



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Fundada 1867



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO Y APLICACIÓN DE LOSAS BUBBLEDECK”
TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTORES:
Teodoro Esteban Amaya Astudillo
Boris Jaime Galindo Bacuilima

DIRECTOR:
ING. JORGE FERNANDO MOSCOSO FERNÁNDEZ SALVADOR

Cuenca – Ecuador
2015



RESUMEN

En este proyecto se realizó un análisis estructural de primer orden del comportamiento de lasas Bubbledeck y la aplicación de este sistema, comparado con sistemas de lasas alivianadas. Los puntos que se analizaron fueron: la distribución interna de esfuerzos en lasas Bubbledeck, los efectos producidos al utilizar este sistema de lasas en los rangos de aplicación especificados para cada caso de lasas Bubbledeck y una comparación entre la aplicación de este sistema de lasas y sistemas de lasas alivianadas en estructuras de edificios de hasta 4 pisos. Los modelos se realizaron en el programa SAP2000, para el análisis de la distribución interna de esfuerzos se modelaron estructuras de lasas con la inclusión de esferas de polietileno de alta densidad; para el análisis de lasas Bubbledeck en los rangos de aplicación, se modelaron los diferentes tipos de lasas Bubbledeck con las dimensiones especificadas para cada caso y para el análisis comparativo entre lasas Bubbledeck y lasas alivianadas, se modelaron estructuras de edificios que utilicen ambos sistemas de lasas. Como resultados se obtuvieron los valores de esfuerzos y la distribución de los mismos dentro de una losa Bubbledeck tomando en cuenta la presencia de esferas de polietileno, también se obtuvo las deflexiones producidas en cada tipo de losa Bubbledeck y finalmente una comparación técnica y económica de los efectos de utilizar lasas Bubbledeck y lasas alivianadas en edificios de hasta 4 pisos.

PALABRAS CLAVE

Bubbledeck, polietileno de alta densidad, modelo en SAP 2000, estudio de deflexiones, comparación sistemas de lasas.



ABSTRACT

In this project a first order structural analysis was performed for the behavior of Bubbledeck slabs and the application of this system, compared with waffle slabs systems. The points discussed were: the internal distribution of stresses in Bubbledeck slabs, the effects produced using this system of slabs in the ranges specified for each case of application of Bubbledeck slabs and a comparison between the application of this slab system and a waffle slab system in buildings up to 4 floors. The models were made in the program SAP2000, for the analysis of the internal stress distribution, slab structures were modeled with the inclusion of spheres of high density polyethylene; for the analysis of Bubbledeck slabs in application rates, different types of bubbledeck slabs were modeled with the dimensions specified for each case. For a comparative analysis between waffle slabs and Bubbledeck slabs, building structures using both slab systems were modeled. As a result values of stresses were obtained and their distribution inside a Bubbledeck slab considering the presence of polyethylene spheres, also it was obtained deflections produced in each type of Bubbledeck slab and finally a technical and economic comparison of the effects of using Bubbledeck slabs and waffle slabs in buildings up to 4 floors.

KEYWORDS

Bubbledeck, high density polyethylene, SAP2000 model, study of deflections, slab systems comparison.



Contenido

CAPITULO 1 INTRODUCCION	12
1.1 ANTECEDENTES	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	14
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	14
1.3 JUSTIFICACION.	14
2 CAPITULO 2 MARCO TEORICO.....	15
2.1 GENERALIDADES.	15
2.2 LOSAS BIDIRECCIONALES.	17
2.3 DISEÑO DE LOSAS BIDIRECCIONALES.....	19
2.3.1 <i>Espesor mínimo de losa</i>	19
2.3.2 <i>Método de diseño directo</i>	20
2.3.2.1 Limitaciones para el uso del método de diseño directo.....	20
2.3.2.2 Momento estático mayorado.....	21
2.3.2.3 Distribución del momento estático mayorado	21
2.3.2.4 Distribución de los momentos mayorados en la franja de columna y franja central	21
2.3.3 <i>ESFUERZOS CORTANTES EN LOSAS</i>	24
2.4 LOSAS BUBBLEDECK.	25
2.4.1 <i>Comportamiento a flexión en losas Bubbledeck</i>	27
2.4.2 <i>Comportamiento a cortante y punzonamiento en losas Bubbledeck</i>	28
2.5 MATERIALES.	30
2.5.1 <i>Hormigón</i>	30
2.5.2 <i>Acero</i>	31
2.5.3 <i>Polietileno de alta densidad (HDPE)</i>	32
2.6 AGRIETAMIENTO EN ELEMENTOS DE HORMIGON REFORZADO.	33
3 CAPITULO 3 METODOLOGIA.....	34
3.1 COMPORTAMIENTO DE LOSAS BUBBLEDECK.....	34
3.1.1 <i>Modelo del comportamiento en el programa SAP 2000</i>	34
3.2 MODELOS DE DEFLEXIONES DE LOS TIPOS DE LOSAS BUBBLEDECK EN SAP2000.....	36
3.2.1 <i>Características de los modelos</i>	36
3.2.2 <i>Inercias equivalentes en secciones alivianadas con esferas</i>	38
3.2.3 <i>Agrietamiento de las secciones</i>	40
3.3 ANALISIS DE PORTICOS.	41
3.3.1 <i>Consideraciones generales</i>	41
3.3.2 <i>Secciones de elementos de vigas y columnas</i>	43
3.3.3 <i>Análisis del cortante de losas</i>	44
3.3.4 <i>Espectro de diseño</i>	46
3.3.5 <i>Cortante basal de diseño</i>	48
3.3.6 <i>Limitaciones de los modelos de pórticos de edificios</i>	50
4 CAPITULO 4 RESULTADOS	51
4.1 RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE LOSAS BUBBLEDECK.	51
4.1.1 <i>Distribución de esfuerzos en losas Bubbledeck</i>	51
4.1.2 <i>Esfuerzo en las esferas</i>	53
4.2 RESULTADOS DE DEFLEXIONES PARA LOS TIPOS DE LOSAS BUBBLEDECK...53	
4.3 RESULTADOS DE MODELOS DE PORTICOS DE EDIFICIOS.	55



4.3.1	<i>Resultados de modelo edificio de 3 pisos con luces de 5 metros.</i>	56
4.3.2	<i>Resultados de modelo edificio de 3 pisos con luces de 6 metros x 7 metros.</i>	56
4.3.3	<i>Resultados de modelo edificio de 4 pisos con luces de 7 metros x 8 metros.</i>	57
4.3.4	<i>Resultados de fuerzas cortantes en losas.</i>	57
4.3.4.1	Resultados de fuerzas cortantes para losas Bubbledeck.....	57
4.3.4.2	Resultados de fuerzas cortantes para losas nervadas.	58
4.3.5	<i>Comparación de resultados entre modelos realizados con losas alivianadas y con losas Bubbledeck.</i>	61
4.3.6	<i>Comparación de cantidades de material y costos.</i>	63
5	CAPITULO 5 CONCLUSIONES	66
	RECOMENDACIONES DE ESTUDIOS FUTUROS.	68
	BIBLIOGRAFIA.	69
	ANEXOS.	71

Índice de figuras

CAPITULO 2 MARCO TEORICO	15
FIGURA 2.1. ESKEMA DE LOSAS QUE TRABAJAN EN UNA DIRECCIÓN.....	15
FIGURA 2.2. ESKEMA DE LOSA QUE TRABAJA EN DOS DIRECCIONES.....	16
FIGURA 2.3. ESKEMA DE LOSA PLANA.....	16
FIGURA 2.4. ESKEMA DE LOSA EN DOS DIRECCIONES SOBRE APOYOS EN LOS BORDES.....	17
FIGURA 2.5. SECCIONES DE FRANJAS DE COLUMNA Y FRANJA MEDIA	24
FIGURA 2.6. MODELOS DE FISURACIÓN EN LOSAS.....	24
FIGURA 2.7. ORDENADAS DE FUERZA CORTANTE TRANSMITIDA A LAS VIGAS	25
FIGURA 2.8. SECCIONES CRÍTICAS PARA FUERZA CORTANTE	25
FIGURA 2.9. ESKEMA DE COMPONENTES DE LOSA BUBBLEDECK	26
FIGURA 2.10. ESKEMA LOSAS BUBBLEDECK (FILIGREE ELEMENT)	26
FIGURA 2.11 LOSAS BUBBLE DECK (REINFORCEMENT MODULES)	27
FIGURA 2.12 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LOSA SÓLIDA	27
FIGURA 2.13. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LOSA BUBBLEDECK	28
FIGURA 2.14. ESKEMA DE INTERSECCIÓN DE COLUMNAS CON LOSAS BUBBLEDECK	29
FIGURA 2.15: RESUMEN DE PRUEBAS DE CAPACIDAD CORTANTE	29
FIGURA 2.16 CURVAS ESFUERZO- DEFORMACIÓN	30
FIGURA 2.17 CURVAS ESFUERZO- DEFORMACIÓN PARA ACERO	31
FIGURA 2.18. ESFERAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	33
CAPITULO 3 METODOLOGIA	34
FIGURA 3.1 GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL PARA LOSAS BD 230	34
FIGURA 3.2 SECCIONES DE ESFERAS COMO ELEMENTOS SHELL	35
FIGURA 3.3 SECCIONES DE HORMIGÓN COMO ELEMENTOS SÓLIDOS	35
FIGURA 3.4 DISTANCIAS PARA PONDERACIONES DE INERCIAS	38
FIGURA 3.5 SECCIONES DE CÁLCULO DE INERCIAS.....	39
FIGURA 3.6 SECCIONES DE LOSA ALIVIANADAS PARA MODELOS DE EDIFICIOS.....	43
FIGURA 3.7 SECCIÓN DE DISEÑO POR CORTANTE PARA LOSAS	44
FIGURA 3.8 SECCIÓN CON LÍMITES DE INTEGRACIÓN PARA ESFUERZOS CORTANTES.....	45
FIGURA 3.9 DIAGRAMA DE ESFUERZOS CORTANTES PARA SECCIÓN RECTANGULAR	46
FIGURA 3.10 DIAGRAMA DE ESFUERZOS CORTANTES PARA LOSAS NERVADAS.....	46



FIGURA 3.11 ESPECTRO DE DISEÑO	47
CAPITULO 4 RESULTADOS	51
FIGURA 4.1 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN SECCIONES DE LOSA.....	52
FIGURA 4.2 ESFUERZOS EN ESFERAS	53
FIGURA 4.3 DEFLEXIONES EN LOS TIPOS DE LOSAS BUBBLEDECK	55
FIGURA 4.4 DEFLEXIONES DE LOSAS ALIVIANADAS Y LOSA BUBBLEDECK BD230, PARA DIFERENTE TAMAÑOS DE LOSAS ..	55
FIGURA 4.5 DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE PARA LOSA ALIVIANADA TIPO 1.....	58
FIGURA 4.6 DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE PARA LOSA ALIVIANADA TIPO 2.....	59
FIGURA 4.7 DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE PARA LOSA ALIVIANADA TIPO 3.....	60
FIGURA 4.8 RELACIONES EN PORCENTAJE DE LOSA BUBBLEDECK/LOSAS ALIVIANADAS.....	62
FIGURA 4.9 CANTIDADES DE MATERIAL PARA ESTRUCTURAS CON LOSAS ALIVIANADAS Y LOSAS BUBBLEDECK	63
FIGURA 4.10 COSTOS TOTAL DE ESTRUCTURA PARA LOSAS ALIVIANADAS Y LOSAS BUBBLEDECK.....	65
FIGURA 4.11 COSTOS TOTAL DE HORMIGÓN Y ACERO PARA LOSAS ALIVIANADAS Y LOSAS BUBBLEDECK.....	65

Índice de tablas

CAPITULO 2 MARCO TEORICO	15
TABLA 2.1 ESPESOR MÍNIMO DE LOSAS SIN VIGAS INTERIORES	19
TABLA 2.2 ESPESOR MÍNIMO DE LOSAS CON VIGAS INTERIORES.....	19
TABLA 2.3 COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTO ESTÁTICO.....	21
TABLA 2.4 COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTO NEGATIVO INTERIOR EN FRANJAS DE COLUMNA.....	22
TABLA 2.5 COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTO NEGATIVO EXTERIOR EN FRANJAS DE COLUMNA	22
TABLA 2.6 COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTO POSITIVO EN FRANJAS DE COLUMNA	23
TABLA 2.7 COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS A VIGAS.....	23
TABLA 2.8 CARACTERÍSTICAS DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	32
CAPITULO 3 METODOLOGIA.....	34
TABLA 3.1 DATOS DE LOS MATERIALES.....	35
TABLA 3.2 CARGAS DE DISEÑO	36
TABLA 3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE LOSAS BUBBLEDECK.....	36
TABLA 3.4 DATOS DE CARGAS Y PESOS ASUMIDOS PARA LOS MODELOS EN SAP 2000.....	37
TABLA 3.5 DIMENSIONES DE LOS MODELOS DE LOSAS EN SAP2000	38
TABLA 3.6 INERCIA DE SECCIONES TIPO E INERCIA EQUIVALENTE DE LOSAS BUBBLEDECK.....	40
TABLA 3.7 INERCIAS Y MOMENTOS DE AGRIETAMIENTO DE LOSAS BUBBLEDECK.....	41
TABLA 3.8 CARGAS ASUMIDAS PARA LOS MODELOS	42
TABLA 3.9 SECCIONES DE VIGAS Y COLUMNAS PARA LOS DIFERENTES MODELOS	43
TABLA 3.10 VALORES UTILIZADOS PARA ESPECTRO DE DISEÑO Y CORTANTE BASAL	48
TABLA 3.11 FUERZAS LATERALES Y CORTANTE BASAL	50
CAPITULO 4 RESULTADOS	51
TABLA 4.1 ESFUERZOS Y MOMENTOS EN SECCIONES DE LOSA	52
TABLA 4.2 DEFLEXIONES EN LOSAS BUBBLEDECK.....	54
TABLA 4.3 RESULTADOS DE VIGAS, COLUMNAS Y DERIVAS DE PISO PARA MODELO DE 5M x 5M	56
TABLA 4.4 RESULTADOS DE VIGAS, COLUMNAS Y DERIVAS DE PISO PARA MODELO DE 6M x 7M	56
TABLA 4.5 RESULTADOS DE VIGAS, COLUMNAS Y DERIVAS DE PISO PARA MODELO DE 7M x 8M	57
TABLA 4.6 COSTOS ASUMIDOS DE MATERIALES.....	64
TABLA 4.7 CANTIDAD TOTAL DE MATERIALES Y COSTO TOTAL	64
TABLA 4.8 CANTIDAD DE MATERIALES Y COSTO TOTAL SIN CASETONES O ESFERAS	64



Yo, Teodoro Esteban Amaya Astudillo, autor de la tesis "Análisis de comportamiento y aplicación de losas Bubbledeck", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERO CIVIL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, Octubre de 2015.



Teodoro Esteban Amaya Astudillo.

C.I 010563409-1



Yo, Boris Jaime Galindo Bacuilima, autor de la tesis "Análisis de comportamiento y aplicación de losas Bubbledeck", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERO CIVIL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, Octubre de 2015.

Boris Jaime Galindo Bacuilima.

C.I 010404309-6



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Fundada 1867



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Teodoro Esteban Amaya Astudillo, autor de la tesis "Análisis de comportamiento y aplicación de losas Bubbledeck", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de mi exclusiva responsabilidad.

Cuenca, Octubre de 2015.



Teodoro Esteban Amaya Astudillo.

C.I 010563409-1



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Fundada 1867



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Boris Jaime Galindo Bacuilima, autor de la tesis "Análisis de comportamiento y aplicación de losas Bubbledeck", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de mi exclusiva responsabilidad.

Cuenca, Octubre de 2015.

Boris Jaime Galindo Bacuilima.

C.I 010404309-6



AGRADECIMIENTOS:

Primeramente nos gustaría agradecer a Dios por habernos bendecido de llegar hasta aquí.

A la escuela de Civil en la facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca por habernos dado la oportunidad de convertirnos en profesionales y así cumplir una meta más de nuestra vida, todo esto en un ambiente lleno de amistades que nos acompañaron en este camino.

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestro director de tesis al Ingeniero Jorge Fernando Moscoso Fernández Salvador por guiarnos y compartir con nosotros su conocimiento y experiencia a lo largo de cada para lograr realizar de forma satisfactoria este trabajo de tesis.

A nuestros profesores a lo largo de la carrera de los cuales aprendimos todo lo necesario para culminar nuestra carrera universitaria.

DEDICATORIAS:

Le quiero dedicar todo el esfuerzo realizado a mis padres Teodoro Amaya y Violeta Astudillo, quienes con su amor me guiaron y apoyaron en todo momento para poder seguir y culminar esta carrera, les agradezco ya que por todo lo que han hecho por mi hoy puedo finalizar una de mis metas.

Esteban

A mi madre y a mi padre les doy las gracias por haberme dado las facilidades y libertad de estudiar, haberme guiado y aconsejado de la manera correcta. Gracias a esta ayuda termine mi carrera y así una de mis metas por ello les dedico todo el esfuerzo que puse para llegar aquí.

Boris



CAPITULO 1 INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES.

Conforme avanza la tecnología, las estructuras cada vez se realizan más eficientes y de mayor magnitud, un continuo desarrollo en la mecánica de los materiales ha permitido que se puedan lograr estructuras más ligeras y que se adaptan mejor ante las solicitudes para las cuales son concebidas. Todos los avances que se realizan son muy importantes, especialmente en edificaciones en las cuales el factor económico es de gran importancia.

Un correcto diseño estructural permite cumplir de manera adecuada las exigencias para las cuales se concibe el proyecto, asegurando el funcionamiento de los elementos en toda la vida útil de la construcción y una respuesta adecuada de todos los parámetros que definen el comportamiento ante las acciones para las cuales se realiza la obra.

Un sistema estructural de gran importancia en las construcciones son las losas o sistemas de pisos, se denomina losa a los elementos estructurales bidimensionales, en donde la tercera dimensión es pequeña comparada con las otras dos dimensiones básicas. Las cargas en losas actúan de forma perpendicular al plano principal, pueden ser de diferentes formas y configuraciones según la necesidad para la cual se apliquen y en todo momento se busca hacerlas más ligeras pero cubriendo las mayores distancias posibles buscando así siempre mejorar la productividad y el ahorro de energía en la construcción.

Un tipo de losas muy utilizado en la actualidad son las losas de hormigón reforzado, estos sistemas presentan varias ventajas como son las altas resistencias ante los esfuerzos de compresión y acciones flexionantes, así como también un costo relativamente bajo en la construcción de los elementos. Sin embargo presenta ciertas desventajas en cuanto al peso y al mantenimiento de las estructuras, especialmente en construcciones de gran magnitud.

En este ámbito, a mediados del siglo 20 se crearon sistemas de losas de concreto alivianadas huecas con el fin de reducir las altas relaciones peso-resistencia de los sistemas convencionales. Estos sistemas reducen o cambian el concreto en el centro de la losa por un material más liviano con el fin de reducir el peso propio de la estructura. Sin embargo estos alivianamientos en las losas reducen la resistencia de las mismas ante esfuerzos cortantes y exposición a fuego. (Lai, 2010)

En la década de los 90s el ingeniero alemán Jorgen Breuning encontró una manera de mejorar estos inconvenientes en las losas, enlazando el espacio de aire, el acero y el concreto en una losa hueca bidireccional, mediante el uso de



esferas fabricadas con plástico dando así el surgimiento a la tecnología Bubbledeck.

Este sistema de losas Bubbledeck presenta un gran avance hoy en día, es una tecnología amigable con el medio ambiente, por el uso de esferas de plástico reciclado (polietileno de alta densidad), que reemplazan el hormigón inefectivo en la losa, el material de las esferas también puede ser reutilizable en casos de demolición de edificios, mejorando significativamente la producción de los materiales necesarios para estas losas y los efectos ante la naturaleza que esto conlleva.

El sistema de losas Bubbledeck se diseña de tal manera que los elementos actúan como losas sólidas en cualquier dirección, las esferas se ubican en las zonas dentro de la losa donde el material es menos esforzado, de esta manera se permite que los esfuerzos de compresión y tensión no se vean influenciados por las esferas y que las fuerzas se puedan distribuir libremente, por lo que se aprovecha y optimiza el material y las secciones de losa, se logra una reducción alrededor del 30% en el peso propio de la estructura y una rigidez cercana al 100% de lo que se tendría con una losa sólida.

Actualmente este sistema se construye en Europa y Los Estados Unidos como losas planas debido a las ventajas de esta tecnología, el sistema además puede producirse como elementos prefabricados de fácil transporte y colocación reduciendo el tiempo en la construcción, permite también mucha libertad en los diseños arquitectónicos ya que el sistema puede adaptarse a diferentes formas y dimensiones con la posibilidad de realizar a cambios a bajos costos a lo largo del proceso de construcción.

Si bien las ventajas mencionadas anteriormente, muestran un sistema que posibilita mejores soluciones para la construcción de losas, se debe realizar un análisis de la aplicación de esta tecnología en los diferentes entornos. Muchos de los beneficios de la tecnología Bubbledeck observados en construcciones de otros países, pueden no ser aplicables directamente a nuestro medio, debido principalmente por ser un país ubicado en zona sísmica.

En el presente trabajo de titulación se busca mostrar el comportamiento de losas Bubbledeck y los efectos que conlleva la implementación de esta tecnología a construcciones que puedan realizarse a nuestro medio, con la aplicación de la normativa pertinente de tal manera de que se obtengan la mayor cantidad de beneficios dentro de un ámbito aplicable a nuestro entorno.

Este trabajo de titulación busca encontrar variantes que aprovechen las ventajas del sistema de losas Bubbledeck con la utilización de sistemas estructurales convencionales, de tal manera que se pueda realizar comparaciones directas entre la aplicación de esta tecnología y la aplicación de sistemas de losas utilizados normalmente.



1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General.

Analizar el comportamiento de lasas Bubbledeck y los efectos de la aplicación de este sistema en nuestro medio.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Analizar el comportamiento interno de lasas Bubbledeck.
- Analizar las deflexiones producidas en los diferentes tipos de lasas Bubbledeck ante las dimensiones especificadas para cada caso.
- Analizar los efectos de la aplicación de lasas Bubbledeck.
- Comparar el sistema de lasas Bubbledeck con los sistemas de lasas actuales.

1.3 JUSTIFICACION.

Si bien la tecnología de lasas Bubbledeck presenta varias ventajas frente al uso de lasas sólidas convencionales, antes de la realización de proyectos que adopten esta tecnología se debe hacer una análisis de la factibilidad en su aplicación, tomando en cuenta todas las variables que influyan en la elección y aprobación de proyectos, de tal manera que se pueda conocer el comportamiento de este sistema de lasas ante posibles situaciones que puedan presentarse en nuestro medio, logrando así datos técnicos y verificables obtenidos bajo una normativa correspondiente, con los cuales se puede realizar comparaciones directas con otros sistemas de lasas utilizados normalmente. Razón por la cual en este proyecto de tesis se realizó un análisis comparativo de los aspectos técnicos y económicos, entre el sistema de lasas Bubbledeck y otros sistemas de lasas convencionales.

CAPITULO 2 MARCO TEORICO

2.1 GENERALIDADES.

Una losa es un componente estructural utilizado para proporcionar una superficie plana a una edificación. Es una amplia placa plana generalmente horizontal, cuyas superficies superior e inferior son paralelas o casi paralelas entre sí.(Nilson, Winter, & Yamin, 1999). Las losas pueden tener diferentes condiciones de apoyo, y el comportamiento en cuanto a los esfuerzos y deformaciones dependerá de cómo se encuentren configuradas las mismas.

La configuración de una losa puede ser tal, que se apoye únicamente en dos de los lados, siendo así la acción estructural de la losa en una sola dirección, debido a que la transmisión de cargas es en forma perpendicular a las vigas de apoyo. La figura 2.1 a se muestra la configuración de una losa en una dirección, también se muestra en la figura 2.1 b la configuración de una losa en una dirección para el caso en donde utilizan vigas intermedias.

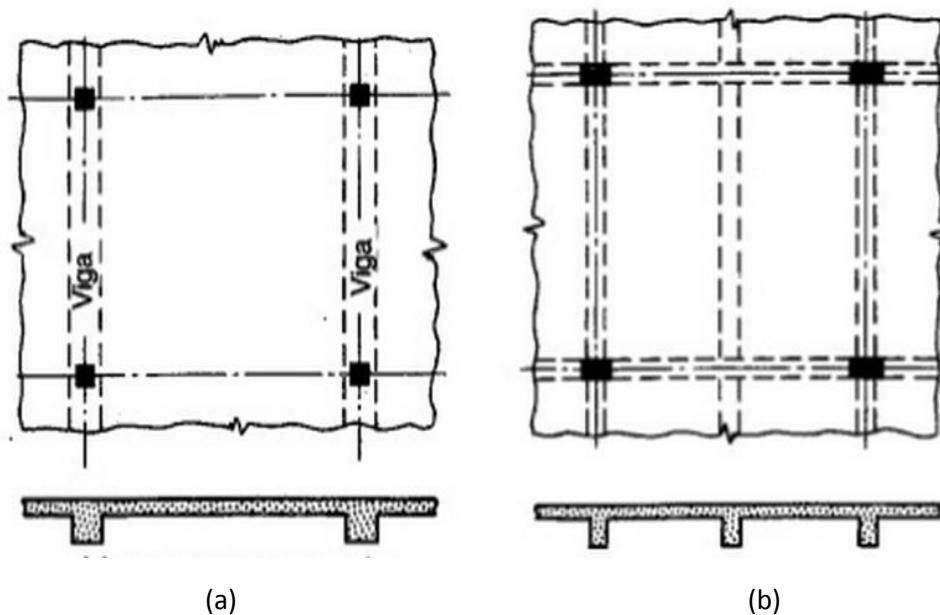


Figura 2.1. Esquema de losas que trabajan en una dirección. (a) Esquema de losa en una dirección sin vigas interiores. (b) Esquema de losa en una dirección con vigas interiores. [12]

Para casos en donde las losas son soportadas en los cuatro lados, la acción estructural se produce en dos direcciones. Sin embargo la losa debe contar con requisitos adicionales en cuanto a la relación entre sus lados para garantizar

que la distribución de las cargas se produzca en dirección de todos los lados apoyados. En la figura 2.2 se muestra la configuración de una losa en dos direcciones apoyada en sus cuatro lados por vigas.

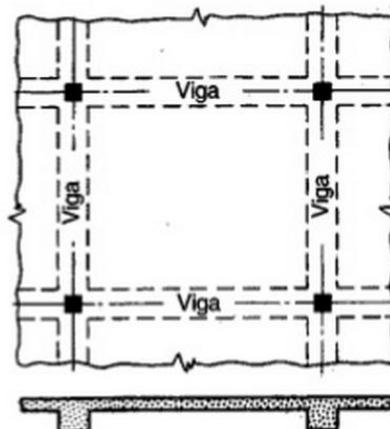


Figura 2.2. Esquema de losa que trabaja en dos direcciones. [12]

En algunos casos las losas se pueden apoyar directamente sobre columnas, sin la utilización de vigas, en este caso las losas se conocen como placas planas o losas planas. Este tipo de losas incorpora una región con un sobre espesor de losa en la zona de la columna y emplea con frecuencia columnas con forma acampanada en la parte superior.(Nilson et al., 1999) En la figura 2.3 se muestra la configuración de losa plana.

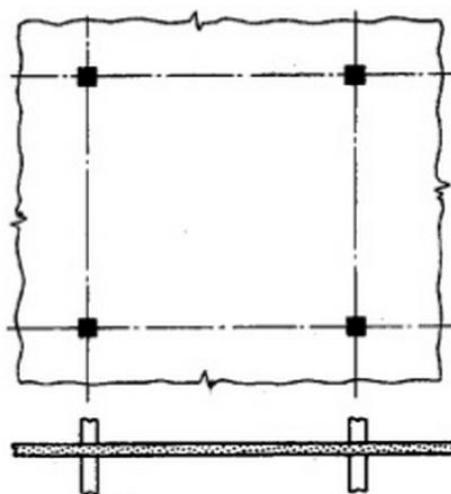


Figura 2.3. Esquema de losa plana. [12]

2.2 LOSAS BIDIRECCIONALES.

La ecuación general que describe el comportamiento de losas bidireccionales macizas, de espesor constante, es conocida como ecuación de LaGrange o ecuación de placas.

$$\frac{d^4w}{dx^4} + 2 \frac{d^4w}{dx^2*dy^2} + \frac{d^4w}{dy^4} = \frac{q}{D} \quad \text{E.c (2.1)}$$

$$D = \frac{E * h^3}{12(1-\mu^2)} \quad \text{E.c (2.2)}$$

Donde:

w : Ordenada de la elástica de deformación de la placa en un punto de coordenadas (x, y) .

D : Rígidez a la flexión de la placa.

E : Módulo de elasticidad del hormigón.

h : Espesor de la placa.

μ : Coeficiente de Poisson del hormigón.

La ecuación de LaGrange utiliza como fundamento la Ley de Deformación Plana de Kirchhoff que establece que una placa plana delgada, sometida a cargas perpendiculares a su plano principal, se deformará de modo que todos los puntos materiales que pertenecen a una recta normal a la superficie sin deformarse permanecerán dentro de la correspondiente recta normal a la superficie deformada (la versión análoga para vigas diría que las secciones transversales planas antes de la deformación permanecen planas después de la deformación). (M. R. Proaño, n.d.)

Una ecuación que permite simplificar el estudio, así como visualizar un límite entre el análisis de una losa en una dirección a una en dos direcciones; se obtiene de las deflexiones en la losa al considerar franjas formadas en las direcciones de trabajo.

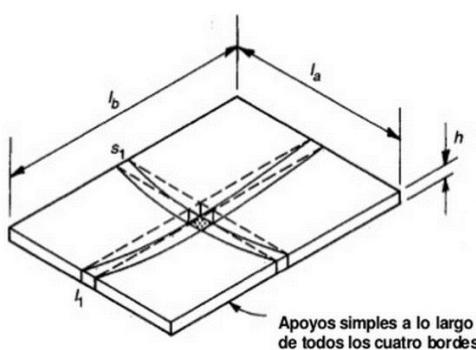


Figura 2.4. Esquema de losa en dos direcciones sobre apoyos en los bordes. [12]



En figura 2.4 se muestra una losa que se considera formada por franjas en dirección de los ejes, la deformación producida en el punto común de las dos franjas debe ser la misma.

$$\frac{5*qa*la^4}{384EI} = \frac{5*qb*lb^4}{384EI} \quad \text{E.c (2.3)}$$

$$\frac{qa}{qb} = \frac{lb^4}{la^4} \quad \text{E.c (2.4)}$$

Donde:

- qa Fracción de carga transmitida a la dirección corta (a).
- qb Fracción de carga transmitida a la dirección larga (b).
- la Dimensión corta de la losa.
- lb Dimensión larga de la losa.

En la ecuación 2.4 anterior se hace una aproximación del comportamiento real de una losa en dos direcciones, si bien se debe realizar un análisis más complejo que el de dos franjas que se intersectan para mostrar el comportamiento de una losa bidireccional; la ecuación permite fijar valores con los cuales se puede caracterizar las direcciones en las que trabaja una losa.

Se puede apreciar que para losas con relaciones de dimensión larga / dimensión corta o $lb/la \geq 2$, la fracción de carga transmitida a la dirección larga es apenas del orden de un dieciseisavo de la transmitida en la dirección corta, por lo tanto la losa actuaría como si trabajase únicamente en la dirección corta. (Nilson et al., 1999)

Debido a que la obtención de momentos flectores, cortantes y reacciones en losas bidireccionales requiere de análisis complejos, se opta por la utilización de métodos simplificados.

Los momentos a flexión y deflexiones en losas bidireccionales son menos que los de las losas unidireccionales, por lo tanto la misma losa puede llevar más carga cuando está apoyada por los cuatro lados. La carga en este caso se distribuye en dos direcciones, y el momento a flexión en cada dirección es mucho menor que el momento a flexión en una losa unidireccional ya que la carga se distribuye en una sola dirección.

Existen varios casos para losas en dos direcciones, en esta tesis trataremos específicamente:

Losas en dos direcciones con vigas entre todos los apoyos.

2.3 DISEÑO DE LOSAS BIDIRECCIONALES

2.3.1 Espesor mínimo de losa.

Los espesores mínimos de losas (Código ACI, Sección 8.3.1.1 y 8.3.1.2) son independientes de la carga y el módulo de elasticidad del concreto, los cuales tienen una influencia importante en las deflexiones. Estos espesores mínimos no son aplicables a losas con cargas permanentes inusualmente altas o construidas con concreto que tenga un módulo de elasticidad significativamente menor que el del concreto común de peso normal. (ACI 8.3.1.1)

Para losas no pre esforzadas sin vigas interiores que se extiendan entre los apoyos en todos los lados y que tengan una relación entre los lados no mayor a 2, el espesor total de la losa h no debe ser menor que los valores dados en la tabla 2.1 y no debe ser menor que el valor dado en (a) o (b), a menos que se cumplan los límites de la deflexiones.

- (a) Losas sin ábacos 125mm
- (b) Losas con ábacos 100mm

Tabla 2.1 Espesor mínimo de losas sin vigas interiores. Tomado de ACI 318S-14.

Espesor mínimo de losas no pre esforzadas en dos direcciones sin vigas interiores						
f_y Mpa	Sin ábacos		Con ábacos			
	Paneles exteriores		Paneles interiores	Paneles exteriores		Paneles interiores
	Sin vigas de borde	Con vigas de borde		Sin vigas de borde	Con vigas de borde	
280	ln/33	ln/36	ln/36	ln/36	ln/40	ln/40
420	ln/30	ln/33	ln/33	ln/33	ln/36	ln/36
520	ln/28	ln/31	ln/31	ln/31	ln/34	ln/34

ln es la luz libre en la dirección larga, medida entre caras de los apoyos (ACI 318S-14, Sección 8.3.1.2).

Para losas no pre esforzadas con vigas entre apoyos en todos los lados, el espesor total de la losa h debe cumplir con los límites dados en la tabla 8.3.1.2 ACI 318, a menos que se cumplan los límites de las deflexiones.

Tabla 2.2 Espesor mínimo de losas con vigas interiores. Tomado de ACI 318S-14.

$0.2 \leq \alpha f_m$	Se aplica espesor mínimo h (mm)	
$0.2 < \alpha f_m < 2$	Mayor de:	$\frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha f_m - 0.2)}$
		125
$\alpha f_m \geq 2$	Mayor de:	$\frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$
		90

El término β es la relación de la luz libre en la dirección larga a la luz libre en la dirección corta de la losa.

$\alpha_f m$ es el valor promedio de α_f .

α_f es relación entre la rigidez a flexión de una sección de viga y la rigidez a flexión de una franja de losa limitada lateralmente por los ejes centrales de los paneles adyacentes (si los hay) a cada lado de la viga y se calcula de acuerdo al método de diseño directo.

2.3.2 Método de diseño directo.

El método de diseño directo (Código ACI, Sección 8.10), es un procedimiento aproximado para el análisis y diseño de losas en dos direcciones. Se limita a sistemas de losas sometidas a cargas uniformemente distribuidas. El método utiliza un conjunto de coeficientes para determinar los momentos de diseño en las secciones críticas.

2.3.2.1 Limitaciones para el uso del método de diseño directo.

- Debe existir un mínimo de tres vanos continuos en cada dirección.
- Las longitudes de las luces contiguas medidas centro a centro de los apoyos en cada dirección no debe diferir en más de un tercio de la luz mayor.
- Los paneles de las losas deben ser rectangulares, con una relación entre la luz mayor y menor, medidas de centro a centro de los apoyos del panel, no mayor a 2.
- Las columnas pueden estar desalineadas hasta un 10 por ciento de la luz (medido e la dirección del des alineamiento) con respecto a cualquier eje que pase por el centro de la columnas sucesivas.
- La carga viva no mayorada no debe exceder de dos veces la carga muerta no mayorada
- Para un panel con vigas entre los apoyos en todos los lados, debe satisfacerse la siguiente ecuación (Código ACI, eq. 8.10.2.7a):

$$0.2 \leq \frac{\alpha f_1 \ell_2^2}{\alpha f_2 \ell_1^2} \leq 5 \quad \text{E.c (2.5)}$$

Donde:

αf_1 Y αf_2 se calculan de acuerdo con (Código ACI, eq. 8.10.2.7b):

$$\alpha f = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \quad \text{E.c (2.6)}$$

Donde:

E_{cb} Módulo de Young del concreto en las vigas.

I_b Inercia bruta de la sección de viga.

E_{cs} Módulo de Young del concreto en la losa.

I_s Inercia bruta de la sección de losa.



2.3.2.2 **Momento estático mayorado.**

El momento estático mayorado total, **Mo** , para un vano debe determinarse en una franja limitada lateralmente por el eje central de los paneles adyacentes al eje que une los apoyos.

La suma absoluta del momento positivo y el promedio de los momentos negativos, en cada dirección, no debe ser menor que (Código ACI, eq. 8.10.3.2):

$$Mo = \frac{q_u \ell_2 \ell_n^2}{8} \quad \text{E.c (2.7)}$$

Donde:

ℓ_n Longitud de la luz libre en la dirección en que deben considerarse los momentos, que se extienden desde la cara de las columnas, capiteles, cartelas o muros, y no debe ser menor que $0.65\ell_1$.

2.3.2.3 **Distribución del momento estático mayorado.**

Para un vano interior, **Mo** , debe distribuirse de la siguiente manera: **$0.65Mo$** para momento negativo y **$0.35Mo$** para momento positivo.

Para un vano exterior se debe distribuir de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2.3 Coeficientes de distribución de momento estático. Tomado de ACI 318S-14

Tabla 8.10.4.2 Coeficientes de distribución en un vano final					
Momento negativo interior	Borde exterior no restringido	Losa con vigas entre todos los apoyos	Losa sin vigas entre apoyos interiores		Borde Exterior Totalmente Restringido
			Sin Viga de Borde	Con viga de borde	
Momento negativo interior	0,75	0,7	0,7	0,7	0,65
Momento positivo	0,63	0,57	0,52	0,5	0,35
Momento negativo exterior	0	0,16	0,26	0,3	0,65

2.3.2.4 **Distribución de los momentos mayorados en la franja de columna y franja central** **Franja de Columna.**

Para el momento negativo interior, **Mu** , se basa en la siguiente tabla:



Tabla 2.4 Coeficientes de distribución de momento negativo interior en franjas de columna. Tomado de ACI 318S-14

Tabla 8.10.5.1 Fracción del momento negativo Interior M_u en una franja de columna			
$\alpha f_1 * L_2 / L_1$	L₂/L₁		
	0,5	1	2
0	0,75	0,75	0,75
≥ 1	0,9	0,75	0,45

Para el momento negativo exterior, M_u , se basa en la siguiente tabla:

Tabla 2.5 Coeficientes de distribución de momento negativo exterior en franjas de columna. Tomado de ACI 318S-14

Tabla 8.10.5.2 Fracción del momento negativo Exterior M_u en una franja de columna				
$\alpha f_1 * L_2 / L_1$	B_t	L₂/L₁		
		0,5	1	2
0	0	1	1	1
	$\geq 2,5$	0,75	0,75	0,75
≥ 1	0	1	1	1
	$\geq 2,5$	0,9	0,75	0,45

Donde β_t (relación entre la rigidez a torsión de la sección de la viga de borde y la rigidez a flexión de una franja de losa cuyo ancho es igual a la longitud de la luz de la viga medida centro a centro de los apoyos) se calcula de acuerdo a (Código ACI, eq. 8.10.5.2a):

$$\beta_t = \frac{E_{cb} C}{2E_{cs} I_s} \quad \text{E.c (2.8)}$$

Donde:

C : Constante de la sección transversal para definir propiedades a la torsión de losas y vigas) se calcula de acuerdo a (Código ACI, eq. 8.10.5.2b):

$$C = \sum \left(1 - 0,63 \frac{x}{y} \right) \frac{x^3 y}{3} \quad \text{E.c (2.9)}$$

Para el momento positivo, M_u , se basa en la siguiente tabla:



Tabla 2.6 Coeficientes de distribución de momento positivo en franjas de columna. Tomado de ACI 318S-14

Tabla 8.10.5.5 <i>Fracción del momento positivo Interior M_u en una franja de columna</i>			
$\alpha_{f1} * L_2 / L_1$	L_2 / L_1		
	0,5	1	2
0	0,6	0,6	0,6
≥ 1	0,9	0,75	0,45

Momentos mayorados en vigas.

Las vigas entre los apoyos deben diseñarse para resistir la porción de los momentos de la franja de columna, M_u , de acuerdo a:

Tabla 2.7 Coeficientes de distribución de momentos a vigas. Tomado de ACI 318S-14

Tabla 8.10.5.7.1 <i>Fracción de M_u de una franja de columna asignable a las vigas</i>	
$\alpha_{f1} * L_2 / L_1$	Coeficiente de
0	0
≥ 1	0,85

Además de los momentos calculados de acuerdo a ACI(8.10.5.7.1), las vigas deben ser diseñadas para resistir los momentos causados por cargas mayoradas aplicadas directamente sobre ellas.

Momentos mayorados en las franjas centrales

La fracción de los momentos mayorados positivos y negativo no resistida por las franjas de columnas debe asignarse proporcionalmente a las franjas centrales.

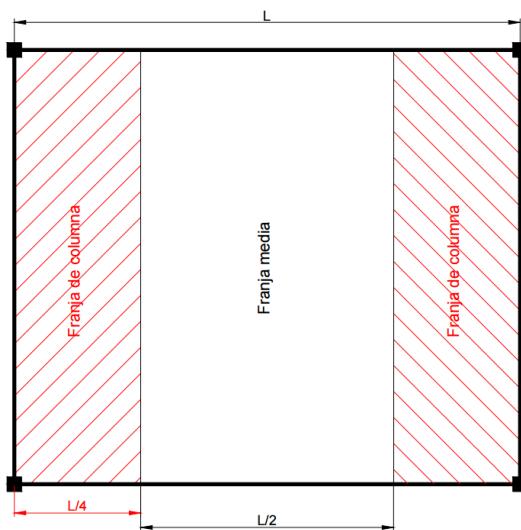


Figura 2.5. Secciones de franjas de columna y franja media.

2.3.3 ESFUERZOS CORTANTES EN LOSAS.

De acuerdo con la experimentación en que se basa la **Teoría de las Líneas de fluencia**, cuando una losa rectangular, sustentada en todo su perímetro por vigas de mayor peralte y sometida a una carga uniformemente distribuida que actúa en toda su superficie, se encuentra al borde del colapso, se fisura conformando triángulos y trapecios. (M. Proaño, 2008)

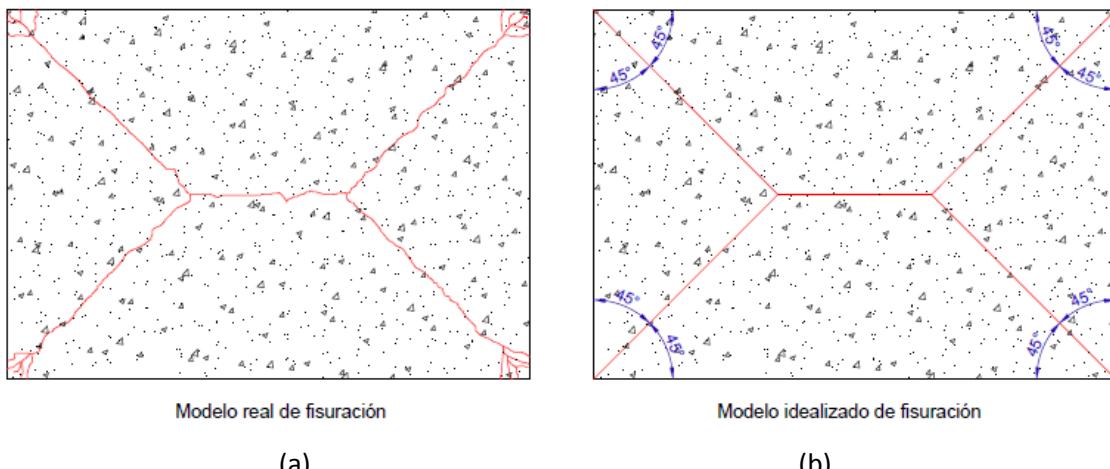


Figura 2.6. Modelos de fisuración en losas. (a) Modelo real de fisuración. (b) Modelo idealizado de fisuración.

Bajo este estado límite, las fuerzas cortantes que generan las cargas que actúan en los triángulos y trapecios se transmiten directamente a las vigas en las que se sustentan los respectivos triángulos y trapecios. (M. Proaño, 2008)

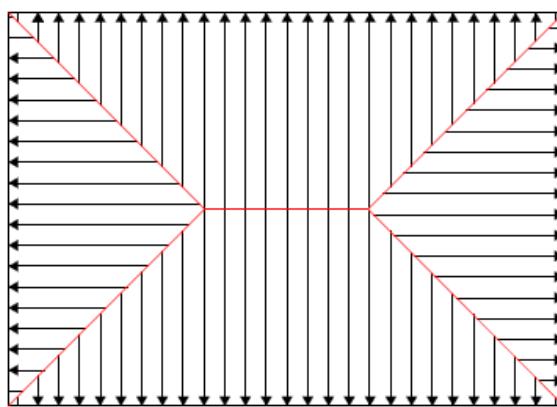


Figura 2.7. Ordenadas de fuerza cortante transmitida a las vigas.

Las losas deben estar en capacidad de resistir las fuerzas cortantes generadas por este tipo de comportamiento. Las secciones críticas de las losas, para el diseño a cortante, se ubican en los sectores de ordenada máxima de los triángulos y trapecios, próximos a las vigas de apoyo. (M. Proaño, 2008)

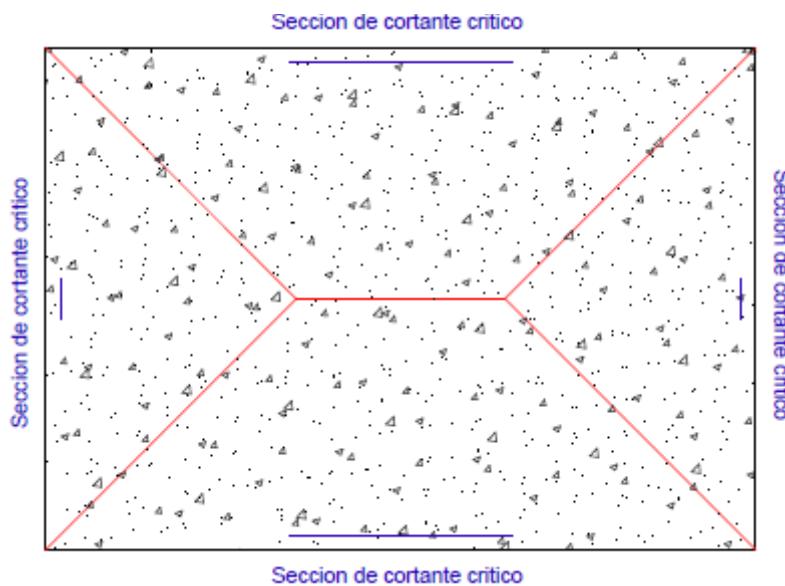


Figura 2.8. Secciones críticas para fuerza cortante.

2.4 LOSAS BUBBLEDECK.

La tecnología Bubbledeck es un sistema estructural de losas planas de concreto reforzado, alivianadas mediante el uso de esferas de plástico (polietileno de alta densidad), el sistema actúa como una losa sólida con un comportamiento uniforme en cualquier dirección ya que está diseñado de tal manera que las zonas de compresión y tensión no están influenciadas por las partes huecas, las fuerzas pueden ser distribuidas libremente en las tres dimensiones de la estructura de tal manera que todo el hormigón se aprovecha.

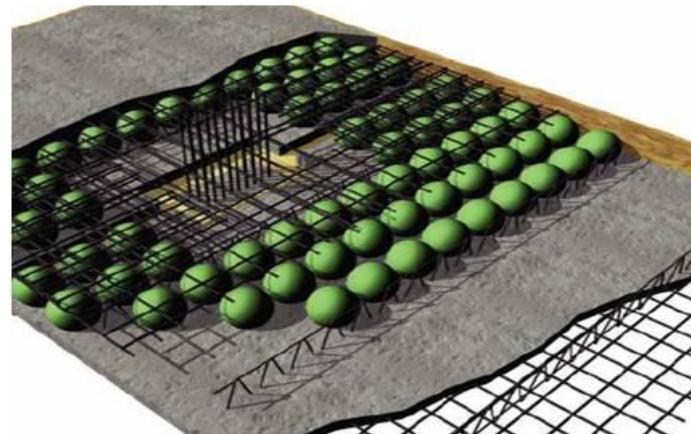


Figura 2.9. Esquema de componentes de Losa Bubbledeck. [5]

Los elementos que conforman las losas Bubbledeck se dimensionan según el Eurocodigo2 y la norma BS8110, y se presentan en 3 formas que pueden considerarse como elementos semi prefabricados.

En la figura 2.10 se muestra la configuración de un tipo de losas Bubbledeck llamado elementos filigrana (filigree element), se conforma por una parte prefabricada de concreto ubicada en la parte inferior de la losa, las esferas son sostenidas y ubicadas por una malla de acero interconectada (Lai, 2010), el hormigón en la parte superior de la losa, así como los refuerzos de acero son colocados en obra mediante procedimientos comunes.

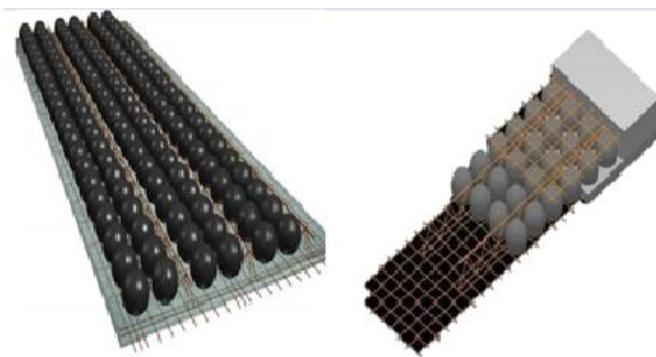


Figura 2.10. Esquema Losas Bubbledeck (filigree element) [6]

La figura 2.11 muestra la clase de losas Bubbledeck llamada módulos reforzados (Reinforcement modules), consisten en mallas de acero que sostienen las esferas, el hormigón de toda la losa así como refuerzos adicionales de acero son colocados en obra.



Figura 2.11 Losas Bubble deck (Reinforcement modules). [4]

La tercera forma en las que se presentan las losas Bubbledeck, se conocen como losas terminadas (Finished slabs) y consisten en sistemas de losas prefabricados, los elementos se construyen en su totalidad antes de la colocación en obra, generalmente estas losas se utilizan apoyadas en vigas y para luces menores que las otras clases de losas Bubbledeck mencionadas anteriormente.

2.4.1 Comportamiento a flexión en losas Bubbledeck.

En losas Bubbledeck los alivianamientos se ubican en el medio de la sección donde el hormigón tiene menos influencia, mientras que las partes sólidas se ubican en la parte superior y la parte inferior.

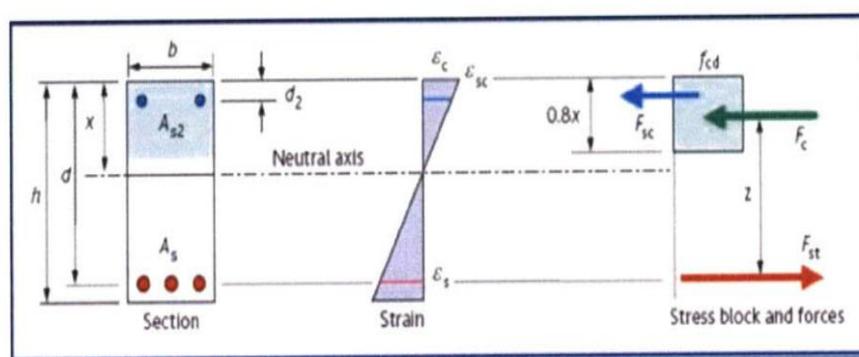


Figura 2.12 Distribución de esfuerzos en losa sólida. [11]

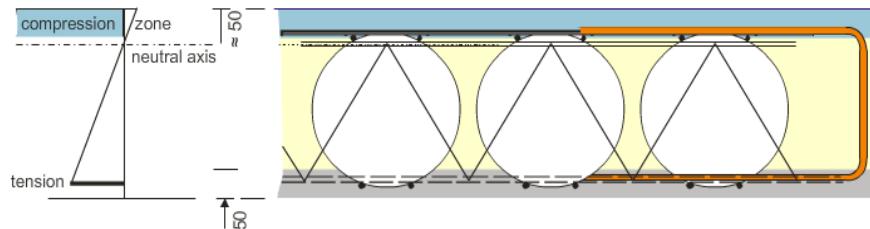


Figura 2.13. Distribución de esfuerzos en losa Bubbledeck. [6]

La figura 2.12 muestra la distribución de esfuerzos en una sección de losa sólida convencional, en esta sección únicamente el bloque esforzado por compresión y el acero de refuerzo en la parte inferior contribuyen a resistir los esfuerzos de flexión. Las losas Bubbledeck remueven el concreto inefectivo de la sección remplazándolo por esferas huecas de polietileno de alta densidad logrando que el bloque a compresión sea aproximadamente del mismo espesor que en una losa sólida, en casos donde los elementos sean altamente esforzados el bloque a compresión puede tomar parte de la zona de las esferas, siempre que la parte tomada no sea mayor al 20% del espacio de las esferas (Lai, 2010). En la figura 2.13 se muestran los esfuerzos en una losa Bubbledeck, con la inclusión de las esferas.

2.4.2 Comportamiento a cortante y punzonamiento en losas Bubbledeck.

El punzonamiento es un fenómeno de falla asociado a fuerzas localizadas en los extremos de los elementos, se producen comúnmente en casos de losas planas debido a altas reacción por el contacto con columnas. Debido a que la capacidad de una losa ante esfuerzos cortantes y punzonamiento depende principalmente de la masa efectiva de hormigón, la resistencia ante estos esfuerzos en losas Bubbledeck se ve afectada por la presencia de las esferas que sustituyen el concreto, comúnmente estas losas se construyen bajo un diseño estructural que determina la magnitud de las fuerzas de corte y punzonamiento presentes y los valores con los cuales se sobre pasa la capacidad resistente, de forma que se aplican variantes constructivas al sistema. En casos donde las reacciones sean alta las losas Bubbledeck se forman de tal manera que se omiten los alivianamientos en zonas próximas a los apoyos.

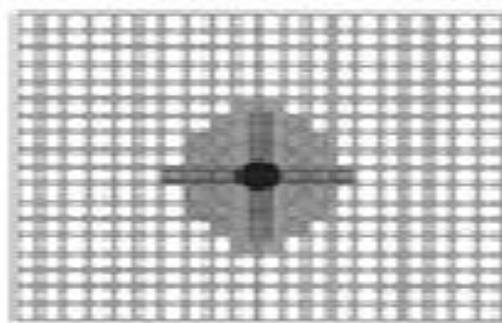


Figura 2.14. Esquema de intersección de columnas con losas Bubbledeck. [5]

En la figura 2.14 se puede notar el armado de una losa Bubbledeck, en donde se deja espacios sin alivianamientos, en zonas próximas a columnas, esta variante a la estructura de este tipo de losas da una idea de cómo sería la forma de losas Bubbledeck en los casos en donde las losas se apoyen sobre vigas perimetrales.

Para el diseño de cortante, se trata a la losa Bubbledeck como si fuera una losa maciza con la inclusión de factores de reducción. Los fabricantes recomiendan que la resistencia a cortante de una losa sólida de la misma profundidad debe ser reducida por un factor de 0.55- 0.6. Esto se obtuvo con la ayuda de ensayos de corte realizados sobre losas Bubbledeck de 230mm y 450mm de espesor en la Universidad Técnica de Dinamarca. (BubbleDeck, 2006). Los resultados mostraron que la capacidad de corte más pequeña de la losa aligerada es de aproximadamente 60% de la capacidad de una losa sólida con igual espesor. Esto ocurrió a la distancia en donde la relación de fuerza impuesta al apoyo dividida por el espesor de la losa es de aproximadamente 3 como se muestra en la Figura 2.15.

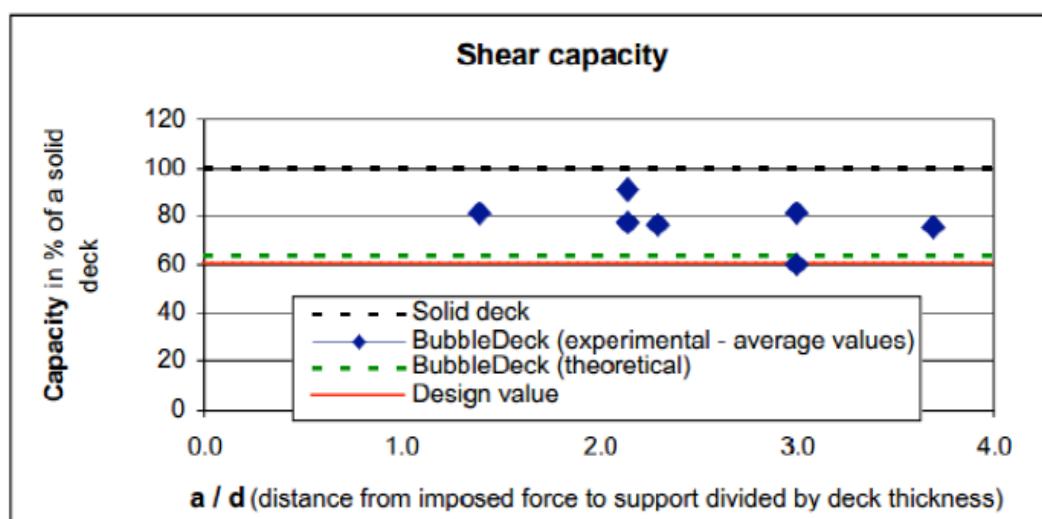


Figura 2.15: Resumen de pruebas de capacidad cortante [5]

Para el diseño se escogerá un valor de reducción conservativo del 55% de una losa sólida.

2.5 MATERIALES.

2.5.1 Hormigón.

El hormigón principalmente se evalúa por su resistencia a la compresión, los ensayos se realizan con cilindros de altura igual a dos veces el diámetro según las normas (ASTM C192), los cilindros son probados a los 28 días a velocidades de carga especificadas, con lo que se obtiene la resistencia característica del hormigón f_c' . Resulta de gran importancia el curva esfuerzo-deformación unitaria a la compresión, para el diseño de estructuras de concreto.

En la figura 2.16 se muestra algunas curvas esfuerzo-deformación unitaria típicas, se observa un tramo inicial relativamente elástico y lineal en el cual el esfuerzo y la deformación son proporcionales (Nilson et al., 1999). Alcanza el esfuerzo máximo o resistencia a la compresión en valores de deformación unitaria cercanos a 0.002 y 0.033 para hormigones de densidad normal, y 0.003 y 0.0035 en hormigones livianos.

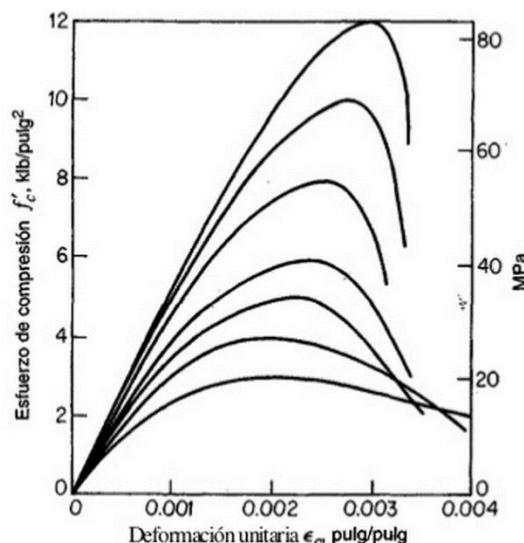


Figura 2.16 Curvas esfuerzo- deformación. [12]

Se determina el módulo de elasticidad del hormigón, el cual es función de la línea esfuerzo-deformación unitaria como las mostradas anteriormente y es una medida de la rigidez o resistencia a la deformación de dicho material (Harmsen, 2005).

Para definir el módulo de elasticidad del hormigón en los modelos estudiados en este proyecto de tesis, se emplea la siguiente expresión utilizada para hormigones de peso normal.

$$E_c = 15100\sqrt{f_c'} \quad \text{E.c (2.10)}$$

Donde:

E_c Modulo de elasticidad del hormigón en kg/cm^2 .

f'_c Resistencia a la compresión del hormigón en kg/cm^2 .

Además el valor del módulo de Poisson utilizado en la caracterización del material en los modelos de este proyecto de tesis son del rango entre 0.15 y 0.2, valores comunes para el hormigón.

2.5.2 Acero.

Para el diseño de estructuras de concreto se utiliza acero fabricado bajo las normas ASTM A615/615 M 04a y A706/706M 04b, se utiliza en forma de varillas de sección circular con corrugaciones utilizadas para favorecer la adherencia al hormigón(Harmsen, 2005). Las varillas pueden ser de diferentes calidades como grado 40, grado 60 o grado 75, cada una con diferentes valores de esfuerzo de fluencia y resistencia a la rotura, los valores utilizados en este proyecto de tesis son los correspondientes a acero grado 60:

$$f_y = 4200 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \quad f_s = 6300 \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

f_y : Esfuerzo de fluencia del acero.

f_s : Resistencia mínima de tracción a la rotura.

Se usan también mallas electro soldadas, las cuales están constituidos por alambres de acero liso o corrugado dispuesto en forma cuadrada o rectangular(Harmsen, 2005), para el proyecto de tesis se toma el valor de $4200 \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$ para el esfuerzo de fluencia f_y y se utiliza el código ACI para determinar el espaciamiento entre los alambres.

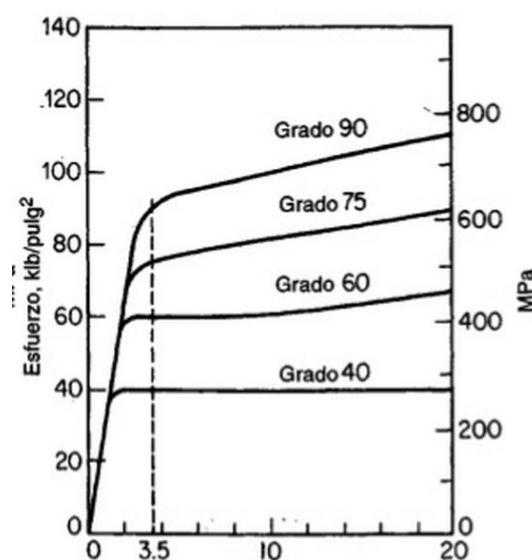


Figura 2.17 Curvas esfuerzo- deformación para acero. [12]

La figura 2.17 muestra la curvas esfuerzo- deformación unitaria para diferentes grados de acero, se observa que en la parte elástica inicial se tiene el mismo comportamiento en los diferentes tipos de acero, por lo que se asume que el parámetro del módulo de elasticidad es el mismo y se toma el valor de 200000 Mpa dado por el código ACI.

2.5.3 Polietileno de alta densidad (HDPE).

El polietileno de alta densidad o HDPE por sus siglas en inglés (HIGH DENSITY POLIETHYLENE), es un polímero termoplástico de la familia de los olefinicos conformado por unidades repetitivas de etileno.

Se descubrió alrededor del año 1933 por químicos británicos, las primeras aplicaciones eran como aislante de cables submarinos y otras formas de recubrimiento de conductores debido a las buenas propiedades eléctricas de este material.

El material es de fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión, no resiste fuertes agentes oxidantes como ácido nítrico, ácido sulfúrico fumante, peróxidos de hidrógeno y halógenos, es un material con buenas propiedades mecánicas, químicas, buena resistencia térmica, impermeable, inerte, con poca estabilidad dimensional y no toxicó.

En la siguiente tabla se muestran los valores de algunas de las propiedades físicas y mecánicas del material utilizados en este proyecto de tesis.

Tabla 2.8 Características del polietileno de alta densidad.

Densidad	940-970 (kg/m ³)
Módulo Elástico	1000 (N/mm ²)
Relación de Poisson	0,46
Esfuerzo de Rotura	20 - 30 (N/mm ²)
Módulo de Tracción	0,5 - 1,2 (Gpa)
Resistencia de Tracción	15 - 40 (Mpa)

Debido a las ventajas que tiene tanto en precio como por las propiedades químicas y mecánicas, el uso y las aplicaciones del polietileno de alta densidad se incrementado en gran medida. Se usa mucho en la fabricación de recipientes, tapas, utensilios domésticos, juguetes. La principal aplicación es en tubos y conductos y en la fabricación de artículos huecos como botellas o en el caso de este proyecto de tesis en la fabricación de esferas huecas.



Figura 2.18. Esferas de polietileno de alta densidad. [5]

2.6 AGRIETAMIENTO EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN REFORZADO.

El agrietamiento en los elementos de hormigón reforzado se puede producir por diferentes causas entre las cuales están las grietas producidas debido a que se sobrepasa valores de resistencia del hormigón ante ciertos esfuerzos. Este tipo de agrietamiento debido a acciones mecánicas (flexión, cortante, compresión, cizallamiento, torsión, punzonamiento), reduce significativamente la capacidad resistente de las estructuras de hormigón, las grietas pueden aparecer para cargas muy por debajo del nivel de servicio sin embargo son necesarias para asegurar que el refuerzo trabaje de manera efectiva.(Nilson et al., 1999).

En el caso de grietas a flexión, estas se forman inicialmente en la armadura de refuerzo y progresan verticalmente hacia el eje neutro buscando el bloque de compresión, con la presencia de este tipo de grietas se produce una reducción en la inercia de las secciones y por consiguiente en la resistencia, en donde la magnitud en la que se reduce la inercia de las secciones depende de los momentos a los cuales está sujeto el elemento.

CAPITULO 3 METODOLOGIA

3.1 COMPORTAMIENTO DE LOSAS BUBBLEDECK.

3.1.1 Modelo del comportamiento en el programa SAP 2000.

Para el análisis del comportamiento de losas Bubbledeck estudiado en el presente trabajo de titulación, se usaron de las secciones tomados de la página web de la empresa Bubbledeck. Se modelaron losas con ayuda del programa SAP 2000, la geometría de las estructuras se construyó directamente en el programa con secciones sólidas para las partes que ocupa el hormigón y acero; y como elementos Shell las secciones formadas por las esferas.

Las losas se modelaron para luces de 3 metros de longitud, las secciones para todos los casos corresponden a la losa Bubbledeck tipo BD 230 (Ver tabla 3.3), que corresponde a las losas de menor sección entre los productos de la empresa Bubbledeck. En la figura 3.1 se muestra un esquema de losa tipo BD 230, con las dimensiones de los elementos y las secciones.

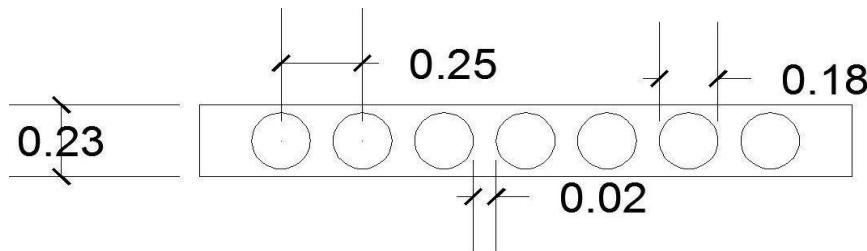


Figura 3.1 Geometría de la sección transversal para losas BD 230.

Las secciones de las esferas se formaron como superficies de revolución extruidas a partir de líneas, mientras que las secciones de hormigón se construyeron como elementos sólidos de revolución en las zonas ubicadas entre esferas y como sólidos prismáticos para las demás secciones, en ambos casos las extrusiones se realizaron a partir de áreas.

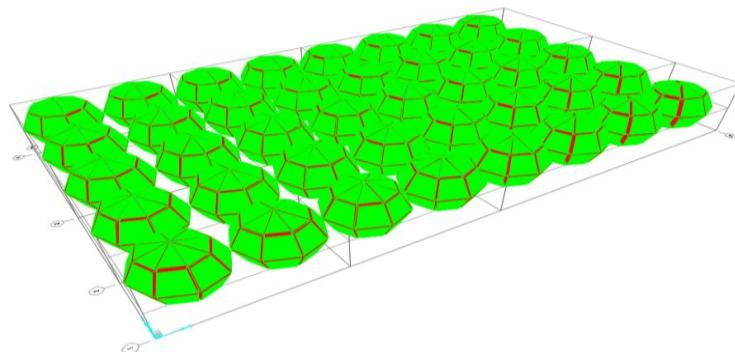


Figura 3.2 Secciones de esferas como elementos Shell.

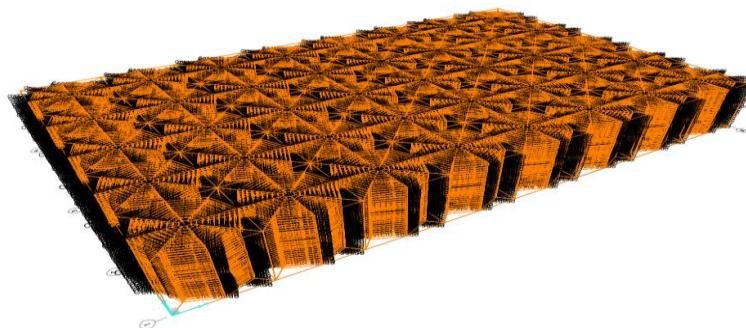


Figura 3.3 Secciones de hormigón como elementos sólidos.

Las esferas son elementos huecos, con contorno de 4 mm de espesor de polietileno de alta densidad(HDPE). Las características del material de las esferas, así como del hormigón y acero utilizado para el modelo se detallan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Datos de los materiales.

Material		
Hormigón	$f'c$	280 Kg/cm ²
	Peso específico	2400 kg/m ³
	Módulo de elasticidad E	252671Kg/cm ²
	Módulo de Poisson	0,2
Acero de refuerzo	Fy	4200 Kg/cm ²
	Módulo de elasticidad E	2030000 Kg/cm ²
	Módulo de Poisson	0,3
Polietileno de alta densidad (HDPE)	Peso específico	960 Kg/m ³
	Módulo de elasticidad E	10200 Kg/cm ²
	Módulo de Poisson	0,46

Para los modelamientos de losas se asumieron cargas y combinaciones especificadas en la norma ecuatoriana de la construcción NEC_SE_CG (cargas no sísmicas), para esta parte no se tomaron en cuenta los efectos de sismos ya que se busca analizar el comportamiento interno. Se asumieron

también condiciones de losas simplemente apoyadas a lo largo de todo el contorno. Las cargas asumidas para los modelos se resumen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Cargas de diseño.

Tipo de carga	Valor	Denominación
Carga viva	480 Kg/m ²	Correspondiente a carga viva de oficinas
Carga muerta	200 Kg/m ²	Carga muerta asumida correspondiente a elementos no estructurales.

Se evaluaron los esfuerzos de flexión y corte, así como la distribución de los mismos producidos dentro de la estructura para los diferentes elementos sólidos. En el caso de los elementos de las esferas se evaluaron los esfuerzos producidos en los elementos de área que conforman las mismas.

3.2 MODELOS DE DEFLEXIONES DE LOS TIPOS DE LOSAS BUBBLEDECK EN SAP2000.

3.2.1 Características de los modelos.

Para el cálculo de las deflexiones, así como la capacidad de losas Bubbledeck, se tomaron los datos de geometría, características y recomendaciones en cuanto a los rangos de aplicación para los diferentes tipos, los datos se obtuvieron de la página web de la empresa Bubbledeck. En la tabla 3.3 se resumen los datos asumidos para los modelos.

Tabla 3.3 Características de los diferentes tipos de losas Bubbledeck.

Tipo de losa Bubbledeck	h (mm)	Diámetro de las esferas (mm)	Separación entre esferas (mm)	Peso kg/m ²	Rango de aplicación m
BD 230	230	180	200	370	5,0 - 8,3
BD 280	280	225	250	460	7,0-10,0
BD 340	340	270	300	550	9,0-12,0
BD 390	390	315	350	640	11,0-14,0
BD 450	450	360	400	730	13,0-16,4

Las cargas así como las combinaciones de carga, se tomaron de la norma ecuatoriana de la construcción NEC_SE_CG_ (cargas no sísmicas). Para los modelos se asumieron condiciones de losas simplemente apoyadas y empotradas a lo largo de todo el contorno.

Los valores para las deflexiones máximas permitidas se tomaron del reglamento ACI-318s-14 capítulo 9, sección 9.5 control de deflexiones. El valor de deflexión máxima permitida en los modelos se tomó de la tabla 9.5 correspondiente a sistemas de entrepiso que soporten elementos no



estructurales susceptibles de daño, se calculó también el efecto de deflexiones a largo plazo del hormigón. El valor se obtiene de la siguiente formula:

$$\Delta_{max} = \frac{l}{480} \quad \text{E.c (3.1)}$$

En donde:

Δ_{max} = Deflexión máxima permitida.

l = Longitud libre del tramo.

Al modelar los diferentes tipos de losas Bubbledeck se calculó un espesor equivalente correspondiente a la inercia de secciones de un metro para cada tipo, para obtener los mismos valores en cuanto al peso propio de los elementos se realizó la modificación correspondiente dentro del programa SAP2000.

Tabla 3.4 Datos de cargas y pesos asumidos para los modelos en SAP 2000.

CARGAS		
Tipo de carga	Valor	Denominación
Carga viva	480 Kg/m ²	Correspondiente a carga viva de oficinas
Carga muerta	200 Kg/m ²	Carga muerta asumida correspondiente a elementos no estructurales.
PESO DE ELEMENTOS		
Hormigón	2400 kg/m ³	
Losa BD 230	370 kg/m ²	
Losa BD 280	460kg/m ²	
Losa BD 340	550 kg/m ²	
Losa BD 390	640 kg/m ²	
Losa BD 450	730 kg/m ²	

Los modelos se realizaron para secciones cuadradas, de dimensiones especificadas según los rangos de aplicación de los diferentes tipos de losas Bubbledeck. En la tabla 3.5 se resumen las dimensiones de los diferentes modelos.

Tabla 3.5 Dimensiones de los modelos de losas en SAP2000.

Tipo de losa Bubbledeck	Largo de las secciones (m)
BD 230	5
BD 230	6
BD 280	7
BD 280	8
BD 340	9
BD 340	10
BD 390	11
BD 390	12
BD 450	13
BD 450	14

3.2.2 Inercias equivalentes en secciones alivianadas con esferas.

Para obtener una aproximación de las inercias de los diferentes tipos de losas Bubbledeck, se tomaron secciones con un ancho de un metro de longitud y de peralte correspondiente a cada caso. Debido a la presencia de las esferas se calculó la inercia de la sección tomando en cuenta el número de esferas contenidas en un metro y se realizó una media ponderada entre tres secciones tipo.

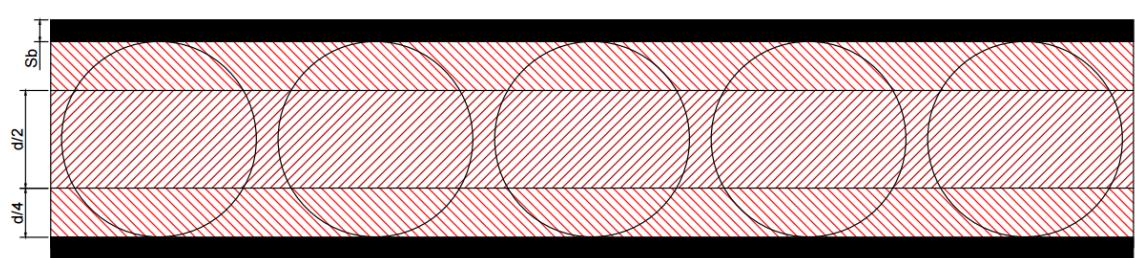


Figura 3.4 Distancias para ponderaciones de inercia.



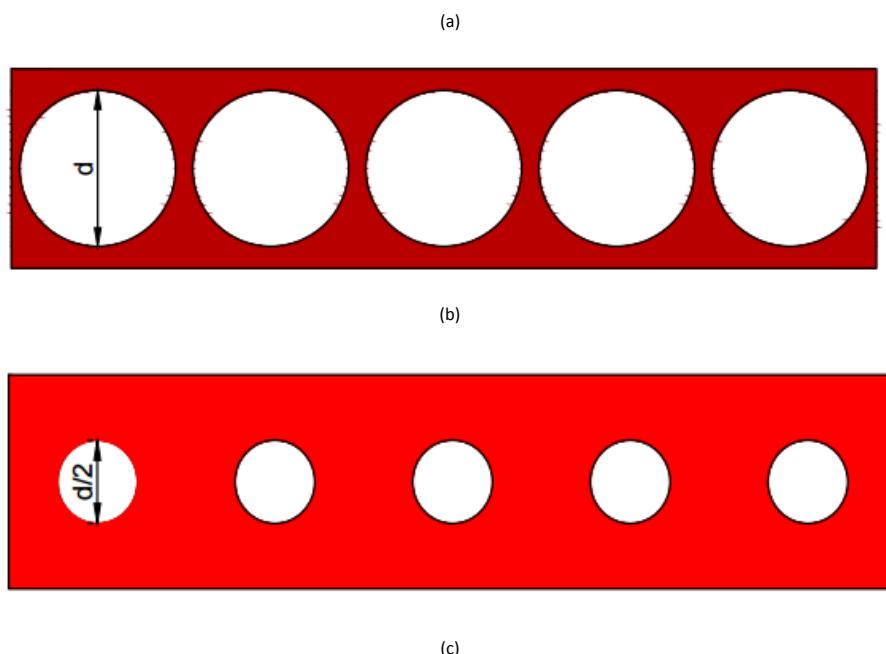


Figura 3.5 Secciones de cálculo de inercia. (a) Sección sin esferas. (b) Sección con esferas para diámetro completo. (c) Sección con esferas con la mitad de diámetro.

Los valores tomados para las ponderaciones se tomaron según la separación entre esferas y los diámetros de las mismas correspondientes a cada caso. Los valores de inercia equivalente para una sección de un metro de longitud se obtuvieron según la siguiente formula:

$$I_{eq} = \frac{I_1*L1+I2*L2+I3*L3}{L1+L2+L3} \quad \text{E.c (3.2)}$$

En donde:

I_{eq} : Valor de inercia equivalente para un metro de sección.

I_1 : Inercia de una sección tipo 1 para cada caso de losa Bubbledeck.

I_2 : Inercia de una sección tipo 2 para cada caso de losa Bubbledeck.

I_3 : Inercia de una sección tipo 3 para cada caso de losa Bubbledeck.

L_1 : Espesor total asumido con sección tipo 1.

L_2 : Espesor total asumido con sección tipo 2.

L_3 : Espesor total asumido con sección tipo 3.

En la siguiente tabla se resumen los valores de inercias y espesores de secciones tipo 1, tipo 2 y tipo 3 para los diferentes casos losas Bubbledeck, así como los valores de inercia equivalente.



Tabla 3.6 Inercia de secciones tipo e inercia equivalente de losas Bubbledeck.

Tipo de losa Bubbledeck	Inercia de un metro de longitud para sección tipo 1 en cm ⁴	Espesor asumido con sección tipo 1 en cm	Inercia de un metro de longitud para sección tipo 2 en cm ⁴	Espesor asumido con sección tipo 2 en cm	Inercia de un metro de longitud para sección tipo 3 en cm ⁴	Espesor asumido con sección tipo 3 en cm	Inercia equivalente para un metro de longitud en cm ⁴
BD 230	101392	2	100103	9	75627	9	89218
BD 280	182933	2,5	179788	11,25	132611	11,25	158873
BD 340	327533	3	322641	13,5	249272	13,5	290114
BD 390	494325	3,5	485414	15,75	351752	15,75	426157
BD 450	759375	4	746234	18	549132	18	658852

3.2.3 Agrietamiento de las secciones.

Para la obtención de las deflexiones producidas se tomó en cuenta el efecto del agrietamiento en las losas, se calculó para cada tipo de losas Bubbledeck los valores de inercia efectiva y momento de agrietamiento. El valor de inercia efectiva se calculó mediante las formulas dadas por el reglamento ACI 318s-14:

$$fr = 2\lambda\sqrt{f'c} \quad \text{E.c (3.3)}$$

En donde:

fr: Módulo de ruptura del hormigón.

λ: Valor que depende del peso del hormigón (1 para hormigones de peso normal).

f'c: Esfuerzo de compresión del hormigón.

$$Mcr = \frac{fr \cdot Ig}{yt} \quad \text{E.c (3.4)}$$

En donde:

Mcr: Momento de agrietamiento del hormigón.

fr: Módulo de ruptura del hormigón.

Ig: Inercia bruta de la sección.

yt: Distancia del centro de gravedad a la fibra más lejana de la sección.



$$Ie = \left(\frac{Mcr}{Ma}\right)^3 * Ig + \left[1 - \left(\frac{Mcr}{Ma}\right)^3\right] * Icr \quad \text{E.c (3.5)}$$

En donde:

Ie: Inercia efectiva de la sección.

Ig: Inercia bruta de la sección.

Icr: Inercia agrietada de la sección.

Mcr: Momento de agrietamiento del hormigón.

Ma: Momento producido.

Tabla 3.7 Inercias y momentos de agrietamiento de losas BubbleDeck

Tipo de losa Bubbledeck	Inercia bruta para sección de un metro de longitud en cm ⁴	Inercia agrietada para sección de un metro de longitud en cm ⁵	Momento de agrietamiento Kgm
BD 230	89218	15877	2904
BD 280	158873	30234	3858
BD 340	290114	47960	5802
BD 390	426157	70860	6654
BD 450	658852	157536	9955

3.3 ANALISIS DE PORTICOS.

3.3.1 Consideraciones generales.

En el presente trabajo de titulación se modelaron pórticos de edificios de 3 y 4 pisos, para diferentes dimensiones. Los modelos se realizaron en el programa SAP2000 con condiciones que representen la aplicación de losas alivianadas en dos direcciones y losas Bubbledeck.

Los modelos se analizaron para un enfoque sismo resistente de los componentes estructurales, se utilizó la norma ecuatoriana de la construcción NEC_SE_DS (peligro sísmico) y NEC_SE_CG_ (cargas no sísmicas). Se asume que las losas no contribuyen a la resistencia ante sismo, este será soportado únicamente por vigas y columnas. Se asumió perfiles de suelo tipo C, correspondiente a perfiles de suelo muy denso o roca blanda que cumplen los criterios de velocidad de onda necesarios. Se asume también que las estructuras estarán ubicadas en la ciudad de Cuenca y destinados a oficinas y salones de uso público.

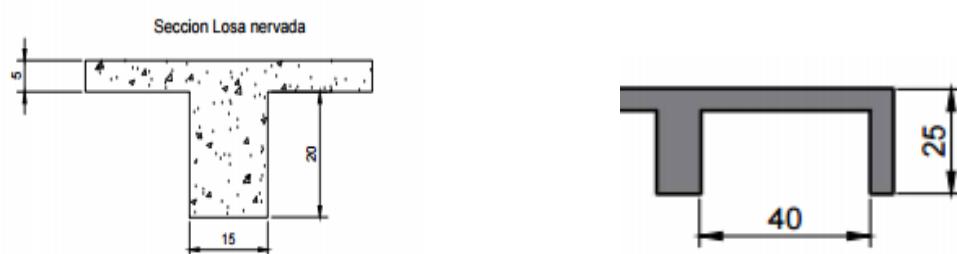
Se realizaron 6 modelos de edificios, de los cuales 3 utilizan losas Bubbledeck y 3 utilizan losas alivianadas. El primer caso corresponde a un edificio de 3 pisos, con longitud de vanos de 5 metros y altura de piso de 3 metros. El segundo caso corresponde a un edificio de 3 pisos, con longitud de vanos de 6 y 7 metros, y altura de piso de 3 metros. Y el tercer caso corresponde a un edificio de 4 pisos con longitud de vanos de 7 y 8 metros, y altura de piso de 3.5 metros. En cada caso se analizó el efecto de utilizar losas Bubbledeck y losas alivianadas, en todos los modelos se utilizó la losa Bubbledeck tipo BD 230, mientras que en cada caso se cambió la sección de la losa alivianada. (Ver Anexo D)

Tabla 3.8 Cargas asumidas para los modelos.

CARGAS		
Tipo de carga	Valor	Denominación
Carga viva	480 Kg/m ²	Correspondiente a carga viva de oficinas
Carga muerta	200 Kg/m ²	Carga muerta asumida correspondiente a elementos no estructurales.
Carga viva de cubierta	100 Kg/m ²	Carga viva de techo.
Carga de granizo	50 Kg/m ²	Carga mínima de granizo
Peso de losa Bubbledeck BD 230	370 Kg/m ²	Peso por metro cuadrado de losa Bubbledeck BD 230
Peso de losa alivianada sección 1	292,6 Kg/m ²	Peso por metro cuadrado de losa alivianada 1
Peso de losa alivianada sección 2	368 Kg/m ²	Peso por metro cuadrado de losa alivianada 2
Peso de losa alivianada sección 3	432 Kg/m ²	Peso por metro cuadrado de losa alivianada 3



(a)



(b)

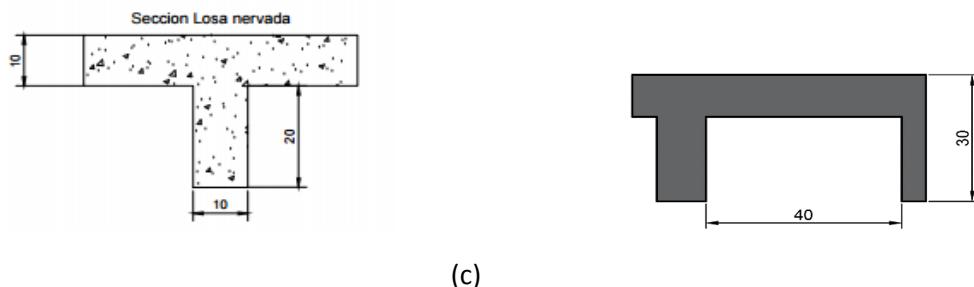


Figura 3.6 Secciones de losa alivianadas para modelos de edificios. (a) Sección losa alivianada tipo 1 y ancho de casetón para modelo de 5x5 (b) Sección losa alivianada tipo2 y ancho de casetón para modelo de 6x7. (c) Sección de losa alivianada tipo 3 y ancho de casetón para modelo 7x8.

3.3.2 Secciones de elementos de vigas y columnas.

Para realizar los modelos se asumieron secciones de vigas y columnas, para los diferentes casos de longitudes de vano. Se realizó el diseño de los elementos mediante hojas de cálculo según los valores obtenidos con el programa SAP2000, para cada caso se comprobó que los elementos cumplan la normativa correspondiente en cuanto a las secciones y rigidez necesaria para resistir los efectos producidos por las cargas de diseño, y los efectos producidos por sismos. En la tabla 3.9 se muestran las secciones de los elementos de vigas y columnas para los diferentes modelos.

Tabla 3.9 Secciones de vigas y columnas para los diferentes modelos.

Estructura	Modelos con losas Bubbledeck BD 230			Modelos con losas alivianadas.		
	Peralte de vigas H (cm)	Ancho de vigas B(cm)	Columna cuadrada L (cm)	Peralte de vigas H (cm)	Ancho de vigas B(cm)	Columna cuadrada L (cm)
Modelo de estructura de 3 pisos, longitudes de vano 5x5 m	35	30	35	35	30	35
Modelo de estructura de 3 pisos, longitudes de vano 6x7 m	45	40	45	45	40	45
Modelo de estructura de 4 pisos, longitudes de vano 8x7 m	60	40	50	60	40	50

3.3.3 Análisis del cortante de losas.

Para el análisis se escogerá una sección de 1 metro donde las cargas serán aquellas que actúen sobre zonas ortogonales limitadas por la línea de cortante crítico y la línea de fisuración intermedia de la losa.

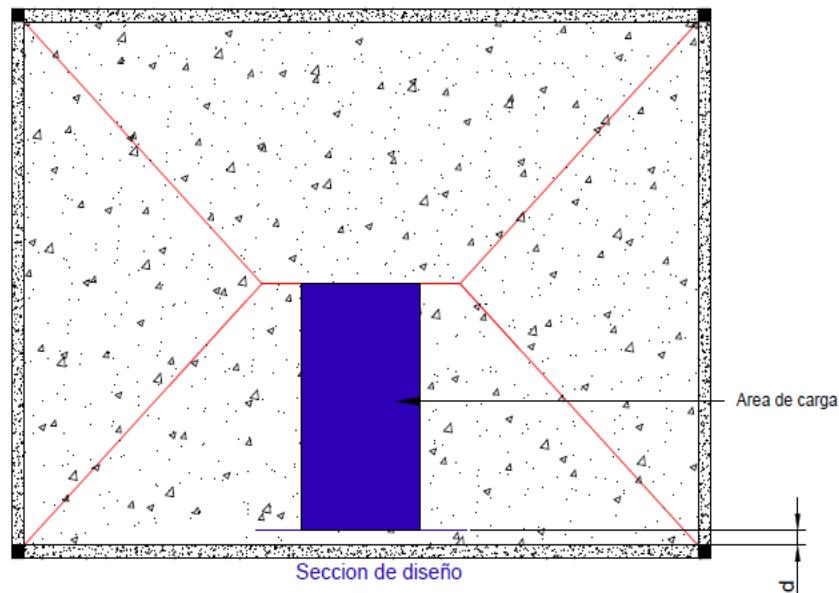


Figura 3.7 Sección de diseño por cortante para losas.

Donde:

d : es el peralte de losa

Se debe saber que el cortante resistido por el concreto para miembros no preesforzados sin compresión axial se calcula de acuerdo a (Código ACI, eq 22.5.5.1):

$$V_c = 0.53 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad \text{E.c (3.6)}$$

Donde:

λ = factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión.

b_w = ancho del alma o diámetro de la sección circular.

d = distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.

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

Se debe cumplir que $\phi Vc > Vu$ para que no se requiera refuerzo por cortante (estribos). El análisis se realizara comparando los esfuerzos, el esfuerzo cortante vertical viene dado por:

$$\tau = \frac{V}{Ib} \int_{y1}^c y \, dA \quad \text{E.c (3.7)}$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante.

V : Fuerza cortante.

I : Inercia de la sección.

b : Ancho de la sección.

$c, y1$: Límites de integración. Figura 3.8

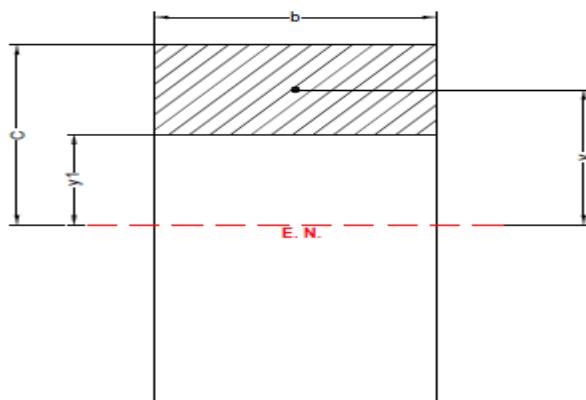


Figura 3.8 Sección con límites de integración para esfuerzos cortantes.

$$\tau = \frac{V}{Ib} A' \bar{y} = \frac{V_u}{Ib} Q \quad \text{E.c (3.8)}$$

Q es la suma de los momentos de área con respecto al eje neutro (E.N)

El esfuerzo cortante máximo se produce en el eje neutro, para una sección rectangular el esfuerzo cortante máximo se obtiene de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{V_u}{Ib} A' \bar{y} = \frac{V_u}{\frac{b h^3}{12} b} \left(b \frac{h}{2} \right) \left(\frac{h}{4} \right) \quad \text{E.c (3.9)}$$

$$\tau_{max} = \frac{V_u}{0.667 (b h)} \quad \text{E.c (3.10)}$$

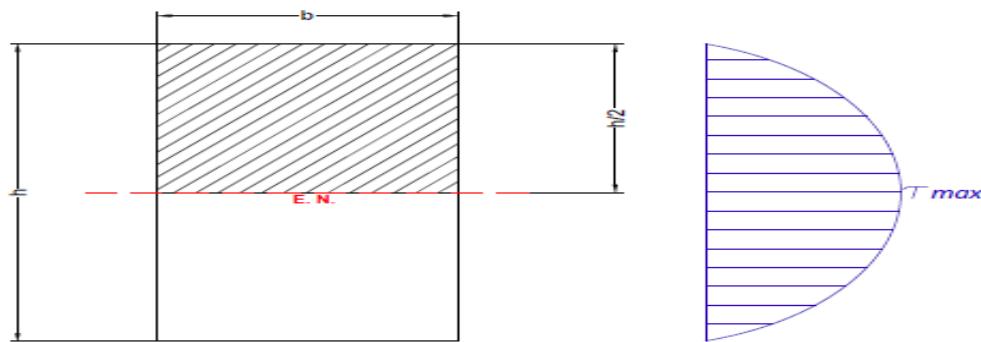


Figura 3.9 Diagrama de esfuerzos cortantes para sección rectangular.

El esfuerzo cortante se distribuye de forma parabólica.

Se debe cumplir que: $\tau_{concreto} > \tau_{max}$, $\tau_{concreto} = 0.53 \lambda \sqrt{f'c}$ (kg/cm^2)
E.c (3.11)

Esfuerzo cortante máximo en losas BubbleDeck

Una vez conocido el esfuerzo cortante máximo de la sección rectangular se puede obtener el esfuerzo cortante máximo de una sección de losa BubbleDeck aplicando el coeficiente de reducción de 0.55

$$\tau_{max} = \frac{V_u}{0.667 (0.55 b h)} \quad \text{E.c (3.12)}$$

Esfuerzo cortante máximo en losas nervadas.

El esfuerzo cortante en lasos nervadas se produce de la siguiente manera:

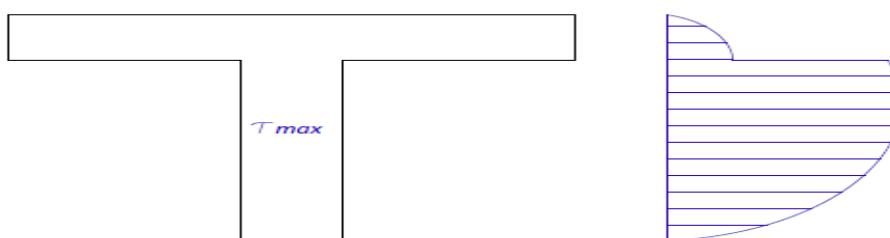


Figura 3.10 Diagrama de esfuerzos cortantes para losas nervadas.

En la figura 3.10 se observa una sección de un nervio de una losa nervada donde el cortante máximo se produce siempre en lo que sería el alma de la sección, si el eje neutro se encuentra en el patín el cortante máximo es en la unión del alma con el patín, de lo contrario el esfuerzo cortante se produce en el eje neutro que estaría ubicado en el alma.

3.3.4 Espectro de diseño.

Para analizar los efectos producidos por sismos se utilizó el espectro de diseño, dado por la norma ecuatoriana de la construcción NEC_SE_DS (peligro sísmico).

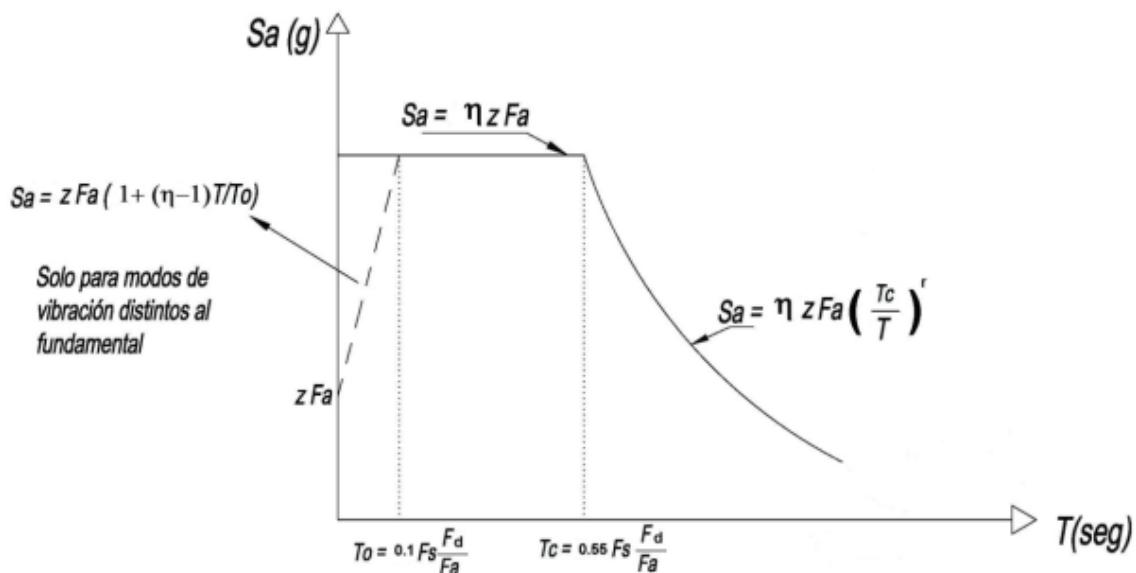


Figura 3.11 Espectro de diseño. [Norma ecuatoriana de la construcción NEC_SE_DS (peligro sísmico)]

En donde:

η : Razón entre la aceleración espectral para periodos de 0.1 seg, y el valor de aceleración máxima del terreno. El valor se obtiene según la ubicación del proyecto.

F_a, F_d, F_s : Representan coeficientes de amplificación del suelo, se obtienen según la zona sísmica correspondiente.

S_a : Espectro de respuesta.

T : Periodo fundamental de vibración de la estructura.

T_0 : Periodo límite de vibración en el espectro límite elástico.

T_c : Periodo límite de vibración en el espectro límite elástico que representa el sismo de diseño.

Z : Aceleración máxima en roca para sismo de diseño, se obtiene dependiendo de la zona sísmica correspondiente.

Los valores de T_0 y T_c , son valores fijos obtenidos por formula que depende de los valores F_a, F_d y F_s , se calcula también el periodo fundamental de la estructura T según la siguiente formula:

$$T = C_t * h^n^a \quad \text{E.c (3.13)}$$

En donde:

C_t, a Son coeficientes que dependen del tipo de edificio.

h Representa la altura máxima de la edificación de n pisos en metros.

3.3.5 Cortante basal de diseño.

El cortante basal de diseño se obtiene por la formula dada en la norma ecuatoriana de la construcción NEC_SE_DS (peligro sísmico).

$$V = \frac{I * Sa(T)}{R * \Phi p * \Phi E} * W \quad \text{E.c (3.14)}$$

En donde:

- V Cortante basal de diseño.
- $Sa(T)$ Espectro de diseño en aceleración evaluado en el periodo fundamental de la estructura.
- Φp y ΦE Coeficientes de elevación en planta y elevación respectivamente.
- I Coeficiente de importancia de la estructura.
- R Factor de reducción de resistencia sísmica.
- W Carga sísmica reactiva, representada por la carga muerta total de la estructura.

Tabla 3.10 Valores utilizados para espectro de diseño y cortante basal.

Z Factor de Zona sísmica	0,25
H	2,48
R	1,3
Tipo de suelo	C
Fa Coeficiente de amplificación de suelo	1,3
Fd Coeficiente de amplificación de suelo	1,28
Fs. Coeficiente de amplificación de suelo	0,94
Φp Irregularidad en planta	1
Φe Irregularidad en elevación	1
Coeficiente de importancia	1
R factor de reducción de respuesta sísmica	8
To (seg)	0,09
Tc (seg)	0,51
Tl (seg)	3,07
Ct	0,06
a	0,90



Los valores de derivas máximas de piso se controlaron para un valor del 2%, las derivas máximas producidas se calcularon mediante la siguiente formula:

$$\Delta M = 0.75 * R * \Delta E \quad E.c (3.15)$$

En donde:

ΔM : Deriva máxima inelástica.

ΔE : Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

R: Factor de reducción de resistencia.

Las fuerzas laterales de distribuyen en la altura de la estructura, utilizando la siguiente formula.

$$F_x = \frac{w_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i * h_i^k} * V \quad E.c (3.16)$$

En donde:

F_x : Fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura.

V : Cortante basal de diseño.

n : Número de pisos de la estructura.

w_x : Peso asignado al piso X de la estructura.

w_i : Peso asignado al piso i de la estructura.

h_x : Altura al piso X de la estructura.

h_i : Altura al piso i de la estructura.

k : Coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura.

Para los modelos los valores de las fuerzas de diseño y masas de cada piso se consideraron concentradas en el centro de masas con un desplazamiento del 5% de la dimensión máxima del edificio. También se asignó factores de reducción de inercia de los elementos para la obtención de los efectos producidos por sismo.

0.5 Ig para vigas (considerando la contribución de las losas, cuando fuera aplicable).

0.8 Ig para columnas.

Los valores de fuerzas laterales y cortante basal, calculados para los diferentes modelos se resumen en la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Fuerzas laterales y cortante basal.

Modelo	Modelos con losas Bubbledeck BD 230		Modelos con losas alivianadas	
Modelo de estructura de 3 pisos, longitudes de vano 5x5 m	Fuerza lateral piso 1	4030 Kg	Fuerza lateral piso 1	3450 Kg
	Fuerza lateral piso 2	8060 Kg	Fuerza lateral piso 2	6900 Kg
	Fuerza lateral Piso 3	8740 Kg	Fuerza lateral Piso 3	7140 Kg
	Cortante Basal V	20840 Kg	Cortante Basal V	17490 Kg
Modelo de estructura de 3 pisos, longitudes de vano 6x7 m	Fuerza lateral piso 1	15020 Kg	Fuerza lateral piso 1	14860 Kg
	Fuerza lateral piso 2	30030 Kg	Fuerza lateral piso 2	29730 Kg
	Fuerza lateral Piso 3	33000 Kg	Fuerza lateral Piso 3	32620 Kg
	Cortante Basal V	78050 Kg	Cortante Basal V	77260 Kg
Modelo de estructura de 4 pisos, longitudes de vano 8x7 m	Fuerza lateral piso 1	14120 Kg	Fuerza lateral piso 1	14400 Kg
	Fuerza lateral piso 2	28240 Kg	Fuerza lateral piso 2	28800 Kg
	Fuerza lateral Piso 3	42370 Kg	Fuerza lateral Piso 3	43200 Kg
	Fuerza lateral Piso 4	41900 Kg	Fuerza lateral Piso 4	43080 Kg
	Cortante Basal V	126650 Kg	Cortante Basal V	129490 Kg

3.3.6 Limitaciones de los modelos de pórticos de edificios.

En los modelos realizados en el presente trabajo de titulación se asumieron casos de pórticos de edificios simétricos en planta y elevación, las cargas por peso y ocupación se asumieron constantes en los pisos, además se asumió el centro de masa de cada piso en la ubicación del centro de gravedad con la correspondiente excentricidad especificada en la norma ecuatoriana, también cabe mencionar que los modelos edificios fueron máximo de 4 pisos. Las condiciones mencionadas anteriormente se utilizaron en los casos de losas alivianadas y losas Bubbledeck, de manera de tener una buena comparación entre ambos sistemas, en los modelos realizados en el presente trabajo de titulación no se consideraron resultados para casos de mayor tamaño o condiciones arquitectónicas especiales que produzcan irregularidades en planta y elevación, o casos en donde se necesite algún análisis especial o diferente a los mencionados anteriormente.

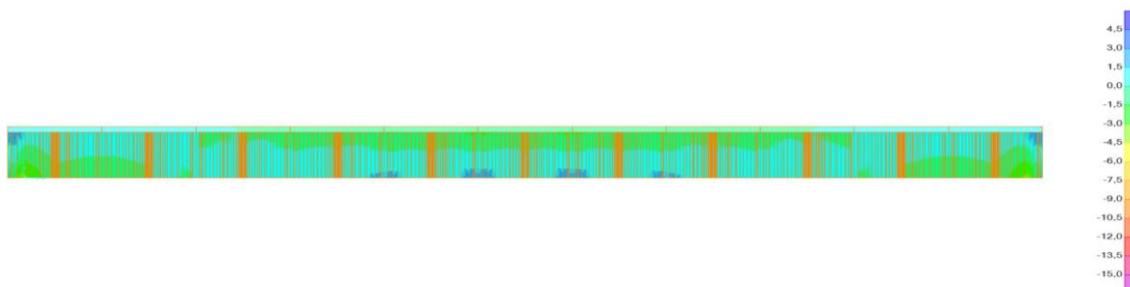
CAPITULO 4 RESULTADOS

Se procedió a mostrar los resultados obtenidos de los modelos realizados en el programa SAP2000 para el análisis de comportamiento y deflexiones de losas Bubbledeck, y la comparación entre pórticos con las mismas losas y con losas alivianadas. Siguiendo los procedimientos del capítulo 3, se mostrarán los esfuerzos producidos en lasas Bubbledeck, así como la distribución de los mismos dentro de las secciones de losa; se mostrarán también las deflexiones producidas, tomando en cuenta el agrietamiento y el efecto a largo plazo para cada tipo de losa Bubbledeck y finalmente los efectos en los diferentes modelos de edificios, con la aplicación de losas alivianadas y losas Bubbledeck.

4.1 RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE LOSAS BUBBLEDECK.

4.1.1 Distribución de esfuerzos en lasas Bubbledeck.

En la figura 4.1 a y 4.1 b se muestra la distribución de esfuerzos en zonas de hormigón entre esferas y zonas de hormigón con la presencia de esferas dentro de la losa respectivamente, la escala de valores representada por los colores se encuentra en unidades de kilogramos, centímetros cuadrados. Se observa una distribución normal de esfuerzos en ambas secciones a pesar de la presencia de las esferas en los modelos, se obtienen los esfuerzos máximos de compresión en la parte superior de la sección media de la losa y en la parte inferior en las secciones de los extremos; los esfuerzos máximos de tensión se muestran en la parte inferior de la sección media de la losa.



(a)

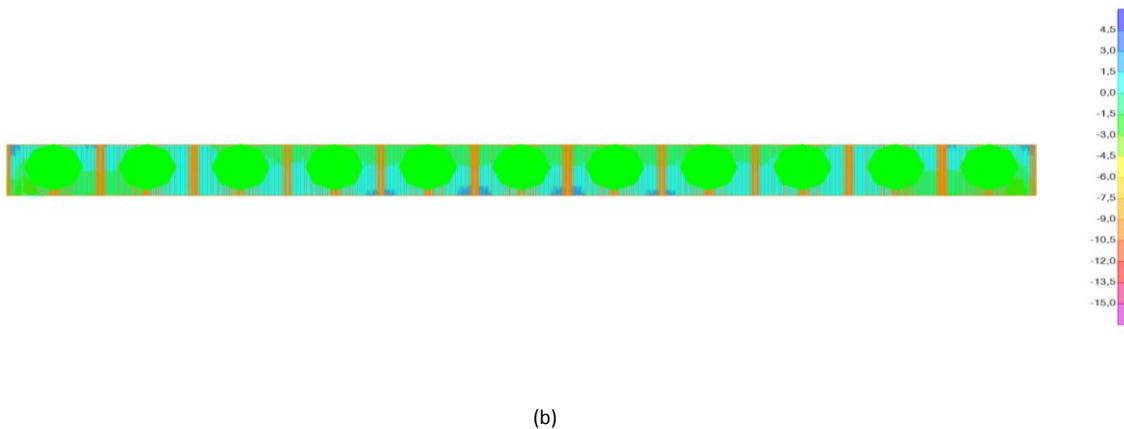


Figura 4.1 Distribución de esfuerzos en secciones de losa. (a) Esfuerzos en secciones sin esferas. (b) Esfuerzos en secciones con esferas.

En la tabla 4.1 se muestran los valores de esfuerzos y momentos producidos en las secciones de los extremos y para la sección media, en zonas de losa que se encuentran con la presencia de esferas y para zonas que se encuentran sin la presencia de las mismas. Se puede observar esfuerzos negativos de compresión en la parte superior de la sección media y en la parte inferior de los extremos para ambos casos, los esfuerzos positivos de tensión se producen en la parte inferior para la sección media y en la parte superior para las secciones de los extremos en ambos casos. Se comprueba una distribución normal de esfuerzos, debido a que las restricciones se asignaron en la parte superior e inferior de los extremos, el modelo simula el comportamiento de una losa con empotramientos en los extremos. La diferencias de valores entre secciones de los extremos para el caso de hormigón con esferas y hormigón sin esferas, se debe a que en el primer caso el punto evaluado se encuentra muy cercano al punto considerado como condición de apoyo.

Tabla 4.1 Esfuerzos y momentos en secciones de losa.

	Sección de hormigón sin esferas		Sección de hormigón con esferas	
Sección media	Esfuerzo en la parte superior	(-)0,64kg/cm ²	Esfuerzo en la parte superior	(-)0,3kg/cm ²
	Esfuerzo en la parte inferior	1,4 kg/cm ²	Esfuerzo en la parte inferior	1,13 Kg/cm ²
	Momento en la parte superior	(-)25,25kg.m	Momento en la parte superior	(-)11,84 kg.m
	Momento en la parte inferior	55,23 kg.m	Momento en la parte inferior	44,57kg.m
Sección de los extremos	Esfuerzo en la parte superior	1,48kg/cm ²	Esfuerzo en la parte superior	1,38kg/cm ²

	Esfuerzo en la parte inferior	(-)14 kg/cm ²	Esfuerzo en la parte inferior	(-)1,46 Kg/cm ²
	Momento en la parte superior	58,38kg.m	Momento en la parte superior	54,17 kg.m
	Momento en la parte inferior	(-)552,3 kg.m	Momento en la parte inferior	(-)57,97kg.m

4.1.2 Esfuerzo en las esferas.

En la figura 4.2 obtenida con el programa SAP2000, se presenta los esfuerzos producidos sobre las esferas dentro de la losa para modelos de losas de 3 metros. La escala de valores de esfuerzos representada en colores se encuentra en kg, centímetros cuadrados, se puede observar un rango máximo de valores entre -1kg/cm² y 1kg/cm².

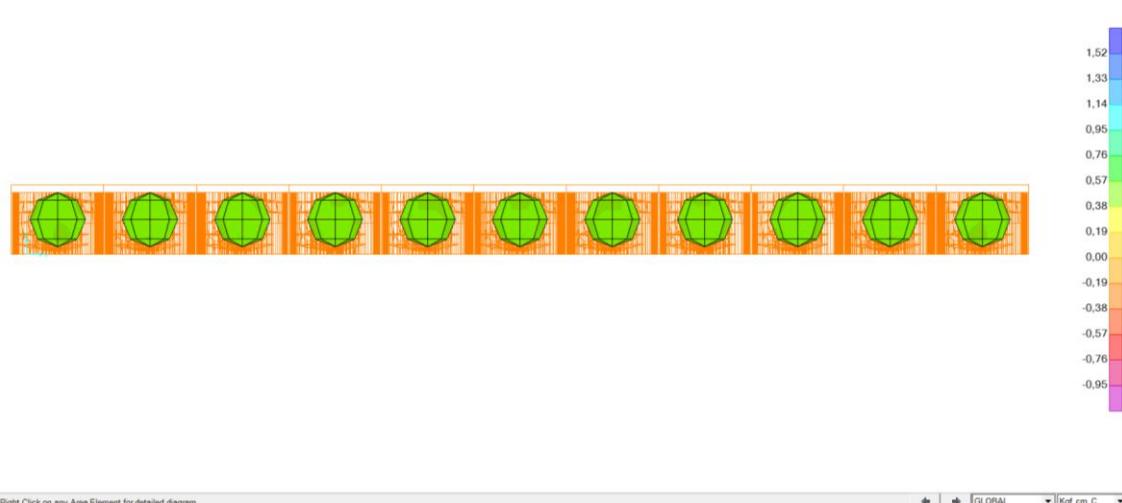


Figura 4.2 Esfuerzos en esferas.

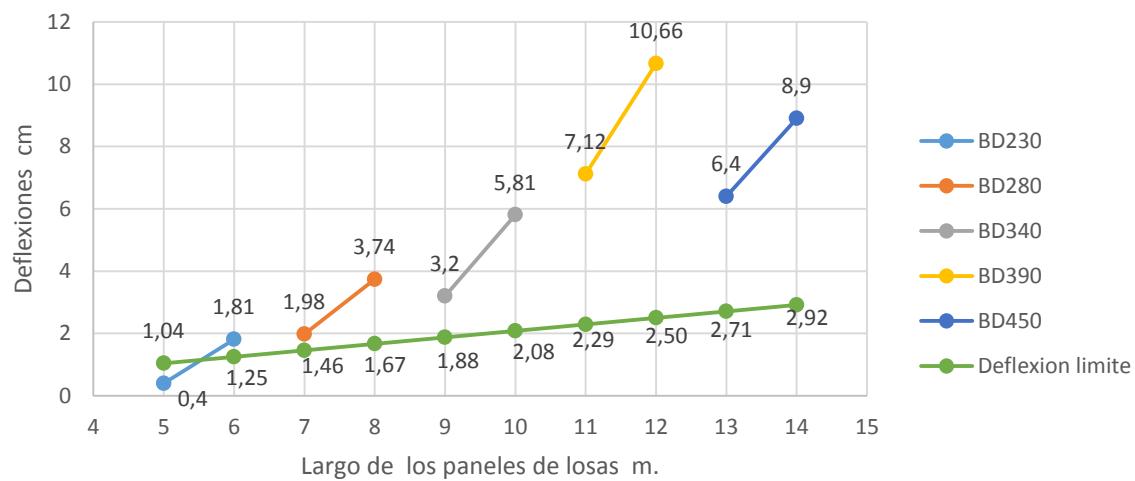
4.2 RESULTADOS DE DEFLEXIONES PARA LOS TIPOS DE LOSAS BUBBLEDECK.

En la tabla 4.2 se resumen los valores de deflexiones obtenidos de los modelos para los diferentes tipos de losas Bubbledeck, la tabla muestra los valores de deflexión considerando un efecto a largo plazo. Se muestra el tipo de losa y el rango para el cual se aplicó, en todos los casos se consideró el efecto del agrietamiento tomando en cuenta las condiciones de borde.

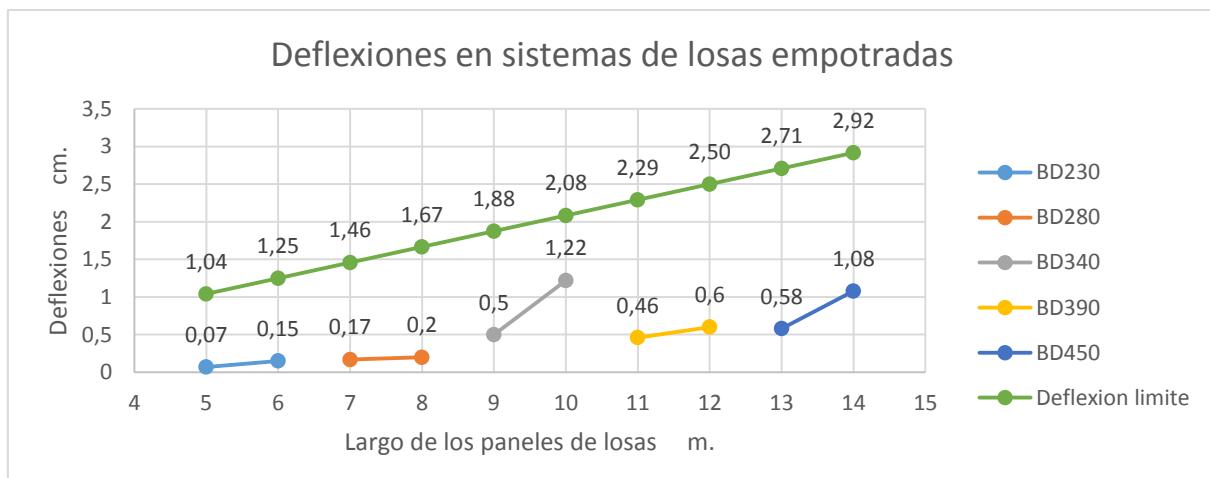
Tabla 4.2 Deflexiones en losas Bubbledeck.

Deflexiones producidas				
	Carga viva 480Kg/m2		Deflexiones a largo plazo que consideran daño de componentes no estructurales. L/480	
	Carga muerta 200kg/m2			
Tipo de BD	Largo paneles (m)	Máxima deflexión permitida cm	Deflexión losas empotradas (cm)	Deflexión losas simplemente apoyadas (cm)
BD 230	5	1,04	0,07	0,4
BD 230	6	1,25	0,15	1,81
BD 280	7	1,46	0,17	1,98
BD 280	8	1,67	0,2	3,74
BD 340	9	1,88	0,5	3,2
BD 340	10	2,08	1,22	5,81
BD 390	11	2,29	0,46	7,12
BD 390	12	2,50	0,6	10,66
BD 450	13	2,71	0,58	6,4
BD 450	14	2,92	1,08	8,9

Deflexiones en sistemas de losas simplemente apoyadas



(a)



(b)

Figura 4.3 Deflexiones en los tipos de losas Bubbledeck. (a) Deflexiones para losas simplemente apoyadas. (b) Deflexiones para losas empotradas.

4.3 RESULTADOS DE MODELOS DE PORTICOS DE EDIFICIOS.

Con respecto a los modelos de edificios analizados con el programa SAP2000, se obtuvo los valores de momentos máximos y cortantes máximos en vigas, momento máximo y fuerza axial máxima en columnas y las derivas piso, para el caso de losas alivianadas y losa Bubbledeck. Se obtuvo también las deflexiones de los dos tipos de losa aplicados en los modelos, la figura 4.4 se muestra los valores de deflexión producida en losas para alivianadas y Bubbledeck BD230.

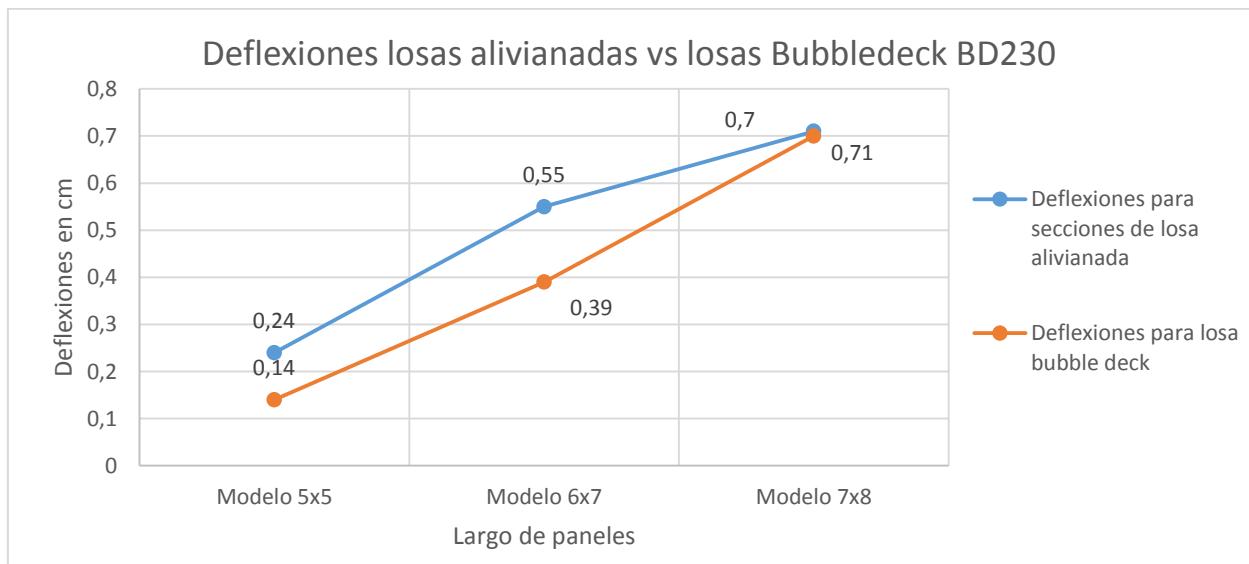


Figura 4.4 Deflexiones de losas alivianadas y losa Bubbledeck BD230, para diferente tamaño de losas.

4.3.1 Resultados de modelo edificio de 3 pisos con luces de 5 metros.

En el modelo de edificio de 3 pisos con largo de losas de 5 metros, se utilizó la sección de losa alivianada tipo 1 (ver figura 3.6), y la losa Bubbledeck BD230. En la tabla 4.3 se resumen los valores obtenidos en el análisis de este modelo.

Tabla 4.3 Resultados de vigas, columnas y derivas de piso para modelo de 5m x 5m.

Modelo Losas alivianadas Sección tipo 1			Modelo Losas Bubbledeck BD230		
Viga 35cm x30cm	Momento positivo kgm	6480	Viga 35cm x30cm	Momento positivo kgm	7100
	Momento negativo kgm	11540		Momento negativo kgm	12460
	Cortante kg	9800		Cortante kg	10620
	Área de acero para momento positivo cm ²	6,096		Área de acero para momento positivo cm ²	6,723
	Área de acero para momento negativo cm ²	11,504		Área de acero para momento negativo cm ²	12,57
	Área de estribos cm ²	1,005		Área de estribos cm ²	1,005
Columna de 35cm x35cm	Momento en columna kgm	6840	Columna de 35cm x35cm	Momento en columna kgm	7250
	Fuerza axial en columna kg	92670		Fuerza axial en columna kg	100790
	Área de acero en columna cm ²	17,15		Área de acero en columna cm ²	17,15
Derivas de piso cm	Piso 1	2,63	Derivas de piso cm	Piso 1	3,58
	Piso 2	3,77		Piso 2	4,33
	Piso 3	2,55		Piso 3	2,25

4.3.2 Resultados de modelo edificio de 3 pisos con luces de 6 metros x 7 metros.

En el modelo de edificio de 3 pisos con largo de losas de 6 metros x 7 metros, se utilizó la sección de losa alivianada tipo 2 (ver figura 3.6), y la losa Bubbledeck BD230. En la tabla 4.4 se resumen los valores obtenidos en el análisis de este modelo.

Tabla 4.4 Resultados de vigas, columnas y derivas de piso para modelo de 6m x 7m.

Modelo Losas alivianadas Sección tipo 2			Modelo Losas Bubbledeck BD230		
Viga 45cm x40cm	Momento positivo kgm	18570	Viga 45cm x40cm	Momento positivo kgm	18840
	Momento negativo kgm	32930		Momento negativo kgm	33410
	Cortante kg	18870		Cortante kg	19530
	Área de acero para momento positivo cm ²	13,293		Área de acero para momento positivo cm ²	13,503
	Área de acero para momento negativo cm ²	25,403		Área de acero para momento negativo cm ²	25,847
	Área de estribos cm ²	1,57		Área de estribos cm ²	1,57
Columna de	Momento en columna kgm	21740	Columna de	Momento en columna kgm	22020

45cm x 45cm	Fuerza axial en columna kg	169130	45cm x 45cm	Fuerza axial en columna kg	170060
	Área de acero en columna cm ²	20,35		Área de acero en columna cm ²	20,35
Derivas de piso cm	Piso 1	2,62	Derivas de piso cm	Piso 1	2,65
	Piso 2	3,9		Piso 2	3,94
	Piso 3	2,77		Piso 3	2,8

4.3.3 Resultados de modelo edificio de 4 pisos con luces de 7 metros x 8 metros.

En el modelo de edificio de 4 pisos con largo de losas de 7 metros x 8 metros, se utilizó la sección de losa alivianada tipo 3 (ver figura 3.6), y la losa Bubbledeck BD230. En la tabla 4.5 se resumen los valores obtenidos en el análisis de este modelo.

Tabla 4.5 Resultados de vigas, columnas y derivas de piso para modelo de 7m x 8m.

Modelo Losas alivianadas Sección tipo 3			Modelo Losas Bubbledeck BD230		
Viga 60cm x40cm	Momento positivo kgm	30870	Viga 60cm x40cm	Momento positivo kgm	30430
	Momento negativo kgm	50890		Momento negativo kgm	49900
	Cortante kg	28070		Cortante kg	27680
	Área de acero para momento positivo cm ²	15,908		Área de acero para momento positivo cm ²	15,665
	Área de acero para momento negativo cm ²	27,609		Área de acero para momento negativo cm ²	26,997
	Área de estribos cm ²	2,26		Área de estribos cm ²	2,26
Columna de 50cm x 50cm	Momento en columna kgm	39980	Columna de 50cm x 50cm	Momento en columna kgm	38760
	Fuerza axial en columna kg	355700		Fuerza axial en columna kg	350080
	Área de acero en columna cm ²	25,44		Área de acero en columna cm ²	25,44
Derivas de piso cm	Piso 1	3,8	Derivas de piso cm	Piso 1	3,72
	Piso 2	5,63		Piso 2	5,5
	Piso 3	4,56		Piso 3	4,45
	Piso 4	2,65		Piso 4	2,59

4.3.4 Resultados de fuerzas cortantes en losas.

Para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y $\lambda = 1$ El esfuerzo a cortante del concreto obtenido con la ecuación E.c (3.11) es de 8.87 kg/cm^2

4.3.4.1 Resultados de fuerzas cortantes para losas Bubbledeck

Se analizó la losa Bubbledeck para el caso critico correspondiente al modelo de 8mx7m, para este modelo se aplica el factor de reducción de 0.55

$$V_u = q a \left(\frac{L}{2} - \frac{b_{viga}}{2} - d_{losa} \right) \text{ E.c (4.1)}$$

Donde:

V_u : Cortante último.

q : Carga última.

a : Ancho unitario.

$$V_u = 5270.12 \text{ kg}$$

$$\tau_{max} = \frac{V_u}{0.667 (0.55b h)} = \frac{5270.12 \text{ kg}}{0.667 (0.55 \text{ 100cm} \text{ 23cm})}$$

$$\tau_{max} = 6.21 \text{ kg/cm}^2$$

Se cumple que: $\tau_{concreto} > \tau_{max}$

Por lo tanto no es necesario usar refuerzo a cortante en la losa BubbleDeck.

De los casos estudiados se analizó el que produciría mayor carga por lo que se puede decir que la losa BubbleDeck no requerirá refuerzo a cortante en ninguno de los demás casos estudiados ya que V_u será menor.

4.3.4.2 Resultados de fuerzas cortantes para losas nervadas.

Sección de losa de 5mx5m.

De acuerdo a la sección de diseño:

$$V_u = q a \left(\frac{L}{2} - \frac{b_{viga}}{2} - d_{losa} \right)$$

$$V_u = 1376 \text{ kg/m}^2 \times 0.5 \text{ m} \left(\frac{5 \text{ m}}{2} - \frac{0.3 \text{ m}}{2} - 0.23 \text{ m} \right)$$

$$V_u = 1458.56 \text{ kg}$$

La distribución del esfuerzo cortante se obtiene con la ecuación E.c (3.8) y se representa de la siguiente manera:

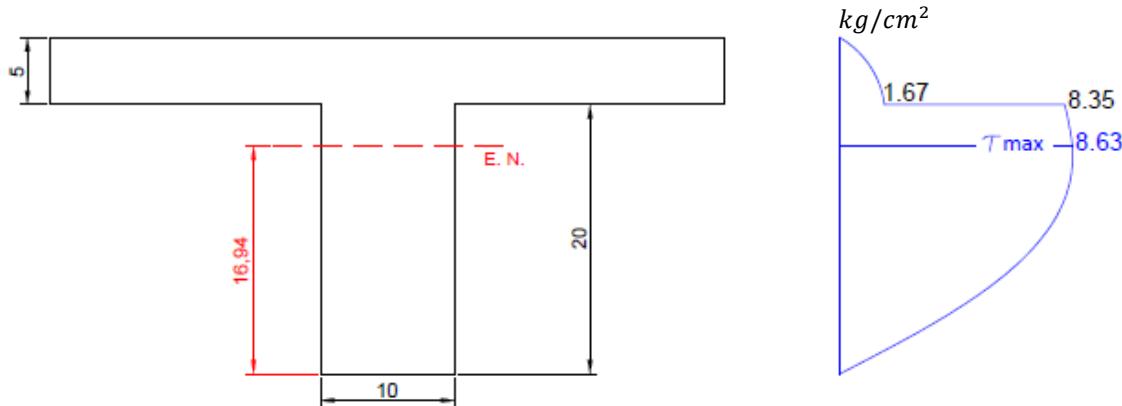


Figura 4.5 Distribución de cortante para losa alivianada tipo 1.

El valor de $\tau_{concreto}$ es 8.87 kg/cm^2 (E.c (3.11)), se cumple que $\tau_{concreto} > \tau_{max}$ y por lo tanto no es necesario usar refuerzo a cortante.

Sección de losa de 7mx6m.

De acuerdo a la sección de diseño:

$$V_u = q a \left(\frac{L}{2} - \frac{b_{viga}}{2} - d_{losa} \right)$$

$$V_u = 1480 \text{ kg/m}^2 \times 0.55 \text{ m} \left(\frac{7 \text{ m}}{2} - \frac{0.4 \text{ m}}{2} - 0.23 \text{ m} \right)$$

$$V_u = 2498.98 \text{ kg}$$

La distribución del esfuerzo cortante obtenido con la ecuación E.c(3.8), es de la siguiente manera:

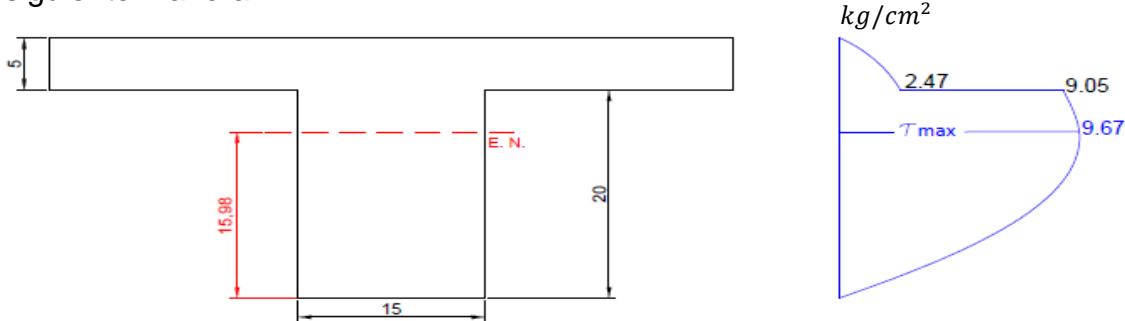


Figura 4.6 Distribución de cortante para losa alivianada tipo 2.

El valor de $\tau_{concreto}$ es 8.87 kg/cm^2 (E.c (3.11)), por lo tanto $\tau_{concreto} < \tau_{max}$

Refuerzo a cortante requerido.

$$V_c = 2292.58 \text{ kg} \quad \text{Obtenido con E.c (3.6).}$$

El refuerzo a cortante debe calcularse de acuerdo a (Código ACI 318, eq 22.5.10.5.3):

$$V_s = \frac{A_V f_{yt} d}{s} \quad \text{E.c (4.2).}$$

Donde:

A_V = Área de refuerzo a cortante con un espaciamiento s.

f_{yt} = resistencia específica a fluencia del refuerzo transversal.

d = distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.

s = espaciamiento del refuerzo transversal, en este caso es igual a $d/2$.

Se usaran varillas de diámetro de 6mm para el refuerzo a cortante:

$$V_s = \frac{(0.3^2 \pi) \text{ cm}^2 \times 4200 \text{ kg/cm}^2 \times 23 \text{ cm}}{\frac{23}{2} \text{ cm}}$$

$$V_s = 2375.04 \text{ kg}$$

Por lo tanto $V_s + V_c > V_u$

En la dirección de la luz corta no es necesario refuerzo a cortante ya que $\tau_{concreto} > \tau_{max}$

Sección de losa de 8mx7m

De acuerdo a la sección de diseño:

$$V_u = q a \left(\frac{L}{2} - \frac{b_{viga}}{2} - d_{losa} \right)$$

$$V_u = 1520 \text{ kg/m}^2 \times 0.5 \text{ m} \left(\frac{8 \text{ m}}{2} - \frac{0.4 \text{ m}}{2} - 0.33 \text{ m} \right)$$

$$V_u = 2637.2 \text{ kg}$$

La distribución del esfuerzo cortante obtenido con la ecuación E.c (3.8), es de la siguiente manera:

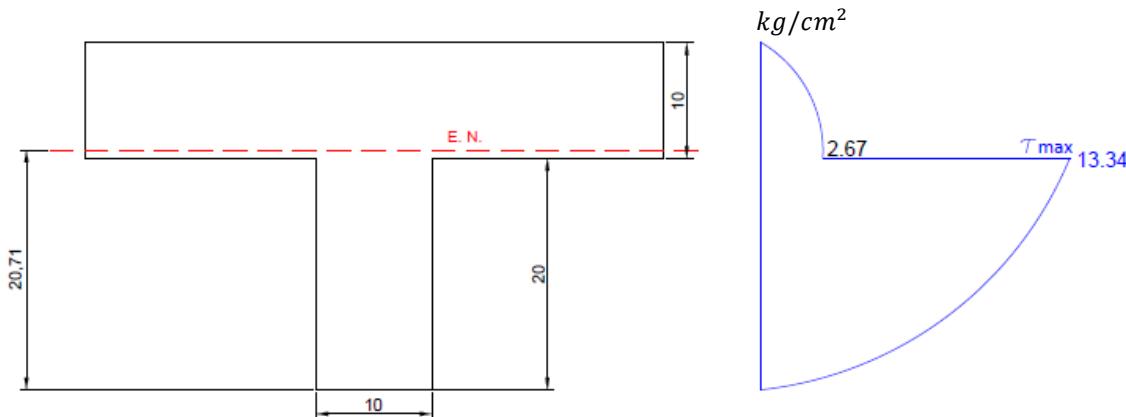


Figura 4.7 Distribución de cortante para losa alivianada tipo 3.

El valor de $\tau_{concreto}$ es 8.87 kg/cm^2 (E.c (3.11)), por lo tanto $\tau_{concreto} < \tau_{max}$

Refuerzo a cortante requerido.

$$V_c = 1768.34 \text{ kg} \quad \text{Obtenido con E.c (3.6).}$$

El refuerzo a cortante debe calcularse de acuerdo a (Código ACI 318, eq 22.5.10.5.3), E.c (4.1).

Se usaran varillas de diámetro de 6mm para el refuerzo a cortante:

$$V_s = \frac{(0.3^2 \pi) \text{ cm}^2 4200 \text{ kg/cm}^2 23 \text{ cm}}{\frac{23}{2} \text{ cm}}$$

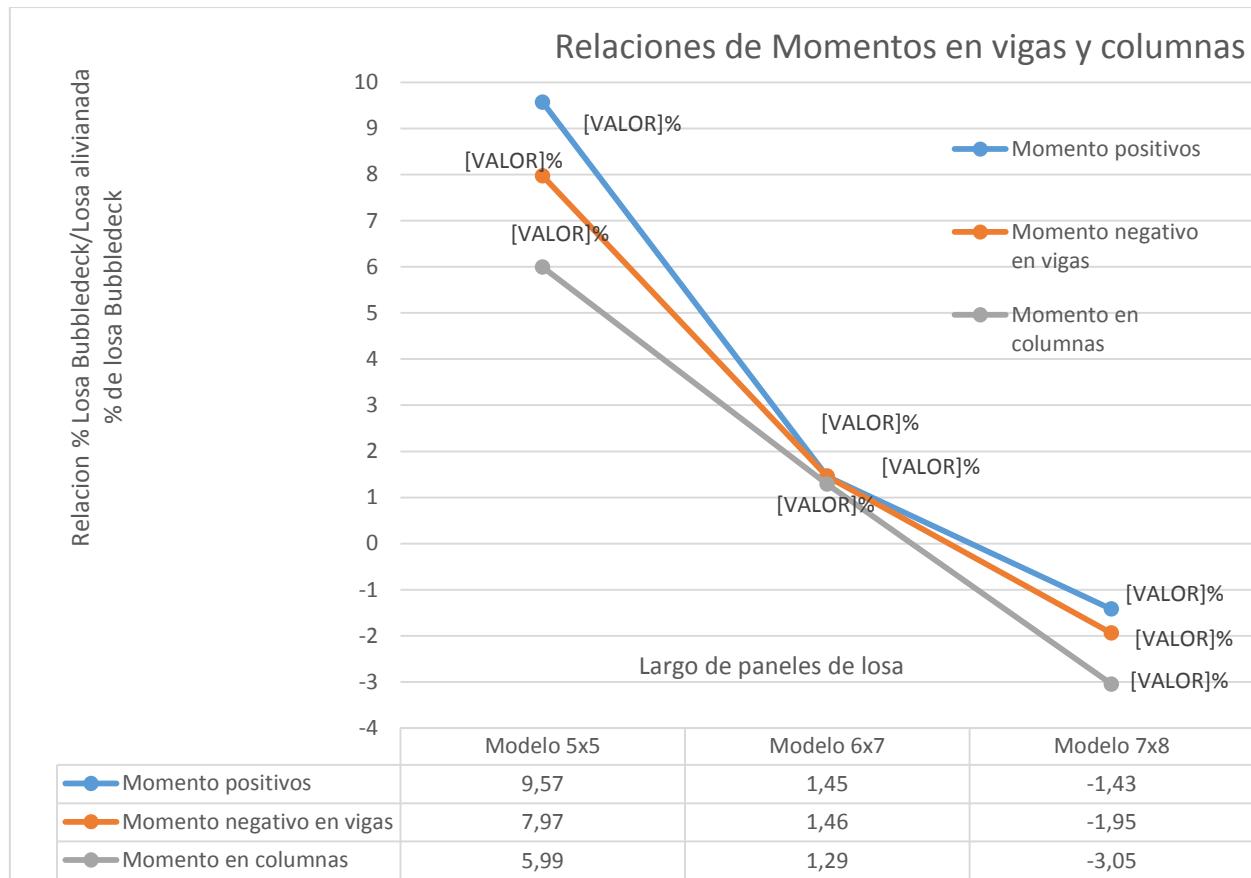
$$V_s = 2375.04 \text{ kg}$$

Por lo tanto $V_s + V_c > V_u$

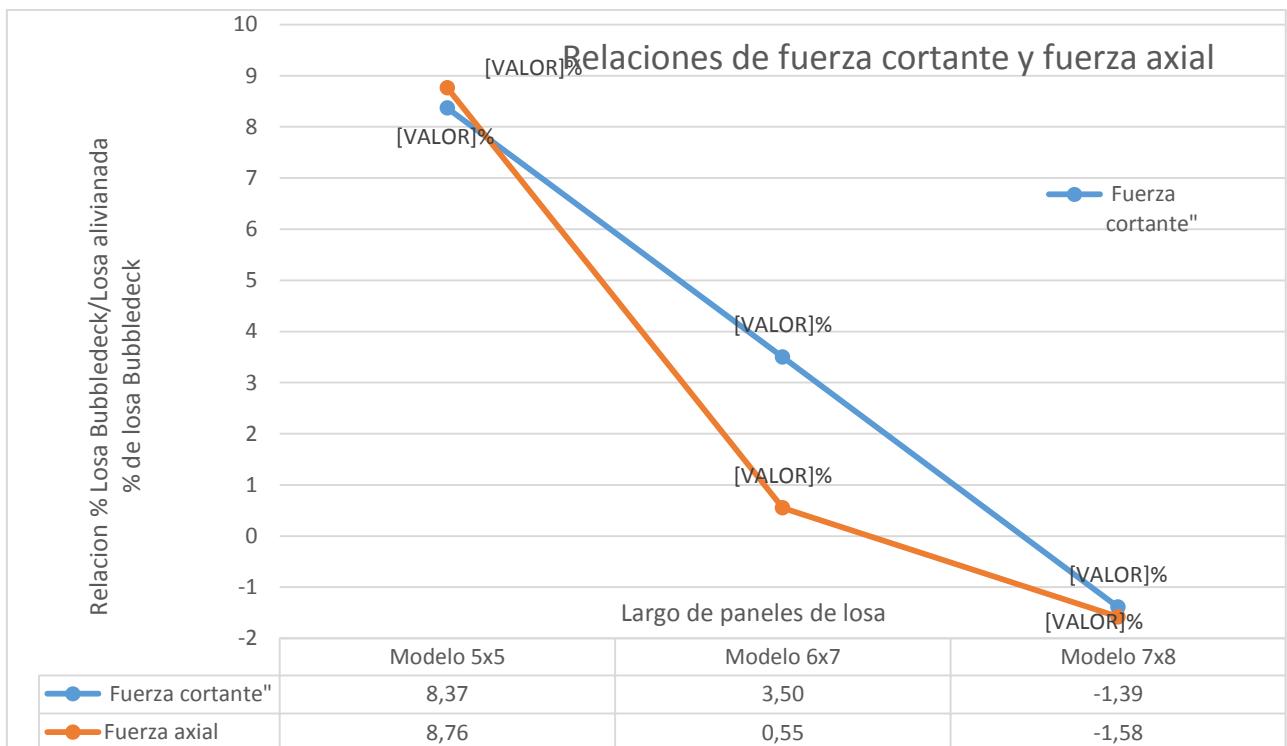
En la dirección de la luz corta es necesario refuerzo a cortante ya que $\tau_{concreto} < \tau_{max}$. Se usa el mismo diámetro de 6mm para el refuerzo a cortante.

4.3.5 Comparación de resultados entre modelos realizados con losas alivianadas y con losas Bubbledeck.

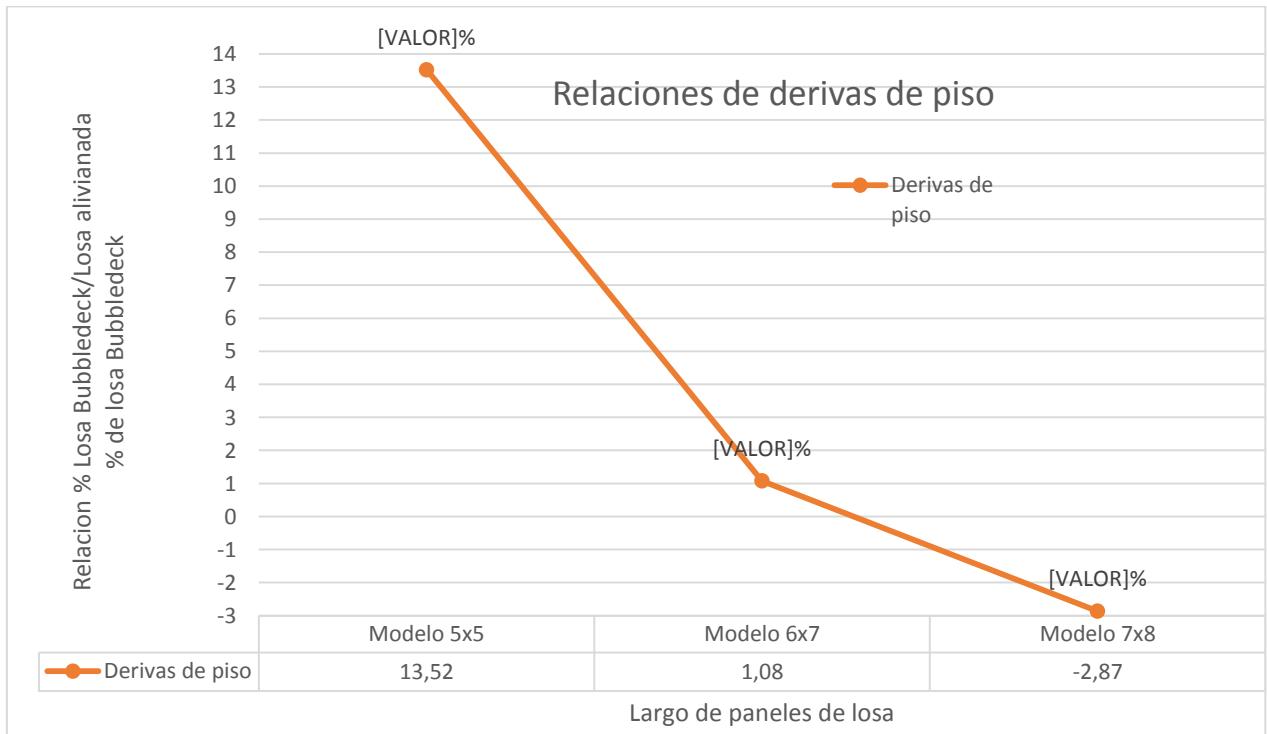
Se realizaron gráficos comparativos entre los efectos producidos en los modelos para la aplicación de losas alivianadas y losas Bubbledeck, en los siguientes gráficos se muestran los valores de momentos y cortantes en vigas; momentos y fuerza axial en columnas; y promedio de derivas de piso para los modelos de 5mx5m, 6mx7m y 7mx8m. Los valores mostrados en los gráficos se expresan como relación de los efectos con losas Bubbledeck sobre los efectos con losas alivianadas expresados en porcentaje.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.8 Relaciones en porcentaje de losa BubbleDeck/losas alivianadas. (a) Relaciones de momentos. (b) Relaciones de fuerzas cortantes y fuerzas axiales. (c) Relaciones de derivas de piso.

4.3.6 Comparación de cantidades de material y costos.

Finalmente se realizó una comparación entre la cantidad de materiales (hormigón, acero, poli estireno y polietileno de alta densidad), utilizados en los modelos de estructuras de edificios para luces de 5mx5m, 6mx7m, 7mx8m; en el caso de aplicación de losas Bubbledeck y losas alivianadas. Se realizó también un análisis de costos relacionados con la aplicación de uno u otro sistema de losas. Los gráficos se expresan, para el caso de cantidades de hormigón en metros cúbicos necesarios para vigas, columnas y losa; en el caso de las cantidades de acero el grafico se presenta en kilogramos de acero por metro cubico de hormigón.

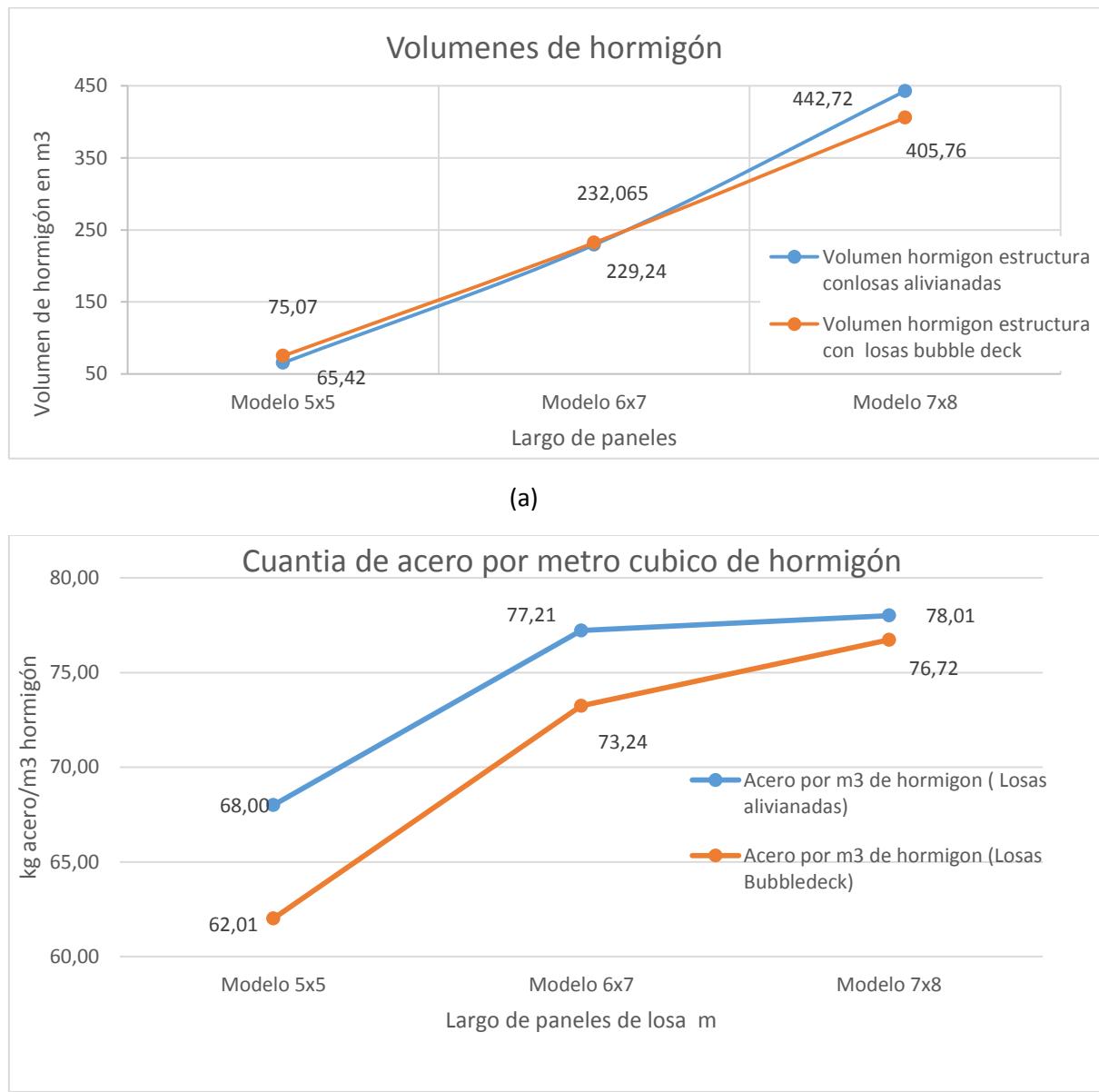


Figura 4.9 Cantidad de material para estructuras con losas alivianadas y losas BubbleDeck. (a) Volúmenes de hormigón en metros cúbicos. (b) Kilogramos de acero por metro cubico de hormigón.

Finalmente se realizó un análisis del costo de materiales utilizados para estructuras de edificios que utilicen sistemas de losas alivianadas y sistemas de losas Bubbledeck, en la tabla 4.8 se resumen las cantidades de cada material, en el caso de losas alivianadas se muestra el costo de casetones, y en el caso de losas Bubbledeck el costo de esferas. Como referencia se muestra el costo de material para hormigón y acero en los modelos de pórticos de edificios.

Los costos de materiales se tomó de empresas locales, se asumieron los siguientes precios:

Tabla 4.6 Costos asumidos de materiales

Costos de materiales	
Costo de metro cubico de hormigón	240 \$/m ³
Costo de kilogramo de Acero	1,95 \$/kg
Costo de casetones	1,45 \$
Costo esferas de polietileno	0,95 \$

Tabla 4.7 Cantidad total de materiales y costo total.

	Estructuras losas alivianadas				Estructuras losas Bubbledeck			
	Hormigón m3	Acero kg	Casetones	Costo \$	Hormigón m3	Acero kg	Esferas	Costo \$
Modelo 5x5	65	4448	1200	26115	75	4655	7500	34595
Modelo 6x7	229	17700	4536	96110	232	16996	28350	117187
Modelo 7x8	443	34535	8448	185846	406	31132	52800	210889

Tabla 4.8 Cantidad de materiales y costo total sin casetones o esferas.

	Estructuras losas alivianadas			Estructuras losas Bubbledeck		
	Hormigón m3	Acero kg	Costo \$	Hormigón m3	Acero kg	Costo \$
Modelo 5x5	65	4448	24375	75	4655	27095
Modelo 6x7	229	17700	89533	232	16996	88837
Modelo 7x8	443	34535	173597	406	31132	158089

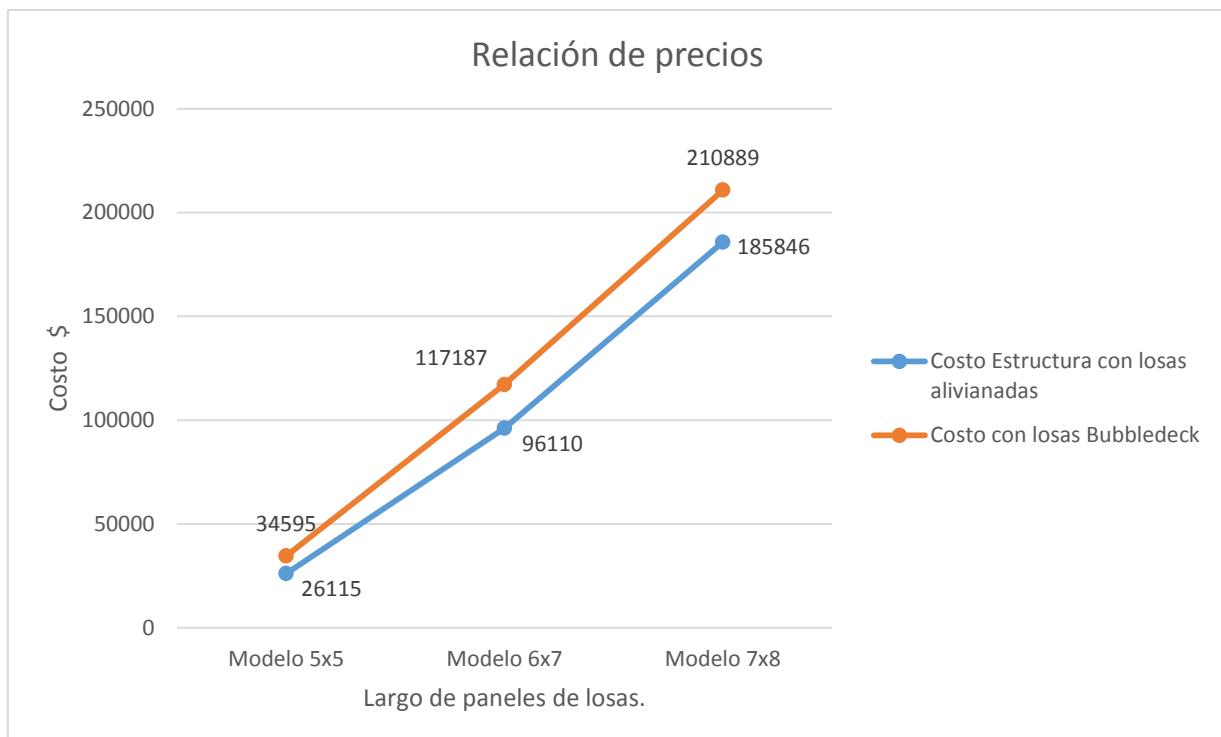


Figura 4.10 Costos total de estructura para lasos alivianadas y losas BubbleDeck.

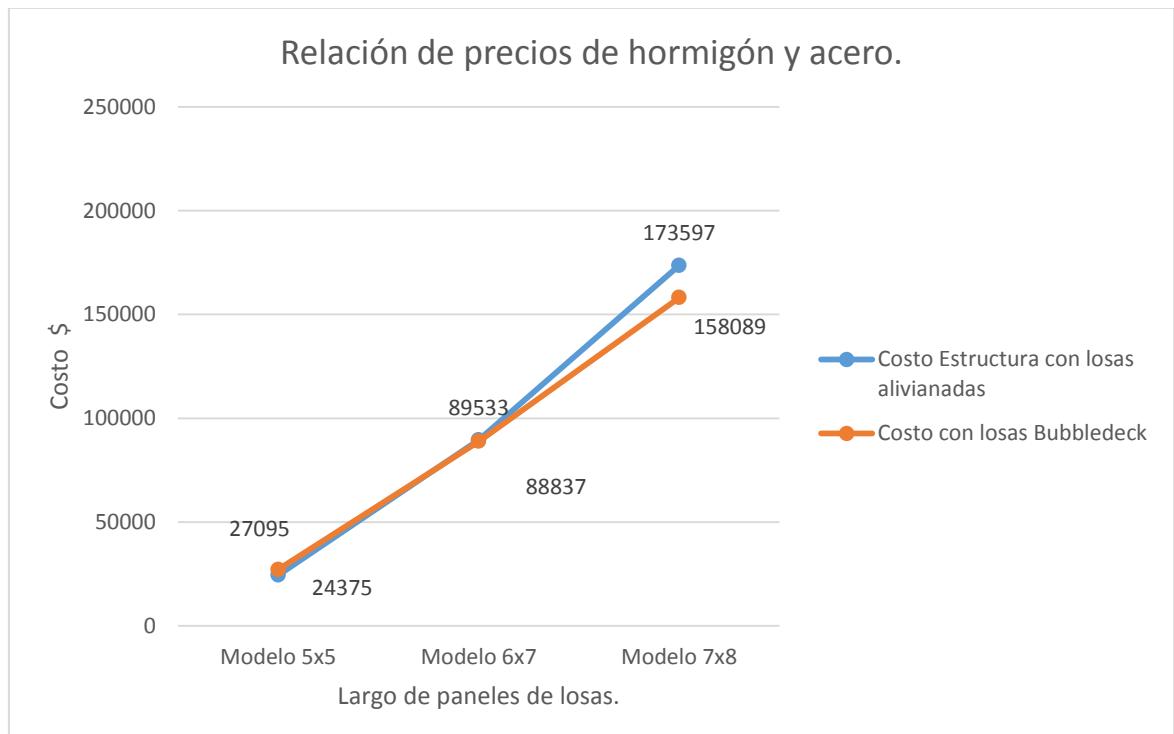


Figura 4.11 Costos total de hormigón y acero para lasos alivianadas y losas BubbleDeck.

CAPITULO 5 CONCLUSIONES

Realizando el análisis del comportamiento de losas Bubbledeck, el análisis de aplicación de los diferentes tipos de losas Bubbledeck y el análisis comparativo entre la aplicación de este sistema y sistemas de losas alivianadas se tiene las siguientes conclusiones.

- Según los modelos de losas Bubbledeck realizados en el programa SAP 2000 se observó un comportamiento uniforme similar al de una losa sólida, la distribución de esfuerzos no se ve mayormente influenciada por las esferas de polietileno de alta densidad. Los esfuerzos de compresión y tensión se distribuyen a través de las zonas ocupadas por el hormigón.
- Para secciones transversales de losa se observó un comportamiento similar al de cualquier elemento que soporta acciones flexionantes en donde los esfuerzos de compresión y tensión se distribuyen según las condiciones de apoyo.
- Para secciones que se muestran ocupadas por las esferas se observó que estas se encuentran poco esforzadas, por lo que se puede corroborar que la transmisión de esfuerzos dentro de la losa se produce únicamente a través de las secciones de hormigón.
- En los modelos de análisis de los tipos de losas Bubbledeck se observó que analizando los elementos como simplemente apoyados en sus bordes, la losa tipo BD 230 analizada para un rango de 5 metros es la única que cumple el valor de deflexión límite, las demás losas no cumplen, en estos modelos tomando en cuenta el agrietamiento y los efectos a largo plazo del hormigón se produjeron reducciones considerables en la resistencia de las losas.
- En los modelos de tipos de losas Bubbledeck analizados como elementos simplemente apoyados en los extremos, se observó que las mayores deflexiones se produjeron en la losa Bubbledeck tipo BD 390 analizada según los rangos de aplicación sugeridos y tomando en cuenta agrietamiento y efecto largo plazo del hormigón.
- En los modelos de losas Bubbledeck analizados como elementos empotrados en los extremos, se observó que para cada caso se cumple con los valores de deflexión límite, para estos modelos también se tomó en cuenta el agrietamiento y el efecto a largo plazo del hormigón.
- En los modelos de tipos de losas Bubbledeck analizados como elementos empotrados en los extremos, la máxima deflexión se produjo en la losa Bubbledeck tipo BD 340 analizada en los rangos de aplicación sugeridos, en este caso también se tomó en cuenta el agrietamiento y efecto a largo plazo del hormigón.
- En cada caso de modelos de losas Bubbledeck analizados como elementos simplemente apoyados o empotrados en los extremos se observa que el efecto de agrietamiento y el efecto a largo plazo reducen de forma diferente la capacidad resistente de cada modelo, esto se debe

a que la relación entre los momentos de agrietamiento y los momentos producidos varía mucho en cada caso.

- En el caso que se pueda asegurar el empotramiento de las losas Bubbledeck, estas cumplirán los valores de deflexiones máximas permitidas.
- Según las comparaciones realizadas entre los modelos de edificios se observó que los analizados con la aplicación de losas Bubbledeck produce menos deflexión de losas en los modelos de 5x5 metros y 6x7 metros, en estos casos la deflexión producida representa el 59.3% y 70.9 % respectivamente de la deflexión producida con la aplicación de las losas alivianadas correspondientes.
- En el modelo de edificio con luces de 7x8 metros la deflexión producida con en losa Bubbledeck representa un 1.4% más que la deflexión producida en losa alivianada utilizada para este caso.
- Se observa que tanto los momentos, cortantes, fuerzas axiales y derivas de piso son mayores en los modelos que utilizan losas Bubbledeck para los casos de 5x5 metros y 6x7 metros, en el caso de 7x8m se obtiene mayores efectos con la aplicación de losas alivianadas.
- Se observa que se necesita mayor cantidad de hormigón y acero en los modelos que utilizan losas Bubbledeck para los casos de 5x5 metros y 6x7metros, en el caso de 7x8 metros se necesita mayor cantidad de hormigón y acero en el modelo de losas alivianadas.
- Los modelos de losas alivianadas para los casos de 7x6 metros y 8x7metros, requieren acero de refuerzo a cortante.
- Según la comparación de costos se observa que la aplicación de losas Bubbledeck resulta menos económica para cada caso, esto debido al costo de las esferas de polietileno de alta densidad.
- Si se realiza una comparación de costos sin tomar en cuenta los precios de casetones ni de esferas de polietileno de alta densidad, se observa que para los modelos de 6x7 metros y 7x8 metros resulta más económico la aplicación de losas Bubbledeck.
- Para el precio de las esferas se asumió un costo de fabricación y de materiales según datos proporcionados por industrias de la región, al no contar con una industria dedicada a la fabricación de este tipo de elementos, los costos de aplicación de losas Bubbledeck se vuelven perjudiciales.
- Finalmente se concluye que desde el punto de vista técnico y para el caso que se garantice el empotramiento de los elementos la aplicación de losas Bubbledeck presenta mayores ventajas y beneficios que la aplicación de losas alivianadas, especialmente cuando se realicen construcciones de grande luces y para grandes cargas. Si se toma en cuenta el punto de vista económico resulta mejor la aplicación de losas alivianadas, sin embargo si se redujera el costo de la fabricación de esferas y se proyecten estructuras que soporten grandes luces y



grandes cargas, resultara más efectiva desde todo punto de vista la aplicación de losas Bubbledeck.

Recomendaciones de estudios futuros.

Para continuar el estudio realizado en el siguiente trabajo de titulación se recomienda analizar los siguientes puntos:

- Estudio de las uniones de los elementos y su comportamiento en caso de sismo.
- Análisis dinámico de edificios de mayor altura que los estudiados en este trabajo.
- Análisis riguroso del costo de la fabricación de las esferas de polietileno tomando en cuenta los procedimientos utilizados por la empresa.
- Costo neto de la estructura de losa tomando en cuenta su aplicación como patente.
- Investigar sobre el proceso constructivo y nuevas formas de realizar proyectos con esta tecnología de losas.



BIBLIOGRAFIA.

- [1] ACI. (2014). Requisitos de reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S).
- [2] Alcocer, S. M. (1995). COMPORTAMIENTO Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO LOSAS Y SISMOS. México. *Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)*. Feb. 1995. México, DF MX.
- [3] Ali, W. B., & Urgessa, G. S. (n.d.). *Structural Capacities of Spherically Voided Biaxial Slab (SVBS)*. *Structures Congress 2014*. ASCE.
- [4] BubbleDeck [web source] URL: <http://www.BubbleDeck.com> (date of reference: 28.09.2013).
- [5] BubbleDeck, U. K. (2006). Head Office. *BubbleDeck Voided Flat Slab Solution, Technical Manual and Documents*.
- [6] Churakov, A. (2014). Biaxial hollow slab with innovative types of voids. *Stroitel'stvo Unikal'nyh Zdanij I Sooruzenij*, (6), 70.
- [7] Córdova Montaño, J. C. (2007). Losas direccionales con vigas, otra alternativa de cálculo.
- [8] Han, J.-H., Kim, S.-D., Kim, S.-M., & Ju, Y.-K. (2011). Evaluation of Shear Behaviour of Void Slabs with Deck. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 11(4), 1–7.
- [9] Harmsen, T. E. (2005). Diseño de estructuras de concreto armado.
- [10] Hassoun, M. N., & Al-Manaseer, A. (2012). *Structural concrete: theory and design*. John Wiley & Sons.
- [11] Lai, T. (2010). *Structural behavior of BubbleDeck slabs and their application to lightweight bridge decks*. Massachusetts Institute of Technology.
- [12] Nilson, A. H., Winter, G., & Yamin, L. E. (1999). *Diseño de estructuras de concreto*. McGraw-Hill.
- [13] Proaño, M. (2008). Temas de Hormigón Armado. Quito: Libro Virtual de la Escuela Politécnica del Ejército-Ecuador.
- [14] Proaño, M. R. (n.d.). MÉTODOS DE GENERACIÓN DE TABLAS DE AYUDA PARA EL DISEÑO DE LOSAS CON VIGAS DESCOLGADAS.



- [15] Rodríguez, A. M. (2001). *Estructuras de hormigón*. Universidad de Valladolid.
- [16] ROMO PROAÑO, M. (2007). Temas de Hormigón Armado. *Quito, ESPE*.
- [17] Sakin, S. T. (2014). Punching Shear in Voided Slab. *Civil and Environmental Research*, 6(10), 36–43.
- [18] TEREC, L. R., & TEREC, M. A. (2013). THE BUBBLEDECK FLOOR SYSTEM: A BRIEF PRESENTATION. *Constructii*, 14(2).
- [19] Valivonis, J., Jonaitis, B., Zavalis, R., Skuturna, T., & Šneideris, A. (2014). Flexural capacity and stiffness of monolithic biaxial hollow slabs. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(5), 693–701.



ANEXOS.

ANEXO A: Memoria de cálculo de pórticos de edificios.

Descripción materiales a utilizarse y especificaciones técnicas.												
	Material	Densidad kg/m3	Módulo de elasticidad kg/cm2	Módulo de poisson	Características							
	Hormigón 280	2400	252671	0,2	Hormigón con resistencia a la compresión 280kg/cm2							
	Acero de refuerzo	2400	2000000	0,5	Acero con esfuerzo mínimo de fluencia $f_y = 4200\text{kg/cm}^2$							
	Polietileno de alta densidad HDPE	960	10200	0,4								
Sistema estructural escogido												
2	Ductilidad	Tipo de sistema estructural	Descripción									
	Sistema Dúctil	Pórticos resistentes a momento	Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas descolgadas									
Suelo de cimentación												
3	Tipo de suelo	Descripción										
	C	Perfil de suelo denso o roca blanda, cumple con parámetro de velocidad de onda. $360\text{m/s} < V_s < 760\text{m/s}$										
Cargas seleccionadas y combinaciones de carga												
Combinaciones de carga												
4	Combinación	Valores de combinación										
	1	1,4* Carga muerta										
	2	1,2*Carga muerta +1,6*Carga viva+0,5*max(Carga de techo, Granizo)										
	3	1,2*Carga muerta+1,6*max(Carga de techo, Granizo)+0,5*Carga viva										
	4	1,2*Carga muerta+1,0*Viento+0,5*max(Carga de techo, Granizo)										
	5	1,2*Carga muerta+1,0*Carga de sismo+0,2*Granizo										
Carga muerta			Carga viva									
5	Material	Valor Kn/m3	Ocupación/ uso	Valor carga distribuida kn/m2	Valor carga concentrada kn							
	Hormigón reforzado	23,5	Vivienda	4,8	0							
	Carga muerta asumida de componentes no estructurales Kn/m2		2	Carga de techo kn/m2	Carga de granizo kn/m2							
				1	0,5							
Parámetros utilizados para fuerzas sísmicas												
Cortante basa de diseño												
5	Φ_p	Φ_e	I	R								
	1	1	1	8								
Ta			Sa(Ta)									
5	Ct	a	Ta	0,101								

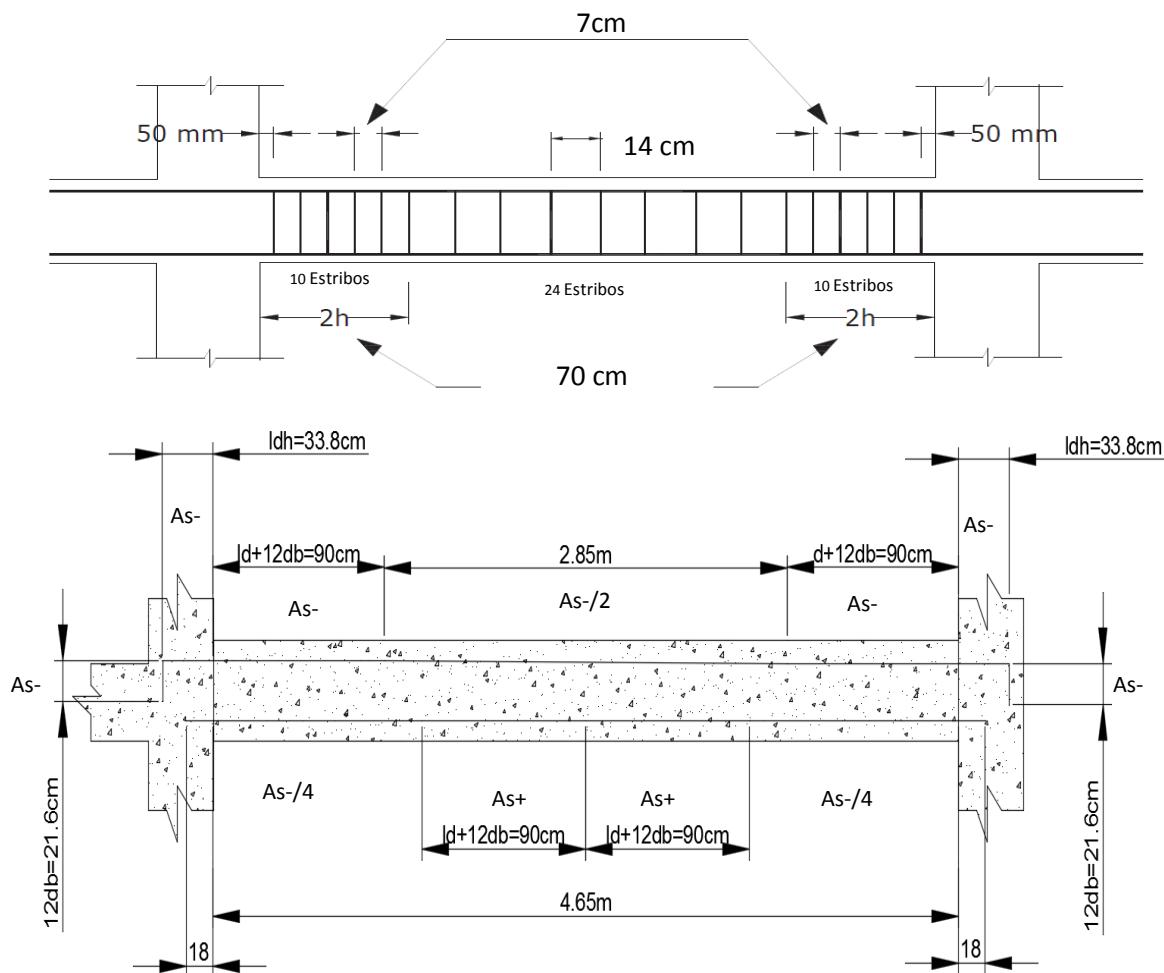


	0,055	0,9	0,39		
Modelo de 5x5metros. Losa alivianada	h total de la estructura m	9	h total de la estructura m	9	K=1
	V Tn	17,49	W peso total de pisos de la estructura Tn		173,2
	Fuerza por piso Kn				
		Piso	1	2	3
		Fuerza Tn	3,45	6,9	7,14
Modelo de 5x5metros. Losa Bubbledeck	h total de la estructura m	9	h total de la estructura m	9	K=1
	V Tn	20,84	W peso total de pisos de la estructura Tn		206,36
	Fuerza por piso Kn				
		Piso	1	2	3
		Fuerza Tn	4,03	8,06	8,74
Modelo de 6x7metros. Losa alivianada	h total de la estructura m	9	h total de la estructura m	9	K=1
	V Tn	77,26	W peso total de pisos de la estructura Tn		765
	Fuerza por piso Kn				
		Piso	1	2	3
		Fuerza Tn	14,86	29,73	32,62
Modelo de 6x7metros. Losa Bubbledeck	h total de la estructura m	9	h total de la estructura m	9	K=1
	V Tn	78,05	W peso total de pisos de la estructura Tn		772,8
	Fuerza por piso Kn				
		Piso	1	2	3
		Fuerza Tn	15,02	30,03	33
Modelo de 7x8metros. Losa alivianada	h total de la estructura m	14	h total de la estructura m	9	K=1,04
	V Tn	129,49	W peso total de pisos de la estructura Tn		1282
	Fuerza por piso Kn				
	Piso	1	2	3	4
	Fuerza Tn	14,4	28,8	43,2	43,02
Modelo de 7x8metros. Losa Bubbledeck	h total de la estructura m	14	h total de la estructura m	9	K=1,04
	V Tn	126,65	W peso total de pisos de la estructura Tn		1253,9
	Fuerza por piso Kn				
	Piso	1	2	3	4
	Fuerza Tn	14,12	28,24	42,37	41,9

ANEXO B: Memoria de diseño de elementos de pórticos de edificios

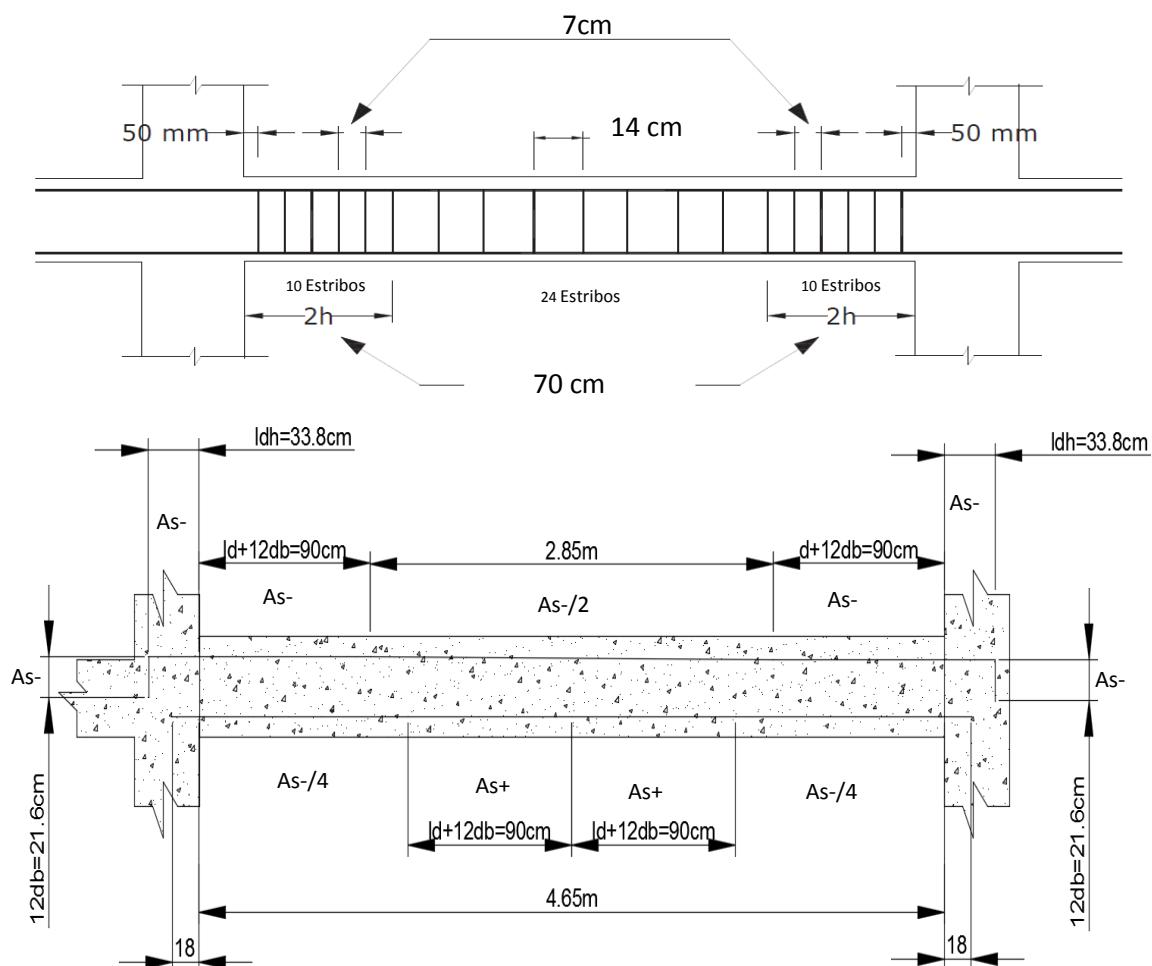
ELEMENTO	CORTANTE MAXIMO (kg)	MOMENTO MAXIMO POSITIVO kgm	MOMENTO MAXIMO NEGATIVO kgm
Viga para pórtico de 5x5m,Losas alivianadas	9800	6480	11540
L=5m B=30cm H=35cm Recubrimiento =5cm D=28cm			

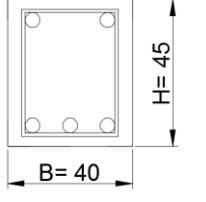
REQUISITOS DE ELEMENTOS	B>25 cm	Cumple	Área de estribos
	B=30	Cumple	Área de estribos
L/H >4	L/H = 14,28	Cumple	1.005cm ²
L<50B=15m	L=5m	Cumple	
Asmin= 14Bw*D/fy	Asmin=2,8cm ²	AsNegativo =11,504cm ²	
Asmax=0,025Bw*D	Asmax=21cm ²	AsPositivo=6,096 cm ²	



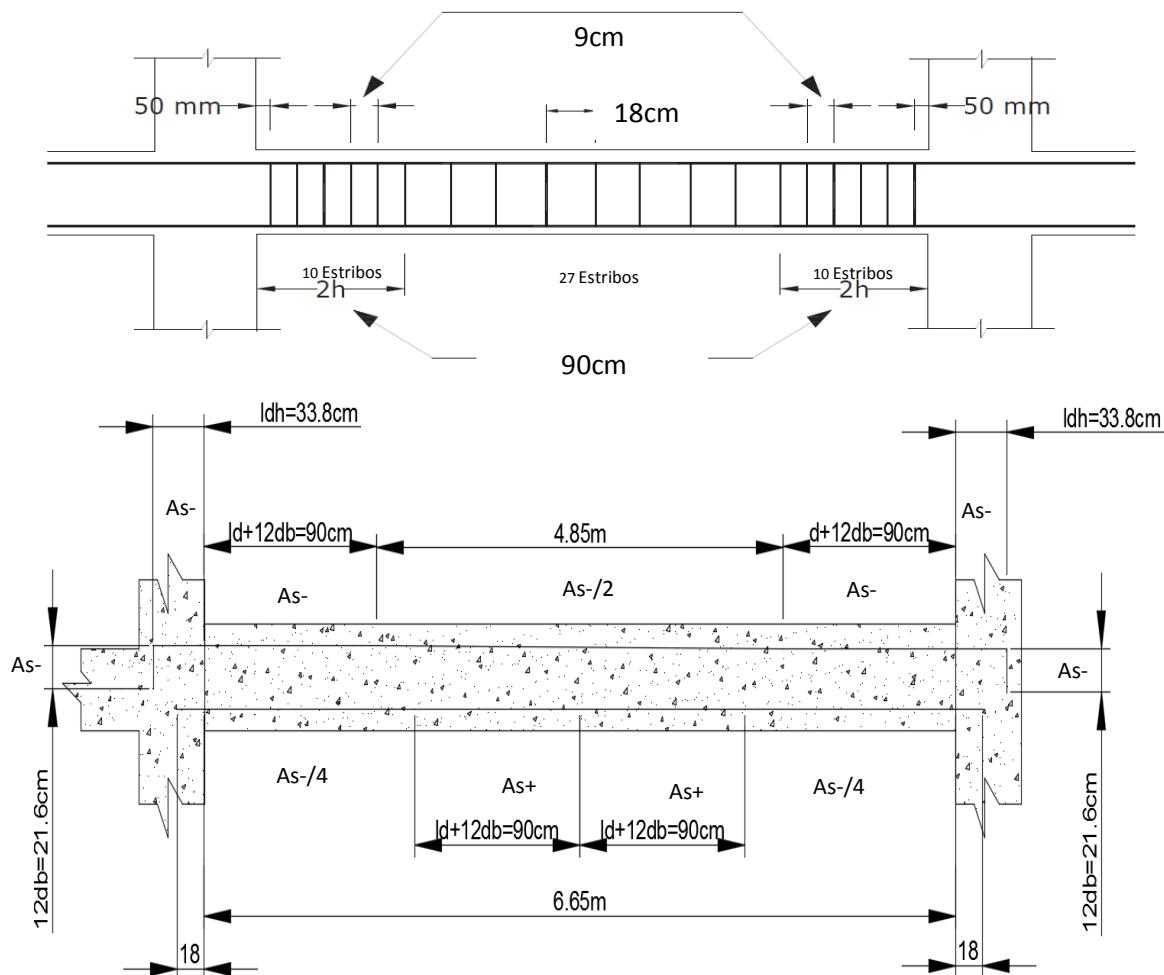
ELEMENTO	CORTANTE MAXIMO (kg)	MOMENTO MAXIMO POSITIVO kgm	MOMENTO MAXIMO NEGATIVO kgm
Viga para pórtico de 5x5m,Losas Bubbledeck	10620	7100	12460
L=5m B=30cm H=35cm Recubrimiento =5cm D=28cm			

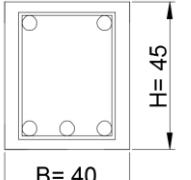
REQUISITOS DE ELEMENTOS	B>25 cm	Cumple	Área de estribos
	B=30	Cumple	1.0005cm ²
L/H >4	L/H = 14,28	Cumple	
L<50B=15m	L=5m	Cumple	
Asmin= 14Bw*D/fy	Asmin=2,8cm ²	AsNegativo =12,57cm ²	
Asmax=0,025Bw*D	Asmax=21cm ²	AsPositivo=6,73 cm ²	



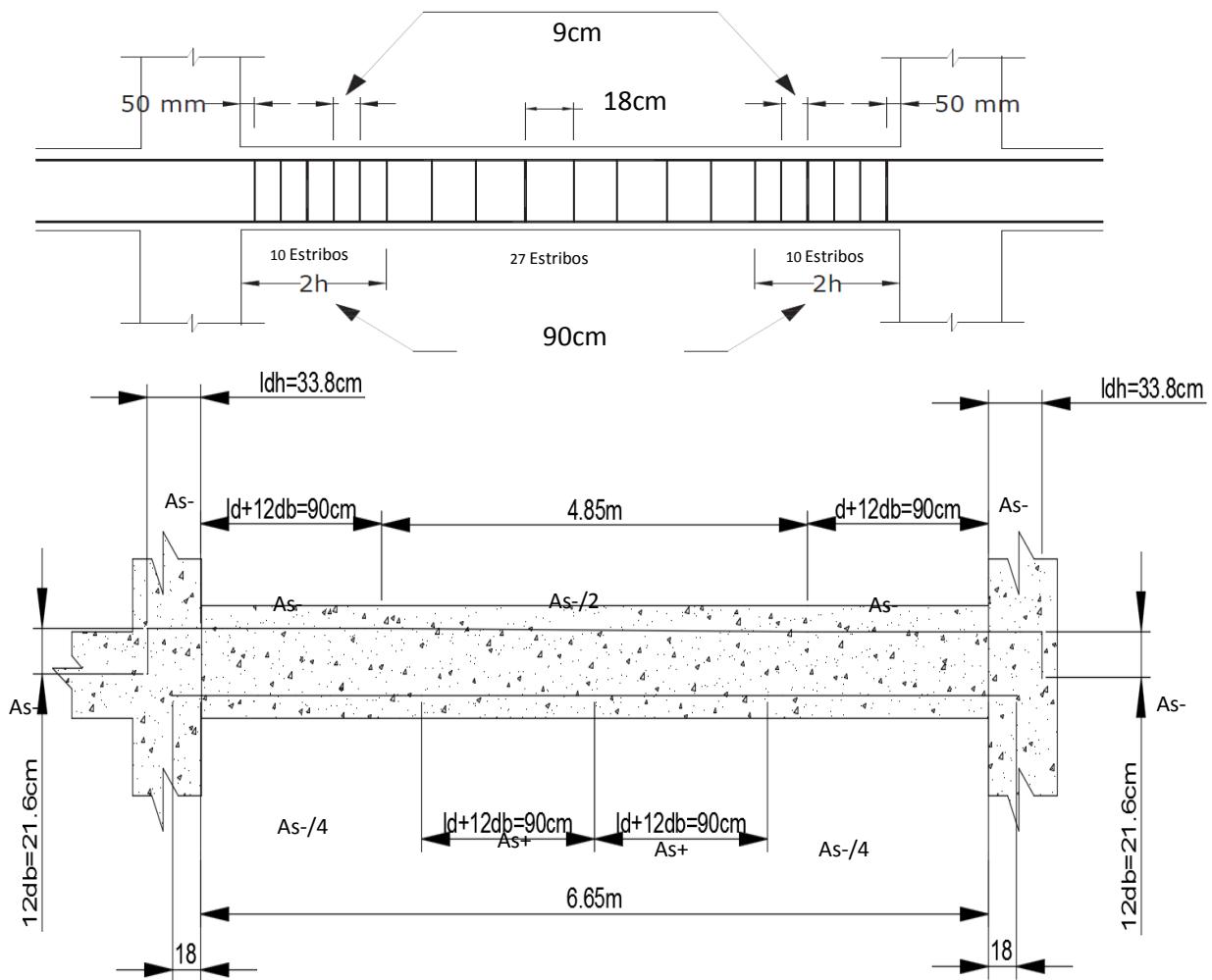
ELEMENTO		CORTANTE MAXIMO (kg)	MOMENTO MAXIMO POSITIVO kgm	MOMENTO MAXIMO NEGATIVO kgm
Viga para pórtico de 6x7m,Losas alivianadas		18870	18570	32930
L=7m B=40cm H=45cm Recubrimiento =5cm D=37.7cm				

REQUISITOS DE ELEMENTOS	B>25 cm	B=40cm	Cumple	Área de estribos
L/H >4	L/H = 15.55	Cumple	1.57cm ²	
L<50B=20m	L=7m	Cumple		
Asmin= 14Bw*D/fy	Asmin=5.02cm ²	AsNegativo =25.403cm ²		
Asmax=0,025Bw*D	Asmax=37.7cm ²	AsPositivo=13.293cm ²		



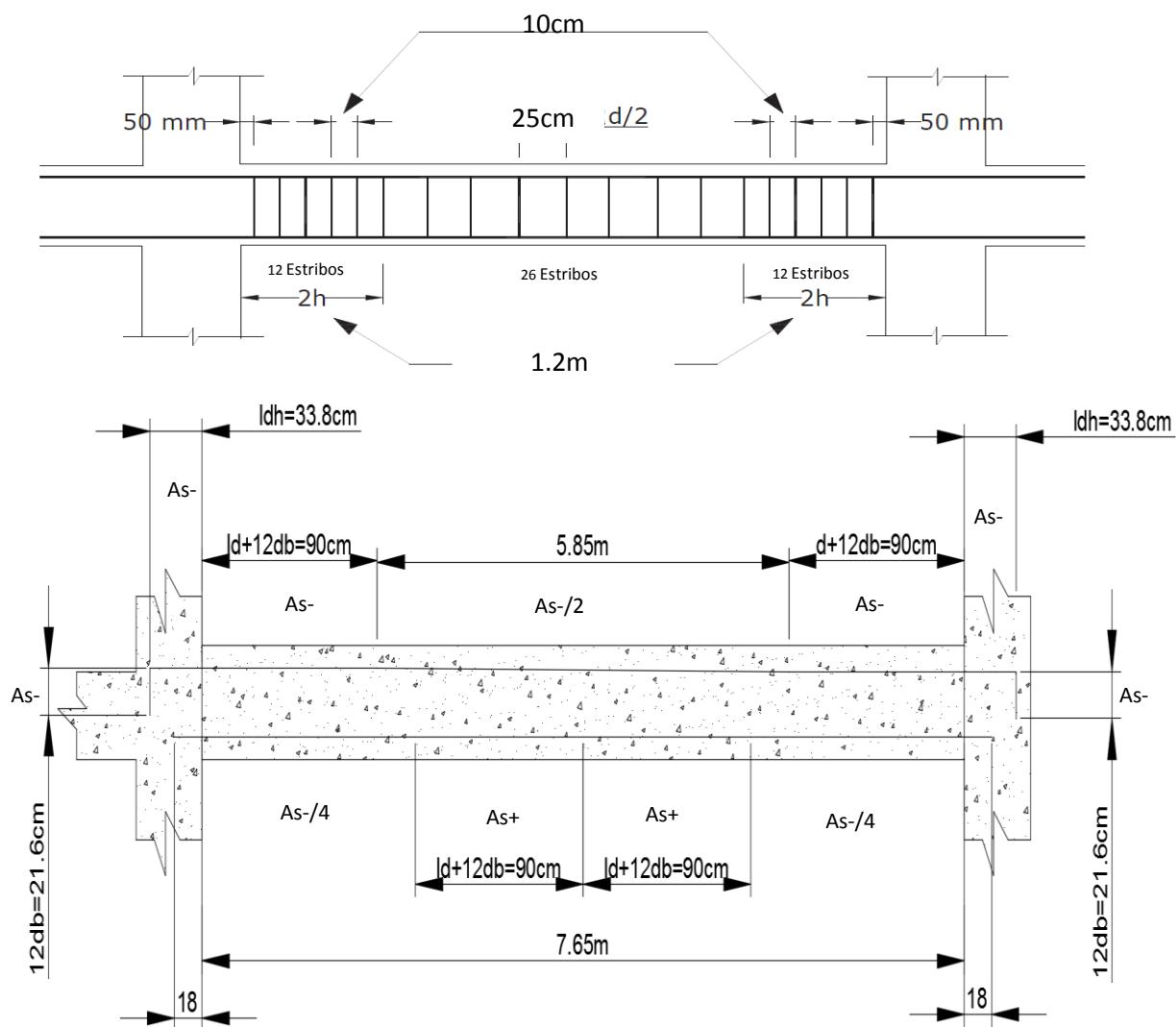
ELEMENTO	CORTANTE MAXIMO (kg)	MOMENTO MAXIMO POSITIVO kgm	MOMENTO MAXIMO NEGATIVO kgm
Viga para pórtico de 6x7m, Bubbledeck	19530	18840	33410
L=7m B=40cm H=45cm Recubrimiento =5cm D=37.7cm			

REQUISITOS DE ELEMENTOS			
B>25 cm	B=40cm	Cumple	Área de estribos
L/H >4	L/H = 15.55	Cumple	1.57cm ²
L<50B=20m	L=7m	Cumple	
Asmin= 14Bw*D/fy	Asmin=5.02cm ²	AsNegativo =25.847cm ²	
Asmax=0,025Bw*D	Asmax=37.7cm ²	AsPositivo=13.503cm ²	



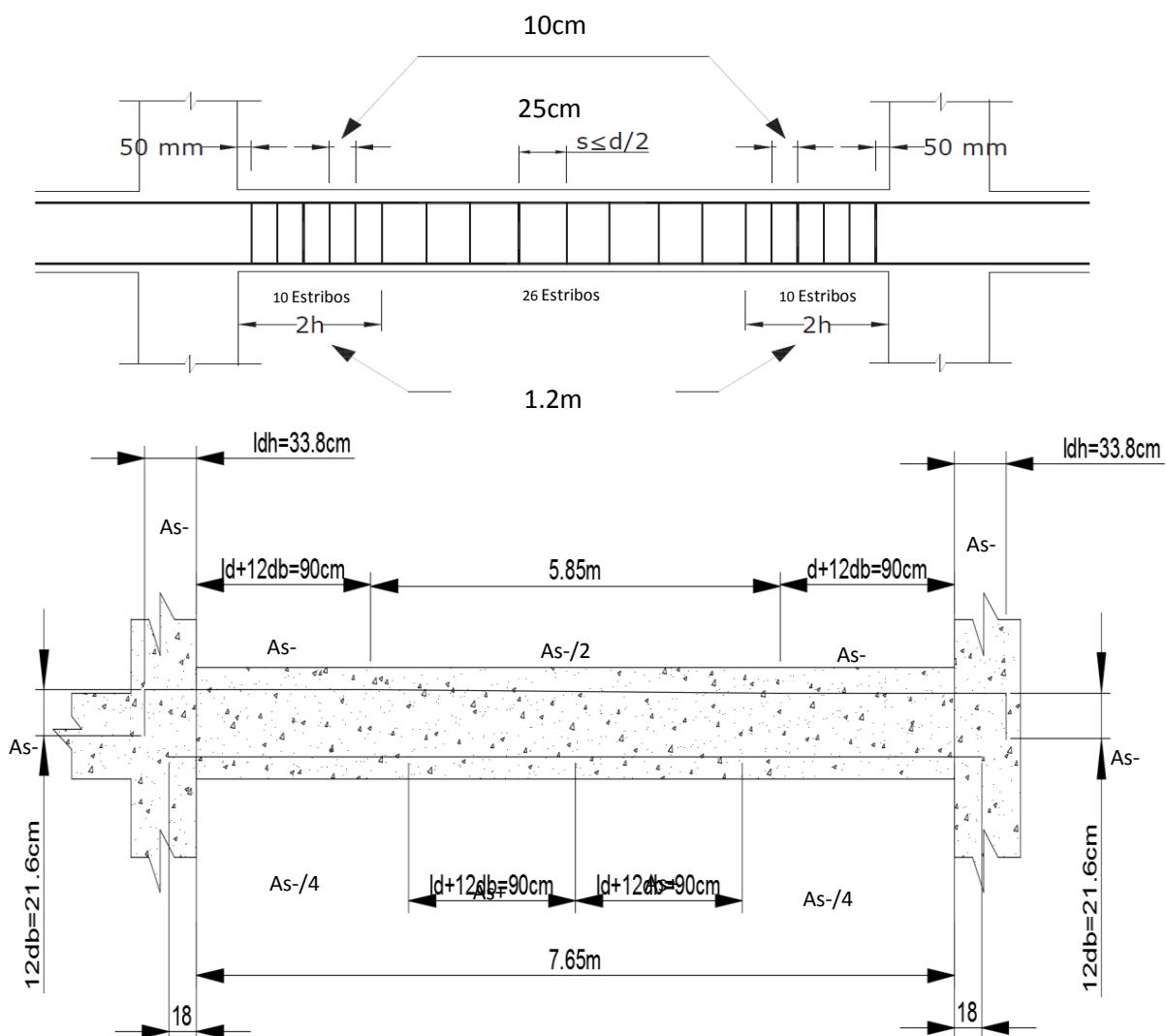
ELEMENTO	CORTANTE MAXIMO (kg)	MOMENTO MAXIMO POSITIVO kgm	MOMENTO MAXIMO NEGATIVO kgm
Viga para pórtico de 7x8m, Losa alivianada	28070	30870	50890
L=8m B=40cm H=60cm Recubrimiento =5cm D=52.2cm			

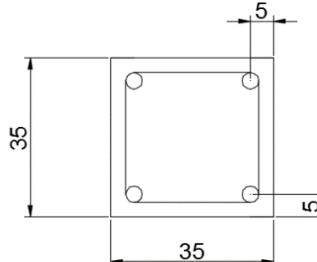
REQUISITOS DE ELEMENTOS	B>25 cm	Cumple	Área de estribos
	B=40cm	Cumple	Área de estribos
L/H >4	L/H = 13.3	Cumple	2.26cm ²
L<50B=20m	L=8m	Cumple	
Asmin= 14Bw*D/fy	Asmin=6.96cm ²	AsNegativo =27.607cm ²	
Asmax=0,025Bw*D	Asmax=52.2cm ²	AsPositivo=15.908cm ²	

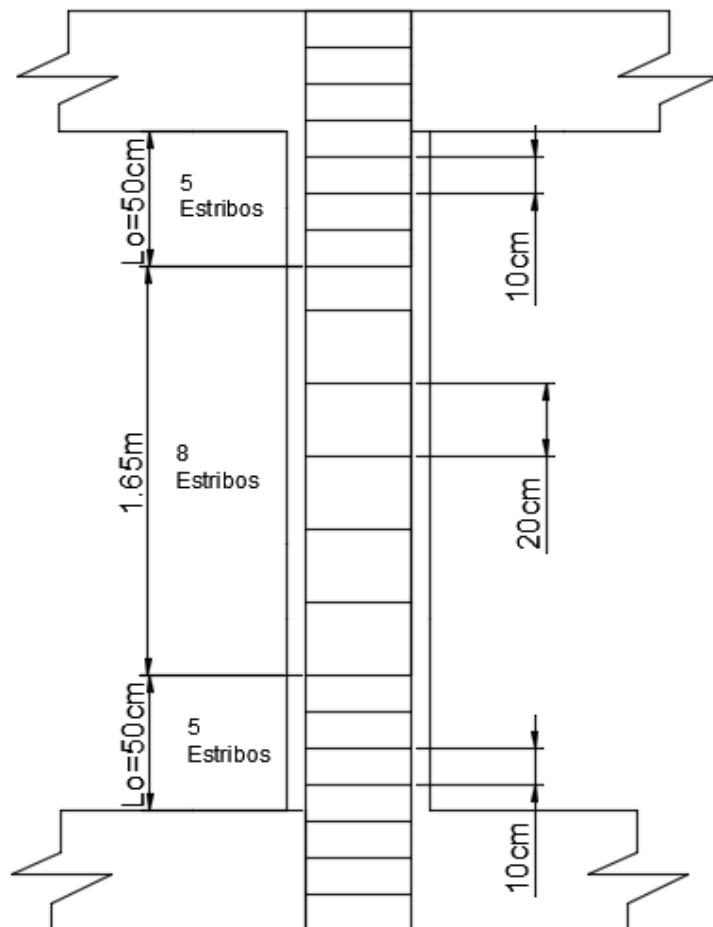


ELEMENTO	CORTANTE MAXIMO (kg)	MOMENTO MAXIMO POSITIVO kgm	MOMENTO MAXIMO NEGATIVO kgm
Viga para pórtico de 7x8m, Losa Bubbledeck	27680	30430	49900
L=8m B=40cm H=60cm Recubrimiento =5cm D=52.2cm			

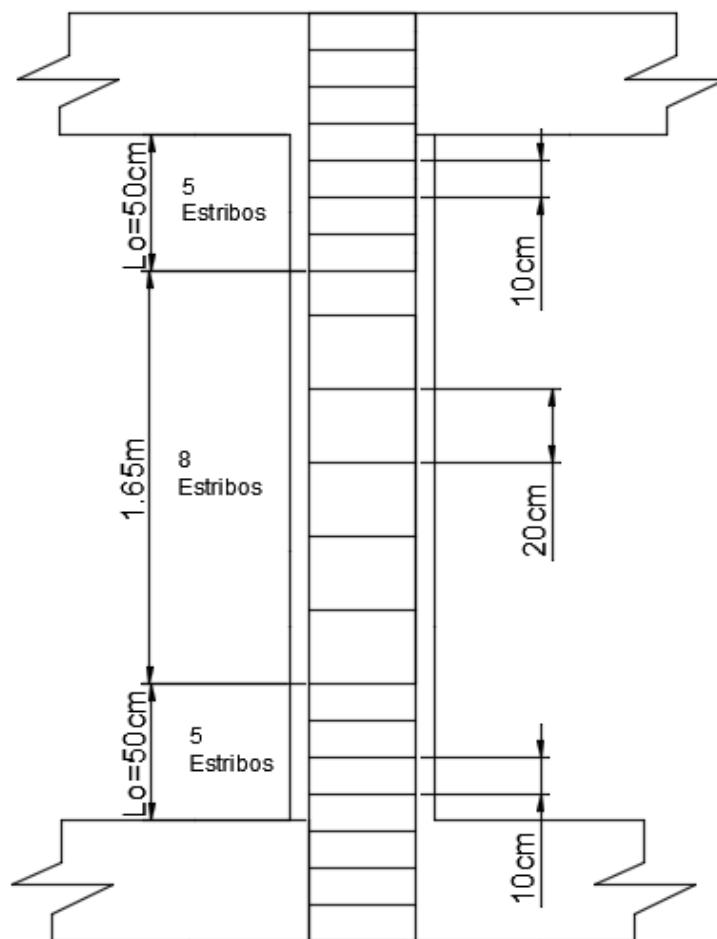
REQUISITOS DE ELEMENTOS	B>25 cm	Cumple	Área de estribos
	B=40cm	Cumple	Área de estribos
L/H >4	L/H = 13.3	Cumple	2.26cm ²
L<50B=20m	L=8m	Cumple	
Asmin= 14Bw*D/fy	Asmin=6.96cm ²	AsNegativo =26.9cm ²	
Asmax=0,025Bw*D	Asmax=52.2cm ²	AsPositivo=15.66cm ²	

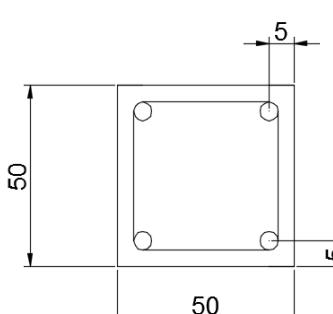


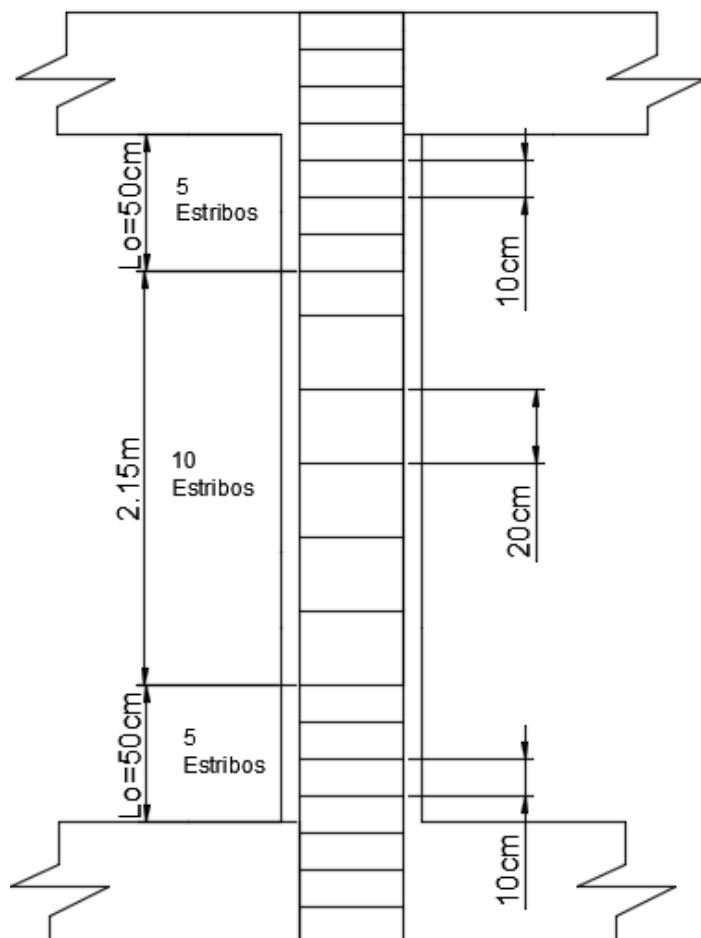
ELEMENTO		Fuerza axial Alivianada kg	MOMENTO MAXIMO, Alivianada kgm
Viga para pórtico de 5x5m, Losas alivianadas y Losas Bubbledeck		92670	6840
L=3m		Fuerza axial Bubbledeck 1 kg	MOMENTO MAXIMO Bubbledeck kgm
B=35cm		100800	7250
H=35cm		Cuantía	Área longitudinal
Recubrimiento =5cm		1.43%	17.15cm ²



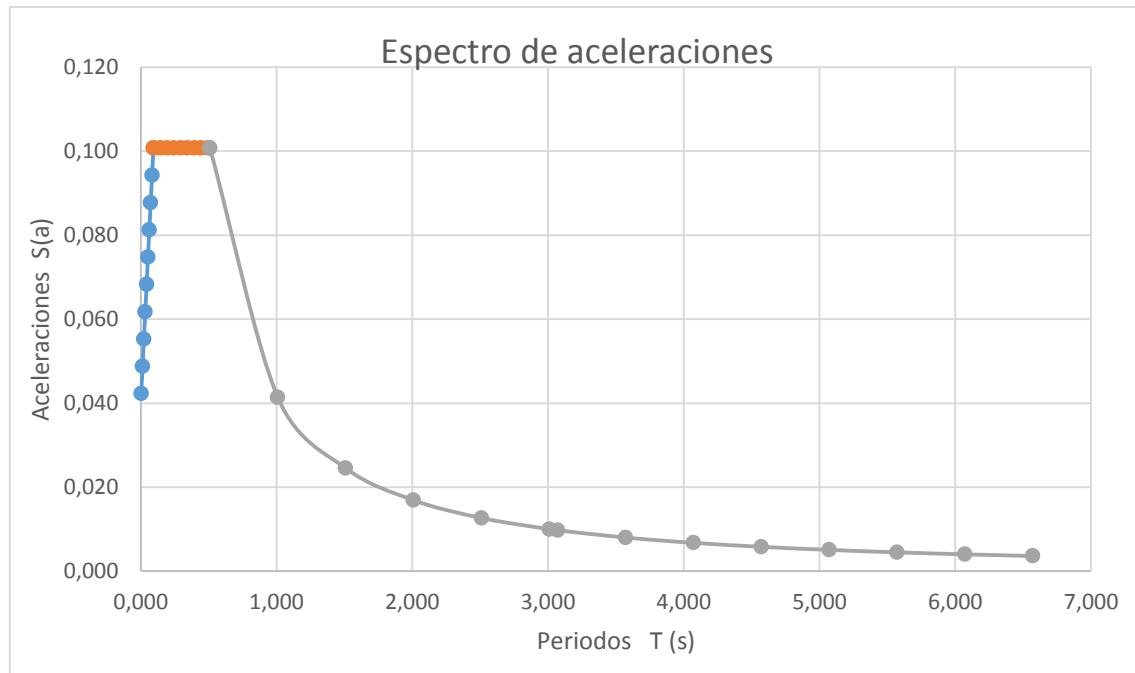
ELEMENTO	Fuerza axial Alivianada kg	MOMENTO MAXIMO, Alivianada kgm
Viga para pórtico de 6x7m,Losas alivianadas y Losas Bubbledeck	169100	21740
L=3m B=45cm H=45cm Recubrimiento =5cm	Fuerza axial Bubbledeck l kg	MOMENTO MAXIMO Bubbledeck kgm
	170100	22020
	Cuantía	Área longitudinal
	1.%	20.35cm ²



ELEMENTO	Fuerza axial Alivianada kg	MOMENTO MAXIMO, Alivianada kgm
Viga para pórtico de 7x7m,Losas alivianadas y Losas Bubbledeck	355700	39980
L=3.5m B=50cm H=50cm Recubrimiento =5cm		Fuerza axial Bubbledeck kg MOMENTO MAXIMO Bubbledeck kgm
	350100	38760
	Cuantía	Área longitudinal
	1.01%	25.44cm ²



ANEXO C: Espectro de diseño



ANEXO D: Planos de planta y elevación de modelos de edificios.