



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LOSAS DE ENTREPISO

Maritza Ramos Rugel

Piura, 27 de Noviembre de 2002

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Análisis técnico y económico de losas de entrepiso”

**Tesis para optar por el Título de
Ingeniero Civil**

Maritza Ramos Rugel

Asesor: Ing° Manuel A. Ramírez

Piura, septiembre de 2002

*A ti Señor,
a Dora y Manuel por su
amor, ayuda y esfuerzo,
mil gracias*

Prólogo

En el Perú existe la necesidad de contar con sistemas constructivos más eficientes y económicos, lo que requiere de nuevos conceptos en el diseño y la construcción de losas estructurales en edificaciones ante las grandes limitaciones técnicas y constructivas de los sistemas convencionales que se han mantenido hasta la actualidad y que forman parte de la cultura del sector de construcción. Por ello, con esta tesis pretendemos dar a conocer los distintos sistemas constructivos así como sus ventajas y desventajas, con el objetivo de tener un texto que sirva como guía y comprensión en el estudio del comportamiento de losas de entrepiso apoyadas sobre vigas.

Las losas de entrepiso aligeradas se consideran como uno de los elementos más usados en la construcción. Se usan con la finalidad de conseguir estructuras más ligeras y económicas, lo que es beneficioso para disminuir las fuerzas originadas por la acción de los sismos, así como las dimensiones de las cimentaciones y de otros elementos de la estructura.

En el segundo capítulo de este estudio damos a conocer los sistemas de construcción de losas de entrepiso –usados en otras partes del mundo–, que emplean diversos elementos y materiales aligerantes.

A través de este estudio explicamos en detalle las consideraciones que se deben tener en cuenta para el diseño de tres tipos de losas de entrepiso: sistema compuesto con lámina colaborante, con viguetas pretensadas y losas de concreto vaciado “*in situ*” en una y dos direcciones. Además realizamos una comparación entre estos sistemas que fueron elegidos debido a la poca difusión que tienen en el Perú, a pesar del gran uso que se les da en otros países.

El capítulo III trata sobre el sistema de lámina colaborante. Éste es tabulado en información bibliográfica, en el informe técnico sobre lámina colaborante publicado por Arquitectura Metálica S.A, ACESCO, de la Universidad de los Andes de Colombia, y en la información proporcionada por Desarrollos Constructivos S.A.C y CALAMINON. No queremos dejar de destacar que los capítulos IV y V de la tesis han sido realizados siguiendo las normas del Reglamento Nacional de Construcción –R.N.C–.

Deseo expresar mi agradecimiento a Desarrollos Constructivos S.A.C. por la información dada; a *Industries FIRTH* que, a través de la ingeniera María Inés Castillo, me proporcionó información para el desarrollo del capítulo de losas compuestas con viguetas pretensadas.

Agradezco también a los ingenieros Arturo Martínez, Martín Chávez, Wilson Reyes, Alicia Borja McCormick de Tesicol y al arquitecto Francisco Pardo Trelles, quienes me proporcionaron información que me ha ayudado para el desarrollo de esta tesis.

Mi agradecimiento especial para el ingeniero Antonio Ramírez, mi asesor, por su ayuda y colaboración que me ayudaron a desarrollar este trabajo.

Nunca hubiera podido realizar esta obra sin la ayuda, paciencia y comprensión de mis padres, hermanos y de los amigos que supieron apoyarme.

Maritza Ramos Rugel.

Septiembre, 2002
Piura

Resumen

Con la finalidad de proponer sistemas de entrepiso más ventajosos que el sistema de losas aligeradas con ladrillos de arcilla comúnmente usado por un sector de la construcción, se realizó la tesis titulada “*Análisis técnico y económico de losas de entrepiso*”. Un objetivo es determinar las diferencias entre las losas compuestas con las láminas colaborantes, las losas aligeradas en una y dos direcciones y las losas compuestas con viguetas pretensadas, determinando las luces que se pueden cubrir con estos sistemas bajo ciertas condiciones de servicio. Además realizamos diseños para dos paños de losa, que permitieron establecer el sistema de entrepiso más adecuado. A lo largo del desarrollo de la tesis, describimos la metodología a seguir para los diseños.

Proponemos reemplazar los tradicionales ladrillos de arcilla por el poliestireno, material que reduce el peso del elemento aligerante de un entrepiso en un 99 %, lo que disminuye el peso propio del sistema en un 40 % aproximadamente; además, le confiere al sistema de entrepiso propiedades de aislante térmico y acústico.

Para luces menores a cuatro metros recomendamos el uso de losas vaciadas *in situ* y losas compuestas con láminas colaborantes. Las segundas soportan mayor carga de servicio que las primeras. Las losas compuestas con viguetas pretensadas permiten cubrir luces mayores de 4.0 hasta 8.0 metros, dependiendo del área del refuerzo de preesfuerzo. Para estas luces también puede ser usado el sistema de losas *in situ* aligeradas en dos direcciones con una losa inferior para evitar los trabajos posteriores del cieloraso, siempre y cuando el paño a diseñar esté apoyado de tal manera que permita una acción en dos direcciones.

Debemos tener en cuenta que para la elección del sistema a usar debemos considerar los criterios estructurales, arquitectónicos, los rendimientos en la construcción y costo final de la estructura.

Resumen

Con la finalidad de proponer sistemas de entrepiso más ventajosos que el sistema de losas aligeradas con ladrillos de arcilla comúnmente usado por un sector de la construcción, se realizó la tesis titulada “*Análisis técnico y económico de losas de entrepiso*”. Un objetivo es determinar las diferencias entre las losas compuestas con las láminas colaborantes, las losas aligeradas en una y dos direcciones y las losas compuestas con viguetas pretensadas, determinando las luces que se pueden cubrir con estos sistemas bajo ciertas condiciones de servicio. Además realizamos diseños para dos paños de losa, que permitieron establecer el sistema de entrepiso más adecuado. A lo largo del desarrollo de la tesis, describimos la metodología a seguir para los diseños.

Proponemos reemplazar los tradicionales ladrillos de arcilla por el poliestireno, material que reduce el peso del elemento aligerante de un entrepiso en un 99 %, lo que disminuye el peso propio del sistema en un 40 % aproximadamente; además, le confiere al sistema de entrepiso propiedades de aislante térmico y acústico.

Para luces menores a cuatro metros recomendamos el uso de losas vaciadas *in situ* y losas compuestas con láminas colaborantes. Las segundas soportan mayor carga de servicio que las primeras. Las losas compuestas con viguetas pretensadas permiten cubrir luces mayores de 4.0 hasta 8.0 metros, dependiendo del área del refuerzo de preesfuerzo. Para estas luces también puede ser usado el sistema de losas *in situ* aligeradas en dos direcciones con una losa inferior para evitar los trabajos posteriores del cielorraso, siempre y cuando el paño a diseñar esté apoyado de tal manera que permita una acción en dos direcciones.

Debemos tener en cuenta que para la elección del sistema a usar debemos considerar los criterios estructurales, arquitectónicos, los rendimientos en la construcción y costo final de la estructura.

Indice

1.0	Introducción	1
1.1	Consideraciones generales	2
1.1	Métodos de análisis y diseño	2
2.0	Sistemas constructivos de losas de entrepiso	5
2.1	Sistema de losas con vigueta prefabricadas	5
2.2	Sistema de placas alveolares pretensadas	7
2.3	Sistema de losas con lámina colaborante	10
2.4	Sistema de losas con armadura metálica de celdillas autoportantes	15
2.5	Sistema de losas con casetón de guayaquil	18
2.6	Sistema de losas con casetón de lona sintética	19
2.7	Sistema de losas con perfiles metálicos y poliestireno	22
2.8	Sistema de losas aligeradas con casetones perdidos de poliestireno expandido ..	25
2.9	Sistema de losas aligeradas con casetones recuperables de poliestireno expandido	29
2.10	Sistema de losas abovedadas	33
2.11	Referencias	34
3.0	Losas compuestas reforzadas con lámina de acero	35
3.1	Descripción del sistema	35
3.2	Funciones de la lámina de acero	36
3.3	Cargas y esfuerzos no compuestos	37
3.3.1	Deflexiones admisibles	37
3.3.2	Esfuerzo admisibles	37
3.4	Lámina colaborante y concreto como sección compuesta	38
3.4.1	Hipótesis de análisis	39
3.4.2	Cargas de diseño	39
3.4.3	Deflexiones por cargas vivas	40
3.4.4	Resistencia de adherencia a cortante	41
3.4.5	Conectores de corte	44
3.4.6	Resistencia a flexión – método de la resistencia última	44
3.4.7	Resistencia a flexión – método de los esfuerzos admisibles	46

3.4.8	Compresión en el concreto	48
3.5	Manejo del sistema de lámina colaborante	48
3.5.1	Proceso constructivo	48
3.5.2	Sujeciones a estructuras de concreto	50
3.5.3	Manejo y colocación del concreto	50
3.6	Peso propio del sistema	51
3.7	Diseño de una losa con sistema colaborante	51
3.8	Luces máximas alcanzables	55
3.9	Referencias	56
4.0	Losas aligeradas con poliestireno en una y dos direcciones	57
4.1	Descripción del sistema	57
4.2	Comportamiento de la losa aligerada con poliestireno	57
4.3	Manejo del sistema	58
4.3.1	Proceso constructivo	58
4.4	Losas aligeradas en una dirección con poliestireno	62
4.4.1	Peso propio del sistema	62
4.4.2	Diseño estructural	64
4.4.3	Luces máximas alcanzables	70
4.5	Losas aligeradas en dos direcciones con poliestireno	74
4.4.1	Peso propio del sistema	74
4.4.2	Diseño estructural	78
4.4.3	Luces máximas alcanzables	81
5.0	Losas compuestas con viguetas pretensadas	83
5.1	Descripción del sistema	83
5.2	Efectos del preesfuerzo en la viga	83
5.3	Comportamiento de la sección compuesta	84
5.3.1	Método de diseño	85
5.3.2	Esfuerzos admisibles para el acero	86
5.3.3	Esfuerzos admisibles para el concreto	86
5.3.4	Resistencia a flexión – método de la resistencia última	87
5.3.5	Resistencia a flexión – método de los esfuerzos admisibles	89
5.3.6	Resistencia de adherencia a cortante	91
5.3.7	Deflexiones por cargas	92
5.4	Manejo del sistema	93
5.4.1	Proceso constructivo	93
5.5	Peso propio	94
5.6	Diseño de una losa con viguetas pretensadas	95
5.6.1	Diseño según resistencia última	97
5.6.2	Diseño según esfuerzos admisibles	99
5.6.3	Deflexiones por cargas vivas	103
5.6.4	Resistencia de adherencia a cortante	103
5.7	Luces máximas alcanzables	105
5.8	Referencias	107
6.0	Resultados	109
6.1	Modos de fijación	109
6.2	Peso propio de las losas de entrepiso	110
6.3	Luces máximas para cada sistema	112

6.4	Luces recomendables para cada sistema	114
6.5	Recursos a utilizar según lo diseñado	120
6.5.1	Losa compuesta con lámina colaborante	120
6.5.2	Losa en una dirección aligerada con poliestireno y vaciada en el lugar	120
6.5.3	Losa en dos direcciones aligerada con poliestireno y vaciada en el lugar	122
6.5.4	Losa con vigueta pretensadas	123
6.6	Costo unitario de los sistemas de entrepiso	125
7.0	Conclusiones y recomendaciones	129
7.1	Conclusiones	129
7.2	Recomendaciones	131

Apéndice A

Planos

Introducción

1.1 Consideraciones generales

Las losas de entrepiso son usadas para proporcionar superficies planas y útiles. Una losa es una placa amplia y plana, generalmente horizontal, cuya superficie inferior y superior son paralelas entre sí. Las losas son responsables de soportar las cargas verticales y distribuir las fuerzas horizontales. La capacidad de resistir cargas verticales equivale a soportar su propio peso, acabados, divisiones, piso terminado y la carga viva de acuerdo al uso que tendrá la estructura.

La mayoría de veces, en el análisis estructural sísmico se considera que la losa es un diafragma rígido que, bajo el efecto de cargas horizontales o sísmicas, se desplaza “integralmente”, es decir, todos los puntos de la losa se trasladan sin que entre ellos exista ningún tipo de deformación. Cabe resaltar que existen sistemas de entrepiso donde es necesaria la existencia de una estructura perpendicular a la de la carga para resistir los esfuerzos horizontales, ya que por sí sola no transmite empujes horizontales.

Se puede concluir entonces que las losas de entrepiso constituyen el medio principal de distribución de las fuerzas sísmicas, y si así fue considerado en el análisis y diseño estructural, así debe quedar reflejado en la construcción. Tanto el diseño estructural como el arquitectónico deben ajustarse a conceptos de seguridad y control de daños. En la selección del sistema de losas no sólo debe influir el factor económico sino los criterios estructurales en conjunto. Debemos tener en cuenta que las edificaciones se comportan como se construyen y no necesariamente como se diseñan.

Por lo antes expuesto, el objetivo de esta tesis es dar a conocer nuevos sistemas de losas de entrepiso así como las consideraciones a tener en cuenta en el diseño. Con este fin, en el capítulo 2 describimos diez sistemas y además incluimos información acerca de su comportamiento estructural, procedimiento constructivo, así como sus ventajas y desventajas. De los sistemas propuestos se analizó con más detalle las losas compuestas con láminas colaborantes, con viguetas pretensadas y losas coladas en el lugar en una y dos direcciones.

Hemos considerado el empleo del poliestireno expandido como material aligerante, ya que son características de este material la versatilidad, la ligereza, la baja conductividad

térmica, la resistencia, la baja absorción de agua, su facilidad de manejo y manipuleo que lo hacen muy útil como elemento aligerante dentro de las losas de entrepiso.

En el capítulo 3 describimos el análisis para el sistema de losas compuestas con láminas colaborantes e incluimos criterios de diseño. Además se ha determinado los valores de las luces que se puede cubrir dependiendo del calibre de la lámina, el espesor de la losa y los apoyos temporales considerados.

Las losas vaciadas *in situ* en una y dos direcciones es el tema del capítulo 4. En éste detallamos los criterios de diseño y el procedimiento constructivo de losas aligeradas con poliestireno, realizamos cálculos para determinar el peso propio de cada alternativa, así como las distancias entre apoyos que se pueden cubrir bajo ciertas condiciones de carga y servicio.

Las losas compuestas con viguetas pretensadas son poco conocidas en nuestro medio, a pesar de su “antigüedad”. En el capítulo 5 exponemos un enfoque del proceso de diseño que se divide en varias etapas: durante el transporte, vaciado de concreto, eliminación de los apoyos temporales (sólo si se ha considerado) y finalmente durante el estado de servicio. El resto de este capítulo determina las luces que este sistema permite cubrir dependiendo de la sección de la vigueta, así como el área de preesfuerzo considerada.

Además hemos tenido en cuenta dos paños de losa que pertenecen al desarrollo estructural de viviendas. Estos paños han sido diseñados considerando las alternativas propuestas en los capítulos 3, 4 y 5, con la finalidad de realizar una comparación posterior y determinar el sistema ideal. Los resultados de estas comparaciones y el costo de cada sistema los detallamos en el capítulo 6.

La selección del sistema de entrepiso a usar depende de muchos factores. Una consideración importante es la economía de la construcción, pero también lo son las cargas de diseño, los claros o luces necesarias, el rendimiento de construcción, los requerimientos de servicio y resistencia.

1.2 Métodos de análisis y diseño

Las losas continuas, en su calidad de estructuras hiperestáticas, requieren de criterios adicionales al de equilibrio para la determinación de sus fuerzas internas. El análisis de este tipo de estructura se efectúa a través de alguno de los siguientes procedimientos: método elástico, método plástico y métodos aproximados.

El método elástico puede ser utilizado en combinación con el método de diseño a la rotura. Sin embargo, de algún modo, esto es contradictorio ya que el diseño a la rotura asume que el concreto y el acero han superado el límite elástico. Pareciera pues, que el análisis plástico es el más recomendable para ser usado junto con el diseño a la rotura, pero es poco conocido.

Al margen de las consideraciones teóricas, el empleo del método elástico para el análisis de estructuras de concreto armado ha demostrado ser una práctica que ha conducido a diseños seguros. El reglamento recomienda su utilización aunque reconoce que en la realidad las estructuras pueden trabajar en el rango plástico y, por ello, se plantea criterios

para considerar la redistribución de los esfuerzos propios de estructuras que trabajan en el rango inelástico.

Para el diseño de las losas de concreto armado en una dirección y colado *in situ* del capítulo 4 hemos considerado el método aproximado de los coeficientes, por ser un método práctico y sencillo bajo ciertas limitaciones. Las losas compuestas con viguetas pretensadas han sido diseñadas de manera que los esfuerzos en el concreto y en el acero estén dentro de los límites permitidos. También se ha verificado si disponen de resistencia suficiente en caso ocurran sobrecargas (cargas de servicio).

Sistemas constructivos de losas de entrepiso

2.1 Sistema de losas con vigueta prefabricadas ^[2.1]

La vigueta que compone este sistema está elaborada con una armadura de alta resistencia, reforzada adicionalmente con el área de acero que especifican los cálculos. Esto se integra a una base de arcilla, lo que le proporciona ligereza y adherencia para cualquier tipo de acabado. El ladrillo de techo y poliestireno se pueden usar como un complemento para este sistema (véase figura 2.1)



Figura 2.1: Vigueta armada prefabricada.

En la figura 2.2, se ve de una forma genérica la disposición de la vigueta en relación con los demás elementos que constituyen la losa, tanto en el caso más frecuente de una vigueta como en el caso de doble-vigueta que ha de resistir elevados momentos flectores.

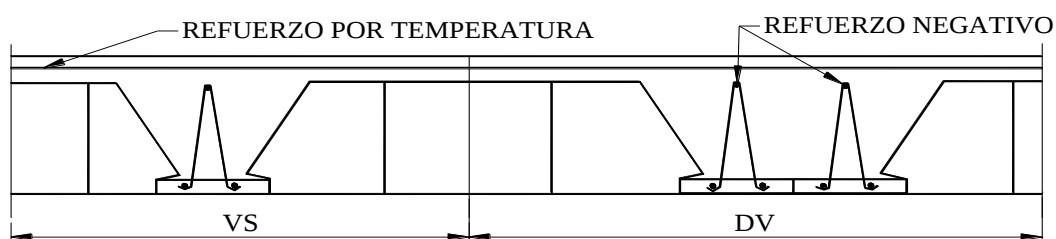


Figura 2.2: Disposición del uso de viguetas.

❑ Comportamiento estructural

Las viguetas de fondo tienen refuerzo transversal interno y externo, que asegura la absorción del esfuerzo cortante y mejora la adherencia entre el concreto fresco y endurecido. El refuerzo negativo se coloca de acuerdo con el tipo de apoyo que se brinde a la vigueta prefabricada y a la continuidad de la misma. Con este sistema es posible fundir losas con luces hasta de 8 m.

❑ Forma de colocación



Figura 2.3: Colocación de la primera vigueta.



Figura 2.4: Apuntalamiento provisional de la primera vigueta.



Figura 2.5: Colocación de la primera franja de ladrillo de techo. Se debe colocar el primer ladrillo apoyado en el muro y en la primera vigueta.

❑ Ventajas

1. Por su fácil y rápida instalación reduce el tiempo de colocación.
2. Requiere el mínimo de apuntalamiento, disminuyendo así el uso de encofrado.
3. Se necesita menos horas-hombre de trabajo y no se requiere de mano de obra especializada.

2.2 Sistema de placas alveolares pretensadas^[2.2]

El sistema está compuesto por placas prefabricadas en concreto pre-esforzado, las cuales sirven de formaleta para el concreto que se debe fundir sobre ellas para que se comporten monolíticamente. Se adhieren gracias a la rugosidad que presentan las losas en su cara superior. Estas placas son colocadas sobre elementos portantes, como muros o vigas.

La placa alveolar pretensada es un panel de concreto pretensado, con canto constante, aligerado mediante alveolos longitudinales. Las figuras 2.6 y 2.7 representan la sección de una placa alveolar. Indican los nombres de sus diferentes partes. Se exponen, también, algunos de los tipos de alveolos que puede presentar.

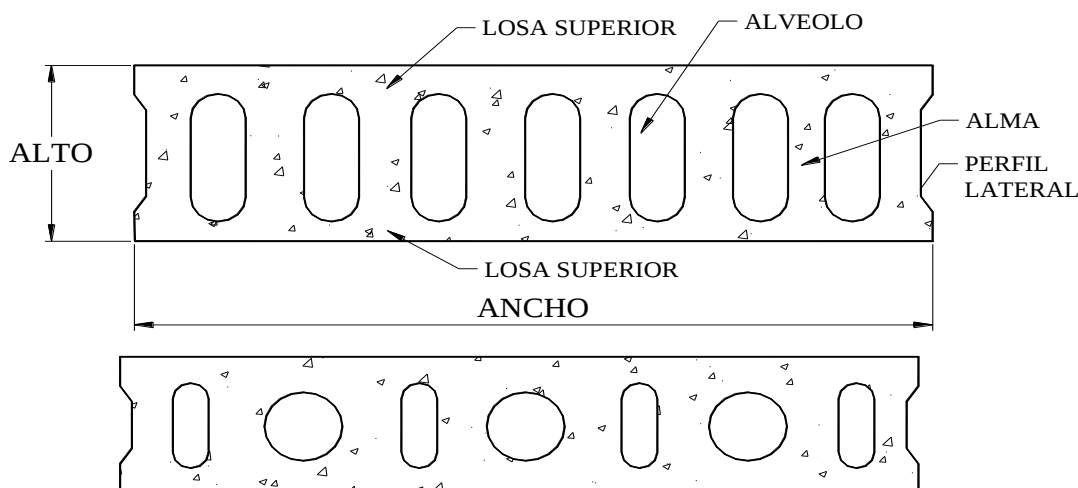


Figura 2.6: Secciones de placas con distintos tipos de alveolos.

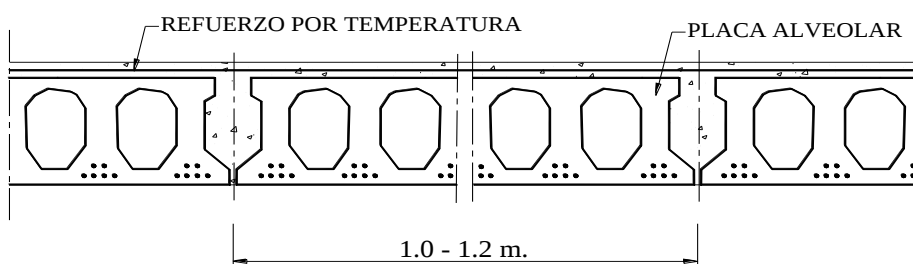


Figura 2.7: Sección típica de una placa alveolar.

□ Comportamiento estructural

La losa compuesta por la placa prefabricada y la sobrelosa funcionan monolíticamente y soportan todos los esfuerzos de tracción y compresión, funcionando como un diafragma.

□ Forma de colocación

1. La placa se coloca directamente por simple apoyo y sin necesidad de ningún tipo de apuntalamiento.

2. La superficie cubierta con un solo elemento es muy grande, por lo que la rapidez de ejecución y el rendimiento por operario son muy elevados.
3. Una vez colocadas las placas son inmediatamente utilizables como lugar de paso y de trabajo.
4. El sistema de unión con la estructura portante es muy sencillo, y supone un notable ahorro de tiempo. La operación de vaciado de concreto en obra se reduce al mínimo indispensable, ya que básicamente consiste en el macizado de las juntas laterales de las placas y, opcionalmente, en la capa de compresión.

□ **Ventajas**

1. Se puede prescindir del espacio para el acopio en obra, pues las placas se colocan directamente desde el transporte hasta su lugar en la estructura.
2. Elevada rapidez de puesta en obra y rendimiento por operario. Al cubrir mucha superficie con un solo elemento, la rapidez de ejecución en obra es extraordinaria. Nada mas colocada, la placa alveolar pretensada ofrece una amplia superficie resistente sobre la que se puede pisar con seguridad. El trabajo se hace cómodo y fácil, lo que aumenta el rendimiento.
3. Al ser autoportante, la placa no precisa de apuntalamientos. Incluso cuando se desea poner capa de compresión, la resistencia de la placa será suficiente, en general, para soportar su peso propio, el peso del concreto vertido sobre ella y la sobrecarga de ejecución. Cuando la placa no lleva capa de compresión, puede trabajarse sobre ella inmediatamente con carácter provisional y con carácter definitivo en cuanto el concreto de las juntas haya adquirido la resistencia necesaria.
4. En muchos casos no es necesaria la capa de concreto de compresión. La placa alveolar tiene, por sí sola, una gran resistencia que le permite soportar cargas importantes y salvar grandes luces sin colaboración de concreto *in situ*. No se trata, por tanto, de un elemento semirresistente sino autoportante. En todo el mundo industrializado, donde las losas con placas alveolares se emplea masivamente, se acepta la ausencia de capa de compresión, siempre que las juntas se macicen adecuadamente. Solamente exige la capa superior de concreto *in situ* cuando existen acciones laterales importantes. La capa de compresión puede utilizarse cuando se desea reforzar algunas prestaciones de la losa, como la rigidez, la acción diafragma o la mejor redistribución de cargas puntuales móviles, y también cuando conviene alojar en ella alguna armadura.
5. Mínimo consumo de concreto en relleno de juntas.
6. El acabado de la cara inferior garantiza un excelente acabado de techos y, en todo caso, admite ser pintada sin ninguna preparación previa.
7. Las placas alveolares permiten el uso de grandes luces con un mínimo espesor en la losa ya que la deformación de una placa es menor que la de otra construida con viguetas pretensadas y unidades de arcilla, lo que se puede observar en la figura 2.8



Figura 2.8: Diferencia de luces para dos tipos de losa respecto a las placas alveolares.

□ Ejemplos de aplicación



Figura 2.9: Forma de colocación de placas alveolares pretensadas.



Figura 2.10: Forma de colocación de placas alveolares pretensadas con losa a compresión de concreto vaciado *in situ*.

2.3 Sistema de losas con lámina colaborante ^[2.3]

Este método forma parte del sistema de losa de entrepiso que incorpora láminas de acero formadas en frío y una losa de concreto reforzada vaciada sobre dichas láminas, que actúan de manera monolítica y forman una sección compuesta.

Las láminas de acero sirven de encofrado para el vaciado de la losa de concreto así como de refuerzo positivo de la losa una vez que el concreto haya fraguado. Por esto se dice que es una lámina colaborante.

La malla de acero de refuerzo que se recomienda colocar tiene como propósito absorber los efectos de la retracción de fraguado del concreto y los cambios térmicos que ocurran en el sistema. La malla es eficiente en el control de las grietas, en especial, si se mantiene cercana a la superficie superior de la losa.



Figura 2.11: Sección típica del sistema de losa con láminas colaborantes.

□ Comportamiento estructural

Las láminas colaborantes conforman el refuerzo positivo de la losa. Una vez endurecido, el concreto y las láminas actúan en forma compuesta para resistir las cargas. La interacción se forma a partir de una combinación de adherencia superficial entre concreto y acero; de igual manera, existe otra interacción generada por medios mecánicos mediante la restricción impuesta por la forma de la lámina a través de resaltes en la superficie, hendiduras o dispositivos para la transferencia de cortante, tales como pernos o alambres transversales uniformemente espaciados.

Adicionalmente, la losa en construcción compuesta y la viga de acero o concreto reforzado que sirve de apoyo a la misma deben interconectarse convenientemente mediante conectores de cortante para producir una sola unidad estructural a flexión.

□ Forma de colocación

1. Se debe tener cuidado en la colocación de las láminas, garantizando que ellas trabajen de una forma adecuada ya que las láminas colocadas en forma invertida reducen la capacidad de carga de la losa.

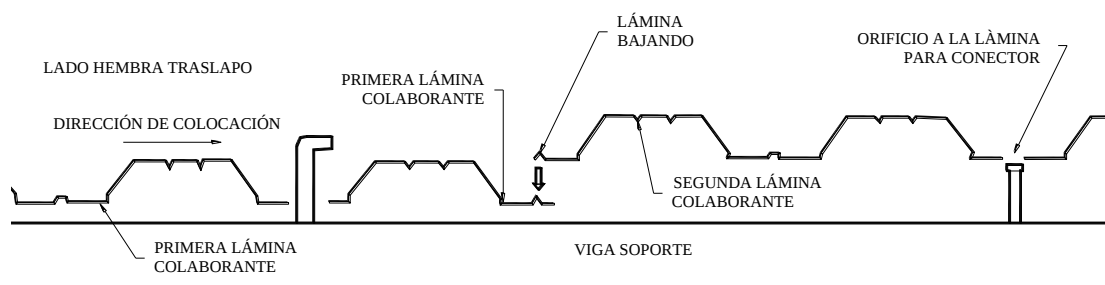


Figura 2.12: Colocación de la lámina colaborante.

2. Las láminas deben sujetarse unas con otras en sentido longitudinal con tornillos autoperforantes, puntos de soldadura o remaches pop cada 0.90 cm.

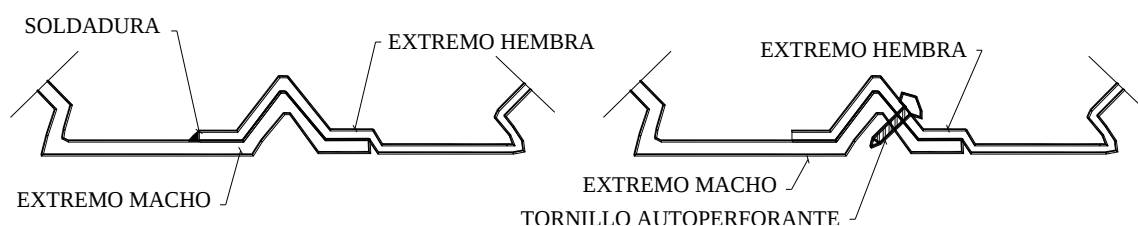


Figura 2.13: Tipos de sujeción entre láminas colaborantes: con soldadura y tornillos.

3. Verificar si la lámina colaborante requiere o no de apuntalamientos temporales, dependiendo de la luz que cubre. En el caso de emplear apuntalamientos temporales, éstos se colocarán en la mitad de la luz, y deben permanecer de 10 a 15 días.
4. Se puede emplear diversos tipos de conectores de cortante sobre las vigas de apoyo de la losa colaborante según el material de éstas.

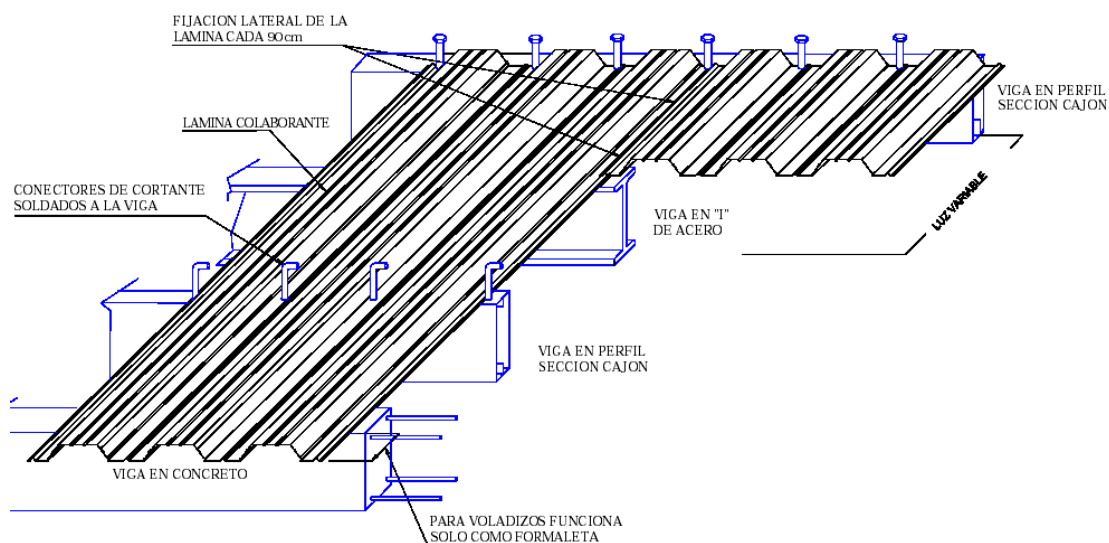


Figura 2.14: Diversos tipos de conectores.

5. Para el paso de tuberías debe dejarse los tubos colocados antes de que se funda la losa. Posteriormente, se realizarán los empates correspondientes. Se procede a instalar los tubos eléctricos, sanitarios y demás elementos necesarios embebidos en la losa. En lo posible, las instalaciones sanitarias deberán ir descolgadas. En algunos casos se recurre a una sobrealtura en las zonas húmedas.

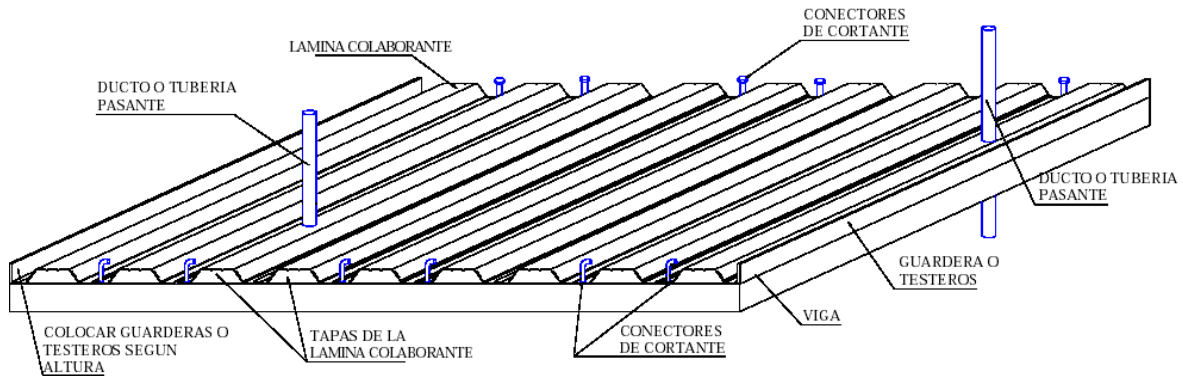


Figura 2.15: Vista de ubicación de instalaciones sanitarias.

6. Se debe instalar las tapas de cierre para evitar la salida del concreto durante el proceso de vaciado.

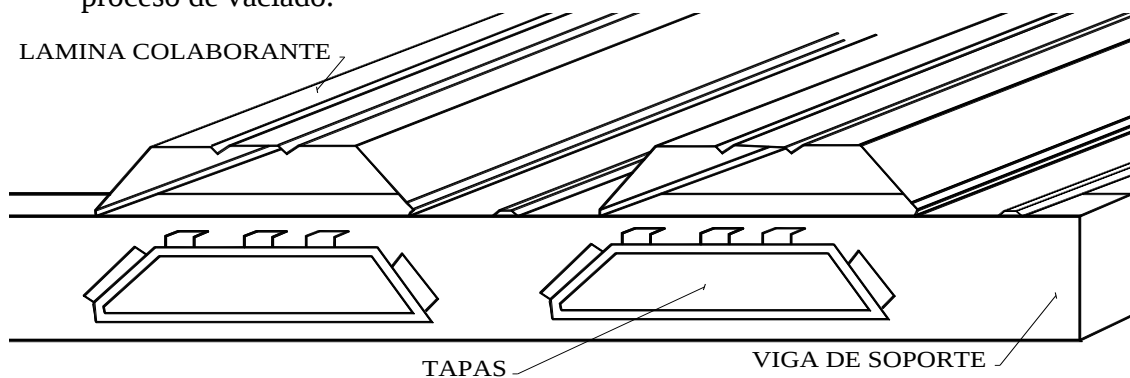


Figura 2.16: Tapa de cierre que se usa para evitar salidas de concreto durante el proceso de vaciado.

7. La malla electro-soldada se instala sobre los dados de concreto prefabricados (separadores) de tal forma que ésta quede a 2.5 cm por debajo de la superficie de la losa de concreto. La malla mínima recomendada es de 6 mm de diámetro a cuadrículas de 15 cm x 15 cm. o varillas de 3/8" amarrada a mano en ambos sentidos.

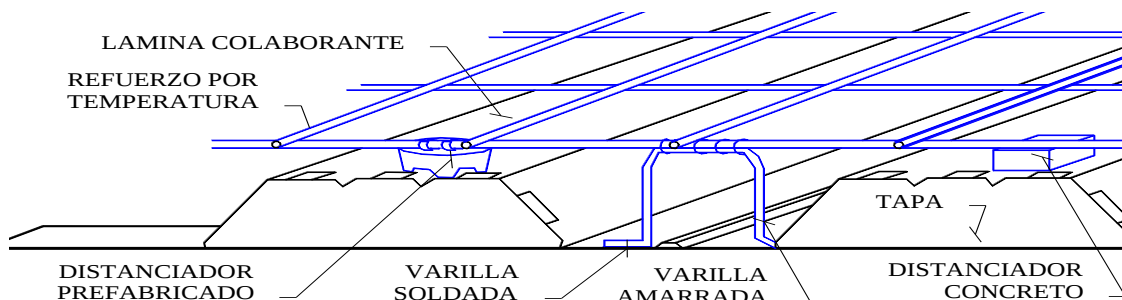


Figura 2.17: Instalación de malla electrosoldada sobre separadores.

8. Después de colocar los frisos que indiquen la altura final de la losa se debe vaciar el concreto cuidando no acumular cantidades considerables de concreto en el mismo sitio, ya que se puede generar deformaciones y en el peor de los casos una falla de las láminas o testeros de la viga. Hay que confirmar la altura final de la losa marcada en los frisos, la que no se debe exceder porque se sobrecargaría innecesariamente la losa.
9. Cuando se haga perforaciones en la lámina colaborante se debe reforzar su perímetro en el lugar donde se realizará las perforaciones.

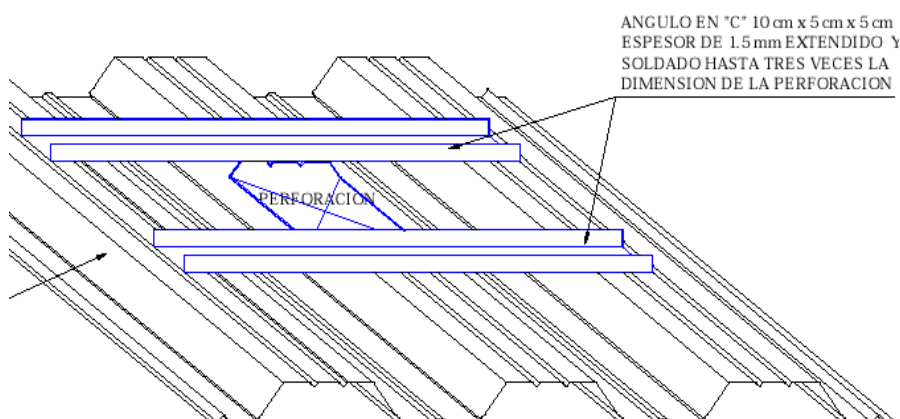


Figura 2.18: Colocación de perfiles para reforzar la lámina colaborante cuando se hacen las perforaciones.

10. Vaciado de concreto.



Figura 2.19: Vaciado de concreto.

❑ **Ventajas**

- 1 El sistema minimiza el desperdicio de material. En general, requiere menor volumen de concreto que otros sistemas. Por otro lado, permite reducir el peso de la edificación lo que se traduce en ahorro de material en el resto de la estructura y a nivel de cimentación.
- 2 El sistema presenta una apariencia atractiva y puede dejarse a la vista en cierto tipo de proyectos.
- 3 Se utilizan las propiedades del acero con una alta eficiencia en el diseño y la fabricación, obteniéndose una losa con una alta relación de resistencia a peso.
- 4 Funciona como encofrado, plataforma de trabajo y refuerzo de la losa, con lo que se elimina el elemento aligerante, el encofrado y otros elementos en las obras que implica el uso de grandes áreas de trabajo para almacenamiento dentro de la obra
- 5 El manejo de la lámina en la obra no requiere de personal calificado ni de un proceso de transformación para su instalación, por lo que se puede obtener grandes rendimientos en su ejecución y bajos costos.

❑ **Desventajas**

- 1 No se permite el uso de aditivos o acelerantes en el concreto que contengan sales clorhídricas ya que éstos pueden producir corrosión sobre la lámina de acero.
- 2 No se puede instalar láminas dobladas o deterioradas.

❑ **Ejemplos de aplicación**



Figura 2.20: Sistema de losas con láminas colaborantes usado en una planta minera en Ilo-Perú.

2.4 Sistema de losas con armadura metálica de celdillas autoportantes ^[2.4]

La armadura metálica está constituida por celdillas abiertas y nervios que le confieren capacidad autoportante, trabaja como encofrado y refuerzo positivo de la losa de compresión en la ejecución de todo tipo de techo, sustituye a los ladrillos de arcilla y concreto así como a los elementos prefabricados.

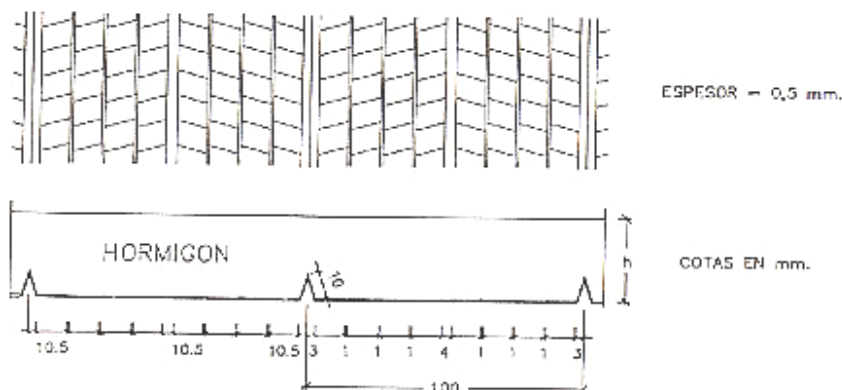


Figura 2.21: Sección del sistema de losas con armadura metálica con celdillas autoportante.

□ Comportamiento estructural

La existencia de una estructura perpendicular a la de la carga para resistir los esfuerzos horizontales (vientos o sismo) es necesaria en la construcción de edificios con este sistema, ya que la losa de compresión no transmite empujes horizontales y los esfuerzos negativos son absorbidos por los nervios en “V” de la placa.

□ Forma de colocación

1. La armadura metálica se coloca apoyada y fijada sobre todo tipo de estructura auto resistente con una separación máxima de entrevigado de 80 cm, dispuesta de manera que el vértice de los nervios principales en “uve” quede inmerso en el concreto de la losa. En la tabla 2.1 vemos las distancias entre apoyos en función de la capa de compresión.

Tabla 2.1: Variación de la distancia entre apoyos según la capa de compresión utilizada.

Capa de Compresión	3 cm	4 cm	5 cm
Distancia entre apoyos (A, véase figura 2.22)	90 cm	85 cm	80 cm

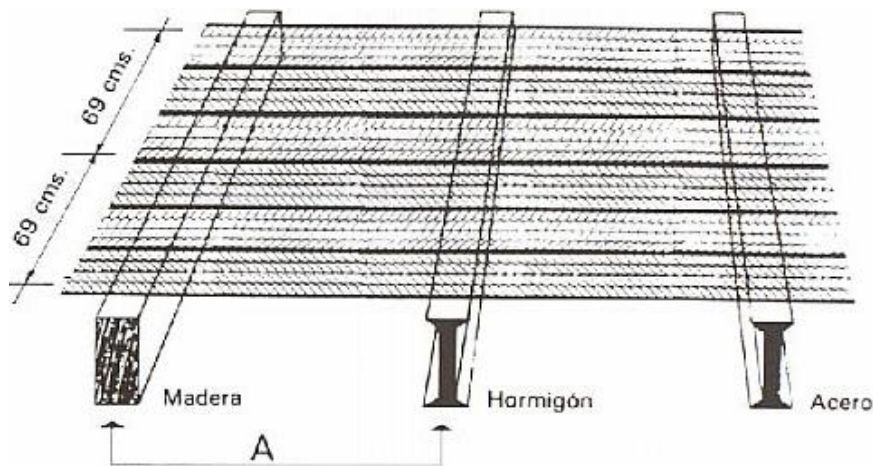


Figura 2.22: Distancia entre apoyos, A.

2. Se puede usar sobre distintos tipos de estructura autorresistente como vigas metálicas, concreto, madera y tabiques.
3. Se vaciará el concreto inicialmente sobre los apoyos de las vigas. Se debe prever las juntas de dilatación y de trabajo necesarios de acuerdo a las superficies a vaciar y, en su caso, la colocación de una malla de reparto para evitar fisuras producidas por las retracciones.
4. Si la capa de compresión es mayor a 5 cm se deberá añadir una malla electrosoldada.
5. En algunas losas donde se llegue a luces de 1.20 m se debe reforzar con madera y puntales para realizar el vaciado del concreto y así evitar deformaciones. Una vez fraguado se retiran los soportes.
6. Cuando la unión entre 2 armaduras metálicas se hace en función del ancho, y el empalme coincide entre apoyos, se procede a atar con alambre galvanizado una vez solapados 8 a 10 cm. Cuando el empalme se hace en función del largo se debe encajar los nervios extremos y se atan con alambre.

□ Ventajas

1. Las celdillas de la armadura metálica ofrecen puntos de agarre del concreto vaciado, lo que asegura una perfecta adherencia entre la armadura y concreto.
2. Debido al reducido peso de la plancha se puede tener más facilidad en el manejo y almacenaje en obra respecto a otros métodos comúnmente usados.
3. Para la colocación no se necesita de mano de obra especializada.
4. Dado que, a través del nervio lateral de solape encaja una placa con la siguiente, no se necesita ningún refuerzo adicional en las uniones.
5. La armadura se adapta a las diferentes formas de una manera fácil y sencilla dada su rigidez y flexibilidad, sin afectar su resistencia.

❑ Ejemplos de aplicación



Figura 2.23: Uso de la armadura metálica en edificios construidos.

2.5 Sistema de losas con casetón de guayaquil ^[2.5]

Se elabora los casetones con tiras de guayaquil asegurados entre sí con madera y alambre, de tal manera que se forme el rectángulo correspondiente al casetón. La modulación y altura de los casetones dependen en gran parte del diseño estructural de la losa que tendrá en cuenta las magnitudes y las cargas a soportar. Después de elaborados los casetones, se colocan en la losa, de acuerdo con la modelación estipulada en los planos, proporcionando el aligeramiento necesario y sirviendo a la vez como formaleta para fundir las vigas y viguetas.

□ Comportamiento estructural

El comportamiento de una estructura aligerada con casetón de guayaquil debe ser exactamente igual al de otras estructuras aligeradas con otros materiales. La gran diferencia está en la adecuada colocación de los materiales. Si los casetones son mal ubicados o anclados en la losa, se presentará alteraciones en las condiciones de diseño como dimensiones de elementos mayores o nulos, sobrecargas por concreto alojado en las celdas, etc.

□ Forma de colocación

1. Cuando el sistema tiene una pequeña losa inferior, se debe colocar la malla inferior y vaciar el concreto correspondiente a esa losa (el casetón se utilizaría sólo una vez).
2. Colocar el refuerzo de las vigas y viguetas.
3. Colocar los casetones de guayaquil en los espacios que deja el refuerzo.
4. Puestos los casetones se procede al vaciado de la losa superior.

□ Desventajas

1. Las rupturas del casetón ocasionadas por el peso de operarios o equipos originan que el concreto llene parte de las celdas de aligeramiento.
2. Entre los espacios de las tiras del casetón normalmente se presentan fugas de lechada de cemento y mortero, las que reducen las propiedades del concreto.
3. La poca rigidez que tienen los casetones de guayaquil permite que la parte superior y paredes laterales se deformen considerablemente como consecuencia del peso y carga lateral producida por el concreto. De esta forma, las tortas superiores y vigas quedan con mayor espesor en la parte central del casetón.
4. Cuando se utiliza indebidamente el casetón de guayaquil se puede presentar desperdicios del concreto hasta del 20% del volumen total de la losa.

2.6 Sistema de losas con casetón de lona sintética ^[2.6]

El aligeramiento de la losa se logra mediante casetones conformados por una estructura compuesta por listones de madera envuelta con lona sintética. La lona para aligerante de construcción es sintética, impermeable, fabricada con resinas y aditivos que garantizan alta resistencia y durabilidad a la intemperie.

❑ Comportamiento estructural

La solución del casetón con lona sintética hace que el comportamiento estructural sea el previsto por el diseño. El peso de este casetón reduce la carga en las losas cuando se utiliza este sistema.

❑ Forma de colocación

1. Los casetones de lona sintética son colocados después del armado del acero de refuerzo.
2. Los casetones de lona que se van a reutilizar se retiran por debajo de la losa una vez que el concreto ha endurecido.

❑ Fabricación de casetones usando lona sintética

1. Para su elaboración se requiere utilizar madera resistente, preferiblemente, listones de 4x2.5cm. La distancia entre los marcos puede variar entre 30 y 40 cm, dependiendo de la estabilidad y resistencia de la madera. Los marcos se pueden confeccionar en dos formas: Tipo A con listones parados y tipo B con listones acostados, según muestra la figura 2.24.

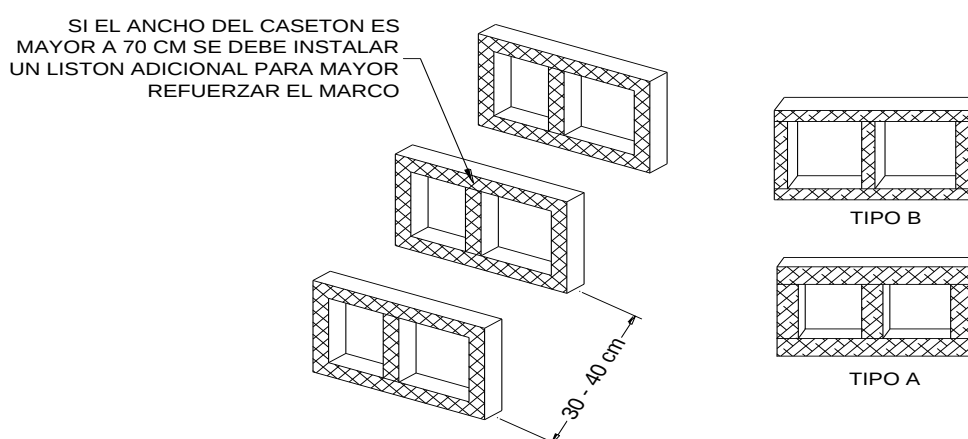
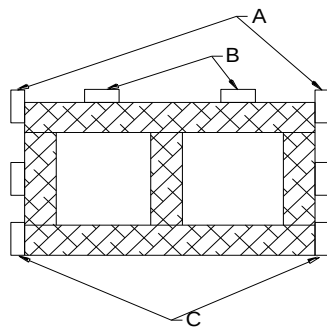


Figura 2.24: Tipos de marcos de madera para casetones con lona sintética.

2. Al confeccionar la estructura se debe tener en cuenta la posición de los listones en relación a los marcos. Los listones laterales superiores (A) deben ser clavados a los marcos, de tal manera que queden a la misma altura de los listones centrales (B). Los listones de la base (C) se deben asegurar tal como se muestra en la figura. Si el ancho

del casetón es mayor a 70 cm, se utiliza más listones tipo B. Esto permite una mayor resistencia al tráfico, como muestra la figura 2.25.



CUANDO LA ALTURA DEL CASETON
ES MAYOR A 40 CM SE DEBE
INSTALAR UN REFUERZO ADICIONAL
EN LOS COSTADOS

Figura 2.25: Posición de los listones en relación a los marcos.

- Una vez terminada la estructura se procede a instalar la lona (véase figura 2.26) longitudinal o transversalmente, dependiendo de la dimensión del casetón, lo mayor templado posible. Se corta el área a cubrir, dejando unos centímetros a los bordes para fijarlos con una grapadora. Si la instalación requiere uniones o juntas deberá tener en cuenta un traslapo doble, lo más resistente posible.

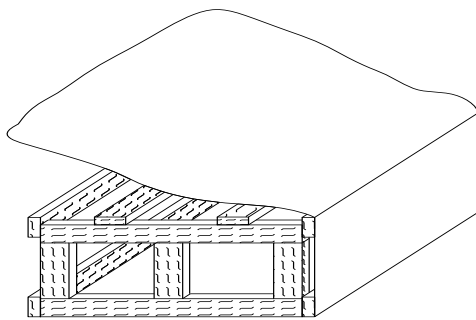


Figura 2.26: Colocación de la lona sintética sobre el marco de madera.

- Para la colocación de los casetones se sigue el mismo proceso de los ladrillos de arcilla. Una vez puestos en el sitio correspondiente se coloca la malla de temperatura en la losa superior y se funde utilizando cualquier tipo de sistema de colocación del concreto.

□ Ventajas

- Este tipo de casetón se puede dejar dentro de la losa o recuperar para su posterior reutilización en losas de iguales características. El número de usos depende de la calidad de los listones de madera que se emplee para su fabricación.
- No existen ranuras por donde se pueda presentar desperdicios, y la lona por ser impermeable no permite pérdida de agua, lechada, mortero o concreto.
- Si la lona es debidamente colocada (queda bastante estirada) garantiza la ausencia de pandeos y deformaciones en las superficies de los elementos.
- Los casetones traen consigo beneficios ya que son livianos, pueden confeccionarse en la propia obra, son de fácil manipulación, económicos.

□ Ejemplos de aplicación



Figura 2.27: Uso de los casetones con lona sintética en la construcción de una losa aligerada.

2.7 Sistema de losas con perfiles metálicos y poliestireno ^[2.7]

Este sistema es un procedimiento de construcción de losas de entrepisos dispuestas horizontalmente o inclinadas según los requerimientos del proyecto. Consiste en una losa aligerada, con base en la utilización de perfiles metálicos laminados en frío; de espesor, peralte y esfuerzo del material, variables según los requerimientos estructurales; combinados con placas de poliestireno; varillas de refuerzo en las nervaduras, según el cálculo estructural; y una membrana de compresión de concreto hidráulico reforzada con malla electro soldada. Véase figura 2.28.

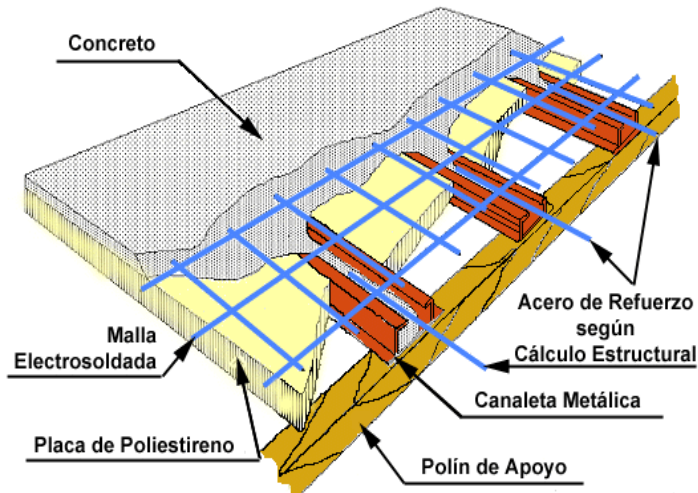


Figura 2.28: Esquema general del sistema de losas.

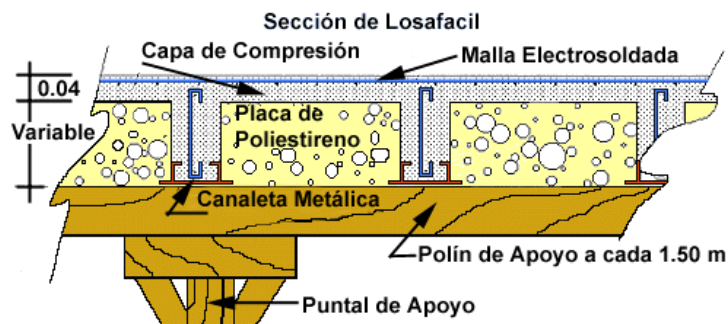


Figura 2.29: Sección típica del sistema.

❑ **Forma de colocación**

1. Se requiere de apuntalamientos de tipo secundario colocados a 1.50 m como máximo.



2. Se procede a colocar los perfiles metálicos cada 60 ó 70 cm centro a centro, mediante clavos colocados a 1.50 m. En los extremos se deberá revisar la nivelación de los apoyos.



3. Colocar el acero de refuerzo producto del cálculo estructural, para permitir la continuidad entre nervaduras y un buen anclaje.



4. Colocación a presión de placas de poliestireno.



5. Colocación de redes de instalaciones eléctricas, sanitarias y de la malla electrosoldada.



6. Vaciado de concreto en nervaduras y capa de compresión.



7. Apariencia inferior de Losa.



□ **Ventajas**

1. Anula el empleo del encofrado de contacto. Requiere de mínimas inversiones para su transporte y maniobras de colocación debido al poco peso de los materiales.
2. En virtud de las características y pesos de los materiales que constituyen el sistema, se reduce las cargas muertas. Gracias a la ligereza y características de los materiales empleados en su integración, su montaje resulta sencillo.
3. Las cualidades termoaislantes con que cuenta el poliestireno, que es uno de los integrantes de este sistema, hacen que el sistema sea ideal para climas extremos y para edificaciones con requerimientos especiales en sus instalaciones. El poliestireno cuenta también con extraordinarias cualidades como aislante acústico, por lo que este sistema resulta ideal para edificios, casas habitación, auditorios, escuelas, teatros, hospitales, centros de investigación, etc.

□ **Ejemplos de aplicación**



Figura 2.30: Edificio de oficinas claros de hasta 12.50 m y volados de 5.50 m.



Figura 2.31: Edificio de oficinas con luces de 12.50m.

2.8 Sistema de losas aligeradas con casetones perdidos de poliestireno expandido [2.8]

La inclusión de elementos aligerantes de poliestireno expandido en las losas resuelve simultáneamente la reducción de peso de la losa y el aislamiento térmico de la misma. El poliestireno se adapta a los diferentes tipos de losa ya sea con viguetas o semiviguetas de hormigón armado o pretensado, o bien, mediante la incorporación en losas nervadas vaciadas *in situ*.

Los bloques de poliestireno se pueden fabricar en múltiples anchos y altos, y en una amplia gama de contornos, adaptándose a cualquier diseño de la losa. Por su elevada rigidez estructural y versatilidad de diseño se utilizan, cada vez más, las losas en dos direcciones o reticulares.

□ Forma de colocación con casetón perdido a la vista

1. Sobre un encofrado, previo replanteo y trazado de los elementos estructurales, son colocados los casetones de poliestireno asegurados al encofrado, para evitar su movimiento durante los procesos de armadura de los refuerzos de la placa y vaciado del concreto. A continuación se coloca la armadura de vigas y viguetas a la que se involucra la armadura del recubrimiento. Luego se realizan las diferentes instalaciones. Una vez hecha la limpieza de los bloques de poliestireno y del encofrado se procede a vaciar el concreto. Fraguado el concreto y retirado el encofrado, se observa, por la cara inferior los casetones de poliestireno, las vigas y viguetas. Una vez retirados los excedentes del vaciado, y si los casetones están debidamente nivelados, éstos pueden ser dejados a la vista, para darles algún acabado como estuco, pintura, etc., o utilizar un cielorraso falso. Véase figura 2.32.

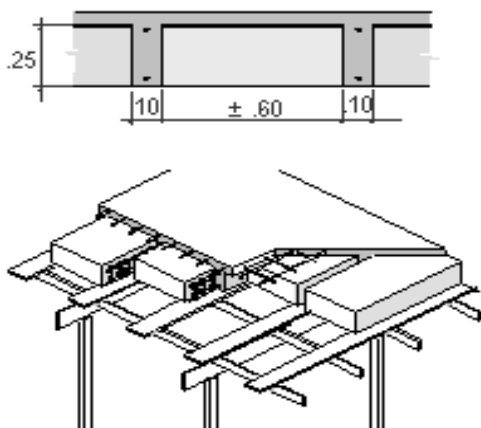


Figura 2.32: Sistema de losas aligeradas con casetones de poliestireno perdidos a la vista.

□ Forma de colocación con casetón perdido escondido

1. El proceso para las losas con casetón perdido escondido se inicia con la extensión sobre la base de encofrado de una malla de alambre (malla de gallinero), ligada a la armadura de vigas y viguetas, se colocan los casetones de poliestireno en los vacíos y se realizan las diferentes instalaciones embebidas dentro de la losa. Luego se retira

parcialmente los casetones por zonas para fundir la "torta inferior", en espesores de 3 a 5 cm.; se reinstala y asegura los casetones para impedir su movimiento durante el cargue del concreto (tendencia a flotación). Se procede al vaciado del concreto en la armadura de las viguetas de la losa hasta llegar al nivel superior de los casetones donde se coloca el refuerzo por contracción y temperatura para fundir luego la "torta superior" de la losa, según se ve en la figura 2.33.

2. Retirado el encofrado, sobre la cara inferior de la losa (torta), se aplica los diferentes acabados después de corregir y nivelar los defectos de la losa. De esta manera, el casetón queda embebido dentro de la placa transfiriendo al conjunto de la placa de entrepiso o cubierta sus cualidades de aislamiento acústico y térmico.

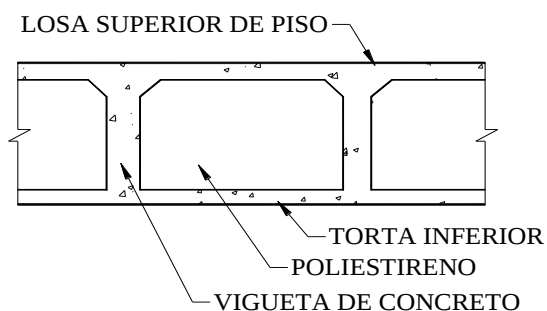


Figura 2.33: Losa aligerada con casetones de poliestireno perdido escondido.

□ Forma de colocación del casetón de poliestireno sobre viguetas prefabricadas.

1. La colocación del poliestireno se diseña en función de la luz a cubrir de las viguetas prefabricadas, las que, por lo general, tienen una forma de "H" girada (o "i" con cintura, para otros) que les permite acoplarse a los casetones. También presentan unas prolongaciones de su armadura o "mechas" con las que se involucran a las vigas de amarre a las que llegan perpendicularmente. Las viguetas prefabricadas y los casetones de poliestireno expandido se van ubicando intercaladamente apoyadas sobre un sistema de puntales y cerchas o una base de encofrado que garantice su nivelación y resistencia.
2. Si es necesario, según el cálculo estructural, se colocan refuerzos negativos a las viguetas prefabricadas; luego se realizan las perforaciones y pasos necesarios para hacer las instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias, para proceder a la instalación de la armadura de la capa de recubrimiento, la que es aconsejable separar ligeramente (1.5 a 2 cm.) de los casetones. Para evitar la aparición de lechadas es necesario un buen ajuste de los casetones con las viguetas prefabricadas, el sellado de las uniones contra muros, el traslape de los casetones, etc.
3. Durante el fraguado es aconsejable conservar puntales de refuerzo hasta obtener la resistencia adecuada. Por la cara inferior de la losa se apreciara las viguetas y los casetones que pueden dejarse a la vista o ser tratados con algún tipo de acabado.

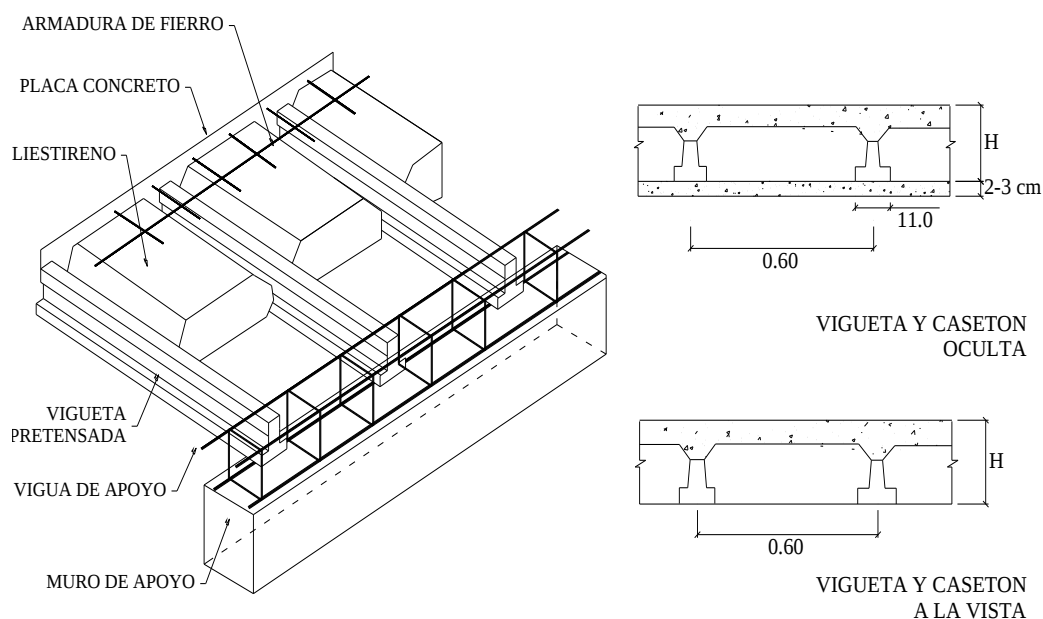


Figura 2.34: Colocación de casetones sobre viguetas prefabricadas.

□ Ventajas

1. Los bloques de poliestireno se ven sometidos a esfuerzos combinados de flexión y punzonamiento ocasionados por el tránsito de operarios y el vertido de concreto. La resistencia a la flexión y al punzonamiento de los bloques de poliestireno expandido viene determinada por su elevado grado de cohesión (caracterizada por la resistencia a la flexión) y por las dimensiones del bloque.
2. La baja conductividad térmica del poliestireno expandido transmite a la losa sus características aislantes. El grado de aislamiento de una losa depende de la naturaleza de las piezas de entrevigado y de la geometría de las mismas.
3. Los bloques de arcilla y concreto aportan un peso propio que puede oscilar entre los 60 y los 110 kg/m². En iguales circunstancias, los casetones de poliestireno aportan únicamente entre 1 ó 3 kg/m². Ello repercute en una disminución de concreto y de las secciones de acero en el resto de la estructura o en un aumento de los márgenes de seguridad.
4. Los bloques de poliestireno no son frágiles, por lo que no presentan roturas en los procesos de descarga, acopio y acarreo en las obras, a diferencia de lo que sucede con los bloques tradicionales de arcilla o concreto. Esto supone un ahorro económico en el aprovechamiento de los materiales suministrados, así como la reducción de los costes de desescombro de las obras.
5. Las piezas huecas de arcilla y concreto permiten que a través de sus alveolos penetre una cierta cantidad de concreto que es inútil estructuralmente. Esta merma se elimina mediante el uso de bloques de poliestireno que, por su carácter macizo, aseguran el uso del concreto estructuralmente necesario.

6. Los bloques de poliestireno son ligeros, por lo que se instalan con mucha más rapidez que los de arcilla o concreto. Además, sus dimensiones pueden ser el doble o cuatro veces superior a los tradicionales, obteniéndose en consecuencia mayores rendimientos en la colocación.
7. Los bloques de poliestireno, al contrario que los de arcilla o concreto, pueden mecanizarse fácilmente en obra mediante simples serruchos, facilitando su perfecta adaptación a las irregularidades de las obras.

□ **Ejemplos de aplicación**



Figura 2.35: Aplicaciones de bloques de poliestireno en losas reticulares.

2.9 Sistema de losas aligeradas con casetones recuperables de poliestireno expandido ^[2.9]

En aquellas construcciones que en virtud de su uso (oficinas, hospitales, comercio, etc.) es necesario prever un espacio bajo las placas de entrepiso para instalaciones especiales (inyección y extracción de aire, redes de incendio, sistemas, etc.) ocultas luego por un cielorraso falso; o simplemente para instalaciones a la vista (garajes, fabricas, etc.); o en aquellas en que se requiera algún tratamiento decorativo especial (zonas comerciales, iglesias, etc.) es posible usar casetones de poliestireno expandido recuperables para fundir las losas de entrepiso o cubierta dejando a la vista el vacío del aligeramiento entre las nervaduras de vigas y viguetas y utilizar los casetones nuevamente para pisos superiores.

Es un sistema de colocación y recuperación de bloques macizos de poliestireno expandido (icopor), ampliamente utilizado en la construcción porque ofrece alto rendimiento del concreto ya que no hay desperdicio por pandeos, filtraciones o roturas. Los casetones recuperables se fabrican industrialmente a la medida de los planos con flexibilidad de formas y tamaños. El casetón se forra con una película de polietileno para evitar su adherencia al concreto y facilitar su extracción. Este proceso se lleva a cabo en la obra. El casetón se recupera mediante una operación que toma pocos segundos inyectando aire comprimido a través de una manguera que infla un cojín que será utilizado con la finalidad de desprender el casetón. Para asegurar su recuperación, el casetón tiene forma trapezoidal, con una pendiente del 8 al 10% de su altura.

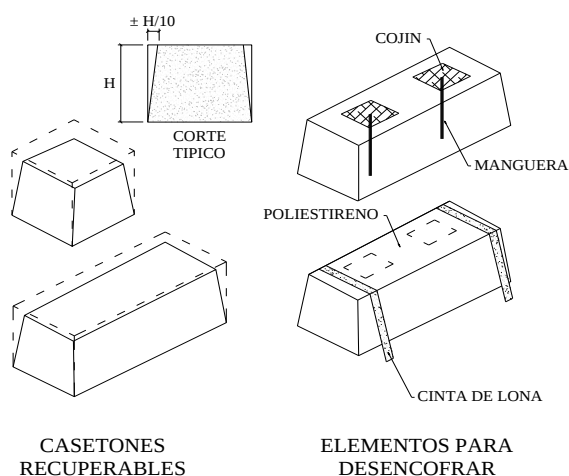


Figura 2.36: Sistema de losas construidas con casetones recuperables.

□ Comportamiento estructural

Si los casetones no sufren ningún desplazamiento al momento del vaciado del concreto, el comportamiento de la estructura es el previsto en el diseño. El sistema además de disminuir la carga muerta por la no permanencia del elemento aligerante, no conlleva a cambios en el comportamiento estructural.

□ **Forma de colocación**

1. Cada casetón se envuelve con una película tensionada de polietileno, que resalta su forma y lo protege. Para facilitar el desencofrado se acostumbra dejar bajo el polietileno, en la cara superior, uno o varios cojines inflables con su correspondiente manguera que atraviesa el casetón por una perforación hecha con una varilla. El conjunto va amarrado con varias cintas de lona (ancho 5 cm). Se colocan los casetones de acuerdo con la repartición estructural sobre una base de encofrado, asegurándolos de manera que no se muevan durante la colocación del fierro y el vaciado de concreto, pero teniendo cuidado de que esto no impida su retiro. Se coloca el refuerzo de la losa, y en los sitios de las instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias que sea necesario se reemplazan los casetones recuperables por casetones perdidos.
2. Con el fin de evitar que el tráfico de trabajadores y el transporte de materiales como el fierro dañe los casetones, éstos se instalan junto con el elemento inflable y el polietileno una vez que esté armado el 70 % del refuerzo.
3. Después de colocados los casetones, se extiende la malla de refuerzo superior, teniendo cuidado de no pinchar con las puntas los elementos inflables de recuperación.
4. El concreto se vacía sobre la parte superior del casetón y luego se reparte uniformemente entre las vigas, evitando así desplazamientos.
5. Una vez retirado el elemento aligerante, los conductos para tuberías quedan al descubierto. En los baños se puede utilizar casetón de poliestireno perdido.
6. Cuando el concreto haya alcanzado el 70% de su resistencia, fraguada la losa y retirada la base del encofrado se procede al retiro de los casetones. A medida que son inflados los cojines dejados encima de cada casetón, en razón del empuje del aire y de la forma del casetón, éstos se separan de la losa. Las cintas mediante un esfuerzo de torsión comprimen ligeramente el casetón y a la vez que se le jala hacia abajo permiten el retiro de cada encofrado. Cada casetón debe ser revisado cuidadosamente y vuelto a envolver en polietileno antes de ser utilizado nuevamente.
7. En general, los casetones son retirados por la parte inferior de la placa, pero también se puede fundir una torta inferior (base para cielorraso) y colocar los casetones en forma invertida, y extraerlos una vez fundida las viguetas por la cara superior, para proceder luego a instalar piso de madera (listón machihembrado) o placas de concreto prefabricadas, etc.
8. En los casetones recuperables, el polietileno puede ser reemplazado por ceras desencofrantes, pinturas u otros acabados que permitan tener una adecuada superficie para el retiro de los elementos.

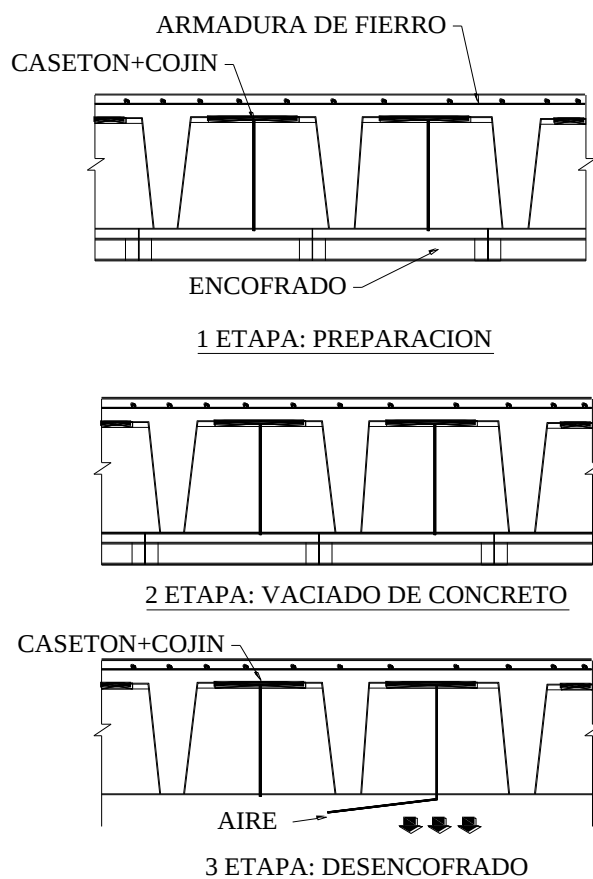


Figura 2.37: Etapas a seguir para realizar el sistema con encofrado recuperable.

□ **Ventajas**

1. Cada casetón puede usarse 15 veces como mínimo, pero con un adecuado manejo puede soportar más de 20 usos, sin necesidad de reemplazar el polietileno.
2. Cuando se trate de edificios de 15 pisos o más, los casetones pueden usarse como aligerante perdido en la última losa-techo a construir, proporcionando así un medio aislante.
3. El rendimiento del concreto es alto. No hay desperdicio por pandeos, filtraciones o roturas.
4. Los casetones de poliestireno expandido son impermeables, no admiten filtraciones de finos ni absorben humedad durante el curado, posibilitando la completa hidratación del cemento.
5. Las principales ventajas del uso de casetones recuperables de poliestireno están en su bajo peso y fácil manipulación. Su resistencia adecuada a la compresión del concreto garantiza la geometría de éste y evita su desperdicio. La reutilización, en especial en construcciones de varios pisos típicos, representa no sólo una economía en costos sino también un racional uso de los insumos de la obra y, muy particularmente, ahorro de tiempo.

□ Ejemplos de aplicación



Figura 2.38: Colocación del casetón de poliestireno expandido y vaciado de concreto.



Figura 2.39: Acabado final de la losa aligerada haciendo uso de casetones de poliestireno expandido.

2.10 Sistema de losas abovedadas ^[2.10]

Sistema de entrepiso y cubierta es aplicable a viviendas de luces pequeñas. Está basado en la utilización de elementos de entrevigado cumpliendo funciones estructurales cuya configuración permita que los materiales utilizados en su fabricación trabajen en su forma óptima, es decir, que todas sus secciones reciban solicitaciones de compresión logrando con esta la utilización de esta propiedad en concretos y morteros, así como la disposición de todos sus elementos componentes, viguetas, losa abovedada y concreto *in situ* que garanticen un trabajo homogéneo de todo el conjunto.

En la figura 2.40 se aprecia la sección de este sistema donde se aprecia los elementos prefabricados que la conforman.

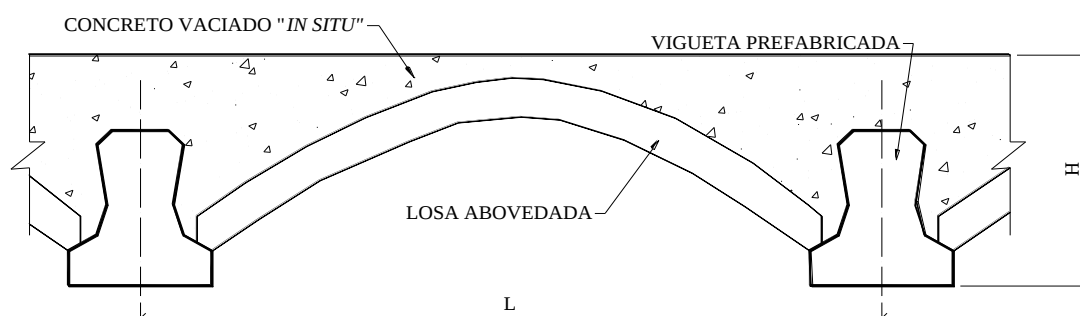


Figura 2.40: Representación gráfica de la sección del sistema de entrepiso.

Este sistema está basado en la utilización de viguetas pretensadas o armadas, cuya sección por su forma geométrica permite una vez completada la sección de la losa se convierta en una sección en T trabajando homogéneamente debido al efecto de la unión entre vigueta y losa abovedada que se produce. El elemento de entrevigado utilizado corresponde a una losa abovedada de mortero (sin refuerzo) de espesor entre 0.03 y 0.05 m, en dependencia de su modulación y su flecha con un ancho como dimensión general de 0.30 m.

El trazado de la losa abovedada sigue una directriz parabólica a lo largo de su eje permitiendo que el trabajo de una sección en todos los puntos sea de solicitaciones a compresión y este forma permite aprovechar racionalmente el material del que está compuesta (mortero).

Todos los elementos pueden ser colocados sin la utilización de equipos de izaje, es decir, manualmente, y sus pesos oscilan entre 10Kg y 30 Kg. Las juntas entre las losas abovedadas se rellenan con pasta de cemento y el asiento o nivelación de esta sobre las viguetas es a base de mortero arena-cemento, permitiendo a su vez el constreñimiento de las mismas teniendo como resultado una capacidad de carga suficiente para soportar las cargas de construcción.

Este sistema puede ser utilizado como entrepiso o cubierta en viviendas económicas prefabricadas o semi-prefabricadas con luces entre 3.00 m hasta 4.20 m (como dimensiones más generales) y con módulos entre viguetas acorde al sistema donde se utilice.

□ **Ventajas**

1. Utiliza elementos prefabricados de fácil producción industrial o en plantas a pie de obra, con una base material de poca complejidad en su instalación.
2. El tiempo de la ejecución disminuye y es fácil la producción de sus elementos componentes.
3. Facilidad de ejecución y manipulación.
4. Posee belleza arquitectónica y flexibilidad sin necesidad de apuntalamiento. Utiliza viguetas armadas o pretensadas.
5. Este sistema puede ser usado en reconstrucciones y remodelaciones de edificios o en cualquier estructura donde las cargas correspondan a los rangos para edificaciones de viviendas de luces cortas.

2.11 Referencias

- [2.1] Página web: <http://www.ladrillerasantaclara.com/productos.htm>
- [2.2] Página web: http://www.serconet.com/visanfer/forjados/placas_aligeradas.htm
- [2.3] Información proporcionada por La Unidad de Arquitectura Metálica Barranquilla-Colombia a través del ingeniero Wilson Reyes Alvarez.
- [2.4] Manual sobre Armaduras Metálicas Placner. Fabricante Placas Nervadas S.L., España, 2000, 30 pp.
- [2.5] Noticreto, edición 45, Colombia, Santa Fe de Bogotá, 1997, 80 pp.
- [2.6] Información proporcionada por Tesicol a través de la ingeniero Alicia Borja McCormick.
- [2.7] Página web: <http://www.losafacil.com/principal.html>
- [2.8] Información proporcionada por el arquitecto Francisco Pardo Trelles.
- [2.9] Página web: <http://www.formaplac.com/>
- [2.10] Manual Sistema LAM, edición 1, Cuba, 1997, 30 pp.

Losas compuestas reforzadas con lámina de acero

3.1 Descripción del sistema

El sistema de losa con láminas colaborantes es un nuevo concepto para el diseño y la construcción de losas estructurales en edificaciones. Este sistema se compone de una lámina de acero preformada (*steel deck*) y una losa de concreto vaciada sobre ésta, que actúan de manera monolítica y forman una losa compuesta (*Composite Steel Floor Deck*). Este tipo de losa se suele usar donde la estructura principal se erige en acero o es una construcción compuesta. El perfil de la lámina que trabaja mejor es el de forma trapezoidal. Las láminas son galvanizadas y tienen corrugaciones que hacen que la adherencia entre la interfase lámina y acero sea satisfactoria evitando así deslizamientos horizontales entre los dos componentes. En el mercado se pueden encontrar láminas cuyo espesor varía aproximadamente de 0.028 pulg a 0.060 pulg (0.7 – 1.5 mm). ^[3.1]

Estas losas compuestas tienen una serie de ventajas:

- ❑ El tablero de acero, que se coloca fácil y rápidamente sobre las vigas, sirve como plataforma de trabajo para soportar la actividad de la construcción y para sostener el concreto recién vaciado. Esto elimina la necesidad de encofrado y de andamiajes.
- ❑ El tablero de acero sirve como refuerzo principal a tensión para la losa.
- ❑ Si parte o todos los paneles del tablero se forman en celdas cerradas, éstas pueden servir de conductos para cables eléctricos o de comunicación o para la calefacción.

El sistema puede utilizarse en edificios donde la estructura principal es en concreto o en acero y debe conectarse adecuadamente a las vigas principales de apoyo para servir de diafragma estructural y conformar elementos en construcción compuesta con dichas vigas si así se proyecta. Adicionalmente, puede apoyarse de forma conveniente sobre muros estructurales en mampostería o concreto. En la figura 3.1 se presenta el esquema general del sistema estructural de entrepiso con láminas colaborantes.

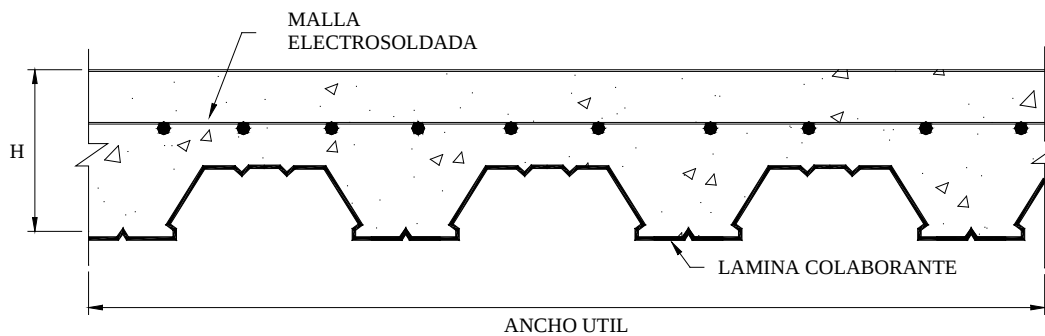


Figura 3.1: Sección típica del sistema de losa con láminas colaborantes.

Este tipo de sistema involucra dos etapas principales para el diseño. La primera cuando el concreto fresco aún no ha endurecido, y la lámina colaborante funciona principalmente como encofrado. La segunda cuando el concreto endurece y la losa trabaja como sección compuesta para resistir las cargas muertas y las cargas vivas. En la primera etapa se acostumbra verificar los esfuerzos y las deflexiones con los valores admisibles. En la segunda se aplica el criterio de resistencia.

3.2 Funciones de la lámina de acero ^[3.2]

La lámina de acero tiene dos funciones principales:

- ❑ Durante el proceso constructivo sirve como encofrado permanente o para conformar una plataforma segura de trabajo, eliminando la necesidad de armar y remover los encofrados temporales comúnmente utilizados. Antes del endurecimiento del concreto fresco, la lámina debe soportar su propio peso más el peso del concreto fresco y las cargas adicionales de construcción. Se debe verificar los esfuerzos y las deflexiones máximas y compararlos con los valores admisibles.
- ❑ Como componente estructural definitivo conforma el refuerzo positivo de la losa. Una vez endurecido el concreto fresco, éste y el acero actúan en forma compuesta para resistir las cargas muertas y las cargas vivas sobreimpuestas. La interacción se forma a partir de una combinación de adherencia superficial entre el concreto y la lámina y por medios mecánicos mediante la restricción impuesta por la forma de la lámina a través de resaltes en la superficie, hendiduras o dispositivos para la transferencia de cortante tales como pernos o alambres transversales uniformemente espaciados. En este estado debe calcularse igualmente los esfuerzos y las deflexiones máximos y compararlos con los admisibles correspondientes. Adicionalmente, la losa en construcción compuesta y la viga de acero o concreto reforzado, que sirve de apoyo a la misma, pueden interconectarse convenientemente mediante conectores de cortante para producir una sola unidad estructural a flexión la cual tiene mayor resistencia y rigidez que una losa y viga independientes.

En el caso de las losas de entrepiso diseñadas para actuar en la construcción compuesta con las vigas de apoyo se simplifica la instalación de conectores de cortantes entre los dos elementos y se hace énfasis en el recubrimiento de concreto alrededor de los conectores de cortante.

3.3 Cargas y esfuerzos no compuestos ^[3.1, 3.2]

Para el diseño de la lámina actuando como encofrado, o sea, en estado no compuesto, la carga de diseño debe incluir:

- El propio peso de la lámina.
- El peso del concreto fresco.
- Las cargas de construcción temporales que se calculan como la más severas entre una carga uniformemente distribuida de 100 kg/m^2 sobre la superficie de la lámina y una carga concentrada de 300 kg que actúan sobre una sección de la formaleta de 1 m de ancho. Estas cargas corresponden a cargas de construcción como son sobrepesos por el manejo del concreto, el peso de la maquinaria y las personas que trabajan en la construcción de la losa.

3.3.1 Deflexiones admisibles

Para el cálculo de las deflexiones verticales de la lámina colaborante actuando como encofrado deberá considerarse el peso del concreto de acuerdo con el espesor de diseño y el de la lámina. Las cargas de construcción no deben tenerse en cuenta por ser de carácter temporal. Debido a que la lámina se diseña para permanecer en el rango elástico, ésta se recuperará una vez que se retire dicha carga temporal.

Las deflexiones verticales que se produzcan en condiciones de encofrado y en estado no compuesto, calculadas con las cargas establecidas y medidas con respecto a la deflexión vertical del apoyo, deben limitarse a: $\delta_{cal} \leq \delta_{adm}$. La deflexión calculada debe ser el menor valor entre $\frac{100 * L_e}{180}$ y 1.9 cm.

Donde:

L_e = Longitud de la luz libre, (m)

δ_{cal} = Deflexión calculada, (cm)

δ_{adm} = Deflexión máxima admisible, (cm)

3.3.2 Esfuerzo admisibles

Los esfuerzos de tensión y de compresión por flexión en la lámina no deben exceder el 60% del esfuerzo de fluencia o 2530 kg/cm^2 . $\sigma_{CAL} \leq \sigma_{ADM}$

$$\sigma_{ADM} = 0.6 * f_y \leq 2530 \text{ kg/cm}^2 \quad (3.1)$$

Donde:

σ_{CAL} = Esfuerzo actuante en el acero, (kg/cm^2).

σ_{ADM} = Esfuerzo admisible en el acero (kg/cm^2)

f_y = Esfuerzo de fluencia en el acero, (kg/cm^2)

Soportes adicionales (apuntalamientos temporales)

Si los esfuerzos actuantes o las deflexiones calculadas sobrepasan los esfuerzos admisibles y/o las deflexiones admisibles respectivamente, se puede utilizar apuntalamientos temporales adicionales durante la construcción, los cuales generalmente son colocados en los centros o tercios de las luces. En caso de requerirse apoyos temporales, debe indicarse claramente en los planos de construcción el tipo de apoyo requerido, su ubicación y el tiempo necesario de apuntalamiento

Longitudes de apoyo

Las longitudes de apoyo del tablero sobre las vigas principales se determinan utilizando una carga de concreto húmedo más el peso propio de la lámina colaborante y una carga de construcción uniformemente distribuida de 100 kg/m^2 . Como regla general se recomienda utilizar una longitud de apoyo de por lo menos 4 cm cuando la lámina se instale sobre la viga, la cual impedirá que el tablero resbale de su apoyo. Si esta condición no puede cumplirse, por razones constructivas o cuando se esperen reacciones considerables en los apoyos, deberá verificarse los esfuerzos en el alma de la lámina. Se recomienda utilizar una longitud de apoyo de la lámina sobre la viga de 2.5 cm. En casos críticos se recomienda de todas maneras sujetar convenientemente la lámina a la viga o elemento de apoyo para evitar que resbale.

3.4 Lámina colaborante y concreto como sección compuesta ^[3.2, 3.3, 3.4]

La losa con sección compuesta debe diseñarse como una losa de concreto reforzado en la que la lámina actúa como acero de refuerzo positivo. Las losas deben diseñarse con luces simples o continuas sobre apoyos, sometidas a cargas uniformemente distribuidas. Adicionalmente deben ser diseñadas para cargas concentradas importantes, para cargas dinámicas derivadas del uso de la estructura y para cargas debidas al funcionamiento de la losa como diafragma estructural en una edificación determinada.

Aunque deben satisfacerse los límites impuestos a los esfuerzos y a las deflexiones en el estado no compuesto, la base primaria para el diseño de losas compuestas consiste en suministrar una resistencia adecuada para resistir sobrecargas hipotéticas. Las cargas o los efectos de las cargas que se deben resistir se encuentran aplicando coeficientes de sobrecarga a las cargas de servicio, y las resistencias de diseño se estiman multiplicando las resistencias nominales por los coeficientes de reducción de resistencia ϕ .

$$Vu \leq \phi Vn$$

$$Mu \leq \phi Mn$$

Donde los efectos de las cargas, Vu y Mu , se basan en las cargas mayoradas:

$$Mu = 1.5CM + 1.8CV$$

CM = Peso del tablero y del concreto mas las cargas muertas adicionales, tn.m^2

CV = Carga viva de servicio, tn.m^2

3.4.1 Hipótesis de análisis

El diseñador debe seleccionar la hipótesis para el análisis de la losa de entrepiso de acuerdo con lo siguiente:

- **Losa continua sobre apoyos múltiples:** Si se desea diseñar la losa de manera que se tenga continuidad en los apoyos intermedios, debe diseñarse el refuerzo negativo que irá en la parte superior de la losa, utilizando las técnicas de diseño convencionales del concreto reforzado. En este caso, para la sección en el apoyo se desprecia el efecto de la lámina actuando a compresión. También, la malla de refuerzo seleccionada para efectos de retracción y temperatura no proporciona en general la cuantía de acero necesaria para absorber dichos momentos negativos de manera que debe disponerse de refuerzo adicional en la zona de los apoyos.
- **Losa con luces simplemente apoyadas:** Si por otro lado se desea basar el análisis en la hipótesis de luces simplemente apoyadas, se supone que la losa se fisura en la parte superior en cada uno de los apoyos. Para efectos estéticos se recomienda, de todas maneras, colocar cuantías nominales de refuerzo que garanticen la formación de varias fisuras y una sola grieta de mala apariencia.

3.4.2 Cargas de diseño

El proceso constructivo utilizado en el vaciado del concreto resulta vital para establecer las cargas de diseño que se utilizarán en el cálculo de la losa. Se tienen los siguientes casos particulares:

- **Condición de encofrado sin apuntalamiento:** Si se coloca el concreto fresco sobre la lámina sin soporte intermedio, todo el peso propio del tablero y del concreto lo soporta la lámina de acero misma. Sólo las cargas que se apliquen con posterioridad al fraguado del concreto (denominadas cargas sobreimpuestas), como con las cargas muertas adicionales y las cargas vivas, actuarán sobre la sección compuesta, considerando que ya sobre la lámina hay actuando unos esfuerzos previos.
- **Condición de encofrado con apuntalamiento uniforme:** Si la lámina está temporalmente soportada en forma uniforme hasta que el concreto fragüe para luego retirar los soportes, todas las cargas, o sea el peso propio de la lámina y del concreto, las cargas muertas adicionales y las cargas vivas, actuarán todas sobre la sección compuesta. En este caso, el peso propio del tablero y del concreto debe aplicarse como carga uniformemente distribuida a la sección compuesta, adicionalmente a las cargas muertas adicionales y las cargas vivas que se aplican enseguida.
- **Condición de encofrado con apuntalamiento intermedio:** Si la lámina tiene un solo apoyo intermedio durante la fundida del concreto, ésta deberá soportar los momentos flectores (sin considerar el comportamiento como sección compuesta), producidos por su peso propio y el peso del concreto fresco considerando la nueva condición de apoyo, y la sección compuesta deberá soportar una carga concentrada en el centro de la luz equivalente a $\frac{5}{8} W_{PP} L_e$ donde W_{PP} incluye el peso propio de la losa (peso de la lámina y del concreto) y L_e , la luz total sin considerar apuntalamiento, más el efecto de las cargas sobreimpuestas mencionadas anteriormente. Para apoyos adicionales se hace un análisis equivalente al anterior. Las anteriores consideraciones deben

utilizarse en la estimación de la carga sobreimpuestas admisibles y en el cálculo de esfuerzos de adherencia entre el tablero de acero y el concreto tal como se presenta más adelante. Algunas normas establecen que para el diseño de conectores de cortante para conformar la sección compuesta debe utilizarse las cargas mayoradas totales sin las reducciones planteadas en los parámetros anteriores, lo cual representa una base de diseño más conservadora.

3.4.3 Deflexiones por cargas vivas

Las propiedades para efectos de flexión de la sección compuesta necesarias para determinar las deflexiones verticales de losas compuestas, debe calcularse de acuerdo con la teoría elástica convencional aplicada al concreto reforzado, mediante la transformación de las áreas de acero a áreas equivalentes de concreto. Las hipótesis básicas del análisis son las siguientes:

1. Las secciones planas antes de la flexión permanecen planas después de aplicada la flexión, lo que significa que las deformaciones unitarias longitudinales en el concreto y en el acero, en cualquier sección transversal al tablero, son proporcionales a la distancia de las fibras desde el eje neutro a la sección compuesta.
2. Para las cargas de servicio, los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones tanto para el concreto como para el acero.
3. Puede utilizarse la totalidad de la sección de acero excepto cuando está se ve reducida por huecos.
4. El momento de inercia utilizado en el estimativo de las deflexiones por carga viva se calcula utilizando el promedio entre el momento de inercia “fisurado” de la sección transformada y el momento de inercia “no fisurado” de la sección transformada. Para la sección transformada se utiliza normalmente un módulo del acero de 2’077.500 kg/cm² y una relación modular de **N=11**.

Las deflexiones verticales del sistema compuesto calculadas con las cargas y propiedades establecidas debe limitarse a lo dado en la tabla 3.1.

En el cálculo de las deflexiones debe considerarse las cargas inmediatas y las de largo plazo; las deflexiones adicionales causadas por el flujo plástico del concreto (“creep”) deben ser consideradas multiplicando las deflexiones inmediatas causadas por las cargas permanentes consideradas por el coeficiente obtenido así:

$$\lambda = \frac{\varepsilon}{1 * 50 \rho'} \quad (3.2)$$

Donde:

ρ' = Es el valor de la cuantía del refuerzo a compresión en el centro de la luz para luces simplemente apoyadas o continuas, y el apoyo para voladizos.

Tabla 3.1: Deflexiones máximas calculadas permisibles

<i>Tipo de elemento</i>	<i>Deflexión que se considera</i>	<i>Deflexión límite</i>
Techos planos que no soporten o no estén unidas a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones grandes.	Deflexión instantánea debido a carga viva.	L/180
Pisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños por deflexiones excesivas.	Deflexión instantánea debido a carga viva.	L/360
Pisos o techos que soporten o estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños por deflexiones excesivas.	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de la deflexión diferida a todas las cargas sostenidas, y la deflexión.	L/480
Pisos o techos que soporten o estén ligados a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños por deflexiones excesivas.	inmediata debida a cualquier carga viva adicional).	L/240

Se recomienda los siguientes valores del coeficiente de efectos a largo plazo, ε , según la tabla 3.2

Tabla 3.2: Valores de ε en función del tiempo ^[3.1]

<i>Años</i>	<i>ε</i>
5 años o más	2.0
12 meses	1.4
6 meses	1.2
3 meses	1.0

De la misma manera que en los cálculos de esfuerzos, para el cálculo de deflexiones se supone normalmente que no existe continuidad en la losa de manera que se utiliza las fórmulas convencionales para luces simples. De nuevo esta suposición puede evitarse utilizando las fórmulas correspondientes a dos y más luces continuas donde las partes de la losa sometidas a flexión negativa requiere de refuerzo adicional que se coloca cerca de la superficie superior de concreto. Este refuerzo puede diseñarse de acuerdo a los métodos corrientes para losas. ^[3.1]

3.4.4 Resistencia de adherencia a cortante

Una de las formas de falla más comunes en losa compuestas es una forma que combina falla a cortante y de adherencia, de aquí que se le llame falla por adherencia a cortante, a lo largo de la interfase entre el acero y el concreto, en la cual se produce un deslizamiento horizontal. Así como ocurría para las barras de refuerzo corriente, la sola adherencia natural por lo general no es suficiente. Por esta razón, se utiliza una variedad de dispositivos para la transferencia de cortante, que consisten en resaltes, alambres

transversales soldados y muescas que tienen como objetivo mejorar la adherencia a cortante por medios mecánicos, efecto que va a sumarse a la adherencia propia entre los dos materiales.

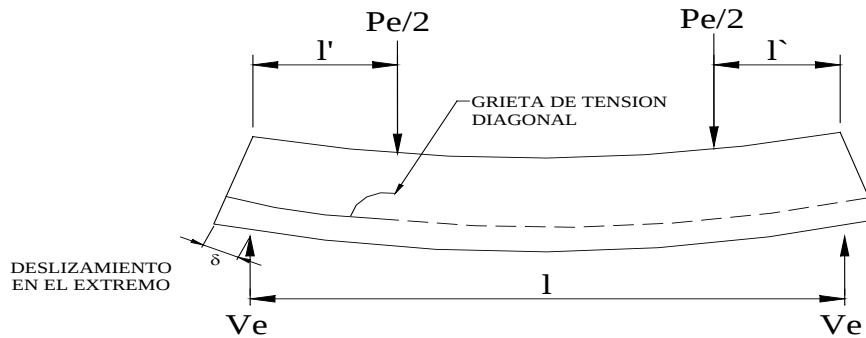


Figura 3.2: Agrietamiento diagonal y falla por adherencia

En la figura 3.2 se expone una falla por adherencia a cortante como ocurre en un ensayo de laboratorio bajo dos cargas puntuales. Una grieta importante de corte diagonal se desarrolla cerca de una de las cargas. Esto produce una pérdida de adherencia en la vecindad inmediata de la grieta y sobre toda la longitud l' . Esto genera un deslizamiento entre el concreto y el acero, que se puede observar por el deslizamiento indicado en el extremo. A partir de ahí, la falla por adherencia a cortante se relaciona con el agrietamiento diagonal a cortante y esto se refleja en el método de diseño para adherencia por cortante.

En base a ensayos realizados, la resistencia de adherencia a cortante de losas compuestas que se refuerzan con tablero de acero puede expresarse en términos de una ecuación similar a la utilizada para la resistencia a cortante de elementos reforzados a flexión en la forma convencional:

$$V_n = \left(0.16 \sqrt{f'_c} + 49 \rho_w \frac{V_u * d}{M_u} \right) b_w * d \quad (3.3)$$

Las constantes 0.16 y 49 no son aplicables a tableros compuestos puesto que son válidas sólo para las vigas y las losas reforzadas con barras. Para losas compuestas los valores de estas constantes dependerán de las peculiaridades del tablero, es decir, de la forma de la sección transversal, del espaciamiento y profundidad de las nervaduras, del espesor de la lámina, de la forma, del espaciamiento y localización de los dispositivos de transferencia de cortante, etc. Así que como consecuencia de la variedad de tableros que producen los diferentes fabricantes, es necesario determinar con ensayos las constantes apropiadas para cada tipo.

Estos ensayos se llevan a cabo sobre especímenes de losa a escala real, sometidos a flexión mediante dos cargas puntuales como se indica en la figura 3.2. Así que en la ecuación anterior para V_n se tiene que $M_u/V_u = l'$, es la luz de corte.

$$V_n = \left(K \sqrt{f'_c} + m \frac{\rho^* d}{l'} \right) b * d \quad (3.4)$$

Donde:

- V_n = fuerza cortante de adherencia nominal resistente, kg.
 d = Espesor efectivo de la losa, es decir, distancia de la parte superior del concreto al centroide de la sección transversal del tablero de acero, cm.
 b = Ancho de análisis. Normalmente en losas se toma ancho unitario de 100 cm.
 k, m = Constantes determinadas experimentalmente.
 ρ = A_s/bd es la cuantía de refuerzo dada como la relación entre el área de la sección transversal de la lámina colaborante y el área efectiva del concreto.
 l' = Distancia de la carga concentrada al apoyo más cercano en el ensayo con dos cargas concentradas simétricas, cm.

La ecuación anterior se puede reformular de la siguiente manera:

$$\frac{V_e}{b * d * \sqrt{f'_c}} = \left(K + m \frac{\rho * d}{l' * \sqrt{f'_c}} \right) \quad (3.5)$$

La ecuación representa una línea recta, de manera que cuando $V_e/(b * d * \sqrt{f'_c})$ se dibuja contra $\rho d/(l' * \sqrt{f'_c})$, k representa la intersección con el eje $V_e/(b * d * \sqrt{f'_c})$ y m es la pendiente de la línea. En este caso, V_e es la reacción en el extremo medida en el ensayo en el momento de la falla.

Al representar de manera gráfica gran cantidad de ensayos, se encuentra que los puntos de ensayo siguen efectivamente una línea aproximada, con una dispersión experimental casi del 15%. Con objetivos de diseño, la resistencia de adherencia cortante se toma conservadoramente un 15% menor al valor estimado. Así que, con respecto a la figura 3.3, si la intersección y la pendiente de la línea de mejor ajuste son k_1 y m_1 respectivamente, para propósitos de diseño, se utilizan los valores k y m correspondientes a una línea, un 15% por debajo de la línea de mejor ajuste.

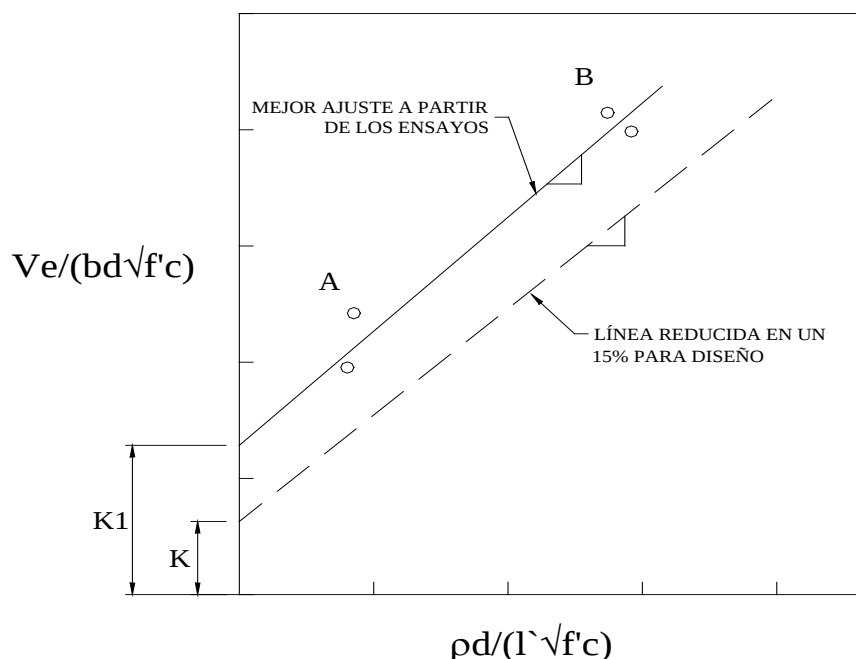


Figura 3.3: Resultados comunes de ensayos que fallaron por adherencia a cortante.

Cada fabricante de láminas colaborantes debe establecer su propia resistencia de adherencia a cortante mediante ensayos realizados aplicando dos cargas puntuales de la manera expuesta en la figura 3.2 y los resultados deben dibujarse como se indica en la figura 3.3. Con el fin de establecer una línea recta confiable debe ensayarse un mínimo de dos pares de especímenes idénticos para cubrir el intervalo de luces de corte l' y de espesores de losa h . Así, los especímenes para los puntos A se logran con valores pequeños de h y grandes de l' y para puntos B, con valores grandes de h y pequeños de l' .

3.4.5 Conectores de corte ^[3.1, 3.5]

Los conectores de cortante son esenciales para desarrollar la acción compuesta. Las losas construidas con el sistema de lámina colaborante al utilizarse como diafragma de piso que tiene como objetivo principal distribuir las cargas horizontales, generadas por efectos de viento o de sismo, a los elementos estructurales de soporte, deben transferir el cortante horizontal de manera que se comporte como unidad.

Al utilizar la losa compuesta como diafragma, el concreto que rellena los pliegues de la lámina de acero elimina la posibilidad de pandeos locales y en las esquinas. Sin la posibilidad de pandeos locales en la lámina, el sistema resulta adecuado para transmitir fuerzas cortantes generadas por las fuerzas horizontales. Es necesario entonces diseñar cuidadosamente la conexión del diafragma al sistema estructural de soporte para garantizar una adecuada transmisión de las fuerzas cortantes generadas.

El diseño del espaciamiento de los conectores a utilizar depende de la resistencia al corte de conector Q_f y del flujo de corte último S_u o fuerza cortante última por unidad de longitud, calculada a partir del análisis de fuerzas.

3.4.6 Resistencia a flexión – método de la resistencia última

El método de la resistencia última para diseñar a flexión está basado en la fluencia de la totalidad de la lámina por lo cual son aplicables las fórmulas tradicionales de diseño a la rotura (o resistencia última) para el concreto. Para alcanzar la capacidad última a momento de la sección compuesta, se ha demostrado experimentalmente que se requiere un número suficiente de pernos de corte sobre la viga perpendicular a la dirección principal de la lámina.

Aunque el tablero de acero en la estructura terminada sirve de refuerzo a la losa, las dimensiones de su sección transversal y, por tanto, su área, A_s , por lo general las controlan las condiciones temporales de construcción descritas con anterioridad. En consecuencia las losas compuestas se pueden sobrerreforzar o subreforzar, según las combinaciones particulares de luces y cargas, etc. En este sistema no es posible evitar las losas sobrerreforzadas, en contraste con la situación para las losas convencionales que utilizan barras corrientes de refuerzo.

Se establece la cuantía balanceada que es aquélla para la cual la deformación unitaria de tensión en la parte superior de la lámina alcanza la deformación de fluencia exactamente en el mismo instante de aplicación de carga en que la superficie superior del concreto alcanza la deformación límite de $\epsilon_c = 0.003$.

$$\rho_b = 0.85 * \beta_1 * \frac{f'_c}{f_y} \left[\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} \right] \left[\frac{h - d_d}{d} \right] \quad (3.6)$$

Donde:

ρ_b = Cuantía balanceada de acero de refuerzo.

β_1 = 0.85 para concretos con f'_c 280 kg/cm² (4000 psi).

ε_y = Deformación unitaria límite del concreto.

ε_c = Deformación unitaria de fluencia en el acero.

h = Espesor nominal fuera a fuera de la losa, cm.

d_d = Altura de la lámina colaborante, cm.

d = Altura efectiva de la parte superior de la losa de concreto al centroide del acero a tensión, cm.

f'_c = Resistencia a la compresión especificada para el concreto, kg/cm².

f_y = Esfuerzo de fluencia de acero, kg/cm².

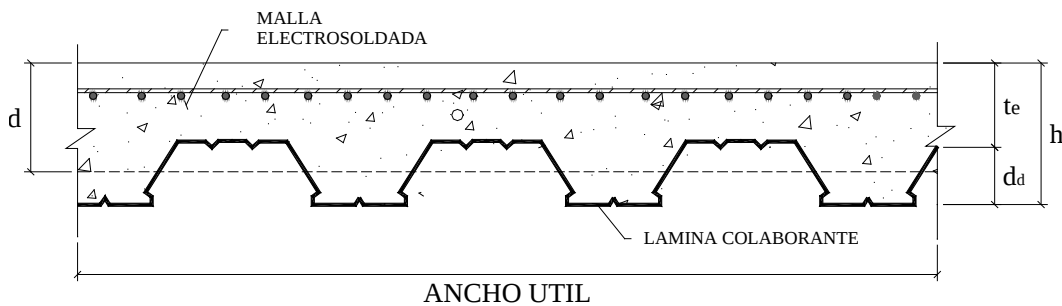


Figura 3.4: Sección detallada del sistema con lámina colaborante

Las losas compuestas con una cuantía de acero menor que ρ_b están subreforzadas y el acero de la lámina estará en fluencia en el momento en que el concreto alcance su deformación límite, mientras que aquellas con una de acero por encima de ese límite se encuentran sobrerreforzadas y tendrán un esfuerzo en el acero menor que f_y cuando el concreto alcanza su deformación límite. La ecuación básica que debe verificarse es la siguiente: $M_u \leq \phi \cdot M_n$

Donde:

M_u = Momento total actuante mayorado, tn.m.

M_n = Momento nominal resistente, tn.m.

ϕ = Coeficiente de reducción de resistencia de acuerdo con lo siguiente.

Tabla 3.3: coeficiente de reducción de acuerdo al tipo de losa

Losa Subreforzadas (cm)	$\phi = 0.90$
Losa Subreforzadas con $(f_u / f_y) \leq 1.08$	$\phi = 0.70$
Losa Sobrerreforzadas	$\phi = 0.75$

Para tableros de poca profundidad y losas gruesas, es decir, cuando el espesor de la losa h es sustancialmente mayor que la altura d_d del tablero de acero, es probable que la fluencia se propague sobre toda la altura d_d antes de que la deformación a compresión del concreto alcance el valor límite $\varepsilon_u = 0.003$. Entonces, la fuerza a tensión en el acero actúa en el

centroide de la sección del tablero de acero. En este caso, la losa se encuentra subreforzada y se aplica la ecuación usual para resistencia nominal a la flexión:

Las ecuaciones para calcular los momentos resistentes en losas subreforzadas son las siguientes

$$Mn = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \cdot 10^{-5} \quad (3.7)$$

Donde:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 f'_c b} \text{ (cm)} \quad (3.8)$$

d = altura efectiva.

b = ancho de una franja unitaria.

As = área de la sección transversal de acero.

El cálculo de la resistencia a flexión de las losas sobrerreforzadas es complicado por el hecho de que las deformaciones varían con la altura, según el historial de las cargas, es decir, dependen de si el tablero de acero se cargó en estado no compuesto, de si se colocaron encofrado o no y en caso afirmativo de cómo se colocaron, etc. Las ecuaciones para calcular los momentos resistentes en las losas sobrerreforzadas son las siguientes

$$Mn = 0.85 f'_c ab \left(d - \frac{a}{2} \right) \cdot 10^{-5} \quad (3.9)$$

Donde: $a = \beta_1 \cdot c$

$$c = k_u \cdot d$$

$$\kappa_u = \sqrt{\rho \cdot \lambda + \left(\frac{\rho \cdot \lambda}{2} \right)^2} - \frac{\rho \cdot \lambda}{2}$$

$$\lambda = \frac{\varepsilon_c \cdot E_s}{0.85 \beta_1 f'_c}$$

3.4.7 Resistencia a flexión – método de los esfuerzos admisibles

El método de los esfuerzos admisibles para diseño a flexión está basado en la fluencia del ala inferior de la lámina de colaborante (fibra más alejada del eje neutro). Este método resulta adecuado cuando no hay suficientes pernos de corte sobre la viga perpendicular a la dirección de la lámina o cuando solo existen este tipo de pernos en las vigas secundarias paralelas a la dirección de la lámina o simplemente cuando no se considera en el diseño la acción compuesta de las vigas de soporte y el sistema de la lámina colaborante y, por lo tanto, no existen pernos de corte sobre las vigas. La eventual presencia de los pernos de corte en número suficiente sobre las vigas perpendiculares a la dirección del tablero garantizaría el no deslizamiento relativo entre el concreto y la lámina y permitirían llegar a la sección a su resistencia última.

En este procedimiento se combinan los esfuerzos en la lámina causados por la fundida del concreto con los esfuerzos causados por la carga de servicio actuando sobre la sección

compuesta. Los esfuerzos resultantes se comparan con valores admisibles de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_s = \left[\frac{M_{pp}}{+S_i} + \frac{M'_{pp}}{S_{ic}} + \frac{M_{cs}}{+S_{ic}} \right] * 10^5 \leq 1.33(0.6 f_y) = 1860 \text{ kg/cm}^2 \quad (3.10)$$

$$\sigma_s = \left[\frac{M_{pp} + M'_{pp} + M_{cs}}{+S_{ic}} \right] * 10^5 \leq 0.6 f_y = 1400 \text{ kg/cm}^2 \quad (3.11)$$

Donde:

σ_s = Esfuerzo actuante en el acero, (kg/cm²).

+ S_i = Módulo elástico de la sección de acero para el ala inferior en flexión positiva, cm³.

S_{ic} = Módulo elástico de la sección compuesta para la fibra inferior de acero, cm³.

M_{pp} = Momento para la carga de peso propio W_{pp} , tn.m.

M'_{pp} = Momento para la carga de peso propio al retirar el apuntamiento, W_{pp} , tn.m.

M_{CS} = Momento para la carga sobreimpuesta, W_{cs} , tn.m.

En las anteriores ecuaciones M_{pp} calcula con base en la siguiente fórmula:

$$M_{pp} = Cn \cdot w_{pp} \cdot Le^2$$

Tabla 3.4 Coeficiente de flexión para momento positivo según lo siguiente:

<i>Sin apuntamiento</i>		<i>Con apuntamiento en el centro de la luz</i>	
C_1	=0.125 Una luz.	C_1	= 0.018 Una luz.
C_2	=0.070 Dos luces.	C_2	= 0.020 Dos luces.
C_3	=0.080 Tres o mas luces.	C_3	= 0.020 Tres o mas luces.

Le = Longitud de la luz libre, (m).

W_{pp} = Peso propio de la losa que incluye peso propio de la lámina y peso propio del Concreto, (kg/m²).

W_{CS} = Carga sobreimpuesta con respecto a W_{pp} e incluye la carga viva de diseño, y las cargas sobreimpuestas como muros divisorios, acabados de piso, cielos rasos, etc, (kg/m²).

Cuando hay apuntalamiento durante la fundida del concreto, para el cálculo de M'_{pp} debe incluirse el momento producido por la remoción de los puntales el cual actúa sobre la sección compuesta. Para apuntalamiento en el centro de la luz al término anterior debería sumarse el término $0.156 W_{pp} Le^2$ si se considera la hipótesis de luces simples. Para apuntalamientos diferentes se hace el análisis correspondiente. En realidad, los esfuerzos por el proceso constructivo debido al apuntalamiento serían un poco inferiores a los estimados en las fórmulas anteriores debido a que el máximo momento positivo para el peso propio de la losa (concreto fluido), no coincide en ubicación con el máximo positivo generado al retirar el apuntamiento. Sin embargo, se propone este método conservativo para considerar cargas no previstas y apuntalamientos no ubicados exactamente en el centro de la luz.

Por su parte, M_{cs} se calcula con la fórmula tradicional $0.125 W_{cs} L e^2$ en la cual se supone que no existe un refuerzo negativo en el apoyo, es decir, se supone como luz simple. Si se desea considerar la continuidad de la losa basta con calcular el momento positivo máximo para el número de luces en cuestión y utilizar este valor como M_{cs} . En este caso, debe hacerse el diseño complementario de la sección en el apoyo sometido a momento flector negativo. En dicho cálculo se desprecia normalmente la participación del tablero de acero a compresión y se utiliza las fórmulas tradicionales de diseño del concreto reforzado.

3.4.8 Compresión en el concreto

Debe revisarse los esfuerzos de compresión en el concreto para los casos en que se utilice o no el apuntamiento temporal. El esfuerzo en el concreto debe limitarse a $0.45 f'_c$. Para el cálculo del esfuerzo en el concreto se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm} = 0.45 f'_c (\text{kg/cm}^2)$$

$$\sigma_c = \frac{[M'_{pp} + M_{cs}]}{S_{cc} N} 10^5 \quad (3.12)$$

Donde:

σ_c = Esfuerzo de compresión actuante en el concreto, kg/cm^2 .

σ_{ADM} = Esfuerzo admisible en el concreto, kg/cm^2 .

S_{cc} = Módulo elástico de la sección compuesta para la fibra superior de concreto, cm^3 .

N = Relación de módulo de elasticidad, E_s / E_c .

M'_{pp} = Momento para W_{pp} producido al retirar el apuntamiento, tn.m .

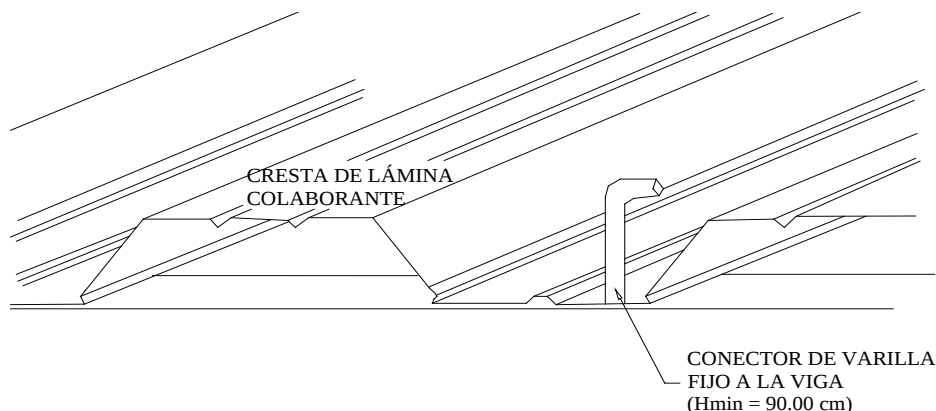
M_{cs} = Momento para la carta sobreimpuesta, W_{cs} , tn.m .

f'_c = Resistencia a la compresión especificada para el concreto kg/cm^2 .

3.5 Manejo del sistema de lámina colaborante [3.2, 3.3, 3.4]

3.5.1 Proceso constructivo

Cuando se vacía el concreto sobre las vigas se debe dejar unas mechas de varilla de 5/8" cada 60 cm máximo, con el fin de amarrar la lámina colaborante a la estructura. La altura del conector debe ser mínima de 9 cm. medidos desde el valle de la lámina colaborante, como se observa en la figura 3.5.



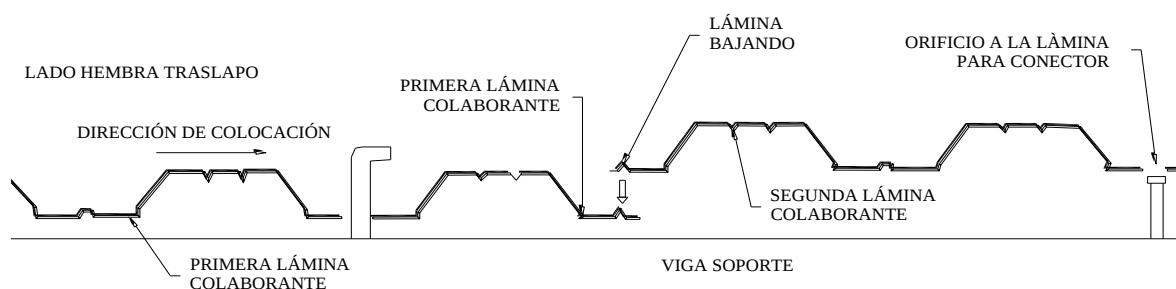


Figura 3.5: Detalle típico del conector entre una viga de concreto y lámina colaborante.

La lámina colaborante debe ser instalada con un apoyo mínimo sobre la viga de 4cm, según se aprecia en la figura 3.6.

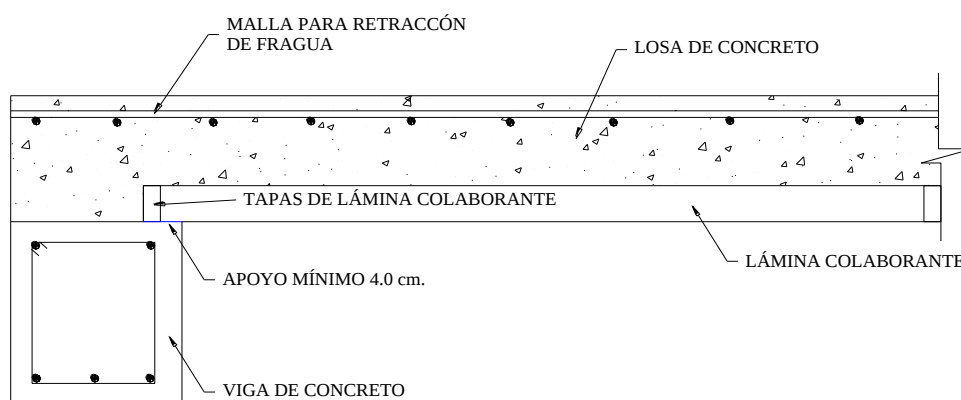


Figura 3.6: Detalle típico del apoyo de la lámina colaborante sobre una viga.

Una vez instalado el acero de temperatura y los tubos que van embebidos en el concreto como las instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias, se debe colocar el concreto para el vaciado de la losa.

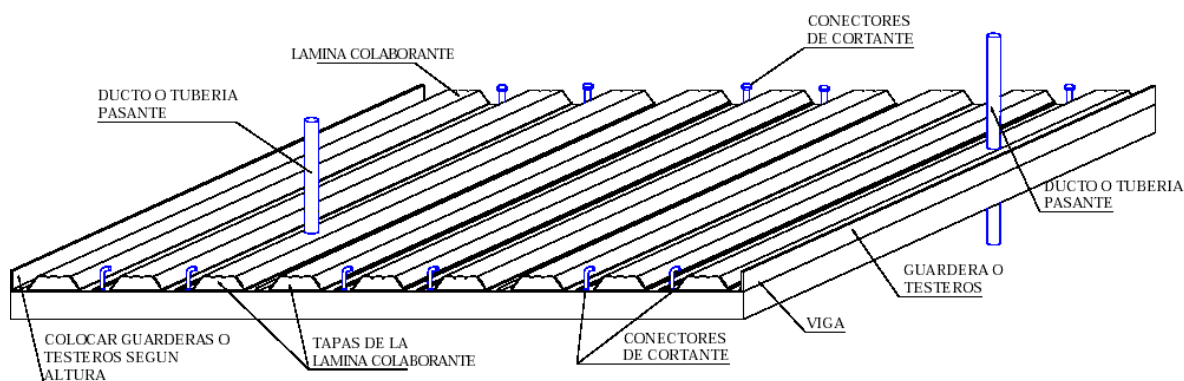


Figura 3.7: Colocación de la malla para temperatura y vaciado de concreto.

3.5.2 Sujeciones a estructuras de concreto

Cuando la estructura de soporte consista en una viga o muro de concreto reforzado o mampostería reforzada puede utilizarse sistemas equivalentes a base de pistolas y pólvoras en los que se utilizan clavos de 1" hasta 3" de longitud. También se puede utilizar sistemas a base de epóxicos de pega en los cuales se perfora la lámina y el apoyo de concreto con broca de tungsteno o diamante, se limpia el orificio con soplador o cepillo de cerda metálica, se inyecta la mitad del hueco con el mortero epóxico y se coloca la varilla, perno o anclaje dejándolo curar durante unas pocas horas para garantizar un buen agarre. Para varillas de 1/2" diámetro e inferiores, el hueco debe tener 1/16" adicional al diámetro de la varilla y para varillas de diámetro superior a 1/2" el diámetro del hueco será 1/8" superior al de la varilla. La profundidad de la perforación será de 4 a 12 veces el diámetro de la misma con un valor recomendado de 9 veces el diámetro. Finalmente existe gran variedad de anclajes metálicos mediante los cuales, luego de la perforación, se instala el anclaje y luego se coloca varillas roscadas o tornillos roscados que sirven de anclaje final.

3.5.3 Manejo y colocación del concreto

Antes del vaciado del concreto, se debe estar seguro de que toda la plataforma está completa, adecuadamente sujeta de acuerdo con los planos aprobados para el montaje y que existe el soporte necesario en todos los bordes. Las áreas dañadas deben ser reparadas o aceptarse oficialmente. Todos los residuos de soldadura deben desprenderse y retirarse de los pernos. Debe retirarse todos los residuos y desperdicios. Todo el refuerzo, los alambres y las barras deben estar asegurados adecuadamente en su sitio. El encargado del concreto debe revisar cuidadosamente los requerimientos de apuntalamiento y verificar que todos los soportes estén ajustados adecuadamente en su sitio.

El concreto debe vaciarse desde un nivel bajo para evitar el impacto sobre las láminas. Debe colocarse de manera uniforme sobre la estructura de soporte y debe espaciarse hacia el centro de la luz. El concreto debe colocarse en una dirección tal que el peso se aplique primero sobre la lámina superior en el traslapo de borde, disminuyendo así las posibilidades de una separación de los bordes de las láminas adyacentes durante el vaciado. No debe permitirse la agrupación de trabajadores alrededor de la zona de colocación del concreto.

Si se utiliza carretilla para la colocación del concreto deben utilizarse entablados sobre los cuales se concentrará todo el tráfico. No debe permitirse por ningún motivo el tránsito de carretilla o elementos pesados sobre la lámina misma de acero sin la colocación previa de entablados adecuados. El entablado debe tener la rigidez suficiente para distribuir las fuerzas concentradas a la lámina del tablero sin causar daños o deflexiones excesivas. Debe evitarse los daños en el tablero producidos por el manejo de las barras de refuerzos o por una colocación poco cuidadosa.

El vaciado de concreto en luces simples requiere consideraciones especiales debido al espacio limitado con que se cuenta. Por ejemplo, entre núcleos de ascensores se presenta comúnmente la situación de luz simple y es presumible que se tenga en estos sitios una colocación de concreto menos controlada. La selección del calibre de la lámina para estos sitios se basa comúnmente en una carga debida al peso propio de concreto aumentada hasta en un 50%. Alternativamente, puede especificarse un apuntalamiento adicional. Aunque

los anclajes y conexiones de las láminas son importantes en todas las condiciones de luces, éstas resultan de vital importancia en luces simples. En estos casos debe revisarse cuidadosamente los anclajes y las conexiones.

A medida que se coloca el concreto, tanto la lámina como la totalidad del marco de soporte se deflectan. Las cantidades de concreto y las cargas serán calculadas teniendo en cuenta estas deflexiones. Cuando el conjunto de láminas se ha diseñado para que actúe como un diafragma a cortante durante la construcción, esto debe indicarse claramente en los planos. Se debe alertar a los constructores sobre la función de arriostramiento que cumple estos paneles y que su remoción está prohibida a menos que se diseñe y proporcione un sistema de arriostramiento complementario. Los anclajes que se utilicen alrededor de aberturas reforzadas deben ser los mismos, y con los mismos espaciamientos aproximados que el espaciamiento utilizado para sujetar las láminas al marco de apoyo.

Si las láminas deben funcionar como diafragma durante la construcción, debe tenerse en cuenta que el diafragma no es efectivo hasta que las unidades de las láminas están totalmente conectadas. De esta manera, si por alguna razón se interrumpe la instalación de las láminas en la plataforma, debe proporcionarse un arriostramiento temporal.

3.6 Peso propio del sistema

El peso propio del sistema de losas con lámina colaborante depende del espesor, h , de la losa y del calibre de la lámina colaborante. Para determinar los valores de la tabla 3.5 se ha considerado un peso específico del concreto de 2400 kg/m^3 y del acero de 7870 kg/m^3 .

Tabla 3.5 Peso propio en kg/m^2 de una losa compuesta con lámina colaborante de distintos calibres.

<i>Losa con lámina colaborante</i>	<i>Espesor de losa</i>		
	<i>10 cm</i>	<i>12 cm</i>	<i>14 cm</i>
Losa c/ lámina de calibre 22 (0.70 mm)	185.4	233.4	281.4
Losa c/ lámina de calibre 20 (0.90 mm)	187.4	235.4	283.4
Losa c/ lámina de calibre 18 (1.20 mm)	190.5	238.5	286.5

3.7 Diseño de una losa con sistema colaborante

Para realizar este diseño hemos escogido una sección de paño según aparece en la figura 3.8, además se ha considerado las características de las láminas colaborantes de 2" y 3" disponibles en el mercado, contamos con tablas que contienen propiedades como inercias, módulos de sección, etc. Como aún no se sabe cuál es el peso propio del sistema se asume un valor de 240 kg/m^2 .

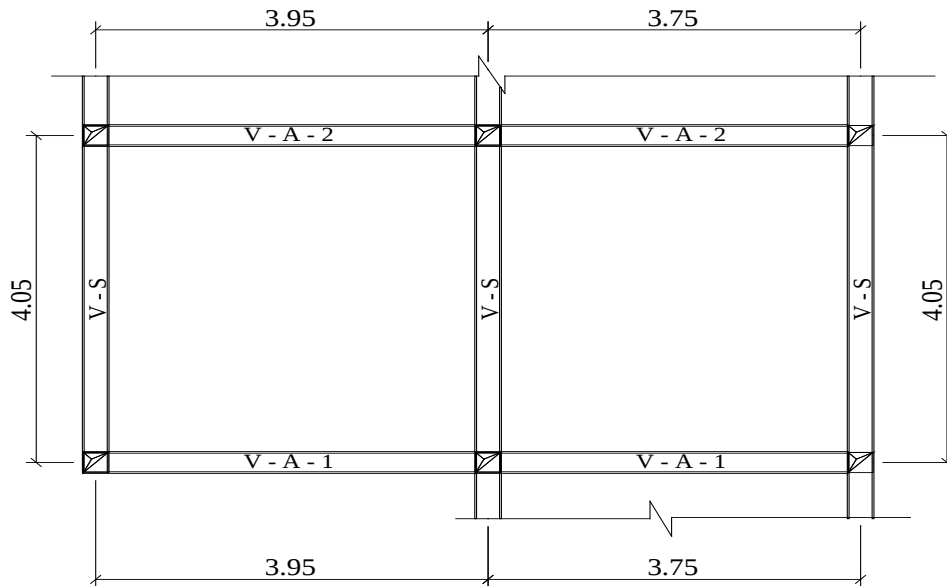


Figura 3.8: Planta del paño tipo 1 a diseñar.

Cargas consideradas

P_{PT}	(Piso terminado)	=	100	Kg/m^2
P_{TM}	(Tabiquería móvil)	=	30	Kg/m^2
S_{CV}	(Sobrecarga viva)	=	200	Kg/m^2
W_{CS}	(Total carga sobreimpuesta)	=	330	Kg/m^2

Propiedades de materiales

f_y	(Resistencia del acero)	=	2325	kg/cm^2
E	(Modulo elasticidad del acero)	=	2077500	kg/cm^2
f'_c	(Resistencia del concreto)	=	210	kg/cm^2
δ_c	(Densidad del concreto)	=	2400	kg/cm^2

Diseño de la lámina colaborante como encofrado

Se asume $W_{PP} = P_{\text{lámina colaborante}} + P_{\text{concreto fresco}} = 240 \text{ Kg/m}^2$

Se va a diseñar teniendo en cuenta que se va a hacer uso de un apoyo en la mitad de la luz.

Deflexiones admisibles

$$\delta_{adm} = \left(\frac{L}{2}\right) \cdot \frac{100}{180} = 1.1 \text{ cm.}$$

$$\delta_{adm} = \left(\frac{0.0069 \cdot W_{PP} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^4}{E \cdot I} \right) \Rightarrow I_s = \left(\frac{0.0069 \cdot 240 \cdot \left(\frac{3.70}{2}\right)^4}{2077500 \times 1.03} \right) * 10^6 =$$

$I_s = \text{Inercia de la sección} = 11.1 \text{ cm}^4$

Esfuerzos admisibles - Sobrecarga distribuida de 100 kg/m^2

Carga = $W_{PP} (P_{\text{LÁMINA}} + P_{\text{CONCRETO}}) + 100 \text{ Kg/m}^2 = 340 \text{ kg/m}^2$

$\sigma_{ADM} = \text{Esfuerzo admisible} = 0.6 f_Y = 1395 \leq 2530$

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \text{ donde } S = \text{Módulo de sección} = \frac{I}{C}$$

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

$$\begin{aligned} S+ \quad (\text{Mod sección momento } +) &= 0.020WL^2/\sigma_{ADM} = 7.61 \text{ cm}^3 \\ S- \quad (\text{Mod sección momento } -) &= 0.025 WL^2/\sigma_{ADM} = 9.51 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Esfuerzos admisibles - Sobrecarga concentrada de 300 kg/1m

$$\begin{aligned} P \quad \text{Carga concentrada} &= 300 \text{ Kg/1m} \\ \sigma_s \quad (\text{Esfuerzo adm.}) &= 1.33 (0.6fy) = 1855.4 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S+ \quad (\text{Mod sec mom } +) &= [(0.020 W L^2) + (0.10 PL)]/\sigma_{adm} = 10.42 \text{ cm}^3 \\ S- \quad (\text{Mod sec mom } -) &= [(0.025 W L^2) + (0.05 PL)]/\sigma_{adm} = 8.24 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Según los esfuerzos actuantes cuando la lámina funciona como encofrado se necesita de una lámina colaborante de 2" y calibre 22 cuyas características aparecen en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Resumen de las características solicitadas .

Concepto	Parámetro	Solicitado	Requerido	Und
Deflexión Admisible	Is	11.1	47.41	cm ⁴
EA Carga concentrada	+ Smin	10.4	15.25	cm ³
EA Carga distribuida	- Smin	9.5	17.19	cm ³

Diseño de la lámina colaborante y el concreto como unidad compuesta

Deflexiones admisibles

Al momento de sacar el apoyo que existe, las cargas del peso propio del concreto y la lámina colaborante así como las cargas sobreimpuestas actuarán sobre la sección compuesta.

$$\delta_{ADM} = L \frac{100}{360} = 1.03 \text{ cm}$$

$$\delta_{ADM} = \left(\frac{0.0054 \cdot (W_{PP} + W_{CS}) \cdot L^4}{E \cdot I} \right)$$

$$\text{Donde: } I_C \text{ (Inercia de sección compuesta)} = 190.30 \text{ cm}^4$$

Esfuerzos admisibles a tensión en el acero

Se considerará además una fuerza puntual que se origina al remover el apoyo de la parte media de la luz (W'_{PP})

$$\begin{aligned} M \quad (\text{Ecuación de momento}) &= C_{1-2-3} \cdot W \cdot L^2 \\ C_1 \quad (\text{Coeficiente, } W_{PP}) &= 0.020 \\ C_2 \quad (\text{Coeficiente, } W'_{PP}) &= 0.156 \\ C_3 \quad (\text{Coeficiente, } W_{CS}) &= 0.125 \end{aligned}$$

$$\left(\frac{M_{PP}}{S_i} + \frac{M'_{PP} + M_{CS}}{S_{ic}} \right) 100 \leq 1.33(0.6 fy) = 1855 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{IC} \text{ (módulo de la sección compuesta)} = 86.20 \text{ cm}^3$$

$$\left(\frac{M_{pp} + M'_{pp} + M_{cs}}{S_{ic}} \right) 100 \leq 0.6 f_y = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{ic} \text{ (módulo de la sección compuesta)} = 93.00 \text{ cm}^3$$

Esfuerzos admisibles a compresión en el concreto

$$\sigma_{ADM} \text{ (Esfuerzo admisible)} = 0.45 f'_c = 94.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\left(\frac{M_{pp} + M_{cs}}{N \cdot S_{cc}} \right) 100 \leq 0.45 f'_c = 94.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{cc} \text{ (Módulo elástico de la sección compuesta)} = 118.10 \text{ cm}^3$$

Resistencia de adherencia a cortante

$$V_{pp} \text{ (Fuerza cortante originada apuntalamiento)} = (5/16) W_{pp} L^2 = 296.30 \text{ Kg/m}$$

$$V_{cs} \text{ (Fuerza cortante originada por } W_{cs}) = (1/2) W_{cs} L^2 = 651.73 \text{ Kg/m}$$

$$V \text{ (Esfuerzo cortante)} = V_{pp} + V_{cs} < V_R = 948.0 \text{ Kg/m}$$

Tabla 3.7: Resumen de las características de la losa compuesta para determinar el espesor total de la losa

Concepto	Parámetro	Solicitado	Requerido	Und
Deflexión Admisible	Ic	190.3	763.7	cm ⁴
EA Tensión en el acero	Sic	93.0	99.1	cm ³
EA Compresión C°	Scc	118.1	177.9	cm ³
Resit. Adh al corte	Vr	948.0	1336.9	Kg/m

Debido a que las propiedades de la sección compuesta no están dentro del rango para secciones compuestas con láminas de calibre 22 entonces se ha escogido una sección de $h=12 \text{ cm}$ compuesta con láminas de calibre 18; cuyas características aparecen en la columna “requerido” de la tabla 3.7.

Resistencia a flexión: método de la resistencia última

$$A_s \text{ (Área de acero)} = 15.67 \text{ cm}^2$$

$$h \text{ (Espesor nominal fuera a fuera de la losa)} = 12 \text{ cm}$$

$$d_d \text{ (Altura de lámina colaborante)} = 5.1 \text{ cm}$$

$$d \text{ (AE parte superior LC° al centroide del acero)} = 7 \text{ cm}$$

$$\rho_B = 0.85 * \beta_1 * \frac{f'_c}{f_y} \left[\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \right] \left[\frac{h - d_d}{d} \right] = 0.047$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.022 \leq \rho_B \Rightarrow \text{Losa Subreforzada}$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 f'_c b} (\text{cm}) = 2.04 \text{ cm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 217871.80 \text{ Kg.cm}$$

$$M_u \leq \phi \cdot M_n$$

$$\phi \cdot M_n = 0.9 * 2.2 = 2.0 \text{ tn.m}$$

$$M_u = 1.5 \cdot M_{pp} + 1.5 \cdot M'_{pp} + 1.8 \cdot M_{cs} = 2.0 < \phi \cdot M_n \Rightarrow \text{OK!!!}$$

Esfuerzos cortantes en el cortante

$$v_U \leq \phi \cdot v_N$$

$$Vu = 1.5(5/16) \cdot W_{pp} \cdot L + 1.8(1/2) W_{CS} \cdot L$$

$$Vu \text{ (Fuerza cortante última)} = 1519.30 \text{ Kg/m}$$

$$A_C \text{ (área de corte)} = 941.40 \text{ cm}^2$$

$$v_N = 0.53 \cdot \sqrt{f'c} = 0.53 \cdot \sqrt{210} = 7.68 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v_N \text{ (Esfuerzo cortante de adherencia última)} = 7.68 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi \text{ (Factor de reducción de resistencia al corte)} = 0.8$$

$$\phi \cdot v_N = 6.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_U = \frac{V_U}{A_C} = 1.71 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v_U \text{ (Esfuerzo cortante adherencia último actuante)} \leq \phi \cdot v_N \text{ OK!!}$$

3.8 Luces máximas alcanzables

Para encontrar los valores de las luces máximas se consideró el peso propio de cada losa determinado por la altura y calibre de la lámina así como sus propiedades. Como se observa en la tabla 3.8, las luces alcanzadas cuando se usa apuntalamiento son mayores con respecto a losas donde no se considera apuntalamiento.

La luz máxima para losas con láminas colaborantes sin apuntalamiento se ve limitada por los esfuerzos producidos cuando actúa como encofrado; debido a cargas que corresponden a cargas de construcción como sobrepesos por el manejo del concreto, al peso de la maquinaria y de las personas que trabajan en la construcción de la losa. Cuando se usa apuntalamiento, la luz de la losa se ve limitada por los esfuerzos producidos cuando actúa como sección compuesta.

Tabla 3.8: Luces máximas alcanzadas y sobrecarga impuestas (kg/m^2) que puede soportar una losa compuesta con lámina colaborante según el calibre de la lámina (sin apuntalamiento).

Losa con lámina colaborante	Luz Máxima (m)	Espesor de losa		
		10 cm	12 cm	14 cm
Losa c/ lámina de calibre 22 (0.70 mm)	2.40	838		
	2.25		1075	
	2.10			1268
Losa c/ lámina de calibre 20 (0.90 mm)	2.75	660		
	2.55		950	
	2.40			1155
Losa c/ lámina de calibre 18 (1.20 mm)	3.20	450		
	3.00		890	
	2.85			1100

Tabla 3.9: Luces máximas alcanzadas y sobrecarga impuesta (kg/m^2) que puede soportar una losa compuesta con lámina colaborante según el calibre de la lámina (con apuntalamiento).

<i>Losa con lámina colaborante</i>	<i>Luz Máxima (m)</i>	<i>Espesor de losa</i>		
		<i>10 cm</i>	<i>12 cm</i>	<i>14 cm</i>
Losa c/ lámina de calibre 22 (0.70 mm)	3.00	380		
	3.10		460	
	3.20			525
Losa c/ lámina de calibre 20 (0.90 mm)	3.30	360		
	3.50		390	
	3.60			460
Losa c/ lámina de calibre 18 (1.20 mm)	3.80	320		
	3.90		400	
	4.00			470

3.9 Referencias

- [3.1] Nilson, Arthur; Winter George. Diseño de Estructuras de Concreto, McGRAW-HILL, Colombia, Santa Fe de Bogotá, 1997, 770 pp
- [3.2] Manual Técnico de Lámina Colaborante (Metaldeck) , Universidad de los Andes, Colombia, Santa Fe de Bogotá, 73 pp.
- [3.3] Manual Técnico de CALAMINON.
- [3.4] Manual Técnico de Desarrollos Constructivos S.A.C.
- [3.5] Harsen E, Teodoro; Mayorca, Paola. Diseño de Estructuras de Concreto Armado, Perú, Lima, 2000, 640 pp.

Losas aligeradas con poliestireno en una y dos direcciones

4.1 Descripción del sistema

Los casetones de poliestireno expandido son el complemento perfecto al sistema de losas aligeradas. Este sistema posee características de aislamiento térmico y acústico, que le han sido conferidas por el poliestireno expandido. Éste se puede adaptar a la forma que el proyecto requiera, además, dadas las características propias del material, se podrá realizar los ajustes necesarios en obra, evitando grandes porcentajes de desperdicios.

El poliestireno se adecua a los diferentes tipos de losas ya sea con viguetas o semiviguetas de concreto armado o pretensado, o bien mediante la incorporación en losas nervadas vaciadas en el lugar.

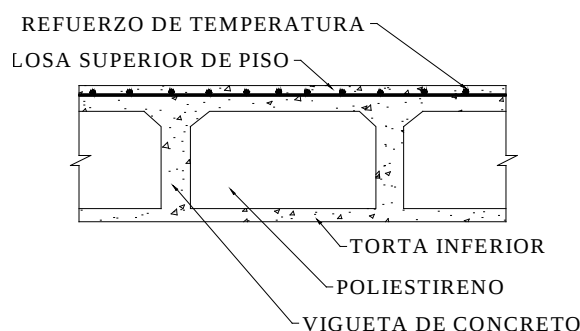


Figura 4.1: Sección típica del sistema de losa aligerada con poliestireno.

4.2 Comportamiento de la losa aligerada con poliestireno

Este tipo de losa se comporta como una losa construida de una manera tradicional, el poliestireno, como material aligerante, le confiere las características de aislante térmico y acústico, ya que permite la retención de calor en viviendas así como la disminución de ruidos en entre pisos, gran facilidad de descarga y manipuleo y reducción del peso de la losa.

Para determinar el porcentaje de reducción en el peso de la estructura procedimos a realizar una comparación del peso propio de la losa con respecto a losas que emplean materiales aligerantes como el ladrillo artesanal e industrial de arcilla y los fabricados a base de concreto.

Debido a que el cálculo no presenta mayor dificultad si se realiza según lo expuesto en el Reglamento Nacional de Construcción y por encontrarse los conceptos aplicados en este capítulo en cualquier libro de análisis de estructuras no profundizaremos en ellos. En el apartado 4.4 damos alcances de los cálculos realizados para una losa de una dirección y para losas reticulares utilizando diferentes tipos de materiales aligerantes.

4.3 Manejo del sistema

4.3.1 *Proceso constructivo*

Existen diferentes procesos constructivos donde se aplica casetones o bloques de poliestireno como material aligerante. En este apartado trataremos de explicar el procedimiento constructivo cuando el casetón de poliestireno se pierde sin que quede a la vista (véase figura 4.1).

En cuanto al encofrado, el procedimiento es como se si fuera a vaciar una losa maciza. Se procede a la colocación de los tablonés, frisos, soleras, pies derechos que conforman la “cama” del encofrado, con la finalidad de dar un acabado caravista a la losa final. Sobre ésta se colocará el *triplay* previa aplicación del desmoldante para facilitar el desencofrado.



Figura 4.2: Vista del encofrado para una losa.

En la figura 4.3 se procede al resane del encofrado con mortero y cinta para evitar la formación de “juntas” que podrían apreciarse en el acabado final de la losa.



Figura 4.3: Resane del encofrado caravista.

La losa inferior, que produce que el casetón se pierda sin que quede a la vista, debe tener una malla tipo cocada para garantizar que no se formen grietas, evitando así el uso posterior de recursos para la construcción del cielorraso de la losa. Por lo general, esta torta inferior es de 2 y 3 cm. Para garantizar la exactitud de la medida se puede hacer uso de dados separadores de concreto según se aprecia en la figura 4.4.



Figura 4.4: Colocación de malla tipo cocada y dados separadores.

La habilitación de las planchas de poliestireno se realiza al mismo tiempo que otras actividades como la habilitación y el armado del fierro, la colocación de instalaciones eléctricas y sanitarias, etc. Debido al poco peso del poliestireno existe un alto grado de manejabilidad y rendimiento, no se rompe en el transporte ni en la colocación y no hay riesgos personales en el manipuleo.



Figura 4.5: Habilidad y manipuleo de los casetones de poliestireno.

Después de terminar la habilitación de las planchas de poliestireno, concluido el encofrado y la colocación de armadura de fierro se procede al vaciado del concreto. Primero se vacía la losa inferior haciendo uso de un “gancho” para jalar la malla y lograr que ésta quede aproximadamente en la parte media de la losa como se muestra en la figura 4.6.



Figura 4.6: Vaciado de la losa inferior.

Después de vaciar el concreto de la losa inferior procedemos a colocar los casetones de poliestireno. Se puede apreciar en la figura 4.7 que puede servir como base a tránsito sin sufrir daños.



Figura 4.7: Colocación de los casetones de poliestireno.

Colocado el poliestireno se procede a vaciar y vibrar el concreto de las vigas de contorno y viguetas, después se colocará la malla de refuerzo por temperatura y, posteriormente, se vaciará el concreto de la losa superior.



Figura 4.8: Vaciado de la losa superior.

4.4 Losas aligeradas en una dirección con poliestireno

4.4.1 Peso propio del sistema

Un objetivo importante que se busca es disminuir el peso de la losa de entrepiso, para reducir las dimensiones de las vigas, columnas y cimentaciones, lo que originará una reducción en el peso total de la estructura, así como el ahorro de materiales como el concreto y el acero de construcción.

El poliestireno expandido es usado como material aligerante, siendo una de sus principales cualidades la disminución del peso propio de la losa, gracias al bajo peso específico de éste que va desde los $10\text{--}12\text{ kg/m}^3$, lo que significa que el peso del aligerante es del orden de 1 kg por metro cuadrado.

Para determinar el porcentaje de reducción en el peso se procedió a realizar una comparación entre pesos propios de losas donde se emplee materiales aligerantes como el poliestireno, los ladrillos artesanales e industriales de arcilla y los fabricados a base de concreto. Las características y pesos de los aligerantes se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Características de los aligerantes comúnmente utilizados.

<i>Tipo de aligerante</i>	<i>Altura de aligerante(cm)</i>	<i>Peso del aligerante (kg/und)</i>	<i>Dimensiones (cm)</i>
Ladrillo artesanal arcilla	12	13.0 ^[4.1]	12 x 30 x 30
Ladrillo semindustrial	12	7.0	12 x 30 x 30
Ladrillo de cemento	12	11.0	12 x 30 x 25
Poliestireno	12	0.13	12 x 30 x 30

Para determinar el valor de la carga muerta consideramos además del peso propio del aligerado, una carga por piso terminado de 100 kg/m^2 y 30 kg/m^2 de carga equivalente a la tabiquería. Las características de la sección que se consideró se aprecian en la figura 4.9.

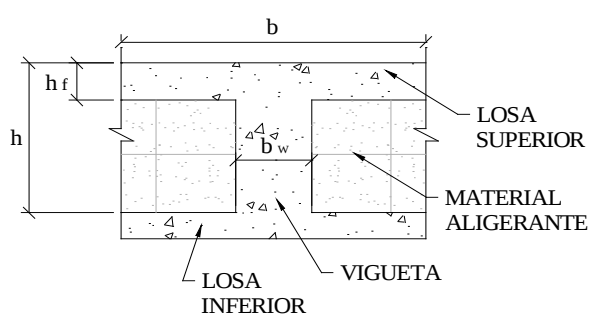


Figura 4.9: Sección de losa aligerada.

Según el RNC, el espaciamiento libre entre viguetas será de 75 cm como máximo, donde el espesor de la losa entre viguetas no será menor a la doceava parte de la distancia libre de viguetas ni menor de 5 cm. Para una losa superior de espesor de 5 cm, la distancia libre entre viguetas será de 60 cm. Por ello, para obtener los valores de la tabla 4.2 analizamos el peso propio de las losas aligeradas con poliestireno para espaciamiento entre viguetas de 40, 50, 60 y 70 cm.

Tabla 4.2: Resumen de la carga muerta para losas aligeradas con poliestireno.

Altura de losa (cm)	Altura del aligerante (cm)	b (cm)	Peso de aligerante (Kg/m ²)	Peso propio de la losa (Kg/m ²)	CM (P _P +P _{PT} +P _{TAB}) (Kg/m ²)
17.00	12.00	40.0	1.10	193.10	323.10
		50.0	1.15	178.80	308.80
		60.0	1.20	169.20	299.20
		70.0	1.20	162.40	292.40
20.00	15.00	40.0	1.40	211.40	341.40
		50.0	1.45	193.40	323.40
		60.0	1.50	181.50	311.50
		70.0	1.55	173.00	303.00
30.00	25.00	40.0	2.25	272.30	402.30
		50.0	2.40	242.40	372.40
		60.0	2.50	222.50	352.50
		70.0	2.60	208.30	338.30

Tabla 4.3: Resumen de la carga muerta para losas aligeradas con ladrillos de arcilla.

Altura de losa (cm)	Altura del ladrillo (cm)	b (cm)	Peso de aligerante (Kg/m ²)	Peso propio de la losa (Kg/m ²)	CM ($P_P + P_{PT} + P_{TAB}$) (Kg/m ²)
Losas aligeradas con ladrillo artesanal de arcilla (peso = 13.0 Kg/und)					
17.00	12.00	40.00	108.30	300.30	430.30
20.00	15.00		116.60	326.60	456.60
30.00	25.00		216.60	486.60	616.60
Losas aligeradas con ladrillo semindustrial de arcilla (peso = 7.0 – 8.5 Kg/und)					
17.00	12.00	40.00	58.30	250.30	380.30
20.00	15.00		70.80	280.80	410.80
30.00	25.00		116.60	386.60	516.60

En la tabla 4.3 mostramos los valores de la carga muerta para las losas aligeradas con ladrillo de arcilla semindustrial y artesanal considerando una distancia libre de 40 cm entre viguetas. En la tabla 4.4 se muestra la diferencia en porcentaje del peso propio de la losa y la carga muerta con respecto a las losas aligeradas con ladrillos artesanales de arcilla.

De la tabla 4.4 se deduce que el peso propio de la losa aligerada disminuye entre 35 a 57 %, dependiendo de la altura de la losa y de la distancia libre entre viguetas. La carga muerta para el diseño puede variar entre 25 a 45%. Cabe resaltar que estas comparaciones se han hecho con respecto a la losa aligerada con ladrillo artesanal.

Tabla 4.4: Diferencia en porcentaje para losas con poliestireno en una dirección.

Altura de losa (cm)	Altura del aligerante (cm)	Dif del peso de aligerante (%)	b (cm)	Dif del peso de la losa (%)	Dif de la CM ($P_P + P_{PT} + P_{TAB}$) (%)
17.00	12.00	-99.00	40.0	- 36.00	- 25.00
			50.0	- 40.00	- 28.00
			60.0	- 44.00	- 30.00
			70.0	- 46.00	- 32.00
20.00	15.00	-99.00	40.0	-35.00	-25.00
			50.0	-40.00	-29.00
			60.0	-44.00	-32.00
			70.0	-47.00	-34.00
30.00	25.00	-99.00	40.0	-44.00	-35.00
			50.0	-50.00	-40.00
			60.0	-54.00	-43.00
			70.0	-57.00	-45.00

4.4.2 Diseño estructural

Con la finalidad de indicar los pasos a seguir para el diseño de una losa en una dirección, proponemos realizar el cálculo estructural de un paño típico de losa según indica la figura 4.10. Se consideró este paño de losa como si fuera una losa en una dirección (losa aligerada con ladrillo de arcilla y bloques de poliestireno).

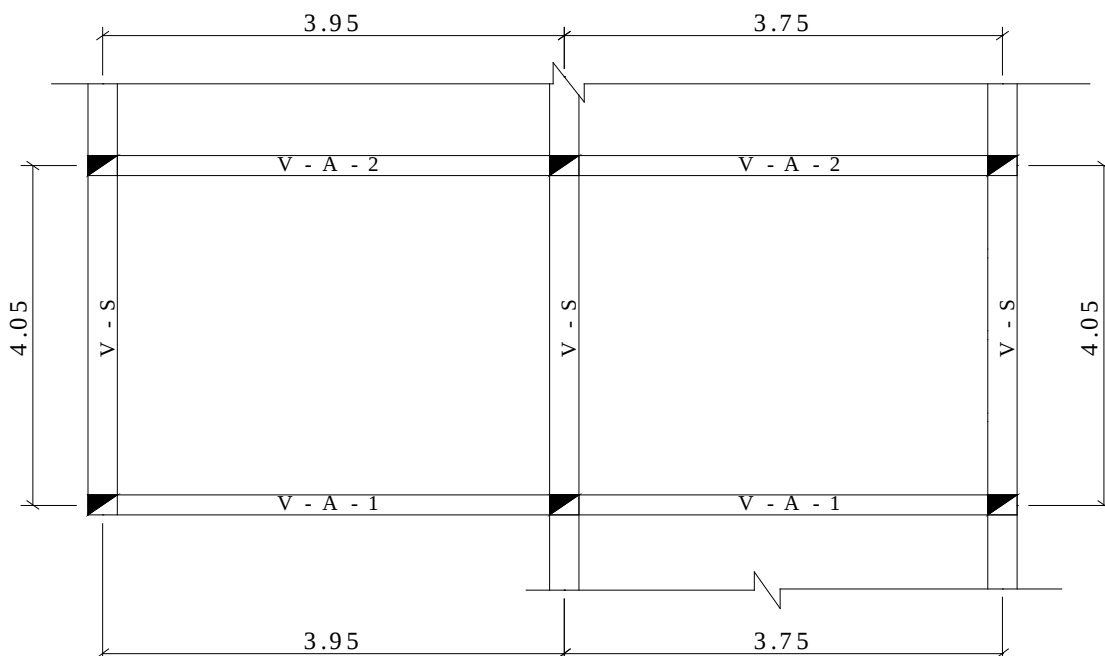


Figura 4.10: Planta del paño de la losa a diseñar.

Cargas consideradas

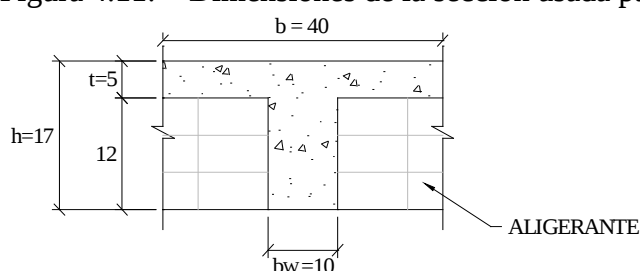
P_{PT}	(Piso terminado)	=	100	Kg/m^2
P_{TM}	(Tabiquería móvil)	=	30	Kg/m^2
S_{CV}	(Sobrecarga viva)	=	200	Kg/m^2

Propiedades de los materiales de la losa vaciada en el lugar

f_Y	(Resistencia del acero)	=	4200	kg/cm^2
E	(Modulo elasticidad del acero)	=	2077500	kg/cm^2
f'_C	(Resistencia del concreto de la losa)	=	210	kg/cm^2
δ_C	(Densidad del concreto)	=	2400	kg/m^3
δ_P	(Densidad del poliestireno)	=	12	kg

Para el diseño de la losa se ha considerado una sección como aparece en la figura 4.11, cuyas medidas aparecen en centímetros.

Figura 4.11: Dimensiones de la sección usada para el diseño de la losa aligerada.

**Peralte mínimo para no verificar deflexiones** ^[4.2, 4.3, 4.4]

Según el RNC, $h > L/25$ para losas aligeradas continuas conformada por viguetas de 10 cm de ancho, ladrillos de 30 cm de ancho y losa superior de 5 cm, con sobrecargas menores a 300 kg/cm^2 y luces menores de 7.3 m.

$$h_1 = L_1 / 25 = 0.15 \text{ m}$$

$$h_1 = L_1 / 25 = 0.14 \text{ m}$$

El peralte a usar es: $h = 0.17 \text{ m}$.

Peso por m^2 de aligerado

$$\begin{aligned}
 P_P \text{ (Peso del poliestireno)} &= \frac{(b - b_w)(h - t) \cdot \delta_P}{b} = 1.08 \text{ Kg.} \\
 P_{LS} \text{ (Peso losa superior)} &= t \cdot \delta_C = 120.00 \text{ Kg.} \\
 P_V \text{ (Peso de viga)} &= \frac{(h - t) \cdot b_w \cdot \delta_C}{b} = 72.00 \text{ Kg.} \\
 P_{PALG} \text{ (Peso del aligerado)} &= 193.08 \text{ Kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Resistencia requerida

$$\begin{aligned}
 P_{ALIGERADO} &= P_{PALG} \cdot b = 77.23 \text{ Kg/ml} \\
 P_{PISO ACABADO} &= P_{PT} \cdot b = 40.00 \text{ Kg/ml} \\
 P_{TABIQUERIA} &= P_{TM} \cdot b = 12.00 \text{ Kg/ml}
 \end{aligned}$$

CM (Carga muerta) = 129.23 Kg/ml

CV (Carga viva) = $S_{CV} \cdot b = 80.00$ Kg/ml

La resistencia requerida (W_U) deberá ser como mínimo:

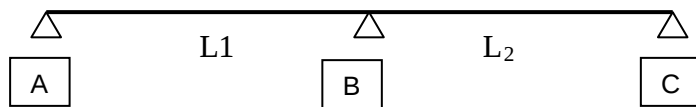
$$W_U = 1.5CM + 1.8CV = 0.34 \text{ Tn/ml}$$

Análisis según el método de coeficientes para losas en una dirección

Según el RNC, para el diseño de losas armadas en una dirección (no preesforzada), se podrán utilizar para el análisis de cargas por gravedad los momentos y las fuerzas cortantes que se obtienen de la aplicación del método simplificado de coeficientes, siempre que se cumpla lo siguiente:

1. Existen dos o más tramos.
2. Los tramos son aproximadamente iguales sin que la mayor de las luces adyacentes exceda en mas del 20% a la menor.
3. Cargas distribuidas uniformemente.
4. La carga viva no excede en tres veces la carga muerta.
5. Los elementos son prismáticos.

Como se cumple lo antes expuesto se procede al análisis y a determinar los valores de los momentos positivos y negativos.



$$LP = \frac{(L_1 + L_2)}{2}$$

$$M_{UAB} = \frac{W_U \cdot L_1^2}{14} = 0.33 \text{ Tn.m}$$

$$M_{UBC} = \frac{W_U \cdot L_2^2}{14} = 0.30 \text{ Tn.m}$$

$$M_{UA} = \frac{W_U \cdot L_1^2}{24} = 0.19 \text{ Tn.m}$$

$$M_{UB} = \frac{W_U \cdot L_P^2}{9} = 0.49 \text{ Tn.m}$$

$$M_{UC} = \frac{W_U \cdot L_2^2}{24} = 0.17 \text{ Tn.m}$$

Cuantías de acero

Cuantía balanceada: $\rho_b = \frac{0.85\beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \times \frac{60000}{(6000 + f_y)} = 0.0213$

Cuantía máxima: $\rho_{MAX} = 0.75\rho_b = 0.0159$

Cálculo de acero requerido

La sección sometida a flexión puede trabajar de tres formas, la primera es bajo un momento negativo, la compresión se presenta en la zona inferior y su distribución será rectangular. La segunda se presenta si el momento flector es positivo y $a \leq h_f$. Ésta corresponde también a una distribución rectangular de la compresión. En ambas situaciones, el análisis se efectuará con las siguientes fórmulas:

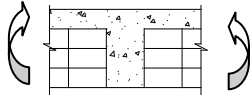
$$\frac{M_U}{b \cdot d^2} = 0.9 f'_c \cdot W \cdot (1 - 0.59 \cdot W) \quad (4.1)$$

$$W = \rho \cdot \frac{f_y}{f'_c} \quad (4.2)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (4.3)$$

Para el primer caso se analizará una sección rectangular de ancho b_w y para el segundo, una de ancho b . El tercer tipo de comportamiento se da si la sección está sujeta a un momento positivo y $a \geq h_f$

Mínimas y máximas áreas de acero positivo



$$\begin{aligned} b &= 40 \text{ cm.} \\ d &= 14 \text{ cm.} \\ A_{s_{MAX}} &= 0.75 \cdot \rho_b \cdot b \cdot d = 8.93 \text{ cm}^2 \\ A_{s_{MIN}} &= \frac{0.75 \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y} b \cdot d = 1.35 \text{ cm}^2 \\ A_{s_{TEMP}} &= 0.0018 \cdot b_w \cdot d = 0.31 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tramo AB

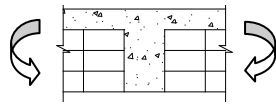
$$\begin{aligned} \frac{M_U}{b \cdot d^2} &= 4.21 \\ \text{De (4.1): } W &= 0.023 \\ \text{De (4.2): } \rho &= W \cdot \frac{f'_c}{f_y} = 0.0011 \\ A_s \text{ (Área de acero)} &= \rho \cdot b \cdot d = 0.63 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Como el área encontrada es menor a la mínima permitida se considerará un área un tercio mayor a la requerida por el análisis $A_s = \frac{4}{3} A_s = 0.84 \text{ cm}^2$

Se eligen área de diámetros comerciales, entonces el fierro a utilizar es:
 $1\phi 3/8" + 1\phi 6mm = 0.93 \text{ cm}^2$

Determinando la zona de compresión:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} = 0.55 \text{ cm} \quad \rightarrow \text{La zona de compresión está dentro del ala.}$$

Mínimas y máximas áreas de acero negativo

$$\begin{aligned}
 b_w &= 10 \text{ cm.} \\
 d &= 14 \text{ cm.} \\
 A_{S\text{MAX}} &= 0.75 \cdot \rho_b \cdot b_w \cdot d = 2.23 \text{ cm}^2 \\
 A_{S\text{MIN}} &= \frac{0.75 \cdot \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d = 0.34 \text{ cm}^2 \\
 A_{S\text{TEMP}} &= 0.0018 \cdot b_w \cdot d = 0.31 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Apoyo A

$$\begin{aligned}
 \frac{M_U}{b_w \cdot d^2} &= 9.83 \\
 \text{De (4.1): } W &= 0.054 \\
 \text{De (4.2): } \rho &= W \cdot \frac{f'_c}{f_y} = 0.0027 \\
 A_s \text{ (Área de acero)} &= \rho \cdot b_w \cdot d = 0.38 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Apoyo B

$$\begin{aligned}
 \frac{M_U}{b_w \cdot d^2} &= 24.82 \\
 \text{De (4.1): } W &= 0.143 \\
 \text{De (4.2): } \rho &= W \cdot \frac{f'_c}{f_y} = 0.0027 \\
 A_s \text{ (Área de acero)} &= \rho \cdot b_w \cdot d = 1.00 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Apoyo C

$$\begin{aligned}
 \frac{M_U}{b_w \cdot d^2} &= 8.80 \\
 \text{De (4.1): } W &= 0.048 \\
 \text{De (4.2): } \rho &= W \cdot \frac{f'_c}{f_y} = 0.0024 \\
 A_s \text{ (Área de acero)} &= \rho \cdot b_w \cdot d = 0.34 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Refuerzo transversal

$$\begin{aligned}
 A_T \text{ (Refuerzo por temperatura)} &= 0.0018 \cdot 100 \cdot t = 0.90 \text{ cm}^2 \\
 A_{ST} \text{ (Refuerzo por temperatura)} &= 1\phi 1/4'' = 0.32 \text{ cm}^2 \\
 S \text{ (Separación de refuerzo)} &= \frac{A_{ST}}{A_T} = 36.0 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Resistencia al corte

El diseño de las secciones transversales de los elementos sujetos a una fuerza cortante deberá basarse en: $V_U \leq \phi.V_N$

V_U (Resistencia requerida por corte en la sección analizada).

V_N (Resistencia nominal al corte de la sección).

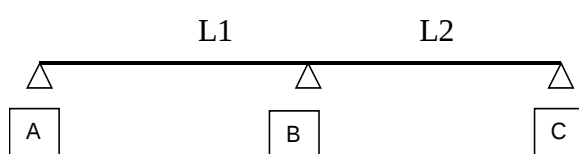
$$V_N = V_C + V_S$$

$$V_C \text{ (Resistencia al corte del concreto)} = 0.53\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 1.08 \text{ Tn/vigueta}$$

$$\phi \text{ (Factor de reducción para cortante)} = 0.85$$

$$b_w = 10.00 \text{ cm}; d = 14.00 \text{ cm}$$

$$V_U = \phi.V_N = 0.91 \text{ Tn/vigueta}$$



$$V_A = \frac{W_U \cdot L_1}{2} = 0.63 \text{ Tn}$$

$$V_B^- = 1.15 \frac{W_U \cdot L_1}{2} = 0.72 \text{ Tn}$$

$$V_B^+ = \frac{W_U \cdot L_2}{2} = 0.59 \text{ Tn}$$

$$V_C = \frac{W_U \cdot L_2}{2} = 0.59 \text{ Tn}$$

Cortante a una distancia "d" de los apoyos

$$V_{Ad} = V_A - W_U \cdot d = 0.58 \text{ Tn}$$

$$V_{Bd}^- = V_A - W_U \cdot (L_1 - d) = 0.58 \text{ Tn}$$

$$V_{Bd}^+ = V_C - W_U \cdot (L_2 - d) = -0.54 \text{ Tn}$$

$$V_{Cd} = V_C - W_U \cdot d = 0.54 \text{ Tn}$$

Los valores de los cortantes hallados están dentro de lo permitido.

El cálculo antes realizado se aplicará a los distintos tipos de losas en una dirección a diseñar, ya que el objetivo final es obtener porcentajes de participación de los recursos que intervienen en la construcción de cada clase de losa aligerada. En la figura 4.12 se muestra la distribución de acero de refuerzo para una losa aligerada con poliestireno en una dirección, con una distancia libre entre viguetas de 40 cm y una altura de losa de 17 cm.

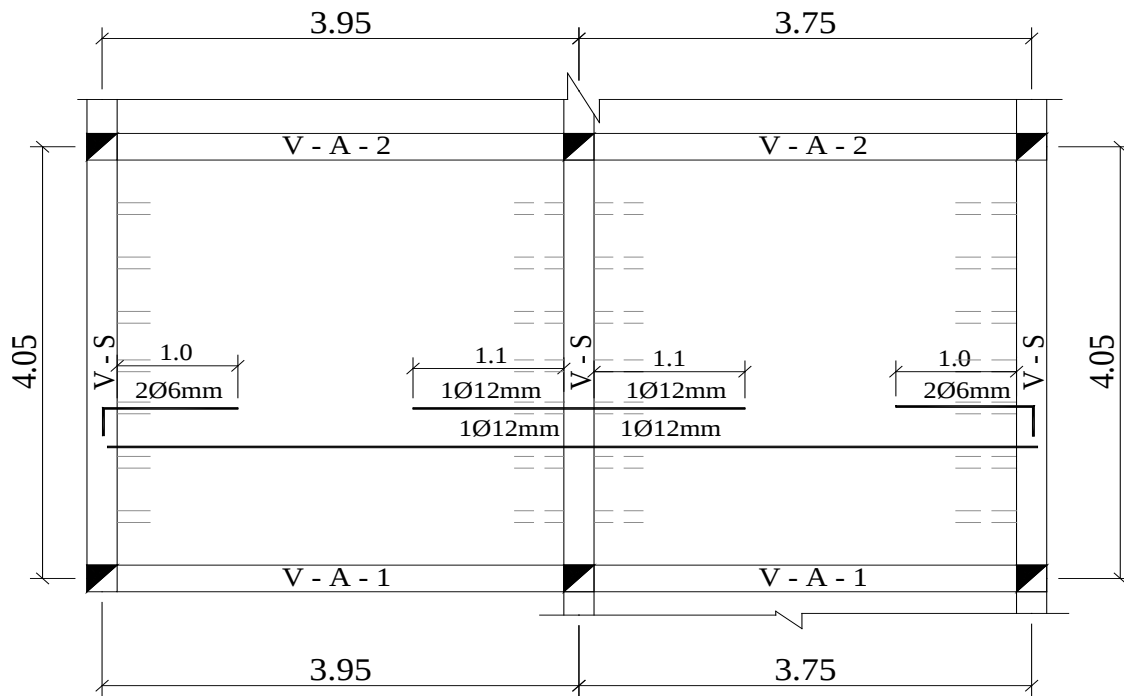


Figura 4.12: Distribución del refuerzo si se hubiera diseñado.

4.4.3 Luces máximas alcanzables

La luz máxima entre ejes se ha determinado asumiendo una viga continua de dos tramos iguales; para determinar los momentos positivos se ha considerado como una viga simplemente apoyada (situación extrema del máximo momento positivo) y como una viga empotrada en sus extremos, para determinar el momento máximo negativo.

Para el cálculo realizado hemos considerado, además del peso propio, cargas de 100 kg/m^2 y 30 kg/m^2 que equivalen al piso terminado y a la tabiquería móvil, respectivamente, así como 200 kg/m^2 por carga viva.

Los valores de las luces máximas encontradas para alturas de losas de 17, 20 y 30 cm se reflejan en las tablas 4.5, 4.6 y 4.7, respectivamente. La luz máxima calculada depende del área de refuerzo a utilizar.

Tabla 4.5: Luces máximas entre los ejes de los apoyos para losas de 17 cm de altura.

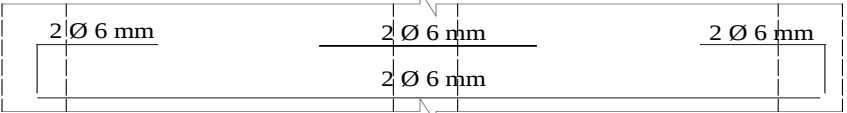
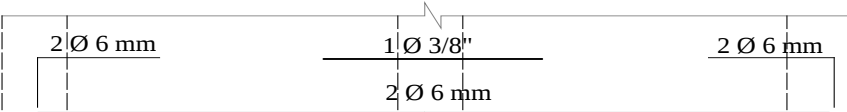
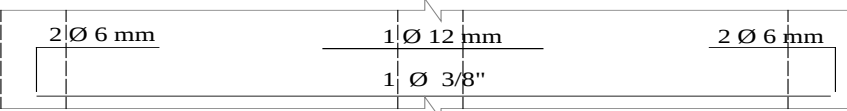
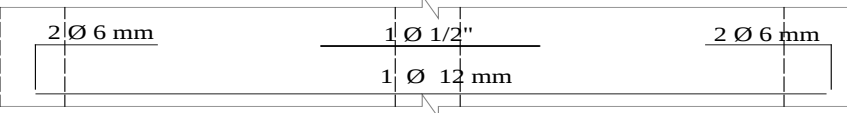
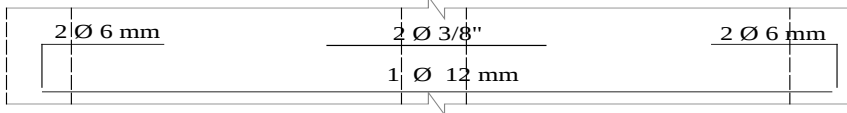
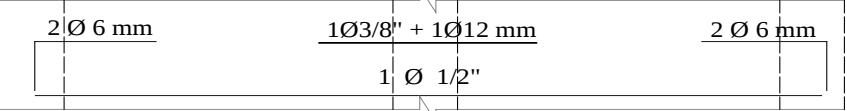
<i>Distribución del acero de refuerzo</i>	<i>L. aliger. c/ semindustrial b = 40 cm</i>	<i>L. aliger. c/ poliestireno b = 40 cm</i>	<i>L. alig. c/ poliestireno b = 50 cm</i>	<i>L. alig. c/ poliestireno b = 60 cm</i>	<i>L. aliger c/ poliestireno b = 70 cm</i>
	2.50	2.70	2.50	2.30	2.15
	2.80	3.00	2.75	2.50	2.35
	3.10	3.40	3.10	2.90	2.65
	3.70	4.00	3.65	3.30	3.10
	3.90	4.20	3.80	3.50	3.25
	4.20	4.55	4.10	3.80	3.50

Tabla 4.6: Luces máximas entre ejes de los apoyos para losas de 20 cm de altura.

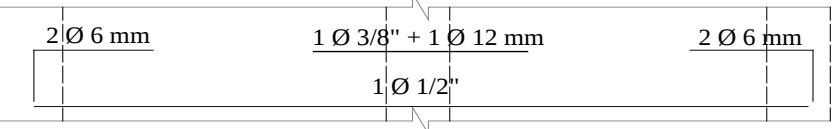
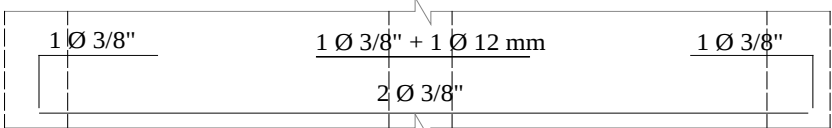
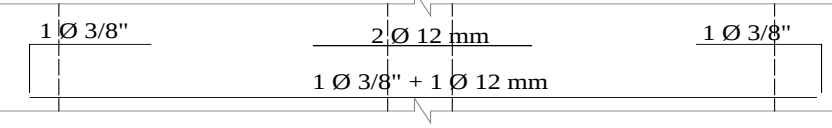
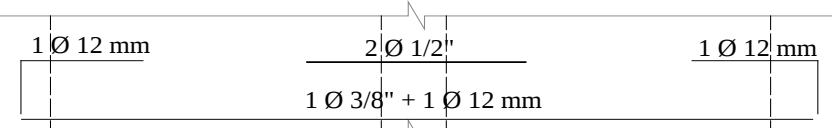
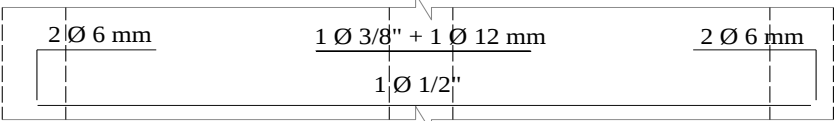
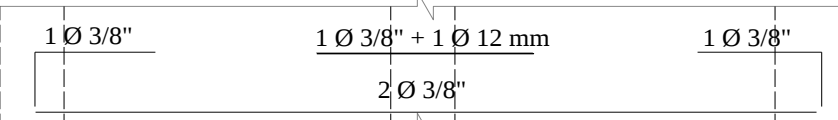
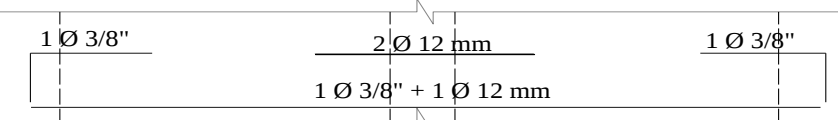
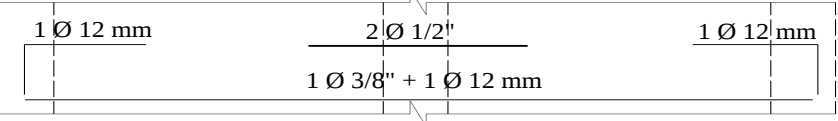
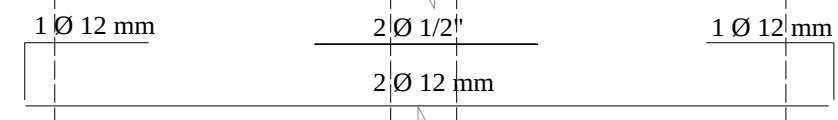
<i>Distribución del acero de refuerzo</i>	<i>L. c/ladrillo semindustrial b = 40 cm</i>	<i>L. alig. c/ poliestireno b = 40 cm</i>	<i>L. alig c/ poliestireno b = 50 cm</i>	<i>L. alig c/ poliestireno b = 60 cm</i>	<i>L. alig c/ poliestireno b = 70 cm</i>
	4.50	4.90	4.50	4.15	3.90
	4.70	5.20	4.70	4.30	4.00
	5.10	5.60	5.10	4.60	-
	5.40	5.90	5.30	-	-

Tabla 4.7: Luces máximas entre ejes de los apoyos para losas de 30 cm de altura.

<i>Distribución del acero de refuerzo</i>	<i>L. c/ladrillo semindustrial b = 40 cm</i>	<i>L. alig. c/ poliestireno b = 40 cm</i>	<i>L. alig. c/ poliestireno b = 50 cm</i>	<i>L. alig. c/ poliestireno b = 60 cm</i>	<i>L. alig. c/ poliestireno b = 70 cm</i>
	5.10	5.90	5.40	5.10	4.75
	5.40	6.20	5.70	5.40	5.00
	6.00	6.80	6.20	5.90	5.30
	6.15	7.10	6.50	6.10	5.70
	6.40	7.40	6.80	6.35	5.90

4.5 Losas aligeradas en dos direcciones con poliestireno

4.5.1 Peso propio del sistema

La tabla 4.8 muestra los valores del peso propio de las losas en dos direcciones, aligeradas con poliestireno, considerando una losa o “torta” inferior que evita la posterior colocación de cielloraso, también se ha calculado los pesos sin considerar a esta losa inferior. El peso de la losa maciza para distintas alturas se muestra en la tabla 4.9.

Tabla 4.8: Resumen de la carga muerta para losas aligeradas con poliestireno en dos direcciones.

<i>Altura de losa (cm)</i>	<i>Altura del aligerante (cm)</i>	<i>b (cm)</i>	<i>Peso de aligerante (Kg/m²)</i>	<i>Peso propio del aligerado (Kg/m²)</i>	<i>CM (P_P+P_{PT}+P_{TAB}) (Kg/m²)</i>
Losa en dos direcciones aligerada con poliestireno (sin losa inferior)					
17.00	12.00	40.0	0.80	246.80	376.80
		70.0	1.10	197.50	327.50
20.00	15.00	40.0	1.00	278.50	408.50
		70.0	1.30	216.80	346.80
30.00	25.00	40.0	1.70	384.20	514.20
		70.0	2.20	281.40	411.40
Losa en dos direcciones aligerada con poliestireno (con losa inferior)					
17.00	12.00	40.0	0.80	318.80	448.80
		70.0	1.10	269.50	399.50
20.00	15.00	40.0	1.00	350.50	480.50
		70.0	1.30	288.80	418.80
30.00	25.00	40.0	1.70	456.20	586.20
		70.0	2.20	353.40	483.40

Tabla 4.9: Resumen de la carga muerta para losas macizas en dos direcciones.

Altura de losa (cm)	Peso propio de la losa (Kg/m ²)	CM (P _P +P _{PT} +P _{TAB}) (Kg/m ²)
Losa maciza en dos direcciones		
10.00	240.00	370.00
12.00	288.00	418.00
14.00	336.00	466.00

La tabla 4.10 muestra los valores de la carga muerta para las losas en dos direcciones cuando el aligerante son unidades de ladrillos artesanales. La tabla 4.11 presenta las diferencias en porcentaje del peso propio y la carga muerta de una losa aligerada con casetones de poliestireno, con respecto a las losas aligeradas con ladrillos semindustriales de arcilla.

Tabla 4.10: Resumen de la carga muerta para losas aligeradas con ladrillos artesanales de arcilla en dos direcciones.

Altura de losa (cm)	Altura del aligerante (cm)	b (cm)	Peso de aligerante (Kg/m ²)	Peso propio de la losa (Kg/m ²)	CM ($P_P + P_{PT} + P_{TAB}$) (Kg/m ²)
Losa en dos direcciones aligerada con ladrillo semindustrial (7.0-8.5 kg/und)					
17.00	12.00	40.0	43.80	289.80	419.30
		70.0	57.10	253.60	383.60
20.00	15.00	40.0	53.10	330.60	460.60
		70.0	69.40	284.90	414.90
30.00	25.00	40.0	106.3	488.80	618.80
		70.0	138.8	418.00	548.00

Tabla 4.11: Diferencias en porcentaje del peso propio para losas en dos direcciones con respecto a la losa aligerada con ladrillos de arcilla en 2 direcciones.

Altura de losa (cm)	Altura del aligerante (cm)	Dif del peso de aligerante (%)	b (cm)	Dif del peso de la losa (%)	Dif de la CM (P _P +P _{PT} +P _{TAB}) (%)
Losa en dos direcciones aligerada con poliestireno (sin losa inferior)					
17.00	12.00	-98.00	40.0	-15.00	-10.00
			70.0	-22.00	-14.00
20.00	15.00		40.0	-15.00	-11.00
			70.0	-24.00	-16.00
30.00	25.00		40.0	-24.00	-17.00
			70.0	-33.00	-25.00
Losa en dos direcciones aligerada con poliestireno (con losa inferior)					
17.00	12.00	-98.00	40.0	+10.00	+7.00
			70.0	+6.00	+4.00
20.00	15.00		40.0	+6.00	+4.00
			70.0	+1.00	+1.00
30.00	25.00		40.0	-7.00	-5.00
			70.0	-15.00	-12.00

4.5.2 Diseño estructural

El paño de losa que se muestra en la figura 4.9 se diseñó como una losa en dos direcciones: maciza y nervada. Para el diseño de la losa nervada consideramos como material aligerante el ladrillo de arcilla y el poliestireno. Para diseñar la losa aligerada con ladrillo de arcilla se utilizó en ambas direcciones la sección de $b = 40$ cm y $h = 17$ cm según se muestra la figura 4.12.

Para el diseño de las losas aligeradas con poliestireno se ha considerado anchos efectivos mayores a 60 cm debido a que el poliestireno es un material muy ligero y manejable, lo que garantiza una mayor simplicidad en la construcción. Al momento de diseñar tratamos

que las medidas de los casetones fueran iguales por paño según como se aprecia en la figura 4.13.

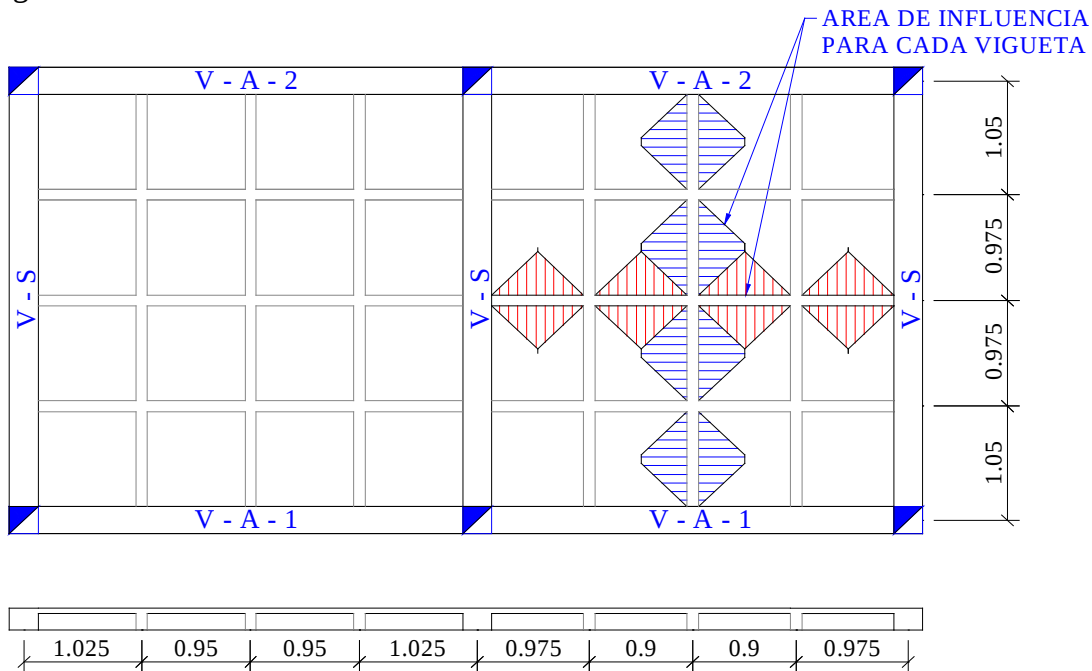


Figura 4.13: Planta de la losa aligerada con poliestireno

La sección en la dirección corta y larga considerada para el diseño de la losa con poliestireno se puede apreciar en la figura 4.14.

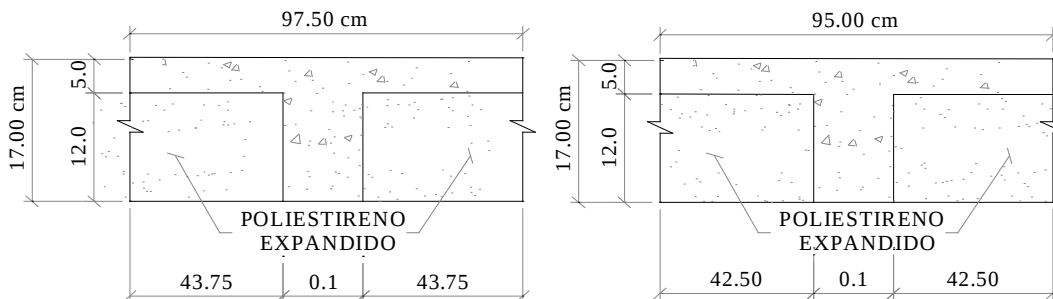


Figura 4.14: Secciones del aligerado para la dirección corta y larga sin considerar una losa inferior de 3.0 cm.

Características del paño de losa en dos direcciones

La	(Longitud corta)	=	3.70 m.
Lb	(Longitud larga)	=	3.80 m.
m	(La/Lb)	=	0.97

Peralte mínimo para no verificar deflexiones ^[4.2, 4.3, 4.4]

Según el RNC, el peralte mínimo de las losas armadas en dos direcciones, para el caso de losas rectangulares apoyadas sobre vigas cuya relación lado-largo/lado-corto sea menor que 2, el cálculo de las deflexiones se realiza con tres ecuaciones.

La ecuación básica define una altura mínima genérica para la losa:

$$h_{\min} = \frac{Ln(800 + 0.0712 f_y)}{36000 + 5000\beta \left[\alpha_m - 0.5(1 - \beta_s) \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]} =$$

$$\alpha = \frac{E_{CV} \cdot I_V}{E_{CL} \cdot I_L}$$

Los resultados de la ecuación anterior no deben ser menores que la siguiente expresión:

$$h_{\min} \geq \frac{Ln(800 + 0.0712 f_y)}{36000 + 5000\beta[(1 + \beta_s)]} = 0.10 \text{ m}$$

Así mismo, el valor obtenido con la ecuación básica no necesita ser mayor que la siguiente expresión:

$$h_{\min} \leq \frac{Ln(800 + 0.0712 f_y)}{36000} = 0.12 \text{ m}$$

Además de las expresiones anteriores, el Reglamento Nacional de la Construcción establece que la altura de las losas no debe ser menor que los siguientes valores:

Losas que tengan vigas en 4 bordes, con un valor de $\alpha_m \geq 2.0$: $h \geq 9.0 \text{ cm}$

Donde:

L_n : Luz libre en la dirección larga del panel, medido de cara a cara de las vigas en losas sustentadas sobre vigas = 3.80m.

F_y : Esfuerzo de fluencia del acero = 4200 Kg/cm².

β : Relación de forma del panel = panel largo libre / panel corto libre = 1.03.

β_s : Relación entre la longitud de los bordes continuos del panel y el perímetro del panel (1 para un panel interior, 1/2 para un panel esquinero) = 0.74.

E_{CV} : Módulo de elasticidad del concreto de las vigas.

E_{CL} : Módulo de elasticidad del concreto de la losa.

I_V : Momento de inercia de la sección bruta de la viga respecto a su eje centroidal.

I_L : Momento de inercia de la sección bruta de la losa respecto a su eje centroidal.

Peso por m² de aligerado

P_P (Peso del poliestireno)	=	1.20 Kg.
P_{LS} (Peso losa superior)	=	120.00 Kg.
P_{LI} (Peso losa inferior)	=	72.00 Kg.
P_V (Peso de vigueta)	=	56.70 Kg.
P_{PALG} (Peso del aligerado)	=	249.90 Kg/m ²

Resistencia requerida

CM (Carga muerta)	=	379.90 Kg/m ²
CV (Carga viva)	=	200.00 Kg/m ²

La resistencia requerida (W_U) deberá ser: $W_U = 1.5CM + 1.8CV = 929.90 \text{ Tn/ml}$

Momentos negativos en bordes continuos (CM + CV)

Ca,neg (coeficiente) = 0.033	Ma,neg	=	420.1	kg-m
Cb,neg (coeficiente) = 0.061	Mb,neg	=	819.1	kg-m

Momentos positivos

Ca,pos, cm (coeficiente) = 0.02	Ma,pos, cm	=	156.0	kg-m
Ca,pos, cv (coeficiente) = 0.028	Ma,pos, cv	=	138.0	kg-m
	Ma,pos, total	=	294.0	kg-m
Cb,pos, cm (coeficiente) = 0.023	Mb,pos, cm	=	189.3	kg-m
Cb,pos, cv (coeficiente) = 0.030	Mb,pos, cv	=	156.0	kg-m
	Mb,pos, total	=	345.2	kg-m

Momentos negativos en el borde discontinuo (1/3 momentos +)

Ma,neg = 98.0 kg-m

Para los momentos calculados se debe diseñar el área de refuerzo necesario para satisfacer los requerimientos del diseño, obteniendo la distribución de refuerzo que se observa en la figura 4.15. El procedimiento antes descrito se usó para encontrar las luces libres máximas entre ejes de apoyo.

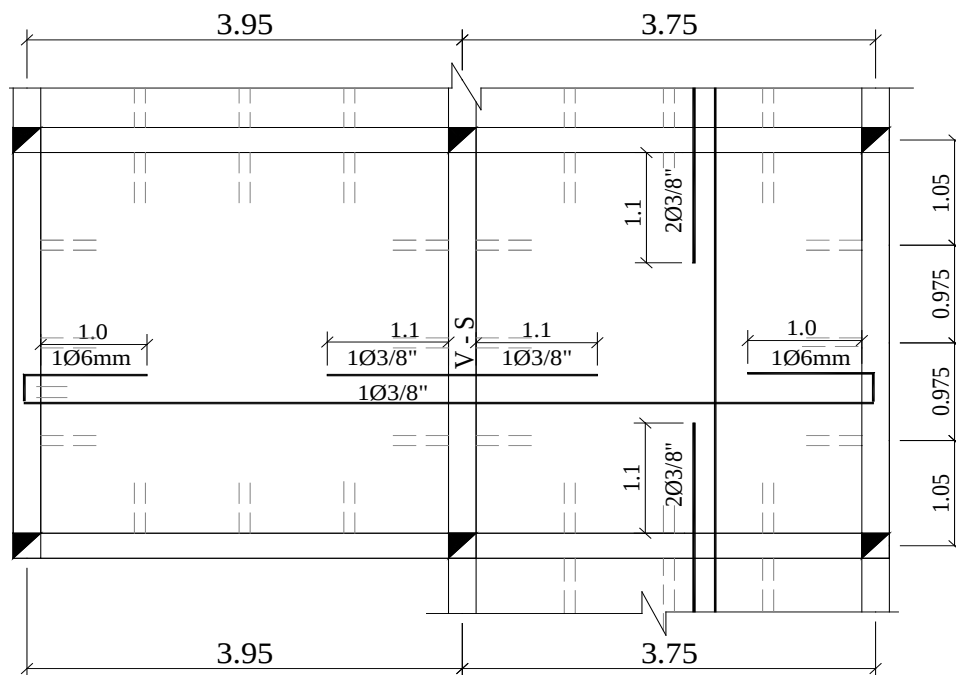


Figura 4.15: Distribución del refuerzo si se hubiera diseñado, según la sección de la figura de 4.14 utilizando poliestireno como aligerante.

4.5.3 Luces máximas alcanzables

La luz máxima entre ejes se ha determinado asumiendo dos paños continuos cuadrados, donde cada uno tiene un borde libre. Se diseñó mediante el método de los coeficientes. Para el cálculo realizado hemos considerado cargas de 100 kg/m² y 30 kg/m² que

corresponden al piso terminado y a la tabiquería móvil respectivamente, así como 200 kg/m^2 debido a la carga viva.

Pretendemos establecer las diferencias entre el sistema de entrepiso aligerado con ladrillo de arcilla en dos direcciones y el aligerado con poliestireno. Por ello, encontramos los valores de las luces máximas para alturas de losas de 17, 20 y 30 cm, que mostramos en las tablas 4.12, 4.13 y 4.14, respectivamente.

Para el sistema aligerado con poliestireno consideramos una losa inferior de concreto de 3 cm que evitará el posterior uso de recursos para la construcción de un cielorraso. La losa de 17, 20 y 30 cm se convirtió en 20, 23, y 33 cm, respectivamente, lo que origina un ligero incremento en el peso propio y el aumento en el peralte efectivo de la sección. Para el sistema de la losa aligerada con ladrillo de arcilla se consideró un peso por unidad de ladrillo de 13 kg ^[4.1] y no se consideró una losa inferior.

Tabla 4.12: Luces máximas entre los ejes de los apoyos para las losas de 17 cm de altura.

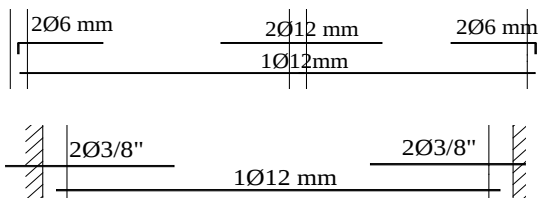
<i>Distribución del acero de refuerzo para las dos direcciones (corta y larga) con bordes continuos</i>	<i>Losa c/ ladrillo b=40cm</i>	<i>Losa c/ ladrillo b=70cm</i>	<i>Losa c/Pol c/Linf b=40cm</i>	<i>Losa c/Pol c/Linf b =70 cm</i>
	3.80	4.00	4.40	4.70

Tabla 4.13: Luces máximas entre ejes de los apoyos para las losas de 20 cm de altura.

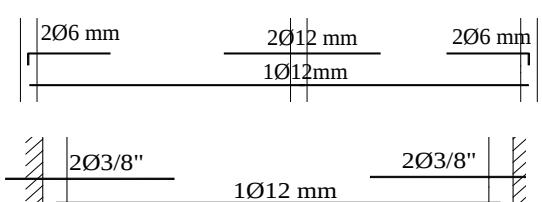
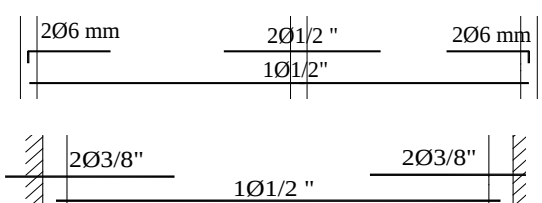
<i>Distribución del acero de refuerzo para las dos direcciones (corta y larga) con bordes continuos</i>	<i>Losa c/ Lad. art b=40 cm</i>	<i>Losa c/ Lad. art b=70cm</i>	<i>Losa c/Pol c/Linf b=40 cm</i>	<i>Losac/Pol c/Linf b =70 cm</i>
	4.20	4.40	4.80	5.00
	4.60	-	5.20	5.50

Tabla 4.14: Luces máximas entre ejes de los apoyos para las losas de 30 cm de altura.

<i>Distribución del acero de refuerzo para las dos direcciones (corta y larga) con bordes continuos</i>	<i>Losa c/ Lad. art b=40 cm</i>	<i>Losa c/ Lad. art b=70cm</i>	<i>Losa c/Pol c/Linf b=40 cm</i>	<i>Losac/Pol c/Linf b = 70 cm</i>
	5.00	5.40	5.40	6.00
	5.60	-	6.00	6.40
	6.40	-	6.80	7.20

En la tabla 4.15 se muestra los valores de luces que se obtienen cuando se considera una losa maciza en dos direcciones como alternativa de construcción. Como se observa se puede cubrir con este método, según el área de acero considerada, luces de hasta 5.0 metros, aproximadamente.

Tabla 4.15: Luces máximas entre ejes de los apoyos para losas macizas de 10, 12 y 14 cm de altura.

<i>Distribución del acero de refuerzo para las dos direcciones (corta y larga) con bordes continuos</i>	<i>Losa maciza h = 10 cm</i>	<i>Losa maciza h = 12 cm</i>	<i>Losa maciza h = 14 cm</i>
	4.40	4.90	5.30
	4.60	5.10	5.40

4.6 Referencias

- [4.1] Fontana, Alejandro; García, Javier; Rivas, Guillermo. Reporte técnico: Características físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla producidos en Piura y comentarios de los procesos de producción, Universidad de Piura, Perú, Piura, 1997, 5 pp.
- [4.2] Normas Peruanas de estructuras ACI- Capítulo peruano, 1998, Perú, Lima, 510 pp.
- [4.3] Harsen E, Teodoro; Mayorca, Paola. Diseño de estructuras de concreto armado, Perú, Lima, 2000, 640 pp.
- [4.4] Nilson, Arthur; Winter George. Diseño de estructuras de concreto, McGRAW-HILL, Colombia, Santa Fe de Bogotá, 1997, 770 pp.
- [4.5] Park R; Gamble, W.L. Losas de concreto reforzado, Limusa, México, D.F, 1979, 686 pp.

Losas compuestas con viguetas pretensadas

5.1 Descripción del sistema

Con frecuencia resulta ventajoso pretensar parte de una sección, izarla a su posición final y vaciar el concreto fabricado en el sitio para el resto de la sección formando una sección mixta. La figura 5.1 ilustra una sección de losa aligerada construida utilizando viguetas pretensadas. Si no se colocan apoyos temporales intermedios, la vigueta pretensada soporta, además del propio peso, el de la losa superior. Después de que el concreto vaciado ha endurecido en el lugar, la sección compuesta soportará cualquier carga muerta sobre impuesta (piso terminado, tabiquería móvil, etc.) y carga viva que se le imponga.

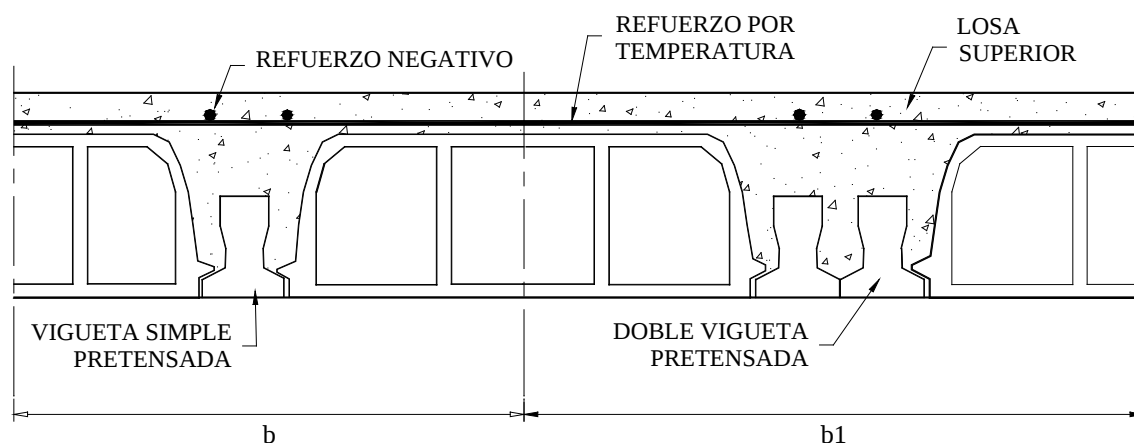


Figura 5.1: Sección típica del sistema de losa con viguetas pretensadas.

5.2 Efectos del preesfuerzo en la vigueta

En una vigueta pretensada se introducen esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas externas se contrarrestan hasta un grado deseado. El concreto es básicamente un material resistente a la compresión con una tensión muy baja y poco confiable. El preesfuerzo aplica una precompresión al elemento que reduce o elimina los esfuerzos de tensión no aconsejables que estarían presentes de otra manera. Las deflexiones pueden limitarse a valores aceptables; de hecho, pueden diseñarse elementos que tengan una deflexión nula bajo los efectos combinados de cargas

de servicio y de fuerzas de preesfuerzo. El control de las deflexiones y de las grietas, alcanzado a través del preesfuerzo, permite utilizar en forma efectiva y económica los aceros de alta resistencia en forma de torones, alambres o barras, de modo simultáneo con la utilización de concretos con resistencias mayores a las normales.

El preesfuerzo genera una mejoramiento global en el comportamiento del concreto estructural que se utiliza para cargas y luces corrientes, y amplía el campo de aplicabilidad mucho más allá de los límites antiguos, llevando no sólo a luces mucho mayores de las que se hubiera creído posibles, sino también, permitiendo la utilización de nuevas formas estructurales.^[5.1]

5.3 Comportamiento de la sección compuesta^[5.2]

Después de que el concreto de la losa superior ha endurecido, la sección compuesta soportará cualquier carga viva o muerta que se le imponga. En la figura 5.2 se ilustra una sección compuesta extraída del centro de la longitud de una vigueta para una losa aligerada, cuya nervadura o vigueta inferior se pretensó y la losa superior se vació en el lugar descansando directamente sobre la nervadura.

En la misma figura se muestra la distribución de los esfuerzos para varias etapas de la magnitud de preesfuerzo, ya que éste no es constante; se sabe que la fuerza del gato, P_J , se reduce inmediatamente a lo que se llama la fuerza de preesfuerzo inicial, P_I , a causa del acortamiento elástico del concreto luego de la transferencia, del deslizamiento del tendón a medida que la fuerza se transfiere de los gatos a los extremos de la viga y por las pérdidas que ocasiona la fricción entre el tendón y los dispositivos de alineamiento de cable. Existe una reducción adicional de la fuerza desde P_I hasta el preesfuerzo efectivo, P_e , que ocurre durante un largo período y a una tasa gradualmente decreciente, producto del flujo plástico del concreto bajo la acción de la fuerza de preesfuerzo sostenida, de la retracción de fraguado del concreto y de la relajación de esfuerzos en el acero.

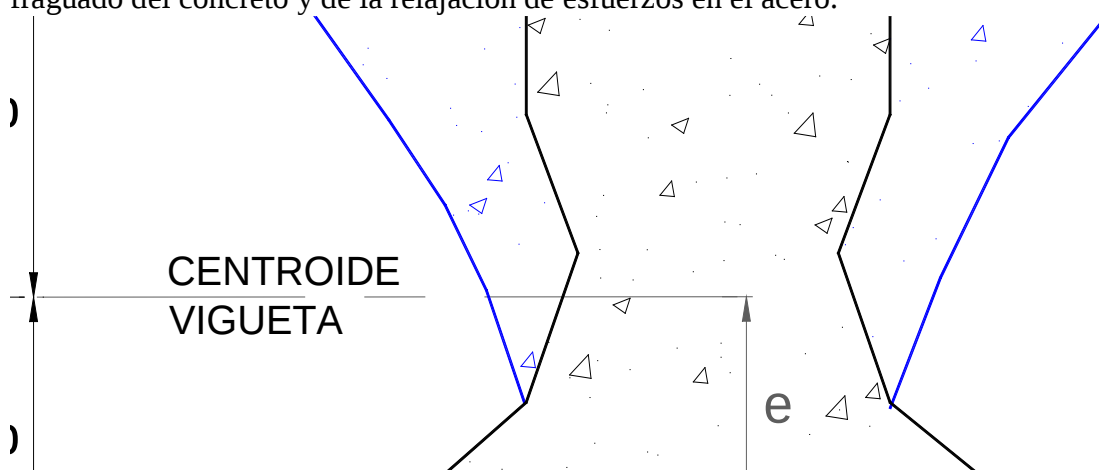


Figura 5.2: Distribución de los esfuerzos en una sección de losa compuesta con viguetas pretensadas.

Las etapas de la distribución de esfuerzos se describen a continuación.

- (a) Por el preesfuerzo inicial y el peso de la vigueta, se producirá una gran compresión en las fibras inferiores y, posiblemente, una ligera tensión en las superiores. La

fuerza de tensión T del acero y la de compresión C del concreto forman un par resistente con un pequeño brazo de palanca intermedio.

- (b) Después de que ocurren las pérdidas de preesfuerzo, el preesfuerzo efectivo junto con el peso de la viga o nervadura provocará una ligera disminución de compresión en las fibras inferiores y una pequeña tensión o compresión en las fibras superiores. El par $C-T$ actuará con un brazo de palanca ligeramente mayor.
- (c) Por la adición de la losa y del elemento aligerante, su peso producirá momento y esfuerzos a tensión en las fibras inferiores como puede observarse en la figura.
- (d) A causa del preesfuerzo efectivo más el peso de la losa y de la viga, podemos sumar los diagramas (b) y (c), y se encontrará que existe una compresión menor en las fibras inferiores y algo de compresión en las fibras superiores. El brazo del par $C-T$ todavía aumenta
- (e) Nótese que los esfuerzos resultantes por el momento de la carga viva los resiste la sección compuesta.
- (f) Sumando (d) con (e) tendremos un prisma de esfuerzos mostrado en (f), con ligera tensión o compresión en fibras inferiores, pero con grandes esfuerzos de compresión en las fibras superiores de la losa y de la nervadura. El par $C-T$ actúa con un brazo de palanca apreciable.

Para la carga que produce las primeras grietas se supone que las fibras inferiores adquiere un esfuerzo de tensión igual al módulo de ruptura.

Si la viga pretensada tiene apoyos intermedios durante el vaciado de concreto, ésta deberá soportar los momentos flectores (sin considerar el comportamiento como sección compuesta), producidos por el peso del concreto fresco y del elemento aligerante, considerando la nueva condición de apoyo. La sección compuesta deberá soportar cargas concentradas originadas al quitar el apuntalamiento, más el efecto de las cargas sobrepuestas mencionadas anteriormente.

5.3.1 *Método de diseño* [5.1, 5.3]

El diseño de estructuras de concreto puede basarse bien sea en suministrar rigidez suficiente, que se utilizaría sólo si las cargas esperadas aumentaran con un coeficiente de sobrecarga, o manteniendo los esfuerzos del material dentro de los límites admisibles cuando actúan las cargas reales de servicio. Estos métodos de diseño se conocen como: el método a la resistencia y de los esfuerzos admisibles, respectivamente.

El diseño a la resistencia presenta la ventaja que el factor de seguridad puede ser determinado a través de dos mecanismos: amplificación de las cargas de servicio y reducción de la resistencia teórica de la estructura. Para el caso de los elementos de concreto reforzado corriente, por lo general, se utiliza el diseño a la resistencia. Los elementos se dimensionan con base a los requisitos de resistencia y luego se verifican para un comportamiento satisfactorio ante las cargas de servicio, principalmente, con respecto a las deflexiones y al agrietamiento. El diseño se modifica entonces si es necesario.

Para el caso de elementos de concreto preesforzado, la práctica actual consiste en dimensionar los elementos de manera que los esfuerzos en el concreto y en el acero con las cargas reales de servicio (cargas sin factores de amplificación definidas por la norma E-020) estén dentro de los límites permitidos, generalmente se aplica la teoría elástica en el cálculo de los esfuerzos. Estos límites son una fracción de las capacidades reales de los materiales, proporcionando así un margen de seguridad dentro de los esfuerzos admisibles, puesto que uno de los principales objetivos del preesfuerzo es mejorar el comportamiento de los elementos con las cargas de servicio. Más aún, los requisitos para cargas de servicio controlan a menudo la cantidad de fuerza de preesfuerzo que se utiliza. El diseño basado en las cargas de servicio puede llevarse a cabo, por lo general, suponiendo un comportamiento elástico tanto del concreto como del acero, puesto que los esfuerzos son relativamente bajos en los dos materiales.

Independientemente del punto de partida seleccionado para el diseño, un elemento estructural debe comportarse satisfactoriamente en todos los estado de su historial de carga. Los elementos preesforzados que se dimensionan con base en esfuerzos admisibles debe revisarse también para verificar si disponen de la resistencia suficiente en el caso que ocurran sobrecargas y también debe investigarse las deflexiones y el agrietamiento con las cargas de servicio.

5.3.2 Esfuerzos admisibles para el acero

El esfuerzo a tracción de los tendones de preesfuerzo no debe exceder de lo siguiente:

- a. *Cuando la fuerza de los gatos se aplica por primera vez, se permite un esfuerzo de $0.80.f_{PU}$ ó $0.94.f_{PY}$, el que sea menor, pero no mayor que el valor máximo recomendado por el fabricante de los tendones de preesfuerzo o de los anclajes, donde f_{PU} es la resistencia especificada a la tracción de los tendones de preesfuerzo y f_{PY} es la resistencia a la fluencia.*
- b. *Después de la transferencia del preesfuerzo al concreto, el esfuerzo permitido es $0.74.f_{PU}$ ó $0.82.f_{PY}$, el que sea menor.*

La justificación para permitir un esfuerzo admisible mayor durante la operación de tensionamiento es que el esfuerzo en el acero se conoce con bastante precisión en este estado. La presión hidráulica en los gatos y la deformación total en el acero son cantidades que se miden fácilmente. Los valores inferiores de esfuerzos admisibles son aplicables después de que ocurre el acortamiento elástico del concreto, las pérdidas por fricción y los deslizamientos en los anclajes, estado en el que pueden aplicarse las cargas de servicio. El esfuerzo en el acero se reduce un poco más durante la vida del elemento por la retracción del fraguado y el flujo plástico en el concreto y por la relajación en el acero.

5.3.3 Esfuerzos admisibles para el concreto

Los esfuerzos admisibles en el concreto, según el Reglamento Nacional de Construcción, dependen del estado de carga. Estos esfuerzos están determinados en la tabla 5.1, donde f'_{CI} es la resistencia a la compresión del concreto en el momento de preesfuerzo inicial y f'_C es la resistencia especificada a la compresión del concreto.

Tabla 5.1: Esfuerzos admisibles en el concreto en elementos preesforzados sometidos a flexión.

<i>Esfuerzos en el concreto inmediatamente después de la transmisión del preesfuerzo antes de las pérdidas de preesfuerzo dependientes del tiempo, no deben exceder lo siguiente:</i>	
a. Esfuerzo en la fibra extrema a compresión.	$0.6.f'_{ci}$
b. Esfuerzo de la fibra extrema en tracción excepto en lo permitido por c.	$0.8\sqrt{f'_{ci}}$
c. Esfuerzo en la fibra extrema a tracción en los extremos de elementos simplemente apoyados.	$1.6\sqrt{f'_{ci}}$
<i>Esfuerzos en el concreto bajo las cargas de servicio (después de que se presenten todas las pérdidas de preesfuerzo)</i>	
a. Esfuerzo en la fibra extrema a compresión.	$0.45.f'_c$
b. Esfuerzo de la fibra extrema en tracción en la zona precomprimida.	$1.6\sqrt{f'_c}$
c. Esfuerzo de la fibra extrema en tracción en la zona precomprimida de los elementos, excepto en sistemas de losas de dos direcciones, en los cuales, el análisis basado en las secciones fisuradas transformadas y en las relaciones bilineales momento-deflexión demuestren que las deflexiones instantánea y a largo plazo cumplen con las restricciones establecidas en otras secciones del Código ACI.	$3.2\sqrt{f'_c}$

5.3.4 Resistencia a flexión – método de la resistencia última

La resistencia de una vigueta preesforzada puede estimarse mediante los mismos métodos desarrollados para las vigas corrientes de concreto reforzado, con algunas modificaciones para tener en cuenta: la forma diferente de la curva esfuerzo-deformación unitaria para el acero de preesfuerzo y la deformación de tensión ya presente en el acero de preesfuerzo antes de cargar la vigueta.

Esfuerzo en el acero de preesfuerzo para la falla a flexión

Cuando una estructura de preesforzado falla a flexión, el acero de preesfuerzo se somete a un esfuerzo f_{PS} que es mayor que el preesfuerzo efectivo f_{PE} , pero menor que la resistencia última a tensión f_{PU} . Si el preesfuerzo efectivo $f_{PE} = Pe/A_{PS}$ no es menor que $0.50.f_{PU}$, el reglamento permite la utilización de ciertas ecuaciones aproximadas para estimar f_{PS} . A continuación se presenta las ecuaciones para determinar f_{PS} en viguetas pretensadas con tendones adheridos:

$$f_{PS} = f_{PU} \left(1 - 0.5 \cdot \rho_p * \frac{f_{PU}}{f'_{CEQ}} \right) \quad (5.1)$$

Donde

$$\rho_p = \frac{A_{PS}}{b \cdot d_p} \quad (5.2)$$

$$f'_{CEQ} = \frac{A_v * f'_{CVIGUETA} + (A_{SC} - A_v) * f'_{CLOSA}}{A_{SC}} \quad (5.3)$$

Resistencia nominal a la flexión y resistencia de diseño

Puede calcularse la resistencia nominal a la flexión con métodos y ecuaciones que corresponden en forma directa a los utilizados para vigas corrientes de concreto reforzado. Para secciones transversales rectangulares o para secciones con alas como las de las vigas I o T, donde la altura del bloque de esfuerzos es igual o menor que el espesor promedio del ala, la resistencia nominal a la flexión, según el Reglamento Nacional de Construcción, es:

Para $h_f \geq a$

$$\phi Mn = \phi [A_{PS} \cdot f_{PS} (d_p - a/2) + A_S \cdot f_Y (d - a/2)] \quad (5.4)$$

$$a = \frac{(A_{PS} \cdot f_{PS} + A_S \cdot f_Y)}{0.85 \cdot f'_{CLOSA} \cdot b} \quad (5.5)$$

La resistencia de diseño a la flexión se toma igual a ϕMn , donde $\phi = 0.90$, como es usual para flexión.

Límites de refuerzo

El reglamento presenta la siguiente disposición:

$$\frac{0.85 \cdot a}{d_p} \leq 0.36 \cdot \beta_1 \quad (5.6)$$

Se considera que una sección es subreforzada cuando su índice de refuerzo no excede de $0.36 \cdot \beta_1$. Cuando el índice de refuerzo es mayor que dicho límite, la sección se considera sobreforzada. El factor β_1 deberá tomarse como 0.85 para concretos de resistencias menores a 280 kg/cm^2 , para resistencias superiores β_1 disminuirá a razón de 0.05 por cada 70 kg/cm^2 de aumento de f'_c , con un valor mínimo de 0.65.

El Reglamento Nacional de Construcción exige que el refuerzo total a tensión debe estar en capacidad de soportar una carga mayorada al menos 1.2 veces la carga de agrietamiento de la viga, calculada en base al módulo de rotura, f_r , equivalente $2\sqrt{f'_c}$

Momento de agrietamiento

El momento que produce las primeras grietas capilares en una viga de concreto preesforzado se calcula mediante la teoría elástica, suponiendo que el agrietamiento se inicia cuando los esfuerzos de tensión en las fibras extremas de concreto alcanzan su módulo de rotura. Debe tenerse en cuenta que el módulo de rotura es solamente una medida de la iniciación de las grietas capilares (imperceptibles a la vista), se necesita un esfuerzo de tensión mayor que el módulo de rotura para que se produzca grietas visibles.

Las grietas se inician cuando:

$$f_r = -\frac{P_e}{A_v} - \frac{P_e \cdot e_p \cdot C_{2P}}{I_v} + \frac{M \cdot C_{2C}}{I_{SC}} \quad (5.7)$$

Transponiendo términos, obtenemos el valor del momento por agrietamiento

$$M = P_e \cdot e_p + \frac{C_{2P} \cdot I_{SC}}{C_{2C} \cdot I_v} * \frac{P_e \cdot I_{SC}}{C_{2C} \cdot A_v} + \frac{f_r \cdot I_{SC}}{C_{2C}} \quad (5.8)$$

Donde $f_r = 2\sqrt{f'_{CVIGUETA}}$

5.3.5 Resistencia a flexión – método de los esfuerzos admisibles

Para una sección compuesta, el desarrollo de las ecuaciones elásticas para esfuerzos generados por flexión, los efectos de la fuerza de preesfuerzo, los momentos que genera el peso propio y los momentos por las cargas muerta y viva se calculan por separado y luego se superponen, teniendo en cuenta las propiedades de la sección que le corresponde como se muestra en la figura 5.3.

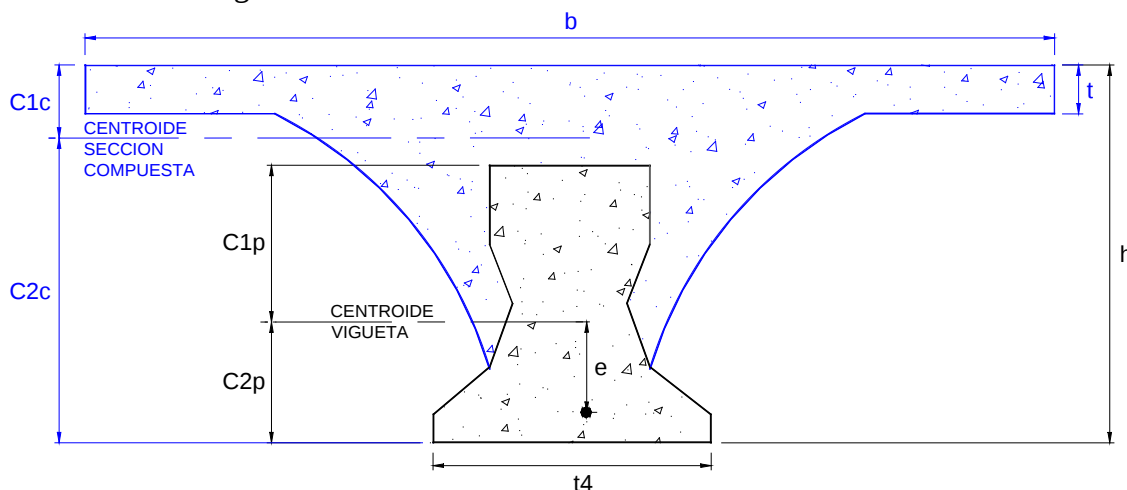


Figura 5.3 Sección compuesta: vigueta pretensada más la losa vaciada en el lugar.

Después de la transferencia

Cuando la fuerza inicial de preesfuerzo P_I se aplica con una excentricidad e por debajo del centroide de la sección transversal con área A_V y con distancias a las fibras superiores e inferiores C_{1P} y C_{2P} , respectivamente, ésta produce el esfuerzo de compresión $-P_I / A_V$ y los esfuerzos flectores $P_I \cdot e \cdot C_{1P} / I_V$ y $-P_I \cdot e \cdot C_{2P} / I_V$, en las fibras superiores e inferiores, respectivamente. Debemos tener en cuenta que los esfuerzos de compresión se consideran negativos y los esfuerzos de tensión positivos. Entonces, en la fibra superior de la vigueta, el esfuerzo es:

$$f'_1 = -\frac{P_I}{A_V} + \frac{P_I \cdot e \cdot C_{1P}}{I_V}$$

Y en la fibra inferior es:

$$f'_2 = -\frac{P_I}{A_V} - \frac{P_I \cdot e \cdot C_{2P}}{I_V}$$

Normalmente, a medida que se aplica la fuerza de preesfuerzo excéntrico, la vigueta se defleca hacia arriba. El propio peso de la vigueta, W_V , produce un momento adicional M_V y los esfuerzos netos en las fibras superiores e inferiores de la vigueta se convierten en:

$$f'_1 = -\frac{P_I}{A_V} + \frac{P_I \cdot e \cdot C_{1P}}{I_V} - \frac{M_V \cdot C_{1P}}{I_V} \quad (5.9)$$

$$f'_2 = -\frac{P_I}{A_V} - \frac{P_I \cdot e \cdot C_{2P}}{I_V} + \frac{M_V \cdot C_{2P}}{I_V} \quad (5.10)$$

Durante el vaciado de concreto

Después comienzan las pérdidas dependientes de tiempo por la retracción de fraguado, el flujo plástico y la relajación, y la fuerza de preesfuerzo se reduce en forma gradual desde P_I hasta P_e . Por lo general, resulta aceptable suponer que todas estas pérdidas ocurren antes de la aplicación de las cargas de servicio, puesto que los esfuerzos en el concreto para las cargas de servicio serán críticos después de que ocurran todas las pérdidas y no antes. De acuerdo con esto, cuando se aplica la carga P_e y la carga por propio peso de la viga (el cálculo de M_V se realiza teniendo en cuenta la nueva condición de apoyo), los esfuerzos en las fibras superiores e inferiores se transforman en:

$$f'_1 = -\frac{P_e}{A_v} + \frac{P_e \cdot e \cdot C_{1P}}{I_v} - \frac{M_V \cdot C_{1P}}{I_v} \quad (5.11)$$

$$f'_2 = -\frac{P_e}{A_v} - \frac{P_e \cdot e \cdot C_{2P}}{I_v} + \frac{M_V \cdot C_{2P}}{I_v} \quad (5.12)$$

Además, la viga debe soportar los momentos originados por el peso del concreto de la losa, M_L ; el peso del aligerante, M_{ALIG} ; y sobrecargas de trabajo, M_{CT} . Si se considera apuntalamiento entonces los esfuerzos generados por las cargas antes mencionadas, inclusive el peso de la viga, se deben calcular según la nueva condición de apoyo. Los esfuerzos superiores e inferiores son:

$$f'_1 = -\frac{P_e}{A_v} + \frac{P_e \cdot e \cdot C_{1P}}{I_v} - \frac{M_V \cdot C_{1P}}{I_v} - \frac{(M_L + M_{ALIG} + M_{CT}) \cdot C_{1P}}{I_v} \quad (5.13)$$

$$f'_2 = -\frac{P_e}{A_v} - \frac{P_e \cdot e \cdot C_{2P}}{I_v} + \frac{M_V \cdot C_{2P}}{I_v} + \frac{(M_L + M_{ALIG} + M_{CT}) \cdot C_{2P}}{I_v} \quad (5.14)$$

Como sección compuesta

Para el cálculo de los esfuerzos cuando se aplica la totalidad de las cargas de servicio (carga muerta adicional al propio peso de la viga más la carga viva) se considera la estructura sin los apoyos temporales con las propiedades de la sección compuesta. Si se ha considerado apuntalamiento entonces se debe tener en cuenta el momento originado por las cargas puntuales, M_{CP} , que se genera al quitar los apoyos temporales. Estas fuerzas actuarán sobre la sección compuesta, los esfuerzos son:

$$f''_1 = -\frac{P_e}{A_v} + \frac{P_e \cdot e \cdot C_{1P}}{I_v} - \frac{M_V \cdot C_{1P}}{I_v} - \frac{(M_L + M_{ALIG}) \cdot C_{1P}}{I_v} - \frac{(M_{PT} + M_{TM} + M_{CV} + M_{CP}) \cdot (C_{2C} - C_{1P} - C_{2P})}{I_{SC}} \quad (5.15)$$

$$f''_2 = -\frac{P_e}{A_v} - \frac{P_e \cdot e \cdot C_{2P}}{I_v} + \frac{M_V \cdot C_{2P}}{I_v} + \frac{(M_L + M_{ALIG}) \cdot C_{2P}}{I_v} + \frac{(M_{PT} + M_{TM} + M_{CV} + M_{CP}) \cdot C_{2C}}{I_{SC}} \quad (5.16)$$

Los esfuerzos en la losa vaciada en el lugar serán:

$$f_1 = -\frac{(M_{PT} + M_{TM} + M_{CV}) \cdot C_{1C}}{I_{SC}} n - \frac{M_{CP} \cdot C_{1C}}{I_{SC}} n \quad (5.17)$$

$$f_3 = +\frac{(M_{PT} + M_{TM} + M_{CV}) \cdot (C_{2C} - C_{1P} - C_{2P})}{I_{SC}} n + \frac{M_{CP} \cdot (C_{2C} - C_{1P} - C_{2P})}{I_{SC}} n \quad (5.18)$$

Donde $n = \frac{E_{LOSA}}{E_{VIGUETA}}$

Al calcular las propiedades de la secciones A_V , I_V , A_{SC} , I_{SC} , etc., que se utilizarán en las ecuaciones anteriores, aunque deben utilizarse las propiedades de la sección transformada, se obtiene poca diferencia si los cálculos se basan en las propiedades de la sección bruta de concreto.

En la figura 5.4 se presenta un resumen de los esfuerzos actuantes a lo largo de los estados de carga de la sección compuesta con viguetas prefabricadas.

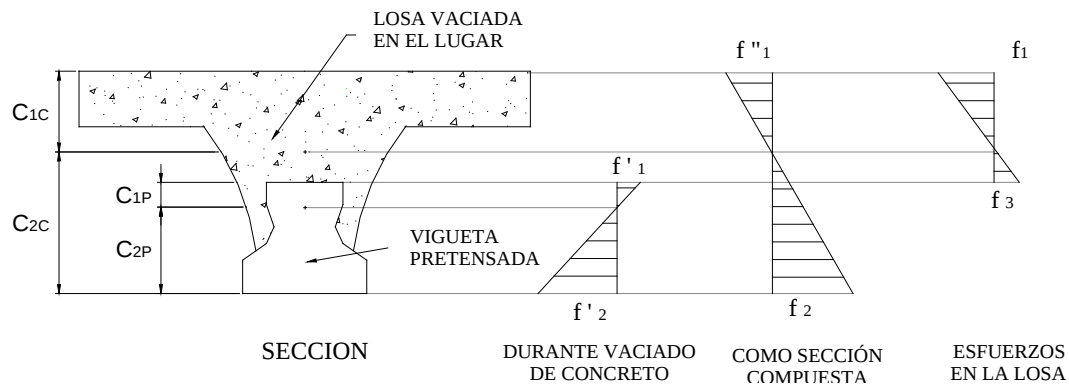


Figura 5.4 Esfuerzos actuantes en la sección de la viga.

Es necesario revisar si los esfuerzos en las fibras extremas permanecen dentro de los límites especificados. Con frecuencia, los esfuerzos en la sección de máximo momento de una viga bien diseñada deben permanecer dentro de los estados límites, a medida que la viga pasa del estado sin carga (P_I más el peso propio) al estado de carga (P_e más las cargas completas de servicio). En la figura 5.5, f_{ci} y f_{ti} son los respectivos esfuerzos de compresión y de tensión admisibles en el concreto inmediatamente después de la transferencia. f_{sc} y f_{ts} son los esfuerzos de compresión y tensión admisibles con las cargas de servicio.

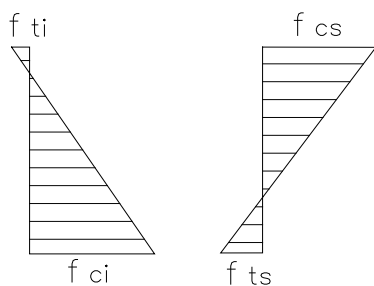


Figura 5.5 Límites de esfuerzo: (a) viga sin carga, con preesfuerzo inicial más peso propio; (b) viga cargada, con preesfuerzo efectivo, peso propio y carga de servicio completa.

5.3.6 Resistencia de adherencia a cortante

Para elementos que tengan una fuerza efectiva de preesfuerzo no menor al 40% de la resistencia a la tracción del refuerzo por flexión:

$$V_C = \left[0.16 \sqrt{f'_c} + 49 \frac{V_U \cdot d}{M_U} \right] b_w \cdot d \quad (5.19)$$

La resistencia no debe ser menor a $0.53\sqrt{f'_{CEq}} \cdot b_w \cdot d$, donde f'_{CEq} es la resistencia equivalente de la sección compuesta.

$$f'_{CEq} = \frac{A_{LOSA} \cdot f'_{C_{LOSA}} + A_{VIGUETA} \cdot f'_{C_{VIGUETA}}}{A_{SC}}$$

5.3.7 Deflexiones por cargas

Para el cálculo de las deflexiones en una sección compuesta por una vigueta pretensada y una losa superior vaciada en el lugar se debe tener especial cuidado debido a que hay distintas etapas de la carga. Inicialmente, cuando se aplica por primera vez la fuerza de preesfuerzo, la vigueta presentará una contraflecha hacia arriba. Con el transcurso del tiempo, la retracción de fraguado y el flujo plástico del concreto producirán una reducción gradual de la fuerza de preesfuerzo. A pesar de esto, la deflexión hacia arriba aumentará, por lo general, a causa del flujo plástico diferencial, que afecta más las fibras inferiores sometidas a altos esfuerzos que las superiores. Con la aplicación de la carga muerta superpuesta y viva, esta deflexión hacia arriba se balanceará parcial o totalmente y se obtendrá una deflexión nula o una deflexión hacia abajo.

El método aproximado que se describe en este apartado resultará suficientemente preciso para la mayor parte de propósitos. Normalmente, las deformaciones de gran interés son las que ocurren en estado inicial, cuando la vigueta se somete al preesfuerzo inicial P_I y a su propio peso y para una o más combinaciones de carga de servicio, cuando la fuerza de preesfuerzo se reduce al valor efectivo P_e a causa de las pérdidas. Las deflexiones cambian por el flujo plástico que ocurre con la fuerza de preesfuerzo sostenida y con todas las demás cargas sostenidas.

La deflexión a corto plazo Δ_{PI} , producto de la fuerza de preesfuerzo inicial P_I , puede determinarse con base en la variación del momento de preesfuerzo a lo largo de la luz. Para vigas estáticamente determinadas como indeterminadas, el efecto del preesfuerzo también puede observarse en términos de las cargas y las deflexiones equivalentes encontradas, con las ecuaciones corrientes de deflexión.

La deflexión hacia abajo Δ_v , debido al peso propio de la vigueta, es por lo general distribuida de manera uniforme. Así que, la deflexión neta obtenida inmediatamente después del preesfuerzo es: $\Delta = -\Delta_{PI} + \Delta_v$, donde el signo negativo indica un desplazamiento hacia arriba.

Las deflexiones a largo plazo por el preesfuerzo ocurren a medida que la fuerza se reduce en forma gradual de P_I a P_e . Esto puede tenerse en cuenta de manera aproximada, suponiendo que el flujo plástico ocurre con una fuerza de preesfuerzo constante igual al promedio de los valores inicial y final. La deflexión total que resulta del solo preesfuerzo

$$\text{es: } \Delta = -\Delta_{PE} - \frac{\Delta_{PI} + \Delta_{PE}}{2} C_C$$

Donde: $\Delta_{PE} = \Delta_{PI} \frac{P_e}{P_I}$ y C_C es el coeficiente de flujo plástico para el concreto.

Tabla 5.2: Tabla de coeficientes de flujo plástico.

<i>Resistencia a la compresión (kg/cm²)</i>	<i>Coeficiente de flujo plástico, C_c</i>
210	3.1
280	2.9
420	2.4
560	2.0

La deflexión a largo plazo por el peso propio se incrementa también por el flujo plástico y puede obtenerse aplicando en forma directa el coeficiente del flujo plástico, cuando actúan el preesfuerzo efectivo y el propio peso de la vigueta:

$$\Delta = -\Delta_{PE} - \frac{\Delta_{PI} + \Delta_{PE}}{2} C_c + \Delta_v (1 + C_c) \quad (5.20)$$

La deflexión producto de las cargas superpuestas puede ahora adicionarse, introduciendo el coeficiente plástico para tener en cuenta el efecto a largo plazo de las cargas sostenidas, con el fin de obtener la deflexión neta para la carga de servicio completa:

$$\Delta = -\Delta_{PE} - \frac{\Delta_{PI} + \Delta_{PE}}{2} C_c + (\Delta_v + \Delta_{CMS}) (1 + C_c) + \Delta_{CV} \quad (5.21)$$

Donde Δ_{CMS} y Δ_{CV} son las deflexiones instantáneas generadas por la carga muerta superpuesta y viva, respectivamente, las cuales se calculan teniendo en cuenta las propiedades de la sección compuesta (A_{SC} , I_{SC} , etc). La deflexión total no debe ser mayor a la permitida por el RNC, dependiendo si la losa está ligada a elementos susceptibles a daños por las deflexiones excesivas.

Puesto que los elementos permanecen práctica o totalmente no fisurados para los niveles de carga característicos de interés, por lo general, los cálculos pueden basarse en las propiedades de la sección de concreto no fisurada. Se suele utilizar un momento efectivo de inercia basado en un promedio ponderado de los momentos de inercia de la sección no fisurada y fisurada.

5.4 Manejo del sistema

5.4.1 Proceso constructivo

Antes de montar la primera vigueta se procederá a colocar el apuntalamiento correspondiente, ya que las viguetas no trabajan por sí solas, sino en conjunto con la capa de compresión una vez fraguada. Debajo de los puntales deberá colocarse cuñas para asegurar el soporte de los puntales y las tablas para una mejor distribución de los esfuerzos en el piso

Las viguetas deberán apoyarse entre 5 - 10 cm. sobre tabiques de ladrillos o vigas vaciadas con anterioridad, y, por lo menos, 5 cm en los encofrados de vigas a vaciar en conjunto con la capa de compresión. Según lo indica la figura 5.6, la separación entre viguetas se

determina automáticamente por los elementos aligerantes a emplear, iniciándose la tarea de instalación por ambos extremos. El montaje se completa armando una malla de fierro por encima de los elementos aligerantes (poliestireno, unidades de arcilla, etc.).

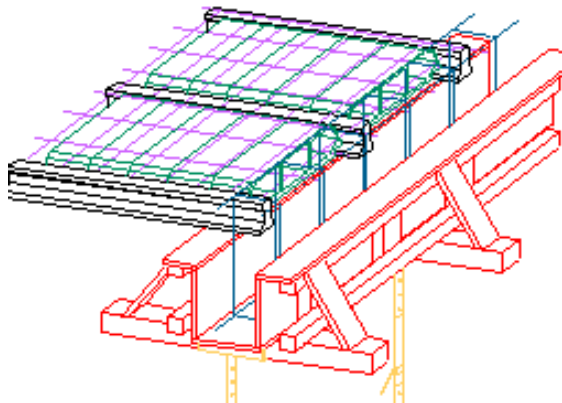


Figura 5.6 Detalle del apoyo de la vigueta sobre las vigas principales.

Antes de proceder al vaciado del hormigón, se debe limpiar perfectamente la superficie de las viguetas para mejorar la adherencia de la capa de compresión. Las viguetas y los complementos se deben mojar abundantemente para obtener un correcto vaciado y una mejor resistencia en la carpeta de compresión.

El concreto de la carpeta de compresión deberá ser mezclado, vaciado y vibrado siguiendo las normas tradicionales de construcción, teniendo en cuenta que mientras más agua sea usada en la mezcla, menos resistencia tendrá el concreto. Es muy importante que los elementos aligerantes estén completos y en buen estado. También es importante caminar y llevar carretillas sobre tablones y no directamente sobre los aligerantes o viguetas.

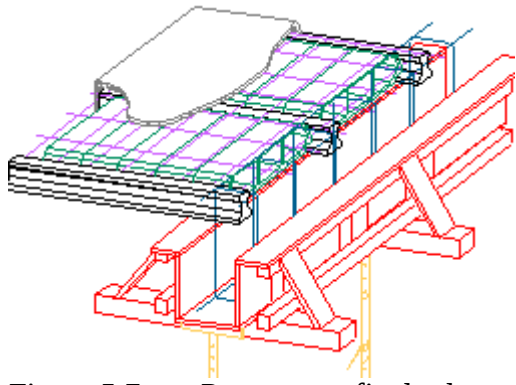


Figura 5.7 Panorama final después de haber izados todos los elementos que constituyen a la losa aligerada compuesta con viguetas pretensadas.

Una vez fraguado el concreto, se procederá a su despuntalamiento. Con fines prácticos se considera 1 día de apuntalamiento por cada 30 cm. de longitud de losa. Por ejemplo: Si la losa mide 3.00 m. de longitud, se recomienda 10 días de apuntalamiento. El despuntalamiento se hará solamente una vez verificado el plazo.

5.5 Peso propio

En la tabla 5.3 se presenta los valores del peso propio para las viguetas pretensadas, el cual depende de la sección de la vigueta a usar. Se ha considerado los pesos unitarios de 2300

kg/m^3 para el concreto de la vigueta y 2400 kg/m^3 para el concreto vaciado en la losa superior.

Tabla 5.3: Peso de las losas con viguetas pretensadas aligeradas con poliestireno.

<i>Altura de la losa compuesta con viguetas pretensadas</i>	<i>b (cm)</i>	<i>Peso propio de la losa (Kg/m^2)</i>
17.00	40.0	203.4
	50.0	186.7
	60.0	175.6
	70.0	167.6
20.00	40.0	232.2
	50.0	209.7
	60.0	194.8
	70.0	184.1
30.00	40.0	328.2
	50.0	286.5
	60.0	258.8
	70.0	239.0

5.6 Diseño de una losa con viguetas pretensadas

Para realizar este diseño se ha tenido en cuenta una sección de paño según indica la figura 5.8, el cual ha sido tomado como referencia en los capítulos anteriores para el diseño de las losas de entrepiso, según los sistemas ya descritos. Para el siguiente cálculo se ha considerado un espacio entre viguetas de 40 cm.

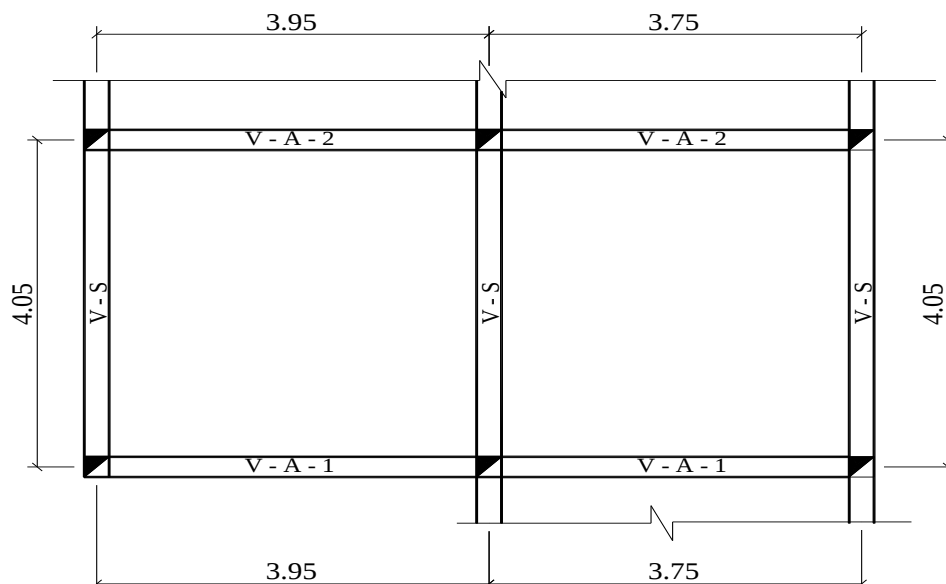


Figura 5.8 Planta del paño de losa a diseñar.

Cargas consideradas

P_{PT}	(Piso terminado)	=	100	Kg/m^2
P_{TM}	(Tabiquería móvil)	=	30	Kg/m^2

$$\begin{aligned}
 S_{CV} & \text{ (Sobrecarga viva)} & = & 200 \text{ Kg/m}^2 \\
 W_{CS} & \text{ (Total carga muerta sobreimpuesta)} & = & 330 \text{ Kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Propiedades de los materiales de la losa vaciada en el lugar

$$\begin{aligned}
 f_Y & \text{ (Resistencia del acero)} & = & 4200 \text{ kg/cm}^2 \\
 E & \text{ (Módulo elasticidad del acero)} & = & 2077500 \text{ kg/cm}^2 \\
 f'_{C \text{ Losa}} & \text{ (Resistencia del concreto de la losa)} & = & 210 \text{ kg/cm}^2 \\
 \delta_c & \text{ (Densidad del concreto)} & = & 2400 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Propiedades de los materiales del acero de preesfuerzogar

$$\begin{aligned}
 E & \text{ (Módulo elasticidad del acero)} & 2077500 & \text{ kg/cm}^2 \\
 f'_{C \text{ Vigueta}} & \text{ (Resistencia del concreto de la vigueta)} & 350 & \text{ kg/cm}^2 \\
 f_{PU} & \text{ (Resistencia del acero de preesfuerzo)} & 18000 & \text{ kg/cm}^2 \\
 f_{PI} & \text{ (Resistencia inicial del acero de preesfuerzo)} & 12960 & \text{ kg/cm}^2 \\
 f_{Pe} & \text{ (Esfuerzo debido al fuerza efectiva)} & 9720 & \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

En el diseño de la losa compuesta con las viguetas pretensadas se utilizará una vigueta tipo escogida, según dimensiones estándar en el mercado cuyas medidas en centímetros aparecen en la figura 5.9.

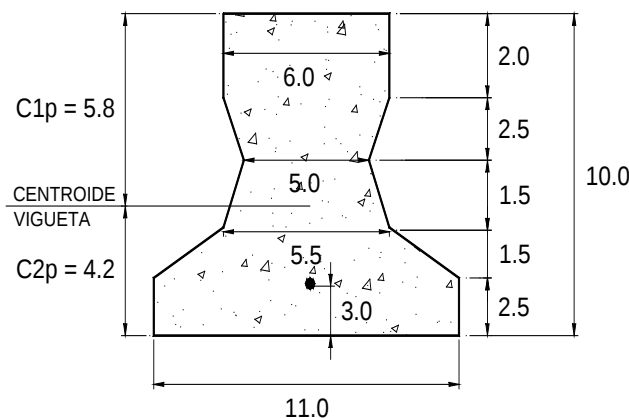


Figura 5.9 Dimensiones de la vigueta pretensada usada para el diseño de la losa aligerada.

En la tabla 5.4 se pueden observar los valores obtenidos mediante cálculos matemáticos del área, inercia y ubicación de centroide gravedad de la vigueta prefabricada.

Tabla 5.4: Propiedades de la sección de la vigueta pretensada.

	Descripción	Valor	Unid
e_P	(Excentricidad del acero de preesfuerzo)	1.25	cm
C_{1P}	(Distancia a la fibra + alejada - arriba)	5.75	cm
C_{2P}	(Distancia a la fibra + alejada - abajo)	4.25	cm
A_V	(Área de la vigueta pretensada)	73.50	cm ²
I_V	(Inercia de la vigueta)	652.00	cm ⁴
A_{PS}	(Área del acero de preesfuerzo)	0.39	cm ²

En los cálculos realizados para la sección compuesta que aparece en la figura 5.9 se ha considerado al poliestireno como elemento aligerante, además se ha tenido en cuenta una

distancia libre entre viguetas de 0.40 m, teniendo cuenta que los esfuerzos en la losa estén dentro de los admisibles.

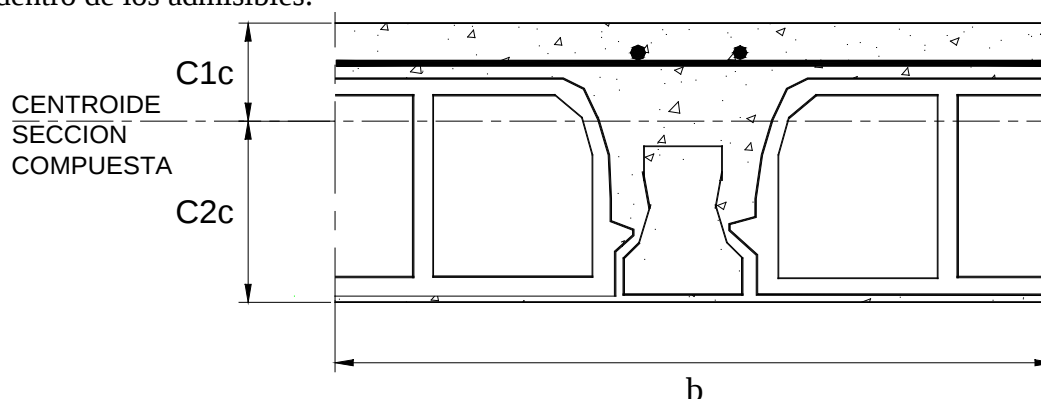


Figura 5.10 Sección de una losa compuesta con viguetas prefabricadas.

Las propiedades de la sección compuesta con las que se realizarán los cálculos aparecen en la tabla 5.5.

Tabla 5.5: Propiedades de la sección compuesta de la losa aligerada.

	Descripción	Valor	Unid.
b	(Distancia entre viguetas)	40	cm
d_p	(Peralte efectivo de la sección compuesta)	14.00	cm
C_{1C}	(Distancia a la fibra + alejada - arriba)	6.28	cm
C_{2C}	(Distancia a la fibra + alejada - abajo)	10.72	cm
A_{sc}	(Área de la vigueta,)	281.50	cm ²
I_{sc}	(Inercia de la vigueta)	6886	cm ⁴

5.6.1 Diseño según resistencia última

Esfuerzo en el acero de preesfuerzo para la falla a flexión

Como $9720 \geq 7700$ se cumple que $f_{PE} \geq 0.50 * f_{PU}$

Para determinar el esfuerzo de falla de la losa compuesta, f_{PS} , se utilizará las propiedades de la sección formada por la vigueta y la losa vaciada en el lugar. Para el cálculo de la cuantía se considera un $b = 40 \text{ cm}$, ya que es la parte de la sección que está sometida a los esfuerzos de compresión.

$$\rho_p = \frac{A_{PS}}{b \cdot d_p} = 0.007$$

$$f_{PS} = f_{PU} \left(1 - 0.5 \cdot \rho_p * \frac{f_{PU}}{f'_{CEq}} \right) = 17\,539 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{CEq} = \frac{A_V * f'_{C_{VIGUETA}} + (A_{SC} - A_V) * f'_{C_{LOSA}}}{A_{SC}} = 246.6 \text{ kg/cm}^2$$

Límites de refuerzo

Para determinar el momento nominal es necesario saber si la estructura es subreforzada. Para ello se requiere calcular:

$$a = \frac{A_{PS} \cdot f_{PS}}{0.85 \cdot f'_{CVIGUETA} \cdot b} = 0.96 \text{ cm.}$$

Como: $\frac{0.85 \cdot a}{d_p} = 0.06$ y $0.36 \cdot \beta_1 = 0.29$ donde para un concreto de 350 kg/cm^2 $\beta_1 = 0.80$.

Entonces se cumple $\frac{0.85 \cdot a}{d_p} \leq 0.36 \cdot \beta_1$, lo que permite afirmar que la vigueta es subreforzada y se puede emplear las fórmulas antes mencionadas para calcular la resistencia nominal a la flexión.

Resistencia nominal a la flexión

$$Mn = A_{PS} \cdot f_{PS} \cdot \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \cdot 10^{-2} = 931 \text{ Kg.m}$$

$$\phi \cdot Mn = 838 \text{ Kg.m}$$

Momento de agrietamiento

Se procede a calcular el momento para el cual aparecen las primeras grietas, donde f' es el módulo de rotura que según RNC equivale a:

$$f_r = 2 \sqrt{f'_{CEq}} = 31.40 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Magr = \left[P_e \cdot e_p \left(\frac{C_{2P} \cdot I_{SC}}{C_{2C} \cdot I_V} \right) + \left(\frac{P_e \cdot I_{SC}}{C_{2C} \cdot A_V} \right) + \left(\frac{f_r \cdot I_{SC}}{C_{2C}} \right) \right] \cdot 10^{-2} = 773.20 \text{ kg/cm}^2$$

La cantidad total de refuerzo, preesforzado y no preesforzado debe ser la adecuada para obtener una carga de diseño, por lo menos 1.20 veces la carga de agrietamiento calculada en base al módulo de la rotura.

A continuación se realizará el análisis por resistencia última, se calcula el valor de la carga última de diseño que equivale a la suma de diversas cargas actuantes en la losa afectadas por el factor de 1.5 para cargas muertas y 1.8 para cargas vivas.

Tabla 5.6: Cargas de servicio amplificadas.

	Vigueta	Losa Superior	Aligerante	Piso terminado	Tabiquería móvil	Carga viva
$W(\text{kg/m})$	17.6	69.6	1.0	40.0	12.0	80.0
$W_U(\text{kg/m})$	26.5	104.4	1.6	60.0	18.0	144.0

Los momentos actuantes se determinarán como la suma de tres etapas, la primera ocurre cuando la vigueta soporta su peso propio, el peso de la losa superior vaciada en el lugar y del elemento aligerante. Como se consideró dos apoyos temporales, los esfuerzos deben ser calculados teniendo en cuenta la nueva situación de apoyo. La segunda etapa es después de quitar los apoyos es decir, cuando el concreto ha endurecido, al retirar los apoyos temporales generan un momento debido al apuntalamiento que existió. La tercera etapa se produce cuando la sección compuesta soporta cargas muertas sobreimpuestas como el peso del piso terminado y de la tabiquería móvil, así como las cargas vivas que se le impongan.

En la figura 5.11 (a) y 5.12 (b) se muestra la primera etapa de la vigueta momentos antes y después de quitar los apoyos (concreto endurecido).

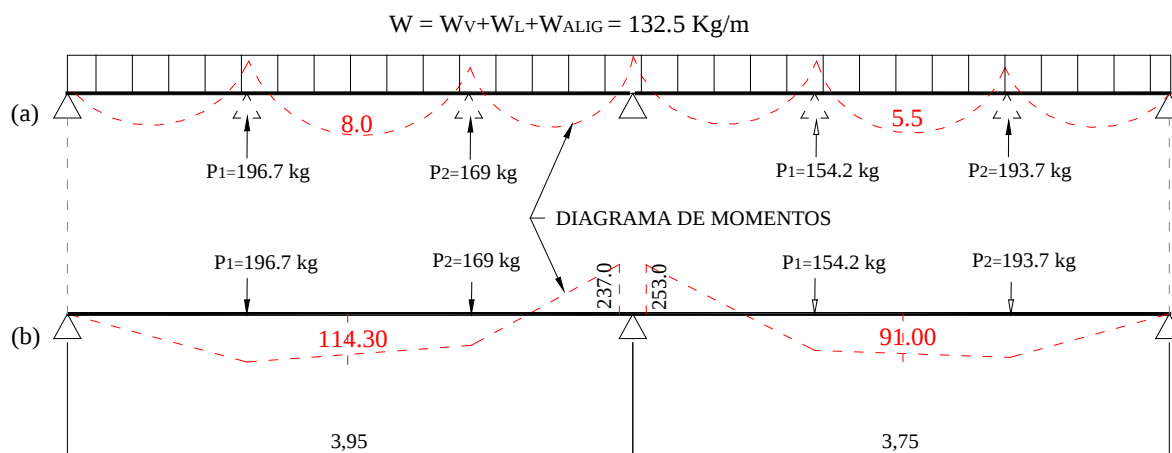


Figura 5.11 Momento generado por el despuntalamiento de los apoyos temporales ubicados a $L/3$ y $2L/3$.

En la figura 5.12 se muestra la segunda etapa que origina los momentos que resistirá la sección compuesta.

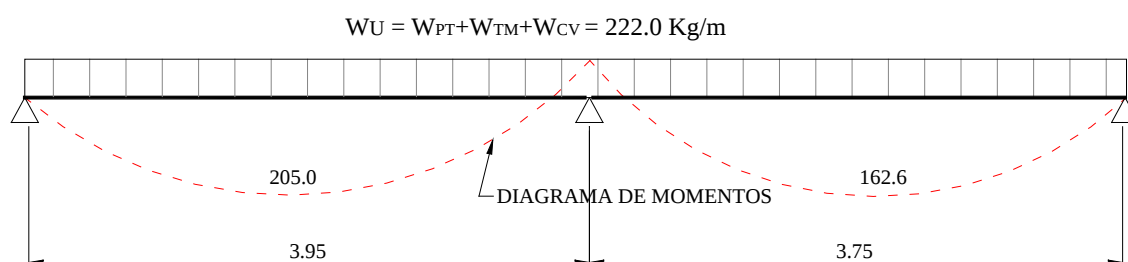


Figura 5.12 Momento generado por las cargas muertas sobreimpuestas y la carga viva.

Al sumar los dos momentos de la figuras 5.11 y 5.12 se tiene un M_u equivalente a 330.0 kg.m , que es menor a 830 kg.m

5.6.2 Diseño según esfuerzos admisibles

Para el análisis elástico es necesario analizar los esfuerzos originados por las cargas en las distintas etapas de servicio de la vigueta. La sección que se analizará corresponde a la parte central de la luz, debido a que en esta zona ocurren los máximos momentos.

Esfuerzos después de la transferencia

Se considera a la vigueta pretensada como simplemente apoyada, sometida a esfuerzos originados por la aplicación de la fuerza inicial de preesfuerzo, P_i , y al propio peso de la vigueta.

Tabla 5.7: Esfuerzos que originan la aplicación de la fuerza de preesfuerzo y el peso de la vigueta.

Esfuerzos	P_I/A_V	$P_{I.e.C_P/I_V}$	$M_{V.C_P/I_V}$	Total
f_1 : Arriba (kg/cm^2)	-69.2	56.1	-30.4	-43.6
f_2 : Abajo (kg/cm^2)	-69.2	-41.4	22.4	-88.2

Según el RNC, los esfuerzos en el concreto después de transferencia son:

$$\text{Esfuerzo en la fibra extrema a compresión} \quad 0.60.f'_{c_{\text{VIGUETA}}} = 168.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo de la fibra extrema en tracción} \quad 0.80\sqrt{f'_{c_{\text{VIGUETA}}}} = 13.40 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f'_{c_{\text{VIGUETA}}} = 0.80.f'_c = 280.00 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzos durante el vaciado de concreto

Se considera el uso de apuntalamientos ubicados a $L_1/3$ y $2L_1/3$, por lo tanto, el momento será calculado teniendo en cuenta la nueva condición de apoyo. Las cargas muertas actuantes durante esta etapa, además del peso propio de la vigueta, son: peso propio de la losa superior vaciada en el lugar, el peso del aligerante; además se debe considerar una sobrecarga de trabajo. Estas cargas originan los momentos M_L , M_{ALIG} , M_{CT} , respectivamente, cuyos valores se observan en la tabla 5.8. Para el cálculo de estos momentos se consideró una viga de tres tramos donde la luz de cada tramo equivale a $L_1/3$.

Tabla 5.8: Valores de momentos generados por la colocación del elemento aligerante y el vaciado de concreto en una losa de 3.95 m.

	Vigueta	Losa Superior	Aligerante	Sobrecarga trabajo
W (kg/m)	17.6	69.6	1.0	80.0
M (kg.m)	0.8	3.1	0.05	3.6

Sí se hubiese considerado un apoyo intermedio para un paño de losa de longitud L , el apoyo se ubicaría a $L/2$. Cabe señalar que al analizar los esfuerzos a $L/2$ generados por el vaciado de la losa superior y colocación del elemento aligerante, las fibras inferiores estarían sometidas a compresión y las superiores a tensión.

Tabla 5.9: Valores de los esfuerzos en las fibras superiores e inferiores durante el vaciado de concreto.

Esfuerzos	P_e/A_V	$P_{e.e.C_P/I_V}$	$M_{V.C_P/I_V}$	$M_{L.C_P/I_V}$	$M_{\text{ALIG}.C_P/I_V}$	$M_{\text{CT}.C_P/I_V}$	Total
f_1 : Arriba (kg/cm^2)	-51.9	42.0	-0.7	-2.8	0.04	-3.2	-16.6
f_2 : Abajo (kg/cm^2)	-51.9	-31.0	0.5	2.0	0.03	2.4	-78.0

Según el RNC, los esfuerzos y los valores de los esfuerzos están dentro de los admisibles:

$$\text{Esfuerzo en la fibra extrema a compresión} \quad 0.45 f'_{c_{\text{VIGUETA}}} = 157.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo de la fibra extrema en tracción} \quad 1.6\sqrt{f'_{c_{\text{VIGUETA}}}} = 30.00 \text{ Kg/cm}^2$$

Los esfuerzos instantes después de retirar los apoyos

Antes de quitar los apoyos se tiene la situación antes descrita. Al momento que se retiran los apoyos, la losa superior ha endurecido y funciona como una sección compuesta junto con la vigueta pretensada. Por esto, a los esfuerzos antes determinados se le suma el esfuerzo generado por las fuerzas puntuales. Las fuerzas puntuales que generan momentos son originadas al retirar los apoyos intermedios considerados para el vaciado del concreto y equivalen al valor de la reacción en el apoyo cuando la vigueta está sometida a su propio peso, al peso del concreto *in situ* y del elemento aligerante, según se ve en la figura 5.14 (a). Para calcular el momento generado por el apuntalamiento se considera una viga de dos luces con fuerzas puntuales, P_1 y P_2 , ubicadas a $L_{1-2}/3$ y $2L_{1-2}/3$ como se muestra en la figura 5.14 (b)

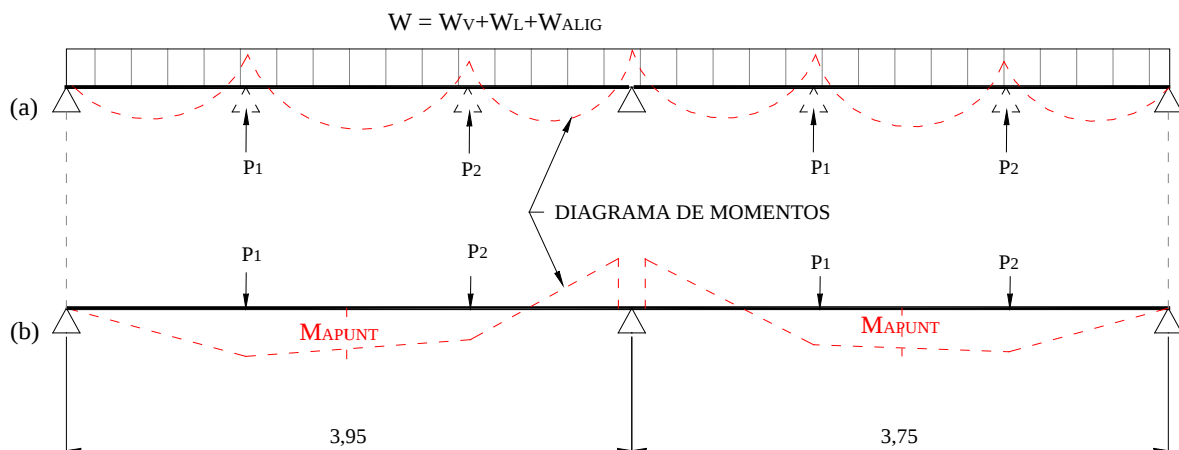


Figura 5.14 (a) y (b) condiciones generadas por las condiciones de apoyo.

El valor de las reacciones y momentos que genera el apuntalamiento temporal se muestra en la tabla 5.10. En la tabla 5.11 observamos el resumen de los esfuerzos actuantes en la vigueta pretensada, los cuales están dentro de los esfuerzos admisibles.

Tabla 5.10: Valores de reacciones y momentos originados por los apoyos temporales.

	1er apoyo temporal	2do apoyo temporal
Reacción (kg)	131.2	112.7
Momento (kg.m)	108.3	44.2

Para el cálculo del esfuerzo actuante se considera el momento a $L/2$ originado al quitar el apuntalamiento (80.10 kg.m en el tramo de 3.95 m).

Tabla 5.11: Valores de los esfuerzos en las fibras superiores e inferiores después de quitar los apoyos temporales del vaciado.

Esfuerzos	Viene	$M_{APUNT} \cdot C_C / I_{SC}$	Total
f_1 : Arriba (kg/cm ²)	-16.6	0.8	-15.8
f_2 : Abajo (kg/cm ²)	-78.0	12.5	-65.6

Según el RNC, los esfuerzos y los valores de los esfuerzos están dentro de los admisibles:

$$\text{Esfuerzo en la fibra extrema a compresión} \quad 0.45 f'_{C_{VIGUETA}} = 157.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo de la fibra extrema en tracción} \quad 1.6 \sqrt{f'_{C_{VIGUETA}}} = 30.00 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzos como sección compuesta

Para las cargas originadas por el piso terminado, tabiquería, cargas vivas y el momento originado por las fuerzas que resultan al eliminar el apuntalamiento, se considera a la viga según la condición real de apoyo (dos luces),

En la tabla 5.12 se indica los valores de las cargas por metro lineal así como el momento que originan, el que ha sido calculado como si fuera una viga continua de dos tramos.

Tabla 5.12: Valores de las cargas y momentos.

	<i>Piso terminado</i>	<i>Tabiquería Móvil</i>	<i>Carga Viva</i>
$W \text{ (kg/m)}$	60.0	18.0	120.0
$M \text{ (kg.m)}$	65.5	19.7	131.1

Tabla 5.13: Esfuerzos en las fibras superiores e inferiores cuando la viga está sometida a todas las cargas de servicio.

<i>Esfuerzo (Kg/cm²)</i>	<i>Arriba</i>	<i>Abajo</i>
P_e / A_v	- 51.90	- 51.90
$P_e \cdot e_p \cdot C_p / I_v$	+ 42.00	- 31.00
$M_v \cdot C_p / I_v$	- 0.70	+ 0.50
$M_L \cdot C_p / I_v$	- 2.80	+ 2.00
$M_{ALIG} \cdot C_p / I_v$	- 0.04	+ 0.03
$M_{APUNT} \cdot C_c / I_{SC}$	+ 0.80	+ 4.90
$M_{PT} \cdot C_c / I_{SC}$	+ 0.50	+ 7.60
$M_{TM} \cdot C_c / I_{SC}$	+ 0.20	+ 2.30
$M_{CV} \cdot C_c / I_{SC}$	+ 1.00	+ 15.20
Total	- 10.90	- 50.40

Según el RNC, los esfuerzos en el concreto bajo las cargas de servicio son:

$$\text{Esfuerzo en la fibra extrema a compresión} \quad 0.45 f'_{C_{VIGUETA}} = 175.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo de la fibra extrema en tracción} \quad 1.6 \sqrt{f'_{C_{VIGUETA}}} = 30.00 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzos en la losa

Para calcular los esfuerzos en la losa se debe considerar el momento originado por el peso propio de la losa, aligerante, piso terminado, carga viva y apuntalamiento.

Tabla 5.14: Esfuerzos en la losa

<i>Esfuerzos</i>	$\frac{M_{Pt} \cdot C_C \cdot n}{I_{SC}}$	$\frac{M_{Tm} \cdot C_C \cdot n}{I_{SC}}$	$\frac{M_{CV} \cdot C_C \cdot n}{I_{SC}}$	$\frac{M_{Apunt} \cdot C_C \cdot n}{I_{SC}}$	<i>Total</i>
f_1 : Arriba (kg/cm^2)	-3.4	-1.0	-6.9	-7.9	-19.2
f_2 : Abajo (kg/cm^2)	0.4	0.1	0.8	0.9	2.2

5.6.3 Deflexiones por cargas vivas

El cálculo realizado utilizando ecuaciones de estática como si la viga fuera simplemente apoyada (situación que origina las mayores deflexiones).

$$\Delta P_I = -\frac{P_I \cdot e \cdot L^2}{8 \cdot E_V \cdot I_V} = -0.67 \text{ cm.}$$

$$\Delta P_e = \Delta P_I \cdot \frac{P_e}{P_I} = -0.50 \text{ cm.}$$

$$\Delta_V = \frac{5}{384} \frac{W_V \cdot L^4}{E_V \cdot I_V} = +0.03 \text{ cm.}$$

$$\Delta_L = 0.007 \frac{W_{L+ALIG} \cdot L^4}{E_V \cdot I_V} = +0.01 \text{ cm.}$$

$$\Delta_{APUNT} = \frac{P_{APUNT} \cdot a \cdot (3L^2 - 4a^2)}{24 E_{SC} \cdot I_{SC}} = 0.18 \text{ cm}$$

$$\Delta_{CMS} = 0.0054 \frac{W_{CMS} \cdot L^4}{E_{SC} \cdot I_{SC}} = +0.042 \text{ cm.}$$

$$\Delta_{CV} = 0.0054 \frac{W_{CV} \cdot L^4}{E_{SC} \cdot I_{SC}} = +0.064 \text{ cm.}$$

$$\Delta_{TOTAL} = -\Delta P_e + \frac{\Delta P_I + \Delta P_e}{2} \cdot C_C + (\Delta_O + \Delta_{CM}) \cdot (1 + C_C) + \Delta_{CV} = -1.0 \text{ cm.}$$

Asumiendo un C_C de 2.6

$$\Delta_{PERMITIDA} = L / 360 = 1.10 \text{ cm.}$$

Al comparar los valores obtenidos se puede afirmar que lo siguiente se cumple:

$$\Delta_{TOTAL} \leq \Delta_{PERMITIDA}$$

5.6.4 Resistencia de adherencia a cortante

Según el RNC, las secciones situadas a una distancia menor que “ $h/2$ ” desde la cara del apoyo podrán ser diseñadas para la fuerza V_U calculada a una distancia “ $h/2$ ”, si cumplen las siguientes condiciones:

1. Cuando la reacción del apoyo, en dirección del corte aplicado, introduzca compresión en las regiones cercanas al apoyo del elemento.
2. Cuando no existen cargas concentradas entre la cara del apoyo y la sección ubicada a una distancia “ $h/2$ ”.

El cortante mínimo que puede resistir es:

$$V_C = 0.53 \cdot \sqrt{f'_{CEq}} \cdot b_w \cdot d = 1282.0 \text{ kg}$$

Donde: $b_w = 0.11 \text{ m}$.

$$f'_{CEq} = \frac{A_v \cdot f'_{CVIGUETA} + A_L \cdot f'_{CLOSA}}{A_{SC}} = 246.6 \text{ kg/cm}^2$$

Se calcula los cortantes cuando actúan las cargas mayoradas, el cual debe ser menor a: $\phi \cdot V_C = 0.85 V_C = 1089 \text{ kg}$. En la figura 5.15 observamos los cortantes actuantes en la viga.

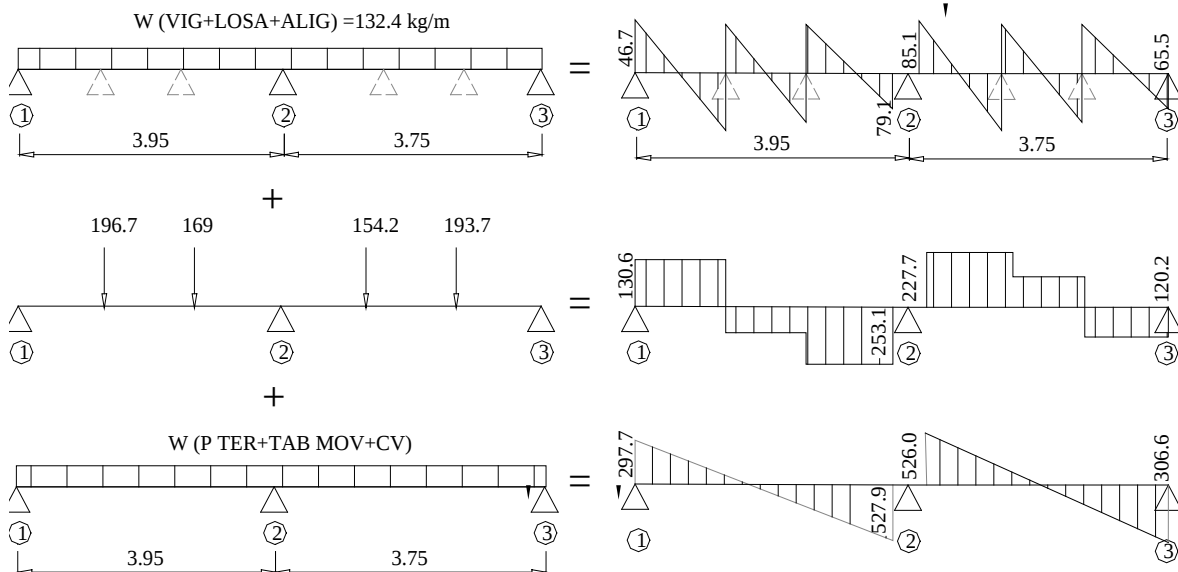


Figura 5.15 Cortante actuante en la viga cuando se considera cargas mayoradas.

Por el análisis antes expuesto se puede afirmar que para el uso de la vigueta pretensada con 0.39 cm^2 de acero de preesfuerzo es necesario determinar las cantidad de acero negativo en los bordes de los tramos. Para este caso se utilizará varillas de fierro de $\frac{1}{2}$ " dispuestas según indica la figura 5.16.

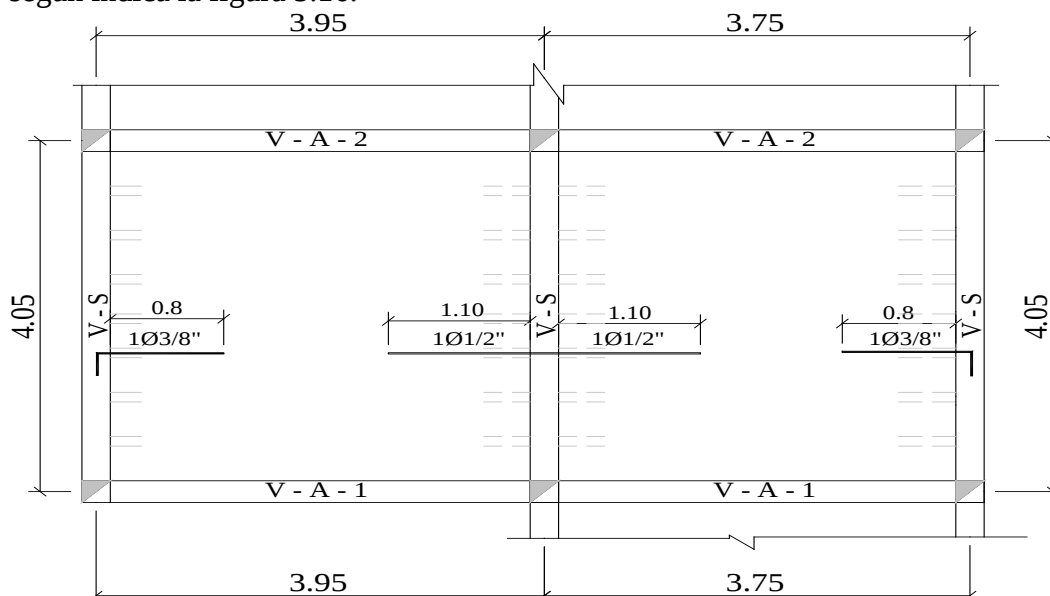


Figura 5.16 Distribución del acero negativo en los bordes de la losa.

5.7 Luces máximas alcanzables

Para determinar las máximas luces a cubrir se ha considerado la vigueta cuya sección se muestra la figura 5.9. El área de preesfuerzo es de 0.39 cm^2 compuesta por 2 alambres de 3 mm y 2 de 4mm.

Se ha realizado el diseño mediante el método de esfuerzos admisibles y se ha verificado por el método de carga última, además se ha cuidado que las deflexiones y cortantes estén dentro del rango permisible; se ha considerado una carga por piso terminado, tabiquería móvil y carga viva de 100, 30 y 200 kg por metro cuadrado, respectivamente. Se realizó una hoja de cálculo que permitió calcular los esfuerzos para distintas luces y tipos de viguetas.

Para determinar los valores de las luces se consideró el uso de dos apoyos temporales ubicados a $L/3$ y $2L/3$ ya que permite utilizar luces mayores.

Tabla 5.14: Luces máximas para losas de 17 cm de altura (2 apoyos temporales).

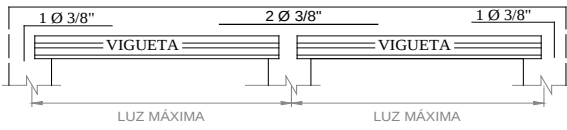
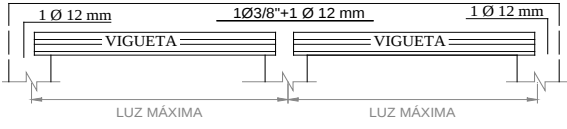
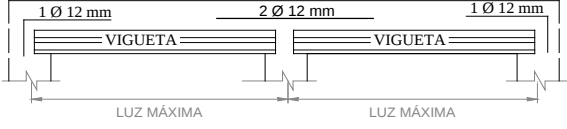
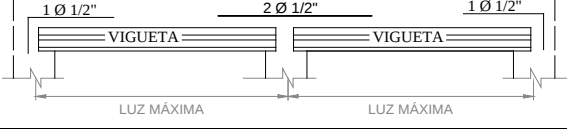
Sección de la viga pretensada a usar en la losa aligerada	Luces máximas para losas con vigas pretensadas			
	$b=40 \text{ cm}$	$b=50 \text{ cm}$	$b=60 \text{ cm}$	$b=70 \text{ cm}$
	Luz (m)	Luz (m)	Luz (m)	Luz (m)
	4.20	3.90	3.60	3.40
	4.80	4.30	4.00	-
	5.10	4.60	-	-
	5.40	-	-	-

Tabla 5.15: Luces máximas para losas de 20 cm de altura (2 apoyos temporales).

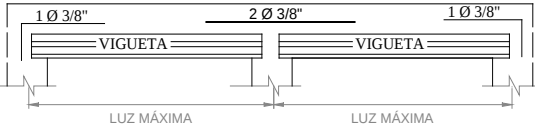
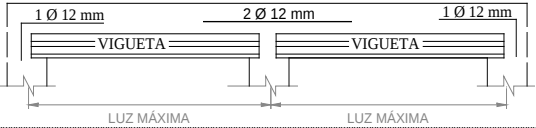
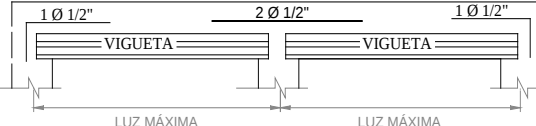
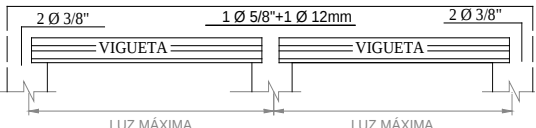
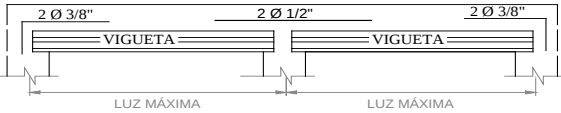
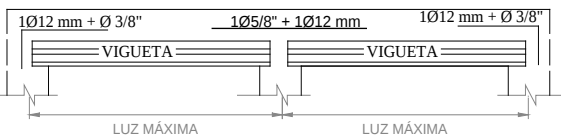
Sección de la viga pretensada a usar en la losa aligerada	Luces máximas para losas con vigas pretensadas			
	$b = 40 \text{ cm}$	$b = 50 \text{ cm}$	$b = 60 \text{ cm}$	$b = 70 \text{ cm}$
	Luz (m)	Luz (m)	Luz (m)	Luz (m)
	4.50	4.20	4.00	3.70
	5.50	5.10	4.80	4.00
	5.90	5.40	-	-
	6.20	-	-	-

Tabla 5.16: Luces máximas para losas de 30 cm de altura (2 apoyo temporales).

Sección de la viga pretensada a usar en la losa aligerada	Luces máximas para losas con vigas pretensadas			
	$b = 40 \text{ cm}$	$b = 50 \text{ cm}$	$b = 60 \text{ cm}$	$b = 70 \text{ cm}$
	Luz (m)	Luz (m)	Luz (m)	Luz (m)
	7.10	6.60	6.20	5.80
	7.60	7.00	-	-

5.8 Referencias

- [5.1] Nilson, Arthur; Winter George. Diseño de Estructuras de Concreto, McGRAW-HILL, Colombia, Santa Fe de Bogotá, 1997, 770 pp.
- [5.2] Branson, Dan E.; Diseño de Vigas de Concreto Presforzado, Instituto del Cemento y del Concreto, México, D.F, 1993, 111 pp.
- [5.3] Normas Peruanas de estructuras ACI- Capítulo peruano, 1998, Perú, Lima, 510 pp.
- [5.4] Análisis, Diseño y Construcción en Concreto Pretensado y Postensado, 2002, Perú, Lima, 100 pp.

Resultados

6.1 Modos de fijación

El poliestireno puede presentarse en multitud de formas y tamaños que se ajusten a las necesidades específicas de la construcción, permitiendo el uso de mayores dimensiones que las comúnmente utilizadas originando una mayor manejabilidad del alineamiento del elemento aligerante, ya que sólo basta alinear una menor cantidad de casetones de grandes dimensiones.

Para aligerantes pesados como las unidades de arcilla no es necesario utilizar dispositivos de fijación ya que su propio peso funcionará como anclaje, lo cual necesariamente no garantiza el alineamiento adecuado de los elementos. Debido al uso de un mayor número de unidades resulta difícil realizar un alineamiento que garantice el ancho uniforme de las viguetas del entrepiso.

Los casetones deben ser fijados con ayuda de clavos, alambres, etc. para evitar el flotamiento o movimiento durante el vaciado del concreto lo que es fácil en los encofrados de madera mas no en encofrados metálicos, donde se pueden utilizar pegamentos que no contengan disolventes que afecten al poliestireno.

Una vez colocado el poliestireno sobre la “torta inferior” en las losas aligeradas en dos direcciones se procede al vaciado de las viguetas y vigas de contorno, previa fijación de los casetones de poliestireno al refuerzo de las vigas de contorno. El refuerzo por temperatura colocado sobre los casetones evita que éstos oscilen verticalmente.

Los casetones de poliestireno complemento de las viguetas pretensadas adquieren en su forma y dimensiones características que garantizan una adecuada unión entre elemento aligerante y vigueta.

6.2 Peso propio de las losas de entrepiso

En el gráfico 6.1 representamos los valores del peso propio de una losa maciza y del sistema de entrepiso compuesto con láminas colaborantes de 2" de calibres 22, 10 y 18 para espesores de 10, 12, 14 cm. El sistema de losas compuestas con láminas colaborantes posee pesos propios menores en un 20%, aproximadamente, con respecto a las losas macizas.

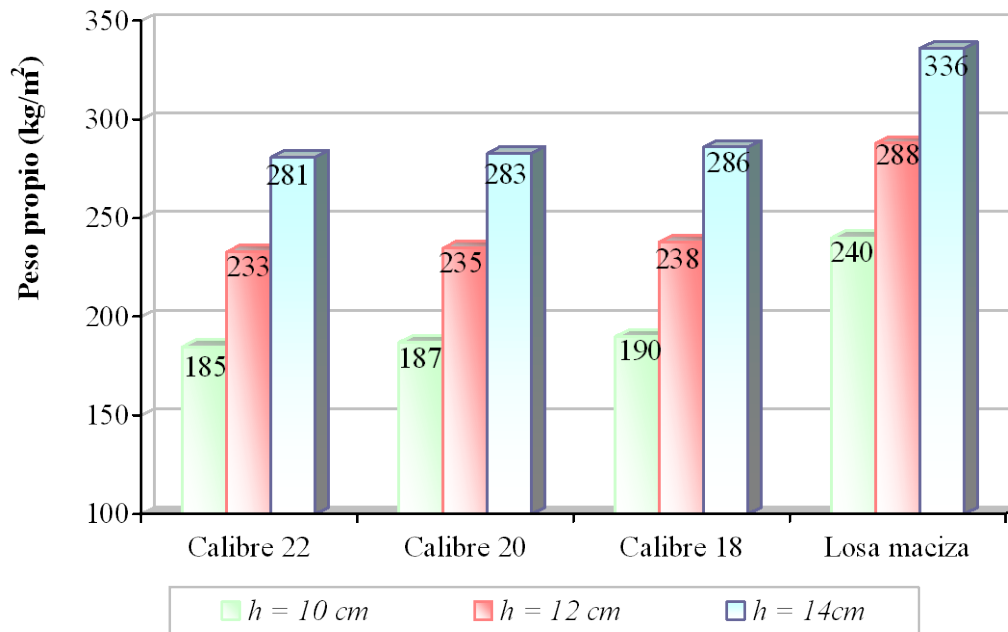


Gráfico 6.1: Peso propio para el sistema de lámina colaborante y losas macizas.

En el gráfico 6.2 y 6.3 se muestran los valores del peso propio del sistema de losas en una dirección aligeradas con poliestireno vaciadas *in situ* y de losas de entrepiso compuestas con viguetas pretensadas para espesores de losa de 17, 20 y 30 cm y distancias entre viguetas de 40, 50, 60 y 70 cm. A estos valores se les debe agregar el peso del material a usar en los trabajos de cielorraso.

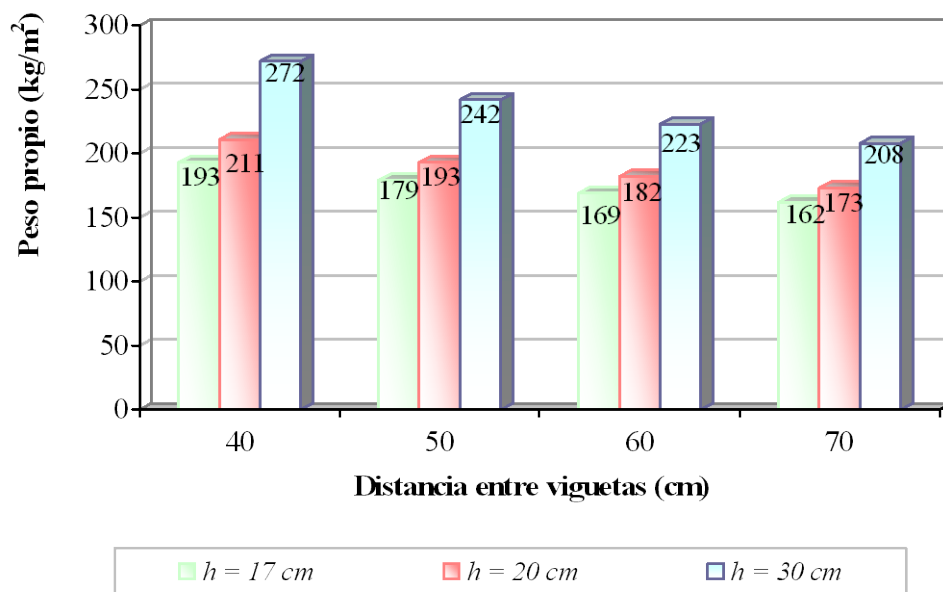


Gráfico 6.2: Peso propio de las losas en una dirección de concreto vaciadas *in situ* y aligeradas con poliestireno.

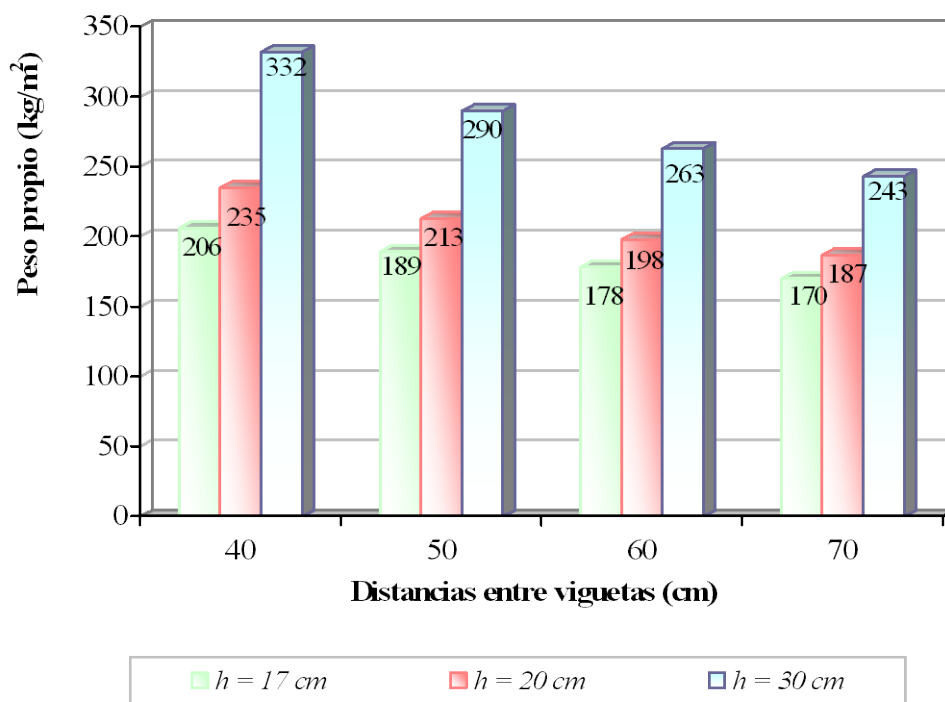


Gráfico 6.3: Peso propio de las losas compuestas con viguetas pretensadas.

En el gráfico 6.4 mostramos los valores de los pesos propios para las losas en dos direcciones aligeradas con poliestireno considerando una losa inferior de 3 cm, *LI*, para evitar los posteriores trabajos de enlucido de la losa de entrepiso.

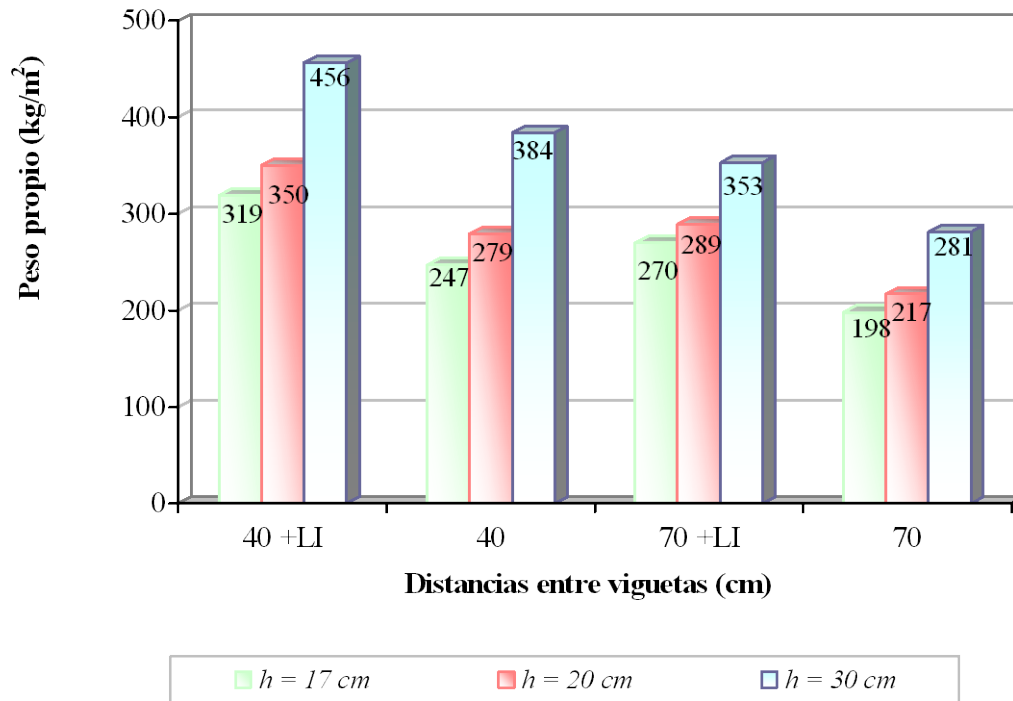


Gráfico 6.4: Peso propio de las losas en dos direcciones aligeradas con poliestireno.

6.3 Luces máximas para cada sistema

Dentro de este apartado presentamos, en forma de gráfico, las luces que permiten cubrir cada sistema de entrepiso analizado, con la finalidad de explicar la información contenida en las tablas 3.8, 4.5, 4.6, 4.7, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 5.14, 5.15 y 5.16 de los capítulos antes desarrollados. El gráfico 6.5 muestra las luces a cubrir con las losas compuestas con lámina colaborante (2") y losas macizas en dos direcciones. Éste indica que el sistema compuesto con lámina colaborante permite cubrir menores luces con respecto a una losa maciza.

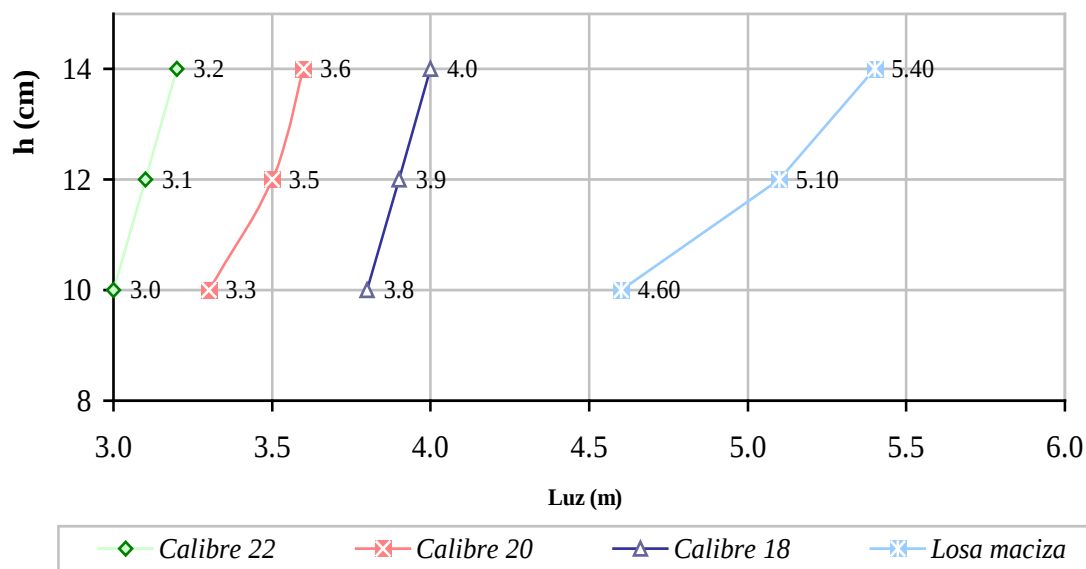


Gráfico 6.5: Luces que cubren las losas con lámina colaborante y losas macizas.

Las losas con láminas colaborante son más ligeras que las losas macizas, soportan más cargas de servicio, pero cubre menos luz.

En la gráfica 6.6 mostramos los valores de las distancias libres entre apoyos que se pueden cubrir con las losas en una dirección dependiendo de la distancia entre viguetas, se observa que las luces alcanzadas por las losas aligeradas con ladrillo de arcilla son semejantes a las alcanzadas por las losas aligeradas con poliestireno de distancia libre entre viguetas de 50 cm. Cabe resaltar que estos valores se calcularon para distintas área de refuerzo y teniendo en cuenta ciertas condiciones de carga (véase capítulo 4).

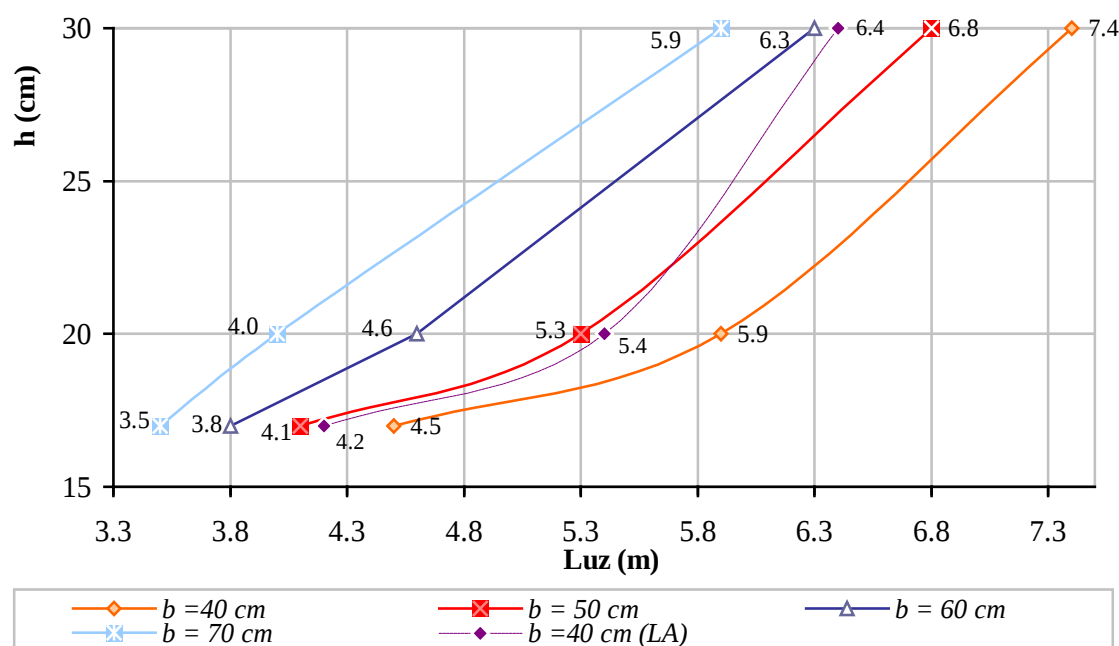


Gráfico 6.6: Luzes que cubren las losas en una dirección aligeradas con poliestireno.

Las luces que permiten cubrir el sistema compuesto con viguetas pretensadas para las condiciones de carga que se detallan en el capítulo 5 son mostradas en la siguiente figura.

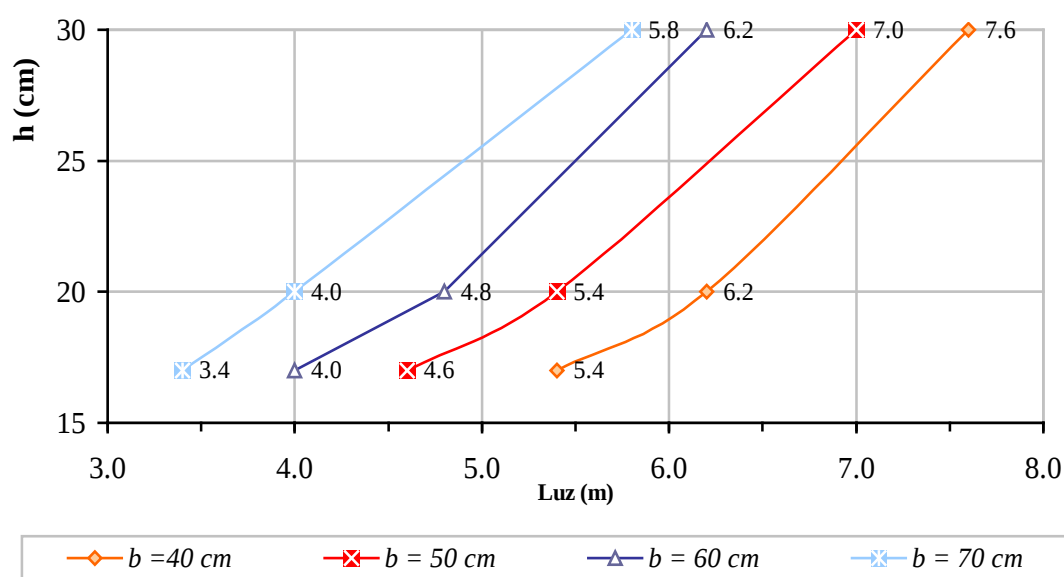


Gráfico 6.7: Luzes que cubren las losas en una dirección compuestas con viguetas pretensadas.

En el gráfico 6.8 mostramos las luces que permiten cubrir el sistema en dos direcciones de losas de concreto vaciadas *in situ* y aligeradas con poliestireno para las condiciones de carga que se detallan en el capítulo 4.

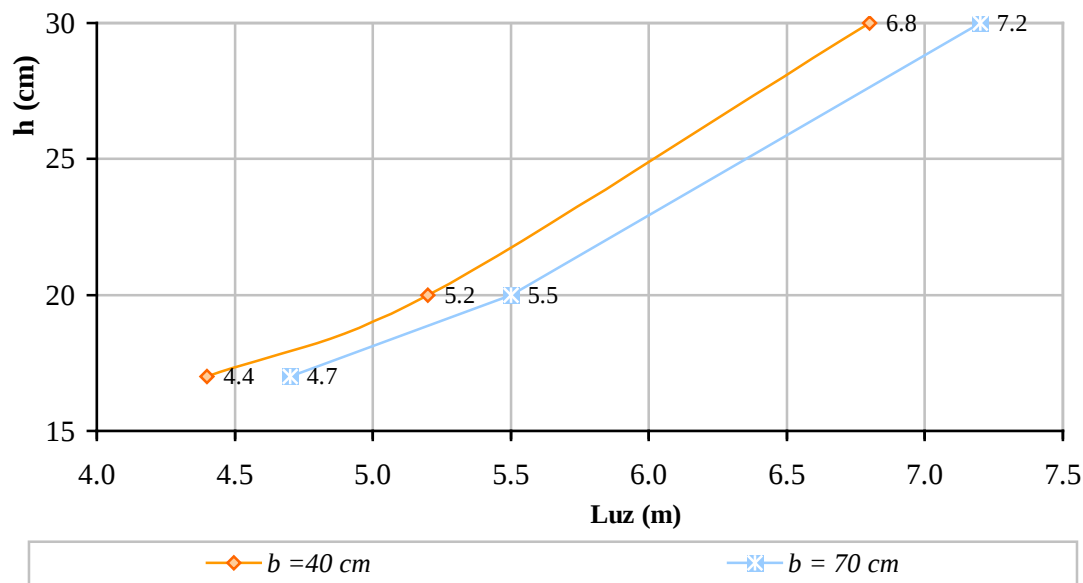


Gráfico 6.8: Luces que cubren las losas en dos direcciones aligeradas con poliestireno.

6.4 Luces recomendables para cada sistema

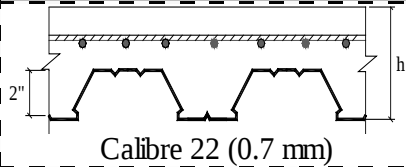
En las tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 observamos los rangos de luces entre ejes recomendables para cada sistema desarrollado dentro de este estudio. La línea roja en las tablas indica los intervalos óptimos que permiten un menor costo. Cabe resaltar que el factor económico no siempre es el más importante, sino también el rendimiento, el aislamiento acústico y térmico, y el peso del sistema.

En el sistema de lámina colaborante, a medida que se aumente el calibre de la lámina y el espesor de la losa, obtenemos una mayor luz. Con un mismo tipo de lámina colaborante se puede trabajar con cargas sobreimpuestas mayores a las normales, si se incrementa el espesor de la losa. El apuntalamiento durante el vaciado de concreto nos permite cubrir una mayor luz pero la capacidad de soportar cargas sobreimpuestas disminuye con respecto a una losa con lámina colaborante vaciada sin apuntalamientos.

Para las losas de concreto vaciadas en el lugar en una dirección, a medida que aumente el espesor de la losa y disminuya el ancho efectivo de cada vigueta, se alcanzarán mayores luces con respecto al sistema de la losa compuesta con lámina colaborante, con la diferencia que soportan menos cargas sobreimpuestas.

Para obtener los resultados de las tablas 6.2, 6.3 y 6.4 realizamos un análisis para verificar el costo de una losa de longitud equivalente a la luz máxima y de ancho igual a 1 metro lineal (véase apéndice A). Por esto, se puede decir que para las losas aligeradas en dos direcciones es recomendable usar un espaciamiento entre viguetas de 70 cm o más, considerando el uso de una losa inferior que evitará el posterior empleo de recursos para la elaboración de un cielorraso o el enlucido del techo.

Tabla 6.1: Luces recomendables para distintas alturas de losa y calibres de las láminas colaborantes (un apoyo intermedio).

Sistema de losas	h	Luz máxima (m)					
	(cm)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
 Calibre 22 (0.7 mm)	10				3.0 (380)		
	12						
	14						
Calibre 20 (0.9 mm)	10				3.0	3.3 (360)	
	12				3.0	3.5 (390)	
	14				3.0	3.6 (460)	
Calibre 18 (1.2 mm)	10					3.3	3.8 (320)
	12					3.3	3.9 (400)
	14					3.3	4.0 (470)

Leyenda

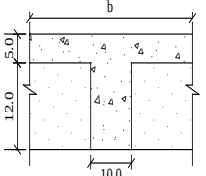
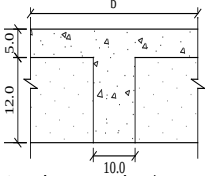
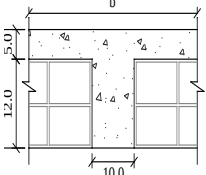
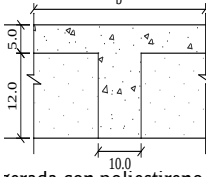
a **$b(c)$**

a, b = Luz entre apoyos, m

c = Carga sobrepuesta para la luz máxima, Kg/cm^2

Longitud recomendable

Tabla 6.2: Luces recomendables para distintas alturas de losas de concreto vaciado *in situ* en una dirección.

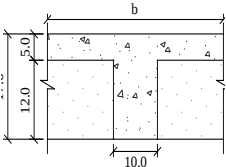
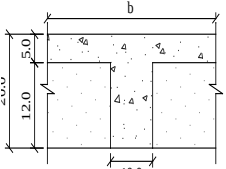
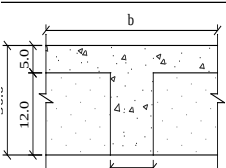
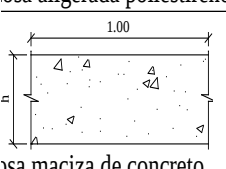
Sistema de losas	b (cm)	Luz máxima (m)											
		2.0		3.0		4.0		5.0		6.0		7.0	
 gerada con poliestireno	70			3.5									
	60			3.8									
	50			4.1									
	40			4.55									
 gerada con poliestireno	70			3.9									
	60			4.3									
 gerada con ladrillo	40			4.3		5.9							
 gerada con poliestireno	70			4.75		5.9							
	60					5.9		6.35					
	50							6.35		6.8			
	40									6.8		7.4	

Leyenda

 $a, b =$ Luz entre apoyos, m

 Longitud recomendable

Tabla 6.3: Luces recomendables para distintas alturas de las losas de concreto vaciado *in situ* en dos direcciones.

Sistema de losas en dos direcciones	b (cm)	Luz máxima (m)											
		2.0		3.0		4.0		5.0		6.0		7.0	
 losa aligerada poliestireno	70	5.0											
 losa aligerada poliestireno	70	5.6											
 losa aligerada poliestireno	70	8.2											
 losa maciza de concreto	10	5.0											
	12	6.0											
	14	6.8											

Leyenda

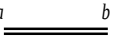
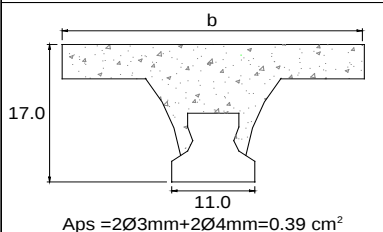
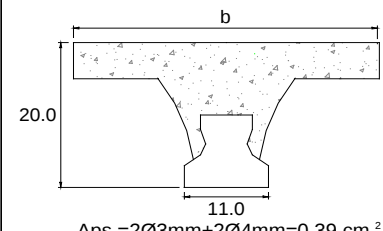
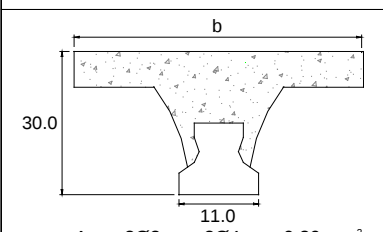
 a, b = Luz entre apoyos, m
 Longitud recomendable

Tabla 6.4: Luces recomendables para distintas alturas de las losas compuestas con viguetas pretensadas.

Sistema de losas	b (cm)													
		2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5		
	70	3.4												
	60		3.4	4.0										
	50				4.6									
	70		3.4	4.0										
	60			4.0	4.8									
	50					5.1								
	70					5.1	5.8							
	60							6.2						
	50								7.0					
	40										7.6			

Leyenda

a

b

a, b = Luz entre apoyos, m

Longitud recomendable

Tabla 6.5: Luces recomendables para cada sistema de entrepiso analizado (losas con láminas colaborantes, viguetas pretensadas y concreto vaciado *in situ*).

Sistema de losas en dos direcciones	b (cm)	Luz entre apoyos (m)							
		2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	
Losa con lámina colaborante	-	4.0							
Losa maciza de concreto	-	6.0							
Losa en dos dirección c/poliestireno	70	7.0							
Losa en una dirección c/poliestireno	70						7.0		
Losa con viguetas pretensadas	70							8.0	

En la tabla 6.5 mostramos los valores de las distancias entre apoyos recomendadas para cada sistema de entrepiso analizado. La línea roja significa que el uso de la losa es óptimo teniendo en cuenta el factor económico y la línea azul significa que se puede usar el sistema pero no es recomendable ya que su uso generará un incremento en el costo con respecto a los otros sistemas.

6.5 Recursos a utilizar según lo diseñado

Para realizar comparaciones entre las cantidades de los insumos que se utilizarán en cada tipo de losa considerada procedimos a diseñar dos paños de losa cuyas características se describen en los planos E1 y E2 del apéndice B. Utilizamos varias alternativas de diseño con distintos valores de espaciamiento libre entre viguetas y tipos de aligerante, posteriormente, calculamos el acero requerido para cada alternativa utilizando diámetros comerciales de acero corrugado. Teniendo en cuenta lo anterior procedimos al metrado de concreto, fierro (no se considera mallas o acero por temperatura) y aligerante a usar. A continuación presentamos el desarrollo de cada alternativa.

6.5.1 Losa compuesta con lámina colaborante

Para el diseño de las losas con láminas colaborantes seguimos la metodología empleada en el capítulo 3. El menor espesor de la lámina colaborante y la menor altura de la losa nos permitirá tener una estructura más económica ya que utilizaremos menos cantidad de insumos. Si se decide construir con el sistema de lámina colaborante los paños 1 y 2 será necesario utilizar para el primero una lámina de calibre 18 y 12 cm de altura de losa y para el segundo una lámina de calibre 20 y 12 cm de altura. En la tabla 6.6 mostramos el resumen de la cantidad de insumos a utilizar.

Tabla 6.6: Resumen de las cantidades de concreto y fierro

<i>Paño considerado</i>	<i>Alternativa de diseño de losa</i>	<i>Concreto (m³)</i>	<i>Fierro (Kg)</i>	<i>Lámina (m²)</i>
Tipo 1	Losa de 12 cm de altura compuesta con una lámina colaborante de calibre 18	2.60	0	27.40
Tipo 2	Losa de 12 cm de altura compuesta con una lámina colaborante de calibre 20	1.80	0	18.80

6.5.2 Losa en una dirección aligerada con poliestireno y vaciada en el lugar

En la tabla 6.7 indicamos las cantidades de los principales insumos a utilizar para las losas de concreto vaciado *in situ*, considerando diferentes alternativas de diseño. Para el paño tipo 1 no se consideró la alternativa de la losa aligerada con poliestireno con 60 cm de distancia libre entre viguetas, ya que para las luces de 3.95 m y 3.75 m, la resistencia al cortante no cumple con lo que el reglamento exige.

El menor uso de concreto y acero de refuerzo se producirá cuando se considera el sistema de losas en una dirección con distancia entre viguetas de 60 cm para el paño 1 y de 70 cm para el paño 2.

Tabla 6.7: Resumen de las cantidades de concreto, fierro y material aligerante si se diseñara como losa aligerada en una dirección.

<i>Paño considerado</i>	<i>Alternativa de diseño de losa</i>	<i>Concreto (m³)</i>	<i>Fierro (Kg)</i>	<i>Aligerante (Kg)</i>
Tipo 1	Losa aligerada c/ladrillo de arcilla: h=17 cm, b= 40cm	2.10	98.10	3120.00 (240 und)
	Losa aligerada c/poliestireno: h=17 cm, b= 40cm	2.10	84.80	31.20
	Losa aligerada c/poliestireno: h = 17 cm, b= 50 cm	1.90	65.40	33.60
	Losa aligerada c/poliestireno: h = 17 cm, b= 60 cm	1.85	60.00	34.80
Tipo 2	Losa aligerada c/ladrillo de arcilla: h=17 cm, b= 40cm	1.50	54.60	2184.00 168 (und)
	Losa aligerada c/poliestireno: h=17 cm, b= 40cm	1.50	40.20	21.60
	Losa aligerada c/poliestireno: h = 17 cm, b= 50 cm	1.30	45.00	22.80
	Losa aligerada c/poliestireno: h = 17 cm, b= 60 cm	1.25	39.60	23.40
	Losa aligerada c/poliestireno: h = 17 cm, b= 70 cm	1.20	33.00	24.30

Si usamos como material aligerante el poliestireno expandido con una distancia entre viguetas de 60 cm para el paño tipo 1, se podría ahorrar un 12 % en concreto y 39% en refuerzo, con respecto a las losas aligeradas con ladrillos de arcilla. Estos porcentajes para el paño 2 serán de 20% para el concreto y 40% para el refuerzo

Tabla 6.8: Diferencias en porcentaje de las cantidades de concreto, fierro con respecto a una losa aligerada con ladrillo artesanal de arcilla.

<i>Paño considerado</i>	<i>Alternativa de diseño de losa</i>	<i>Concreto (%)</i>	<i>Fierro (%)</i>	<i>Aligerante (%)</i>
Tipo 1	Losa aligerada c/poliestireno: h=17 cm, b= 40cm	-	- 14.00	- 99.00
	Losa aligerada c/poliestireno: h = 17 cm, b= 50 cm	- 9.00	- 33.00	- 99.00
	Losa aligerada c/poliestireno: h = 17 cm, b= 60 cm	- 12.00	- 39.00	- 99.00
Tipo 2	Losa aligerada c/poliestireno: h=17 cm, b= 40cm	-	-27.00	-99.00
	Losa aligerada c/poliestireno: h = 17 cm, b= 50 cm	-13.00	-17.00	-99.00
	Losa aligerada c/poliestireno: h = 17 cm, b= 60 cm	-16.00	-27.00	-99.00
	Losa aligerada c/poliestireno: h = 17 cm, b= 70 cm	-20.00	-40.00	-99.00

De acuerdo a los cálculos realizados podemos concluir que usando el poliestireno como material aligerante, el ahorro del concreto para el paño tipo 1 fluctúa entre $0.007 - 0.01 \text{ m}^3$ por m^2 , del refuerzo entre $0.50 - 1.4 \text{ kg}$ por m^2 ; y para el paño tipo 2, el ahorro de concreto será entre $0.007 - 0.015 \text{ m}^3$ por m^2 , del refuerzo entre $0.70 - 1.1 \text{ kg}$ por m^2 .

6.5.3 Losa en dos direcciones aligerada con poliestireno y vaciada en el lugar

En la tabla 6.9 indicamos las cantidades de los materiales a utilizar de concreto, fierro y aligerante según la alternativa considerada para las losas en dos direcciones. Cuando una losa usa poliestireno como aligerante se puede ahorrar aproximadamente un 74 % en fierro con respecto a una losa aligerada con ladrillo de arcilla.

Tabla 6.9: Resumen de las cantidades de concreto, fierro y material aligerante si se diseñara como losa aligerada en dos direcciones.

<i>Paño considerado</i>	<i>Alternativa de diseño de losa</i>	<i>Concreto (m^3)</i>	<i>Fierro (Kg)</i>	<i>Aligerante (kg)</i>
Tipo 1	L alig.c/ladrillo de arcilla en 2D: h = 17 cm, b = 40cm.	2.65	200.00	2470.00 (190 und)
	L alig.c/ladrillo de arcilla en 2D: h = 20 cm, b = 70cm.	2.25	94.00	2860.00 (220 und)
	Losa maciza concreto: h = 10 cm	2.80	138.70	-
	Losa aligerada c/poliestireno en 2 direcciones: h = 17 cm - con losa inferior.	2.80	54.30	34.80
	Losa aligerada c/poliestireno en 2 direcciones: h = 20 cm - sin losa inferior.	2.10	51.60	42.00
Tipo 2	L alig.c/ladrillo de arcilla en 2D: h = 17 cm, b = 40cm.	1.80	115.2	1820.00 132 (und)
	L alig.c/ladrillo de arcilla en 2D: h = 17 cm, b = 70cm.	1.40	51.70	2280.00 167 (und)
	Losa maciza concreto: h = 10 cm.	1.90	74.80	-
	Losa aligerada c/poliestireno en 2 direcciones: h = 17 cm - con losa inferior.	2.00	33.00	21.60
	Losa aligerada c/poliestireno en 2 direcciones: h = 20 cm - sin losa inferior.	1.40	38.90	27.00

Tabla 6.10: Diferencias en porcentaje de las cantidades de concreto, fierro con respecto a una losa en dos direcciones aligerada con ladrillo artesanal de arcilla.

<i>Paño considerado</i>	<i>Alternativa de diseño de losa</i>	<i>Concreto (%)</i>	<i>Fierro (%)</i>	<i>Aligerante (%)</i>
Tipo 1	L alig.c/ladrillo de arcilla en 2D: h =20 cm, b = 70cm.	-15.00	-53.00	+16.00
	Losa maciza concreto: h =10 cm	+5.00	- 31.00	-
	Losa aligerada c/poliestireno en 2 direcciones: h =17 cm con losa inferior.	+5.00	- 73.00	- 99.00
	Losa aligerada c/poliestireno en 2 direcciones: h = 20 cm - sin losa inferior.	- 20.00	- 74.00	- 98.00
Tipo 2	L alig.c/ladrillo de arcilla en 2D: h =17 cm, b = 70cm.	-21.00	-55.00	+26.00
	Losa maciza concreto: h =10 cm	+5.00	-35.00	-
	Losa aligerada c/poliestireno en 2 direcciones: h =17 cm con losa inferior.	+10.00	-70.00	-99.00
	Losa aligerada c/poliestireno en 2 direcciones: h = 20 cm - sin losa inferior.	-15.00	-66.00	-98.00

Si comparamos los valores de las tablas 6.9 y 6.10 podemos apreciar un gran ahorro en el acero de refuerzo y un bajo peso propio cuando se usa poliestireno. De lo que observamos en la tabla 6.6 se puede afirmar que es más recomendable construir una losa en dos direcciones con una losa inferior, ya que evita el posterior trabajo del cielorraso, disminuyendo la cantidad de acero de refuerzo de 5.3 kg por m² para el paño tipo 1 y 4.4 kg por m² para el paño tipo 2 con respecto a las losas aligeradas con ladrillos de arcilla.

6.5.4 Losa con vigueta pretensadas

En el diseño con viguetas pretensadas, según el análisis elaborado en el capítulo 5 para los paños típicos propuestos, se hace necesario el uso de una vigueta pretensada de un área de preesfuerzo de 0.39 cm² (2 alambres de 3 mm y 4 mm) y una altura de 17 cm. En la tabla 6.11 se detalla las cantidades de los insumos que se requerirán si se opta por esta alternativa usando un apuntalamiento ubicado a $L/3$ y $2L/3$.

La cantidad de fierro en kg de la tabla 6.11 corresponde al refuerzo negativo necesario en los bordes continuos y discontinuos de la losa.

Tabla 6.11: Cantidades de insumos necesarios si se escogiera construir con viguetas pretensadas.

Tipo de paño considerado	<i>b</i> (cm)	Concreto (m ³)	Fierro (Kg)	Aligerante (Kg)	Vigueta (ml)
Tipo 1	40	1.83	24.0	31.2	60.8
	50	1.75	19.2	33.6	45.6
	60	1.67	22.5	34.8	38.0
Tipo 2	40	1.30	15.6	22.8	40.0
	50	1.20	15.5	24.0	33.3
	60	1.14	15.6	25.2	26.6

En términos de economía de material, en los gráficos 6.10 y 6.11 se muestran las cantidades de concreto y fierro si se hubiera diseñado los paños 1 y 2 propuestos con los sistemas analizados.

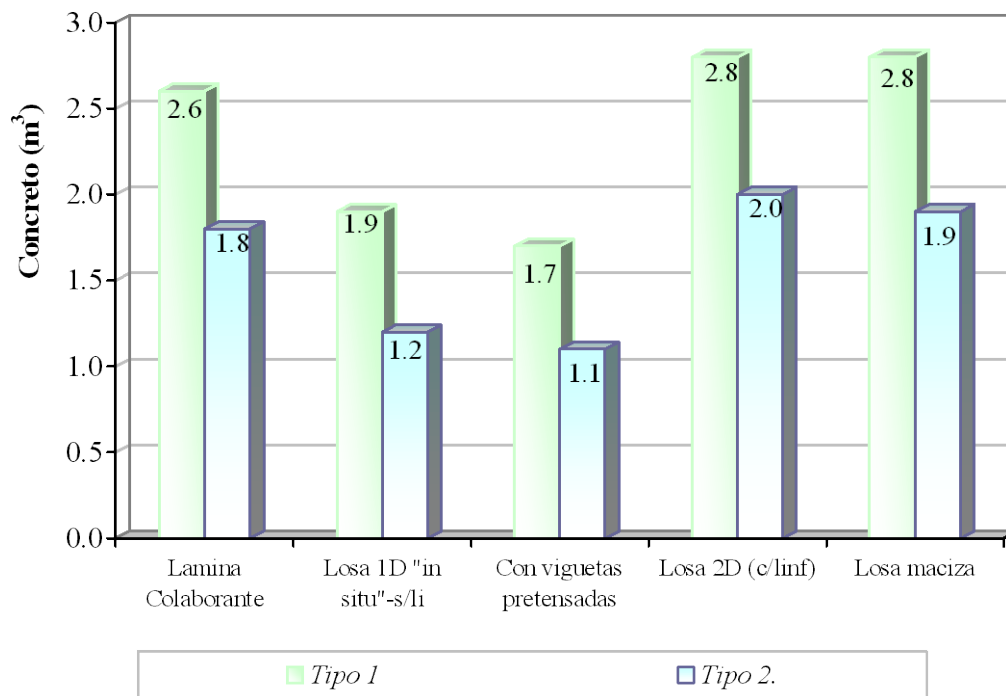


Gráfico 6.9: Cantidad de concreto en m³ necesaria para los paños 1 y 2 según el sistema de losa de entrepiso.

Si comparamos la cantidad de concreto que usaríamos en una losa aligerada en dos direcciones con el sistema compuesto con viguetas pretensadas y con las losas coladas *in situ*, se puede obtener una diferencia de concreto a usar del 39 y 32 %, respectivamente. Pero si se opta por estos sistemas se deberá considerar el material necesario para elaborar el cielorraso.

El sistema compuesto con láminas colaborantes, la losa aligerada con poliestireno en dos direcciones y la losa maciza manejan la mayor cantidad de concreto, pero no requieren de trabajos posteriores de cielorraso. Además, el sistema con láminas colaborantes y viguetas pretensadas permiten mayores cargas de servicio y facilitan la tarea de encofrado y desencofrado.

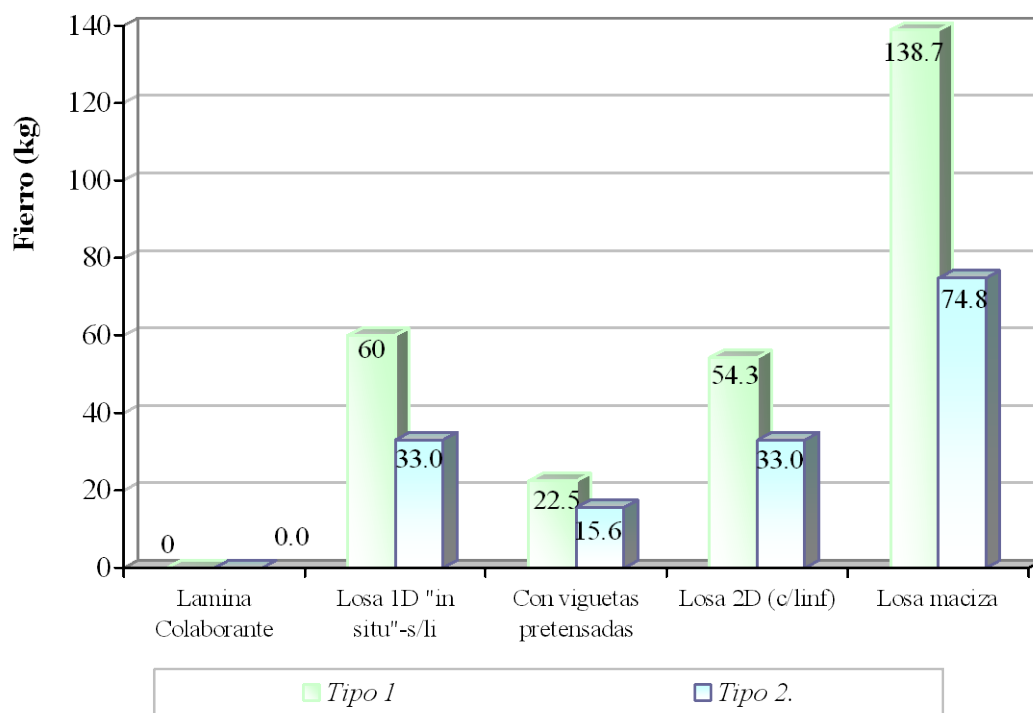


Gráfico 6.10: Cantidad de hierro en Kg necesario para los paños 1 y 2 según el sistema de losas de entrepiso.

La losa maciza genera un incremento de 120% en el manejo de las cantidades de acero con respecto a las losas en una dirección. La cantidad de acero a usar es semejante para losas coladas *in situ* en una y dos direcciones. Las losas compuestas con viguetas pretensadas y lámina colaborante permiten minimizar el manejo del refuerzo en construcción.

6.6 Costo unitario de los sistemas de entrepiso

En este apartado realizaremos un análisis desde el punto de vista económico. Se mostrará un promedio del costo en dólares por metro cuadrado de los paños 1 y 2, dependiendo del sistema de losas considerado en el diseño. El análisis realizado incluye el costo de los insumos, del enlucido de cielorraso y del encofrado mas no del refuerzo de temperatura. El detalle de cómo se ha determinado estos valores se puede observar en el apéndice A.

Para las losas en dos direcciones aligeradas con poliestireno se ha considerado el uso de un encofrado caravista y una malla cocada embebida en el concreto en la “torta inferior” para evitar posibles fisuras en el cielo raso. Esto permitirá iniciar los trabajos del acabado final de la losa una vez desencofrada previo resane. Para las losas

En la siguiente gráfica mostramos el costo para el sistema compuesto con lámina colaborante y losa maciza.

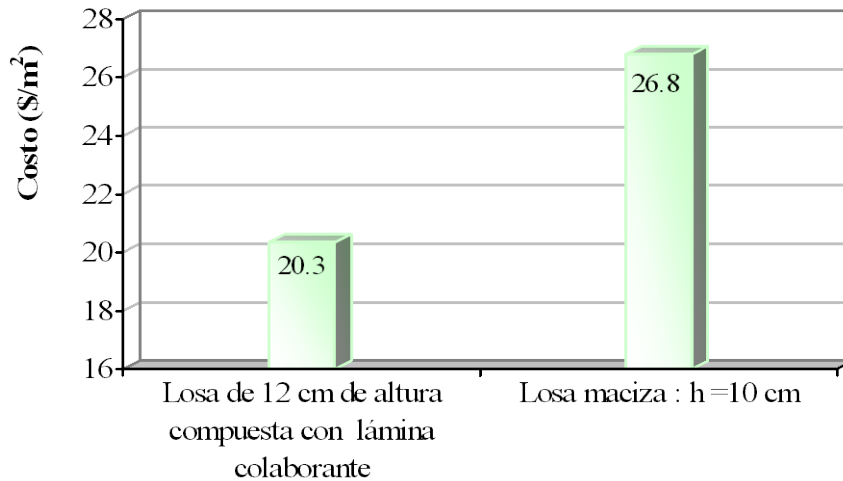


Gráfico 6.9: Costo en dólares para los sistemas de losa maciza y con lámina colaborante para un espesor de 12 cm.

En el gráfico 6.10 observamos que el costo por metro cuadrado de la losa aligerada con ladrillo de arcilla y distancia entre viguetas de 40 cm (barra verde) es semejante al costo de la losa aligerada con poliestireno (barra rosada) y espaciado entre viguetas de 60 cm. El costo por metro cuadrado de una losa de 40 cm de distancia entre viguetas se incrementa aproximadamente en un 8 % cuando se utiliza como material aligerante el poliestireno.

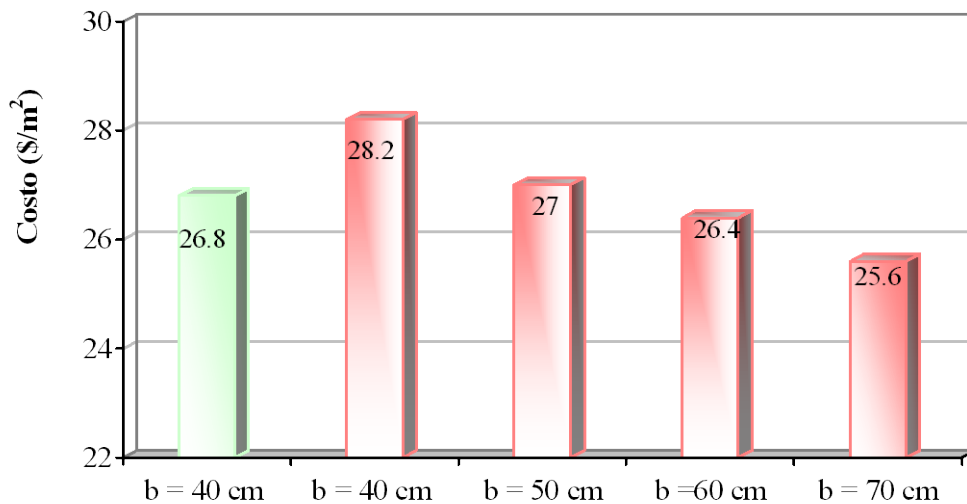


Gráfico 6.10: Costo en dólares para losas en una dirección y aligeradas con poliestireno y ladrillos de arcilla con una altura de 17 cm.

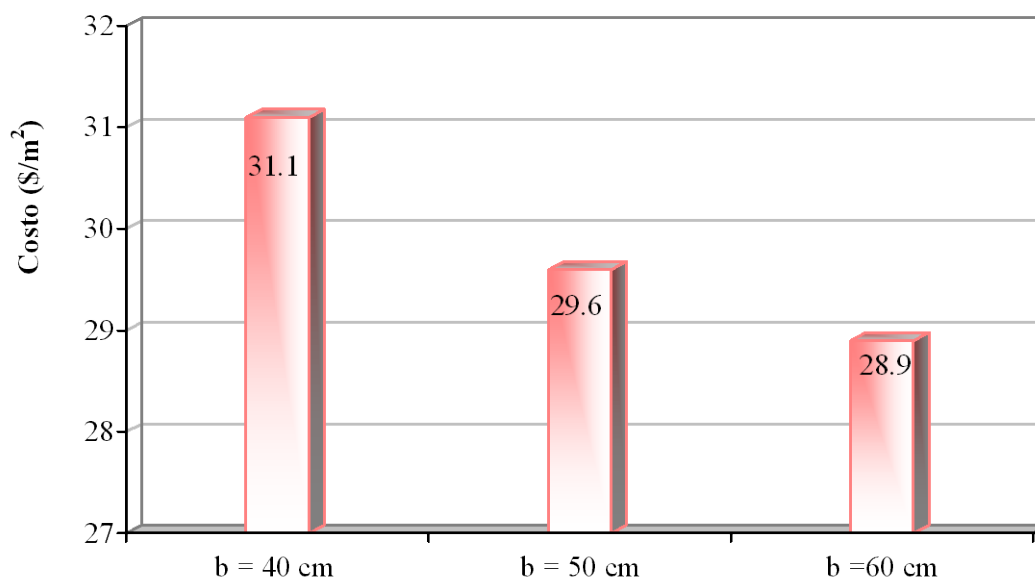


Gráfico 6.11: Costo en dólares para losas compuestas con viguetas pretensadas en una dirección y aligeradas con poliestireno con una altura de 17 cm.

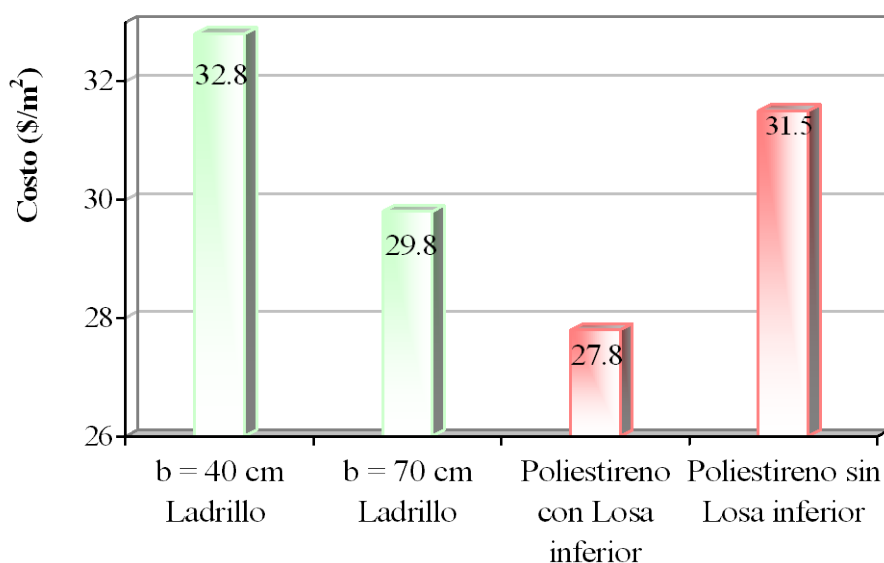


Gráfico 6.12: Costo en dólares para las losas en dos direcciones aligeradas con poliestireno y ladrillo.

El gráfico 6.12 muestra el costo por metro cuadrado para las losas aligeradas con ladrillo de arcilla (barras verdes) para un ancho entre viguetas de 40 y 70 cm en ambas direcciones. Debido a la versatilidad del poliestireno se puede considerar, en el diseño, bloques distribuidos de tal forma que sus dimensiones sean iguales en toda el área a construir. Lo antes expuesto fue considerado cuando se diseñó los paños 1 y 2 como losas en dos direcciones aligeradas con poliestireno y su costo por metro cuadrado es de \$27.8 cuando se considera una losa inferior y de \$ 31.5 si no se considera, esta diferencia se debe al costo que debe incrementarse por los trabajos posteriores del cielorraso (véase apéndice A).

Conclusiones y recomendaciones

En este estudio desarrollamos metodologías para el dimensionamiento de las losas de entrepiso en una y dos direcciones con tres tipos de sistemas propuestos: Sistema con láminas colaborantes, con losas coladas en el lugar y con losas compuestas con viguetas pretensadas. Su dimensionamiento lo hemos realizado con ayuda de las hojas de cálculo y verificado con el programa estructural Sap2000.

Para cada sistema de losas presentamos gráficamente las luces máximas alcanzables, dependiendo de las cargas consideradas y de las condiciones de contorno de la losa. También establecemos las diferencias entre estos sistemas desde el punto de vista económico, de aligeramiento y de manejo de materiales en la obra. Esto da una visión global de las características y del funcionamiento de los sistemas de las losas propuestos en esta investigación.

7.1 Conclusiones

- 1 El poliestireno como material aligerante de las losas de entrepiso proporciona una disminución del peso del elemento aligerante en un 99%, lo que origina que el peso propio de la losa disminuya en un 40% con respecto a las losas aligeradas de ladrillos de arcilla.
- 2 Gracias a su versatilidad, el poliestireno permite trabajar con distancias libres entre viguetas mayores a los 30 cm, considerada usualmente. Además es un material que puede ser trabajado con las herramientas habituales en la obra, lo que garantiza ajustes perfectos. Por otro lado, su bajo peso permite la facilidad de transporte y grandes economías en la instalación, sea cual fuere el sistema constructivo utilizado. El poliestireno posee una conductividad térmica baja, su estructura de células cerradas y rellenas de aire dificultan el paso del calor o del frío, traduciéndose en una capacidad alta de aislamiento térmico y acústico.
- 3 El sistema de lámina colaborante permite un mayor rendimiento en la construcción de las losas de entrepiso. Este sistema es ideal cuando se maneja una gran área para techar. Permite obtener luces libres de hasta cuatro metros para una lámina de 2", con la ventaja de trabajar con cargas sobreimpuestas de 400 kg/m^2 .

- 4 El sistema de las losas reforzadas con láminas colaborantes evita el uso de los recursos en la tarea de encofrado y desencofrado, y en los trabajos posteriores del cielorraso. El sistema compuesto con láminas colaborantes, la losa aligerada con poliestireno en dos direcciones y la losa maciza manejan la mayor cantidad de concreto, pero no requieren trabajos posteriores de cielorraso. Por ello, en las losas vaciadas *in situ* es conveniente dejar una losa inferior 2 ó 3 cms que permita obviar los trabajos de enlucido o emplear tiempo y dinero en ejecutar los trabajos para el cielorraso de la losa.
- 5 La losa maciza genera un incremento de 120% en el manejo de las cantidades de acero con respecto a las losas en una dirección. La cantidad de acero a usar es semejante para losas coladas *in situ* en una y dos direcciones. Las losas compuestas con viguetas pretensadas y láminas colaborantes permite minimizar el manejo del refuerzo en construcción.
- 6 El costo de las losas aligeradas con ladrillo de arcilla y distancia entre las viguetas de 40 cm equivale al costo del sistema aligerado con poliestireno de 70 cm entre viguetas, resaltando que las luces a cubrir con este sistema como máximo serán de 3.5 m, es decir, un 23% menos con respecto a las losa en una dirección aligeradas con ladrillo.
- 7 Para las losas *in situ* y las compuestas con viguetas pretensadas en una dirección aligeradas con poliestireno es recomendable, desde el punto de vista económico, utilizar el máximo espaciado entre viguetas (70 cm), aunque esto signifique incrementar la altura de la losa para cumplir con las solicitudes frente al corte.
- 8 De las alternativas analizadas, para los paños 1 y 2 propuestos, el sistema de las losas compuestas con láminas colaborantes presenta un costo de \$20.3 por metro cuadrado. Otra de las alternativas económicas son las losas aligeradas con poliestireno en una y dos direcciones.

7.2 Recomendaciones

- 1 Innovar y propiciar el uso de los nuevos sistemas de entrepiso para lograr una mayor calidad de la obra y demanda de los mismos, lo que implicará una reducción en los costos, frente a los métodos tradicionales.
- 2 Al momento de elegir un sistema de entrepiso debemos considerar aspectos como el comportamiento estructural, la facilidad de manejo, los acabados, la cantidad de materiales a manejar en obra, la seguridad y los desperdicios de materiales. El costo del sistema de entrepiso no siempre prima sobre los aspectos antes mencionados.
- 3 Cuando se use el poliestireno como material aligerante debemos conocer las especificaciones técnicas sobre las máximas temperaturas que pueden soportar, así como la temperatura donde comienza a emitir gases perjudiciales para la vida humana.
- 4 El sector privado de la construcción debe invertir en estudios que permitan analizar algunos de los sistemas propuestos en esta investigación, además de los ya vistos: lámina colaborante, losas compuestas viguetas pretensadas y losas aligeradas con poliestireno.