

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**PROPUESTAS TÉCNICAS PARA EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE LOSAS EN DOS SENTIDOS**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de
BACHILLERA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORA:

Laura Lía Inca Martínez

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER
EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORES:

Daniel Angel Graus Medina

Mauricio Jesús Vidal Cardeña

André Alexander David Polanco

Sebastián José Alvarado Cabrera

ASESOR:

Robinson Ucañan Diaz

Lima, Diciembre, 2020

RESUMEN

En la presente investigación se analizan tres tipos de losas, losas macizas en dos direcciones, losas aligeradas en dos direcciones y losas BubbleDeck. Como parte del análisis de cada una de ellas, se parte de la definición y composición de cada losa. Luego, el análisis tomará en cuenta tres aspectos importantes para poder observar las principales ventajas y desventajas que tiene cada tipo de losa. En primer lugar, se estudia el comportamiento estructural, donde con un caso ejemplo se observa el desempeño de cada losa para dos condiciones, losas sin vigas y losas con vigas. En segundo lugar, la constructabilidad toma en cuenta diferentes aspectos tales como, proceso constructivo, materiales y tiempo de construcción. En tercer lugar, el costo se calculará por metro cuadrado dependiendo de los dos aspectos mencionados y extrayendo datos del mercado nacional e internacional. Cuando se finaliza el análisis de los tres aspectos, se procederá a seleccionar una para un caso de estudio de un colegio ubicado en el distrito de Puente Piedra. La elección de la losa tomará en cuenta los límites económicos establecidos, además de los tres aspectos analizados. Finalmente, se escoge la losa más conveniente para el presente caso, se describen las ventajas y desventajas de cada losa, ya sea sin vigas o con vigas, y se realizan los comentarios finales que alienten la búsqueda de nuevas tecnologías que pueda mejorar el aspecto económico del sector construcción en el Perú.

ÍNDICE

RESUMEN.....	ii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABLAS.....	vii
1. GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Alcance	2
1.4. Objetivos.....	3
1.5. Metodología.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Definición y clasificación de losas	5
2.2. Losa nervada en dos direcciones	7
2.2.1. Descripción.....	7
2.2.2. Diseño estructural.....	8
2.2.3. Oferta en el mercado peruano	8
2.2.4. Proceso Constructivo.....	9
2.3. Losa maciza	10
2.3.1. Descripción.....	10
2.3.2. Diseño estructural.....	11
2.3.3. Oferta en el mercado peruano	12
2.3.4. Procedimiento Constructivo.....	12
2.4. Losa Bubble Deck	13
2.4.1. Descripción.....	13
2.4.2. Esferas de relleno	14

2.4.3.	Experiencias de uso	15
2.4.4.	Ventajas ambientales	15
2.4.5.	Diseño estructural	16
2.4.6.	Procedimiento Constructivo	19
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	20
3.1.	Comportamiento estructural	21
3.1.1.	Caso 1: Losa con vigas	21
3.1.2.	Caso 2: Losa sin vigas	29
3.2.	Peso sísmico	38
3.2.1.	Losa aligerada en dos direcciones con vigas	38
3.2.2.	Losa Bubble Deck sin vigas	38
3.2.3.	Losa Bubble Deck sin vigas	39
3.3.	Constructabilidad	40
3.3.1.	Encofrado	40
3.3.2.	Concreto	40
3.3.3.	Mano de obra	41
3.3.4.	Tiempo	41
3.4.	Costos	43
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.	REFERENCIAS	50
	ANEXOS	52
	ANEXO A: Análisis de Precios Unitarios	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de fuerzas de sismo. Fuente: Muñoz, 1999.....	2
Figura 2: Losa en dos direcciones	6
Figura 3: Losa en una dirección	6
Figura 4: Losa Nervada de Concreto Armado. Fuente: Google imágenes.....	7
Figura 5: Encofrado de losa nervada con casetón recuperable NORPIN.	7
Figura 6: Centro de Convenciones PUCP. Fuente: Propia.....	8
Figura 7: Losa plana apoyada en columnas (izq) y losa maciza apoyada en vigas peraltadas (der)	10
Figura 8: Acero de refuerzo colocado previo al vaciado de la losa maciza bidireccional	11
Figura 9: Complejo Felipe Mc Gregor construido con losas macizas bidireccionales.	11
Figura 10: Panel tipo Elemento Filigrana. Fuente: Segura, 2017.	13
Figura 11: Panel tipo Módulos reforzados. Fuente: Segura, 2017.....	13
Figura 12: Panel tipo Losas terminadas. Fuente: Segura, 2017.	14
Figura 13: Retiro de esferas en toda la zona crítica de punzonamiento.....	17
Figura 14: Vista en planta y elevación del agrietamiento por punzonamiento debido a grandes esfuerzos.....	18
Figura 15: Retiro de solo las esferas ubicadas sobre el camino de las grietas que se generarían por punzonamiento.....	18
Figura 16: Ciclo de Producción Bubble Deck de Prelosa. Fuente: Bubble Deck	19
Figura 17: Caso 1 - Planta con vigas peraltadas en todos los bordes de los paños	20
Figura 18: Caso 2 - Planta sin vigas peraltadas, losa plana apoyada solo en las columnas	20
Figura 19 Sección transversal de losa maciza bidireccional H=25cm.....	22
Figura 20 Sección transversal de la losa aligerada bidireccional H=20cm.....	22
Figura 21 Sección transversal de losa Bubble Deck H=23cm	22
Figura 22: Esquema losa aligerada.....	23
Figura 23: Momentos en paño de losa	25
Figura 24: Distribución de acero en planta de losa aligerada bidireccional.....	28
Figura 25: Distribución de acero en planta de losa maciza y Bubble Deck.....	28
Figura 26: Losa maciza (izquierda) vs. BubbleDeck (derecha)-Momentos flectores- Eje XX	30
Figura 27: Losa maciza (izquierda) vs. BubbleDeck (derecha)- Momentos flectores-Eje YY	30
Figura 28: Losa maciza (izquierda) vs. BubbleDeck (derecha)- Fuerzas cortantes-Eje YY ...	31

Figura 29: Losa maciza (izquierda) vs. BubbleDeck (derecha)- Fuerzas cortantes-Eje XX ...	31
Figura 30: Deformada de la losa maciza amplificada por 100.....	31
Figura 31: Deformada de la losa BubbleDeck amplificada por 100.....	32
Figura 32: Gráfico de costo por m2 de cada sistema de losa estudiado.....	45



LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Diámetros de esfera para diferentes peraltes de losa tipo BDM. Fuente: Manual Danstek, 2016.....	15
Tabla 2: Valores recopilados de peralte de losas aligeradas del libro del Ing. Antonio Blanco (Estructuración y Diseño de Edificaciones en Concreto Armado,1994)	21
Tabla 3: Manual de especificaciones técnicas de losa BubbleDeck	22
Tabla 4: Coeficientes tomados de la Tabla N°15 de Kalmanok. Fuente: Kalmanok.....	25
Tabla 5: Diseño losa aligerada en dos direcciones.....	26
Tabla 6: Diseño de losa maciza con vigas.....	26
Tabla 7: Diseño de losa BubbleDeck con vigas	26
Tabla 8: Fuerzas máximas cortantes y momentos flectores por losa	32
Tabla 9: Resultados generales del diseño por caso y por tipo de losa	36
Tabla 10: Presupuesto losa de 10 x 10 m ² con cada sistema.....	44
Tabla 11: Resumen de costos de cada sistema de losa estudiado	45
Tabla 12. APU CONCRETO PREMEZCLADO $f'_c=210$ kg/cm ²	52
Tabla 13. APU ACERO DE REFUERZO $f_y=4200$ kg/cm ²	52
Tabla 14. APU ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - Vigas.....	52
Tabla 15. APU ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - Losas.....	53
Tabla 16. APU LADRILLO PARA TECHO 15x30x30 cm.....	53
Tabla 17. APU PLANCHA BDM 23 cm.....	53
Tabla 18. APU PLANCHA BDM 28 cm.....	53

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

Las losas son elementos estructurales muy importantes en la construcción de cualquier edificación. La adecuada elección del tipo de losa a usar en un proyecto es esencial para el buen funcionamiento de este. Por ello, el análisis de múltiples variables como el costo que implica construir la losa, su comportamiento estructural y el proceso constructivo para la realización de este es esencial para evitar sobrecostos y errores en la construcción que pueden poner en riesgo la vida de las personas. No obstante, antes de empezar en analizar las variables que pueden influir en la utilización de un tipo de losa, se debe iniciar por decidir si se usara una losa en una dirección o en dos direcciones.

El factor que influye en la decisión de escoger una losa en una o dos direcciones depende mayormente en las longitudes de cada lado que conforman las losas. Luego, se revisa el análisis estructural de la estructura elegida y se verifica si es adecuada para el proyecto. Finalmente, se evalúa el costo de los materiales que se necesitan para construir las losas y se analiza el procedimiento constructivo a seguir para revisar la constructibilidad de la losa.

El análisis para la elección adecuada del tipo de losa sugiere múltiples opciones a escoger si se considera las losas en una dirección y las losas de dos direcciones. Debido a que el análisis sería muy complejo si es que se tiene demasiadas opciones, el presente documento se ceñirá a analizar las losas en dos direcciones más usadas tanto en el ámbito nacional como en el internacional. El proceso de selección se fundamentará en el análisis de los factores anteriormente mencionados y se escogerá el tipo de losa que obtenga los mejores resultados cuando sean usados en un caso real como el colegio de Puente Piedra.

1.2. Justificación

Una estructura de concreto armado está conformada por varios elementos estructurales: cimentaciones, columnas, vigas, losas, etc. Todos estos elementos son diseñados para que cumplan su función de manera adecuada, y para que en conjunto formen una estructura segura frente a las sollicitaciones que tendrá en su vida útil. En particular, las losas de entrepiso tienen como función principal la distribución de las fuerzas actuantes en la estructura, tanto fuerzas verticales como sísmicas.

Las fuerzas generadas por sismo son las más relevantes en un proyecto de concreto armado en nuestro país y su correcta transmisión a los elementos sismorresistentes dependen de la eficacia estructural de la losa. Como se muestra en la figura 1, las fuerzas de sismo son fuerzas laterales de inercia que se asumen distribuidas en los sistemas de entrepiso, donde a través de las losas se distribuyen a las placas y columnas en función de su rigidez lateral. Este comportamiento basado en mantener una misma deformación lateral en todo un nivel y transmitir fuerzas de inercia es conocido como diafragma rígido.

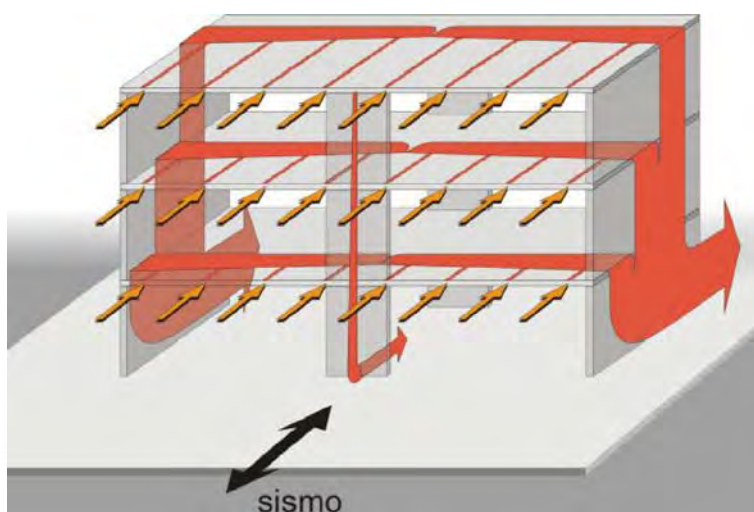


Figura 1: Distribución de fuerzas de sismo. Fuente: Muñoz, 1999.

En la elección de un sistema de entrepiso además de analizar su capacidad para distribuir cargas como diafragma rígido, se debe tener en cuenta que su proceso constructivo sea eficiente y rentable en términos de costo y plazo, de acuerdo a las características y condiciones del proyecto. Por ello, el presente trabajo hace un análisis de las ventajas y desventajas desde el punto de vista estructural, constructivo y económico de los sistemas de entrepiso en dos sentidos que se utilizan en el Perú y en el extranjero.

1.3. Alcance

La investigación consiste en un estudio teórico-técnico de tres losas de entrepiso. Se estudia losas nervadas en dos direcciones y losas macizas, los dos tipos de losas bidireccionales más usados en el Perú; y a las losas bubbledeck, sistema de entrepiso que se viene utilizando en Europa, Estados Unidos y algunos países de América.

El trabajo considera tres enfoques para describir y comparar las ventajas y desventajas de cada tipo de losa. Desde el punto de vista estructural se describen los criterios de análisis y diseño

basado en el diseño de una losa de 10 x 10 metros. Desde el punto de vista constructivo se describe el procedimiento constructivo y los tiempos requeridos. Y, desde el punto de vista económico se estima un costo por metro cuadrado basado en presupuesto de la losa de 10 x 10 metros.

El desarrollo de la investigación consiste en un análisis comparativo técnico-económico de los tres tipos de losas de entrepiso, y la elección de la mejor solución de losa de entrepiso, entre las alternativas estudiadas, para el proyecto Centro Educativo Particular - Puente Piedra.

1.4. Objetivos

Objetivo General: Elegir el tipo de losa más adecuado para el proyecto Centro Educativo Particular - Puente Piedra; en base al análisis estructural, constructivo y económico de tres tipos de losa en dos sentidos que se utilizan en Perú y en el extranjero.

Objetivos específicos:

- Describir el diseño estructural y procedimiento constructivo de las losas nervadas en dos direcciones, losas macizas y losas bubble deck.
- Mostrar las ventajas y desventajas de cada tipo de losa.
- Comparar el diseño estructural y costo de cada tipo de losa.

1.5. Metodología

La metodología de este trabajo consiste en describir tres tipos de losas de entrepiso y analizar cuál de estas alternativas es la mejor para el pabellón de un colegio en Puente Piedra. Este análisis consiste en comparar las tres alternativas en base a su comportamiento estructural, su constructabilidad y su costo.

En primer lugar, como parte de la revisión de literatura, se investigará y describirá para cada losa, sus características, componentes, proyectos donde se usa, criterios y normativa para su diseño estructural, oferta en el mercado peruano, y el personal y equipos necesarios para su construcción.

En segundo lugar, en el desarrollo de la investigación se diseñará una losa de 10 x 10 metros usando cada sistema de entrepiso, en base a lo cual se realizará una comparación de las ventajas y desventajas de su resistencia estructural, su capacidad de optimizar su construcción y su costo.

En último lugar, la investigación concluye en la elección de cuál de las tres alternativas es más recomendable para usar como losa de entepiso en un pabellón de un colegio en Puente Piedra.



2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Definición y clasificación de losas

Las losas son los elementos que hacen factible la existencia de los pisos y techos de una edificación (Blanco, p.15, 1994). Las losas de concreto armado están conformadas por concreto y acero de refuerzo, y en algunos casos también por elementos de relleno.

Desde el punto de vista estructural, las losas tienen dos funciones: la primera, ligada a transmitir las cargas de gravedad a las vigas, estas cargas son el propio peso de la losa, el piso terminado, la sobrecarga y el peso de tabiques apoyados en la losa; la segunda, ligada a transmitir las cargas de sismo, aquí la losa se comporta como un diafragma rígido que se deforma de manera uniforme en su plano y transmite las cargas de sismo a los elementos verticales según su rigidez lateral (Blanco, 1994). Las losas se diseñan, la mayoría de veces, para soportar cargas distribuidas uniformemente en los paños, las grandes cargas concentradas requieren vigas de apoyo.

Desde el punto de vista arquitectónico, la función principal de las losas es separar los espacios verticales de la estructura formando diferentes niveles, por ello, las losas deben de garantizar el aislamiento del ruido, el calor y la visión directa.

Otras funciones, aparte de las estructurales y arquitectónicas son control ambiental, seguridad e instalaciones eléctricas y sanitarias.

Las losas se pueden clasificar según:

- La dirección de su refuerzo: losa en una dirección y losa en dos direcciones.
- Sus apoyos: losa apoyada en dos lados, losa apoyada en cuatro lados y losa apoyada en cuatro esquinas (caso de losas sin vigas).
- Su proceso constructivo: losa maciza, losa plana, losa nervada y losa prefabricada.

El comportamiento de las losas es similar al de las vigas debido a que las cargas aplicadas son perpendiculares a su plano y generan esfuerzos predominantes de flexión, La relación entre sus luces las clasifica en losa unidireccional o bidireccional. Cuando la relación entre su lado mayor y menor es menor a 2, el comportamiento de la losa es en 2 direcciones, las cargas son soportadas por los 4 elementos de borde (vigas). Cuando esa relación supera a 2, los apoyos

cuya dirección longitudinal es perpendicular a la longitud menor se comportan como apoyos principales y la losa se suele considerar unidireccional.

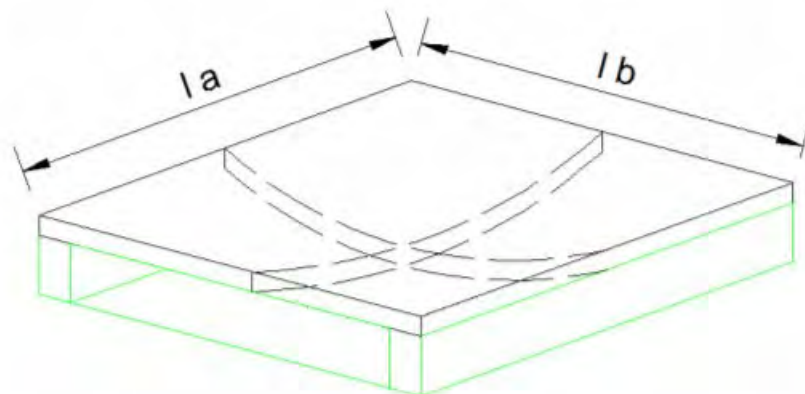


Figura 2: Losa en dos direcciones

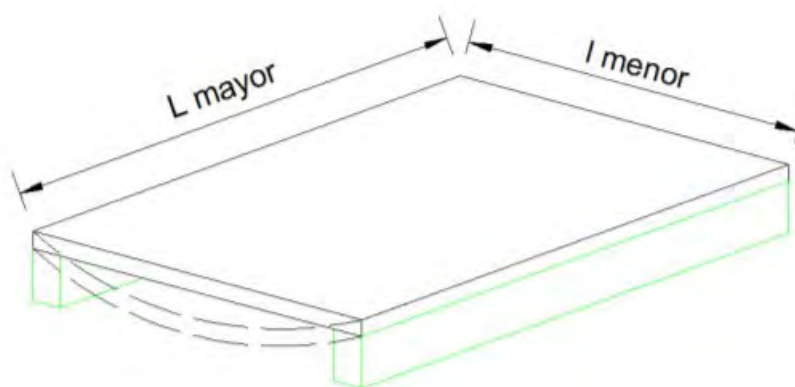


Figura 3: Losa en una dirección

El análisis de losas bidireccionales puede realizarse mediante tablas Kalmanok, método directo de la NTP.E.060 o por modelado en programas de diseño.

En la presente investigación se estudia a las losas armadas en dos direcciones que más utilizan en el Perú, es decir, la losa nervada en dos direcciones y la losa maciza; y, por otro lado, se estudia a las losas Bubble Deck, un tipo de losa que se viene utilizando en los últimos años en varios países del mundo. En los siguientes ítems se describe las características principales de estos sistemas.

2.2. Losa nervada en dos direcciones

2.2.1. Descripción

Las losas nervadas en dos direcciones son losas que trabajan por flexión en sus dos direcciones ortogonales. Como se muestra en la figura 4, están formadas por viguetas o nervaduras en ambos sentidos y por una losa superior de concreto armado, el espacio entre viguetas puede quedar vacío o con elementos de relleno.

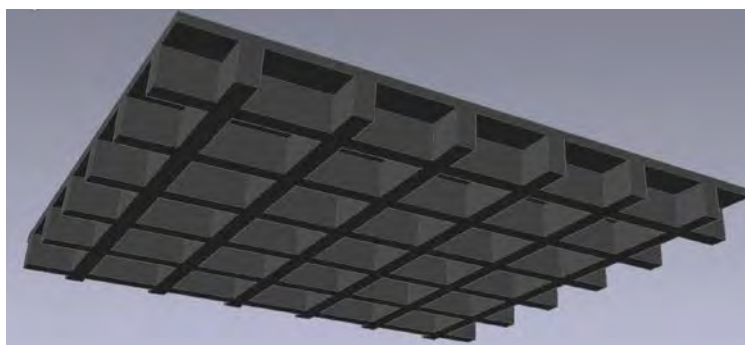


Figura 4: Losa Nervada de Concreto Armado. Fuente: Google imágenes.

Las viguetas pueden ser de sección trapezoidal o rectangular, con un ancho variable entre 10 y 15 cm. El espaciamiento entre viguetas puede variar entre 40 y 80 cm. Y el peralte puede variar entre 17 y 50 cm. (Blanco, 1994).

Los espacios pueden ser llenados con ladrillos de arcilla, ladrillos de concreto o bloques de poliestireno, los mismos que son usados en las losas nervadas en una dirección; O pueden quedar vacíos, para lo cual se usa un sistema de encofrado con casetones recuperables, como se muestra en la figura 5.



Figura 5: Encofrado de losa nervada con casetón recuperable NORPIN.

Este tipo de losas son convenientes para luces grandes entre 6 y 12 metros, y se usan cuando la relación entre el lado mayor y el lado menor del paño se encuentra entre uno y dos (Harmsem,

2002). En el Perú son usadas para proyectos con paños grandes, como los que se presentan en auditorios, aulas grandes y oficinas. En la figura 6 se muestra la losa nervada en dos sentidos ubicada en el ingreso al Centro de Convenciones PUCP.



Figura 6: Centro de Convenciones PUCP. Fuente: Propia.

Se considera como un tipo particular de losa nervada en dos sentidos a la “losa waffle”, que se caracteriza por estar apoyada solo en columnas y con losa de maciza en la unión losa-columna. Este tipo de sistema no es común en nuestro medio porque se ha demostrado que tiene mal comportamiento en sismos severos (Ottazzi, 2016).

2.2.2. Diseño estructural

El diseño estructural de estos aligerados es idéntico al diseño de un aligerado convencional de concreto y albañilería, debido a que en el análisis siempre se analiza solo la sección de concreto que en ambos casos es una vigueta en forma de “T”. La única diferencia es que los momentos por flexión en una losa nervada en dos direcciones son menores, en comparación a los momentos de flexión de una losa nervada que trabaja en solo una dirección, debido a la distribución de fuerzas en los 4 lados del paño, en vez de ser soportados solo por 2 de los lados.

La cantidad de acero necesaria se calculará suponiendo que la sección se comporta como una viga rectangular de ancho igual al ancho de la zona en compresión de la sección de concreto T.

2.2.3. Oferta en el mercado peruano

En el Perú, este tipo de losa es considerada una alternativa a la losa maciza, que es la más usada actualmente. Por sus propias características no se cuenta con elementos prefabricados para optimizar su proceso constructivo. Uno de los aspectos más importantes para su construcción es la definición de qué elemento de relleno se usará o qué tipo de encofrado con casetos recuperables se puede usar. Por una parte, si se opta por usar elementos de relleno no

recuperables en el mercado hay gran variedad en dimensiones y calidades de ladrillos de techo de arcilla y de concreto, así como gran variedad de bloques de poliestireno expandido. Por otro parte, si se opta porque los espacios vacíos de la losa queden libres hay sistemas de encofrado con casetones recuperables, sin embargo, solo las empresas ULMA, NOPIN y ALSINA cuentan con estos sistemas de encofrado.

2.2.4. Proceso Constructivo

A continuación, se describen las etapas más importantes del proceso constructivo de este tipo de losas:

- Elaboración de encofrado: Consiste en colocar los paneles sobre los soportes horizontales que se apoyan en puntales. Si se usa casetones recuperables, estos se colocan manualmente sobre los paneles.
- Colocación de elementos de rellenos sobre los paneles.
- Colocación de acero de refuerzo en ambas direcciones.
- Colocación de instalaciones sanitarias y eléctricas, solo las que puedan ir embebidas en la losa superior.
- Vaciado de concreto a toda la superficie (sistema monolítico).
- Realizar el curado del concreto por mínimo 10 días.
- Retirar el encofrado luego de 10 días aproximadamente. Luego solo quedan algunos puntales.

Los tiempos de curado y de retiro de encofrado pueden variar por el área de la losa y condiciones climáticas.

Dado que en el Perú solo se dispone con tres sistemas de encofrado con casetones recuperables, si los encofradores no tienen una experiencia previa puede ocurrir un retraso en esta etapa. Además, la colocación de acero e instalaciones también puede ser una complicación por el pequeño tamaño de las viguetas y de la losa superior. Por ello, este tipo de sistema no es recomendado desde el punto de vista constructivo

2.3. Losa maciza

2.3.1. Descripción

Una losa maciza es un elemento estructural de concreto armado que tiene una sección transversal rectangular llena. Reciben cargas estructurales perpendiculares a su plano y es por esto que trabajan a flexión en ambas direcciones y también resisten esfuerzos de corte. (Nilson, 1999).

Las losas macizas se clasifican de acuerdo a sus condiciones de frontera o apoyo. Si se apoyan directamente en columnas, se les llama losas planas, y si se apoyan en vigas peraltadas pueden ser o losas macizas unidireccionales o losas macizas bidireccionales. Estas últimas tienen una relación entre el claro largo y el claro corto es aproximadamente 2 (Ottazzi, 2016). Si dicha relación fuese mucho mayor a dos, la losa se comportaría como una losa unidireccional.



Figura 7: Losa plana apoyada en columnas (izq) y losa maciza apoyada en vigas peraltadas (der)

Las losas macizas bidireccionales tienen un peralte de hasta 25 cm y admite luces menores a 10m. Al ser de sección llena, son losas pesadas y que consumen bastante concreto y acero. No obstante, son bastante usadas ya que permiten resistir grandes cargas de servicio directamente en ellas y constituyen un diafragma rígido que reparte la carga sísmica hacia los elementos verticales en los que se apoya en función a sus rigideces. Además, permiten el paso de los conductos de las instalaciones eléctricas, sanitarias y mecánicas, a través de ellas, de modo que no sean visibles y siendo una solución a las zonas densamente cargadas de instalaciones.



Figura 8: Acero de refuerzo colocado previo al vaciado de la losa maciza bidireccional

En Perú, edificaciones construidas con losas macizas bidireccionales son: El edificio McGregor de la PUCP, el centro de convenciones Westin de más de 120 m de altura, entre otras.



Figura 9: Complejo Felipe Mc Gregor construido con losas macizas bidireccionales.

Cabe mencionar que en este trabajo de investigación no se considerará a las losas macizas planas ya que su uso no es muy común. Se usan generalmente losas macizas bidireccionales ya que estas sí constituyen diafragmas rígidos que hacen frente a las solicitaciones sísmicas.

2.3.2. Diseño estructural

La losa maciza en dos direcciones se diseña como una viga rectangular de 1 metro de ancho y peralte igual al peralte de la losa, el acero se reparte de acuerdo al espaciamiento de sus barras. Las losas macizas bidireccionales deben de poseer por lo menos 3 lados apoyados.

Las losas macizas cuyos apoyos son columnas internas, se consideran losas planas o losas sin vigas, estos elementos deben de diseñarse también por punzonamiento, debido a que los esfuerzos y fuerzas cortantes se incrementan considerablemente en las zonas más cercanas a los bordes de las columnas.

2.3.3. Oferta en el mercado peruano

En nuestro país, la losa más usada es la losa maciza. Debido a la sección transversal de esta losa, es sencillo y rápido encofrar y desencofrar la parte inferior de la losa, la cual es uniforme. Dicha superficie uniforme no requiere de mayor tecnología especializada para encofrar y se podría llevar a cabo con planchas de madera, metálicas o algún otro material previamente aprobado.

Son varias las empresas que ofrecen un sistema de encofrado en nuestro país, las más grandes y que más resaltan son: ULMA, NOPIN, PERI, ALSINA y DOKA.

2.3.4. Procedimiento Constructivo

La secuencia constructiva se describe a continuación de manera resumida:

- Colocación de encofrado: colocación de planchas y soportes horizontales que se apoyan en elementos verticales que pueden ser puntales.
- Colocación de acero de refuerzo en ambas direcciones.
- Colocación de instalaciones sanitarias y eléctricas.
- Vaciado de concreto que incluye el vaciado de concreto de vigas.
- Se realiza el curado del concreto. Proceso que toma poco más de una semana.
- Se realiza el desencofrado parcial a los 10 días de vaciado el concreto, es decir cuando se haya alcanzado el 70% de su resistencia especificada, aproximadamente. Se dejan algunas planchas con sus respectivos puntales.

Dependiendo del sistema de encofrado a usar y del material elegido (madera o metal), se podrían considerar otros pasos como, por ejemplo, la adición de barniz antiadherente a las planchas de madera para facilitar el proceso de desencofrado. Se sugiere revisar las especificaciones propias del proceso de colocación de cada sistema de encofrado.

Para este proceso constructivo no se requiere de personal experto con una certificación especial ni de ningún equipo especial adicional.

2.4. Losa Bubble Deck

2.4.1. Descripción

El sistema de losas BDM es un nuevo sistema de losas que surge a fines de la década de los 90. Este sistema surge como alternativa a las losas aligeradas; sin embargo, es un sistema más agradable tanto para los ingenieros como para los arquitectos. Esto se debe a que “el diseño de un edificio conformado con losas, pero sin vigas es el preferido por los arquitectos, puesto que permite diseñar sin restricciones la distribución de cada planta de la obra. La clave está en quitarle peso al entrepiso sin perder la cualidad de un cielo liso” (Basantes, 2016). De igual manera, su diseño mantiene la resistencia necesaria, ya que las zonas de compresión y tracción no son alteradas por los vacíos de las esferas que presenta.

Existen tres tipos de losas con esferas de plástico que se adecúan a diferentes proyectos:

a. Elemento filigrana

Esta losa está conformada por un elemento prefabricado de concreto en la parte inferior, dentro de la cual han quedado embebidas las esferas y son sostenidas por las armaduras que también se encuentran dentro. En la parte superior, se les coloca una malla de acero electrosoldada y el concreto y los demás refuerzos necesarios son colocados en obra (Segura, 2017).



Figura 10: Panel tipo Elemento Filigrana. Fuente: Segura, 2017.

b. Módulos reforzados

Esta consiste solamente en mallas electrosoldadas y armaduras que sostienen las esferas. El concreto y el refuerzo adicional necesario es colocado en obra (Segura, 2017).



Figura 11: Panel tipo Módulos reforzados. Fuente: Segura, 2017.

c. Losas terminadas

Estas losas se entregan ya con el acabado final (última capa de concreto), a diferencia del primer tipo que se colocaba en obra. Este tipo de losas normalmente se apoyan sobre vigas y son utilizadas para luces de entre 5 y 8 metros.



Figura 12: Panel tipo Losas terminadas. Fuente: Segura, 2017.

La preferencia por este tipo de losas en proyectos específicos se debe a que se puede utilizar en luces grandes de mínimo 7 metros hasta un máximo de casi 18 metros. La luz permitida depende del peralte de la losa (de 23 a 45 cm).

Los materiales usados en la fabricación de este tipo de losas son:

- El concreto: en su mayoría, se usa cuando se requiere como resistencia mínima un $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ y máxima hasta un $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$.
- El acero: Pueden ser de diferentes calidades. Entre las que más se usan están las de grado 60 ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$) y las de grado 75 ($f_y = 6300 \text{ kg/cm}^2$).
- Esferas de plástico huecas: Su diámetro depende del peralte de diseño de la losa.

2.4.2. Esferas de relleno

Las esferas usadas en este sistema están hechas de polietileno reciclado de media o alta densidad. El plástico proviene de las canoas deportivas llamadas kayaks, “Cuando estos se encuentran defectuosos al salir de los moldes, no se pueden vender como kayaks de primera calidad, así que lo que hacen es triturar el plástico y luego crean las esferas” (Jim Thompson, 2017). Si bien las esferas de plástico no presentan la misma rigidez que un material noble como el concreto o la albañilería, no son materiales frágiles o blandos, “estas son manufacturadas con once anillos en su geometría para darle una resistencia de 90 kg y no presente deformación alguna al momento de ser transportada” (Manual Danstek, 2016).

Los diámetros comerciales utilizados en las esferas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1: Diámetros de esfera para diferentes peraltes de losa tipo BDM. Fuente: Manual Danstek, 2016.

Peralte	de losa	esfera cm
BDM230	23 cm	18.0
BDM280	28 cm	22.5
BDM340	34 cm	27.0
BDM390	39 cm	31.5
BDM450	45 cm	36.0
BDM510	51 cm	41.0
BDM600	60 cm	50.0

Esferas de otro material como el poliestireno expandido no son usadas en otros países, pues su uso es bajo la patente del sistema Bubble Deck que emplea solamente las esferas descritas anteriormente.

2.4.3. Experiencias de uso

El uso de este sistema se ha hecho presente en diferentes obras internacionales, tales como:

- Millenium Tower, Rotterdam: Se ahorraron 500 viajes de camión, se aumentaron 2 pisos y se redujo considerablemente el uso de equipos de la obra.
- City Hall and Offices, Dinamarca
- Jersey Construction, Reino Unido: La obra se terminó 6 semanas antes del plazo establecido y se ahorró un 3% del total de la inversión.
- Centro Administrativo del Distrito Federal, Brasilia: Se usó 35% menos del concreto planeado con otro sistema, se ahorraron 2500 viajes de camión y se redujo un 60% la cantidad de apuntalamiento comparado con el diseño original.

2.4.4. Ventajas ambientales

La losa BubbleDeck disminuye significativamente el uso de concreto y mientras más grande es el proyecto, el ahorro incrementa.

La producción del cemento para el concreto es una de las actividades que mayor emisión de carbono genera, incluso el sector de la producción de materiales de construcción es una de las más difíciles de descarbonizar. Se pronostica que las emisiones de carbono aumenten en la siguiente década, por lo que actualmente, cada vez más diseñadores y propietarios priorizan el

uso de alternativas verdes. Algunas ventajas medioambientales que provee el sistema BubbleDeck son las siguientes: Según la compañía BubbleDeck, 1 kg de plástico reciclado reemplaza 100 kg de concreto; las esferas de plástico incluso pueden ser recicladas o almacenadas por largos periodos de tiempo sin afectar sus propiedades estructurales; la disminución de emisiones de carbono por el transporte de materiales disminuye con el uso de este sistema, pues existen 2 tipos de losas con vacíos esféricos prefabricados.

2.4.5. Diseño estructural

El comportamiento estructural y el método de cálculo usado para el sistema de losas BDM es igual al de una losa maciza. Diversos estudios muestran superficies de falla similares en ambos sistemas. Para estimar las fuerzas y momentos que tomará la losa, se usarán tablas Kalmanok y un modelo computacional cuando la losa se analice sin vigas.

El acero de reforzamiento en losas BubbleDeck se hallan con el mismo procedimiento de diseño que una losa maciza. Una verificación extra es la profundidad del bloque de compresión, también llamado “c”.

Si bien toda losa posee mallas de acero que controlan el agrietamiento producido por contracción del concreto y temperatura, en las losas Bubble Deck, las mallas electrosoldadas trabajan como acero de temperatura, aparte de confinar a las esferas plásticas.

La inclusión de esferas de plástico en una losa disminuye considerablemente la resistencia a cortante en comparación con una losa completamente de concreto. Distintos modelos e investigaciones demuestran que la resistencia a corte del sistema BDM(ΦV_c) se determina como el 60-80% del ΦV_c de una losa maciza con el mismo peralte.

En el sistema de losas planas, hay una gran preocupación por el efecto de punzonamiento, el cual se genera cuando existen fuerzas altamente concentradas en la losa debido a la columna. Como la capacidad de la losa ante este efecto depende de la cantidad de concreto, la presencia de esferas afecta su resistencia. Por esta razón, al estimar fuerzas altas de corte y punzonamiento que excedan la capacidad de la losa, esta se construye de manera que la presencia de esferas se omita en las zonas cercanas a donde se presentarán las solicitaciones críticas.

Diseño por punzonamiento:

$$Vu = \sigma_u(A_{TOTAL} - A_O)$$

$$\phi V_c = 0.8(0.85 \times 1.06 \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d)$$

Donde

b_o = Perímetro de la sección crítica

d = Peralte efectivo de la zapata

A_o = Área de la sección crítica

Generalmente se retiran las burbujas necesarias hasta cierta longitud de la cara de la columna. Con la sección de concreto sin esferas se verifica que resista las cortantes solicitadas, si esto no se cumple, se necesitará reforzamiento.



Figura 13: Retiro de esferas en toda la zona crítica de punzonamiento.

Para poder abordar el problema de punzonamiento en losas BubbleDeck desde otro punto de vista, el comportamiento de la losa se puede analizar mediante un modelo 3D no-lineal de elementos finitos. El rastro de las grietas que se formarían en la losa se deduce y se retiran las esferas solo en esas zonas, así optimizan el diseño y se ahorra concreto.

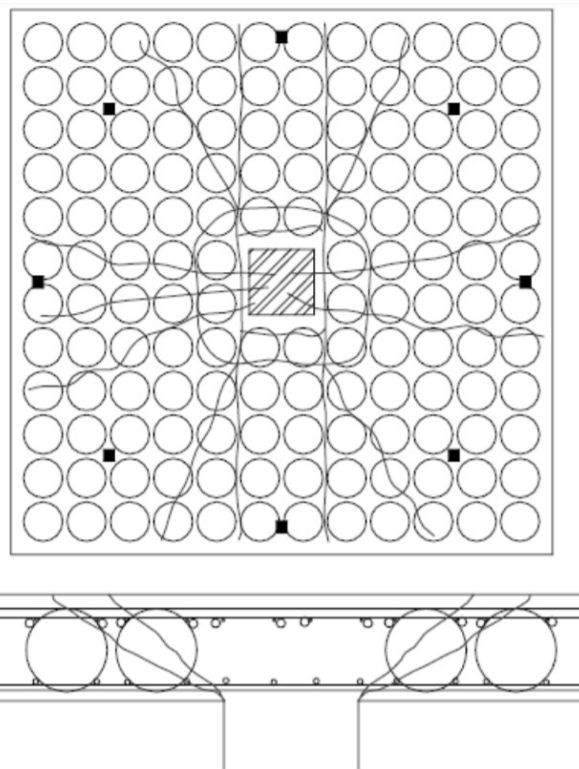


Figura 14: Vista en planta y elevación del agrietamiento por punzonamiento debido a grandes esfuerzos.

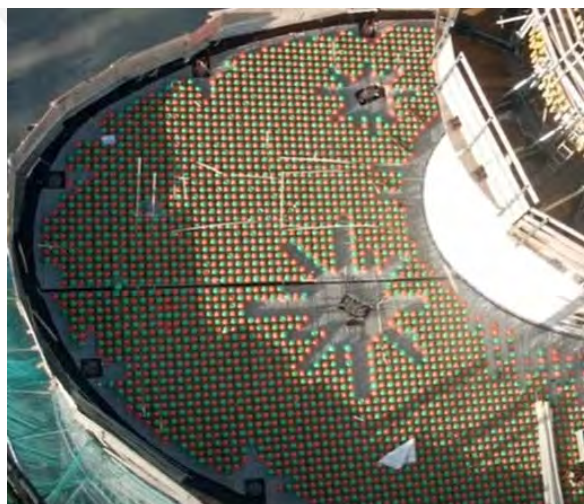


Figura 15: Retiro de solo las esferas ubicadas sobre el camino de las grietas que se generarían por punzonamiento

2.4.6. Procedimiento Constructivo

El proceso constructivo de este sistema no necesita de equipos especiales y se realiza tal como se detalla en la siguiente imagen.

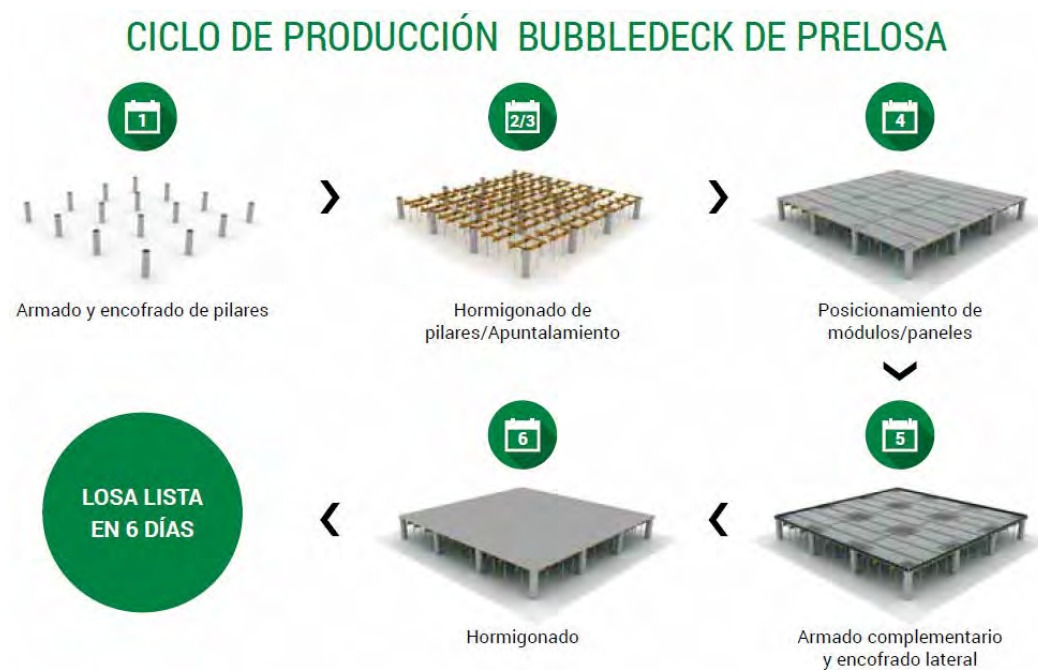


Figura 16: Ciclo de Producción Bubble Deck de Preloza. Fuente: Bubble Deck

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Con el fin de comparar técnicamente las ventajas y desventajas de cada sistema de techado, el desarrollo de la investigación analiza las losas en estudio en dos escenarios: Cuando la losa está formada por paños delimitados por vigas interiores y cuando la losa es un solo paño sin vigas, en otras palabras, una losa plana.

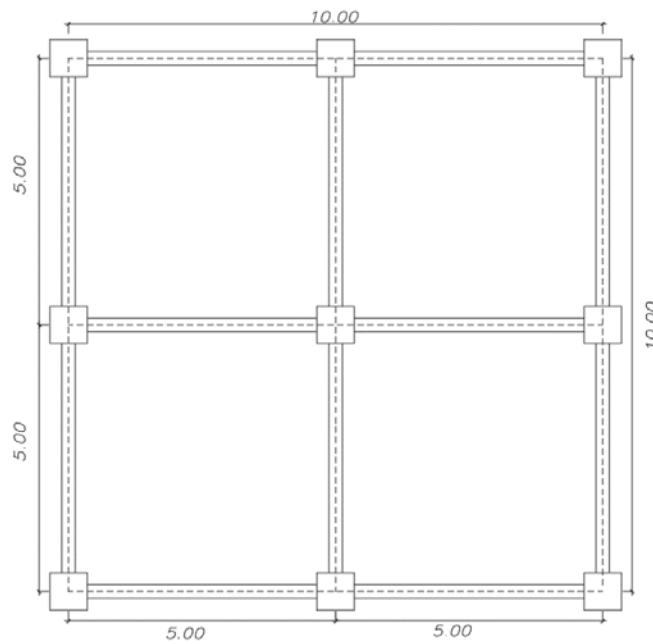


Figura 17: Caso 1 - Planta con vigas peraltadas en todos los bordes de los paños

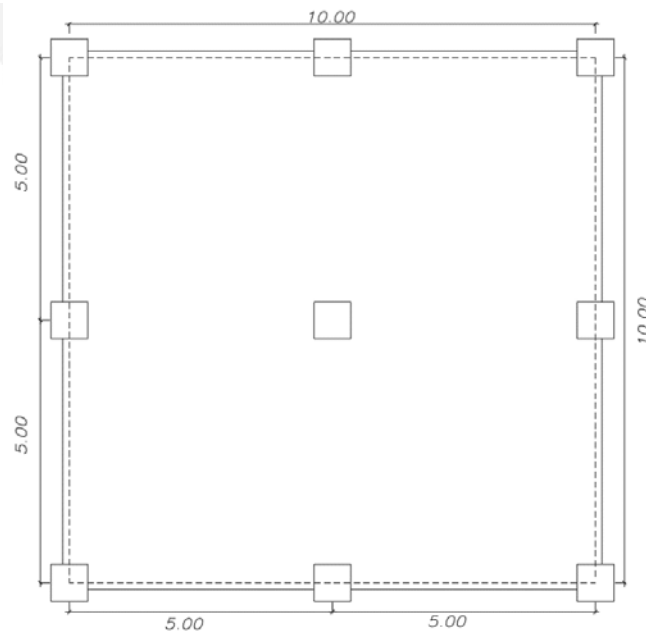


Figura 18: Caso 2 - Planta sin vigas peraltadas, losa plana apoyada solo en las columnas

3.

3.1. Comportamiento estructural

En los dos casos de análisis se contó con 9 columnas cuadradas de concreto armado de 70 cm de lado. Las dimensiones de las vigas peraltadas del caso 1 fueron 25 cm de ancho y 50 cm de peralte.

La sobrecarga que se asignó en ambos casos fue de 400 kg/m² debido a que esta es la carga viva más alta que soporta un paño del proyecto del Colegio de Puente Piedra.

3.1.1. Caso 1: Losa con vigas

a. Predimensionamiento

Según los criterios de predimensionamiento el peralte de la losa aligerada sería 20 cm, sin embargo, debido a la sobrecarga con la que se analizará se escogió un peralte de 25 cm.

Se usará ladrillo de techo de 30x30x20 y concreto con 210 kg/cm² de resistencia.

Tabla 2: Valores recopilados de peralte de losas aligeradas del libro del Ing. Antonio Blanco (Estructuración y Diseño de Edificaciones en Concreto Armado, 1994)

h (cm)	Luz (m)
17	<4 m
20	4 < Luz < 5.5m
25	5.5 < Luz < 6.5m
30	6 < Luz < 7.5m

Para la losa maciza se usó los siguientes criterios:

$$\frac{(\text{Luz libre})}{40} = \frac{5.0}{40} = 0.125 \text{ m} = 12.5 \text{ cm}$$

$$\frac{(\text{perímetro})}{180} = \frac{20}{180} = 0.11 \text{ m} = 11 \text{ cm}$$

Se escogió un peralte de 20 cm debido a la sobrecarga

Para la BubbleDeck de módulos reforzados se utilizaron los criterios especificados en la tabla 3.

Tabla 3: Manual de especificaciones técnicas de losa BubbleDeck

	Espesor de losa (cm)	Diametro de esfera (cm)	Luz libre recomendada(m)	Peso propio (kgf/m)	Concreto (m3/m2)
BD230	23	18	7-10	370	0.15
BD280	28	22.5	8-12	460	0.19
BD340	34	27	9-14	550	0.23
BD390	39	31.5	10-16	640	0.25

Se escogió el espesor mínimo de 23 cm debido a que la luz libre de 5m es menor que la luz mínima recomendada para el uso de sistema de techado BubbleDeck.

Las secciones transversales de los 3 tipos de losa a comparar en el caso 1 son los siguientes:

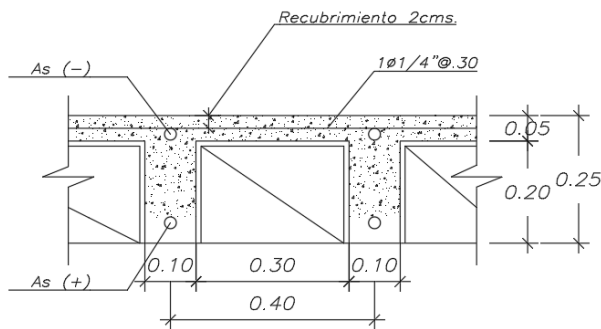


Figura 19 Sección transversal de losa maciza bidireccional H=25cm

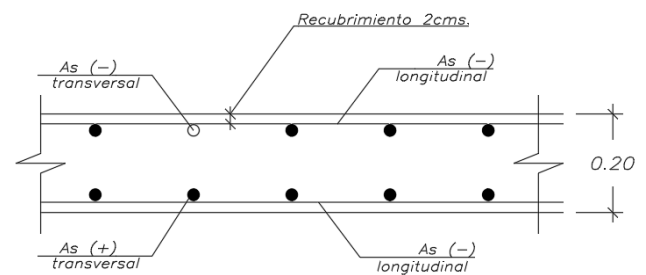


Figura 20 Sección transversal de la losa aligerada bidireccional H=20cm

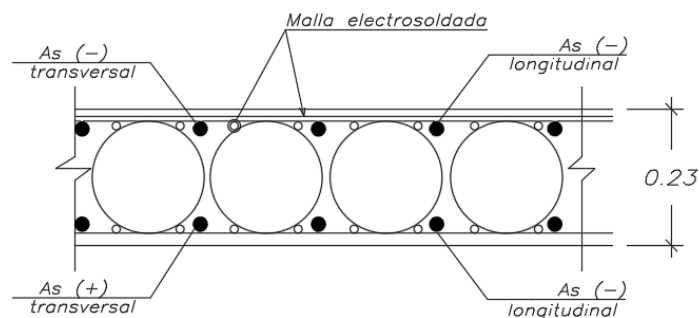


Figura 21 Sección transversal de losa Bubble Deck H=23cm

b. Medrado de cargas

Losa aligerada bidireccional h=25 cm

Ya que no existen valores pre-establecidos para el peso propio de losas aligeradas bidireccionales calcularemos su peso de acuerdo a la cantidad de material que hay en 1 m².

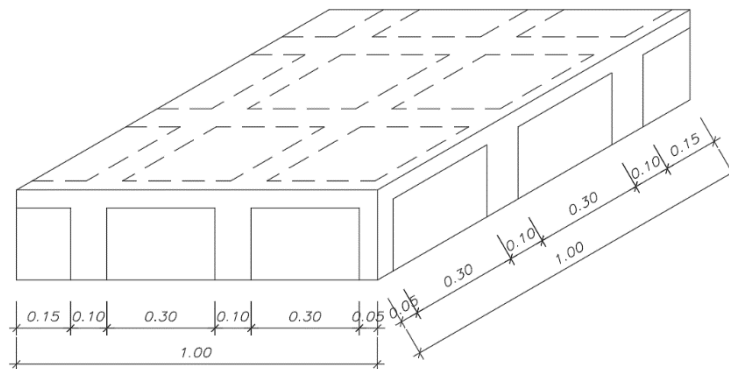


Figura 22: Esquema losa aligerada

Concreto armado= 0.02 m² (Losa de 5cm) + 0.05 m² (Nervios en X) + 0.038 m² (Nervios en Y)

Concreto armado=0.108 m²/m

Peso del concreto en 1 m²=0.108 x 2.4 ton/m³=0.258 ton/m²

#Ladrillos en 1 m²= 7 unidades

Peso del material aligerante=7 x 10 kg=0.07 ton /m²

Peso propio=0.328 ton/m²

Carga muerta:

Peso propio=0.328 ton/m²

Piso terminado= 0.1 ton/m²

Carga viva:

S/c= 0.4 ton/m²

Carga última:

W_u=1.4CM+1.7CV=1.28 ton/m²

- Losa maciza h=20cm

Carga muerta:

$$\text{Peso propio}=0.48 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Piso terminado}= 0.1 \text{ ton/m}^2$$

Carga viva:

$$S/c= 0.4 \text{ ton/m}^2$$

Carga última:

$$W_u=1.4CM+1.7CV=1.492 \text{ ton/m}^2$$

- **Losa BubbleDeck**

Carga muerta:

$$\text{Peso propio}=0.37 \text{ ton/m}^2 \text{ (Tabla de especificaciones técnicas)}$$

$$\text{Piso terminado}= 0.1 \text{ ton/m}^2$$

Carga viva:

$$S/c= 0.4 \text{ ton/m}^2$$

Carga última:

$$W_u=1.4CM+1.7CV=1.338 \text{ ton/m}^2$$

c. Análisis y Diseño

Ya que los paños son iguales para los 3 sistemas de losas se usó los coeficientes de Kalmanok para calcular los momentos y reacciones en los paños en ambas direcciones

Se aisló 1 paño para analizarlo y luego replicarlo en los otros 3 paños.

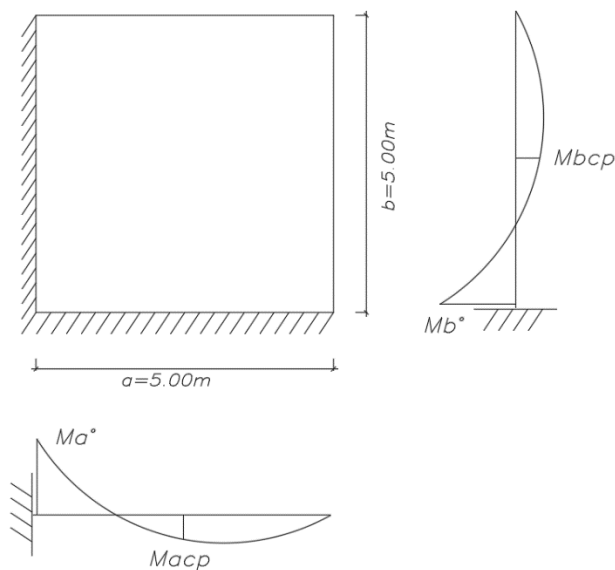


Figura 23: Momentos en paño de losa

Tabla 4: Coeficientes tomados de la Tabla N°15 de Kalmanok. Fuente: Kalmanok

Coeficientes	
Macp	0.02340
Mbcp	0.02340
Ma0	0.06770
Mb0	0.06770

Los momentos en el paño se calcularon con la siguiente fórmula:

$$M = \text{Coef} \times q \times l_n^2$$

Donde:

q = Carga linealmente distribuida en el paño

l_n = Luz libre de la losa = 5m

Para cada caso la carga linealmente distribuida es la que varía

Diseño por flexión

- **Losa aligerada:**

Tabla 5: Diseño losa aligerada en dos direcciones

Coeficientes		Momentos/m	Mom/0.4m	As (cm ²)	As instalado
Macp	0.02340	0.75	0.30	0.35	1 de 3/8"
Mbcp	0.02340	0.75	0.30	0.35	1 de 3/8"
Ma0	0.06770	2.17	0.87	1.06	1 de 1/2"
Mb0	0.06770	2.17	0.87	1.06	1 de 1/2"

- **Losa maciza**

$$As_{min} = 0.0018 \times b \times h = 3.6 \text{ cm}^2 = 3/8'' @ .20$$

Tabla 6: Diseño de losa maciza con vigas

Coeficientes		Momentos/m	As (cm ²)	As instalado
Macp	0.02340	0.87	0.87	3/8" @ .20
Mbcp	0.02340	0.87	0.87	3/8" @ .20
Ma0	0.06770	2.53	1.05	3/8" @ .20
Mb0	0.06770	2.53	1.05	3/8" @ .20

- **Losa BubbleDeck**

Tabla 7: Diseño de losa BubbleDeck con vigas

Coeficientes		Momentos/m	As (cm ²)	As instalado
Macp	0.02340	0.02340	0.78	3/8" @ .20
Mbcp	0.02340	0.02340	0.78	3/8" @ .20
Ma0	0.06770	0.06770	2.26	3/8" @ .20
Mb0	0.06770	0.06770	2.26	3/8" @ .20

Diseño por corte:

- **Aligerada**

$$\Phi V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{210} * 10 * (25 - 2) = 1.69 \text{ ton}$$

Con ensanche alternado:

$$\Phi V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{210} * 25 * (25 - 2) = 3.59 \text{ ton}$$

Cargas últimas del análisis:

$$V_{u-} = 3.37 \text{ ton}$$

$$V_{u+} = 3.025 \text{ ton}$$

Como el paño es simétrico, se utilizarán ensanches alternados en todas las vigas. Estos ensanches serán de 1 y 1.3m de largo.

- **Maciza**

$$\Phi V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{210} * 100 * (20 - 2) = 11.75 \text{ ton}$$

Cargas últimas del análisis:

$$V_{u-} = 4.23 \text{ ton}$$

$$V_{u+} = 3.22 \text{ ton}$$

- **Bubble Deck**

$$\Phi V_c(BDM) = (0.8) * \Phi V_c(\text{maciza } h = 23 \text{ cm}) = 10.97 \text{ ton}$$

Cargas últimas del análisis:

$$V_{u-} = 3.58 \text{ ton}$$

$$V_{u+} = 3.12 \text{ ton}$$

Distribución de acero en planta

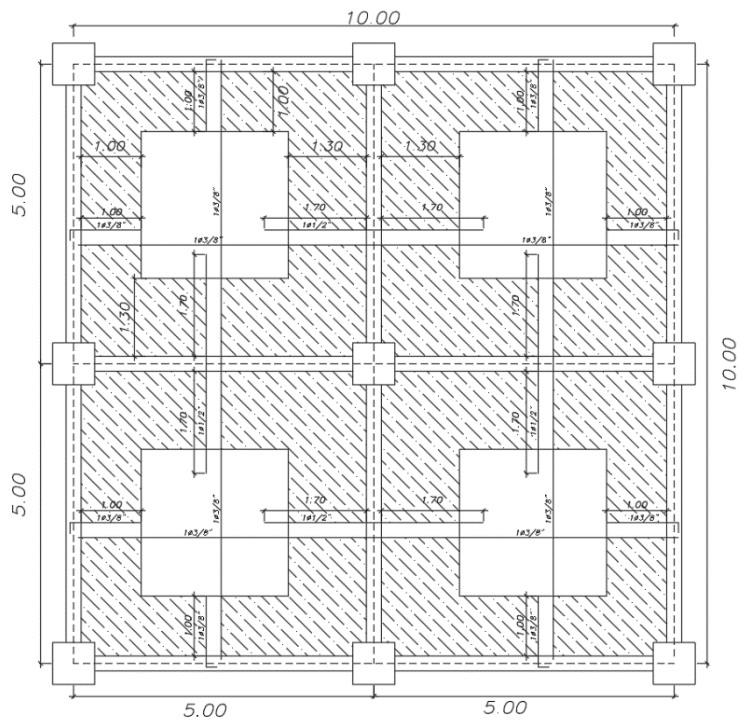


Figura 24: Distribución de acero en planta de losa aligerada bidireccional

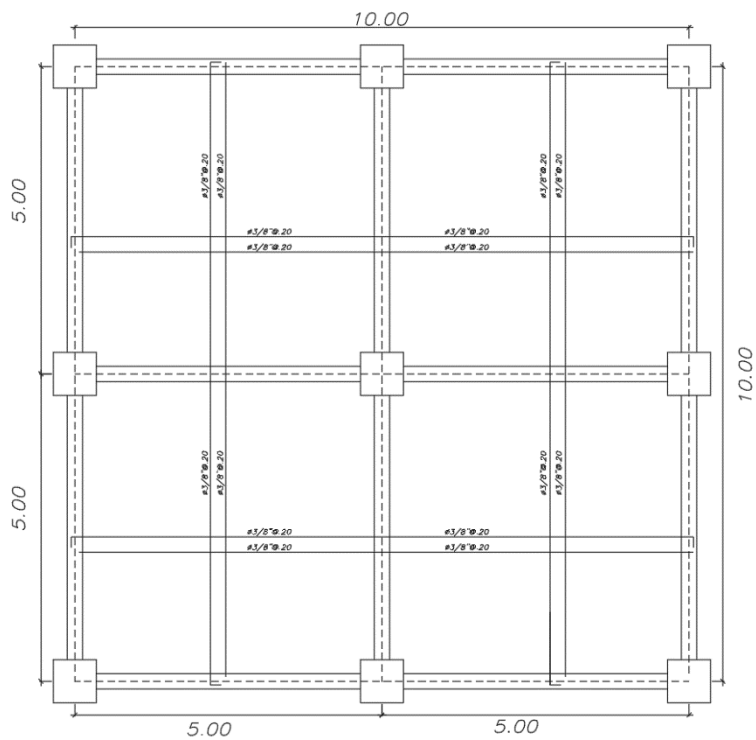


Figura 25: Distribución de acero en planta de losa maciza y Bubble Deck

3.1.2. Caso 2: Losa sin vigas

Para este segundo caso no se analizó con los coeficientes de Kalmanok, ya que la estructura ahora cuenta con un único paño con un apoyo al centro.

Se compararán los resultados y el diseño de las losas macizas y BubbleDeck, ya que la losa aligerada no será capaz de soportar momentos o cortantes más grandes producidas por el aumento de la luz libre entre apoyos de 5m a 10 m.

El peralte de ambas losas (macizas y sistema BDM) se aumentó debido a las grandes sollicitaciones que se tendrá.

a. Metrado de cargas

- **Losa maciza H= 25 cm**

Carga muerta:

$$\text{Peso propio} = 0.6 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Piso terminado} = 0.1 \text{ ton/m}^2$$

Carga viva:

$$S/c = 0.4 \text{ ton/m}^2$$

Carga última:

$$W_u = 1.4CM + 1.7CV = 1.66 \text{ ton/m}^2$$

- **Losa BubbleDeck H= 28 cm**

Carga muerta:

$$\text{Peso propio} = 0.46 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Piso terminado} = 0.1 \text{ ton/m}^2$$

Carga viva:

$$S/c = 0.4 \text{ ton/m}^2$$

Carga última:

$$W_u = 1.4CM + 1.7CV = 1.464 \text{ ton/m}^2$$

b. Modelado y Análisis

Se asignaron las cargas vivas y muertas al modelo en Sap2000 y en las figuras "" y "" se observa la distribución de momentos a lo largo del eje X e Y. En las "" y "" se encuentra la distribución de fuerzas cortantes a lo largo de ambos ejes.

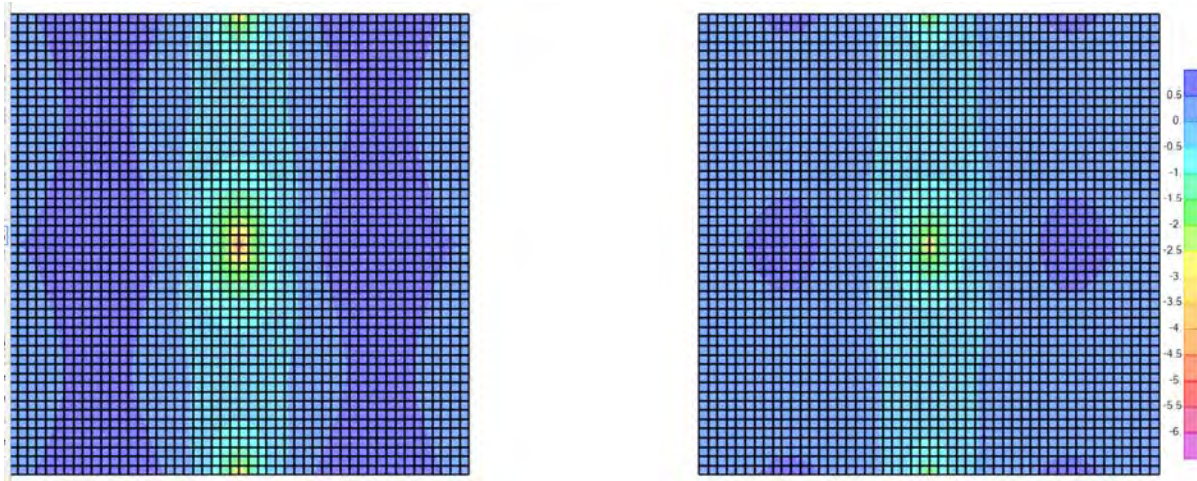


Figura 26: Losa maciza (izquierda) vs. BubbleDeck (derecha)-Momentos flectores- Eje XX

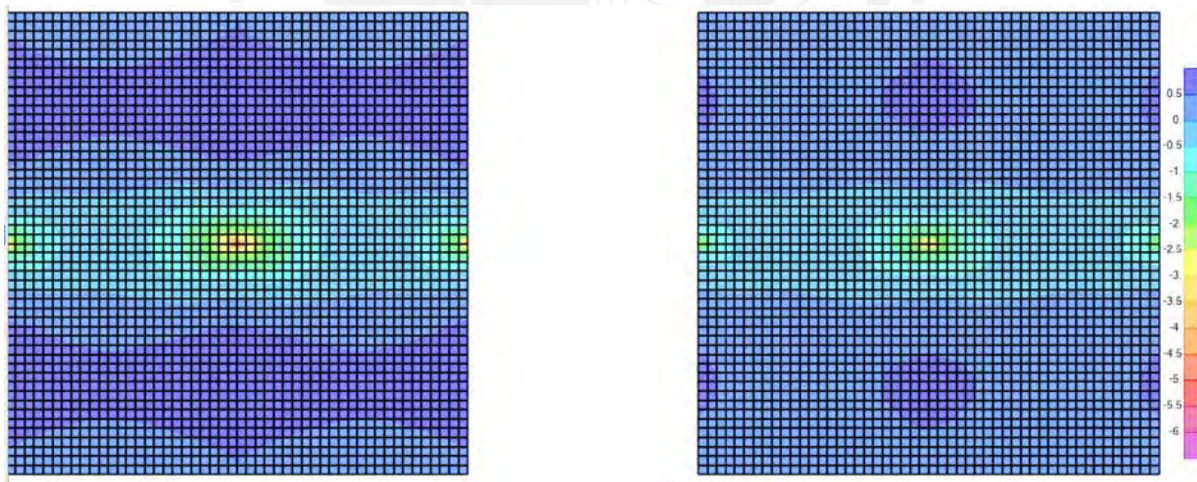


Figura 27: Losa maciza (izquierda) vs. BubbleDeck (derecha)- Momentos flectores-Eje YY

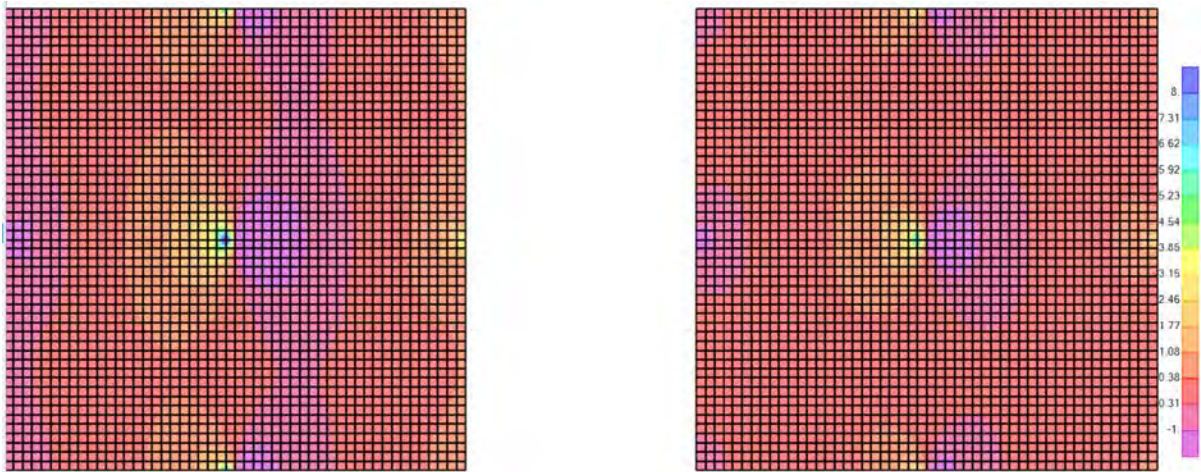


Figura 28: Losa maciza (izquierda) vs. BubbleDeck (derecha)- Fuerzas cortantes-Eje YY

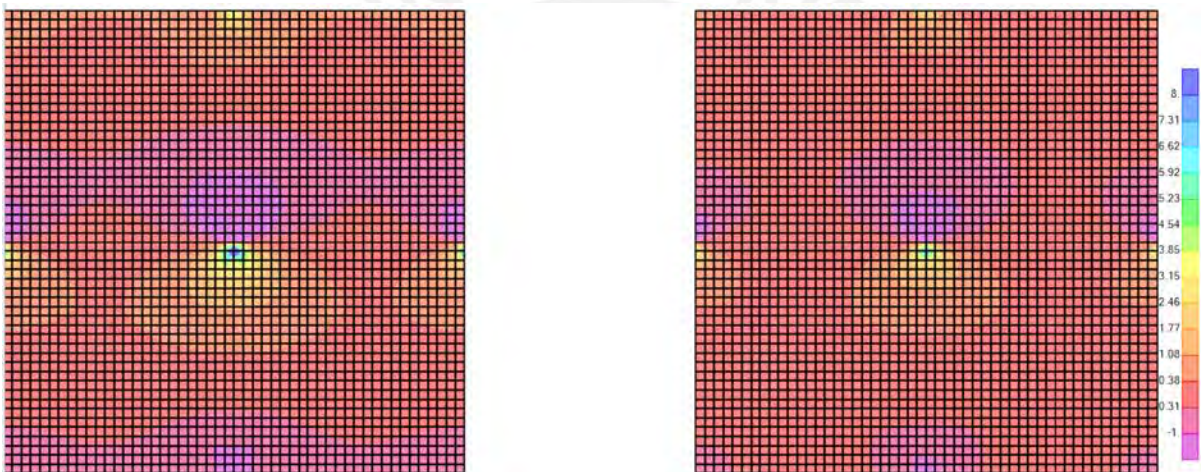


Figura 29: Losa maciza (izquierda) vs. BubbleDeck (derecha)- Fuerzas cortantes-Eje XX

- **Losa maciza**

Deflexión máxima=1.26 cm

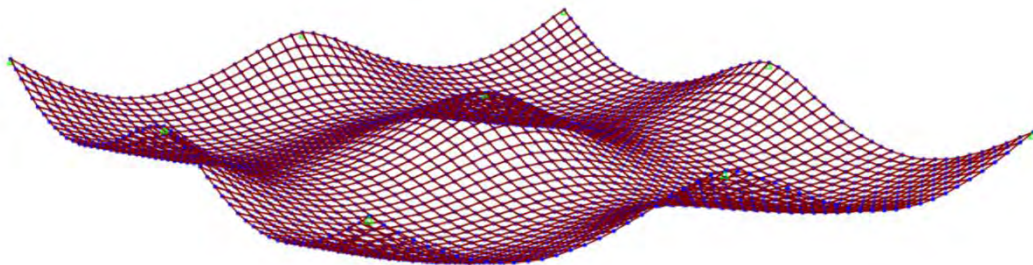


Figura 30: Deformada de la losa maciza amplificada por 100

- **Losa BubbleDeck**

Deflexión máxima=1.97 cm

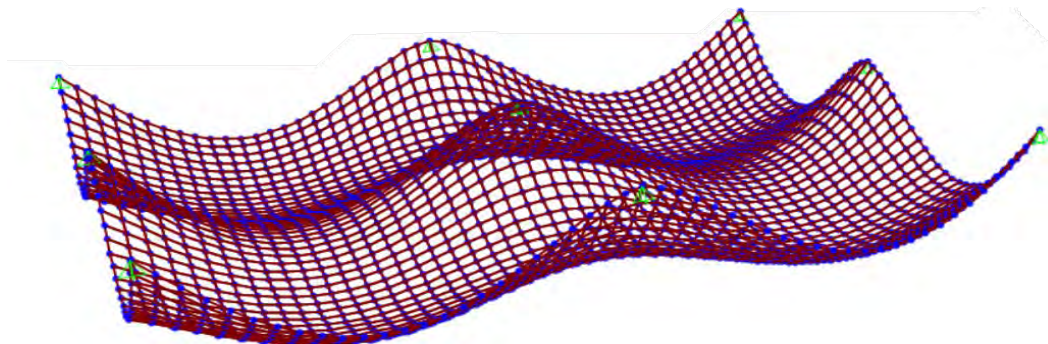


Figura 31: Deformada de la losa BubbleDeck amplificada por 100

c. Diseño

En la tabla 8 se muestran los resultados del análisis por cargas de gravedad en las losas escogidas y la variación de estas. Se presenta los máximos negativos y positivos de un solo eje debido a la simetría de la estructura.

Tabla 8: Fuerzas máximas cortantes y momentos flectores por losa

	Wu (ton/m)	M22+(ton.m.)	M22- (ton.m)	V13+ (ton)	V13- (ton)
BDM	1.464	0.58	4.026	19.25	13.61
Maciza	1.66	0.91	6.31	30.18	21.34
Variación		36.26%	36.20%	36.22%	36.22%

Los resultados del análisis en SAP200 mostraron que los momentos máximos y fuerzas cortantes en la BubbleDeck son 36.2% menores que las de la losa maciza bajo las mismas condiciones de cargas. Fue un resultado esperado ya que las esferas de plástico reducen significativamente la carga muerta asignada en el modelo.

Asimismo, la deflexión máxima de la losa maciza resultó menor que la del BubbleDeck debido a que las burbujas de plástico reducen la rigidez de la losa.

Diseño por flexión

- **Maciza**

$$A_{smin} = 0.0018 \times 100 \times 25 = 4.5 \text{ cm}^2 = 1/2'' @ .25$$

$$M_{u+} = 0.9 \text{ ton.m.} \rightarrow A_{s \text{ req}} = 1.09 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Acero m\u00ednimo } 1/2'' @ .25$$

$$M_{u-} = 6.31 \text{ ton.m.} \rightarrow A_{s \text{ req}} = 8.32 \text{ cm}^2 \rightarrow 1/2'' @ .15 \text{ o } 5/8'' @ .20$$

- **BubbleDeck**

A_{smin} : Se asumirá menor al acero m\u00ednimo de una losa maciza con igual peralte debido a que la cantidad de concreto ha disminuido en m\u00e1s del 20%

$$M_{u+} = 0.58 \text{ ton.m.} \rightarrow A_{s \text{ req}} = 0.62 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Acero m\u00ednimo } 3/8'' @ .25$$

$$M_{u-} = 4.03 \text{ ton.m.} \rightarrow A_{s \text{ req}} = 4.17 \text{ cm}^2 \rightarrow 3/8'' @ .17$$

Dise\u00f1o por punzonamiento

- **Losa maciza**

$$b_o = 3.72 \text{ m}$$

$$d = 23 \text{ cm}$$

$$A_o = 1.86 \text{ m}^2$$

$$A_{TOTAL} = 100 \text{ m}^2$$

$$V_u = 1.66(100 - 1.86) = 162.91 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 0.85 \times 1.06 \times \sqrt{210} \times 372 \times 23 = 131.43 \text{ ton}$$

$$\phi V_c < V_u$$

El peralte de la losa es insuficiente ante las fuerzas de punzonamiento, por lo que se calcul\u00f3 el espesor del \u00e1baco que se construir\u00eda para controlar esas solicitaciones.

Con $h = 30 \text{ cm}$

$$b_o = 3.92 \text{ m}$$

$$d = 28 \text{ cm}$$

$$A_o = 1.96 \text{ m}^2$$

$$A_{TOTAL} = 100 \text{ m}^2$$

$$Vu = 1.66(100 - 1.96) = 162.74 \text{ ton}$$

$$\phi Vc = 0.85 \times 1.06 \times \sqrt{210} \times 392 \times 28 = 168.6 \text{ ton}$$

$$\phi Vc > Vu \rightarrow \text{Sí cumple}$$

En la columna del centro se debe de instalar un ábaco.

- **Losa BubbleDeck**

$$b_o = 3.84 \text{ m}$$

$$d = 25 \text{ cm}$$

$$A_o = 1.92 \text{ m}^2$$

$$A_{TOTAL} = 100 \text{ m}^2$$

$$Vu = 1.46(100 - 1.92) = 143.59 \text{ ton}$$

$$\phi Vc = 0.8 \times 0.85 \times 1.06 \times \sqrt{210} \times 384 \times 25 = 122.7 \text{ ton}$$

$$\phi Vc < Vu \rightarrow \text{No cumple}$$

La Resistencia de la losa no cumple con la requerida por punzonamiento, sin embargo, al quitar algunas esferas hasta cierta distancia de la cara de la columna la zona se convertiría en losa maciza con peralte de 28 cm

A 20 cm de la columna:

$$b_o = 4.64 \text{ m}$$

$$d = 25 \text{ cm}$$

$$A_o = 2.32 \text{ m}^2$$

$$A_{TOTAL} = 100 \text{ m}^2$$

$$Vu = 1.46(100 - 2.32) = 143 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 0.8 \times 0.85 \times 1.06 \times \sqrt{210} \times 464 \times 25 = 148.25 \text{ ton}$$

$$\phi V_c > V_u \rightarrow \text{Sí cumple}$$

En el caso de la BubbleDeck se quitarán esferas de plástico una longitud aproximada de 20 cm alrededor de la columna para controlar las sollicitaciones de punzonamiento.

Diseño por corte

- **Maciza**

$$\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \times \sqrt{210} \times 100 \times 23 = 15.02 \text{ ton}$$

$$V_{u+} = 30.18 \text{ ton}$$

$$V_{u-} = 21.34 \text{ ton}$$

Las cortantes de diseño superan por mucho a la capacidad cortante de la losa en ambos lados del paño, es decir en cada encuentro losa-columna

Si se utiliza una altura de 30 cm:

$$V_c = 0.53 \times \sqrt{210} \times 100 \times 28 = 21.51 \text{ ton}$$

Si se utiliza una altura de 45 cm:

$$V_c = 0.53 \times \sqrt{210} \times 100 \times 43 = 33.03 \text{ ton}$$

Con un ábaco de 20 cm se controlarían las fuerzas cortantes en algunas columnas

Mientras que con un ábaco de 5 cm se podría controlar otras cuantas.

- **BubbleDeck**

$$\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \times \sqrt{210} \times 100 \times 26 = 16.97 \text{ ton}$$

$$V_c = 19.97 \text{ ton}$$

$$V_{u+} = 19.25 \text{ ton}$$

$$V_{u-} = 13.61 \text{ ton}$$

El peralte de la losa es suficiente para cubrir las sollicitaciones por corte.

Tabla 9: Resultados generales del diseño por caso y por tipo de losa

		Aligerada	Obs	BDM	Obs	Maciza	Obs
Con vigas	Flexión	Acero positivo= 1/2" Acero negativo=3/8"	Acero razonable	3/8"@.20 en ambas direcciones	Buen comportamiento	3/8"@.20 en ambas direcciones	Buen comportamiento, Acero razonable
	Corte	Requiere ensanche alternado en todos los lados de la losa	Mucha area de ensanche	$\emptyset V_c > V_u$		$\emptyset V_c > V_u$	
Sin vigas	Flexión	Inviabile debido a grandes luces, momentos, cortantes altos, punzonamiento alto.		3/8"@.25 3/8"@.17	Acero razonable	1/2"@.25 1/2"@.15	Demasiado acero
	Punzonamiento			$\emptyset V_c > V_u$	Al retirar algunas esferas posee buen comportamiento	$\emptyset V_c < V_u$	La columna central necesita capitulo ábaco
	Corte			$\emptyset V_c > V_u$	Buen comportamiento	$\emptyset V_c < V_u$	Todas las columnas necesitan ábacos o capiteles



3.2. Peso sísmico

Luego de haber analizado el comportamiento estructural exclusivamente de las losas en dos direcciones, es conveniente analizar el efecto de las distintas losas en el comportamiento global de la estructura. El análisis sísmico que se realiza en toda edificación depende de varios factores como la ubicación, el suelo, la importancia de la estructura, entre otros. Sin embargo, el peso de la estructura es un factor esencial que influye en gran parte en el comportamiento de la edificación. Las fuerzas internas, los desplazamientos y el refuerzo requerido en cada elemento estructural de una edificación depende de la cortante sísmica que se esté aplicando y esta fuerza cortante depende principalmente del peso sísmico de la estructura. Por ello, el análisis del peso sísmico con las distintas losas en dos direcciones es importante, con el objetivo de apreciar las ventajas y desventajas de cada sistema de techado. Asimismo, se analizarán tres casos: las losas aligeradas en dos direcciones con vigas, ya que son las más usadas en nuestro medio y es evidente que si esta se compara con una losa maciza o bubble deck en un sistema con vigas, estas dos últimas serán más pesadas, por lo que no se analizarán estos casos; las losas macizas en un sistema sin vigas y las losas bubble deck en un sistema sin vigas.

3.2.1. Losa aligerada en dos direcciones con vigas

Se procederá a realizar el metrado manual del de los ejemplos mostrados en el apartado anterior. Las vigas son de 25x50 cm y la losa aligerada es de 25 cm de espesor y los paños son de 5x5 m. Solo se considerará el peso propio de los elementos, ya que otras cargas como el piso terminado y la sobrecarga son iguales en todos los casos. Además, supongamos que las columnas tienen una longitud de 3.2 m.

$$\text{Losas} = 0.328 * 10 * 10 = 32.80 \text{ ton}$$

$$\text{Vigas} = 0.25 * 0.50 * 2.4 * (12 * 4.3) = 15.48 \text{ ton}$$

$$\text{Columnas} = 0.7 * 0.7 * 2.4 * 3.2 * 9 = 33.87 \text{ ton}$$

$$\text{Peso total} = 32.8 + 15.48 + 33.87 = \mathbf{82.15 \text{ ton}}$$

3.2.2. Losa Bubble Deck sin vigas

Se procederá a realizar el metrado manual del de los ejemplos mostrados en el apartado anterior. En este caso no existen vigas que encierren los paños y la losa es de 28 cm de espesor. Solo se considerará el peso propio de los elementos, ya que otras cargas como el piso terminado

y la sobrecarga son iguales en todos los casos. Además, supongamos que las columnas tienen una longitud de 3.2 m.

$$\text{Losas} = 0.46 * 10 * 10 = 46.00 \text{ ton}$$

$$\text{Columnas} = 0.7 * 0.7 * 2.4 * 3.2 * 9 = 33.87 \text{ ton}$$

$$\text{Peso total} = 46.00 + 33.87 = \mathbf{79.87 \text{ ton}}$$

3.2.3. Losa Bubble Deck sin vigas

Se procederá a realizar el metrado manual del de los ejemplos mostrados en el apartado anterior. En este caso no existen vigas que encierren los paños y la losa es de 25 cm de espesor. Solo se considerará el peso propio de los elementos, ya que otras cargas como el piso terminado y la sobrecarga son iguales en todos los casos. Además, supongamos que las columnas tienen una longitud de 3.2 m y que necesitan capiteles para poder resistir las cargas por punzonamiento; por ello, se considerará un 5% de peso extra en las columnas.

$$\text{Losas} = 0.6 * 10 * 10 = 60.00 \text{ ton}$$

$$\text{Columnas} = 0.7 * 0.7 * 2.4 * 3.2 * 9 * 1.05 = 35.56 \text{ ton}$$

$$\text{Peso total} = 46.00 + 33.87 = \mathbf{95.56 \text{ ton}}$$

Según los resultados obtenidos, se observa que las losas bubble deck representan un menor peso en la estructura de aproximadamente un 3% menos en un sistema de losas sin vigas con respecto a una losa aligerada en dos direcciones en un sistema con vigas y aproximadamente un 20% menos con respecto a una losa maciza en un sistema sin vigas. Entonces, esta ventaja de las losas bubble deck frente a los demás sistemas de techados puede servir para reducir el peso de una edificación. Con esto se puede reducir las fuerzas internas de todos los elementos, lo cual demandaría un menor refuerzo y menor costo. Asimismo, se pueden controlar los desplazamientos de la estructura de una mejor manera, lo cual evitaría una mayor colocación de elementos verticales o cambios en las propiedades mecánicas de los elementos estructurales que buscarían controlar los desplazamientos.

3.3. Constructabilidad

La diferencia entre los procesos constructivos de una losa nervada, una losa maciza y una losa BDM se concentran en puntos muy específicos. Estos puntos representan una ventaja o desventaja para el proyecto dependiendo del tipo de losa que se elija para este. Estos son:

3.3.1. Encofrado

Por un lado, la losa nervada es una losa tipo waffle, es decir, que presenta una gran cantidad de vacíos en su lado inferior; por lo que necesita un encofrado muy complejo. Hay empresas que se especializan en este tipo de encofrados, por lo que estas pueden hacer la colocación de este mucho más rápido; sin embargo, dependiendo del proyecto en el que se esté trabajando, la colocación de este representará un costo muy elevado. Por ello, en la losa nervada diseñada se considera utilizar ladrillo para el relleno de vacíos, en ese caso el encofrado solo consta de una base uniforme y puntales.

Por otro lado, la losa maciza requiere de un encofrado más simple, ya que consiste solo en puntales y una base sobre la cual se vacía el concreto. La colocación de este tipo de encofrado es mucho más rápida y la mano de obra no necesita ser tan especializada, ya que este es un tipo de losa muy común.

Finalmente, el sistema de losas bubble deck, en su mayoría de casos, no necesita encofrado alguno, ya que el lado inferior de esta es prefabricado y transportado a obra para su colocación. Posteriormente, se realiza el vaciado encima de esta sin necesidad alguna de un encofrado. Se hace hincapié en que la mayoría se construye de esta forma, menos la losa tipo módulos reforzados, utilizada para análisis en esta investigación, sí necesita de un encofrado igual de la losa maciza.

3.3.2. Concreto

La losa maciza es la losa que hace uso de un mayor volumen de concreto para su construcción, este exagerado volumen vuelve a representar un aumento en el costo del proyecto y un problema adicional para la logística, ya que, dependiendo del área que se vaciará, se deberá pedir una cantidad necesaria de mixers de concreto, los cuales tienen un tiempo límite para ser vaciados o el concreto se vuelve inservible.

La losa nervada consigue ahorrar en el volumen de concreto al igual que el sistema de losas bubble deck. Mientras que los vacíos en el lado inferior de la losa nervada son los que reducen

el volumen de concreto necesario, el sistema de losas bubble deck presenta esferas hechas de polietileno de alta densidad ubicadas en el centro de la losa. Estas esferas presentan un vacío de aire en su interior, el cual representa la reducción del volumen de concreto.

3.3.3. Mano de obra

La losa nervada necesita de una mano de obra más especializada en lo que respecta al encofrado particular que puede presentar. Pero en una losa aligerada con ladrillo no hay este problema y las partidas de concreto y acero necesitan cuadrillas comunes.

La losa maciza necesita mano de obra para las 3 partidas principales (concreto, encofrado y acero); sin embargo, se necesita colocar más acero que los otros 2 tipos de losas estudiados, por lo que necesita más mano de obra en esta partida. Al contrario de esta, la partida que menos representa el sistema de losas bubble deck es la de acero, ya que hay casos en los que solo se necesita colocar una malla electrosoldada encima de las esferas o ya puede venir unida a las esferas tanto por encima como por debajo. Además, se puede omitir la mano de obra necesaria en la colocación de encofrado.

3.3.4. Tiempo

En primer lugar, es preciso mencionar que, como una generalidad, el sistema de losas macizas tarda más tiempo en cuanto a vaciado de concreto se refiere porque el volumen de concreto en dichas losas es mayor que en las losas aligeradas y mucho mayor al volumen de concreto a vaciar en las losas bubble deck. En segundo lugar, la colocación del encofrado y de la gran cuantía de acero que se necesita colocar en obra es otro factor en contra de las losas macizas.

Respecto a este tema, la Cámara Peruana de la Construcción (2003) indica rendimientos usuales en obra en sus publicaciones. Respecto a la partida de encofrado, se consideran rendimientos específicos para las actividades de habilitación de encofrado, colocación de encofrado y retiro de encofrado (desencofrado). Estos son 75, 12 y 36 m²/día para cada actividad respectivamente en una losa maciza y 60, 15 y 15 m²/día para cada actividad respectivamente para una losa nervada. Luego, respecto al vaciado de concreto, se indican rendimientos de 20 m³/día en losas macizas y 25 m³/día en losas aligeradas. Es por esto que se puede afirmar que, claramente, la partida de encofrado es más tardada en una losa nervada ya que la habilitación de encofrado y el retiro del mismo toman más tiempo, mientras que la partida de vaciado de concreto toma menos tiempo en esta losa que en una maciza.

En cuanto al tiempo a esperar o tiempo requerido para desencofrar, se estimó de acuerdo a lo sugerido por el capítulo 347 del American Concrete Institute. Para techos con distancias entre apoyos entre 10 y 20 pulgadas -caso estudiado en esta investigación, ya que la distancia entre vigas es $5\text{m} = 197$ pulgadas- y, asumiendo que para las losas macizas y aligeradas la carga muerta es mayor a la viva, el tiempo a esperar para desencofrar la losa de dichas dimensiones es de 14 días.

Además, en la comparación entre losas, se debe tener en cuenta que las losas aligeradas consideran una partida de colocación de ladrillos, la cual tiene un rendimiento aproximado de 2000 unidades por día e implica un tiempo que no es considerado en las demás losas. Por el contrario, no hay una clara diferencia entre los rendimientos propios a la colocación de acero, ya que la bibliografía sugiere 250 kg/día en todos los casos. Si se estima el tiempo a esperar para desencofrar una losa bubble deck, se debe considerar que, si se toma en cuenta que para el tipo de losa bubble deck conocido como elemento filigrana, el elemento de concreto prefabricado en la parte inferior de la losa sirve como encofrado muerto y, entonces, se podría seguir simplemente consideraciones simples como esperar a que el concreto adquiera el 70% de su capacidad resistente final, lo cual se logra a los 7 días después del vaciado.

A pesar de que no existen rendimientos usuales indicados en publicaciones de CAPECO para las losas bubble deck, se deduce que dicho sistema de losas es el de más rápida construcción en comparación con los otros 2 sistemas. Las losas bubble deck aventajan a las otras en este aspecto por diferentes motivos: nula necesidad de encofrado, necesita poca colocación de acero en obra y el volumen de concreto a vaciar es reducido. Todo esto implica que, si se comparase con el tiempo de construcción de las demás losas, para un mismo tiempo, las losas bubble deck demorarían menos, cubrirían una mayor área y, por lo tanto, tienen un mejor rendimiento por día.

3.4. Costos

Para el análisis comparativo de costos, se elabora el presupuesto para construir la losa de entrecimpo de 10 x 10 m², esto para cada sistema de losa en estudio: losa nervada en dos sentidos con vigas, losa maciza con vigas, losa Bubble Deck con vigas, losa maciza sin vigas y losa Bubble Deck sin vigas.

En primer lugar, se elabora el análisis de precios unitarios (APU) de cada partida que conforman el presupuesto. En el anexo A se adjuntan los cuadros detallados de cada APU utilizado. En segundo lugar, se realiza el metrado de cada partida según los resultados obtenidos en el diseño estructural. Finalmente, como se muestra en la tabla 10, con estos resultados se calcula el costo de implementar cada sistema de losa en dos direcciones.

Para el precio de la losa de Bubble Deck se considera el precio de la plancha prefabricada que se produce en Argentina, este precio se incrementaría en caso estas planchas sean transportadas desde Argentina, pero se asume que puede ser construida en el Perú por un costo parecido.

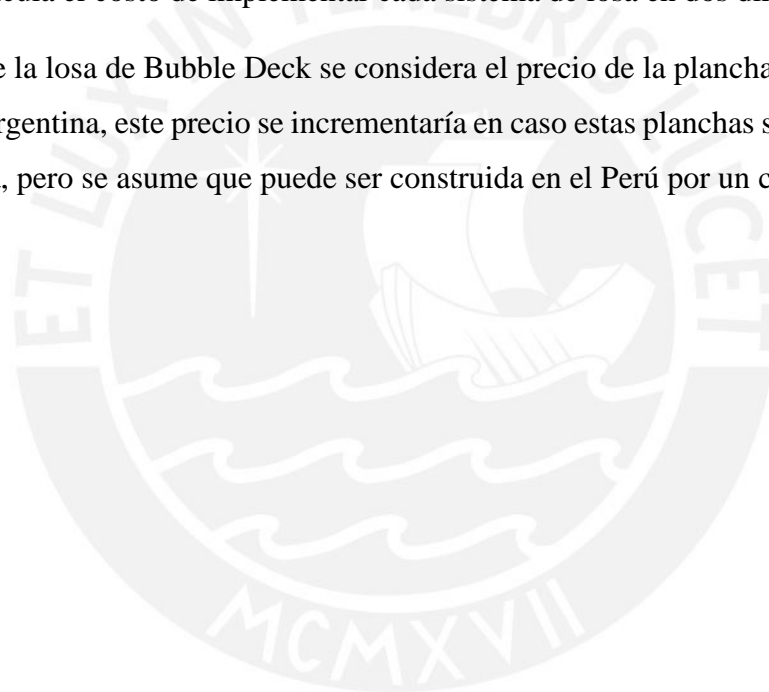


Tabla 10: Presupuesto losa de 10 x 10 m2 con cada sistema

Ítem	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	METRADO	P. U.	PARCIAL	TOTAL
1	LOSA ALIGERADA EN DOS SENTIDOS CON VIGAS					S/18,903.84
01.01	LOSA NERVADA					S/15,374.21
01.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO $f_c=210$ kg/cm2 - Losa nervada 2 direcciones	m3	10.75	S/295.84	S/3,180.28	
01.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - Losa nervada 2 direcciones	m2	100.00	S/51.55	S/5,154.99	
01.01.03	ACERO DE REFUERZO - Losa nervada 2 direcciones	kg	793.72	S/4.83	S/3,833.65	
01.01.04	LADRILLO PARA TECHO 15x30x30 cm.	und	665.00	S/4.82	S/3,205.30	
01.02	VIGAS					S/3,529.63
01.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO $f_c=210$ kg/cm2 - VIGAS	m3	2.50	S/295.84	S/739.60	
01.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - VIGAS	m2	18.00	S/65.34	S/1,176.12	
01.02.03	ACERO DE REFUERZO $f_y=4200$ kg/cm2 - VIGAS	kg	334.14	S/4.83	S/1,613.91	
2	LOSA MACIZA CON VIGAS					S/20,515.82
02.01	LOSA MACIZA					S/16,986.19
02.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO $f_c=210$ kg/cm2 - LOSA MACIZA	m3	19.01	S/295.84	S/5,624.66	
02.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - LOSA MACIZA	m2	100.00	S/51.55	S/5,154.99	
02.01.03	ACERO DE REFUERZO $f_y=4200$ kg/cm2 - LOSA MACIZA	kg	1285.00	S/4.83	S/6,206.55	
02.02	VIGAS					S/3,529.63
02.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO $f_c=210$ kg/cm2 - VIGAS	m3	2.50	S/295.84	S/739.60	
02.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - VIGAS	m2	18.00	S/65.34	S/1,176.12	
02.02.03	ACERO DE REFUERZO $f_y=4200$ kg/cm2 - VIGAS	kg	334.14	S/4.83	S/1,613.91	
3	LOSA BUBBLE DECK CON VIGAS					S/22,900.49
03.01	LOSA BUBBLE DECK					S/19,370.86
03.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO $f_c=210$ kg/cm2 - LOSA BUBBLE DECK	m3	14.26	S/295.84	S/4,218.49	
03.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - LOSA BUBBLE DECK	m2	100.00	S/51.55	S/5,154.99	
03.01.03	ACERO DE REFUERZO $f_y=4200$ kg/cm2 - LOSA BUBBLE DECK	kg	1120.00	S/4.83	S/5,409.60	
03.01.04	PLANCHA BDM 23 cm - malla 1/4"	m2	100.00	S/45.88	S/4,587.78	
03.02	VIGAS					S/3,529.63
03.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO $f_c=210$ kg/cm2 - VIGAS	m3	2.50	S/295.84	S/739.60	
03.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - VIGAS	m2	18.00	S/65.34	S/1,176.12	
03.02.03	ACERO DE REFUERZO $f_y=4200$ kg/cm2 - VIGAS	kg	334.14	S/4.83	S/1,613.91	
4	LOSA MACIZA SIN VIGAS					S/23,215.60
04.01	LOSA MACIZA					S/23,215.60
04.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO $f_c=210$ kg/cm2 - LOSA MACIZA	m3	23.77	S/295.84	S/7,030.82	
04.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - LOSA MACIZA	m2	100.00	S/51.55	S/5,154.99	
04.01.03	ACERO DE REFUERZO $f_y=4200$ kg/cm2 - LOSA MACIZA	kg	2283.60	S/4.83	S/11,029.79	
5	LOSA BUBBLE DECK SIN VIGAS					S/21,275.03
05.01	LOSA BUBBLE DECK					S/21,275.03
05.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO $f_c=210$ kg/cm2 - LOSA BUBBLE DECK	m3	18.06	S/295.84	S/5,343.43	
05.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - LOSA BUBBLE DECK	m2	100.00	S/51.55	S/5,154.99	
05.01.03	ACERO DE REFUERZO $f_y=4200$ kg/cm2 - LOSA BUBBLE DECK	kg	1108.80	S/4.83	S/5,355.50	
05.01.04	PLANCHA BDM 28 cm - malla 1/4"	m2	100.00	S/54.21	S/5,421.11	

Con los totales obtenidos se estima el costo por metro cuadrado para cada sistema de losas en estudio. De estos resultados se observa en la tabla 10 que, en un sistema de losa con vigas, la losa Bubble Deck es la más costosa, mientras que, en un sistema sin vigas, la Bubble Deck es la alternativa más rentable.

Tabla 11: Resumen de costos de cada sistema de losa estudiado

		Aligerada	Maciza	Bubble Deck
Con vigas	Costo Total	S/18,903.84	S/22,900.49	S/22,312.71
	Costo x m2	S/189.04	S/229.00	S/223.13
Sin vigas	Costo Total	-	S/21,275.03	S/20,853.92
	Costo x m2	-	S/212.75	S/208.54

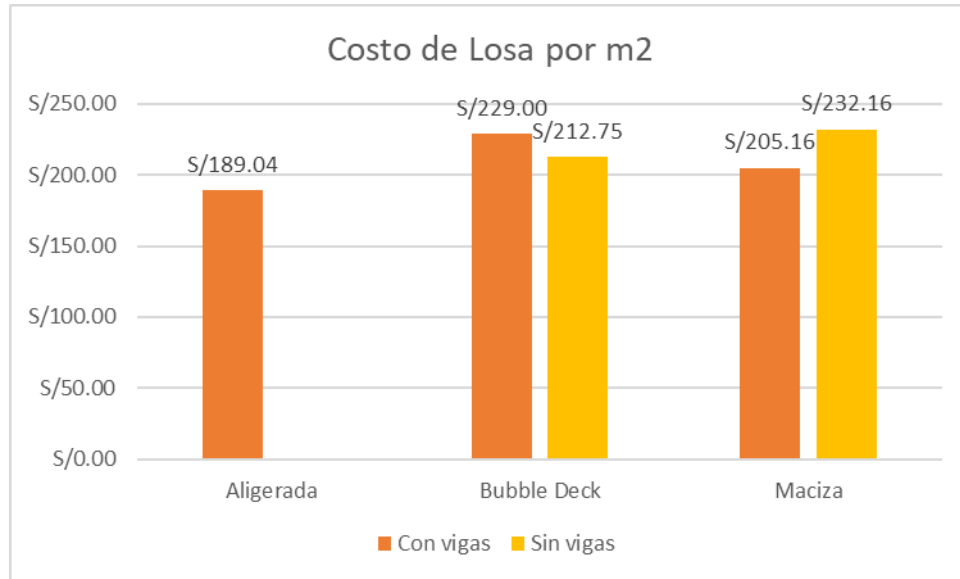


Figura 32: Gráfico de costo por m2 de cada sistema de losa estudiado

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo del presente trabajo de investigación, se ha podido apreciar las características de distintos tipos losas en diferentes aspectos, lo cual contribuirá a una adecuada elección para el caso de estudio. Cuando se requiere construir una losa estructural, se tiene que tomar en cuenta si existen elementos de borde que puedan soportar dicha losa. Si existen estos elementos de borde, es decir, vigas, se tiene como primera opción a las losas aligeradas en dos direcciones que son muy comunes en el Perú cuando se trata de construir sobre luces de mediana y similar longitud. Este tipo de losas resulta ser una buena elección cuando se necesita ahorrar costos. A pesar de que su método de encofrado puede requerir un poco de especialización por parte de los obreros, la cantidad de materiales a usar y su configuración estructural le permite ser una de las losas en dos direcciones más económicas que se puede encontrar en el Perú. Asimismo, su comportamiento estructural se encuentra dentro de lo aceptable, debido a que su bajo peso en comparación con otras losas hace que se generen menos esfuerzos para las mismas condiciones de carga, lo cual generaría un menor refuerzo estructural. No obstante, estas cualidades se ven gravemente afectadas cuando no existen elementos de borde, ya que las luces de las losas aumentarían notablemente y el comportamiento estructural se vería muy debilitado. Una solución a ello, podría ser aumentar el peralte de la losa nervada, pero este valor sería muy alto, aumentaría el peso y el refuerzo requerido que, en ciertos casos, no cumpliría con las normas de diseño estructural, por lo que su construcción es inviable, como en la presente losa de 100m².

Como segunda opción, se tienen a las losas macizas que también trabajan en dos direcciones con luces de mediana y similar longitud cuando existen elementos de borde. Como su propio nombre lo dice, este tipo de losas es macizo porque consiste íntegramente en concreto reforzado de toda su sección y longitud. Debido a esta particularidad, las losas macizas representan un mayor costo, ya que su construcción involucra más materiales. Sin embargo, el encofrado es mucho más simple y no requeriría alguna especialización, ya que solo requiere de puntales y una base de madera principalmente, por lo que se podría ahorrar un costo si es que se compara este tipo de encofrado con la de las losas nervadas. En el aspecto estructural, existe un mejor comportamiento, debido a que se tiene una sección de análisis estructural con mayor capacidad de flexión y corte, esto podría servir de solución si es que se tienen problemas estructurales con las losas nervadas debido a cargas excesivas. Así mismo, si no existen elementos de borde, las

losas macizas también sirven como una solución factible ante la debilidad estructural que poseen las losas nervadas. A pesar de la buena capacidad por flexión y cortante de las losas macizas, se necesitaría más refuerzo y un poco más de peralte, ya que las luces serían más grandes y los esfuerzos aumentarían. Además, el proceso constructivo se vería afectado moderadamente, ya que se tendría que construir la losa por partes, debido a que la construcción completa en losas de grandes longitudes aumentaría el riesgo de fisuración. Asimismo, las columnas que soporten la losa maciza sin vigas necesitarían un reforzamiento de concreto, ya que corren el riesgo de fallar por punzonamiento, por lo que la construcción adicional de ábacos o capiteles sería necesario. Finalmente, el peso de la estructura aumenta notablemente en comparación con otros sistemas de techado con o sin vigas, por lo que las fuerzas internas en todos los elementos aumentarían y se requeriría un mayor refuerzo. Adicionalmente a ello, se podrían tener inconvenientes en el control de los desplazamientos, ya que, al tener un mayor peso, estos aumentan poniendo en riesgo el buen comportamiento de la edificación. Estas consideraciones, aumentarían el costo de la losa comparada con el costo con elementos de borde, pero es una alternativa aceptable cuando se requiere cubrir grandes luces.

Por último, se tienen las losas Bubble Deck como nueva alternativa para la construcción peruana. Este tipo de losas aún no está disponible en el Perú, pero el objetivo es observar las ventajas y desventajas que tiene y poder concluir si es factible la adquisición de esta tecnología. Las losas Bubble Deck pueden ser usadas con o sin elementos de borde. Cuando existen vigas, este tipo de losas se comporta adecuadamente en el aspecto estructural, similar a las losas macizas. Para luces de mediana y similar longitud, los esfuerzos generados no son muy altos debido a las esferas vacías que consiguen disminuir el peso de la losa, por lo que con un refuerzo mínimo o un poco superior a este es suficiente. Además, requiere un enmallado adicional por temperatura y contracción, lo cual involucra mayor cantidad de acero. En el aspecto constructivo, las losas Bubble Deck necesitan un encofrado mínimo, ya que su construcción consiste en una losa de pequeño espesor prefabricada que solo se coloca en sus extremos sobre los elementos de borde. Además, se requiere el enmallado anteriormente mencionado, lo cual implicaría un costo adicional comparado con las losas macizas. Cuando no existen elementos de borde, las losas Bubble Deck tienen un mejor comportamiento y se aprovechan mejor sus cualidades. Debido al bajo peso que genera la utilización de las esferas huecas, el comportamiento estructural en luces grandes no se ve muy afectada y contribuye a

la disminución de fuerzas internas en los otros elementos estructurales y, también, colabora con el control de desplazamientos laterales. Estas últimas ventajas, contribuyen con el ahorro de costos en todo el proyecto. Por ello, su costo es más económico comparado con otras opciones, ya que se necesitaría menos refuerzo en toda la edificación, por lo que su elección en casos sin vigas es preferible.

En el caso de estudio del colegio de Puente Piedra, existen elementos de borde, por lo que las tres alternativas son factibles. No obstante, se tiene una limitación importante que es el poder adquisitivo que se tiene para la construcción del colegio. El presupuesto establecido corresponde a uno del nivel socioeconómico C, por lo que el costo de la construcción de las losas será un detalle importante. En este caso, se tienen luces de 5 a 6 metros y como se tienen vigas alrededor, las losas aligeradas en dos direcciones son las más convenientes. A pesar de las ventajas estructurales de las otras losas, en este caso no es conveniente escoger las losas macizas para disminuir el refuerzo, ya que se estarían agregando otros materiales de mayor costo y un mayor peso a la estructura. No obstante, si el sistema de losas prescindiera de vigas peraltadas, las losas Bubble Deck destacarían por excelencia, debido a que implicaría un menor peso de toda la estructura y, por ende, un menor refuerzo en los demás elementos estructurales y un menor costo total. A pesar de ello, no se tiene esta tecnología en el Perú y su importación sería muy costosa, por lo que la adquisición de esta tecnología es conveniente.

En el Perú, lo más usual es tener edificaciones con elementos de borde que puedan soportar las losas. No obstante, siempre existirán casos especiales en la que no se requieran vigas peraltadas por razones arquitectónicas, por lo que las losas BubbleDeck serían una perfecta elección para cubrir esta necesidad. Los costos se reducirían, por lo que a la industria de la construcción mejoraría tanto para el cliente como para el constructor. Por ello, sería ideal que esta tecnología se adquiriera en el Perú para poder producirla dentro del país sin necesidad de estar importando los materiales necesarios. Esto indica, que el Perú aún tiene una industria de la construcción con cierto retraso tecnológico, ya que existen además de las losas BubbleDeck, otros tipos de losas que no se han estudiado detalladamente, como los sistemas New Nautilus, sistema de cuerpos huecos, sistema BeePlate y sistema AirDeck, entre otros, que probablemente son mejores que las losas que actualmente se están usando en el territorio nacional, por lo que se estarían perjudicando ambas partes económicamente. Por ello, la difusión de nuevas

tecnologías y el incentivo a la investigación para la adopción de estas es muy importante en el sector construcción y esto debe impulsarse para el beneficio de todos.



5. REFERENCIAS

- Amaya, E., & Galindo, J. (2015) *Análisis del comportamiento y aplicación de losas Bubble Deck* (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- American Concrete Institute (2014). *Requerimientos de Reforzamiento para Concreto Estructural (ACI318-19) y Comentarios (ACI 318R-19)*. Farmington Hills, MI: ACI.
- Basantes, J. (2016) *Análisis de eficiencia estructural entre una losa nervada y una losa aliviada con pelotas de plástico reciclado* (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Blanco, A. (1994). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*. Lima: Capítulo de Ingeniería Civil (CIP).
- Bubble Deck. *Sistema constructivo de losas planas para grandes luces*.
- Cámara Peruana de la Construcción (2003). *Costos y Presupuestos en Edificación*. Lima, Perú: CAPECO.
- Carnegie Mellon University's Civil & Environmental Engineering department (2017, 3 de abril). *4 things to know about tepper quad bubble deck*. [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=tKjIybiWYTU&ab_channel=CarnegieMellon-Civil%26EnvironmentalEngineering
- Churakov A. (2014). *Biaxial hollow slab with innovative types of voids*. Saint-Petersburg Polytechnical University. Saint. Petersburg, Russia.
- Comité ACI 347 (2003). *Guía para el diseño, construcción y materiales de cimbras para concreto: ACI-347-01*. Ciudad de México, México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Danstek. (2016) *Manual de Diseño y Cálculo Estructural*.
- Davis S., Lewis N., Shaner M., Aggarwal S. (2018). *Net-Zero emissions energy systems*. Science.
- Harmsen, T. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado* (tercera edición) . Lima: Fondo Editorial PUCP.

Lai T. (2010). *Structural Behavior of BubbleDeck Slabs and their application to lightweight Bridge Decks*.(Tesis de Maestría). Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, Estados Unidos.

Montañez, N. (2015). *Comportamiento estructural y Diseño de losas macizas de Concreto Armado en infraestructuras de Ingeniería Civil* (Tesis para optar por el Título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Muñoz, A. (1999). *Ingeniería Sísmoresistente*. Lima: Fondo Editorial PUCP.

Nicácio, W. Sistemas constructivos con losas Bubble Deck.

Nilson, A. (1999). *Diseño de estructuras de concreto*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S.A.

Ottazzi, G. (2016). *Apuntes del curso Concreto Armado 1*, decimoquinta edición. Lima: Fondo Editorial PUCP.

Quino W. (2019). *Optimización de concreto en losas aligeradas en construcción de viviendas, con la incorporación de vacíos esféricos y aplicación del sistema BubbleDeck*. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga. Ayacucho, Perú.

Segura, A. (2017). *Manual de Proceso Constructivo de losas Bubble Deck (BDM) para edificaciones* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

SENCICO (2009). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto armado*. Lima: Reglamento Nacional de Edificaciones.

ANEXOS

ANEXO A: Análisis de Precios Unitarios

Tabla 12. APU CONCRETO PREMEZCLADO $f_c=210$ kg/cm²

Partida		CONCRETO PREMEZCLADO $f_c=210$ kg/cm ²				Costo unitario directo por : m ³			295.84
Rendimiento	m ³	MO.	60.00	EQ.	60.00				
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.			
Mano de Obra									
Capataz		HH	0.1000	0.0133	28.06	0.37			
Oficial		HH	1.0000	0.1333	18.48	2.46			
Operador Equipo Liviano		HH	1.0000	0.1333	24.18	3.22			
Operario		HH	2.0000	0.2667	23.38	6.23			
Peon		HH	4.0000	0.5333	16.71	8.91			
							21.21		
Materiales									
Concreto Pre-mezclado C/cemento Tipo I Fc=210 Kg/cm ²		M3		1.0200	235.50	240.21			
							240.21		
Equipos y Herramientas									
Herramienta Manual		%MO		3.0000	21.20	0.64			
Vibrador De Concreto	4hp, 1.50 Plg	HM		0.1333	5.90	0.79			
							1.42		
Subcontratos y servicios									
Servicio Bomba Telescopica				1.0000	33.00	33.00			
							33.00		

Tabla 13. APU ACERO DE REFUERZO $f_y=4200$ kg/cm²

Partida		ACERO DE REFUERZO $f_y=4200$ kg/cm ²				Costo unitario directo por : m ²			4.83
Rendimiento	KG	MO.	250.00	EQ.	250.00				
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.			
Mano de Obra									
Capataz		HH	0.1000	0.0032	28.06	0.09			
Oficial		HH	1.0000	0.0320	18.48	0.59			
Operario		HH	1.0000	0.0320	23.38	0.75			
							1.43		
Materiales									
Acero Corrugado $F_y=4200$ (g-60) Precio Promedio		T		0.0011	2910.36	3.20			
Alambre Negro Recocido Bwg N 16		KG		0.0200	3.00	0.06			
							3.26		
Equipos y Herramientas									
Cizalla Eléctrica		HM		0.0088	4.77	0.04			
Dobladora		HM		0.0088	3.78	0.03			
Herramienta Manual		%MO		5.0000	1.19	0.06			
							0.13		

Tabla 14. APU ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - Vigas

Partida		ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - VIGAS				Costo unitario directo por : m ²			65.34
Rendimiento	m ²	MO.	12.00	EQ.	12.00				
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.			
Mano de Obra									
Capataz		HH	0.1000	0.0667	28.06	1.87			
Oficial		HH	1.0000	0.6667	23.38	15.59			
Operario		HH	1.0000	0.6667	16.71	11.14			
							28.60		
Materiales									
Alambre Negro Recocido Bwg N 8		KG		0.10	3.00	0.30			
Clavo C/cabeza P/construcción D. Promedio		KG		0.24	4.15	1.00			
Madera Tornillo		P2		5.41	6.20	33.54			
							34.84		
Equipos y Herramientas									
Herramienta Manual		%MO		5.0000	38.12	1.91			
							1.91		

Tabla 15. APU ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - Losas

Partida		ENCOFRADO Y DESENCOFRADO - LOSAS							
Rendimiento	m2	MO.	15.00	EQ.	15.00	Costo unitario directo por : m2			51.55
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.			
Mano de Obra									
Capataz		HH	0.1000	0.0533	28.06	1.50			
Oficial		HH	1.0000	0.5333	18.48	9.86			
Operario		HH	1.0000	0.5333	23.38	12.47			
						23.82			
Materiales									
Alambre Negro Recocido Bwg N 8		KG		0.1000	3.00	0.30			
Clavo C/cabeza P/construcción D. Promedio		KG		0.1400	4.15	0.58			
Madera Tornillo		P2		4.0900	6.20	25.36			
						26.24			
Equipos y Herramientas									
Herramienta Manual		%MO		5.0000	29.78	1.49			
						1.49			

Tabla 16. APU LADRILLO PARA TECHO 15x30x30 cm.

Partida		LADRILLO PARA TECHO 15x30x30 cm.							
Rendimiento	UND	MO.	200.00	EQ.	200.00	Costo unitario directo por : pza			4.82
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.			
Mano de Obra									
Capataz		HH	0.1000	0.0040	28.06	0.11			
Oficial		HH	1.0000	0.0400	18.48	0.74			
Operario		HH	1.0000	0.0400	23.38	0.94			
						1.79			
Materiales									
Ladrillo Arcilla Hueco 12 15x30x30cm		MLL		0.0011	2710.00	2.98			
						2.98			
Equipos y Herramientas									
Herramienta Manual		%MO		3.0000	1.79	0.05			
						0.05			

Tabla 17. APU PLANCHA BDM 23 cm

Partida		PLANCHA BDM 23 cm - malla 1/4"							
Rendimiento	m2	MO.	120.00	EQ.	120.00	Costo unitario directo por : m2			45.88
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.			
Mano de Obra									
Capataz		HH	0.1000	0.0067	28.06	0.19			
Oficial		HH	1.0000	0.0667	18.48	1.23			
Operario		HH	1.0000	0.0667	23.38	1.56			
						2.98			
Materiales									
PLANCHA BDM 230 3mx12m		und		0.0278	1500.00	41.67			
						41.67			
Equipos y Herramientas									
Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 t		HM	0.1	0.0067	185.01	1.23			
						1.23			

Tabla 18. APU PLANCHA BDM 28 cm

Partida		PLANCHA BDM 28 cm - malla 1/4"								
Rendimiento m2		MO. 120.00		EQ. 120.00		Costo unitario directo por : m2			54.21	
Descripción Recurso					Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra										
Capataz					HH	0.1000	0.0067	28.06	0.19	
Oficial					HH	1.0000	0.0667	18.48	1.23	
Operario					HH	1.0000	0.0667	23.38	1.56	
									2.98	
Materiales										
PLANCHA BDM 280 3mx12m					und		0.0278	1800.00	50.00	
									50.00	
Equipos y Herramientas										
Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de					HM	0.1	0.0067	185.01	1.23	
									1.23	

