



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**

**TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESTRUCTURAL ENTRE UNA LOSA NERVADA Y UNA LOSA ALIVIANADA CON PELOTAS DE PLÁSTICO RECICLADO.”**

---

**AUTORA: JESSICA PAULINA BASANTES RUIZ**

**TUTOR: ING. MG. JORGE CEVALLOS**

**AMBATO – ECUADOR**

**2016**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo de graduación, certifico que el presente Trabajo Experimental realizado por la Srta. Jessica Paulina Basantes Ruiz, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, se desarrolló bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito, bajo el tema: **“ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESTRUCTURAL ENTRE UNA LOSA NERVADA Y UNA LOSA ALIVIANADA CON PELOTAS DE PLÁSTICO RECICLADO.”**

En el presente trabajo de graduación bajo mi tutoría fueron concluidos de manera correcta los 5 capítulos que conforman el trabajo experimental dentro del tiempo establecido según la normativa que rige en la Universidad Técnica de Ambato.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y puede continuar con el trámite pertinente.

En la ciudad de Ambato, a los 8 días del mes de agosto de 2016.

.....  
Ing. Mg. Jorge Cevallos

**Tutor**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

Yo, Jessica Paulina Basantes Ruiz, declaro que los contenidos y los resultados en el presente Trabajo Experimental, como requerimiento previo para la obtención del título de Ingeniera Civil, son absolutamente originales, auténticos y personales a excepción de las citas, tablas y gráficos de origen bibliográfico.

.....

Egda. Jessica Paulina Basantes Ruiz

**Autora**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 29 julio 2016

Autora

Jessica Paulina Basantes Ruiz.

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema **“ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESTRUCTURAL ENTRE UNA LOSA NERVADA Y UNA LOSA ALIVIANADA CON PELOTAS DE PLÁSTICO RECICLADO”**, de la egresada Jessica Paulina Basantes Ruiz, de la Carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Por constancia firman

-----

**Ing. Mg. Juan Garcés**

-----

**Ing. Mg. Maritza Ureña**

## **DEDICATORIA**

*El presente proyecto de graduación va dedicado a mis amados padres **Fabiola y Estuardo**, quienes son los que día a día me apoyaron y me enseñaron el valor de cumplir los sueños a base de perseverancia y mucho esmero.*

*A mi adorado hijo **Isaí**, que sin aun decir ni hacer nada, ha cambiado el peor de mis días tan solo con una sonrisa.*

*A mis amados hermanos **Mauricio y Ludwing** por todo el apoyo brindado en toda mi carrera universitaria.*

*A mi esposo **Henry** que me ha brindado todo su apoyo, que con sus palabras de aliento me ha ayudado a no abandonar lo que se convirtió para mí, en mi mayor reto, graduarme.*

*Al resto de mi familia que de alguna forma han aportado con un granito de arena para que este sueño se haga realidad.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco en primer lugar a Dios quien jamás me soltó de la mano y me llevo por el camino correcto, aprendiendo, que la perseverancia es la mejor virtud del ser humano.*

*A mis padres, **Estuardo y Fabiola** quienes son los protagonistas de este sueño, a quienes le debo no solo este título; sino mi vida entera, mi fuente y espejo de superación, mis maestros de la vida, gracias por darme la oportunidad de vivir este momento.*

*A mis hermanos **Mauricio y Ludwing**, quienes me han acompañado y han sido parte de todos los momentos de mi vida, gracias por todo su amor y comprensión.*

*A mi esposo **Henry** y mi hijo **Isaí** por ser mi apoyo incondicional, mis ganas de seguir adelante, gracias por ser mi fuente de inspiración y el complemento de esta felicidad.*

*A mi gran amigo hermano **Juan Carlos** que me enseñó el significado de la amistad no en palabras sino en hechos, gracias por ser un pilar importante e indispensable en mi vida.*

*A mi amigo **José Luis** quien con todo su apoyo me demostró que un amigo no solo se lo encuentra en las aulas de clases sino en cualquier circunstancia de la vida. gracias por la amistad brindada.*

*A mi tutor, **Ing. Mg. Jorge Cevallos**, por su comprensión como ser humano, por toda la paciencia y conocimientos compartidos, de principio a fin de este proyecto de graduación.*

*A mis tíos, tías y primos quienes siempre han estado pendiente de mi vida, apoyándome, aconsejándome y enseñándome que la familia son los seres que jamás nos abandonarían y siempre se alegrarían de nuestros logros en camino al éxito.*

## ÍNDICE

### A.- PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS, GRÁFICOS.....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX

### B.- TEXTO: INTRODUCCIÓN



# ÍNDICE GENERAL

## CAPITULO I

### ANTECEDENTES

1.1 Tema del trabajo experimental.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4

## CAPITULO II

### FUNDAMENTACIÓN

2.1 Fundamentación Teórica.....	5
2.1.1 Losas.....	5
2.1.2 Flexión.....	5
2.1.3 Deflexión.....	6
2.1.3.1 Deflexiones Instantáneas.....	7
2.1.3.2 Deflexiones a Largo Plazo.....	8
2.1.3.3 Deflexiones Admisibles.....	8

<b>2.1.4</b>	<b>Losas Nervadas o Reticulares.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.4.1</b>	<b>Losas Nervadas en un Sentido o una Dirección.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.4.2</b>	<b>Diseño Geométrico para losas bidireccionales según el Código</b>	
ACI318S-14.....		11
<b>2.1.4.2.1</b>	<b>Espesor mínimo de la losa .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.4.2.2</b>	<b>Sistema Reticular de Viguetas en dos direcciones no</b>	
Preesforzadas.....		12
<b>2.1.4.2.3</b>	<b>Sistema de viguetas con aligeramientos estructurales.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.4.2.4</b>	<b>Sistema de viguetas con otros aligeramientos.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.4.3</b>	<b>Métodos de Cálculo Estructural.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.4.3.1</b>	<b>Método 3 del código ACI.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.4.3.2</b>	<b>Determinación de Momentos Negativos y Positivos.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.4.3.3</b>	<b>Distribución de los Momentos Negativos y Positivos.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Losas alivianadas con esferas o discos de plástico.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.5.1</b>	<b>Método de Cálculo Estructural.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.5.2</b>	<b>Comportamiento a flexión en losas con pelotas de plástico.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.5.3</b>	<b>Comportamiento a cortante y punzonamiento en losas con pelotas</b>	
de Plástico.....		26
<b>2.1.6</b>	<b>Eficiencia estructural.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2</b>	<b>Hipótesis.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3</b>	<b>Señalamiento de variables de la Hipótesis.....</b>	<b>27</b>

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

<b>3.1 Nivel o tipo de Investigación.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 Población y Muestra.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3 Operacionalización de Variables.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4 Plan de recolección de información.....</b>	<b>32</b>
<b>3.5 Plan de Procesamiento y Análisis.....</b>	<b>33</b>

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

<b>4.1 Recolección de datos.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.1 Análisis Matemático.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.1.1 Cálculo y diseño de una losa nervada por el método 3ACI .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.1.1.1 Calculo del diseño geométrico de la losa nervada.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1.1.1.2 Esfuerzos de corte.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.1.1.3 Cálculo estructural de la losa nervada con el</b>	
<b>Método 3 ACI.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.1.1.4 Cálculo de deflexiones en dirección larga.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.1.1.5 Cortante por Punzonamiento.....</b>	<b>55</b>
<b>4.1.1.2 Cálculo y Diseño de una Losa alivianada con</b>	

Pelotas de Plástico.....	57
<b>4.1.1.2.1</b> Calculo del Diseño Geométrico de la Losa con Pelotas de Plástico.....	57
<b>4.1.1.2.2</b> Esfuerzos de Corte.....	59
<b>4.1.1.2.3</b> Calculo Estructural de la Losa.....	60
<b>4.1.1.2.4</b> Cálculo de Deflexiones en la dirección Lado Larga.....	64
<b>4.1.1.2.5</b> Cortante por Punzonamiento.....	68
<b>4.1.2</b> Análisis Práctico.....	69
<b>4.1.2.1</b> Análisis Práctico Losa Nervada.....	69
<b>4.1.2.2</b> Análisis Práctico de Losa Alivianada con Pelotas de Plástico.....	70
<b>4.1.3</b> Precio referencial de una Losa Nervada.....	72
<b>4.1.4</b> Precio referencial de una Losa con Pelotas de Plástico.....	73
<b>4.2</b> Análisis de los Resultados.....	74
<b>4.2.1</b> Resultados del modelo matemático.....	74
<b>4.2.2</b> Resultados del modelo práctico.....	74
<b>4.2.3</b> Resultados de referencia económica.....	75
<b>4.2.4</b> Resultados de ensayo de cilindros.....	76
<b>4.3</b> Verificación de la Hipótesis.....	76

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>5.1</b> Conclusiones.....	77
------------------------------	----

<b>5.2 Recomendaciones.....</b>	<b>79</b>
<b>1. Bibliografía.....</b>	<b>80</b>
<b>2. Anexos.....</b>	<b>82</b>
<b>A) Apoyos de las losas y ensamble de pelotas.....</b>	<b>82</b>
<b>B) Armado y encofrado de losas.....</b>	<b>83</b>
<b>C) Preparación de mezcla para las losas.....</b>	<b>83</b>
<b>D) Fundición de losas.....</b>	<b>84</b>
<b>E) Muestras cilíndricas de hormigón.....</b>	<b>85</b>
<b>F) Ensayo de losas con alivianamientos y pelotas de plástico.....</b>	<b>86</b>
<b>G) Ensayo de cilindros de hormigón.....</b>	<b>87</b>
<b>H) Análisis de precios unitarios para losas.....</b>	<b>88</b>
<b>D) Tablas de coeficientes para el método 3 ACI.....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS, GRÁFICOS

Tabla 1: Deflexión máxima admisible calculada.....	9
Tabla 2: Espesor mínimo de losas no preesforzadas en dos direcciones sin vigas interiores (cm).....	12
Tabla 3: Diámetros de esferas para losas.....	22
Tabla 4: Bubbledeck vs losa maciza.....	24
Tabla 5: Variable Independiente 1.....	29
Tabla 6: Variable Independiente 2.....	30
Tabla 7: Variable dependiente .....	31
Tabla 8: Plan de Recolección de la información.....	32
Tabla 9: Factor de modificación $\lambda$ .....	50
Tabla 10: Espesor mínimo de losas en una dirección macizas no preesforzadas.....	57
Tabla 11: Resultados de ensayo losa nervada.....	69
Tabla 12: Resultados según cálculos del ensayo en losa nervada.....	70
Tabla 13: Resultados de ensayo en losa de pelotas de plástico.....	71
Tabla 14: Resultados según cálculos del ensayo de losa de pelotas de plástico.....	72
Tabla 15: Resultados de deflexiones del modelo matemático.....	74
Tabla 16: Resultados de deflexiones del modelo práctico.....	74
Tabla 17: Resultados totales del modelo matemático.....	75
Tabla 18: Referencia económica losa nervada.....	76
Tabla 19: Referencia económica losa con pelotas de plástico.....	76
Tabla 20: Resultado de ensayo de cilindros.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Flexión de un elemento.....	6
Figura 2: Alivianamientos para losas.....	10
Figura 3: Losa Nervada en una dirección.....	11
Figura 4: Franjas de losa.....	14
Figura 5: Elementos Filigrana.....	17
Figura 6: Modulos Reforzados.....	17
Figura 7: Elementos de una losa alivianada con pelotas de plástico.....	18
Figura 8: Rollos de mallas para losas.....	20
Figura 9: Detalle técnico de losas con pelotas de plástico.....	21
Figura 10: Detalle de armado de una losa con pelotas de plástico.....	21
Figura 11: Ejemplo de armado de una losa con pelotas de plástico.....	23
Figura 12: Ruptura por cortante en losa maciza.....	23
Figura 13: Ruptura por cortante en losa con pelotas de plástico.....	25
Figura 14: Comportamiento a flexión en losas con pelotas de plástico.....	26
Figura 15: Distribucion de pelotas de plástico en la losa.....	58

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Esquema de losa en calculo.....	34
Gráfico 2: Esquema de losa en calculo.....	35
Gráfico 3: Tablero de cálculo.....	36
Gráfico 4: Detalle de pared.....	37
Gráfico 5: Corte de losa nervada.....	38
Gráfico 6: Mosaico de tablero en análisis.....	40
Gráfico 7: División de franjas en la dirección larga.....	42
Gráfico 8: División de franjas en la dirección corta.....	44
Gráfico 9: Armado del tablero en análisis.....	47
Gráfico 10: Armado total de losa.....	48
Gráfico 11: Distribución de momentos en la dirección larga (Losa Nervada).....	49
Gráfico 12: Detalle del perímetro cortante para punzonamiento.....	55
Gráfico 13: Cortante por Punzonamiento.....	56
Gráfico 14: Coeficientes para Momentos según el código ACI.....	57
Gráfico 15: Distribución de pelotas en el tablero.....	63
Gráfico 16: Detalle de aceros y estribos en losa con pelotas de plástico.....	64
Gráfico 17: Distribución de momentos en la dirección larga (Losa con pelotas de plástico) .....	64
Gráfico 18: Detalle de armado de losa nervada para ensayo.....	69
Gráfico 19: Detalle de armado de losa con pelotas de plástico para ensayo.....	70



Gráfico 20: Distribución de alivianamientos en tablero de análisis.....	72
Gráfico 21: Distribución de pelotas en tablero de análisis.....	73
Gráfico 22: Deflexiones de losa nervada y losa con pelotas de plástico.....	75

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de graduación trata acerca del análisis de eficiencia estructural entre una losa Nervada y una Losa Alivianada con Pelotas de Plástico, para ello el proyecto por ser de carácter experimental se divide en dos análisis: primero un análisis Matemático y un segundo análisis Práctico o Experimental.

Para el análisis matemático se procedió a realizar tanto el cálculo y diseño de una losa nervada y una losa alivianada con pelotas de plástico reciclado mediante las especificaciones dadas por el Código ACI318S-14, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2014), para el caso de losas alivianadas con pelotas de plástico recicladas, de acuerdo a toda la bibliografía encontrada de otros estudios ya realizados.

De acuerdo al análisis matemático se determinó los esfuerzos de corte, momento flector, deflexiones instantáneas y de largo plazo, esfuerzo a cortante por punzonamiento, la identificación de armaduras de las losas y un análisis de precio referencial de cada una de las losas. Para de esta forma poder comparar la eficiencia estructural de cada una de ellas.

Para el análisis práctico se elaboró dos maquetas a escala; una representativa a una losa nervada y la otra a losas alivianadas con pelotas de plástico, cada una de estas fueron ensayadas con la utilización del deformímetro, aplicando las mismas cargas en cada una de las losas y tomando datos de su deflexión, y de esta forma poder comparar cuál de estas brinda mejor eficiencia estructural.

## ABSTRACT

This graduation project is about to the analysis of structural efficiency between a ribbed slab and lightened slab with plastic balls, this project is divided into two steps: a mathematical analysis and an experimental analysis.

For mathematical analysis, we proceeded to perform both calculation and design of a slab ribbed and lightened slab with plastic balls recycled using the specifications given at the ACI318S -14 Code, the Ecuadorian Standard Construction (NEC - 2014), for lighten slabs with recycled plastic balls, we proceeded according to the information found all other existing studies

According to mathematical analysis shear stresses, bending moment, instant deflections and long-term effort to punching shear, identifying the armor slabs and analysis of approximate price of the slabs, in order to compare the structural efficiency of each.

For experimental analysis, two scale models were developed; one of them represents to a ribbed slab and the another one lighten slabs with plastic balls, each of these were tested with using of a strain meter, applying the same weight in each of the slabs and taking data from its deflection, and to compare which of these provides the best structural efficiency.

# **CAPITULO I**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Tema del trabajo experimental**

Análisis de eficiencia estructural entre una losa nervada y una losa alivianada con pelotas de plástico reciclado.

### **1.2 Antecedentes**

Las losas tradicionales se han venido utilizando desde hace mucho tiempo atrás, a pesar de que hoy en día se han implementado nuevos sistemas elaboración y fundición de losas, los métodos tradicionales se siguen manteniendo, dependiendo de criterios, presupuestos y gustos personales.

Pero en el ámbito de la ingeniería, el propósito es conseguir buenos resultados, disminuyendo costos, pero manteniendo la misma calidad y eficiencia de nuestras estructuras, se ha implementado en el año 2011, un nuevo modelo de losa que de acuerdo a estudios realizados en otros países ha dado buenos resultados.

Por ejemplo, en Chile que es el país en donde surgió la idea por los arquitectos Ricardo Levinton y Luciana Levinton, directores de Prenova, los mismos que han plasmado su nueva idea en varios países de Europa teniendo así en Países Bajos, Portugal, Chipre, Grecia, Italia, Polonia, Reino Unido, Sudáfrica, Francia, Estados Unidos, Australia, Irán, Eslovaquia, Hungría, Islandia y Rusia. [ 1].

Al ser una buena alternativa de fundición de losas por tener mayor ventajas que desventajas, su producción está tomando mucho auge y lo podemos encontrar con varios nombres que se le ha asignado de acuerdo al sitio y personas que se encargan de su producción, así tenemos PRENOVA, COBIAX que son las más grandes denominaciones en las que las podemos encontrar pero también las podemos encontrar como losas alivianadas con esferas o discos, Hormigón con burbujas, losas sin vigas con esferas o discos, losas sin vigas con esferas (livianas cual pluma) pero todas se refieren al mismo principio de alivianamiento de losas con pelotas o discos de plástico reciclado.

### **1.3 Justificación**

El ámbito constructivo a nivel mundial y nacional se ha ido perfeccionando con nuevos materiales, nuevas técnicas de construcción y nuevas tendencias teniendo de nuestro lado la tecnología que poco a poco ha ido tomando mayor potencia a nivel de la amplia gama que es la Ingeniería.

En diversos países a nivel del mundo se ha fomentado nuevas tecnologías tomando en cuenta materiales de reciclaje, teniendo así nuevas ideas de construcción y de mejoramiento del ecosistema.

Y ante lo dicho anteriormente tenemos un claro ejemplo en el área constructiva que poco a poco se ha ido mejorando para dar una solución a nuestros problemas ambientales, tenemos nuevas opciones de construcción de losas para viviendas tales como las tradicionales losas de hormigón en sus diversas clasificaciones, tenemos las losas con placa colaborante, etc.

Y ahora un nuevo método de construcción patentado por los arquitectos chilenos Ricardo Levinton y Luciana Levinton, directores de Prenova que consiste en losas de hormigón armado sin vigas, alivianadas con esferas plásticas. [2]

Método que ya está en más de 25 países, de los cuales Chile es uno de los que posee producción local de todo el sistema desde el 2013, lo que reduce los costos y a la vez otorga puntos para la certificación LEED. [3]

Las losas alivianadas fueron utilizadas en la reciente ampliación del aeropuerto Zvartnots en Yerevan, Armenia, y en la Torre O, ambos edificios fueron calculados por el estudio de Fontán Balestra y la elección de este tipo de estructura respondió a necesidades concretas diferentes para cada caso. “¡El sistema es como un lego”, explicó a “eH!” el arquitecto Levinton, “conformado por ‘pre-tabiques’ y ‘pre-losas’ con armaduras”. [4]

Al ser una idea que genera ahorros económicos, beneficios ambientales y seguridad de construcción, el presente proyecto tiene como propósito implementar este nuevo sistema de fundición de losas en el área de edificaciones, viviendas, etc., dando así una opción más, que cuenta con su respectivo respaldo de calidad, seguridad y ahorro.

Además, al utilizar plástico reciclado se pretende de alguna forma ayudar al medio ambiente, reduciendo las emisiones de  $CO_2$  ya que cada 10.00 m<sup>2</sup> construidos se ahorran 1.000 m<sup>3</sup> de hormigón que equivalen a 220 toneladas de dióxido de carbono. [4]

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Analizar el comportamiento estructural de una losa alivianada con pelotas de plástico reciclado con relación a una losa nervada.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los esfuerzos de corte y momentos flectores producidos en las dos losas.
- Analizar las deflexiones producidas en los dos tipos de losas.
- Identificar el tipo de armadura de cada losa.
- Determinar las fallas a cortante por punzonamiento de las losas.
- Comparar presupuesto referencial de una losa nervada y una losa alivianada con pelotas de plástico recicladas.

## **CAPITULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN**

#### **2.1 Fundamentación Teórica**

##### **2.1.1 Losas**

Las losas son elementos estructurales bidimensionales, ya que la tercera dimensión (espesor) es pequeña comparada con las dos dimensiones principales (largo ancho).

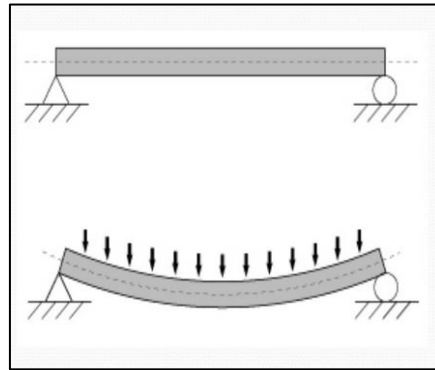
Las cargas que actúan en las losas son perpendiculares al plano principal (cargas gravitacionales CV-CM), por lo que su comportamiento está dominado por la flexión.

##### **2.1.2 Flexión**

Es el tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. Las fuerzas que actúan son paralelas a las superficies que sostienen al elemento. [5]



**Figura 1:** Flexión de un elemento



**Fuente:** Flexión en viga

### 2.1.3 Deflexión

Se entiende por deflexión a la deformación que sufre un elemento por efecto de las flexiones internas, siendo así el grado en el que un elemento estructural se desplaza bajo la aplicación de una fuerza o carga. La forma más sencilla de controlar las deflexiones consiste en imponer una relación mínima espesor-luz.

Como opción a la utilización de ecuaciones de espesor mínimo se puede calcular la deflexión en el centro de un panel de losa y comparar los resultados con limitaciones como las estipuladas por el código ACI318S-14. [6]

Para calcular las deflexiones en los sistemas de losas en dos direcciones se debe tener en cuenta el tamaño y forma del panel, las condiciones de apoyo y la naturaleza de las restricciones en los bordes del panel. Para el cálculo de deflexiones se debe tomar en cuenta las deflexiones instantáneas y las deflexiones a largo plazo.

### 2.1.3.1 Deflexiones Instantáneas

Son aquellas que se deben fundamentalmente al comportamiento elástico de la estructura y se produce inmediatamente después de que las cargas son aplicadas y son producidas específicamente por las cargas de servicio

Para calcular las deflexiones instantáneas producidas por las cargas de servicio tenemos:

$$\Delta_1 = \frac{5wL^4}{384E_s I_e} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde,

$\Delta_1$  = Deflexión producida por las cargas de servicio

$w$  = cargas de servicio

$E_s$  = Módulo de elasticidad del refuerzo y del acero

$I_e$  = Momento de inercia efectivo de la sección transversal de concreto de ancho unitario.

Para calcular las deflexiones instantáneas debidas a los momentos negativos tenemos:

$$\Delta_2 = \frac{M_a L^2}{16E_s I_e} \quad (\text{Ecuación 2}).$$

$$\Delta_3 = \frac{M_b L^2}{16E_s I_e} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$M_a, M_b$  = Momentos Negativos

Las deflexiones instantáneas totales están dadas de acuerdo a:

$$\Delta_i = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 \quad (\text{Ecuación 4})$$

### 2.1.3.2 Deflexiones a Largo Plazo

Por lo general, las componentes de la deflexión que interesan son las deflexiones a largo plazo ocasionadas por cargas sostenidas y que se ven afectadas por: la temperatura, la humedad, las condiciones de curado, la edad en el momento de la carga, la cantidad de refuerzo a compresión y la magnitud de la carga sostenida.

Para calcular las deflexiones a largo plazo tenemos:

$$\Delta_{LP} = \lambda_{\Delta} \cdot \Delta_i \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{\xi}{1 + 50p'} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

$\lambda_{\Delta}$  = multiplicador usado para deflexiones adicionales debidas a efectos de largo plazo

Valores dados para  $\xi$  (.factor que depende del tiempo para cargas sostenidas)

5 años:  $\xi = 2.0$

12 meses:  $\xi = 1.4$

6 meses:  $\xi = 1.2$

2 meses:  $\xi = 1.0$

### 2.1.3.3 Deflexiones Admisibles

El código ACI318S-14 establece las deflexiones admisibles de acuerdo a la siguiente Tabla.

**Tabla 1:** Deflexión máxima admisible calculada

Miembro	Condición		Deflexión considerada	Límite de deflexión
Cubiertas planas	Que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes		Deflexión inmediata debida a $L_r$ , $S$ y $R$	$\ell/180^{[1]}$
Entrepisos			Deflexión inmediata debida a $L$	$\ell/360$
Cubiertas o entrepisos	Soporten o están ligados a elementos no estructurales	Susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional) <sup>[2]</sup>	$\ell/480^{[3]}$
		No susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.		$\ell/240^{[4]}$

Fuente: Tabla 24.2.2 — Deflexión máxima admisible calculada ACI318S-14

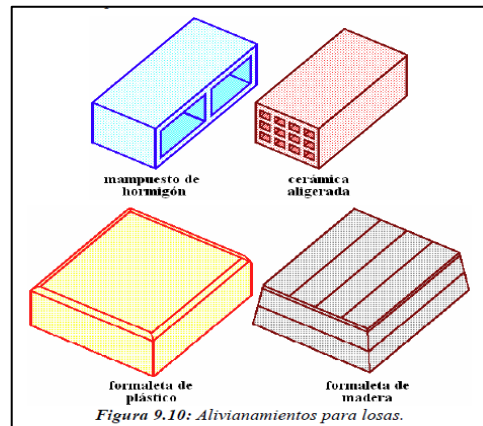
El cálculo de deflexiones es importante para el diseño de una estructura ya que se relaciona directamente con la servicialidad; es decir problemas de vibraciones, grietas en paredes y desprendimiento de pisos y recubrimientos. [6]

#### 2.1.4 Losas Nervadas o Reticulares

Este tipo de losas se elaboran a base de un sistema de entramado de traveses cruzadas que forman una retícula, dejando huecos intermedios que pueden ser ocupados permanentemente por bloques huecos o materiales cuyo peso volumétrico no exceda de  $900 \text{ kg/m}^3$ .

Las nervaduras generalmente se pueden conseguir mediante mampuestos aligerados de hormigón (son los de mayor uso en nuestro medio), cerámica aligerada, formaletas plásticas recuperables o formaletas de madera, etc. (Figura 2)

**Figura 2:** Alivianamientos para losas



**Fuente:** Diseño de losas de concreto armado

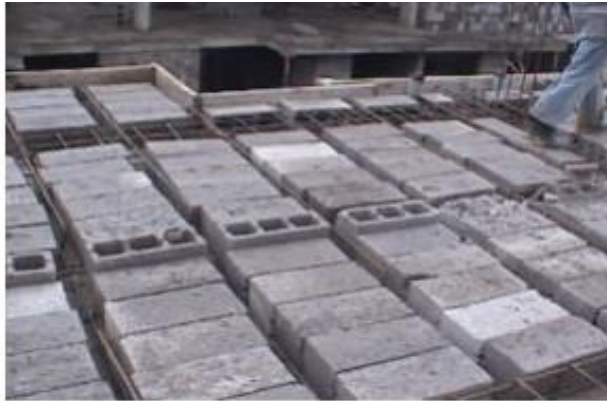
Por lo general, los aligeramientos se omiten cerca de las columnas de manera que se forme una losa maciza para resistir mejor los momentos y cortantes en estas áreas. [7]

De acuerdo al artículo Supervisión de Estructuras de concreto [8] se recomienda que las losas aligeradas que lleven volados rematen en una viga maciza cuyo ancho sea por lo menos igual al espesor de la losa o a 25cm y que la longitud del volado no exceda de diez veces dicho espesor.

#### **2.1.4.1 Losas Nervadas en un Sentido o una Dirección**

Las losas nervadas en una dirección son aquellas que están estructuradas a base de vigas en un solo sentido, a un espaciamiento constante y paralelas entre sí. (Figura 3)

**Figura 3:** Losa Nervada en una Dirección



**Fuente:** Marcelo Romo, Temas de Hormigón Armado

#### **2.1.4.2 Diseño Geométrico para losas bidireccionales según el Código ACI 318S-14**

El código ACI-318S-14 para el diseño de losas bidireccionales establece ciertos parámetros que se deben tomar en cuenta para su diseño, los mismos que se mencionaran a continuación.

##### **2.1.4.2.1 Espesor mínimo de la losa**

El código recomienda que:

Para las losas no pre esforzadas sin vigas interiores que se extienden entre los apoyos en todos los lados y que tengan una relación entre los lados no mayor de 2, el espesor total de la losa **h** no debe ser menor que los valores dados en la Tabla 2 y no debe ser menor al valor en (a) o (b).

(a) Losas sin ábacos como se definen en 8.2.4..... 12.5 cm

(b) Losas con ábacos como se definen en 8.2.4..... 10.0 cm

**Tabla 2:** Espesor mínimo de losas no preesforzadas en dos direcciones sin vigas interiores (cm)

fy kg/cm2	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	
2800	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{40}$	$\frac{ln}{40}$
4200	$\frac{ln}{30}$	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{33}$	$\frac{ln}{36}$	$\frac{ln}{36}$
5200	$\frac{ln}{28}$	$\frac{ln}{31}$	$\frac{ln}{31}$	$\frac{ln}{31}$	$\frac{ln}{34}$	$\frac{ln}{34}$

**Fuente:** Tabla 8.3.1.1 Espesor mínimo de losas no preesforzadas en dos direcciones sin vigas interiores ACI318S-14

#### 2.1.4.2.2 Sistema Reticular de Viguetas en dos direcciones no preesforzadas

El código hace referencia lo siguiente:

La construcción reticular de viguetas no preesforzadas en dos direcciones consiste en una combinación monolítica de nervaduras regularmente espaciadas y una losa colocada en la parte superior, diseñadas para actuar en dos direcciones ortogonales.

- El ancho de las nervaduras no debe ser menor de 10.0 cm.
- La altura total de las nervaduras no debe ser mayor de 3.5 veces su ancho mínimo.
- El espaciamiento libre entre las nervaduras no debe exceder de 76.0 cm.
- Se permite tomar  $V_c$  como 1.1 veces los valores calculados en el tema de Resistencia a Cortante en una Dirección.

Para la integridad estructural, al menos una barra de la parte inferior en cada nervadura debe ser continua y debe anclarse para desarrollar  $f_y$  en la cara de los apoyos.

El área de refuerzo perpendicular a las viguetas debe cumplir la resistencia requerida por flexión, considerando las concentraciones de carga y debe ser al menos igual al refuerzo para retracción y temperatura.

#### **2.1.4.2.3 Sistema de viguetas con aligeramientos estructurales**

El código establece que:

Cuando se empleen aligeramientos permanentes fabricados con arcilla cocida o concreto, que tengan una resistencia unitaria a la compresión por lo menos igual al  $f'_c$  de las viguetas, se debe aplicar:

- El espesor de la losa de concreto sobre los aligeramientos no debe ser menor que  $1/12$  de la distancia libre entre viguetas ni menor que 4.0 cm.
- Se permite incluir la pared vertical del elemento de aligeramiento que está en contacto con la vigueta en los cálculos de resistencia al cortante y momento negativo. Ninguna otra parte de los aligeramientos debe incluirse en los cálculos de resistencia.

#### **2.1.4.2.4 Sistema de viguetas con otros aligeramientos**

El código recomienda que:

- Cuando se utilicen encofrados removibles o aligeramientos que no cumplan con lo especificado en los literales anteriores, el espesor de la losa superior no debe ser menor que  $1/12$  de la distancia libre entre las nervaduras, ni menor de 5.0 cm.

### **2.1.4.3 Métodos de Cálculo Estructural**

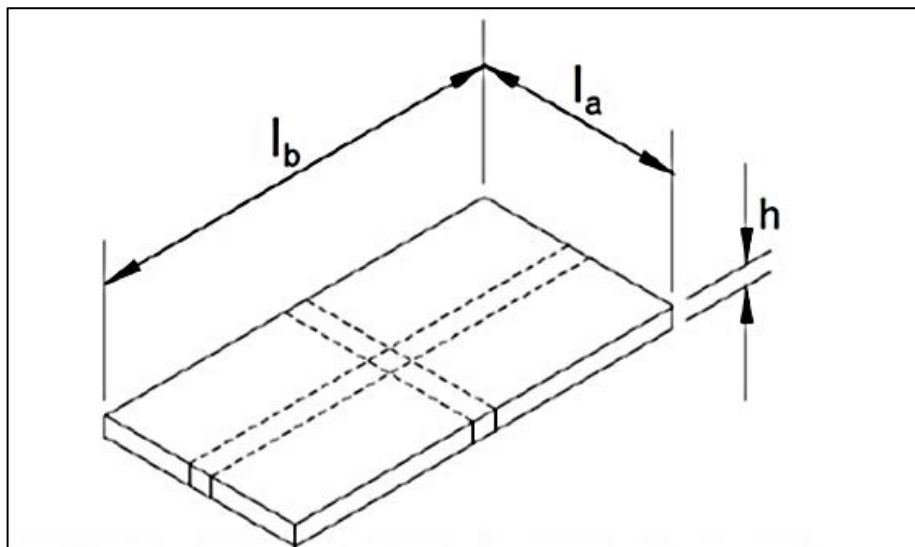
#### **2.1.4.3.1 Método 3 del código ACI**



El método 3 del código ACI fue desarrollado en el año 1963, originalmente por H. Marcus y publicado en el artículo Die Vereinfachte Berechnung Biegsamer, el Método se basa en la idea que, bajo la acción de carga, una losa con apoyos rígidos en todos los extremos, se deflecta para formar una superficie en forma de plato, con curvatura en las dos direcciones perpendiculares al borde. La deformación induce momentos flectores y torsores en las dos direcciones y por ende la losa se debe reforzar en las dos direcciones.

Para poder identificar la forma y proporción en que se reparten los momentos inducidos en las dos direcciones es necesario imaginar que la losa se divide en franjas en ambos sentidos que se interceptan entre sí. [9]

**Figura 4:** Franjas de losa



**Fuente:** Nilson Arthur, Diseño de Concreto

#### **2.1.4.3.2 Determinación de Momentos Negativos y Positivos**

Para determinar los momentos positivos y negativos que actúan en la losa, el método 3 del código ACI propone utilizar las tablas de coeficientes, las mismas que se basan en la relación de luces y las características de continuidad sobre los soportes.

Los coeficientes se basan en análisis elásticos los cuales han sido modificados, tomando en cuenta la capacidad de redistribución inelástica de la losa. [9]

Las tablas de coeficientes cubren varios casos de continuidad de la losa e incluyen coeficientes para momentos negativos, los cuales se desarrollan en los bordes continuos de la losa, para los momentos positivos se utilizan dos tablas de coeficientes, una para la carga muerta factorada en donde los bordes continuos se consideran empotrados y otra carga viva aplicada únicamente en el panel analizado para obtener el momento máximo. [9].

Para determinar los momentos negativos en la dirección corta y larga respectivamente tenemos:

$$M_{a,neg} = C_{a,neg} W l_a^2 \quad \text{y} \quad M_{b,neg} = C_{b,neg} W l_b^2 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

$W$  = combinación mayorada de carga muerta más carga viva total

$C_{a,neg}$  y  $C_{b,neg}$  = coeficientes para momentos negativos en losas en las direcciones corta y larga respectivamente.

$l_a, l_b$  = longitud de luz libre en direcciones corta y larga respectivamente.

Para determinar los momentos positivos tenemos:

$$M_{a,pos} = C_{a,dl} W_d l_a^2 + C_{a,ll} W_l l_a^2 \quad \text{y} \quad M_{b,pos} = C_{b,dl} W_d l_b^2 + C_{b,ll} W_l l_b^2 \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

$W_d$  = carga muerta uniforme total mayorada

$W_l$  = carga viva uniforme total mayorada

$C_{a,dl}$ ,  $C_{b,dl}$ ,  $C_{a,lv}$ ,  $C_{b,lv}$  = coeficientes para momento positivo debido a la carga muerta y viva respectivamente.

#### **2.1.4.3.3 Distribución de los Momentos Negativos y Positivos**

La distribución de los momentos en la losa, cada panel se divide en ambas direcciones en una franja central cuyo ancho es la mitad del panel y en dos franjas de borde o franjas de columna cuyo ancho es igual a un cuarto del ancho del panel. [9]

#### **2.1.5 Losas alivianadas con esferas o discos de plástico**

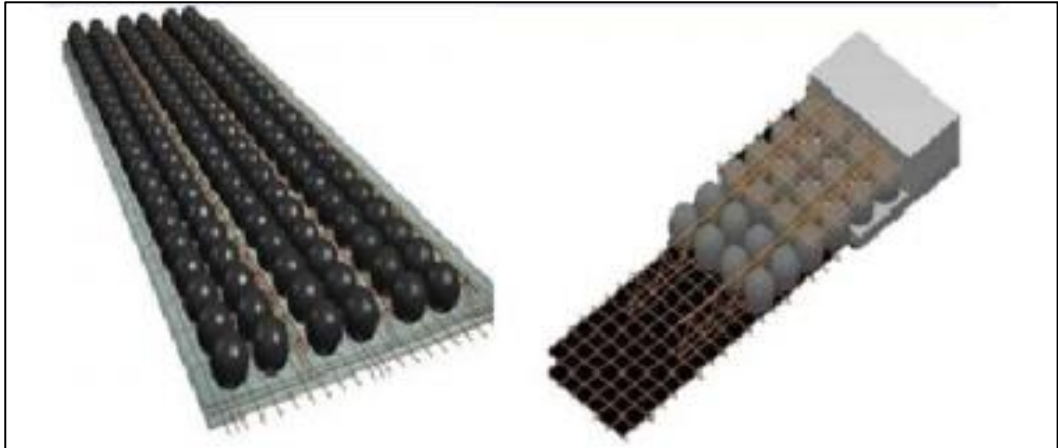
Es un sistema estructural de losas planas de concreto reforzado, alivianadas mediante el uso de esferas de plástico, el sistema actúa como una losa sólida con un comportamiento uniforme en cualquier dirección ya que está diseñado de tal manera que las zonas de compresión y tensión no están influenciadas 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. [10]

Consiste en losas de hormigón armado sin vigas, alivianadas con esferas o discos plásticos. El diseño de un edificio conformado con losas, pero sin vigas es el preferido por los arquitectos puesto que permite diseñar sin restricciones la distribución de cada planta de la obra. La clave está en quitarle peso al entrepiso sin perder la cualidad de un cielo liso. El campo de acción es de edificios residenciales y no residenciales, oficinas y aeropuertos con grandes paños vidriados.

Existen tres tipos de losas elaboradas con pelotas de plástico en la Figura 5 se muestra un tipo de losas llamada elementos filigrana (filigree element), que está constituida por una parte prefabricada de concreto ubicada en la parte inferior, las

esferas son sostenidas y ubicadas por una malla de acero interconectada, el hormigón en la parte superior de la losa, así como los refuerzos de acero son colocados en obra mediante procedimientos comunes. [11]

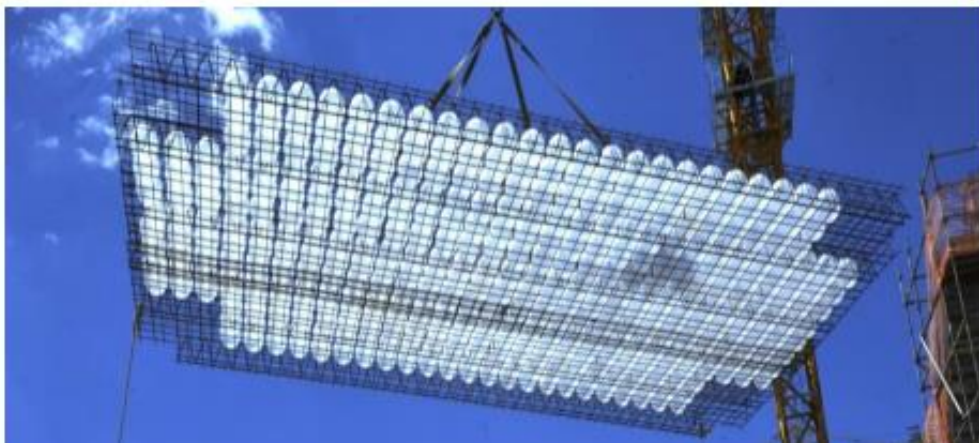
**Figura 5:** Elementos filigrana



**Fuente:** Bubbledeck

En la figura 6 se muestra la losa denominada módulos reforzados (Reinforcement modules) consisten en mallas de acero que sostienen las esferas, tanto el hormigón como los refuerzos adicionales de acero son colocados en obra. [11]

**Figura 6:** Módulos reforzados



**Fuente:** Bubbledeck

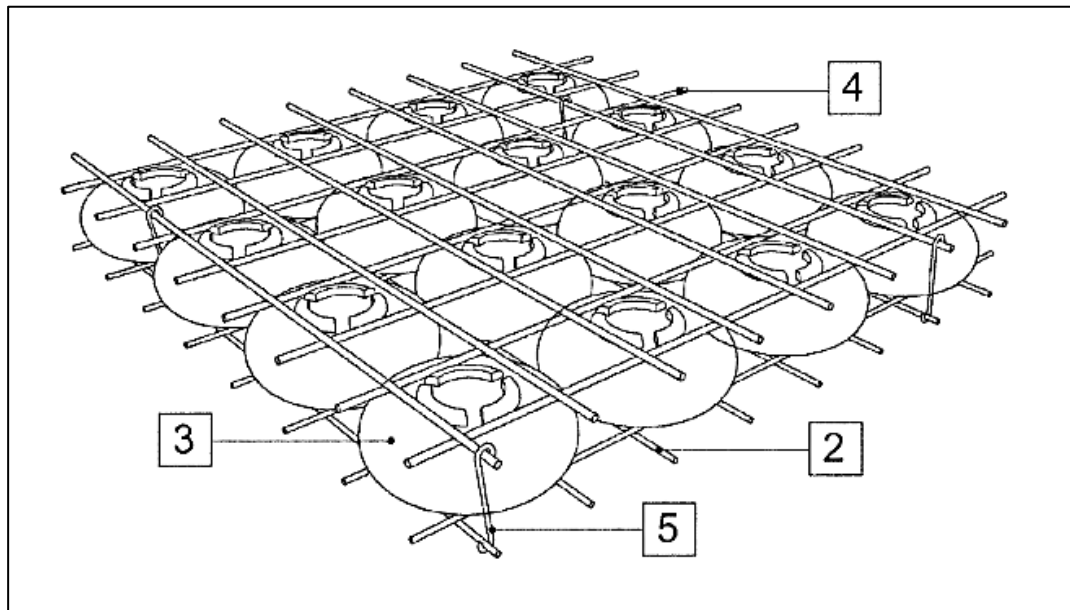
Y el tercer tipo de losas denominadas losas terminadas (Finished slabs) consisten en sistemas de losas prefabricadas, los elementos se construyen en su totalidad antes de la colocación en obra. [11]

➤ **Elementos de la Losa**

A continuación, se Muestra la Figura 7 en donde se observa los elementos que contiene la losa alivianada con pelotas de plástico.

El método de construcción que incluye un conjunto discos alivianadores con mallas electrosoldadas, y ganchos para unir dichas mallas, especialmente diseñadas para cada espesor de losa, tomando en cuenta que los elementos varían de acuerdo a los fabricantes. [12]

**Figura 7:** Elementos de la losa alivianada con pelotas de plástico



**Fuente:** Patente Levinton

### ➤ **Esferas o Discos de Plástico (3)**

El disco es simétrico con respecto al eje X, presenta un volumen adicionado en su cara superior e inferior en forma de aro circular, que es la parte que se encaja en el cuadrado de la malla, sin necesidad de hacerlo en una posición definida agilizando el trabajo en obra. Al ser simétrico, este puede ser colocado de cualquiera de los 2 lados en la malla, también agilizando y facilitando la labor. Su radio amplio de curvatura en los laterales permite un óptimo hormigonado, llegando fácilmente a la parte inferior. [12]

El disco podría variar sus proporciones, dimensiones en el eje Y o X o bien en sus radios de curvatura.

Con respecto a su método productivo, el disco puede ser realizado por soplado o rotomoldeo (de una sola pieza) o bien por inyección o termoformado (en 2 partes encastrables).

El material utilizado para la fabricación de las pelotas es 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. 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 hidrogeno y halógenos, es un material con buenas propiedades mecánicas, químicas, buena resistencia térmica, impermeable, inerte, con poca estabilidad dimensional y no tóxico. Además, las pelotas se pueden fabricar a partir material virgen o reciclado, preferentemente de materiales plásticos. [12]

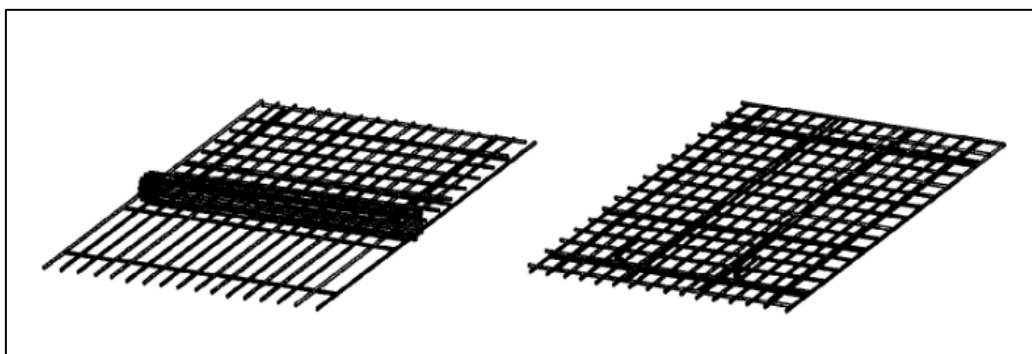
➤ **Malla Electro soldada (2)(4)**

Las mallas, en cualquiera de sus tipologías, son diseñadas específicamente para este método, teniendo la característica de poseer barras salientes en dos de sus lados, por un lado, como solución al problema técnico de los empalmes entre mallas manteniendo los espesores y por el otro, como un ahorro de material por empalmes.

Las mallas son unidas entre sí a través del elemento tensor de acero diseñado especialmente para cada espesor de losa. (10). Este tensor posee un doblado superior y un grillete inferior para vincular el conjunto de mallas y discos entre sí, y también al encofrado. Los tensores que poseen un doblado superior e inferior, tomando forma de gancho. Estos ganchos impiden que los discos floten en el momento del hormigonado

Además, existe un sistema alternativo de mallas de acero que vienen enrolladas, está formado por barras paralelas de acero unidas entre sí por flejes de acero laminares que permiten enrollar el conjunto de barras de máxima longitud. Estos rollos se elevan al sitio de encofrado de las losas y se extienden primero un rollo en dirección X y sobre este un rollo en dirección Y. De este modo queda armada la malla de acero bidireccional con el mínimo de desperdicio y máxima celeridad de montaje. (Figura 8)

**Figura 8:** Rollos de mallas para losas



**Fuente:** Patente Levinton

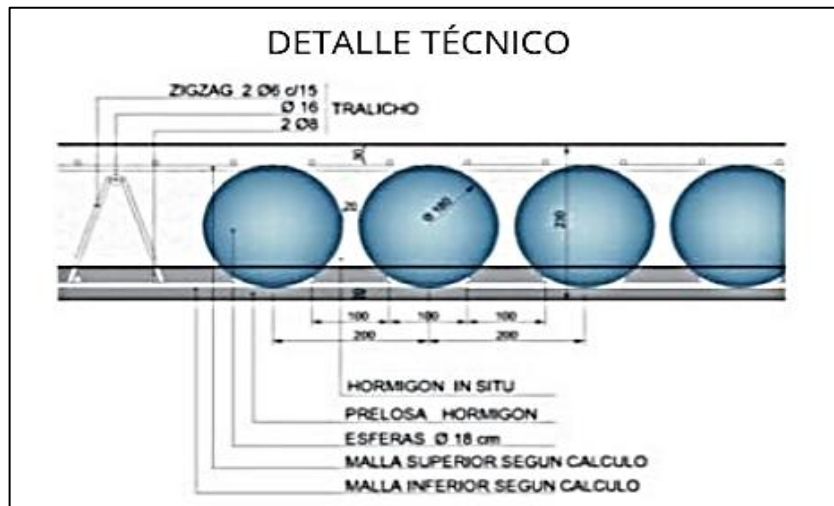
➤ **Estribos en zigzag o ganchos de carnicero (5)**

Su función es articular y vincular las mallas superior e inferior, sus dimensiones varían de acuerdo al espesor de la losa y por ende al diámetro de las esferas utilizadas.

Los ganchos se colocan cada 75cm, pero pueden variar de acuerdo a los fabricantes.

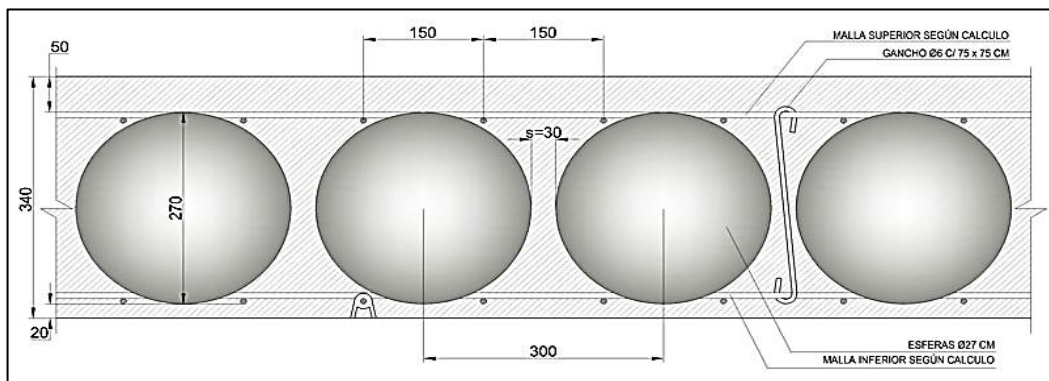
Para los estribos en zigzag se utiliza el sistema Tralicho.

**Figura 9:** Detalle técnico de losas con pelotas de plástico



Fuente: Bubbledeck

**Figura 10:** Detalle de armado de una losa con pelotas de plástico



Fuente: Arquimaster



Teniendo en cuenta que este tipo de armadura depende del diámetro de las pelotas y del espesor de la losa establecido por las diferentes marcas que se dedican a esta franquicia a nivel mundial.

➤ **Dimensionamiento**

Para seleccionar el tipo de losa bubbledeck el primer criterio utilizado es limitación de flechas. Por lo tanto, el lapso máximo utilizado para cada tipo de losa se determina la relación de la longitud más corta (L) de la brecha y el espesor (d) de la losa (L / D). Las siguientes relaciones de L / d para los diferentes tipos de vanos. [13]

$L/d \leq 30$  vanos simples

$L/d \leq 39$  vanos continuos

$L/d \leq 10.5$  voladizo

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.

**Tabla 3:** Diámetros de esferas para losas

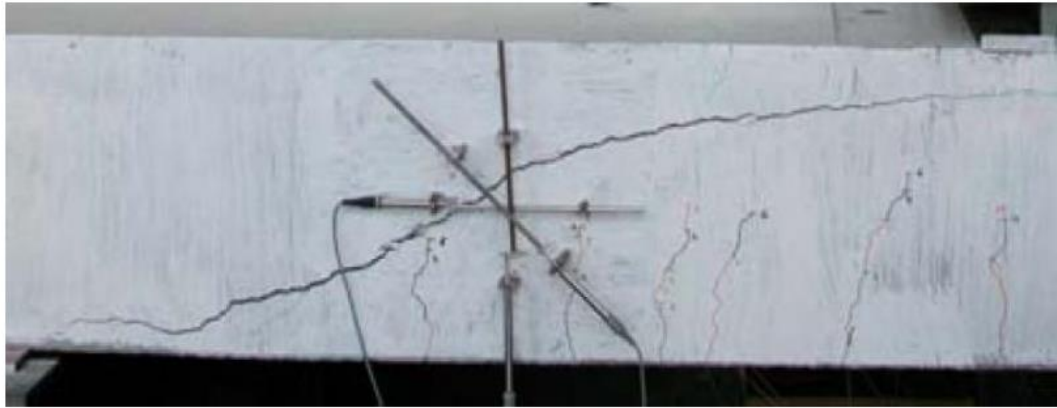
Tipo de losa Bubbledeck	h (mm)	Diámetro de las esferas (mm)	Separación entre esferas (mm)	Peso kg/m <sup>2</sup>	Rango de aplicación m
BD 230	230	180	200	370	5,0 - 8,3
BD 280	280	225	250	460	7,0-10,0
BD 340	340	270	300	550	9,0-12,0
BD 390	390	315	350	640	11,0-14,0
BD 450	450	360	400	730	13,0-16,4

**Fuente:** Bubbledeck

### 2.1.5.1 Método de Cálculo Estructural

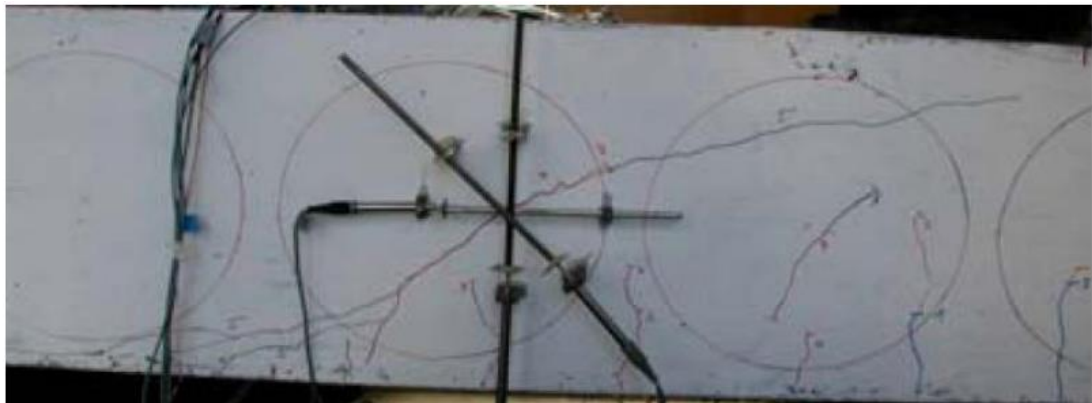
El comportamiento estructural y el método de cálculo usado para losas con esferas de plástico son idénticos al de una losa maciza. [12]. De acuerdo a estudios realizados se comprobó que los resultados de corte son similares.

**Figura 11:** Ruptura por cortante en losa maciza



**Fuente:** Estudio comparativo entre lajes “Bubbledeck” e lajes lisas”

**Figura 12:** Ruptura por cortante en losa con pelotas de plástico



**Fuente:** Estudio comparativo entre lajes “Bubbledeck” e lajes lisas

Se observa la similitud de la superficie de falla y ser la losa con pelotas de plástico la losa con mayor volumen que la losa de hormigón cuenta con grietas más grandes. [12]

Además de estudios de corte se han elaborado estudios de fuerzas, rigidez y volumen de concreto teniendo según Bubbledeck [11] arrojaron los siguientes resultados:

**Tabla 4:** Bubbledeck vs Losa Maciza

Cálculo			
BubbleDeck vs. losa maciza			
En la situación de (% de losa maciza)	Misma fuerza	Misma rigidez a la flexión	Mismo volumen de concreto
FUERZA	100	105	150
RIGIDEZ DE FLEXIÓN	90	100	300
VOLUMEN DE CONCRETO	66	69	100

**Fuente:** Bubbledeck

De acuerdo a esto para el cálculo de momentos en el presente proyecto se va a utilizar el Método ACI aproximaciones

➤ **Método de Coeficientes del ACI**

El código ACI propone un método aproximado para la determinación de las fuerzas internas en estructuras de concreto armado.

➤ **Limitaciones**

1. La losa o viga debe contar con dos o más tramos
2. Los tramos deben tener longitudes casi iguales. La longitud del mayor de dos tramos adyacentes no deberá diferir de la del menor en más de 20%.
3. Las cargas deben ser uniformemente distribuidas.
4. La carga viva no debe ser mayor que el triple de la carga muerta (cargas sin simplificar)
5. Los elementos analizados deben ser prismáticos.

➤ **Coefficientes de diseño**

Los momentos flectores y fuerzas cortantes son función de la carga ultima aplicada, de la luz entre los tramos y de las condiciones de apoyo. El código propone las siguientes expresiones para determinarlos.

Momento positivo

Extremo solidario con el apoyo..... $W_u l_n^2 / 14$

Tramos interiores..... $W_u l_n^2 / 16$

Momento negativo en las otras caras de los apoyos interiores..... $W_u l_n^2 / 11$

Momento negativo en la cara exterior del primer apoyo interior:

Más de dos tramos ..... $W_u l_n^2 / 10$

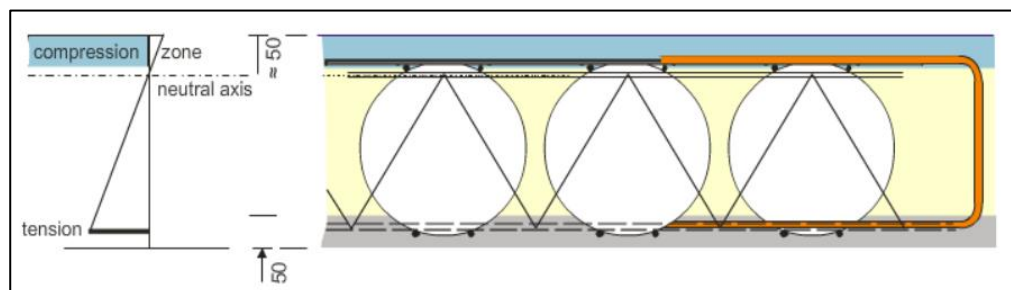
Momento negativo en la cara interior del apoyo exterior si el elemento es solidario con el apoyo.

Si el apoyo es una columna..... $W_u l_n^2 / 16$

**2.1.5.2 Comportamiento a flexión en losas con pelotas de plástico.**

En las losas con pelotas de plástico los alivianamientos (pelotas plásticas) se ubican en medio de la sección en donde el hormigón tiene menos influencia, mientras que las partes solidas se ubican en la parte superior y la parte inferior. [13]

**Figura 13:** Comportamiento a flexión en losas con pelotas de plástico



Fuente: Bubbledeck

### 2.1.5.3 Comportamiento a cortante y punzonamiento en losas con pelotas de plástico

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 reacciones por el contacto con columnas. Debido a que la capacidad de una losa ante esfuerzos cortantes y punzonamiento depende principalmente de la más efectiva de hormigón, la resistencia ante estos esfuerzos en losas con pelotas de plástico 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 altas las losas con pelotas de plástico se forman de tal manera que se omiten los alivianamientos en zonas próximas a los apoyos. [13]

**Figura 14:** Distribución de pelotas en la losa



**Fuente:** Bubbledeck

En la figura N°10 se puede observar el armado de una losa con pelotas de plástico, en donde se deja espacios sin alivianamientos, en zonas próximas a columnas.

### **2.1.6 Eficiencia Estructural**

Se denomina eficiencia estructural al comportamiento de la losa ante cualquier evento que se le pueda presentar; ya sean cargas gravitacionales, cargas de servicio, sismos, etc.

### **2.2 Hipótesis**

En que influyen una losa nervada y una losa alivianada con pelotas de plástico en la eficiencia estructural.

### **2.3 Señalamiento de variables de la Hipótesis**

#### **VARIABLE INDEPENDIENTE:**

Losas Nervadas

Losas alivianadas con pelotas de plástico

#### **VARIABLE DEPENDIENTE:**

Eficiencia Estructural

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 Nivel o tipo de Investigación

**Experimental:** El presente proyecto es de nivel experimental, puesto que se va a realizar la comparación de la eficiencia estructural de una losa nervada y una losa alivianada con pelotas de plástico reciclado, después de hacer un análisis matemático y un análisis práctico de las losas mencionadas.

**Descriptivo:** El proyecto a desarrollarse es de nivel descriptivo, ya que se identificarán cada una de las características de las losas tanto nervada como alivianada con pelotas de plástico reciclado.

#### 3.2 Población y Muestra

Para el presente proyecto experimental, se va a utilizar dos maquetas de losas elaboradas a escala.

- Muestra de losa Nervada.
- Muestra de losa alivianada con pelotas de Plástico

Por no existir normativa correspondiente a especímenes de losas para ensayos de laboratorio, se toma la siguiente área de (1.20m x 1.00 m), sustentando por cuestión económica de elaboración, transporte y facilidad de construcción y ensayo.

### 3.3 Operacionalización de Variables

**Variable Independiente:** Losas Nervadas

**Tabla 5.** Variable independiente 1

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Este tipo de losas se elaboran a base de un sistema de entramado de traveses cruzados que forman una retícula, dejando huecos intermedios que pueden ser ocupados permanentemente por bloques huecos o materiales cuyo peso volumétrico no exceda de $900 \text{ kg/m}^3$	Losas nervadas en una dirección	- Tipo de armado	¿De qué depende el tipo de armado de las losas?	Normativa y códigos de construcción vigentes en el país
		- Resistencia del hormigón	¿Cuál es la resistencia adecuada del hormigón?	
	Losas nervadas en dos direcciones	- Tipo de armado	¿De qué depende el tipo de armado de las losas?	
		- Resistencia del hormigón	¿Cuál es la resistencia adecuada del hormigón?	

**Fuente:** Jessica Basantes



**Variable Independiente:** Losas alivianadas con pelotas de plástico reciclado.

**Tabla 6:** Variable Independiente 2

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Es un sistema estructural de losas planas de concreto reforzado, alivianadas mediante el uso de esferas de plástico, el sistema actúa como una losa sólida con un comportamiento uniforme en cualquier dirección.	Losa de elementos filigrana	- Tipo de armado	¿De qué depende el tipo de armado de las losas?	Normativa y códigos de construcción vigentes en el país
		- Resistencia del hormigón	¿Cuál es la resistencia adecuada del hormigón?	
	Losa de módulos reforzados.	- Tipo de armado	¿De qué depende el tipo de armado de las losas?	
		- Resistencia del hormigón	¿Cuál es la resistencia adecuada del hormigón?	
	Losas terminadas	- Tipo de armado	¿De qué depende el tipo de armado de las losas?	
		- Resistencia del hormigón	¿Cuál es la resistencia adecuada del hormigón?	

**Fuente:** Jessica Basantes

**Variable Dependiente:** Eficiencia estructural

**Tabla 7:** Variable Dependiente

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Es el comportamiento estructural de la losa ante cualquier evento que se le pueda presentar	Cargas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deflexiones instantáneas</li> <li>- Deflexiones a largo plazo</li> <li>- Deflexiones admisibles</li> </ul>	¿Cuáles son las deflexiones producidas?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Normativa y códigos vigentes en el país</li> <li>- Bibliografías</li> <li>- Ensayos de laboratorios</li> </ul>
	Presupuesto	Materiales de alta calidad	¿Qué clase de materiales se utilizarán?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de precios unitarios</li> <li>- Revista de la cámara de la construcción de Quito</li> <li>- Presupuestos</li> </ul>
		Mano de obra especializada	¿Qué tipo de mano de obra intervendrá?	
Menor tiempo de ejecución	¿Qué tiempo tardará?			

**Fuente:** Jessica Basantes

### 3.4 Plan de recolección de información

**Tabla 8:** Plan de recolección de información

<b>DETALLE</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
1.- ¿Para qué realizar la presente investigación?	Para encontrar nuevas y mejores alternativas que ayuden al campo de la ingeniería civil a desarrollar estructuras con mejor eficiencia estructural
2.- ¿Qué objeto busca investigar?	Losas Nervadas y Losas alivianadas con pelotas de Plástico reciclado
3.- ¿Sobre qué aspectos?	La eficiencia estructural entre una losa nervada y una losa alivianada con pelotas de plástico reciclado
4.- ¿Quién investiga?	La investigación hará Jessica Basantes
5.- ¿Cuándo se recolectará la información?	La recolección de información se la llevara a cabo de manera sincronizada con el cronograma del presente trabajo experimental
6.- ¿En qué lugar se recolectará la información?	La recolección de la información se realizará en los laboratorios de ensayos de materiales de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato
7.- ¿Qué técnica e instrumentos se aplicará para la investigación?	Se realizará el ensayo de losas usando deformímetro para obtener las deflexiones producidas al aplicar cargas a las mismas.

**Fuente:** Jessica Basantes

### **3.5 Plan de Procesamiento y Análisis**

- Análisis crítico de los resultados obtenidos
- Tabulación de resultados en cuadros comparativos
- Representación gráfica de la información obtenida
- Comparación de respuestas de acuerdo a lo requerido para la verificación de la hipótesis.

## CAPITULO IV

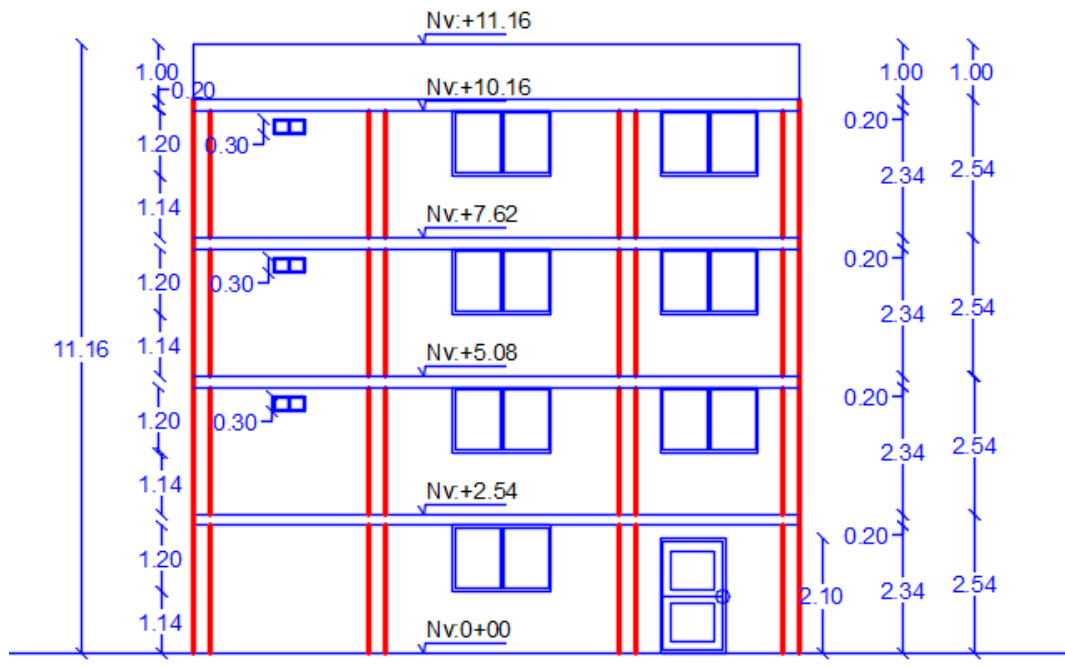
### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Recolección de datos

##### 4.1.1 Análisis Matemático

##### 4.1.1.1 Cálculo y diseño de una losa nervada por el método 3 ACI

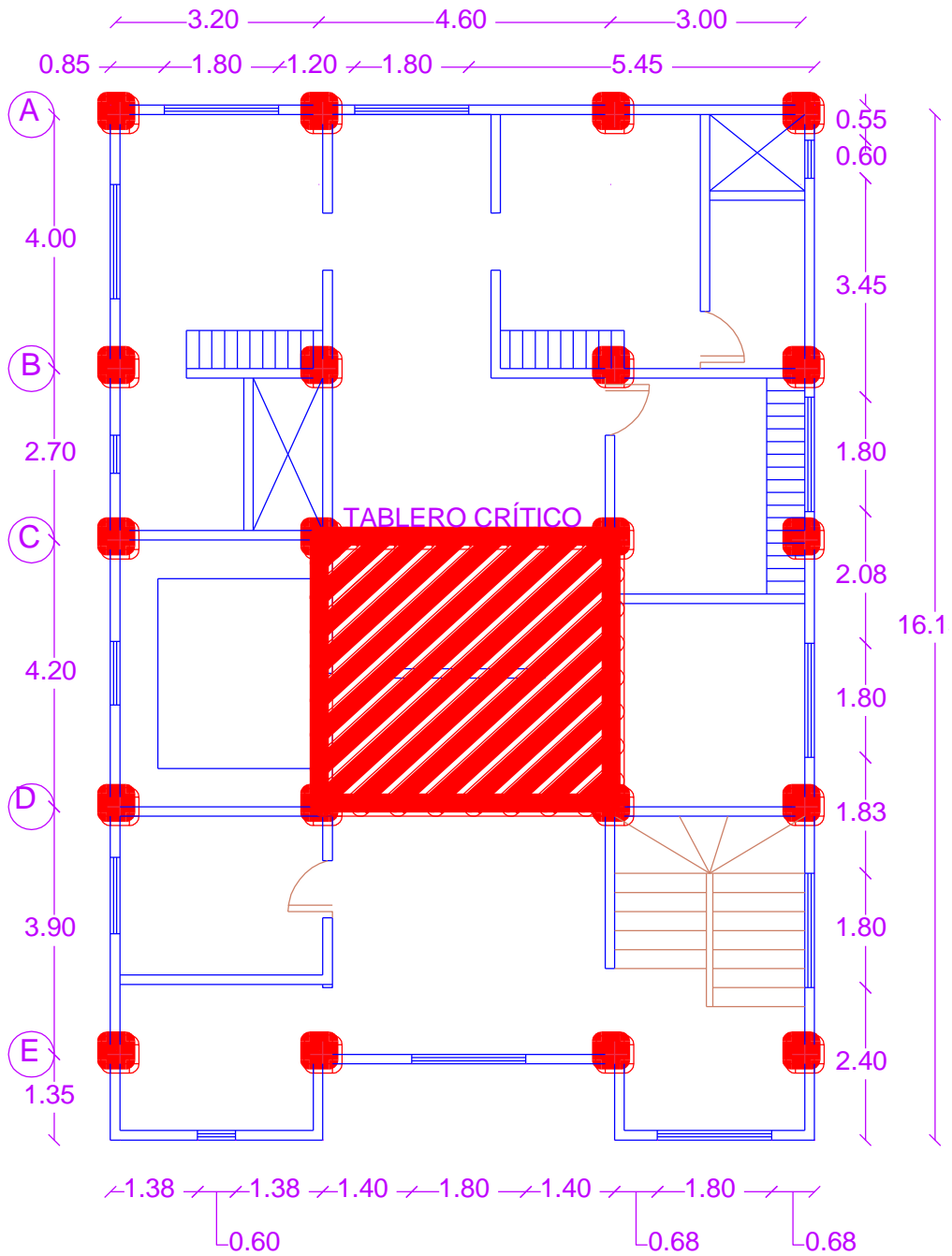
Gráfico 1: Esquema en elevación



FACHADA FRONTAL  
ESC.-1:100

Fuente: Jessica Basantes

**Gráfico 2: Esquema en planta de losa en calculo**



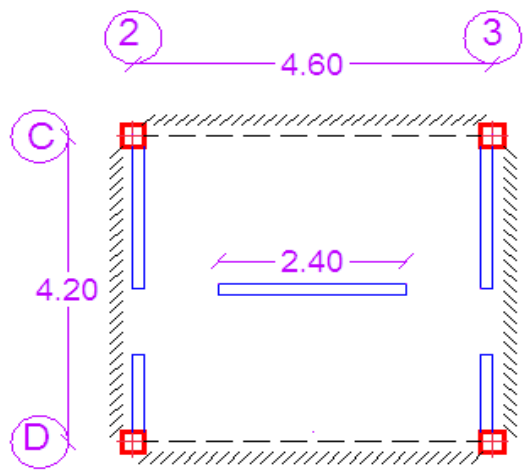
PLANTA BAJA Nv. +2,54  
ESC.--1:100

Fuente. Jessica Basantes

**DATOS:**

- Altura de piso: 2.43 m
- Dimensiones de las Columnas: 30x30 cm
- No hay vigas de borde
- Sobrecarga de servicio: 200 kg/m<sup>2</sup>
- $f'c$ : 240 kg/cm<sup>2</sup>
- $f_y$ : 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- $r = 3$ cm

**Gráfico 3:** Tablero de calculo



**Fuente:** Jessica Basantes

**4.1.1.1.1 Cálculo del diseño geométrico de la losa nervada**

- **Diseño preliminar para determinar la altura de la losa.**

Para un sistema de losas sin vigas, la mínima altura total,  $h$ , está determinada de acuerdo a la Tabla N° 1 de Espesor mínimo de losas no preesforzadas en dos direcciones sin vigas interiores

El tablero crítico a analizar es tipo Panel interior.

$$h = \frac{ln}{33} \quad (\text{Ecuación 9})$$

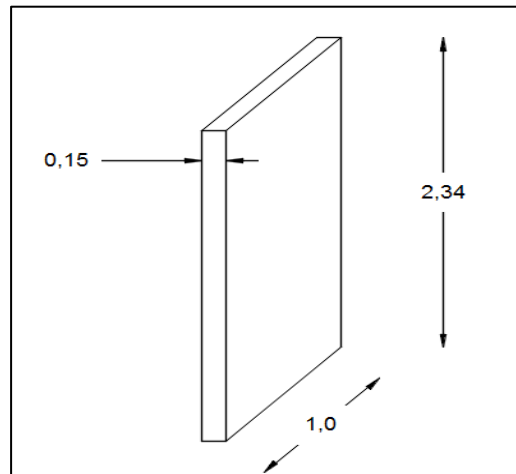
$$h = \frac{460 \text{ cm}}{33}$$

$$h = 13.9 \text{ cm}$$

Asumo  $h = 15 \text{ cm}$

➤ **Cálculo de elementos no estructurales ( $\Delta p$ )**

**Gráfico 4:** Detalle de pared



**Fuente:** Jessica Basantes

$$\text{Peso pared completa} = 0.15 * 1 * 2.34 * 1600 = 561.6 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Pared Completa} = (2.40 * 561.6 \text{ Kg/m})$$

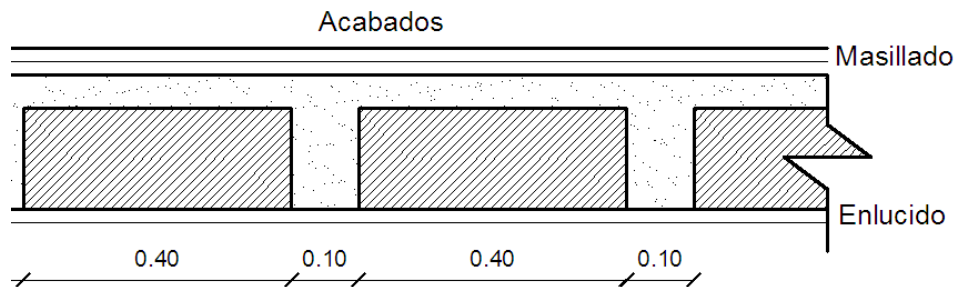
$$\text{Pared Completa} = 1347.84 \text{ Kg/m}$$

$$\Delta p = \frac{\text{Peso Pared}}{\text{Area Tablero}} \quad (\text{Ecuación 10})$$



$$\Delta p = \frac{1347.84}{4.60 * 4.20} = 69.76 \text{ kg/m}^2$$

**Gráfico 5: Corte de Losa Nervada**



**Fuente:** Jessica Basantes

➤ **Cálculo del peso de la losa (kg/m<sup>2</sup>)**

$$\text{Loseta de Compresión} = 0.05 * 1.0 * 1.0 * 2400 = 120$$

$$\text{Nervadura} = 0.10 * 0.10 * 3.60 * 2400 = 86.4$$

$$\text{Peso Alivianamientos} = 8 * 8 = 64$$

$$\text{Peso Macilla} = 0.03 * 1.0 * 1.0 * 1900 = 57$$

$$\text{Peso Enlucido Horizontal} = 0.02 * 1.0 * 1.0 * 1900 = 38$$

$$\text{Peso Acabados (cerámica)} = 0.02 * 1.0 * 1.0 * 1600 = 32$$

$$= 397.4 \text{ kg/m}^2$$

➤ **Cálculo de carga última**

$$C. \text{ MUERTA} = \Delta p + P_{\text{Losa}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$C. \text{ MUERTA} = 69.76 \text{ kg/m}^2 + 397.4 \text{ kg/m}^2$$

$$C. MUERTA = 467.16 \text{ Kg/m}^2$$

$$C. VIVA = 200 \text{ Kg/m}^2$$

Utilizamos esta combinación de carga de acuerdo al código ACI 318S-14

$$U = 1,2CM + 1,6CV \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$U = 1,2(467.16 \text{ Kg/m}^2) + 1,6(200 \text{ Kg/m}^2)$$

$$U = 880.59 \text{ Kg/m}^2$$

#### 4.1.1.1.2 Esfuerzos de corte

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$r = 2.5 \text{ cm}$$

$$d = 12.5 \text{ cm}$$

$$\phi V_c \geq V_u \quad (\text{Ecuación 13})$$

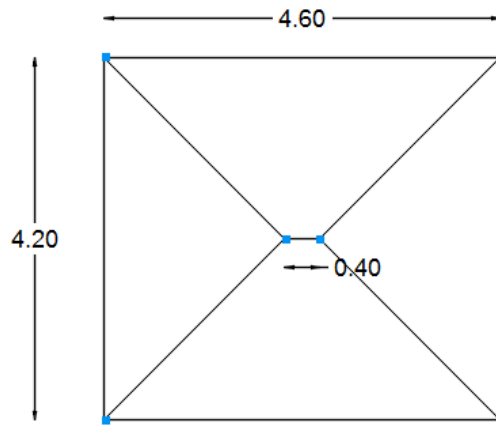
$$V_c = 0,53\sqrt{f'_c} b_w \cdot d \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$V_c = 0,53\sqrt{240 \text{ kg/cm}^2} \times 20 \text{ cm} \times 12.5 \text{ cm}$$

$$V_c = 2052,68 \text{ kg}$$

$$V_u = \frac{AM * U}{L} \quad (\text{Ecuación 15})$$

**Gráfico 6:** Mosaico del tablero en análisis



Fuente: Jessica Basantes

$$A_{TRA} = \frac{4.60 + 0.40}{2} \times 2.10 \text{ cm} = 5.25 \text{ cm}$$

$$A_{TRI} = \frac{4.20 \times 2.10}{2} = 4.41 \text{ cm}$$

$$V_u = \frac{5.25 \text{ cm} \times 880.59}{4.60} = 1005.02$$

$$V_u = \frac{4.41 * 880.59}{4.20} = 924.62$$

$$0.85 * 2052,68 \geq 1005.02$$

$$1744.78 \geq 1005.02 \quad \mathbf{OK}$$

#### 4.1.1.1.3 Cálculo estructural de la losa nervada con el Método 3 ACI

##### ➤ Momento Estático Mayorado en la Losa

De acuerdo a la Ecuación 3 propuesta en el Método 3 ACI, calculamos la relación lado corto-lado largo.

$$m = \frac{l_a}{l_b} \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$m = \frac{420}{460} = 0.91$$

De acuerdo al resultado de la relación lado largo – largo y con el tipo de panel tomamos los datos de las tablas de coeficientes (ver ANEXO I ) del caso 2 que trata a paneles de losa con 4 lados continuos y relación 0.90.

Utilizaremos las Ecuaciones 7 y 8

Entonces tenemos que:

$$C_{a,neg} = 0.055$$

$$C_{b,neg} = 0.037$$

$$C_{a,dl} = 0.022$$

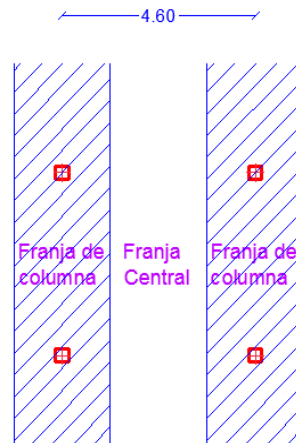
$$C_{a,ll} = 0.034$$

$$C_{b,dl} = 0.014$$

$$C_{b,ll} = 0.022$$

**Gráfico 7:** División de franjas en la dirección larga

DIRECCIÓN LARGA



**Fuente:** Jessica Basantes

➤ **Momentos negativos**

$$M_{b,neg} = C_{b,neg} W l_b^2$$

$$M_{b,neg} = 0.037 \times 880.59 \times 4.60^2$$

$$M_{b,neg} = 689.43 \text{ kg} - m$$

➤ **Momentos positivos**

$$M_{b,pos} = C_{b,dl} W_d l_b^2 + C_{b,u} W_l l_b^2$$

$$M_{a,pos} = 0.014 \times (1.2 \times 467.16) \times 4.60^2 + 0.022 \times (1.6 \times 200) \times 4.60^2$$

$$M_{a,pos} = 315.04 \text{ kg} - m$$

➤ **Acero negativo**

Calculo de  $k$  (factor de longitud efectiva para miembros en compresión)

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot f'c \cdot bw \cdot d^2} \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$k = \frac{689.43 \times 100}{0.9 \times 240 \times 20 \times 12.5^2} = 0.10$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36k}}{1.18} \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(0.10)}}{1.18} = 0.11$$

Calculo de  $\rho$  (cuantía del refuerzo  $A_s$  evaluada sobre el área  $bd$ )

$$\rho = q \frac{f'_c}{f_y} \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$\rho = 0.11 \frac{240}{4200} = 0.0062$$

Calculo de  $A_s$  (área de refuerzo longitudinal no preesforzado a tracción)

$$A_s = \rho \cdot bw \cdot d \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$A_s = 0.0062 \times 20 \text{ cm} \times 12.5 \text{ cm}$$

$$A_s = 1.56 \text{ cm}^2 \text{----- } 2\emptyset 10 = 1.57 \text{ cm}^2$$

➤ **Acero positivo**

$$k = \frac{M_u}{\emptyset \cdot f'_c \cdot bw \cdot d^2}$$

$$k = \frac{315.04 \times 100}{0.9 \times 240 \times 20 \times 12.5^2} = 0.047$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2,36k}}{1,18}$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2,36(0,047)}}{1,18} = 0,048$$

$$\rho = q \frac{f'_c}{f_y}$$

$$\rho = 0,048 \frac{240}{4200} = 0,0027$$

De acuerdo al código ACI el  $\rho_{min}$  tiene un valor de 0.0033

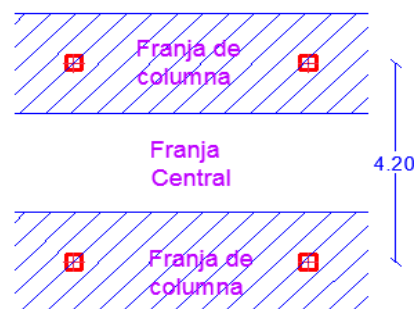
$$A_s = \rho \cdot b \cdot w \cdot d$$

$$A_s = 0,0033 \times 20 \text{ cm} \times 12,5 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,83 \text{ cm}^2 \text{----- } 2\phi 10 = 1,57 \text{ cm}^2$$

**Gráfico 8:** División de franjas en la dirección corta

### DIRECCIÓN CORTA



**Fuente:** Jessica Basantes

➤ **Momentos negativos**

$$M_{a,neg} = C_{a,neg} W l_a^2$$

$$M_{a,neg} = 0.055 \times 880.59 \times 4.20^2$$

$$M_{a,neg} = 854.35 \text{ kg} - m$$

➤ **Momentos positivos**

$$M_{a,pos} = C_{a,dl} W_d l_a^2 + C_{a,ll} W_l l_a^2$$

$$M_{a,pos} = 0.022 \times (1.2 \times 467.16) \times 4.20^2 + 0.034 \times (1.6 \times 200) \times 4.20^2$$

$$M_{a,pos} = 409.47$$

➤ **Acero negativo**

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot f'_c \cdot b w \cdot d^2}$$

$$k = \frac{854.35 \times 100}{0.9 \times 240 \times 20 \times 12.5^2} = 0.13$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36k}}{1.18}$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(0.013)}}{1.18} = 0.14$$

$$\rho = q \frac{f'_c}{f_y}$$

$$\rho = 0.14 \frac{240}{4200} = 0.0079$$



$$A_s = \rho \cdot b_w \cdot d$$

$$A_s = 0,0079 \times 20 \text{cm} \times 12,5 \text{cm}$$

$$A_s = 1,97 \text{ cm}^2 \text{----- } 2\emptyset 12 = 2,26 \text{ cm}^2$$

➤ **Acero positivo**

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot f'_c \cdot b_w \cdot d^2}$$

$$k = \frac{409,47 \times 100}{0,9 \times 240 \times 20 \times 12,5^2} = 0,061$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2,36k}}{1,18}$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2,36(0,061)}}{1,18} = 0,063$$

$$\rho = q \frac{f'_c}{f_y}$$

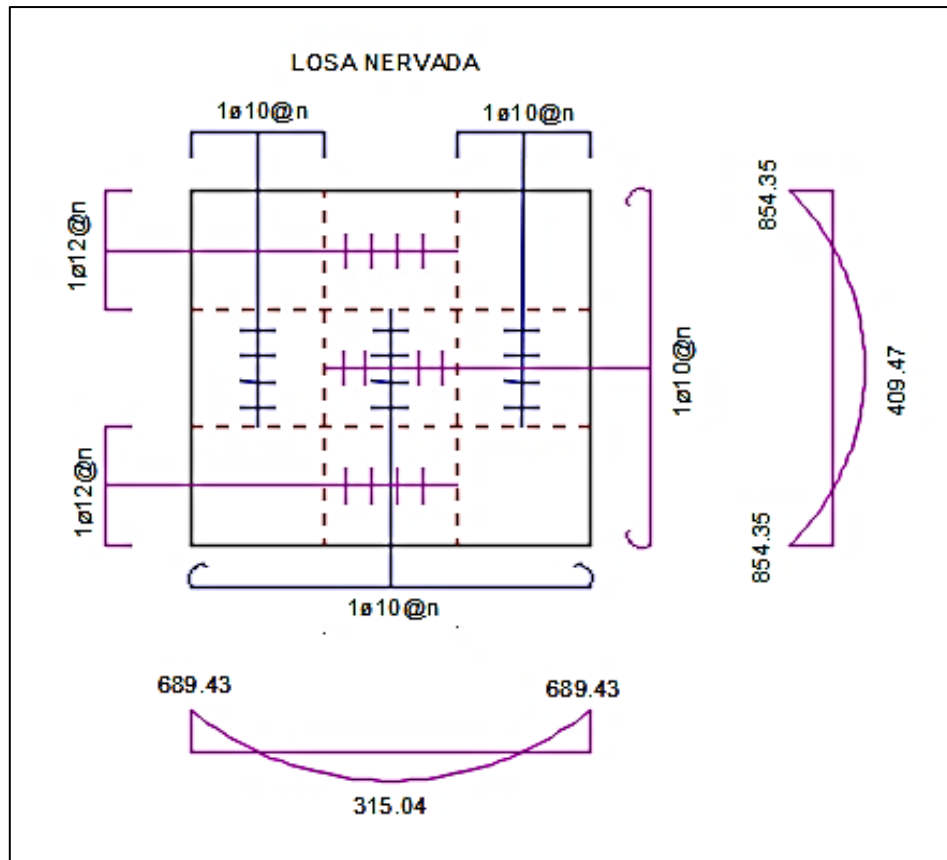
$$\rho = 0,063 \frac{240}{4200} = 0,0036$$

$$A_s = \rho \cdot b_w \cdot d$$

$$A_s = 0,0036 \times 20 \text{cm} \times 12,5 \text{cm}$$

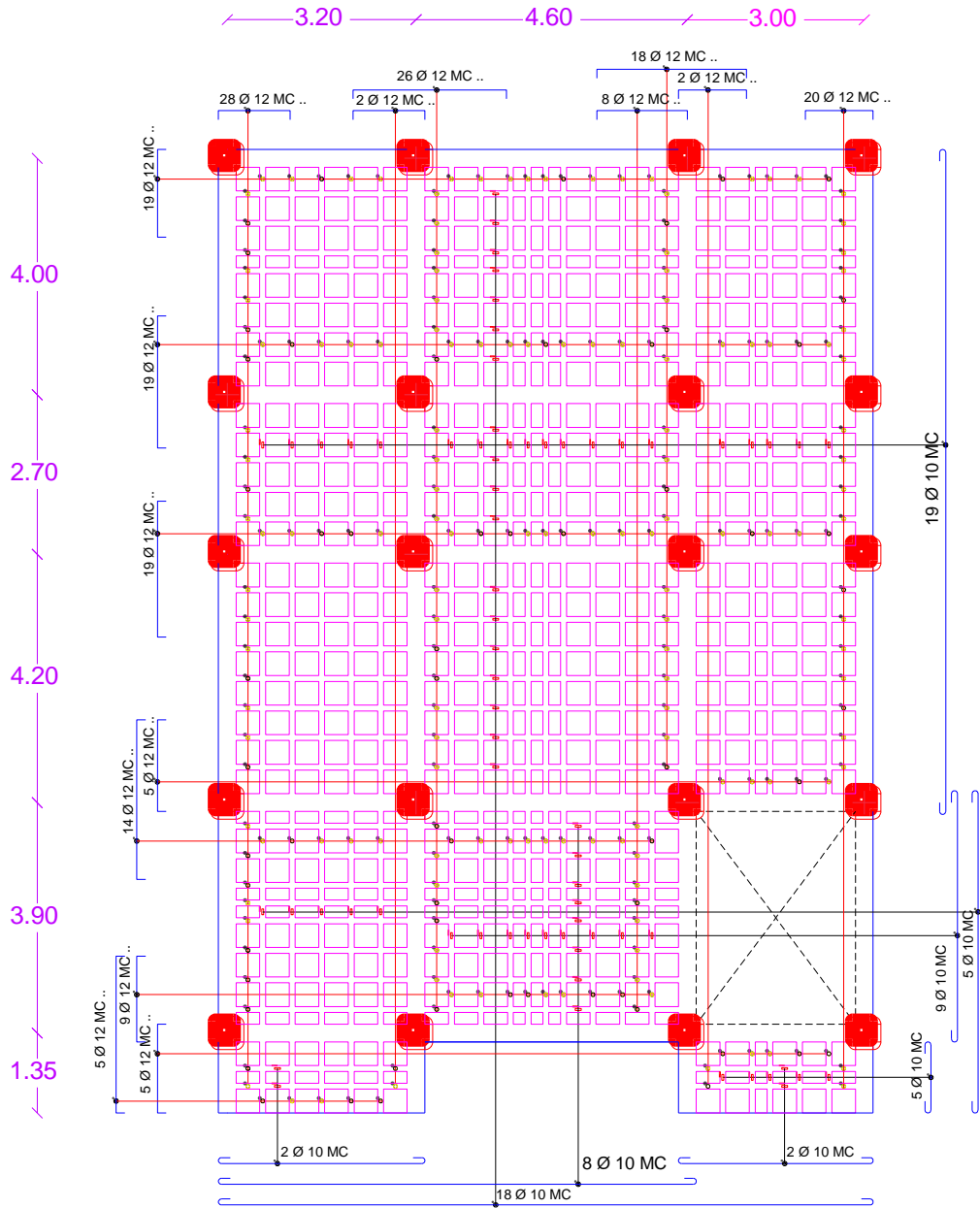
$$A_s = 0,90 \text{ cm}^2 \text{----- } 2\emptyset 10 = 1,57 \text{ cm}^2$$

**Gráfico 9:** Armado del tablero en análisis



**Fuente:** Jessica Basantes

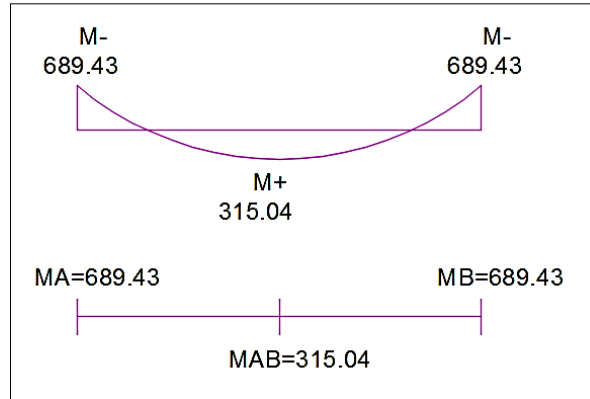
**Gráfico 10: Armado total de losa**



**Fuente:** Jessica Basantes

#### 4.1.1.1.4 Cálculo de deflexiones en dirección larga

**Gráfico 11:** Distribución de momentos en la dirección larga



**Fuente:** Jessica Basantes

#### **DATOS:**

$$M_a = 689.43 \text{ kg-m}$$

$$L_b = 4.60 \text{ m}$$

$$A_s = 1.57 \text{ cm}^2$$

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$b_w = 20 \text{ cm}$$

- Cálculo del módulo de elasticidad del concreto,  $E_c$

$$E_c = W^{1.5} \times 0.14 \sqrt{f'c} \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$E_c = 2400^{1.5} \times 0.14 \sqrt{240} = 255006.07 \text{ kg/cm}^2$$

- Cálculo del módulo de ruptura del concreto,  $f_r$

$$f_r = 2\lambda \sqrt{f'c} \quad (\text{Ecuación 22})$$

El factor de modificación  $\lambda$  se toma de acuerdo a la siguiente a la Tabla N° 6

**Tabla 9: FACTOR DE MODIFICACIÓN  $\lambda$**

Concreto	Composición de los agregados	$\lambda$
Todos livianos	Fino: ASTM C330 Grueso: ASTM C330	0.75
Liviano, mezcla fina	Fino: Combinación de ASTM C330 y C33 Grueso: ASTM C330	0.75 a 0.85 <sup>[1]</sup>
Arena, liviana	Fino: ASTM C33 Grueso: ASTM C330	0.85
Arena, liviana, Mezcla gruesa	Fino: ASTM C33 Grueso: Combinación de ASTM C330 y C33	0.85 a 1.00 <sup>[2]</sup>
Peso normal	Fino: ASTM C33 Grueso: ASTM C33	1.00

**Fuente:** Tabla 19.2.4.2 Factor de modificación  $\lambda$  ACI318S-14

$$\lambda = 1.0 \text{ (peso normal)}$$

$$f_r = 2(1)\sqrt{240} = 30.98$$

- Cálculo de momento de inercia de la sección bruta con respecto al eje que pasa por el centroide, sin tener en cuenta el refuerzo,  $I_g$

$$I_g = \frac{b \times h^3}{12} \quad \text{(Ecuación 23)}$$

$$I_g = \frac{460\text{cm} \times (15\text{cm})^3}{12} = 129375 \text{ cm}^4$$

- Cálculo de número de unidades, tales como ensayos de resistencia, barras, alambres, dispositivos de anclaje para torones individuales, anclajes, o brazos de una cabeza de cortante  $\eta$

$$\eta = \frac{E_s}{E_c} \quad \text{(Ecuación 24)}$$

$$\eta = \frac{2.1\text{E}6 \text{ kg/cm}^2}{255006.07 \text{ kg/cm}^2} = 8.24$$

- Calculo de  $P_r$

$$P_r = \frac{A_s}{bw \times d} \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$P_r = \frac{1.57 \text{ cm}^2}{20\text{cm} \times 12.5\text{cm}} = 0.00628$$

- Calculo de distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro,  $c$

$$c = \left( \sqrt{2 \times \eta P_r + (\eta P_r)^2} - \eta P_r \right) d \quad (\text{Ecuación 26})$$

$$c = \left( \sqrt{2 \times (8.24 \times 0.00628) + (8.24 \times 0.00628)^2} - (8.24 \times 0.00628) \right) 12.5 = 3.41$$

- Calculo de distancia del centro de gravedad a la fibra más lejana de la sección  $\gamma_t$

$$\gamma_t = h - c \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$\gamma_t = 15\text{cm} - 3.41\text{cm} = 11.59\text{cm}$$

- Calculo de momento de fisuración,  $M_{cr}$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{\gamma_t} \quad (\text{Ecuación 28})$$

$$M_{cr} = \frac{30.98 \times 129375}{11.59} = 345775.21$$

- Cálculo de momento de inercia de la sección fisurada transformada a concreto,  $I_{cr}$

$$I_{cr} = \frac{bw \times c^3}{3} + \eta \times A_s (d - c)^2 \quad (\text{Ecuación 29})$$

$$I_{cr} = \frac{20 \times 3.41^3}{3} + 8.24 \times 1.57 (12.5 - 3.41)^2 = 1332.66 \text{ cm}^4$$

- Cálculo de momento de inercia efectivo para el cálculo de las deflexiones,  $I_e$

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \quad (\text{Ecuación 30})$$

$$I_e = \left( \frac{345775.21}{689.43 \times 100} \right)^3 \times 129375 + \left[ 1 - \left( \frac{345775.21}{689.43 \times 100} \right)^3 \right] 1332.66$$

$$= 16154757.97$$

- Cálculo de deflexiones instantáneas producidas por las cargas de servicio  $\Delta_1$

El cálculo de deflexiones se realiza con las Ecuaciones 1-6

$$\Delta_1 = \frac{5WL^4}{384E_s I_e}$$

$$w = D + L$$

$$w = 467.16 + 200 = 667.16$$

$$\Delta_1 = \frac{5 \times 667.16 \times 460^4}{384 \times 2.1E6 \times 16154757.97}$$

$$\Delta_1 = 0.012 \text{ cm}$$

- Cálculo de Deflexiones instantáneas producidas por el Momento Negativo (Ma)

$$\Delta_2 = \frac{M_a L^2}{16E_s I_e}$$

$$\Delta_2 = \frac{689.43 \times 460^2}{384 \times 2.1E6 \times 16154757.97} = 2.69E - 09$$

- Deflexiones instantáneas producidas por el Momento Negativo (Mb)

$$\Delta_2 = \frac{M_b L^2}{16E_s I_e}$$

$$\Delta_3 = \frac{689.43 \times 460^2}{384 \times 2.1E6 \times 16154757.97} = 2.69E - 09$$

- Deflexiones instantáneas totales

$$\Delta_{TOTAL} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$$

$$\Delta_i = 0.012 + 2.69E - 09 + 2.69E - 09 = 0.012$$

- Deflexiones a largo plazo

$$\lambda_{\Delta} = \frac{\xi}{1 + 50p'}$$

para 5 años:  $\xi = 2.0$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{2.0}{1 + 50p'}$$



$$\lambda_{\Delta} = \frac{2.0}{1' + 50(0.0033)}$$

$$\lambda_{\Delta} = 1.72$$

$$\Delta LP = \lambda_{\Delta} \times \Delta_l$$

$$\Delta LP = 1.72 \times 0.012 = 0.020 \text{ cm}$$

➤ Deflexión total calculada

$$\Delta_{total} = \Delta_l + \Delta LP$$

$$\Delta_{total} = 0.012 \text{ cm} + 0.020 \text{ cm} = 0.03 \text{ cm}$$

➤ Deflexión máxima propuesta en el Código ACI 318S-14

De la Tabla N°1 tomamos la ecuación para la deflexión máxima calculada perteneciente a cubiertas o entrepisos que están ligados a elementos no estructurales, susceptibles a sufrir daños debido a deflexiones grandes.

$$\Delta_{adm} = \frac{Ln}{480} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$\Delta_{adm} = \frac{460 \text{ cm}}{480} = 0.95 \text{ cm}$$

$$\Delta_{adm} \geq \Delta_{total} \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$0.95 \text{ cm} \geq 0.03 \text{ cm} \text{ OK}$$

La deflexión calculada no supera a la deflexión máxima admisible propuesta por el código ACI318S-14.

#### 4.1.1.1.5 Cortante por Punzonamiento

Datos:

$h=15\text{cm}$

columnas=  $30\text{cm} \times 30\text{cm}$

$l= 4.60 \text{ m}$

$U=880.59 \text{ kg/m}^2$

$d=12.5\text{cm}$

$f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

$f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

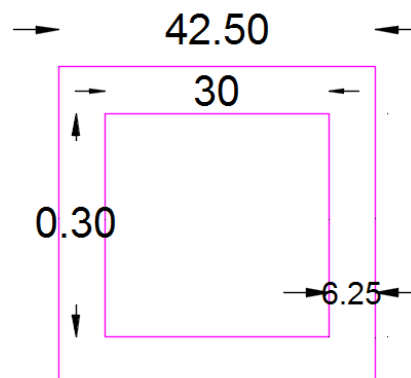
➤ Sección Crítica

$$\frac{d}{2} = \frac{12.5\text{cm}}{2} = 6.25\text{cm}$$

➤ Perímetro Cortante

$$b_o = 30\text{cm} + 6.25\text{cm} + 6.25\text{cm} = 42.50 \times 4 = 170\text{cm}$$

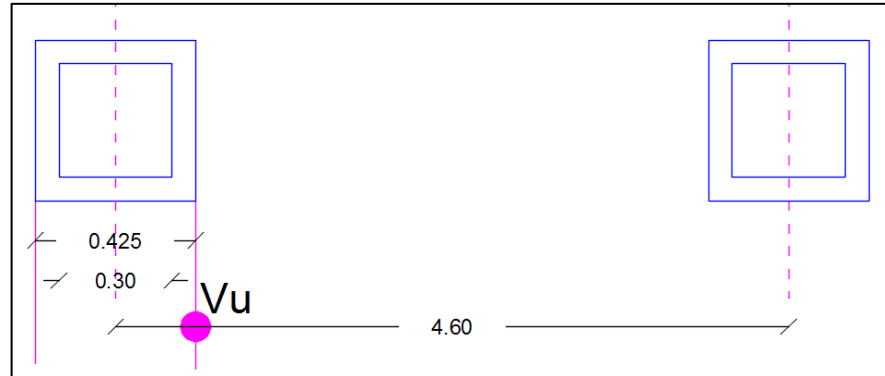
**Gráfico 12:** Detalle del perímetro cortante para punzonamiento



**Fuente:** Jessica Basantes

➤ Cortante Mayorado

**Gráfico 13:** Cortante por Punzonamiento



**Fuente:** Jessica Basantes

$$V_u = 880.59 \times (4.60^2 - 0.425^2) = 18474.23$$

$$\phi V_C = 1.1 \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (\text{Ecuación 33})$$

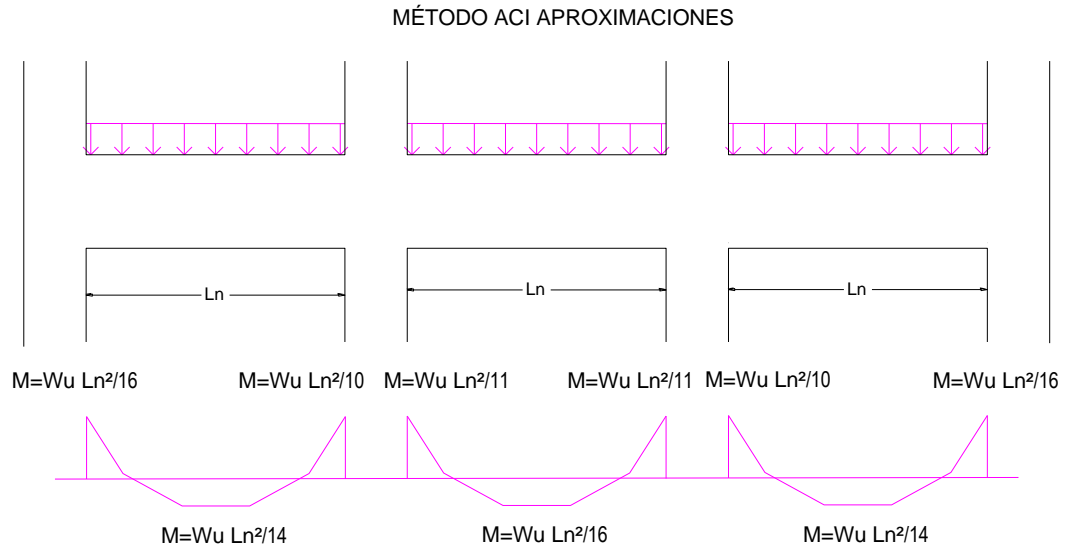
$$\phi V_C = 0.85 \times 1.1 \sqrt{240} \times 170 \times 12.5 = 30780.53$$

$$\phi V_C \geq V_u \quad (\text{Ecuación 34})$$

$$30780.53 \geq 18474.23 \text{ OK}$$

#### 4.1.1.2 Cálculo y Diseño de una Losa alivianada con Pelotas de Plástico

**Gráfico 14:** Coeficientes para cálculo de momentos según el código ACI



Fuente: Jessica Basantes

##### 4.1.1.2.1 Calculo del Diseño Geométrico de la Losa con Pelotas de Plástico

- **Diseño preliminar para determinar la altura de la losa.**

Para una losa maciza el espesor mínimo se tomará según ACI 318S-14.

**Tabla 10:** Espesor mínimo de losas en una dirección macizas no preesforzadas

Condición de apoyo	$h$ mínimo <sup>(1)</sup>
Simplemente apoyadas	$l/20$
Un extremo continuo	$l/24$
Ambos extremos continuos	$l/28$
En voladizo	$l/10$

**Fuente:** Tabla 7.3.1.1 — Espesor mínimo de losas en una dirección macizas no preesforzadas

ACI 318S-14

El tablero crítico (Ver Gráfico N°2) a analizar tiene dos paneles continuos

$$h = \frac{ln}{28} \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$h = \frac{460 \text{ cm}}{28}$$

$$h = 16.4 \text{ cm}$$

**Asumo h= 15cm**

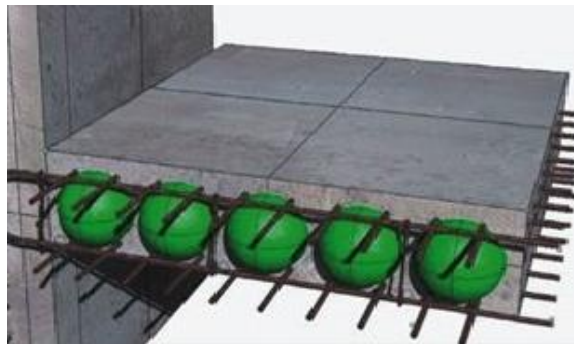
➤ **Cálculo de elementos no estructurales ( $\Delta p$ )**

El valor de los elementos estructurales por ser de la misma losa y del mismo tablero crítico se tomará el obtenido anteriormente en el cálculo de la Losa Nervada

$$\Delta p = 69.76 \text{ Kg/m}^2$$

➤ **Cálculo del peso de la losa**

**Figura 15:** Losa alivianada con Pelotas de Plástico



**Fuente:** Prenova

Peso Total de la losa = (Vlosa x  $\gamma$ h) + Pmacilla + Pacabados

Peso Total de la losa = (((Vhormigón) - (Vpelotas)) x (2400)) + 57+38+32

$$\text{Peso Total de la losa} = ((1.0 \times 1.0 \times 0.15) - (\frac{4}{3}\pi r^3 \times 70)) \times (2400) + 127$$

$$\text{Peso Total de la losa} = 399.04 \text{ kg/m}^2$$

➤ **Cálculo de cargas**

$$C. \text{ MUERTA} = \Delta p + P_{\text{Losa}}$$

$$C. \text{ MUERTA} = 69.76 \text{ kg/m}^2 + 399.04 \text{ kg/m}^2$$

$$C. \text{ MUERTA} = 468.80 \text{ Kg/m}^2$$

$$C. \text{ VIVA} = 200 \text{ Kg/m}^2$$

➤ **Carga última**

Utilizamos esta combinación de carga de acuerdo al código ACI 318S-14

$$U = 1,2CM + 1,6CV$$

$$U = 1,2(468.80 \text{ Kg/m}^2) + 1,6(200 \text{ Kg/m}^2)$$

$$U = 882.55 \text{ Kg/m}^2$$

**4.1.1.2.2 Esfuerzos de Corte**

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$r = 2.5 \text{ cm}$$

$$d = 12.5 \text{ cm.}$$

$$b_w = 30$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$V_c = 0,53\sqrt{f'_c} b_w \cdot d$$

$$V_c = 0,53\sqrt{240 \text{ kg/cm}^2} \times 100 \text{ cm} \times 12,5 \text{ cm}$$

$$V_c = 10263,41 \text{ kg}$$

$$V_u = \frac{1,15 \times W_u \times L_n}{2}$$

$$V_u = \frac{1,15 \text{ cm} \times 882,55 \times 4,60}{2} = 2334,34$$

$$0,85 \times 10263,41 \geq 2334,34$$

$$8723,89 \geq 2334,34 \text{ OK}$$

#### 4.1.1.2.3 Calculo Estructural de la Losa

➤ **Momentos por el método ACI (American Concrete Institute)**

De acuerdo al Grafico N°1 tomamos las ecuaciones de momento para un panel de extremos continuos.

#### **Dirección lado largo**

➤ **Momentos negativos**

$$M = \frac{W_u L_n^2}{11} \quad (\text{Ecuación 37})$$

$$M = \frac{882,55 \times 4,60^2}{11} = 1697,72 \text{ kg} - m$$

➤ **Momentos positivos**

$$M = \frac{W_u L_n^2}{16} \quad (\text{Ecuación 38})$$

$$M = \frac{882.55 \times 4.60^2}{16} = 1167.17 \text{ kg} - \text{m}$$

### Dirección lado corto

#### ➤ Momentos negativos

$$M = \frac{W_u L_n^2}{11}$$

$$M = \frac{882.55 \times 4.20^2}{11} = 1415.29 \text{ kg} - \text{m}$$

#### ➤ Momentos positivos

$$M = \frac{W_u L_n^2}{16}$$

$$M = \frac{882.55 \times 4.20^2}{16} = 973.01 \text{ kg} - \text{m}$$

Una vez calculado los momentos tanto positivos como negativos en las direcciones corta y larga se procede a hacer el cálculo de los aceros:

#### ➤ Acero positivo

Para determinar los aceros positivos tomamos en cuenta el momento máximo positivo calculado en las dos direcciones. Entonces tomamos el Momento máximo positivo de la dirección larga que es de  $M = 1167.17 \text{ kg} - \text{m}$

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot f'c \cdot bw \cdot d^2}$$



$$k = \frac{1167.17 \times 100}{0.9 \times 240 \times 100 \times 12.5^2} = 0.12$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36k}}{1.18}$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(0.034)}}{1.18} = 0.035$$

$$\rho = q \frac{f'_c}{f_y}$$

$$\rho = 0.035 \frac{240}{4200} = 0.0020$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot w \cdot d$$

De acuerdo al código ACI el  $\rho_{min}$  tiene un valor de 0.0033

$$A_s = 0.0033 \times 30 \text{ cm} \times 12.5 \text{ cm}$$

$$A_s = 4.13 \text{ cm}^2 \text{----- } 3\phi 14 = 4.62 \text{ cm}^2$$

### ➤ Acero Negativo

Calculamos de acuerdo al momento máximo negativo de las dos direcciones larga y corta.

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot f'_c \cdot b \cdot w \cdot d^2}$$

$$k = \frac{1697.71 \times 100}{0.9 \times 240 \times 100 \times 12.5^2} = 0.05$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36k}}{1.18}$$

$$q = \frac{1 - \sqrt{1 - 2.36(0.05)}}{1.18} = 0.05$$

$$\rho = q \frac{f'_c}{f_y}$$

$$\rho = 0.05 \frac{240}{4200} = 0.0029$$

$$A_s = \rho \cdot b_w \cdot d$$

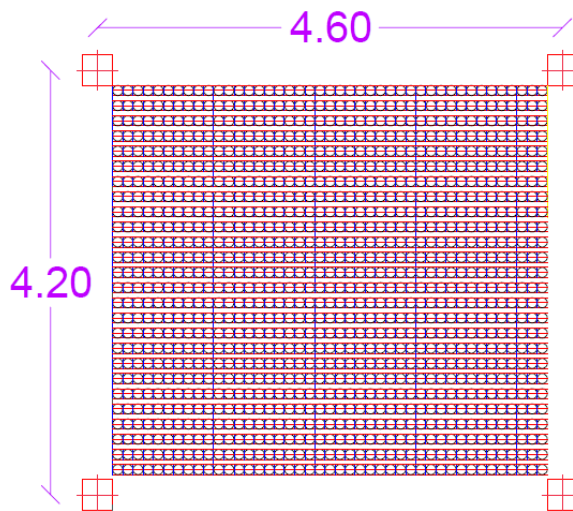
De acuerdo al código ACI el  $\rho_{min}$  tiene un valor de 0.0033

$$A_s = 0,0033 \times 100 \text{cm} \times 12,5 \text{cm}$$

$$A_s = 4.13 \text{ cm}^2 \text{----- } 3\emptyset 14 = 4.62 \text{ cm}^2$$

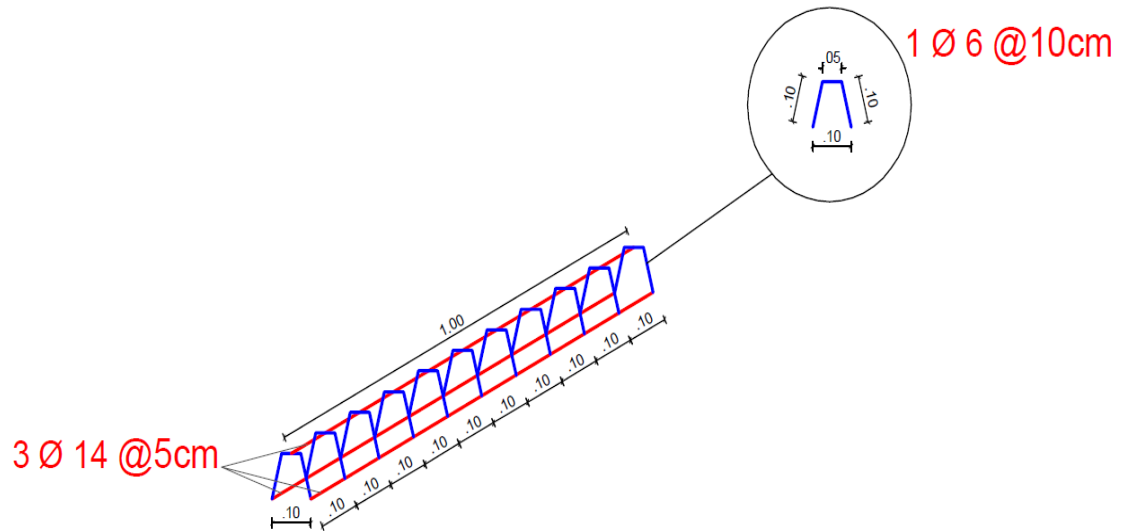
#### Armado del tablero en análisis

**Gráfico 15:** Distribución de pelotas en el tablero



**Fuente:** Jessica Basantes

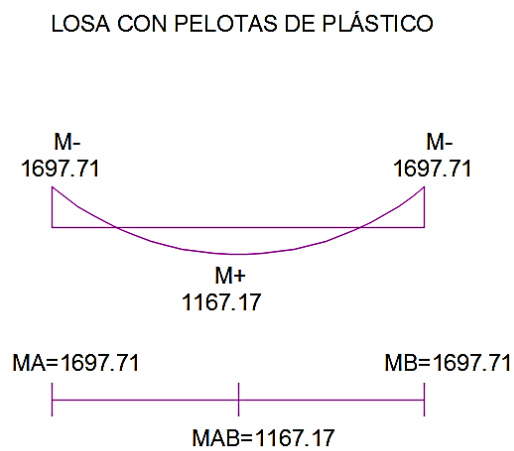
**Gráfico 16:** Detalle de aceros y estribos



Fuente Jessica Basantes

#### 4.1.1.2.4 Cálculo de Deflexiones en la dirección Lado Larga

**Gráfico 17:** Distribución de momentos en la dirección larga



**Fuente:** Jessica Basantes

$$M_a = 1697.71 \text{ kg-m}$$

$$L_b = 4.60 \text{ m}$$

$$A_s = 4.62 \text{ cm}^2$$

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$bw = 100 \text{ cm}$$

Datos determinados anteriormente en el cálculo de deflexiones de losa nervada

$$E_c = 255006.07 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = 30.98$$

$$I_g = 129375$$

$$n = 8.24$$

➤ **Calculo de  $P_r$**

$$P_r = \frac{A_s}{bw \times d}$$

$$P_r = \frac{4.62 \text{ cm}^2}{100 \text{ cm} \times 12.5 \text{ cm}} = 0.0037$$

➤ **Calculo de  $c$**

$$c = \left( \sqrt{2 \times \eta P_r + (\eta P_r)^2} - \eta P_r \right) d$$

$$c = \left( \sqrt{2 \times (8.24 \times 0.0037) + (8.24 \times 0.0037)^2} - (8.24 \times 0.0037) \right) 12.5 = 2.72$$

➤ **Calculo de  $\gamma_t$**

$$\gamma_t = h - c$$

$$\gamma_t = 15 \text{ cm} - 2.72 \text{ cm} = 12.28 \text{ cm}$$

➤ **Calculo de  $M_{cr}$**

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{\gamma_t}$$

$$M_{cr} = \frac{30.98 \times 129375}{12.28} = 326300.53$$

➤ **Calculo de  $I_{cr}$**

$$I_{cr} = \frac{bw \times c^3}{3} + \eta \times A_s (d - c)^2$$

$$I_{cr} = \frac{100 \times 2.72^3}{3} + 8.24 \times 4.62 (12.5 - 2.72)^2 = 4309.87 \text{ cm}^4$$

➤ **Calculo de  $I_e$**

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$I_e = \left( \frac{326300.53}{1697.71 \times 100} \right)^3 \times 129375 + \left[ 1 - \left( \frac{326300.53}{1697.71 \times 100} \right)^3 \right] 4309.87$$

$$= 892281.39$$

➤ **Calculo de  $\Delta_l$**

**Deflexiones instantáneas producidas por las cargas de servicio**

$$\Delta_1 = \frac{5WL^4}{384E_s I_e}$$

$$w = D + L$$

$$w = 468.8 + 200 = 668.8$$

$$\Delta_1 = \frac{5 \times 668.8 \times 460^4}{384 \times 2.1E6 \times 892281.39}$$

$$\Delta_l = 0.21 \text{ cm}$$

- **Deflexiones instantáneas producidas por el Momento Negativo (Ma)**

$$\Delta_2 = \frac{M_a L^2}{16 E_s I_e}$$

$$\Delta_2 = \frac{1697.71 \times 460^2}{16 \times 2.1E6 \times 892281.39} = 1.20E - 07$$

- **Deflexiones instantáneas producidas por el Momento Negativo (Mb)**

$$\Delta_2 = \frac{M_b L^2}{16 E_s I_e}$$

$$\Delta_3 = \frac{1697.71 \times 460^2}{16 \times 2.1E6 \times 892281.39} = 1.20E - 07$$

- **Deflexiones instantáneas totales**

$$\Delta_{TOTAL} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$$

$$\Delta_i = 0.13 + 1.2E - 07 + 1.2E - 07 = 0.21$$

- **Deflexiones a largo plazo**

$$\lambda_{\Delta} = \frac{\xi}{1 + 50p'}$$

para 5 años:  $\xi = 2.0$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{2.0}{1 + 50p'}$$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{2.0}{1' + 50(0.0033)}$$

$$\lambda_{\Delta} = 1.72$$

$$\Delta LP = \lambda_{\Delta} \times \Delta_i$$

$$\Delta LP = 1.72 \times 0.21 = 0.35m$$

➤ **Deflexión total calculada**

$$\Delta_{total} = \Delta_i + \Delta_{LP}$$

$$\Delta_{total} = 0.21\text{cm} + 0.35\text{cm} = 0.56\text{cm}$$

➤ **Deflexión máxima propuesta en el código ACI 318S-14**

$$\Delta_{adm} = \frac{Ln}{480}$$

$$\Delta_{adm} = \frac{460\text{cm}}{480} = 0.95\text{ cm}$$

$$\Delta_{adm} \geq \Delta_{total}$$

$$0.95\text{cm} \geq 0.56\text{cm OK}$$

#### **4.1.1.2.5 Cortante por Punzonamiento**

Datos:

Como el tablero analizado en la losa nervada es el mismo para la losa con pelotas de plástico tomamos los mismos datos dados en la losa nervada con una variación de la carga última mayorada.

$$U = 882.55 \text{ kg/m}^2$$

➤ **Cortante Mayorado**

$$V_u = 882.55 \times (4.60^2 - 0.425^2) = 18515.35 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 0.85 \times 1.1 \sqrt{240} \times 170 \times 12.5 = 30780.53 \text{ kg}$$

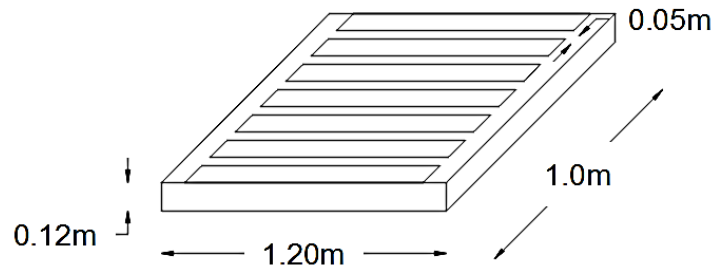
$$\phi V_c \geq V_u$$

$$30780.53 \text{ kg} \geq 18515.35 \text{ kg OK}$$

## 4.1.2 Análisis Práctico

### 4.1.2.1 Análisis Práctico Losa Nervada

**Gráfico 18:** Detalle de armado de losa nervada para ensayo



**LOSA NERVADA**

**Fuente:** Jessica Basantes

- Cálculo de la Carga Muerta (CM)

$$\text{Peso losa} = \left( (1.20 \times 1.0 \times 0.12) - ((0.10 \times 0.10 \times 1.0) \times 7) \right) 2400 = 177.6 \text{ kg/m}^2$$

$$CM = 177.6 \text{ kg/m}^2$$

- Deflexiones Reales tomadas del ensayo con Deformímetro

**Tabla 11:** Resultados de ensayo losa nervada

LOSA NERVADA				
PESO DE LA LOSA	CARGA APLICADA	CM	CV	$\Delta i$ cm
177,6	0	177,6	0	0
177,6	357,1	534,7	0	0
177,6	589,3	766,9	0	0,2
177,6	754,2	931,8	0	0,5
177,6	920,9	1098,5	0	0,8
177,6	1235,2	1412,8	0	1,2

**Fuente:** Jessica Basantes

- Deflexiones calculadas de la maqueta de ensayo para losa nervada.



Datos:

$f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

$bw=30\text{cm}$

$d=10\text{cm}$

$Ln=120\text{cm}$

Deflexiones calculadas con las mismas ecuaciones utilizadas para el cálculo de deflexiones instantáneas en el análisis matemático.

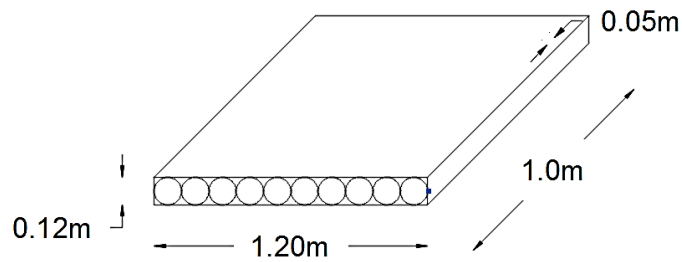
**Tabla 12:** Resultados según cálculo del ensayo en losa nervada

W	M-	M+	As utilizado	$\Delta_i$ cm
177,6	23,25	15,98	0,56	0,0000015
534,7	70,00	48,12	0,56	0,000041
766,9	100,39	69,02	0,56	0,00012
931,8	121,98	83,86	0,56	0,00021
1098,5	143,80	98,87	0,56	0,00035
1412,8	184,95	127,15	0,56	0,00075

Fuente: Jessica Basantes

#### 4.1.2.2 Análisis Práctico de Losa Aliviada con Pelotas de Plástico

**Gráfico 19:** Detalle de armado de losa con pelotas de plástico para ensayo



LOSA CON PELOTAS DE PLÁSTICO

Fuente: Jessica Basantes

- Cálculo de Carga Muerta (CM)

$$Peso\ losa = \left( (1.20 \times 1.0 \times 0.12) - \left( \left( \frac{4}{3} \pi \times 0.035^3 \right) \times 112 \right) \right) 2400 = 297.33\ kg/m^2$$

$$CM = 297.33\ kg/m^2$$

- Deflexiones Reales tomadas del ensayo con Deformímetro

**Tabla 13:** Resultados de ensayo en losa con pelotas de plástico

LOSA CON PELOTAS DE PLÁSTICO				
PESO DE LA LOSA	CARGA APLICADA	CM	CV	$\Delta i$ cm
297,33	0	297,33	0	0
297,33	357,1	654,43	0	0
297,33	589,3	886,63	0	0,1
297,33	754,2	1051,53	0	0,3
297,33	920,9	1218,23	0	0,5
297,33	1235,2	1532,53	0	0,8

**Fuente:** Jessica Basantes

- Deflexiones calculadas de la maqueta de ensayo para losa nervada.

Datos:

$$f'c = 210\ kg/cm^2$$

$$bw = 30\ cm$$

$$d = 10\ cm$$

$$Ln = 120\ cm$$

Deflexiones calculadas con las mismas ecuaciones utilizadas para el cálculo de deflexiones instantáneas en el análisis matemático.

**Tabla 14:** Resultados según cálculo del ensayo de losa con pelotas de plástico

W	M-	M+	As utilizado	$\Delta i$ cm	$\Delta i$ mm
297,33	38,92	26,76	0,85	0,000082	0,000082
654,43	85,67	58,90	0,85	0,000088	0,00088
886,63	116,07	79,80	0,85	0,00022	0,0022
1051,53	137,65	94,64	0,85	0,00036	0,0036
1218,23	159,48	109,64	0,85	0,00057	0,0057
1532,53	200,62	137,93	0,85	0,0011	0,011

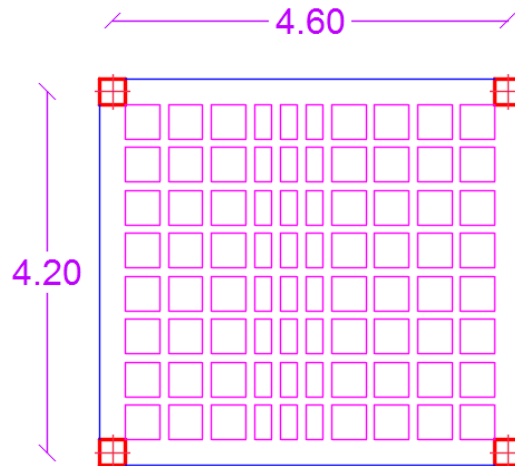
Fuente: Jessica Basantes

#### 4.1.3 Precio referencial de una Losa Nervada

Para determinar un precio referencial entre una losa nervada y una losa con pelotas de plástico, vamos a determinar el costo de fundición del tablero en análisis.

#### LOSA NERVADA

**Gráfico 20:** Distribución de aliviamientos en tablero de análisis



Fuente: Jessica Basante

#### VOLUMEN DE HORMIGÓN

$$V_{losa} = 4.60m \times 4.20m \times 0.15m = 2.898m^3$$

$$V_{aliv} = (0.20m \times 0.40m \times 0.15m) \times 68 = 0.816m^3$$

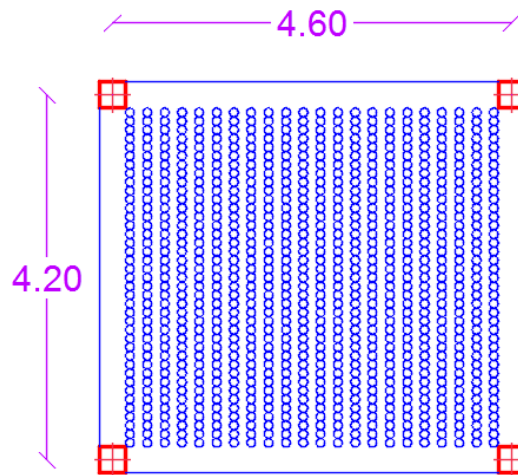
$$V_{hormigón} = V_{losa} - V_{aliv}.$$

$$V_{hormigón} = 2.898m^3 - 0.816m^3 = 2.082m^3$$

Una vez hecha la distribución de los alivianamientos en el tablero en análisis tenemos un total de 68 alivianamientos.

#### 4.1.4 Precio referencial de una Losa con Pelotas de Plástico

**Gráfico 21:** Distribución de pelotas en el tablero en análisis



**Fuente:** Jessica Basantes

#### VOLUMEN DE HORMIGÓN

$$V_{losa} = 2.898m^3$$

$$V_{pelotas} = \frac{4}{3} \pi (0.05)^3 \times 1118 = 0.585m^3$$

$$V_{hormigón} = V_{losa} - V_{aliv}.$$

$$V_{hormigón} = 2.898m^3 - 0.585m^3 = 2.32m^3$$

Una vez hecha la distribución de las pelotas en el tablero en análisis tenemos un total de 1118 pelotas.

## 4.2 Análisis de los Resultados

### 4.2.1 Resultados del modelo matemático

**Tabla 15:** Resultados de deflexiones del modelo matemático

	U (kg/m <sup>2</sup> )	M+ (kg-m)	M- (kg-m)	$\Delta i$ (cm)	$\Delta LP$ (cm)	$\Delta T$ (cm)	$\Delta adm$ (cm)
LOSA NERVADA	880,59	315,04	689,43	0,012	0,02	0,03	0,95
LOSA CON PELOTAS DE PLÁSTICO	882,55	1167,17	1697,72	0,21	0,35	0,56	0,95

Fuente: Jessica Basantes

### 4.2.2 Resultados del modelo práctico

De acuerdo al ensayo realizado en sitio se ha obtenido los siguientes resultados:

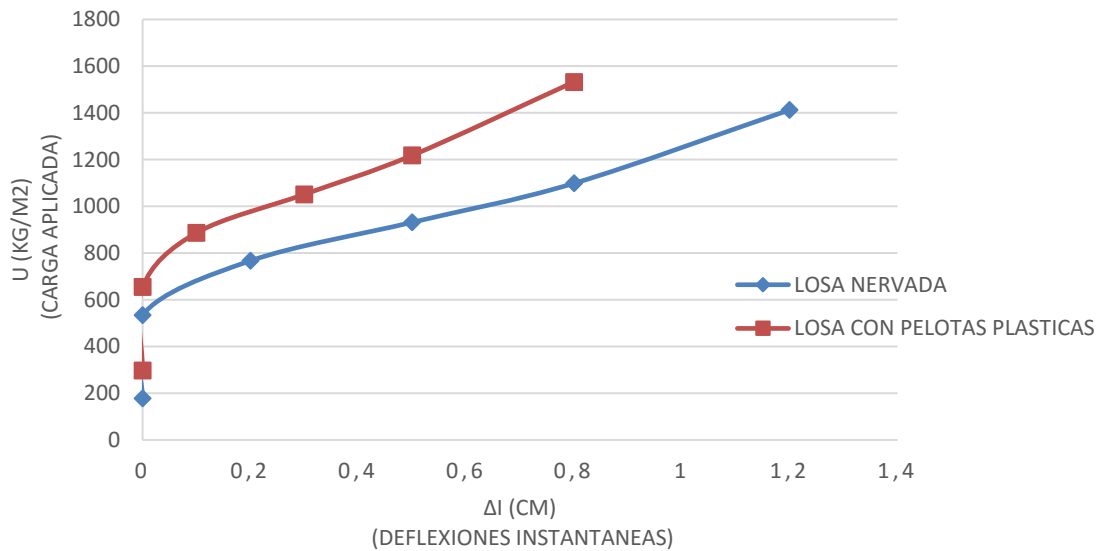
**Tabla 16:** Resultados de deflexiones del modelo practico

LOSA NERVADA				
PESO DE LA LOSA	CARGA APLICADA	CM	CV	$\Delta i$ cm
177,6	0	177,6	0	0
177,6	357,1	534,7	0	0
177,6	589,3	766,9	0	0,2
177,6	754,2	931,8	0	0,5
177,6	920,9	1098,5	0	0,8
177,6	1235,2	1412,8	0	1,2
LOSA CON PELOTAS DE PLÁSTICO				
PESO DE LA LOSA	CARGA APLICADA	CM	CV	$\Delta i$ cm
297,33	0	297,33	0	0
297,33	357,1	654,43	0	0
297,33	589,3	886,63	0	0,1
297,33	754,2	1051,53	0	0,3
297,33	920,9	1218,23	0	0,5
297,33	1235,2	1532,53	0	0,8

Fuente: Jessica Basantes

**Gráfico 22:** Deflexiones de losa Nervada y losa con pelotas de plástico

## GRÁFICO DE CARGA VS DEFORMACION LOSA NERVADA Y LOSA CON PELOTAS DE PLÁSTICO



**Fuente:** Jessica Basantes

**Tabla 17:** Resultados totales del modelo matemático

	Esfuerzo de Corte	Momentos Flectores		Deflexiones Producidas			Armadura		Cortante por Punzonamiento
		M+	M-	$\Delta_i$	$\Delta_{LP}$	$\Delta_T$	Acero Positivo	Acero Negativo	
Losa Nervada	1005,02	315,04	689,43	0,012	0,02	0,03	2φ10	2φ12	18474,23
Losa con Pelotas de Plástico	1007,26	1167,17	1697,72	0,21	0,35	0,56	3φ14	3φ14	18515,35

**Fuente:** Jessica Basantes

### 4.2.3 Resultados de referencia económica

El presente análisis es para 1m2 de cada tipo de losa.

**Tabla 18:** Referencia económica de losa nervada

<b>LOSA NERVADA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	Precio Unitario	TOTAL \$
Hormigón simple de 240 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	2,08	31,00	64,54
Acero de refuerzo	kg	5,49	2,32	12,74
				<b>77,28</b>

Fuente. Jessica Basantes

**Tabla 19:** Referencia económica de losa con pelotas de plástico

<b>LOSA CON PELOTAS DE PLÁSTICO</b>				
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	Precio Unitario	TOTAL \$
Hormigón simple de 240 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	2,31	35,88	82,98
Acero de refuerzo	kg	9,10	2,32	21,11
				<b>104,09</b>

Fuente: Jessica Basantes

#### 4.2.4 Resultados de ensayo de cilindros.

**Tabla 20:** Resultado de cilindros ensayados

CILINDRO	DIÁMETRO cm	ÁREA cm <sup>2</sup>	DIAS	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
1	15,1	179,08	28	214,6
2	14,97	176,01	28	216,3
3	14,98	176,24	28	219,4

Fuente: Jessica Basantes

#### 4.3 Verificación de la Hipótesis

Tomando en cuenta el criterio teórico obtenido de acuerdo a otros proyectos elaborados, en base a ensayos, y apoyándose en los resultados reflejados en el ensayo con deformímetro se determinó que una losa aliviada con pelotas de plástico presenta mejor eficiencia estructural, que una losa nervada, resultado reflejado en las deflexiones calculadas.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Una vez analizadas las losas se ha determinado que las dos tienen un comportamiento estructural eficiente que ninguna requiere de un refuerzo adicional o incremento de sus secciones.
- De acuerdo al análisis matemático los resultados reflejan que la losa alivianada con pelotas de plástico sufre mayor deflexión teniendo así un valor de 0.57cm a relación de la losa nervada que tiene un valor de deflexión de 0.03cm, estos resultados con lo que respecta al método utilizado para el análisis de cada una de las losas.
- Los resultados del análisis práctico soportando la misma carga, revelaron que la losa alivianada con pelotas de plástico sufrió menor deflexión a comparación de la losa nervada, teniendo deformaciones de 1.0mm a 1.2mm respectivamente, de lo que se puede decir que de cierta forma no son valores sumamente reales, por las condiciones de elaboración de maquetas de losas y ensayo de las mismas.
- De acuerdo a los momentos calculados y una vez obtenido el acero de refuerzo, se determinó que la losa nervada requiere menor cantidad de acero que la losa con pelotas de plástico, esto debido a las distintas formas de armado de este tipo



- de losas y la falta de una normativa o información técnica que ampare y justifique el tipo de armado.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en los cortantes y chequeo por punzonamiento los dos tipos de losas arrojaron datos similares, sin fallar en sus chequeos.
- Realizando en análisis de precios con respecto al hormigón y a los dos tipos de alivianamientos, se determinó que la losa nervada resulta más económica que la de pelotas de plástico teniendo una relación de **\$77.28** y **\$104.09** respectivamente, esto se debe al precio de las pelotas que en nuestro medio tiene un costo elevado, como para utilizarlo en el ámbito de la construcción.
- Finalmente se concluye que una losa nervada resulta eficientemente mejor que una losa con pelotas de plástico, reflejado en las deflexiones obtenidas y, además, mucho más económicas

## **5.2 Recomendaciones**

### **Para Análisis Matemático**

- Se recomienda tener muy en cuenta todas las especificaciones que recomienda el código ACI vigente para elegir un plano que cumpla con las mismas.
- Se recomienda utilizar métodos de diseño propuestos por el código ACI actualizado.
- Tener mucho cuidado en el cálculo de momentos ya que estos influyen en los resultados.

### **Para el Análisis Práctico**

- Se recomienda utilizar algún tipo de normativa para las muestras de losas, en el caso de no existir analizar todas las posibles complicaciones que se podrían tener y elaborar especímenes adecuados.
- Es recomendable que, al momento de fundir las losas, distribuir de manera homogénea (paletear) el concreto para evitar partes huecas en la losa.
- Se recomienda no utilizar un hormigón de alta resistencia para los especímenes de losas puesto que resulta muy difícil de ensayar.
- Tener mucho cuidado con el manejo y uso del deformímetro por ser una herramienta frágil y costosa.
- Se recomienda tomar por lo menos 3 cilindros de muestra para saber con qué resistencia se trabajaron las losas.

## 1. Bibliografía

- [1] INFOarquitectura, «Losas sin vigas con esferas (livianas cual pluma),» 25 06 2013. [En línea]. Available: <http://infonegocios.info/infoarquitectura/losas-sin-vigas-con-esferas-livianas-cual-pluma>. [Último acceso: 21 06 2016].
- [2] iCrowdNewswire, «Cobias Chile: un sistema de aligeramiento de losas, que permite ahorros importantes en hormigón, fierro y postensado,» 08 26 2015. [En línea]. Available: <http://icrowdnewswire.com/2015/08/26/cobias-chile-un-sistema-de-aligeramiento-de-losas-que-permite-ahorros-importantes-en-hormigon-fierro-y-postensado/>. [Último acceso: 21 06 2016].
- [3] R. NEGRO, «HORMIGÓN CON BURBUJAS,» 12 09 2007. [En línea]. Available: <http://www1.rionegro.com.ar/diario/tools/imprimir.php?id=12907>. [Último acceso: 21 06 2016].
- [4] MEJORARQ, «PRENOVA – Losas y prelosas sin vigas, alivianadas con esferas o discos,» 06 9 2014. [En línea]. Available: <http://mejorarq.com/prenova-losas-y-prelosas-sin-vigas-alivianadas-con-esferas-o-discos/>. [Último acceso: 21 06 2016].
- [5] C. A. 318, Requisitos de Reglamento, Always advancing, 2014.
- [6] G. A. E. F. C. N. EDUARDO., «Flexión,» 29 11 2010. [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/joseeduard/flexion>. [Último acceso: 21 06 2016].
- [7] A. NILSON, Diseño de Estructuras de Concreto, Bogotá, Colombia : Quebecor World Bogotá S.A., 2001
- [8] S. d. E. d. Concreto, «Losas aligeradas.,» 12 03 2013. [En línea]. Available: <https://supervisiondeestructurasdeconcreto.wordpress.com/2013/03/12/08-losas-aligeradas/>. [Último acceso: 21 06 2016]





- [9] G. A. R. Hunter, «ESTUDIO PARAMÉTRICO PARA LA COMPARACIÓN DE DISEÑO DE,» 10 2007. [En línea]. Available: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2811\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2811_C.pdf). [Último acceso: 18 07 2016].
- [10] CLARIN, «Estructuras más livianas sin perder resistencia,» 30 03 2012. [En línea]. Available: [http://arq.clarin.com/construccion/titulo\\_0\\_671333136.html](http://arq.clarin.com/construccion/titulo_0_671333136.html). [Último acceso: 18 07 2016].
- [11] BUBBLEDECK, «BUBBLEDECK HOME,» [En línea]. Available: [http://www.bubbledeck.com.ar/implementacion\\_calculo](http://www.bubbledeck.com.ar/implementacion_calculo). [Último acceso: 18 07 2016]
- [12] A. T. PARCIANELLO, «PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE,» 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/6411/1/21032146.pdf>. [Último acceso: 18 07 2016]
- [13] E. -. G. B. AMAYA, «“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO Y APLICACIÓN DE LOSAS BUBBLEDECK”,» 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23114/1/tesis.pdf>. [Último acceso: 18 07 2016].
- [14] Y. M. d. O. Silva, «ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES “BUBBLEDECK” E LAJES LISAS,» 2011. [En línea]. Available: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006941.pdf>. [Último acceso: 18 07 2016].

## 2. ANEXOS

### A) APOYOS DE LAS LOSAS Y ENSAMBLE DE PELOTAS

 A photograph showing several rectangular wooden formwork boxes arranged in a row. Each box has a metal reinforcement rod (rebar) protruding from its top surface, indicating they are prepared for concrete pouring.	 A photograph of a person wearing a silver reflective safety vest and dark shorts, standing in a construction area. They are using a tool to guide the pouring of concrete into a wooden formwork box. A white metal ladder is visible in the background.
<p>1.- Armado y Encofrado de apoyos de losas</p>	<p>2.- Fundición de los apoyos de las losas</p>
 A photograph showing the same wooden formwork boxes from the previous image, now filled with grey concrete. The concrete has been poured and is curing within the wooden frames.	 A photograph of a metal assembly with two orange plastic balls. The assembly is placed on a wooden surface, likely used for supporting the concrete slabs during curing.
<p>3.- Apoyos para las losas fundidos</p>	<p>4.- Ensamble de pelotas de plástico</p>

## B) ARMADO Y ENCOFRADO DE LOSAS

	
<p>1.- Armado de tablero para losa de pelotas de plástico</p>	<p>2.- Encofrado de losa de pelotas de plástico</p>
	
<p>3.- Armado de tablero para losa nervada</p>	<p>4.- Encofrado de losa nervada</p>





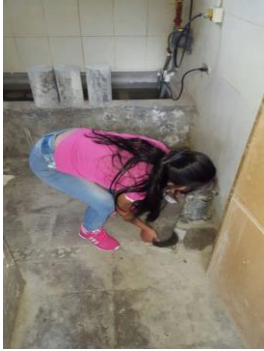

## C) PREPARACIÓN DE MEZCLA PARA LAS LOSAS

	
<p>1.-Materiales para fundir las losas</p>	<p>2.- Mezcla lista para fundir</p>

## D) FUNDICIÓN DE LOSAS

	
3.- Fundición de losa de pelotas de plástico	2.- Paletos de concreto en losa de pelotas de plástico
	
3.- Igualando losa	4.- Losa terminada de pelotas de plástico
	
5.- Fundición de losa nervada	6.- Losas fundidas

## E) MUESTRAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN

 A rectangular tray on a tiled floor contains a mixture of sand and gravel. A shovel is placed in the tray, and several buckets are nearby.	 A person is using a shovel to fill a cylindrical mold with the concrete mixture. The mold is placed on a tiled floor, and buckets are visible.
<p>1.- Mezcla de material</p>	<p>2.- Llenado de cilindros</p>
 A person is using a shovel to compact the concrete mixture in the cylindrical mold. The mold is on a tiled floor.	 A person is using a shovel to smooth the surface of the concrete mixture in the cylindrical mold. The mold is on a tiled floor.
<p>3.- Golpes de compactación</p>	<p>4.- Resanando los cilindros</p>
 A person is using a tool to remove the cylindrical mold from the concrete mixture. The mold is on a tiled floor.	 Three cylindrical concrete samples are shown in a dark container, each with a label. They are being cured.
<p>5.- Desencofrado de cilindros</p>	<p>6.- Curado de cilindros</p>



F) ENSAYO DE LOSAS CON ALIVIANAMIENTOS Y PELOTAS DE PLÁSTICO

	
<p>1.- Nivelando el deformímetro</p>	<p>2.- Tomando los pesos de la carga aplicada</p>
	
<p>3.- Colocando pesos en la losa</p>	<p>4.- Colocando mayores cargas en la losa con pelotas de plástico.</p>
	
<p>5.- Colocando cargas en la losa nervada.</p>	<p>6- Toma de deflexiones marcadas en el deformímetro</p>

## G) ENSAYO DE CILINDROS DE HORMIGÓN

	
1.- Colocación de los cilindros en la máquina de compresión	2.-Ensayo de cilindros
	
3.-Resultados del ensayo	4.- Cilindros ensayados.

## H) ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LOSAS

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: 1			UNIDAD: M2		
DETALLE: LOSA NERVADA					
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D=C*R
HERRAMIENTAS MENORES (5% M.O)					0,29820
CONCRETERA	1,00	5,00	5,00000	0,20000	1,00000
VIBRADOR	1,00	4,38	4,38000	0,20000	0,87600
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>2,17420</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D=C*R
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES	1,00	3,66	3,66000	0,20000	0,73200
ALBAÑIL(CAT.D2)	2,00	3,30	6,60000	0,20000	1,32000
PEON(CAT.E2)	6,00	3,26	19,56000	0,20000	3,91200
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>5,96400</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
CEMENTO PORTLAND	saco	0,3900	7,43000	2,89770	
ARENA	m3	0,0280	10,00000	0,28000	
RIPIO	m3	0,0480	13,20000	0,63360	
ADITIVO	kg	0,15000	1,50000	0,22500	
AGUA	m3	0,10000	1,00000	0,10000	
TABLAS	U	1,50000	4,00000	6,00000	
PINGOS	U	4,00000	1,12000	4,48000	
ALAMBRE GALVANIZADO N°10	kg	0,05000	2,10000	0,10500	
CLAVOS 2"	kg	0,06000	1,78000	0,10680	
BLOQUE DE ALIVIANAMIENTO 15X20X40 cm	U	8,00000	0,35000	2,80000	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>17,62810</b>	
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/KM	TARIFA	COSTO
		A	B	C	D=A*B*C
RIPIO	M3	0,04800	0,22000	30,00000	0,31680
ARENA	M3	0,02800	0,22000	30,00000	0,18480
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,50160</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>26,26790</b>
<b>INDIRECTOS%</b>				<b>10,00%</b>	<b>2,62679</b>
<b>UTILIDADES %</b>				<b>8,00%</b>	<b>2,10143</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>31,00</b>

**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**RUBRO: 2**

**UNIDAD: M2**

**DETALLE: LOSA CON PELOTAS DE PLÁSTICO**

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D=C*R
HERRAMIENTAS MENORES (5% M.O)					0,29820
CONCRETERA	1,00	5,00	5,00000	0,20000	1,00000
VIBRADOR	1,00	4,38	4,38000	0,20000	0,87600
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>2,17420</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D=C*R
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES	1,00	3,66	3,66000	0,20000	0,73200
ALBAÑIL(CAT.D2)	2,00	3,30	6,60000	0,20000	1,32000
PEON(CAT.E2)	6,00	3,26	19,56000	0,20000	3,91200
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>5,96400</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
CEMENTO PORTLAND	saco	0,3900	7,43000	2,89770	
ARENA	m3	0,0280	10,00000	0,28000	
RIPIO	m3	0,0480	13,20000	0,63360	
ADITIVO	kg	0,15000	1,50000	0,22500	
AGUA	m3	0,10000	1,00000	0,10000	
TABLAS	U	1,50000	0,69000	1,03500	
PINGOS	U	4,00000	1,12000	4,48000	
ALAMBRE GALVANIZADO N°10	kg	0,05000	2,10000	0,10500	
CLAVOS 2"	kg	0,06000	1,78000	0,10680	
PELOTAS DE PLÁSTICO (D=10cm)	U	70,00000	0,17000	11,90000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>21,76310</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/KM	TARIFA	COSTO
		A	B	C	D=A*B*C
ARENA	M3	0,02800	0,22000	30,00000	0,18480
RIPIO	M3	0,04800	0,22000	30,00000	0,31680
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,50160</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>30,40290</b>
<b>INDIRECTOS%</b>				<b>10,00%</b>	<b>3,04029</b>
<b>UTILIDADES %</b>				<b>8,00%</b>	<b>2,43223</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>35,88</b>

**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

**RUBRO:** 3  
**DETALLE:** Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2

**UNIDAD:** kg

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D=C*R
HERRAMIENTAS MENORES (5% M.O CORTADORA DE HIERRO	1,00	1,20	1,20000	0,02581	0,01319 0,03097
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,04415</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A*B	R	D=C*R
MAESTRO MAYOR EN EJECUCION DE OBRAS CIVILES	1,00	3,66	3,66000	0,02581	0,09445
FIERRERO (CAT.D2)	1,00	3,30	3,30000	0,02581	0,08516
PEON(CAT.E2)	1,00	3,26	3,26000	0,02581	0,08413
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,26374</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
ACERO DE REFUERZO	kg	1,05000	1,53000	1,60650	
ALAMBRE #18	kg	0,02000	2,50000	0,05000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>1,65650</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/KM	TARIFA	COSTO
		A	B	C	D=A*B*C
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00000</b>
			<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>		<b>1,96439</b>
			<b>INDIRECTOS%</b>		<b>10,00%</b> <b>0,19644</b>
			<b>UTILIDADES %</b>		<b>8,00%</b> <b>0,15715</b>
			<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		<b>2,32000</b>

I) TABLAS DE COEFICIENTES PARA EL METODO 3 ACI.

COEFICIENTES PARA MOMENTOS NEGATIVOS EN LOSAS									
$M_{a,neg} = C_{a,neg}wl_a^2$ $M_{b,neg} = C_{b,neg}wl_b^2$ Donde w= carga muerta más viva uniforme total									
Relación $m = \frac{l_a}{l_b}$	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	CASO 7	CASO 8	CASO 9
1,00 $C_{a,neg}$ $C_{b,neg}$									
		0,045 0,045	0,076	0,050 0,050	0,075	0,071	0,071	0,033 0,061	0,061 0,033
0.95 $C_{a,neg}$ $C_{b,neg}$		0,050 0,041	0,072	0,055 0,045	0,079	0,075	0,067	0,038 0,056	0,065 0,029
0.90 $C_{a,neg}$ $C_{b,neg}$		0,055 0,037	0,070	0,060 0,040	0,080	0,079	0,062	0,043 0,052	0,068 0,025
0.85 $C_{a,neg}$ $C_{b,neg}$		0,060 0,031	0,065	0,066 0,034	0,082	0,083	0,057	0,049 0,046	0,072 0,021
0.80 $C_{a,neg}$ $C_{b,neg}$		0,065 0,027	0,061	0,071 0,029	0,083	0,086	0,051	0,055 0,041	0,075 0,017
0.75 $C_{a,neg}$ $C_{b,neg}$		0,069 0,022	0,056	0,076 0,024	0,085	0,088	0,044	0,061 0,036	0,078 0,014
0.70 $C_{a,neg}$ $C_{b,neg}$		0,074 0,017	0,050	0,081 0,019	0,086	0,091	0,038	0,068 0,029	0,081 0,011
0.65 $C_{a,neg}$ $C_{b,neg}$		0,077 0,014	0,043	0,065 0,015	0,087	0,093	0,031	0,074 0,024	0,083 0,008
0.60 $C_{a,neg}$ $C_{b,neg}$		0,081 0,010	0,035	0,089 0,011	0,088	0,095	0,024	0,080 0,018	0,085 0,006
0.55 $C_{a,neg}$ $C_{b,neg}$		0,084 0,007	0,028	0,092 0,008	0,089	0,096	0,019	0,085 0,014	0,086 0,005
0.50 $C_{a,neg}$ $C_{b,neg}$		0,086 0,006	0,022	0,094 0,006	0,090	0,097	0,014	0,089 0,010	0,088 0,003

Un borde achurado indica que la losa continúa a través o se encuentra empotrada en el apoyo; un borde sin marcas indica un apoyo donde la resistencia torsional es despreciable.

COEFICIENTES PARA MOMENTOS POSITIVOS DEBIDOS A CARGA MUERTA EN LOSAS									
$M_{a,pos,dl} = C_{a,dl} w l_a^2$ $M_{b,pos,dl} = C_{b,dl} w l_b^2$ Donde w= carga uniforme total									
Relación $m = \frac{l_a}{l_b}$	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	CASO 7	CASO 8	CASO 9
1.00									
$C_{a,dl}$ $C_{b,dl}$	0,036 0,036	0,018 0,018	0,018 0,027	0,027 0,027	0,027 0,018	0,033 0,027	0,027 0,033	0,020 0,023	0,023 0,020
0.95									
$C_{a,dl}$ $C_{b,dl}$	0,040 0,033	0,020 0,016	0,021 0,025	0,030 0,024	0,028 0,015	0,036 0,024	0,031 0,031	0,022 0,021	0,024 0,017
0.90									
$C_{a,dl}$ $C_{b,dl}$	0,045 0,029	0,022 0,014	0,025 0,024	0,033 0,022	0,029 0,013	0,039 0,021	0,035 0,028	0,025 0,019	0,026 0,015
0.85									
$C_{a,dl}$ $C_{b,dl}$	0,050 0,026	0,024 0,012	0,029 0,022	0,036 0,019	0,031 0,011	0,042 0,017	0,040 0,025	0,029 0,017	0,028 0,013
0.80									
$C_{a,dl}$ $C_{b,dl}$	0,056 0,023	0,026 0,011	0,034 0,020	0,039 0,016	0,032 0,009	0,045 0,015	0,045 0,022	0,032 0,015	0,029 0,010
0.75									
$C_{a,dl}$ $C_{b,dl}$	0,061 0,019	0,028 0,009	0,040 0,018	0,043 0,013	0,033 0,007	0,048 0,012	0,051 0,020	0,036 0,013	0,031 0,007
0.70									
$C_{a,dl}$ $C_{b,dl}$	0,068 0,016	0,030 0,007	0,046 0,016	0,046 0,011	0,035 0,005	0,051 0,009	0,058 0,017	0,040 0,011	0,033 0,006
0.65									
$C_{a,dl}$ $C_{b,dl}$	0,074 0,013	0,032 0,006	0,054 0,014	0,050 0,009	0,036 0,004	0,054 0,007	0,065 0,014	0,044 0,009	0,034 0,005
0.60									
$C_{a,dl}$ $C_{b,dl}$	0,081 0,010	0,034 0,004	0,062 0,011	0,053 0,007	0,037 0,003	0,056 0,006	0,073 0,012	0,048 0,007	0,036 0,004
0.55									
$C_{a,dl}$ $C_{b,dl}$	0,088 0,008	0,035 0,003	0,071 0,009	0,056 0,005	0,038 0,002	0,058 0,004	0,081 0,009	0,052 0,005	0,037 0,003
0.50									
$C_{a,dl}$ $C_{b,dl}$	0,095 0,006	0,037 0,002	0,080 0,007	0,059 0,004	0,039 0,001	0,061 0,003	0,089 0,007	0,056 0,004	0,038 0,002

Un borde achurado indica que la losa continúa a través o se encuentra empotrada en el apoyo; un borde sin marcas indica un apoyo donde la resistencia torsional es despreciable.

**COEFICIENTES PARA MOMENTOS POSITIVOS DEBIDOS A CARGA VIVA EN LOSAS**

$$M_{a, pos, ll} = C_{a, ll} w l_a^2$$

$$M_{b, pos, ll} = C_{b, ll} w l_b^2 \quad \text{Donde } w = \text{carga viva uniforme total}$$

Relación $m = \frac{l_a}{l_b}$	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	CASO 7	CASO 8	CASO 9
1.00									
$C_{a, ll}$ $C_{b, ll}$	0,036 0,036	0,027 0,027	0,027 0,032	0,032 0,032	0,032 0,027	0,035 0,032	0,032 0,035	0,028 0,030	0,030 0,028
0.95									
$C_{a, ll}$ $C_{b, ll}$	0,040 0,033	0,030 0,025	0,031 0,029	0,035 0,029	0,034 0,024	0,038 0,029	0,036 0,032	0,031 0,027	0,032 0,025
0.90									
$C_{a, ll}$ $C_{b, ll}$	0,045 0,029	0,034 0,022	0,035 0,027	0,039 0,036	0,037 0,021	0,042 0,025	0,040 0,029	0,035 0,024	0,036 0,022
0.85									
$C_{a, ll}$ $C_{b, ll}$	0,050 0,026	0,037 0,019	0,040 0,024	0,043 0,023	0,041 0,019	0,046 0,022	0,045 0,026	0,040 0,022	0,039 0,020
0.80									
$C_{a, ll}$ $C_{b, ll}$	0,056 0,023	0,041 0,017	0,045 0,022	0,048 0,020	0,044 0,016	0,051 0,019	0,051 0,023	0,044 0,019	0,042 0,017
0.75									
$C_{a, ll}$ $C_{b, ll}$	0,061 0,019	0,045 0,014	0,051 0,019	0,052 0,016	0,047 0,013	0,055 0,016	0,056 0,020	0,049 0,016	0,046 0,013
0.70									
$C_{a, ll}$ $C_{b, ll}$	0,068 0,016	0,049 0,012	0,057 0,016	0,057 0,014	0,051 0,011	0,060 0,013	0,063 0,017	0,054 0,014	0,050 0,011
0.65									
$C_{a, ll}$ $C_{b, ll}$	0,074 0,013	0,053 0,010	0,064 0,014	0,062 0,011	0,055 0,009	0,064 0,010	0,070 0,014	0,059 0,011	0,054 0,009
0.60									
$C_{a, ll}$ $C_{b, ll}$	0,081 0,010	0,058 0,007	0,071 0,011	0,067 0,009	0,059 0,007	0,068 0,008	0,077 0,011	0,065 0,009	0,059 0,007
0.55									
$C_{a, ll}$ $C_{b, ll}$	0,088 0,008	0,062 0,006	0,080 0,009	0,072 0,007	0,063 0,005	0,073 0,006	0,085 0,009	0,070 0,007	0,063 0,006
0.50									
$C_{a, ll}$ $C_{b, ll}$	0,095 0,006	0,066 0,004	0,088 0,007	0,077 0,005	0,067 0,004	0,078 0,005	0,092 0,007	0,076 0,005	0,067 0,004

Un borde achurado indica que la losa continúa a través o se encuentra empotrada en el apoyo; un borde sin marcas indica un apoyo donde la resistencia torsional es despreciable.



RELACION DE LA CARGA W QUE SE TRANSMITE EN LAS DIRECCIONES  $l_a$  Y  $l_b$  PARA CALCULAR EL CORTANTE EN LA LOSA Y LAS CARGAS EN LOS APOYOS

Relación $m = \frac{l_a}{l_b}$	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	CASO 7	CASO 8	CASO 9
1.00									
$W_a$ $W_b$	0,50 0,50	0,50 0,50	0,17 0,83	0,50 0,50	0,83 0,17	0,71 0,29	0,29 0,71	0,33 0,67	0,67 0,33
0.95									
$W_a$ $W_b$	0,55 0,45	0,55 0,45	0,20 0,80	0,55 0,45	0,86 0,14	0,75 0,25	0,33 0,67	0,38 0,62	0,71 0,29
0.90									
$W_a$ $W_b$	0,60 0,40	0,60 0,40	0,23 0,77	0,60 0,40	0,88 0,12	0,79 0,21	0,38 0,62	0,43 0,57	0,75 0,25
0.85									
$W_a$ $W_b$	0,66 0,34	0,66 0,34	0,28 0,72	0,66 0,34	0,90 0,10	0,83 0,17	0,43 0,57	0,49 0,51	0,79 0,21
0.80									
$W_a$ $W_b$	0,71 0,29	0,71 0,29	0,33 0,67	0,71 0,29	0,92 0,08	0,86 0,14	0,49 0,51	0,55 0,45	0,83 0,17
0.75									
$W_a$ $W_b$	0,76 0,24	0,76 0,24	0,39 0,61	0,76 0,24	0,94 0,06	0,88 0,12	0,56 0,44	0,61 0,39	0,86 0,14
0.70									
$W_a$ $W_b$	0,81 0,19	0,81 0,19	0,45 0,55	0,81 0,19	0,95 0,05	0,91 0,09	0,62 0,38	0,68 0,32	0,89 0,11
0.65									
$W_a$ $W_b$	0,85 0,15	0,85 0,15	0,53 0,47	0,85 0,15	0,96 0,04	0,93 0,07	0,69 0,31	0,74 0,26	0,92 0,08
0.60									
$W_a$ $W_b$	0,89 0,11	0,89 0,11	0,61 0,39	0,89 0,11	0,97 0,03	0,95 0,05	0,76 0,24	0,80 0,20	0,94 0,06
0.55									
$W_a$ $W_b$	0,92 0,08	0,92 0,08	0,69 0,31	0,92 0,08	0,98 0,02	0,96 0,04	0,81 0,19	0,85 0,15	0,95 0,05
0.50									
$W_a$ $W_b$	0,94 0,06	0,94 0,06	0,76 0,24	0,94 0,06	0,99 0,01	0,97 0,03	0,86 0,14	0,89 0,11	0,97 0,03

Un borde achurado indica que la losa continúa a través o se encuentra empotrada en el apoyo; un borde sin marcas indica un apoyo donde la resistencia torsional es despreciable.