. Costos Unitarios para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 250 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

**Cuadro 26. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 2 m**

| Entrepiso                           | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Losa de concreto monolítica.        | 288                       | 0.1              | 7.26E-08         |
| Losa compuesta de concreto y acero. | 156                       | 1.58             | 0.263            |
| Losacero                            | 210                       | 1.17             | 0.13             |
| Entrepiso liviano PBC.              | 180                       | 0.47             | 0.004            |
| Entrepiso liviano ESCOSA.           | 175                       | 0.38             | 0.0017           |
| Entrepiso pretensado PC.            | 325                       | 0.49             | 0.0049           |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.       | 282                       | 0.47             | 0.0041           |

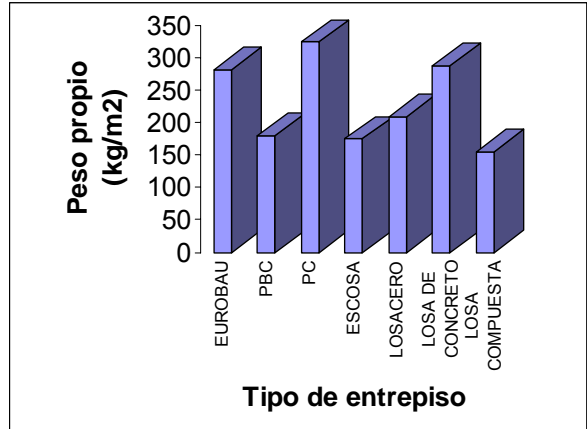


Gráfico 26. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

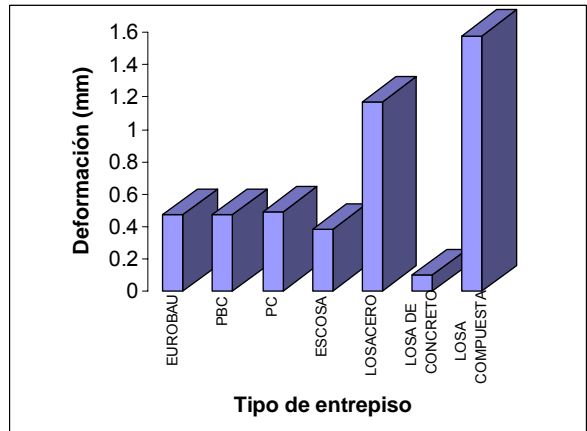


Gráfico 27. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

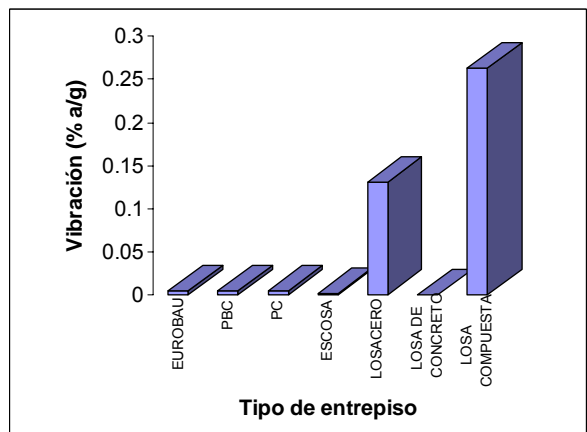


Gráfico 28. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 27. Costos totales y unitarios para los entresijos con una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 2 m</b> |          |                       |
|--|----------|-----------------------|
| Entresijo  | Costo    | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica  | \$169.47 | \$42.37               |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | \$148.01 | \$37.00               |
| Losacero   | ¢160.01  | ¢40.00                |
| Entresijo liviano PBC.   | \$166.71 | \$41.68               |
| Entresijo liviano ESCOSA.  | \$233.93 | \$58.48               |
| Entresijo pretensado PC.   | \$225.61 | \$56.40               |
| Entresijo pretensado EUROBAU.  | \$177.35 | \$44.34               |

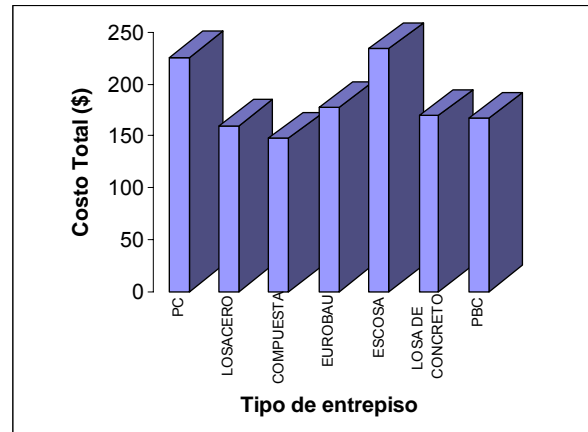


Gráfico 29. Costos totales para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

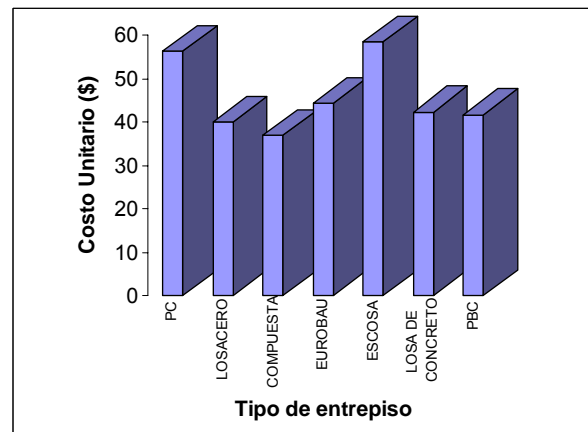


Gráfico 30. Costos Unitarios para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 28. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 3 m</b> |                           |                  |                  |
|--|---------------------------|------------------|------------------|
| Entrepiso  | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
| Losa de concreto monolítica.   | 360                       | 0.26             | 8.46E-05         |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | 156                       | 2.99             | 0.472            |
| Losacero   | 211                       | 2.37             | 0.29             |
| Entrepiso liviano PBC.   | 180                       | 2.37             | 0.397            |
| Entrepiso liviano ESCOSA.  | 175                       | 1.92             | 0.281            |
| Entrepiso pretensado PC.   | 325                       | 2.48             | 0.408            |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.  | 282                       | 2.36             | 0.385            |

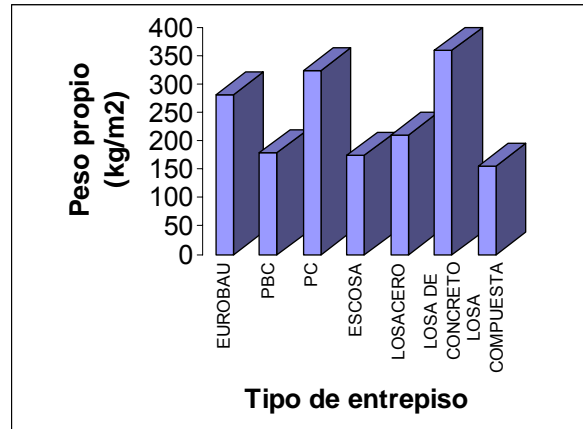


Gráfico 31. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

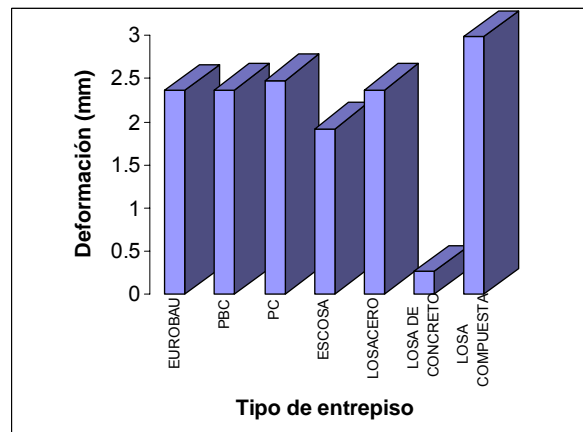


Gráfico 32. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

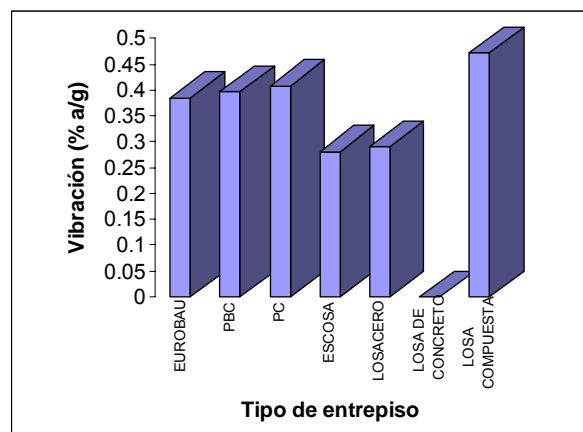


Gráfico 33. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 29. Costos totales y unitarios para los entresijos con una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 3 m</b> |          |                       |
|--|----------|-----------------------|
| Entresijo  | Costo    | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica  | \$417.09 | \$46.34               |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | \$345.78 | \$38.42               |
| Losacero   | \$350.41 | \$38.93               |
| Entresijo liviano PBC.   | \$380.93 | \$42.33               |
| Entresijo liviano ESCOSA.  | \$508.77 | \$56.53               |
| Entresijo pretensado PC.   | \$490.06 | \$54.45               |
| Entresijo pretensado EUROBAU.  | \$389.18 | \$43.24               |

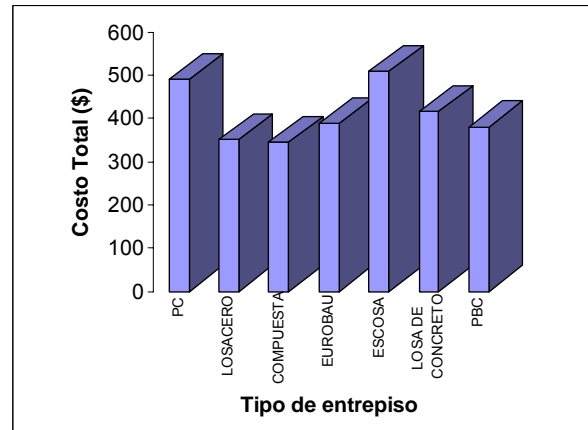


Gráfico 34. Costos totales para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

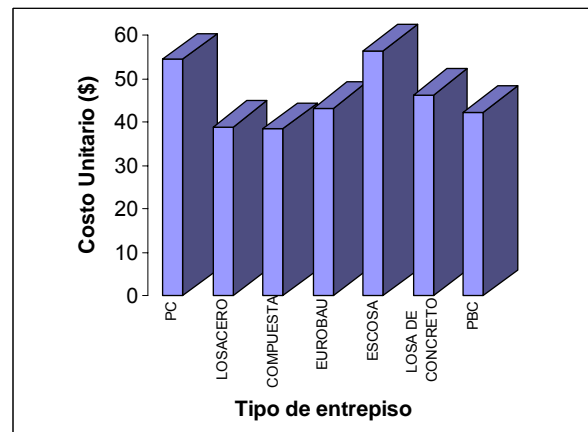


Gráfico 35. Costos Unitarios para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

**Cuadro 30. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 4 m**

| Entrepiso                           | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Losa de concreto monolítica.        | 360                       | 0.84             | 0.0097           |
| Losa compuesta de concreto y acero. | 157                       | 3.74             | 0.378            |
| Losacero                            | 211                       | 3.7              | 0.365            |
| Entrepiso liviano PBC.              | 197                       | 1.41             | 0.055            |
| Entrepiso liviano ESCOSA.           | 175                       | 1.52             | 0.087            |
| Entrepiso pretensado PC.            | 325                       | 1.96             | 0.136            |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.       | 282                       | 1.87             | 0.126            |

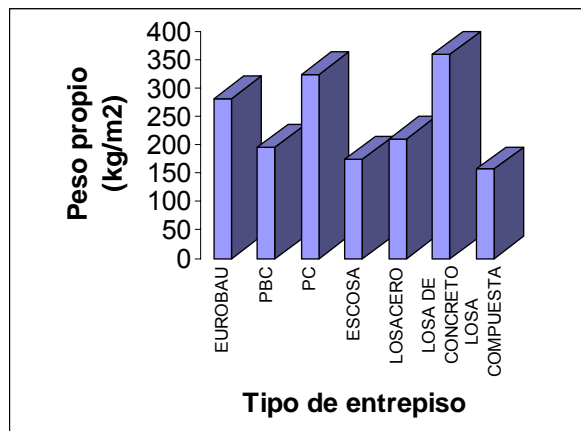


Gráfico 36. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

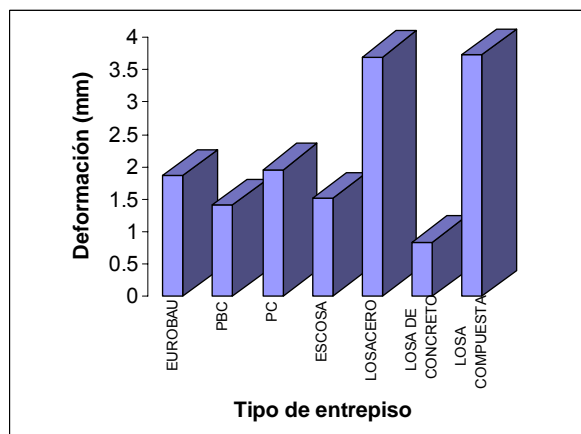


Gráfico 37. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

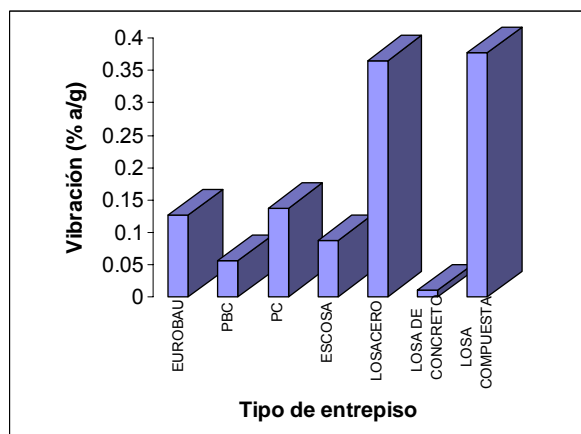


Gráfico 38. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 31. Costos totales y unitarios para los entresijos con una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 4 m</b> |          |                       |
|--|----------|-----------------------|
| Entresijo  | Costo    | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica  | \$737.26 | \$46.08               |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | \$926.70 | \$57.92               |
| Losacero   | \$595.70 | \$37.23               |
| Entresijo liviano PBC.   | \$712.81 | \$44.55               |
| Entresijo liviano ESCOSA.  | \$954.89 | \$59.68               |
| Entresijo pretensado PC.   | \$879.50 | \$54.97               |
| Entresijo pretensado EUROBAU.  | \$722.14 | \$45.13               |

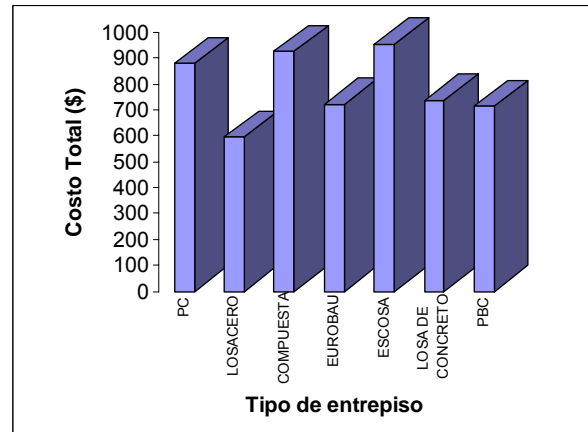


Gráfico 39. Costos totales para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

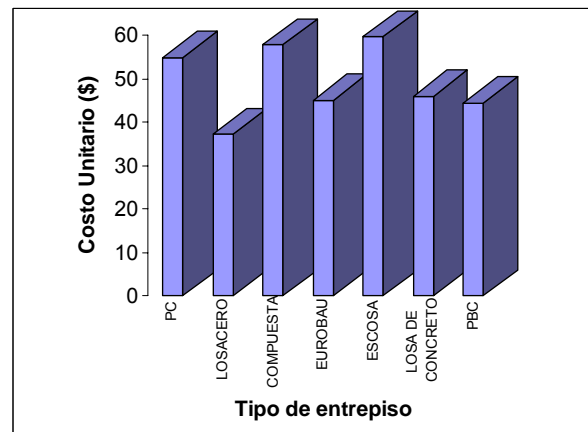


Gráfico 40. Costos Unitarios para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 32. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 5 m</b> |                           |                  |                  |
|--|---------------------------|------------------|------------------|
| Entrepiso  | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
| Losa de concreto monolítica.   | 432                       | 1.24             | 0.019            |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | 183                       | 2.59             | 0.116            |
| Losacero   | 212                       | 4.03             | 0.264            |
| Entrepiso liviano PBC.   | 197                       | 3.44             | 0.28             |
| Entrepiso liviano ESCOSA.  | 190                       | 2.03             | 0.127            |
| Entrepiso pretensado PC.   | 325                       | 4.69             | 0.473            |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.  | 310                       | 4.19             | 0.397            |

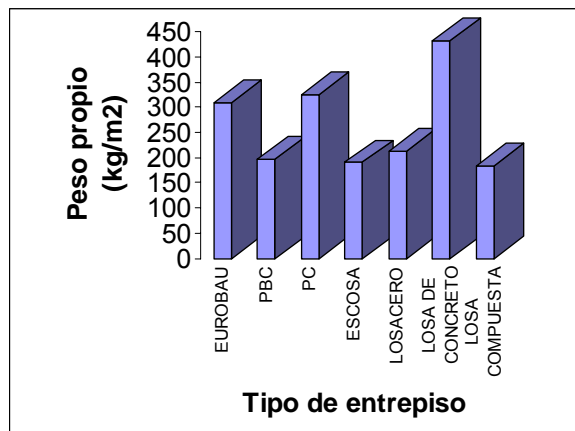


Gráfico 41. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

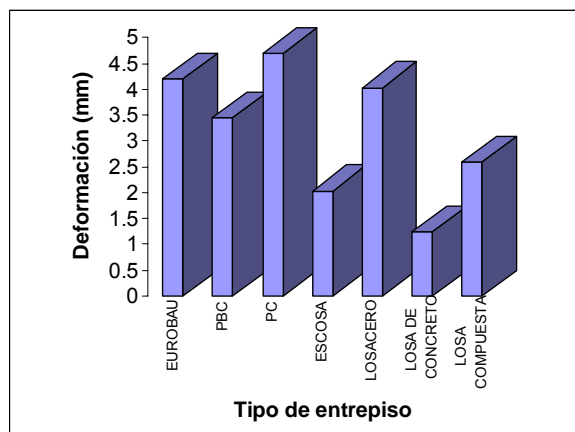


Gráfico 42. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

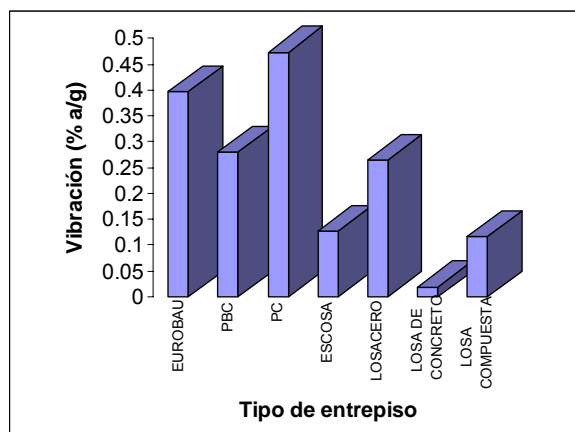


Gráfico 43. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>



| <b>Cuadro 33. Costos totales y unitarios para los entresijos con una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 5 m</b> |           |                       |
|--|-----------|-----------------------|
| Entresijo  | Costo     | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica  | \$1337.93 | \$53.52               |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | \$2020.44 | \$80.82               |
| Losacero   | \$ 936.46 | \$37.46               |
| Entresijo liviano PBC.   | \$1086.45 | \$43.46               |
| Entresijo liviano ESCOSA.  | \$1582.66 | \$63.31               |
| Entresijo pretensado PC.   | \$1375.62 | \$55.02               |
| Entresijo pretensado EUROBAU.  | \$1187.66 | \$47.51               |

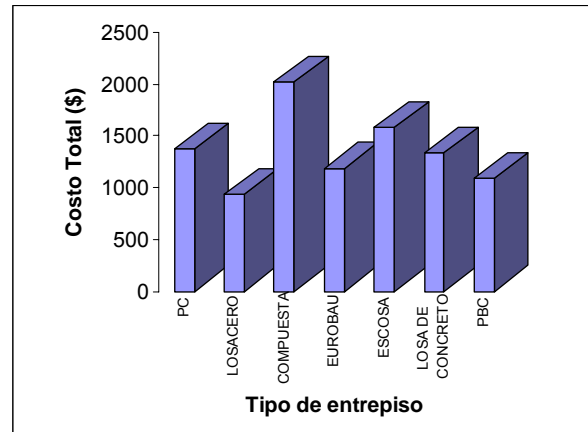


Gráfico 44. Costos totales para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

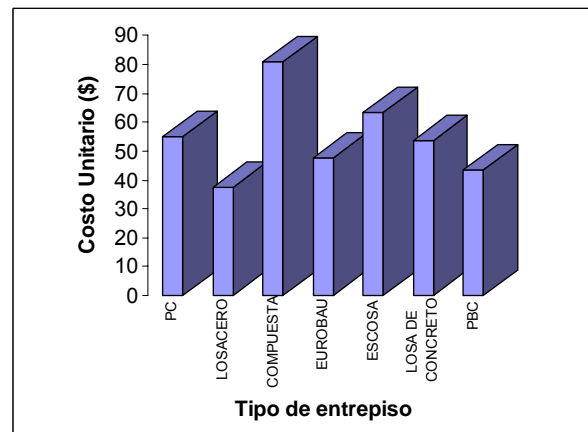


Gráfico 45. Costos Unitarios para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 34. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 6 m</b> |                           |                  |                  |
|--|---------------------------|------------------|------------------|
| Entrepiso  | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
| Losa de concreto monolítica.   | 480                       | 1.94             | 0.04             |
| Losa compuesta de concreto y acero.  | 205                       | 4.15             | 0.186            |
| Losacero   | 213                       | 3.74             | 0.155            |
| Entrepiso liviano PBC.   | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso liviano ESCOSA.  | 205                       | 2.85             | 0.191            |
| Entrepiso pretensado PC.   | 360                       | 3.2              | 0.2              |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.  | 310                       | 9.44             | 0.816            |

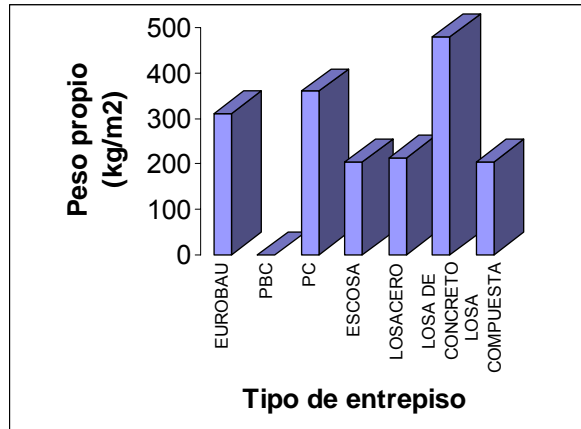


Gráfico 46. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

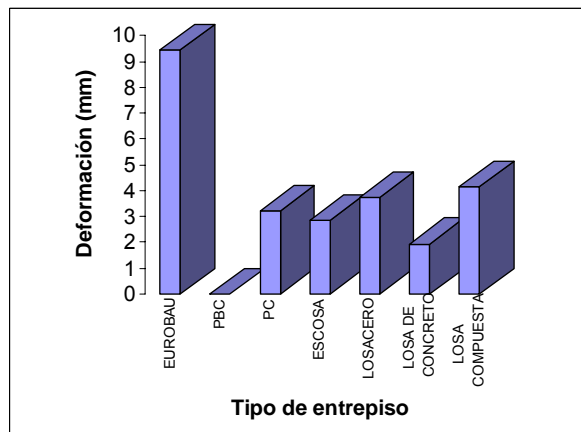


Gráfico 47. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

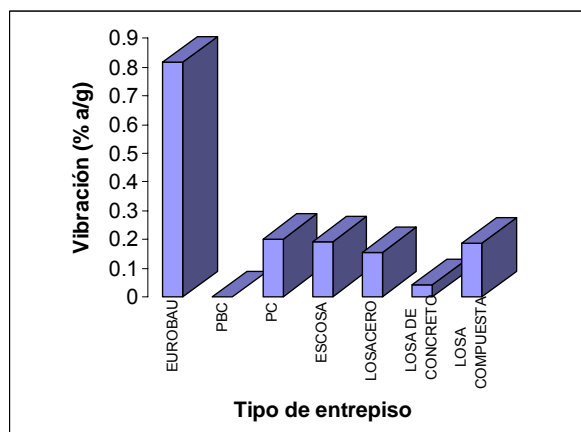


Gráfico 48. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

**Cuadro 35. Costos totales y unitarios para los entresijos con una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 155 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 6 m**

| Entresijo                           | Costo     | Costo/ m <sup>2</sup> |
|-------------------------------------|-----------|-----------------------|
| Losa de concreto monolítica         | \$1980.18 | \$55.00               |
| Losa compuesta de concreto y acero. | \$2917.33 | \$81.04               |
| Losacero                            | \$1369.42 | \$38.04               |
| Entresijo liviano PBC.              | -         | -                     |
| Entresijo liviano ESCOSA.           | \$2475.95 | \$68.78               |
| Entresijo pretensado PC.            | \$2170.97 | \$60.30               |
| Entresijo pretensado EUROBAU.       | \$1716.81 | \$47.69               |

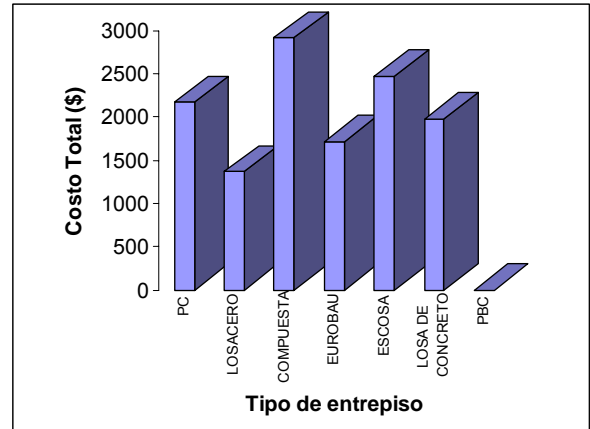


Gráfico 49. Costos totales para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

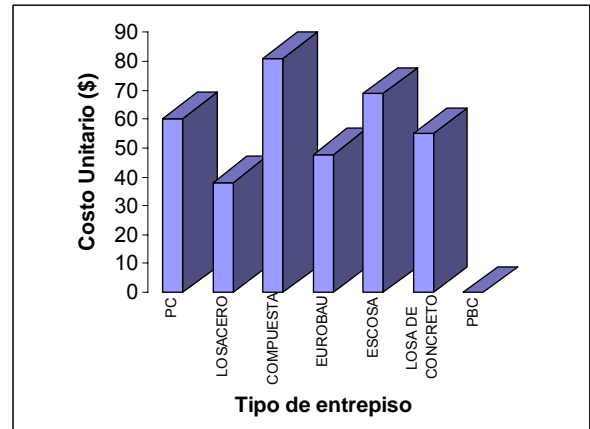


Gráfico 50. Costos Unitarios para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 500 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 155 kg/m<sup>2</sup>

**Cuadro 36. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 2 m**

| Entrepiso                           | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Losa de concreto monolítica.        | 288                       | 0.13             | 7.58E-07         |
| Losa compuesta de concreto y acero. | 156                       | 0.9              | 0.04             |
| Losacero                            | 210                       | 1.41             | 0.18             |
| Entrepiso liviano PBC.              | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso liviano ESCOSA.           | 175                       | 0.46             | 0.0038           |
| Entrepiso pretensado PC.            | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.       | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |

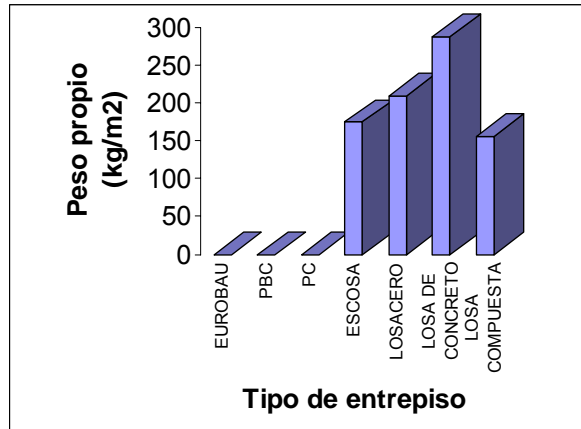


Gráfico 51. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

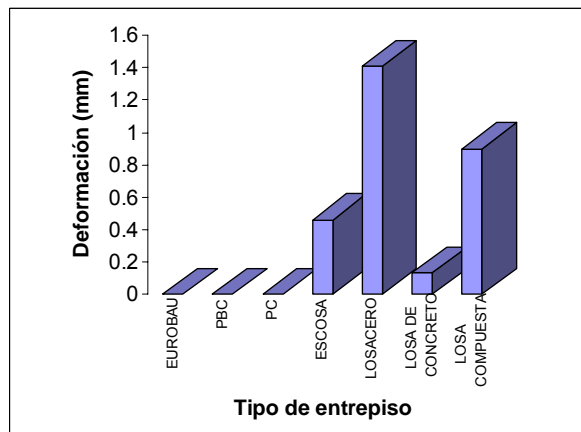


Gráfico 52. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

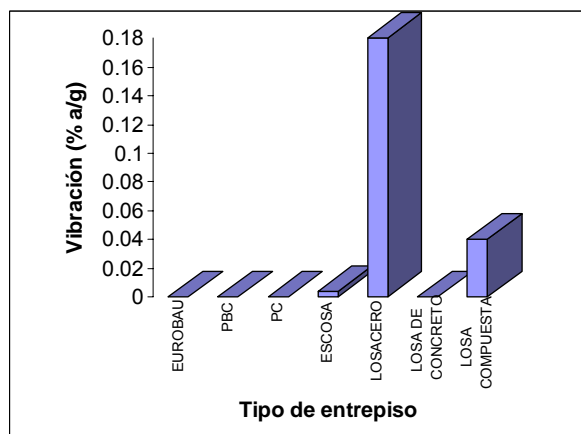


Gráfico 53. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 37. Costos totales y unitarios para los entresijos con una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 2 m</b> |          |                       |
|---|----------|-----------------------|
| Entresijo   | Costo    | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica   | \$169.47 | \$42.37               |
| Losa compuesta de concreto y acero.   | \$165.02 | \$41.26               |
| Losacero  | \$166.20 | \$41.65               |
| Entresijo liviano PBC.  | -        | -                     |
| Entresijo liviano ESCOSA.   | \$233.93 | \$58.48               |
| Entresijo pretensado PC.  | -        | -                     |
| Entresijo pretensado EUROBAU.   | -        | -                     |

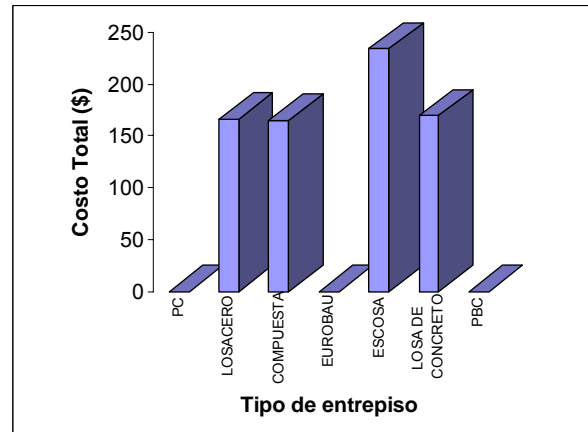


Gráfico 54. Costos totales para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

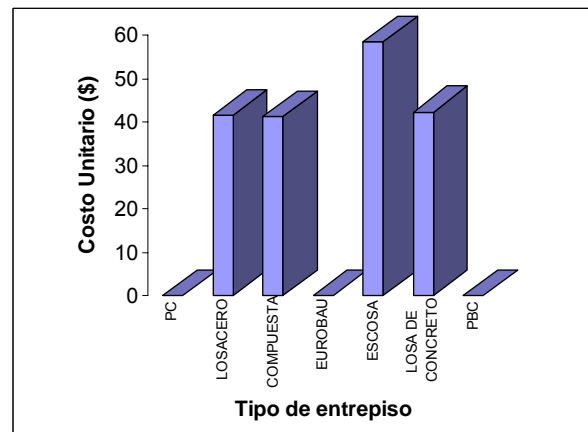


Gráfico 55. Costos Unitarios para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 2 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 38. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 3 m</b> |                           |                  |                  |
|---|---------------------------|------------------|------------------|
| Entrepiso   | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
| Losa de concreto monolítica.  | 360                       | 0.34             | 0.0003           |
| Losa compuesta de concreto y acero.   | 156                       | 2.15             | 0.197            |
| Losacero  | 211                       | 2.87             | 0.35             |
| Entrepiso liviano PBC.  | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso liviano ESCOSA.   | 175                       | 2.34             | 0.36             |
| Entrepiso pretensado PC.  | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.   | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |

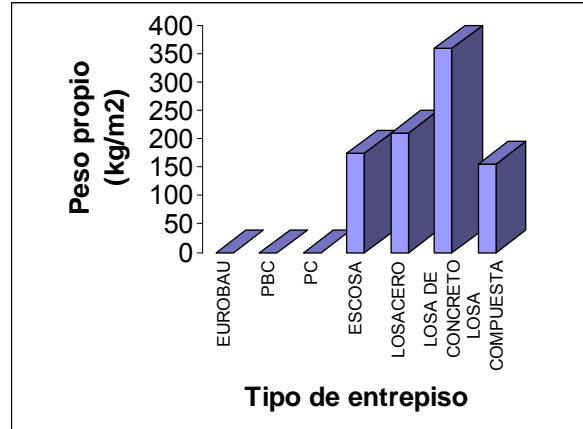


Gráfico 56. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

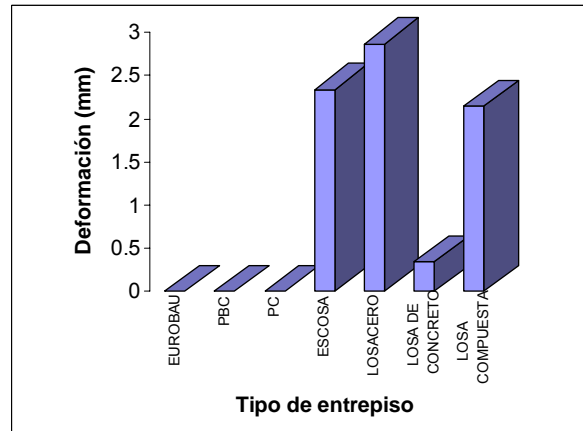


Gráfico 57. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

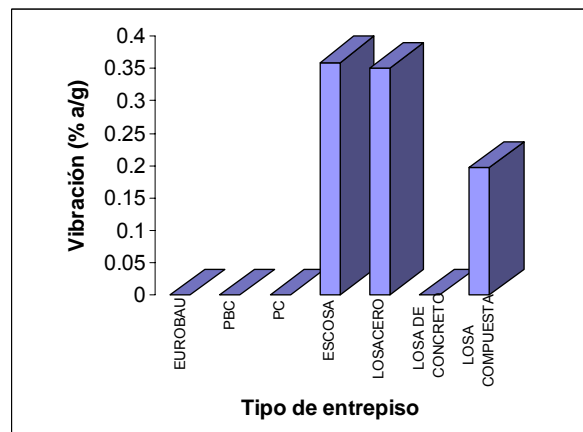


Gráfico 58. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 39. Costos totales y unitarios para los entrepisos con una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 3 m</b> |          |                       |
|---|----------|-----------------------|
| Entrepiso   | Costo    | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica   | \$417.47 | \$46.34               |
| Losa compuesta de concreto y acero.   | \$375.76 | \$41.75               |
| Losacero  | \$347.76 | \$38.64               |
| Entrepiso liviano PBC.  | -        | -                     |
| Entrepiso liviano ESCOSA.   | \$508.77 | \$56.53               |
| Entrepiso pretensado PC.  | -        | -                     |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.   | -        | -                     |

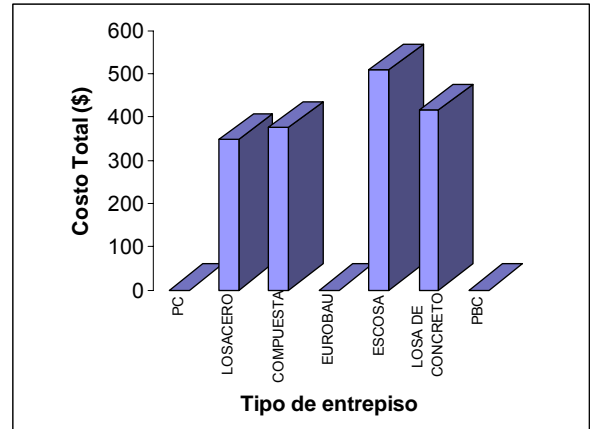


Gráfico 59. Costos totales para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

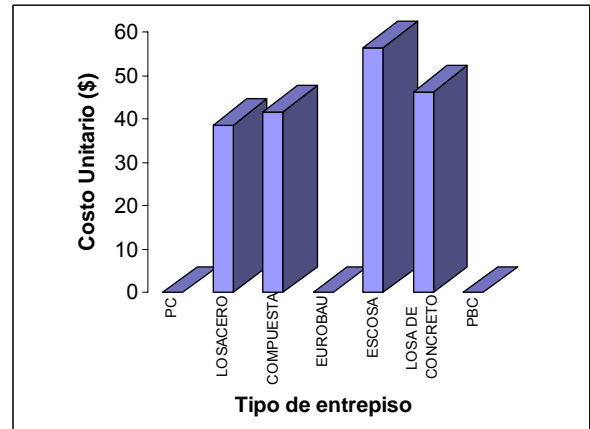


Gráfico 60. Costos Unitarios para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 3 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

**Cuadro 40. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 4 m**

| Entrepiso                           | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Losa de concreto monolítica.        | 360                       | 1.08             | 0.0187           |
| Losa compuesta de concreto y acero. | 181                       | 4.19             | 0.368            |
| Losacero                            | 212                       | 3.34             | 0.245            |
| Entrepiso liviano PBC.              | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso liviano ESCOSA.           | 190                       | 4.03             | 0.474            |
| Entrepiso pretensado PC.            | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.       | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |

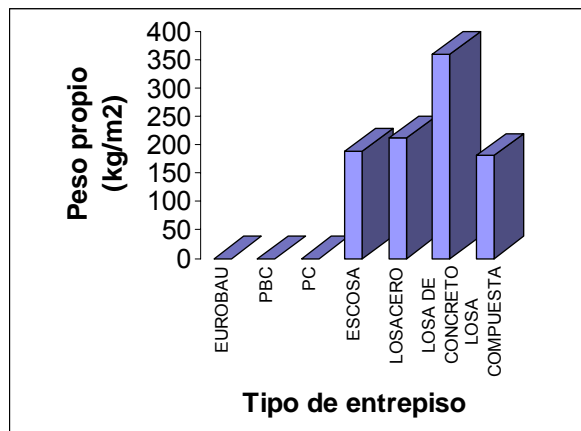


Gráfico 61. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

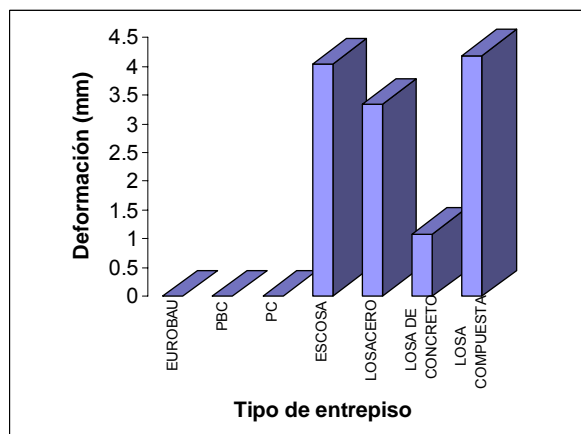


Gráfico 62. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

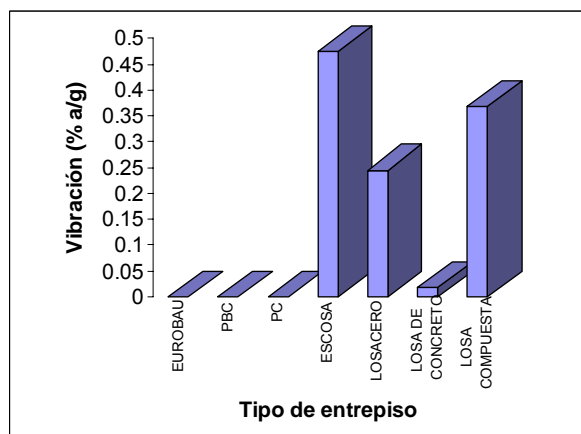


Gráfico 63. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>



| <b>Cuadro 41. Costos totales y unitarios para los entresijos con una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 4 m</b> |           |                       |
|---|-----------|-----------------------|
| Entresijo   | Costo     | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica   | \$806.22  | \$50.39               |
| Losa compuesta de concreto y acero.   | \$948.91  | \$59.31               |
| Losacero  | \$620.56  | \$38.79               |
| Entresijo liviano PBC.  | -         | -                     |
| Entresijo liviano ESCOSA.   | \$1004.45 | \$62.78               |
| Entresijo pretensado PC.  | -         | -                     |
| Entresijo pretensado EUROBAU.   | -         | -                     |

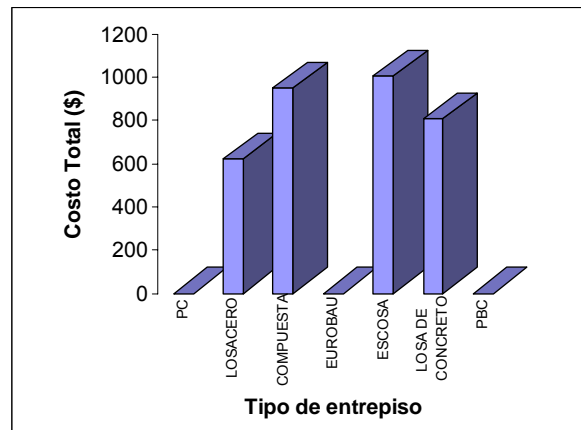


Gráfico 64. Costos totales para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

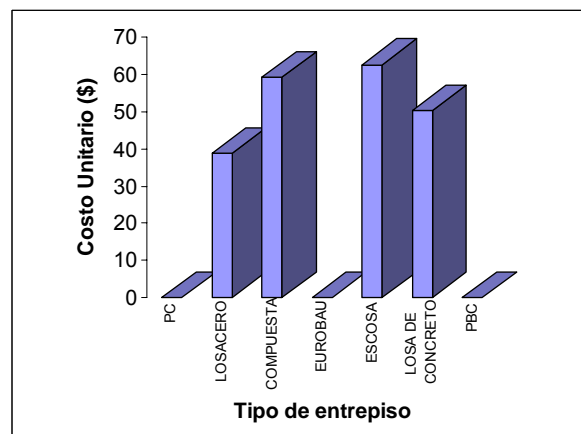


Gráfico 65. Costos Unitarios para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 4 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

**Cuadro 42. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 5 m**

| Entrepiso                           | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Losa de concreto monolítica.        | 432                       | 1.59             | 0.0325           |
| Losa compuesta de concreto y acero. | 157                       | 4.41             | 0.249            |
| Losacero                            | 212                       | 3.71             | 0.189            |
| Entrepiso liviano PBC.              | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso liviano ESCOSA.           | 205                       | 1.66             | 0.067            |
| Entrepiso pretensado PC.            | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.       | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |

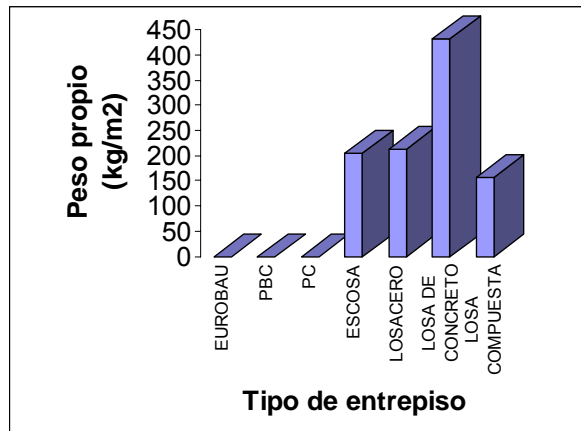


Gráfico 66. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

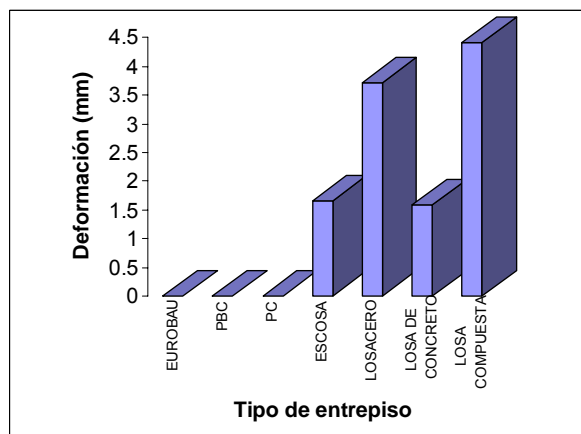


Gráfico 67. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

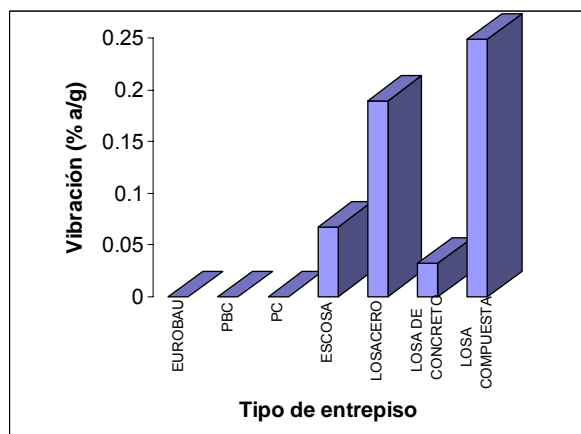


Gráfico 68. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 43. Costos totales y unitarios para los entresijos con una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 5 m</b> |           |                       |
|---|-----------|-----------------------|
| Entresijo   | Costo     | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica   | \$1718.38 | \$68.74               |
| Losa compuesta de concreto y acero.   | \$2196.50 | \$87.86               |
| Losacero  | \$1238.70 | \$49.55               |
| Entresijo liviano PBC.  | -         | -                     |
| Entresijo liviano ESCOSA.   | \$1801.02 | \$72.04               |
| Entresijo pretensado PC.  | -         | -                     |
| Entresijo pretensado EUROBAU.   | -         | -                     |

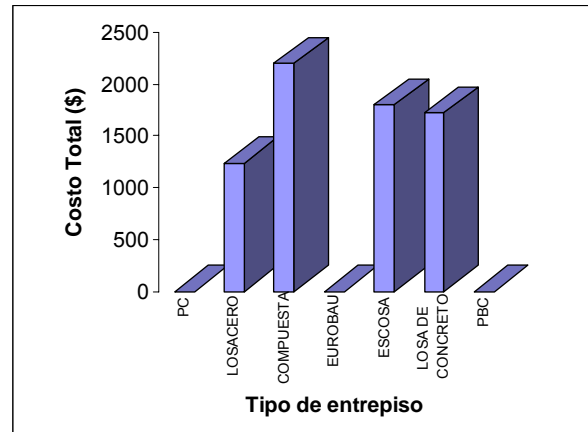


Gráfico 69. Costos totales para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

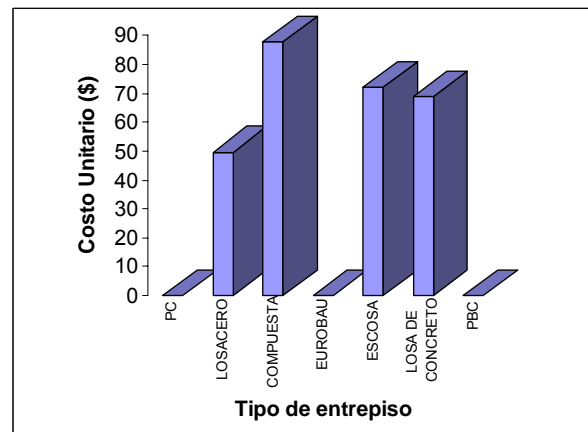


Gráfico 70. Costos Unitarios para los tipos de entresijos a una longitud entre apoyos de 5 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 44. Peso propio, deformación y vibración para los entrepisos con una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 6 m</b> |                           |                  |                  |
|---|---------------------------|------------------|------------------|
| Entrepiso   | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) | Vibración (a/g%) |
| Losa de concreto monolítica.  | 538                       | 1.9              | 0.032            |
| Losa compuesta de concreto y acero.   | 158                       | 3.05             | 0.114            |
| Losacero  | 213                       | 2.32             | 0.072            |
| Entrepiso liviano PBC.  | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso liviano ESCOSA.   | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso pretensado PC.  | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.   | N.A.                      | N.A.             | N.A.             |

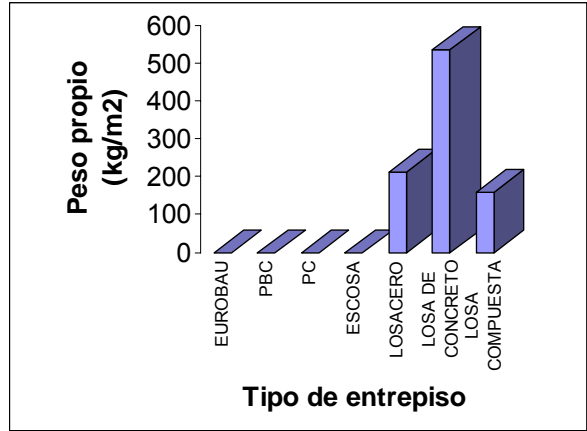


Gráfico 71. Peso propio para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

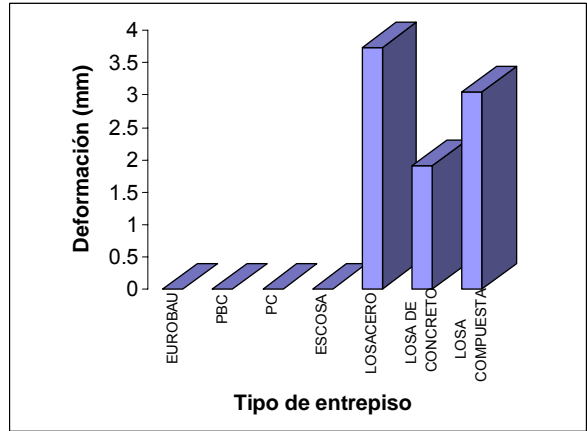


Gráfico 72. Deformación para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

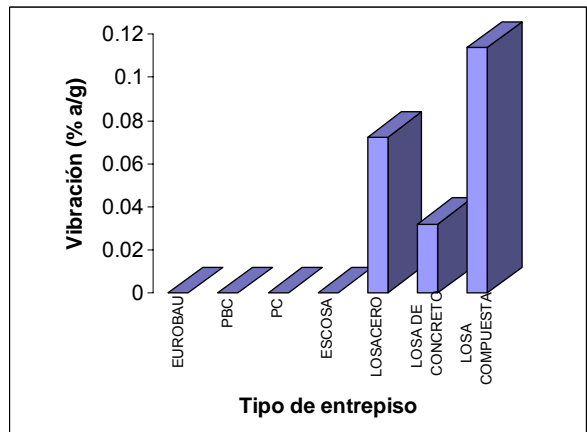


Gráfico 73. Vibración para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

| <b>Cuadro 45. Costos totales y unitarios para los entrepisos con una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup> y una carga permanente adicional por acabados de 35 kg/m<sup>2</sup> con una longitud entre apoyos de 6 m</b> |           |                       |
|---|-----------|-----------------------|
| Entrepiso   | Costo     | Costo/ m <sup>2</sup> |
| Losa de concreto monolítica   | \$2486.46 | \$69.07               |
| Losa compuesta de concreto y acero.   | \$3408.31 | \$94.68               |
| Losacero  | \$1810.39 | \$50.29               |
| Entrepiso liviano PBC.  | -         | -                     |
| Entrepiso liviano ESCOSA.   | -         | -                     |
| Entrepiso pretensado PC.  | -         | -                     |
| Entrepiso pretensado EUROBAU.   | -         | -                     |

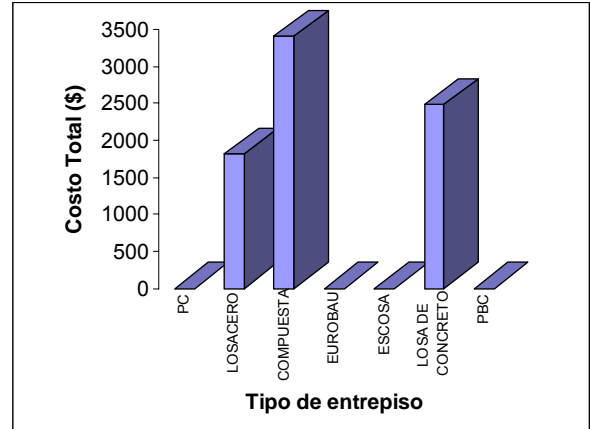


Gráfico 74. Costos totales para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

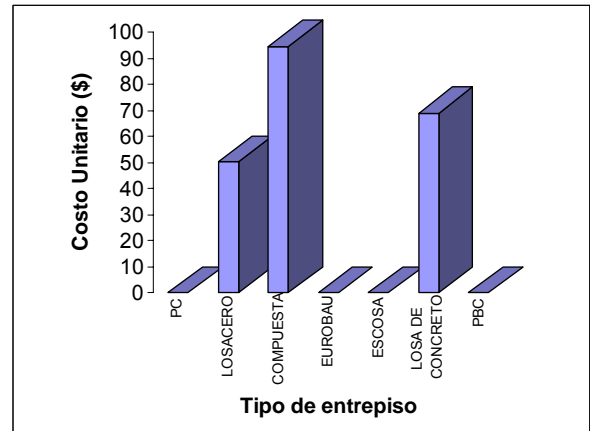


Gráfico 75. Costos Unitarios para los tipos de entrepisos a una longitud entre apoyos de 6 m y una carga viva de 800 kg/m<sup>2</sup>, carga permanente adicional de 35 kg/m<sup>2</sup>

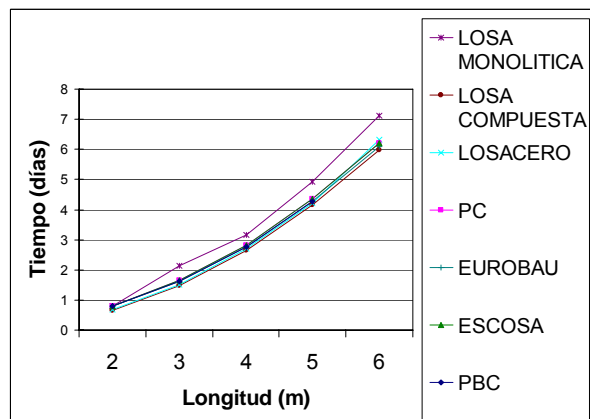


Gráfico 76. Tiempos de construcción vrs longitud para los diferentes tipos de entrepisos.

# Análisis de los resultados

En principio, se deben definir los parámetros bajos los cuales se va hacer el análisis y comparaciones, para efectos de no confundirse y desviarse de los objetivos propuestos. Se eligieron tres magnitudes de cargas vivas, de manera tal, que representen casi todos los destinos de piso, que el Código Sísmico de Costa Rica 2002 plantea. Una carga de  $250 \text{ kg/m}^2$  para habitaciones, oficinas, despachos, laboratorios, salones de lectura, aulas, salas de juegos y similares,  $500 \text{ kg/m}^2$  comercios, bodegas, fábricas de mercancía ligera, bibliotecas, salones de archivo y  $800 \text{ kg/m}^2$  comercios, bodegas y fábricas de mercancía pesada. Además, como se deben considerar las condiciones reales a las que se ve sujeto el piso, a los valores anteriores se les debe sumar el peso propio y carga muerta, de acabados, instalaciones electromecánicas, incrementando así la carga.

Es muy común que en cargas de  $250 \text{ kg/m}^2$  y  $500 \text{ kg/m}^2$ , debido a que representan destinos de piso relacionados a sitios de uso habitacional o comercial, se coloquen acabados que representen un peso significativo en el cálculo. En este proyecto se consideró una carga de  $155 \text{ kg/m}^2$  ( $10 \text{ kg/m}^2$  para ductos mecánicos,  $25 \text{ kg/m}^2$  para un acabado de cielo de gypsum y  $120 \text{ kg/m}^2$  para un acabado de piso terrazo).

Por ser la carga de  $800 \text{ kg/m}^2$  un valor elevado, y debido a que se proyecta que el destino de piso va a ser de uso industrial, el acabado de piso propuesto en los anteriores (terrazo) no aplica y se coloca un acabado de concreto lujado o un piso vinílico, disminuyendo la carga considerablemente a  $35 \text{ kg/m}^2$  como máximo.

Teniendo las cargas definidas, se eligieron los tipos de entresijos así como la geometría en la planta estructural, la longitud de vanos en las dos direcciones y la relación entre ellos. Para este apartado se trataron de seleccionar los sistemas y dimensiones más representativos, que en realidad se utilicen en Costa Rica frecuentemente.

Tradicionalmente, antes de industrializar y de existir los sistemas prefabricados, la manera de construir una losa de entresijo, lo que aún es práctico, es colando una losa de concreto armado o montando una losa compuesta de acero y concreto, comportándose como una serie de vigas T. Los anteriores entresijos se pueden clasificar como sistemas tradicionales, también considerado la losa acero que aunque es un sistema muy reciente, de cierta manera, es la base de análisis para los demás entresijos.

Un segundo grupo es el de los sistemas prefabricados, entre los cuales se encuentran los entresijos livianos y pretensados. Los entresijos livianos consisten en viguetas separadas entre  $68 \text{ cm}$  y  $70 \text{ cm}$  respectivamente y bloques de poliestireno. Se escogieron para tales efectos las empresas EXSTROM y ESCOSA. Por último los entresijos pretensados de las empresas Productos de Concreto y EUROBAU, en donde los bloques son de concreto y las viguetas pretensadas.

La geometría supuesta, consistió en cuadrados de  $2 \text{ m}$ ,  $3 \text{ m}$ ,  $4 \text{ m}$ ,  $5 \text{ m}$  y  $6 \text{ m}$ , con el fin de que la relación largo-ancho sea de  $1$ , simplificando así la decisión de la orientación de las viguetas, ya que en una dirección u otra siempre la distancia entre los apoyos es la misma.

Ya establecidos los parámetros bajo los cuales se harán las comparaciones, no queda más que diseñar y seleccionar los tipos de entresijos.

Se plantearon los cálculos bajo la teoría última, con el fin de llevar los materiales más allá del rango elástico, hasta la fluencia de éstos., por consiguiente, obtener secciones optimizadas.

Para el diseño de la losa monolítica, se utilizó el método de los coeficientes, este es un método simplificado, facilitando la determinación de los momentos, cortantes y reacciones. El modelo de análisis propuesto fue el de una losa apoyada en todos sus bordes ya sea por un muro o una viga. Al final se supone una viga de ancho

unitario y se calcula la cantidad de acero requerida a flexión. Se trató de hacer un balance entre la cantidad de concreto y acero, de modo tal, que interactuando un poco se logró que existiera esa proporción, ya que si se aumenta  $d$  (altura efectiva de la sección, medida como la distancia entre la fibra extrema a compresión y el centroide del refuerzo a tensión) el área de acero requerida es muy poca y si se disminuye sucede el caso contrario. Finalmente, se considera que se obtuvieron las secciones más adecuadas y económicas.

Para luces mayores a los cuatro metros, fue necesario reforzar más la losa, de manera tal, que el acero por temperatura es insuficiente. Se colocaron bastones a cierta distancia para poder soportar el momento negativo actuante. En la parte central y superior de la losa únicamente se coloca el acero por temperatura si así lo requiere el diseño.

Es importante mencionar que en algunos de los casos para facilitar el proceso constructivo, el apartado anterior se obvia, y se diseña para que el detalle del refuerzo sea una malla de acero y soporte las cargas sin la utilización de los bastones, evitando confusiones del operario y facilitando la inspección.

El diseño de los entrepisos compuestos, entendiéndose como dos materiales que se comportan como uno sólo, uno el acero y otro el concreto, o como también se consideró en los sistemas de entrepisos livianos y pretensados donde se trata de dos concretos con resistencias diferentes; el concreto se comportará como un fluido durante su colocación en el proceso constructivo, hasta que alcance un 75% de su resistencia a la compresión a los 28 días.

Para el diseño de la viga compuesta y el resto de los entrepisos, el modelo fue el de una viga simplemente apoyada. De igual forma se diseñó por teoría última como lo propone el Código Sísmico de Costa Rica. La combinación de carga al no considerarse el efecto de sismo y no actuar sobre el entrepiso cargas de empuje, el factor de carga para una carga permanente fue de 1.2 y para una carga temporal 1.7.

Se supone que durante el proceso constructivo se colocarán puntales. Lo anterior, obliga a detenerse y explicar un poco el efecto de apuntalamiento en las estructuras.

Esta condición nos hace suponer que el acero o la vigueta prefabricada durante el proceso constructivo se comporta como una viga

y ésta debe de soportar todas las cargas, como lo son su peso propio, el peso del concreto, una carga viva por los operarios que están trabajando sobre ella (chorreando el concreto) y alguna otra consideración, obligando a hacer una revisión de la sección.

Para seguir con el concepto de maximizar las capacidades de las secciones, si se apuntala la viga, la carga antes mencionada será distribuida a los puntales, logrando así que la viga de acero o vigueta trabaje hasta el momento en que se quiten los puntales, siendo este el mismo instante en que el concreto ya a alcanzado la resistencia y los dos materiales funcionan como una viga compuesta.

Es así, como la sección se puede disminuir, o siendo del caso en que no se pueda cambiar el tamaño de la sección por razones arquitectónicas, alcanzar luces mayores para una misma carga.

El procedimiento para diseñar la losa compuesta, fue básicamente proponer una sección rectangular de acero, definiendo un espesor de concreto. El momento actuante se compara con el plástico y si este es menor se acepta. Unas de las variables que afectan el resultado final son el espesor de la losa de concreto en el patín y la altura de la sección de acero. En el caso de la losa compuesta de  $500 \text{ kg/m}^2$  par luces entre apoyos de 5 y 6 metros, se aumentó el espesor de 5 cm de concreto a 6 y 7 cm respectivamente, ello con el fin de que se cumpliera la ecuación 23. Para todos los demás casos lo más conveniente fue variar el peralte de la pieza de acero.

Al final, para que la viga compuesta se comporte como una sola, se debe impedir el deslizamiento horizontal, esto se logró resistiendo la fuerza cortante horizontal en la interfaz por conectores de cortante. Se propuso varillas #3 y #4 soldada al patín superior de la viga de acero a una cierta separación.

Es de suma importancia y así se evidencia en los cálculos, el criterio de análisis y comportamiento, que para este tipo de estructuras la deformación y vibración vienen a regir en el diseño, la falla por flexión toma un papel secundario ya que la capacidad última supera el momento requerido en muchos de los casos por más del 25%, que bien se podría pensar que la sección está sobre diseñada, pero se justifica con el análisis de los otros criterios.

Los entrepisos livianos y pretensados, no fueron diseñados, simplemente se seleccionó el tipo de vigueta que el fabricante propone utilizar en sus manuales técnicos para una cierta carga sobrepuesta y claro entre apoyos. Como parte del análisis se verificó que se cumpliera igualmente con deformación y vibración, siguiendo los mismos criterios de una sección compuesta, sólo que en este caso concreto, de diferentes módulos de elasticidad.

Entrando en detalle, con los resultados obtenidos, hay que mencionar que para obtener un diseño confiable de un entrepiso, se deben analizar diferentes variables que afectan a la estructura: hacer un análisis por resistencia de cargas, por deformación y vibración. Estos parámetros deben encontrarse bajo los límites admisibles, para aprobar el diseño. Durante los cálculos que se hicieron muchas veces rigió el diseño por deformación o vibración, situación que es normal, y que se menciona porque muchas veces se comete el error de revisar únicamente los momentos actuantes contra los permisibles, y no se verifican los otros parámetros de funcionalidad o comportamiento, escogiendo erróneamente secciones menores de las que se deberían aplicar.

Cabe mencionar que para todos los entrepisos se calculó el peso propio, parámetro que sirvió de comparación. Conforme se aumenta el peralte de la losa de concreto o la sección de acero así aumentará el peso. En muchos de los casos el peso fue constante para luces entre apoyos diferentes, debido a que la sección propuesta era la misma, si variaba estos datos era porque se estaba proponiendo una vigueta de mayor dimensión o mayor cantidad de concreto a colocar.

La losa de concreto es el entrepiso más pesado en términos generales, producto de una mayor cantidad de concreto, espesor mayores a los 12 cm y aunque para cargas de 250 y 500 kg/m<sup>2</sup> y distancias menores a los 3 m el peso propio por m<sup>2</sup> llega a ser menor que otros, para todos los demás casos es superior. Por otro lado la losa de concreto es el entrepiso más liviano aunque no difiere mucho de los entrepisos livianos.

En el caso de la deformación en el instante en que se aplica la carga ya la estructura sufre una deformación y conforme transcurre el tiempo, la carga permanente al estar aplicada por largo periodo, produce un aumento de la

deflexión. El valor de la deflexión señalado en las tablas y gráficos es este último, por ser el más crítico.

Para longitudes mayores a los 4 m fue necesario la utilización de una viga diafragma, logrando disminuir las deformaciones y vibraciones en un entrepiso. El diseño de la viga diafragma están fuera del alcance de este proyecto, por lo tanto, se considera una viga diafragma capaz de transmitir las fuerzas y cumpla con todos los requisitos de Código Sísmico de Costa Rica 2002. Hay datos que no coinciden con los propuestos en las tablas de diseño de los fabricantes, caso específico el de la utilización de una viga diafragma a partir de la distancia de 4 m.

Se dan muchas variaciones de deformaciones y vibraciones para un mismo tipo entrepiso, para una cierta longitud la deformación disminuye, en la siguiente aumenta y se da casos en que disminuye otra vez, se justifican estas diferencias, debido a que las variables que se toman en cuenta son varias y de una longitud a otra se cambian, se proponen nuevas secciones, reforzamientos con vigas diafragmas, los momentos de inercia aumentan así como las cargas.

El diseño por vibraciones de un entrepiso debido a una excitación producto de personas caminando es satisfactorio si la vibración supera los 9 o 10 Hz. Esta es la frecuencia natural de los materiales que conforman el entrepiso y si no se ve superada, se logra un efecto de resonancia, en donde la amplitud de la onda tiende a aumentar cada vez más y más.

Para cumplir con lo anterior, la aceleración límite de 0.5%, (fracción de la gravedad) debe ser mayor a la calculada. Esta aceleración se ve afectada principalmente por el peso el cual es directamente proporcional a la aceleración, así como la frecuencia.

En la construcción el costo y tiempo quizás sean los factores decisivos para tomar la decisión de cual tipo de entrepiso usar, de manera que se determinaron los precios de materiales, mano de obra y se calculó un 3% de equipo sobre los costos de materiales, 52% de cargas sociales, un 10% de administración y utilidad. Para una mejor comparación de los datos el costo total se expresa por m<sup>2</sup>, obteniendo un precio unitario.

Para este apartado se dan varias alternativas. La primera es que conforme



aumenta la longitud así el precio del entrepiso, siendo un comportamiento lógico. Por otro lado, aumentando la longitud, disminuye el valor, sinónimo de que se está sub-utilizando el sistema para luces cortas caso el de la Losacero.

Los tiempos de construcción entre los tipos de entrepisos son muy similares entre ellos, es la losa monolítica la que demanda un tiempo mayor, debido a que en su proceso constructivo, se necesita de un poco más de actividades como formatear toda el área con un mayor apuntalamiento, mientras que en los demás se colocan las viguetas, los bloques o láminas, se apuntala en los casos que así lo requieran y se chorrea.

Básicamente, la losa compuesta es el tipo de entrepiso que vale la pena analizar, ya que para distancias menores a los 3 m, es sumamente competitivo con los otros tipos de entrepisos. Al sobrepasar esta distancia el costo es elevado en comparación con los demás, y es simplemente porque el precio del acero actualmente es alto, incidiendo directamente en el costo.

Anteriormente, se explicaron de una manera muy rápida los resultados obtenidos y es evidente que debido a la cantidad de gráficos y datos generados, analizarlos y concluir cuál es el entrepiso más adecuado, como se plantea en los objetivos, es un poco difícil sin antes tomar en cuenta varios aspectos.

Los resultados obtenidos, son básicamente tablas y gráficos de diseño, de manera tal que se simplifique el cálculo y agilicen los planos constructivos de una edificación. De manera que la mejor forma de interpretar los resultados es mediante algunos ejemplos utilizando estas ayudas de diseño.

EJEMPLO 1. Si se considera para un entrepiso:

- 1- Carga Viva 500 kg/m<sup>2</sup>.
- 2- Longitud entre apoyos 5 m.
- 3- Edificio con equipo sensible a las vibraciones.

Para solucionar el problema anterior, se ingresa al gráfico de vibraciones contra longitud, así como al de deformaciones para una carga de 500 kg/m<sup>2</sup> para una distancia de 5 m (gráficos 42 y 43), el entrepiso más adecuado es la losa monolítica, debido que el requisito principal es que la deformación y vibración que deba

presentar el entrepiso sea la menor por los equipos que son sensibles. En términos comparativos la losa de concreto se deforma 1.24 mm, mientras que el entrepiso que le sigue es el de Escosa en el cual la deformación es casi un 50% más. La vibración de la losa es casi despreciable (0.019%g). No se considera como primordial el costo o el peso propio, ya que este sistema es el más pesado y es uno de los más caros en comparación con los demás entrepisos.

EJEMPLO 2. Si se considera para un entrepiso:

- 1- Carga viva 250 kg/m<sup>2</sup>.
- 2- Longitud entre apoyos 2 m.
- 3- Se cuenta con poco presupuesto.

En esta condición el entrepiso más adecuado es la losa compuesta, ya que es el de menor costo, menor tiempo de construcción, y funcionalmente se comporta adecuadamente, su deformación y vibración se encuentran dentro de los límites admisibles. Ello fundamentado en los gráficos de costo vrs longitud para una carga de 250 kg/m<sup>2</sup> (gráficos 4 y 5). Es interesante mencionar que por ser una luz, entre apoyos, muy pequeña este tipo de entrepiso es muy competitivo, si se aumenta esta distancia ya se hace muy poco funcional y su costo supera a los demás.

EJEMPLO 3. Si se considera para un entrepiso:

- 1- Carga viva 800 kg/m<sup>2</sup>.
- 2- Longitud entre apoyo 4 m.
- 3- Plazos ajustados de entrega.

El entrepiso más adecuado quizás sea la losacero, o los entrepisos pretensados ESCOSA o PC, en donde el tiempo de construcción anda muy similar a los 6 o 7 días, aunque la losacero cuesta menos que los otros. De igual forma se ingresa a los gráficos de costo y tiempos de construcción vrs longitud para una carga de 800 kg/m<sup>2</sup> (gráficos 64, 65 y 76), ello con el fin de determinar el menor plazo y costo que son los parámetros de decisión, sin dejar de lado el comportamiento esperado y la seguridad del sistema.

Se evidencia con los ejemplos anteriores, que todos los entrepisos tienen sus ventajas y desventajas, y según como se analicen, así se considerarán adecuados o no, muchas son las

variables que hay que tomar en cuenta para seleccionar el sistema de piso.

# Conclusiones

Del trabajo realizado anteriormente se concluye que para hacer un análisis técnico-económico de los tipos de entrepiso más comunes usados en Costa Rica, y definir cuál es el entrepiso más adecuado, se deben tomar en cuenta varios criterios y factores que afectan la decisión final.

- 1- Se debe diseñar bajo la reglamentación vigente en el país, cumpliendo con el Código Sísmico de Costa Rica 2002. Éste propone diferentes destinos de piso, de manera tal, que según sea el uso que se le dé a la edificación así será la carga temporal que se deba aplicar. En este caso se usaron cargas temporales de  $250 \text{ kg/m}^2$ ,  $500 \text{ kg/m}^2$  y  $800 \text{ kg/m}^2$ .
- 2- Existen diferentes materiales que se pueden usar para la construcción de un entrepiso. El concreto con diferentes módulos de elasticidad y el acero como elementos estructurales. Como formaleta la madera, láminas de hierro galvanizado, fibrolit, bloques de concreto o poliestireno. Asimismo, se usen en una o mayor cantidad, se verá afectado el peso por metro cuadrado siendo más liviano o pesado el entrepiso.
- 3- Entre mayor sea el peso de un entrepiso, mayor el reforzamiento de las vigas o muros de apoyo.
- 4- Hay diferentes alternativas constructivas para un entrepiso. La más tradicional: la de colar una losa de concreto. Construir un entrepiso compuesto de viguetas con tubo estructural, y sobre ellas una losa de concreto de poco espesor. Entrepisos prefabricados, de los cuales hay una gran variedad y empresas que los ofrecen, en este trabajo se le dio énfasis a los livianos y pretensados por ser éstos de los sistemas usualmente más usados. Productos de Concreto, Eurobau, Escosa, PBC y losacero son los entrepisos analizados.
- 5- Diferentes criterios y comportamientos son los que se deben de considerar para el diseño de un entrepiso. Es decir, definir el enfoque de diseño, si es por esfuerzos permisibles, o un diseño plástico. Se debe revisar que la estructura cumpla por flexión, deformación y vibración.
- 6- Tanto la flexión, deformación y vibración deben ser comparados con un patrón, un límite admisible, para que sea aceptado el diseño, de manera tal, que los criterios de aceptabilidad en el trabajo antes realizado fueron: que el momento actuante fuese menor que el momento plástico de la sección. La deformación menor que la longitud entre apoyos / 360 según el Código Sísmico de Costa Rica 2002. Y la vibración no debe superar un 0.5% de la gravedad, ello con el fin de que no se alcancen las frecuencias de los materiales y se dé el efecto de resonancia, además que las personas no perciban la vibración.
- 7- El diseño por vibraciones de un entrepiso debido a una excitación producto de personas caminando es satisfactorio si la vibración supera los 9 o 10 Hz. Esta es la frecuencia natural de los materiales que conforman el entrepiso y si no se ve superada, se logra un efecto de resonancia, en donde la amplitud de la onda tiende a aumenta cada vez más y más.
- 8- Las variables que se toman en cuenta para el cálculo de deformaciones y vibraciones son varias y de una longitud a otra se cambian, se proponen nuevas secciones, reforzamientos con vigas diafragmas, los momentos de inercia aumentan así como las cargas, por lo que de una gráfico a otro se dan variaciones notables, la deformación o vibración para un mismo tipo de entrepiso

- puede aumentar como disminuir de una cierta longitud a otra.
- 9- Según sea la carga y la distancia entre apoyos, se debe disminuir o aumentar el peralte de la losa, proponer secciones de viguetas de un menor o mayor tamaño.
  - 10- En los casos en que las luces entre apoyos superen los cuatro metros se debe considerar una viga diafragma para contrarrestar las deformaciones y vibraciones máximas que se producen, con el fin de no sobrepasar los límites admisibles.
  - 11- Si se apuntala la estructura se logran luces más grandes en el caso en que no se pueda cambiar la sección por motivos arquitectónicos, o en su defecto disminuir esta sección ya que los puntales soportan toda la carga hasta que la sección compuesta se comporte como tal.
  - 12- Para que la viga compuesta se comporte como una sola, se debe impedir el deslizamiento horizontal, esto se logra resistiendo la fuerza cortante horizontal en la interfaz por conectores de cortante. Se propusieron varillas #3 y #4 soldadas al patín superior de la viga de acero a una cierta separación
  - 13- Los costos asociados a la construcción de un entrepiso se ven afectados por el sistema que se elija y los materiales que se decidan utilizar. En términos globales resultan ser más competitivos los entrepisos de sólo concreto, que aquellos donde se utilice el acero. Además que los tiempos de construcción dependen mucho del tipo de entrepiso y si la mano de obra es calificada o no para construirlo. Al final este factor afecta el costo final de la obra.
  - 14- Conforme aumenta la longitud así el precio del entrepiso, siendo un comportamiento lógico. Por otro lado, puede darse el caso en que aumentando la longitud, disminuya el valor, sinónimo de que se está sub-utilizando el sistema para luces cortas caso el de la Losacero.
  - 15- La losa compuesta para distancias menores a los 3 m, es sumamente competitiva con los otros tipos de entrepisos. Al sobrepasar esta distancia

el costo es elevado en comparación con los demás, y es simplemente porque el precio del acero actualmente es alto, incidiendo directamente en el costo.

- 16- De una manera fácil y rápida uno puede escoger y presupuestar un tipo de entrepiso, utilizando las gráficas de diseño presentes en este informe según sean los requerimientos. Se explicó el uso de las mismas en tres ejemplos. En el primer caso el entrepiso más adecuado fue la losa de concreto, para el segundo la losa compuesta y para el tercero la losacero
- 17- Es claro, por tanto que todos los entrepisos tienen sus ventajas y desventajas, y según como se analicen, así se considerarán adecuados o no, muchas son las variables que hay que tomar en cuenta para seleccionar el sistema de piso. Por lo que es una sana costumbre para todos los involucrados en la construcción, hacer siempre un análisis comparativo técnico-económico de las estructuras a construir para escoger el sistema más eficiente y económico.

# Apéndices

- Apéndice 1. Diseño losa de concreto.
- Apéndice 2. Diseño losa compuesta.
- Apéndice 3. Diseño losacero.
- Apéndice 4. Selección y revisión entrepisos pretensados.
- Apéndice 5. Selección y revisión entrepisos livianos.
- Apéndice 6. Presupuestos.

# Anexos

- Anexo 1. Manual técnico (losacero).
- Anexo 2. Manual técnico (PC).
- Anexo 3. Manual técnico (EUROBAU).
- Anexo 4. Manual técnico (ESCOSA).
- Anexo 5. Manual técnico (PBC).
- Anexo 6. Información técnica.

# Referencias

- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. 2002. CODIGO SIMICO DE COSTA RICA 2002. Costa Rica: Editorial Tecnológico de Costa Rica, Cap 6 y 7.
- American Concrete Institute. 2003. REQUISITOS ESENCIALES PARA EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO. Colombia: Imprelibros S.A, Cap 4 al 7.
- Nilson, A. H. & Winter, G. 1995. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO. Colombia: Editorial McGraw Hill, 11ma. Edición, Cap 12.
- William T. Segui. 2000. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CON LRFD. México: Internacional Thomson Editores, 2da edición, Cap 9.
- Thomas M. Murria, Phd, P.E.; David E. Allen, Phd; Eric E. Ungar, ScD, P.E. 1997. FLOOR VIBRATIONS DUE TO HUMAN ACTIVITY. Estados Unidos: American Institute of Steel Construcccion, Inc, Cap 4.
- Ed. Chen Wainfah; Boca Raton. 1999. STRUCTURAL ENGINEERING HANDBOOK. Estados Unidos. CRC Press LLC, Cap 6.
- Ortiz Quesada, Guanina; Paniagua Madrigal, Eduardo. 2003. COSTOS DE CONSTRUCCION. Costa Rica: Editorial tecnológica de Costa Rica, 12p.
- Estructuras de Concreto S.A.  
[www.escosacr.com/informacion-tecnica.htm](http://www.escosacr.com/informacion-tecnica.htm)
- Productos de Concreto.  
[www.holcim.com/CRPC/CRP/b/GCK/oid/39730/channel\\_id/-8668/module/gnm20/jsp/templates/editorial/editorial.html](http://www.holcim.com/CRPC/CRP/b/GCK/oid/39730/channel_id/-8668/module/gnm20/jsp/templates/editorial/editorial.html)
- IMSA Costa Rica. MANUAL DE INSTALACION LOSACERO SECCION 4.