

# “ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO EN EL USO DE LOSAS RETICULARES EN EDIFICIOS DE VARIAS PLANTAS”

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

### **1.1. Justificación.**

El hormigón es uno de los materiales más usados en el mundo entero, debido a sus bondades y fácil fabricación, el cómo utilizar mejor este material, es un reto que difícilmente podemos dejar de lado ya que se constituye en la alternativa más factible en nuestras construcciones.

Al igual que en otros países, en Bolivia el hormigón armado constituye el principal componente para la construcción de estructuras, ya que las investigaciones realizadas y la práctica misma han demostrado su eficiencia y su fácil elaboración.

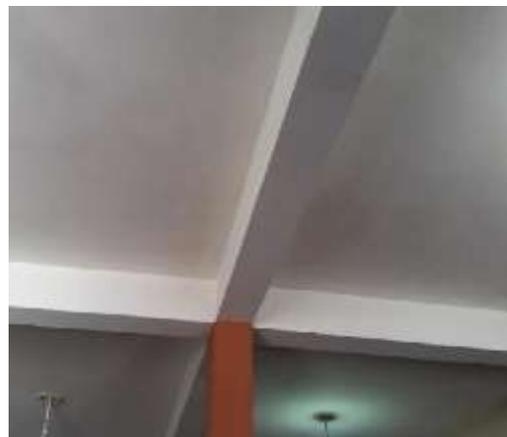
El diseño de edificios en nuestro medio por lo que se puede observar ya sea que por costumbre o por la gran cantidad de estructuras similares construidas de este tipo se plantea comúnmente el uso de elementos como columnas, vigas y losas alivianadas.

Sin embargo los elementos como losas reticulares son una alternativa muy ventajosa desde el punto de vista arquitectónico ya que permite eliminar el uso de vigas de gran canto en luces considerables, debido a la tendencia de diseño arquitectónico a diseñar ambientes más amplios sin columnas internas que dan un aspecto poco estético a los ambientes.

A continuación como referencia se observan imágenes de construcciones que no fueron construidas tomando en cuenta estos aspectos:



*Figuras # 1 – 2 (Se observa las vigas sobresaliendo de la tabiquería)*



*Figuras # 3 – 4 (Se observa las vigas sobresaliendo de la losa y la columna al centro del ambiente) Desde el punto de vista las losas reticulares permiten reducir la carga muerta por vigas de gran canto.*

Debido a éstas y muchas otras ventajas es que este tipo de losas representaría una alternativa eficaz, sencilla y factible en el campo de la construcción.

## **1.2. Planteamiento del problema.**

La necesidad de contar con ambientes amplios tanto para oficinas o para habitar hace que en el diseño de los edificios se encuentren a cubrir grandes luces ya sea por costumbre o por la gran cantidad de edificios construidos en nuestro medio se emplea el uso de losas alivianadas con vigas de gran canto para salvar estas luces, estas vigas de gran canto estéticamente generan un problema ya que son muy notorias y sobresalen de la tabiquería generando una vista no muy agradable para los residentes de los ambientes, también estos elementos le agregan una gran carga permanente a la misma

edificación lo que genera otro problema en las cimentaciones necesitando fundaciones de mayor sección.

De ahí que la *necesidad de renovación y optimización en la selección de los elementos estructurales* nos empuja a buscar soluciones que estén a nuestro alcance; tal es el caso de la presente propuesta que introduce un elemento estructural que permita vencer grandes luces y la supresión de las vigas de gran canto, que pretende ser técnica y económicamente competitivo.

Se pretende promover el empleo de losas reticulares en edificios de varias plantas.

De esta forma se espera realizar un aporte a la industria de la construcción en nuestro país.

### **1.3. Hipótesis**

*La implementación de losas reticulares en la construcción de edificios de varias plantas y grandes luces presenta ventajas técnico-económicas sobre los modelación tradicional.*

### **1.4. Objetivos.**

#### **1.4.1. Objetivo general.**

El objetivo general de la presente tesis es:

“Promover el empleo de losas reticulares con complementos no recuperables en el diseño de edificios de varias plantas y de grandes luces, estudiando y analizando los aspectos tanto técnicos como económicos, para determinar las ventajas y desventajas.”

#### **1.4.2. Objetivos específicos.**

Entre los objetivos específicos podemos mencionar los siguientes:

- Realizar el análisis y diseño estructural con un software estructural de un edificio de varias plantas con luces mayores a 5 metros con el empleo de vigas de gran canto y losas alivianas con viguetas pretensadas.

- Realizar el análisis y diseño estructural con un software estructural de un edificio de varias plantas con luces mayores a 5 metros con el empleo de losas reticulares.
- Realizar la estimación de los presupuestos de construcción de los elementos de zapatas, columnas, vigas y losas de ambos diseños.
- Realizar un análisis comparativo técnico entre los dos diseños.
- Realizar un análisis comparativo económico entre los dos diseños.
- Buscar una alternativa para la reducción de cargas permanentes, optimización de recursos y una posible reducción del costo en la construcción de este tipo de edificios.

### **1.5. Alcance.**

Se realizó dos diseños estructurales de un mismo edificio uno con el empleo de elementos estructurales tradicionales en el caso de vigas con losas aligeradas con viguetas pretensadas y otro con losas reticulares con complementos no recuperables; manteniendo en ambos el mismo número de columnas y luces de ambientes.

Para luego en una segunda etapa realizar la estimación de costos de construcción del esqueleto estructural del edificio en ambos diseños.

Seguidamente se realizó la comparación técnica de ambos diseños, luego una comparación desde el punto de vista económico.

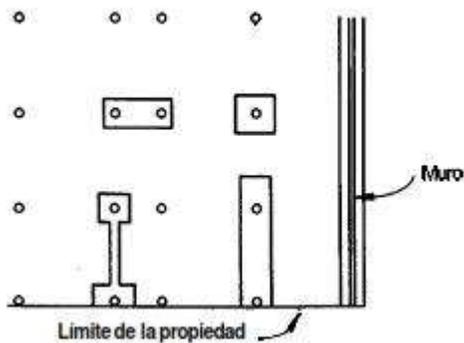
**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2.1. Marco Conceptual

En este capítulo se dará los conceptos básicos de los elementos y términos que son esenciales en todo el desarrollo del presente estudio:

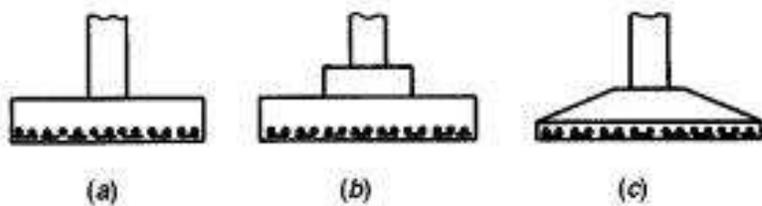
### 2.1.1. Zapatas superficiales

Las zapatas son elementos estructurales encargados de recibir las solicitaciones de las estructuras y transmitir las al suelo portante, pudiendo ser de tipo aislada o corrida.



*Figura # 5 (Tipos de zapatas superficiales)*

**Fuente:** Diseño De Estructuras De Concreto de Arthur H. Nilson (12ma Edición)– Pág. 500



*Figura # 6 (Tipos de zapatas para columnas)*

**Fuente:** Diseño De Estructuras De Concreto de Arthur H. Nilson (12ma Edición) – Pág. 505

### 2.1.2. Columnas

Las columnas son también elementos estructurales verticales, encargados de recibir las cargas que les transmiten las vigas y/o losas y transmitirlas a las fundaciones; generalmente trabajan a flexo compresión, generalmente se tipifican como columnas cortas o esbeltas.

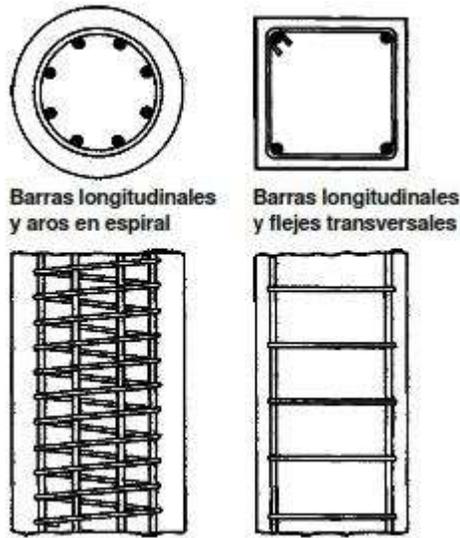


Figura # 7 (columnas de concreto reforzado)

Fuente: Diseño De Estructuras De Concreto de Arthur H. Nilson (12ma Edición)– Pág. 021

### 2.1.3. Vigas

Las vigas son elementos estructurales generalmente horizontales que permiten recibir las cargas transmitidas por los elementos estructurales que se conectan a ellas como ser las losas, generalmente son diseñadas para trabajar a flexión.

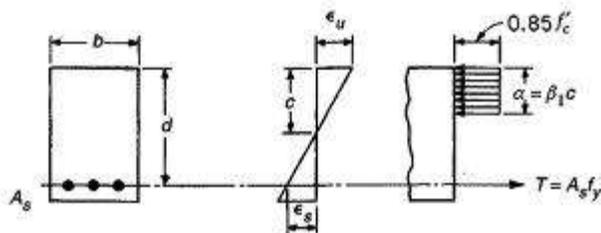


Figura # 8 (columnas de concreto reforzado)

Fuente: Hormigón Armado, 14ª edición de Jiménez Montoya – Pág. 021

### 2.1.3.1. Viga descolgada

Se denomina así a las vigas que interactúan y son parte de las losas en su parte superior pero continúan como solamente vigas en su parte inferior.

### 2.1.4. Losas

Las losas son elementos estructurales planos caracterizados por tener una dimensión mucho menor a las otras dos y por considerarse indeformables en su plano generalmente son diseñadas para trabajar a flexión.

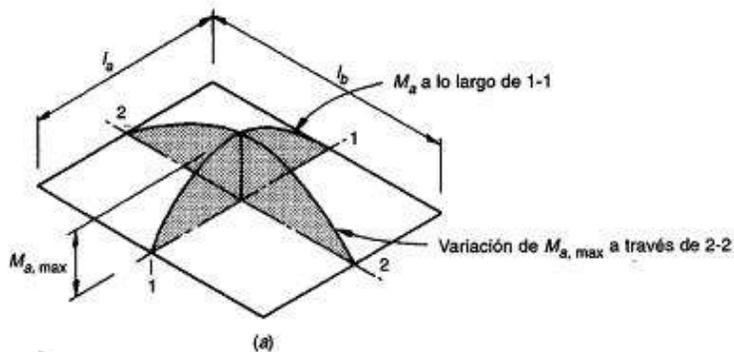


Figura #9 (Momentos en una losa simplemente apoyada en sus bordes con una carga uniformemente distribuida)

Fuente: Diseño De Estructuras De Concreto de Arthur H. Nilson (12ma Edición) – Pág. 021

### 2.1.5. Complementos

Se conoce como complementos de losa a los elementos aligerantes pudiendo ser los más conocidos las bovedillas de cerámica, poliestireno, plástico, etc.

### 2.1.6. Solicitaciones

Se entiende por solicitaciones a los esfuerzos que actúan en la estructura y sus elementos, los cuales se encargan de resistir las mismas.

### 2.1.7. Hormigón Estructural

El hormigón simple tiene una gran capacidad de resistir esfuerzos de compresión pero una escasa resistencia a la tracción, es por esto que aprovechando la adherencia que se logra de hormigón simple y las barras de acero es que se tiene el hormigón armado o estructural que es el hormigón simple reforzado con barras de acero para que pueda resistir esfuerzos de tracción y otros.

### 2.1.8. Capitel

Se denomina capitel al ensanchamiento en la cabeza de los soportes o pilares que sirve de unión entre este y la losa.

### 2.1.9. Ábaco

Se denomina ábaco al macizado que generalmente se realiza alrededor de los pilares en forjados de este tipo, para ayudar a transmitir las solicitaciones a los soportes, pudiendo generalmente mantener el mismo canto de la losa pero cuando así se lo requiere se puede aumentar este canto para evitar el sobre armado de los mimos.

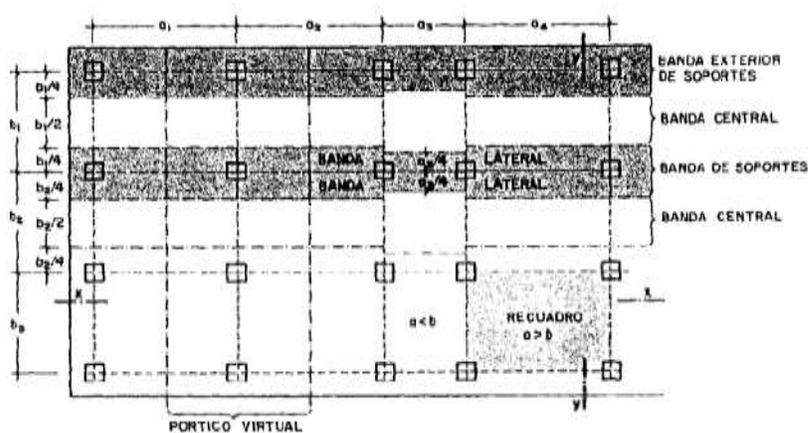


Figura # 10 - Definición de recuadro, bandas y pórtico virtual

Fuente: Hormigón Armado, 14ª edición de Jiménez Montoya – Pág. 565

### 2.1.10. Recuadro

Se define recuadro al segmento de losa o forjado delimitado por los ejes inter columnas que rodean al segmento, éstos a su vez pueden ser *recuadros internos* cuando en la dirección analizada tiene dos recuadros contiguos, así también se denomina *recuadros exteriores* a los que en la dirección analizada en uno de sus lados no tiene un recuadro adyacente.

### 2.1.11. Banda

Se denomina banda a la franja ideal, paralela a la dirección del vano que se supone se puede dividir una fila de recuadros para su análisis estructural; éstas a su vez pueden ser *bandas laterales*, cuando la franja en uno de sus lados paralelos a la dirección de análisis su ancho es menor a  $1/4$  de la dimensión paralela del recuadro, así también se

denomina *banda de soportes*, a la franja situada sobre una fila de soportes rodeado a ambos lados por dos bandas laterales contiguas, también se denomina *banda exterior de soportes laterales* a la franja situada sobre una fila de soportes exteriores.

#### **2.1.12. Pórtico virtual**

Se denomina pórtico virtual a un elemento ideal que se adopta para el cálculo de la placa, según una dirección dada; está constituido por una fila de soportes y dinteles cuya inercia sea igual a la de la zona de la placa limitada por los ejes de los recuadros adyacentes a dichos soportes (Figura # 10), o bien a la suma de las inercias de la placa y de la viga, si es que existe.<sup>I</sup>

#### **2.1.13. Vaciado**

En términos estructurales vaciado se refiere a la colocación de la mezcla de hormigón en los encofrados, también conocido como hormigonado.

#### **2.1.14. Galletas**

En términos comunes dentro de la construcción se conoce como galletas a pequeños elementos de mortero de cemento y arena que son pre fabricados antes del vaciado de elementos como ser losas en los cuales estas galletas son colocadas y sujetas debajo de las parrillas de acero para mantenerlas en la posición deseada al momento del hormigonado.

### **2.2. Conceptualización de losas**

#### **2.2.1. Definición**

Una losa es un elemento estructural, generalmente horizontal, que recibe directamente las cargas y las transmite a los restantes elementos de la estructura, convirtiéndose en un elemento importante para la obtención de espacios libres que puedan ser útiles. Adicionalmente, materializa la separación entre plantas consecutivas y desempeña otras funciones, como aislamiento entre plantas y soporte de acabados.<sup>II</sup>

---

<sup>I</sup> Definiciones basadas en el libro de Hormigón Armado, 14ª edición de Jiménez Montoya – Pág. 565 y 566

<sup>II</sup> Cálculo, Construcción y Patología de los Forjados de Edificación de José Calavera Ruiz, (4ª edición, editorial Intemac, Madrid - España, 1988), pág. 17.

### 2.2.2. Funcionalidad

Entre las funciones más importantes de las losas están:

- Dividir los espacios verticales.
- Servir de techo a los ambientes bajo ella y un piso a los ambientes sobre la misma.
- Recibir las cargas y transmitir las a los soportes (Ver Figura # 11)
- Brindar a la estructura una rigidez estructural.
- En el caso de losas sin vigas, brindar un arriostramiento de las columnas reduciendo la longitud de pandeo de las mismas.
- Brindar un aislamiento térmico entre pisos
- Lograr un aislamiento acústico.
- Repartir las cargas horizontales entre todos los elementos “Acción de diafragma” (Ver Figura # 12)
- Resistencia al fuego

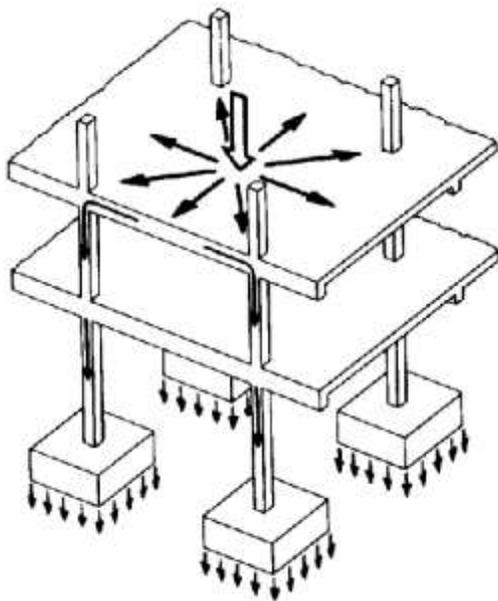


Figura # 11 (Transmisión de cargas por las losas)

**Fuente:** Cálculo, Construcción y Patología de los Forjados de Edificación de José Calavera Ruiz, (4ª edición, editorial Intemac, Madrid - España, 1988), pág. 18.

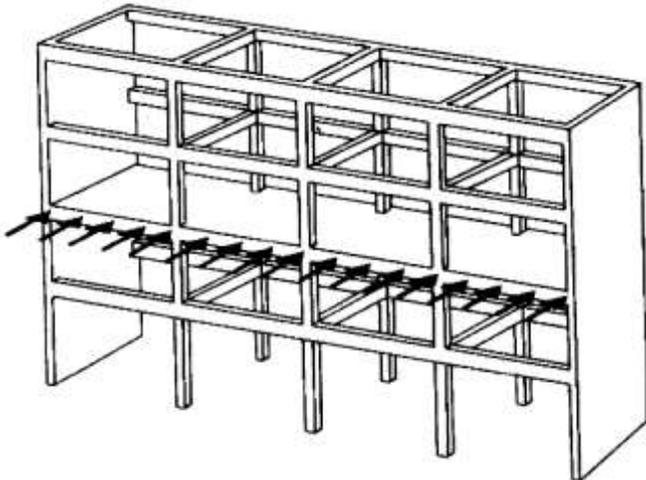


Figura # 12 (Contribución de la losa frente a acciones horizontales)

**Fuente:** Cálculo, Construcción y Patología de los Forjados de Edificación de José Calavera Ruiz, (4ª edición, editorial Intemac, Madrid - España, 1988), pág. 18.

### 2.2.3. Tipología de losas

Las losas y forjados se pueden clasificar de acuerdo a varios factores, entre los más importantes tenemos:

#### 2.2.4. En función al tipo de material constitutivo estructural:

Según el tipo de material constructivo resistente se clasifican en:

- **De hormigón armado o pretensado**, en este tipo de losas pueden ser losas macizas, alivianadas con elementos resistentes (Nervios de hormigón Armado o pretensado).
  - **De madera**, generalmente toda la losa está constituida por madera.
- **De acero**, es muy habitual el uso de forjados metálicos en edificaciones donde la rapidez de construcción es un factor determinante, ya que el montaje es muy rápido. La estructura metálica en general es muy ligera y más flexible que la de hormigón armado, por lo que se comporta mejor en terrenos que puedan plantear asientos diferenciales.<sup>1</sup>
- **Mixtos**, los materiales usados estructuralmente son madera-acero, hormigón-acero, cerámica armada.

<sup>1</sup> Manual de Aligeramiento de Estructuras de ANAPE, Pág. 69

### 2.2.5. En función del grado de fabricación:

- **“In Situ”** Son las que se ejecutan totalmente en el lugar de obra.
- **Pre fabricados**, son aquéllas que su fabricación se la hacer fuera de la obra realizándose en obra el montando total de la estructura resistente pre fabricada y un tratamiento de juntas (Figura # 13).
- **Mixtos**, los elementos que generalmente son pre fabricados son las partes resistentes, aligerantes o ambos elaborándose en obra la Capa de compresión o también la parte resistente.

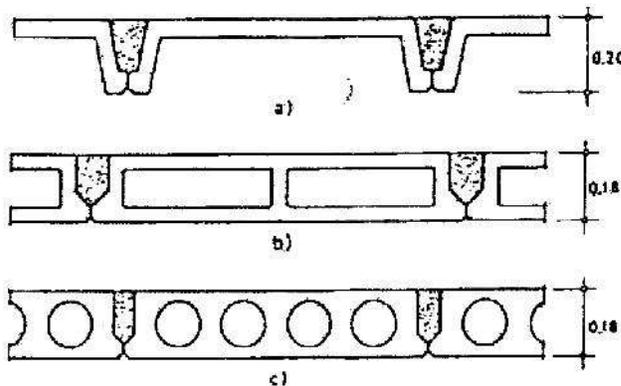


Figura # 13 (Losas totalmente prefabricadas)

Fuente: Cálculo, Construcción y Patología de los Forjados de Edificación de José Calavera Ruiz, (4ª edición, editorial Intemac, Madrid - España, 1988), pág. 23.

### 2.2.6. En función a la dirección de transmisión de cargas

- **Unidireccionales**, son aquellas losas que por su sistema de apoyo y diseño transmiten la mayor parte de las cargas que actúan en ella en una sola dirección (Figura # 14) Figura # 14 (Losas unidireccionales)
- **Bidireccionales**, son aquellas losas que por su sistema de apoyo y diseño transmiten las cargas que actúan en ella en dos direcciones ortogonales (Figura # 15)

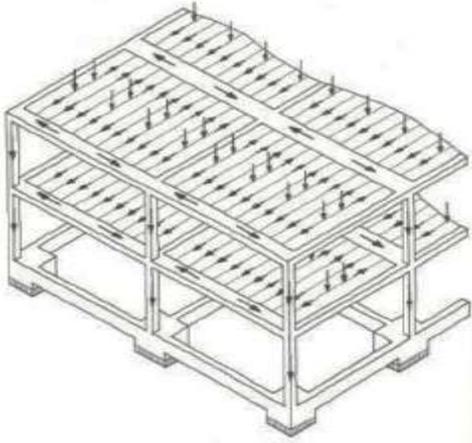


Figura # 14 (Losas unidireccionales)

**Fuente:** Cálculo, Construcción y Patología de los Forjados de Edificación de José Calavera Ruiz, (4ª edición, editorial Intemac, Madrid - España, 1988), pág. 19

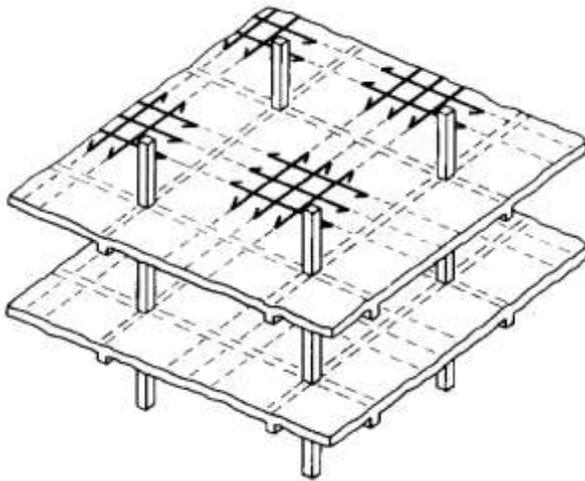


Figura # 15 (Losas bidireccionales)

**Fuente:** Cálculo, Construcción y Patología de los Forjados de Edificación de José Calavera Ruiz, (4ª edición, editorial Intemac, Madrid - España, 1988), pág. 18

### 2.2.7. En función al grado de hiperestatismo

- **Apoyos discontinuos**, son losas que se apoyan en vigas o muros sin ningún tipo de continuidad con otras losas, se puede decir que no existe transmisión de esfuerzos entre losas.
- **Apoyadas directamente en columnas**, son losas que tienen continuidad en los apoyos con las losas adyacentes, generando momentos negativos en los apoyos que para resistirlo se coloca armadura para este fin.

### 2.2.8. En función al tipo de construcción

- **Macizas**, son losas que por su construcción su sección es constante tanto en todas las direcciones (Figura # 16).
- **Alivianadas**, este tipo de losa lleva una capa de compresión en la parte superior y la parte inferior de su sección es reducida con la presencia de material aligerante.

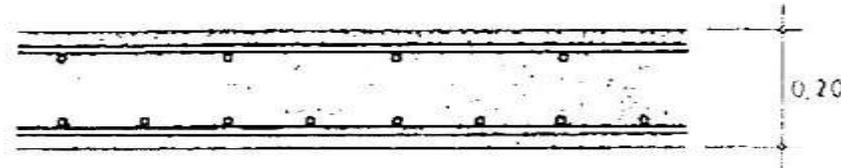


Figura # 16 (Sección de losa maciza)

**Fuente:** Cálculo, Construcción y Patología de los Forjados de Edificación de José Calavera Ruiz, (4ª edición, editorial Intemac, Madrid - España, 1988), pág. 21



Figura # 17 (Losa unidireccional parcialmente pre fabricado)

**Fuente:** Cálculo, Construcción y Patología de los Forjados de Edificación de José Calavera Ruiz, (4ª edición, editorial Intemac, Madrid - España, 1988), pág. 19

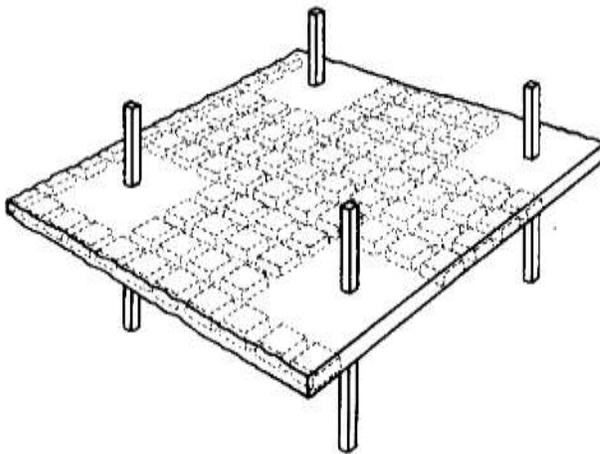


Figura # 18 (Losa aligerada sin la presencia de vigas)

**Fuente:** Cálculo, Construcción y Patología de los Forjados de Edificación de José Calavera Ruiz, (4ª edición, editorial Intemac, Madrid - España, 1988), pág. 20

### **2.2.9. En función al tipo de armadura**

- *Armadas*, son losas que por su construcción las armaduras empiezan a trabajar después del endurecimiento del hormigón y luego del descimbrado.
- *Pretensada*, son losas que por su construcción las armaduras activas se tensan antes del vaciado en el caso de losas con armadura pre tesada y en el caso de losas con armadura pos tesada la misma es colocada y tesada luego del endurecimiento del hormigón; pero en ambos casos la armadura está tesada antes de la puesta al servicio.

### **2.3. Tendencias de uso más frecuentes.**

De forma general por lo que se puede evidenciar en las pequeñas y se puede afirmar que el tipo de losa más utilizada en nuestro medio son las losas alivianadas con viguetas prefabricadas debido por factores como la costumbre, relativa facilidad de construcción, menores encofrados y tiempo de ejecución menores que las losas macizas u otras, lleva a que la mayoría construya con este tipo de losa, con o sin ningún control técnico.

**CAPÍTULO III**  
**MÉTODOS DE CÁLCULO**

### **3.1. Consideraciones generales**

Las nuevas tendencias y exigencias arquitectónicas hace que cada edificación a encarar en un diseño sea un desafío para el ingeniero civil encontrándose cada vez que le presentan un diseño arquitectónico con modelos y geometría fuera de lo común, luces de ambientes cada vez más grandes, diseños que no tienen ninguna simetría, la reducción de columnas interiores; éstos y muchos otros factores hacen que cada vez se trate de buscar soluciones para satisfacer las nuevas exigencias en la construcción.

#### **3.1.1. Cargas sobre la estructura**

Las estructuras resistentes están sometidas a solicitaciones internas y externas desde que es construido y a lo largo de toda su vida, estas solicitaciones también llamadas cargas éstas pueden ser:

##### **3.1.1.1. Cargas gravitacionales**

Son aquellas cargas que actúan perpendicularmente al plano de las losas, éstas pueden ser por peso propio o por sobrecarga.

##### **3.1.1.2. Cargas horizontales**

Este tipo de carga puede ser originado por acciones como el viento y por sismos.

##### **3.1.1.3. Cargas por peso propio**

Son parte de las cargas gravitacionales y se define como cargas por peso propio a las cargas producidas por el peso propio de los elementos estructurales resistentes, se caracterizan principalmente por no cambiar en el tiempo.

#### **3.1.1.4. Cargas permanentes**

Son parte de las cargas gravitacionales y son aquellas cargas producidas por el peso propio de elementos no estructurales como ser tabiquería, cielos rasos, cielos falsos, Cubiertas, pisos, revoques, etc., su característica también por no cambiar con el paso del tiempo pero puede variar o dejara de actuar en el caso de realizar remodelaciones, mejoras, etc.

#### **3.1.1.5. Cargas Variables**

Se refiere a las cargas que varían con el tiempo, entre ellas tenemos:

##### **3.1.1.5.1. Sobrecargas de Uso**

Son parte de las cargas gravitacionales y las mismas se producen al poner en servicio la estructura como ser el peso de las personas, muebles, etc.

##### **3.1.1.5.2. Cargas de viento**

Son parte de las cargas horizontales y son producidas por la presión del viento al chocar con la estructura, que en edificaciones de gran altura su acción puede ser predominante a la hora de estimar cargas.

##### **3.1.1.5.3. Cargas de nieve**

Son parte de las cargas gravitacionales y son producidas por la acumulación de nieve en las cubiertas y terrazas, el peso de la misma sobrecarga a la estructura.

##### **3.1.1.5.4. Cargas por efectos sísmicos**

Son parte de las cargas horizontales y son producidas en la estructura debido a los movimientos sísmicos.

#### **3.1.2. Concepción de la estructura.**

Se refiere a realizar un análisis del aspecto y disposición arquitectónica de la estructura; a continuación presentamos de manera esquemática los planos y vistas de la estructura analizada.

VISTA EN PLANTA AMOBLADA  
(1ERA, PLANTA)

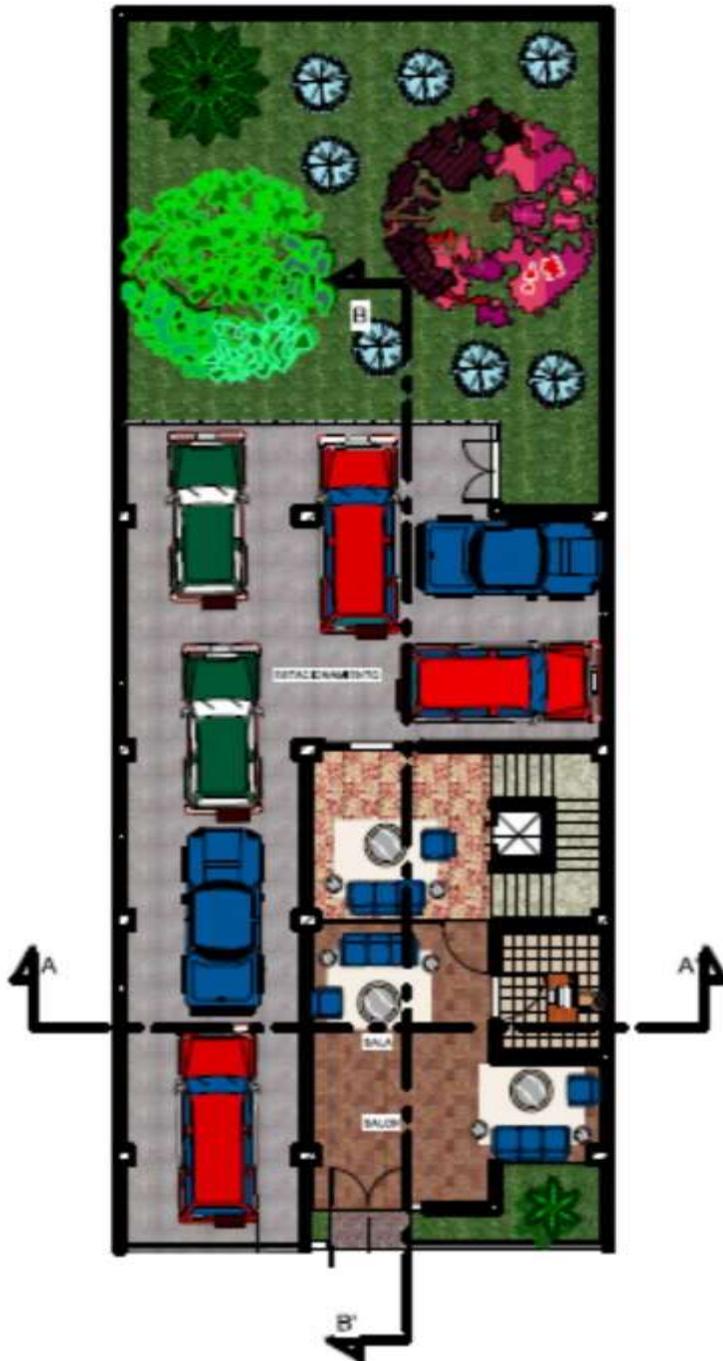


Figura # 19(Vista en planta del edificio objeto del estudio – planta baja)

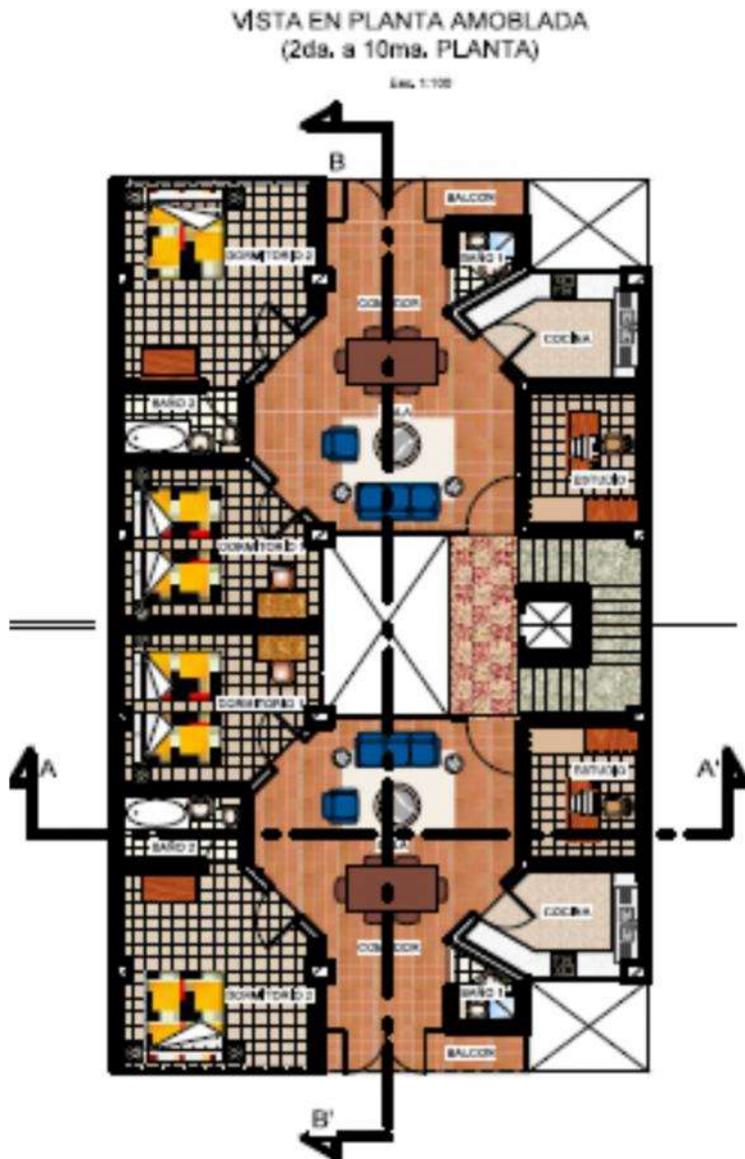


Figura # 20(Vista en planta del edificio objeto del estudio – plantas 2 - 10)

FACHADA FRONTAL



Figura # 21(Vista frontal del edificio objeto del estudio)



Figura # 22(Corte longitudinal del edificio objeto del estudio)

### 3.1.3. Idealización de la estructura

A continuación desglosaremos el edificio en plantas, pórticos y posible disposición de columnas, vigas y losas en la edificación:

Después de analizar los planos arquitectónicos y de tomar en cuenta las condiciones de estética y funcionalidad que se le quiere dar al bloque de departamentos habitacionales, aun cuando en este sistema de losas con viguetas necesariamente tienen que ir apoyadas sobre vigas, por lo tanto este aspecto no pudo ser salvado en este diseño, pero si se



### **3.1.4. Marco Normativo**

Lamentablemente en nuestro país la normativa referente a construcciones tiene poca atención de autoridades, entidades y personas que tienen que ver con el tema; al no contar con una entidad que genere reglamentaciones y normas, las dos grandes tendencias en cuanto a las normas de construcción que se han logrado imponer son la normativa española ahora EHE-08 y la normativa Norteamericana actualmente ACI-

318-11, nuestro antiguo código Boliviano del Hormigón CBH-087, tiene un gran apego o similitud con la norma española.

Para este estudio se adopta el código Boliviano del Hormigón CBH-087 que aunque no es actual es el único reglamento reconocido en nuestro país, pero habiendo aspectos que no están contemplados en esta norma, se consideró estos aspectos con las normas EHE-08 y ACI 318-11.

### **3.1.5. Análisis de materiales a emplear y sus propiedades**

Dado que en nuestro país aún seguimos explotando nuestros recursos pétreos a un costo relativamente bajo, es que el hormigón resulta ser el material más conveniente en elementos resistentes de las estructuras aunque tengamos que importar de otros países el acero de construcción, el cual es el complemento esencial para formar el hormigón armado.

#### **3.1.5.1. Hormigón armado**

El concreto es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena y grava y agua; después, esta mezcla se endurece en formaletas con la forma y dimensiones deseadas. El cuerpo del material consiste en agregado fino y grueso. El cemento y el agua interactúan químicamente para unir las partículas de agregado y conformar una masa sólida. Es necesario agregar agua, además de aquella que se requiere para la reacción química, con el fin de darle a la mezcla la trabajabilidad adecuada que permita llenar las formaletas y rodear el acero de refuerzo embebido, antes de que inicie el endurecimiento. Se pueden obtener

concretos en un amplio rango de propiedades ajustando apropiadamente las proporciones de los materiales constitutivos<sup>I</sup>.

Entre las partes constituyentes del mismo son:

#### **3.1.5.1.1. Cemento**

Un material cementante es aquél que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados inertes y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuadas<sup>II</sup>.

Para la fabricación de hormigón estructural que es el cual nos interesa en este caso, se lo hace con los conocidos como cementos hidráulicos, el cual para lograr completar el proceso químico de hidratación se requiere la adicción de agua mediante el cual el polvo de cemento fragua y se endurece para formar masas sólidas.

El más común en el mercado de este tipo de cementos es el de tipo Portland<sup>III</sup>

#### **3.1.5.1.2. Agregados**

El hormigón como tal estará compuesto de un gran porcentaje de agregados y una masa de cemento acompañada de agua no consumida en el proceso de hidratación y vacíos, siendo estos dos últimos factores negativos para la resistencia del hormigón, reducir estos aspectos requiere de una buena gradación en los agregados de tal forma que con esta gradación se genera la menor cantidad de vacíos y por ende menor volumen de pasta de cemento, otros aspectos que influyen negativamente en el hormigón son la presencia de arcillas, limos y materia orgánica en los agregados los cuales influyen en la adherencia de la pasta cemento y los agregados, los mismos también deben tener una gran dureza, durabilidad y resistencia a la intemperie.

Así mismo los agregados se clasifican en dos grandes grupos los cuales son: “Agregado Fino” que es todo aquel agregado que logre pasar el Tamiz N° 4, el resto recibe el nombre de “Agregado grueso”, para lograr una gradación adecuada en los agregados

---

<sup>I</sup> **Fuente:** Hormigón Armado de Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer, Francisco Moran Cabré (14ª edición).

<sup>II</sup> **Fuente:** Diseño De Estructuras De Concreto de Arthur H. Nilson (12ma Edición) Pág. 28

<sup>III</sup> El cemento Portland es un material grisáceo finamente pulverizado, conformado fundamentalmente por silicatos de calcio y aluminio

generalmente se separan en dos o tres fajas de aberturas de tamices, para luego combinarlos de la mejor forma hasta obtener la gradación deseada.

#### **3.1.5.1.3. Agua**

El agua de amasado juega un doble papel en el hormigón. Por un lado, participa en las reacciones de hidratación del cemento; por otro, confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra.

La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario, ya que el agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos en el hormigón (capilares) que disminuyen su resistencia; pero, por otra parte, no puede disminuirse excesivamente el contenido en agua, pues podrían obtenerse masas poco trabajables y de difícil colocación en obra<sup>1</sup>.

#### **3.1.5.1.4. Dosificación**

La dosificación del hormigón es uno de los factores más importantes que influyen en alcanzar las resistencias esperadas en el hormigón; tomando en cuenta que la mejor dosificación es aquella que con el menor costo se alcance una gran resistencia, para ello debemos estimar la mejor combinación de agregados, cemento y agua, en cuanto a los agregados se recomienda que tengan una buena resistencia y una adecuada granulometría considerando que a una mejor gradación se obtendrá menor porcentaje de vacíos y por lo tanto menor cantidad pasta de cemento será la requerida para llenar estos vacíos, también este material debe estar exento de material orgánico y otros que influyan negativamente en las resistencias esperadas; otro aspecto a tomar en cuenta es la relación agua cemento necesaria ya que a mayor cantidad de agua se obtendrán hormigones más plásticos y manejables a coste de que se generará una mayor cantidad de vacíos cuando el agua reaccione con el cemento, (Ver Figura # 24 ).

---

<sup>1</sup> **Fuente:** Hormigón Armado de Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer, Francisco Moran Cabré (14ª edición).

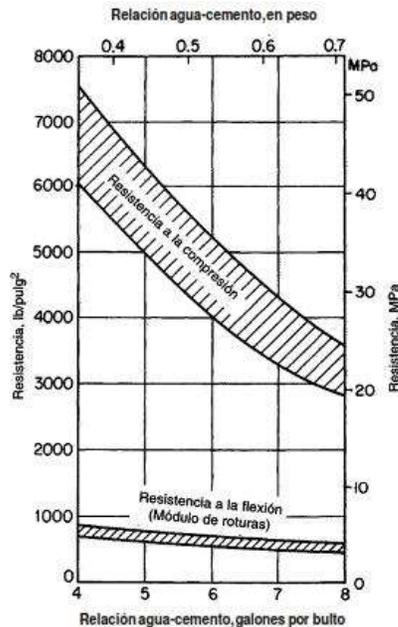


Figura # 24 (Efecto de la relación agua-cemento en la resistencia a la compresión y a la tensión por flexión a los 28 días)

Fuente: Diseño De Estructuras De Concreto de Arthur H. Nilson (12ma Edición) Pág. 32

Los concretos utilizados en la construcción de edificios tienen asentamientos que varían generalmente entre 2 y 6 pulgada<sup>1</sup>

Usualmente la dosificación usada en las obras convencionales es la dosificación volumétrica que indica la proporción en volumen de cemento, arena y grava, este método para estructuras importantes como lo son las losas reticulares se tiene que realizar una dosificación en peso de acuerdo a las características de los materiales, para ello existen diferentes métodos de dosificación, obteniéndose relaciones en peso de cemento, arena y grava, se aconseja que para lograr esta dosificación es aconsejable que esta dosificación se la realice en plantas de mezclado, ya que en este equipo se podrá realizar una adecuada dosificación de los materiales en peso.

### 3.1.5.1.5. Transporte, Vaciado, Compactado y curado del hormigón.

El transporte del hormigón a los lugares de emplazamiento del mismo es un aspecto que debe ser muy controlado ya que durante este proceso el mayor de los riesgos es

<sup>1</sup> Fuente: Diseño De Estructuras De Concreto de Arthur H. Nilson (12ma Edición) Pág. 32

hacer que el material se segregue; que se da cuando componentes individuales del concreto tienden a superarse debido a su heterogeneidad cuando los componentes más pesados tienden a acumularse en el fondo dejando al material más liviano que ascienda.

El vaciado es el proceso de transferir el concreto fresco, del dispositivo de conducción a su sitio final de colocación en los encofrados, un vaciado adecuado se lo realiza cuando se evita la segregación de los materiales, inmediatamente del vaciado se debe compactar el hormigón con la utilización del equipo adecuado como lo son los vibradores mecánicos de alta frecuencia.

Para evitar daños en las piezas de hormigón como la pérdida de agua es que se debe especialmente en la primera semana realizar un curado manteniendo húmeda la superficie de las piezas de hormigón, en el caso de ser estructuras más importantes se debe realizar el curado de por lo menos las dos semanas desde el vaciado.

Otro factor importante y que debe ser muy tomado en cuenta es cuando las temperaturas del ambiente son muy bajas, algunos recomiendan realizar el calentado de agua para luego humedecer las estructuras con esta agua caliente y evitar de este modo que los elementos de hormigón se deterioren por bajas temperaturas durante su proceso de endurecimiento.

#### **3.1.5.1.6. Control de calidad**

El control de calidad en una obra es de vital importancia ya que ante un adecuado control de calidad se logra que las obras se construyan de acuerdo a lo previsto en la etapa de diseño; entendiendo por control de calidad al conjunto de acciones que se desarrolla antes, durante y después de la construcción, para que las obras resulten de acuerdo a lo previsto.

Este control es muy importante desde el diseño de la obra hasta la construcción y después de ella ya que por ejemplo de qué nos serviría contar con un buen diseño de una edificación, pero que con un inadecuado o nulo control de calidad a la hora de la construcción no se respeten las especificaciones técnicas para la construcción de esta obra y por ende la estructura tendrá deficiencias en su resistencia y funcionalidad cuando sea puesta en servicio.

### 3.1.5.1.7. Diagrama Esfuerzo – Deformación a compresión del hormigón

El comportamiento de una estructura ante las solicitaciones depende mucho del diagrama Esfuerzo-deformación del material que la compone debido a que el hormigón se destaca por su buen trabajo ante la compresión es que es muy importante conocer este diagrama para entender mejor el comportamiento de la estructura.

El diagrama esfuerzo – deformación del hormigón a compresión cuando se carga una estructura hasta la rotura presenta una primera parte una línea sensiblemente rectilínea para luego seguir una trayectoria parabólica (Figura # 25).

Si se repite el ensayo anterior pero si al llegar a la tensión  $\sigma_0$  se descarga la probeta la línea de descarga  $O'A$  es similar a la tangente inicial del tramo  $OA$  de esta manera aparece la deformación remanente  $O-O'$ , a partir de ese momento y para los siguientes procesos de carga – descarga funciona el diagrama  $O'AMN$ . (Figura # 26), es decir con un tramo inicial  $O'A$  perfectamente rectilíneo siempre y cuando no se sobrepase la tensión  $\sigma_0$ .<sup>1</sup>

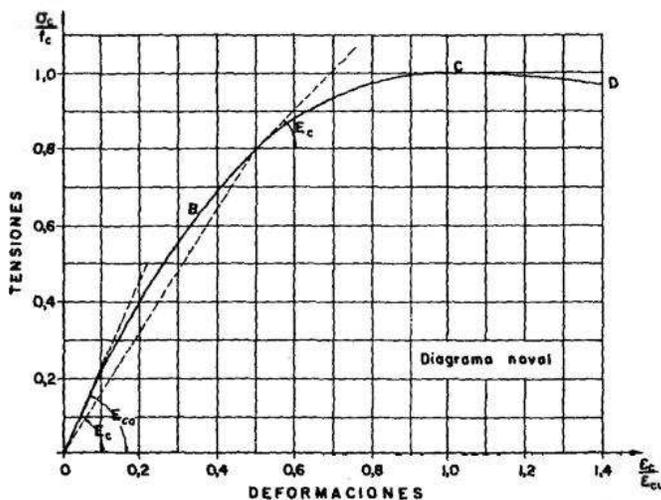


Figura # 25 (Diagrama noval  $\sigma$ - $\epsilon$  del hormigón)

Fuente: Hormigón Armado de Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer, Francisco Moran Cabré (14ª edición). Pág. 90

<sup>1</sup> Hormigón Armado de Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer, Francisco Moran Cabré (14ª edición). Pág. 90,91

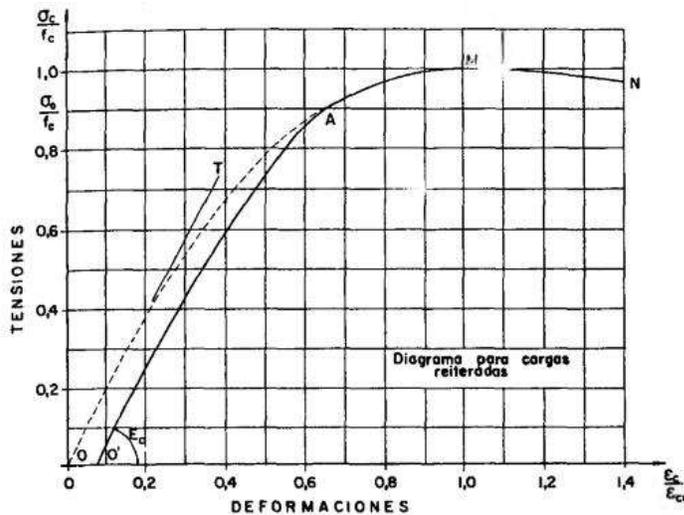


Figura # 26 (Diagrama no lineal  $\sigma$ - $\epsilon$  del hormigón)

Fuente: Hormigón Armado de Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer, Francisco Moran Cabré (14ª edición). Pág. 91

### 3.1.5.1.8. Módulo de deformación longitudinal del hormigón, $E_c$ .

No siendo el hormigón un material elástico entonces no se podría hablar de un módulo de elasticidad sin en cambio si de un módulo de deformación longitudinal; dentro de este contexto se tiene que diferenciar necesariamente entre dos módulos de deformación longitudinal, el primero correspondiente al **módulo tangencial** cuyo valor es variable en función de la tangente inicial de la curva de deformación y el segundo corresponde al **módulo secante** cuyo valor también es variable en cada punto pero su valor está dado por la inclinación de la recta que une el punto inicial de la curva esfuerzo deformación y el punto referido.

De acuerdo a la norma española EHE el valor del módulo secante se adoptará igual a:

$$E_c = 8500 \sqrt[3]{f_c}$$

Donde:

$f_{cm}$  = Resistencia media a la compresión del hormigón a 28 días de edad

Esta expresión es válida siempre y cuando la tensión en el hormigón no sobrepase el 40 % de  $f_{cm}$

Y para cargas instantáneas o rápidamente variables se debe utilizar la expresión de cálculo siguiente

$$= \quad * \quad E_c \quad \beta_E \quad E_m$$

$$\beta_E = 1,30 - \frac{f_c}{400} \leq 1,175$$

### 3.1.5.1.9. Coeficiente de Poisson, $\nu$ .

El coeficiente de Poisson,  $\nu$ , es la relación, cambiada de signo, entre las deformaciones transversales y las longitudinales correspondientes, en piezas que trabajan a compresión simple. El coeficiente de Poisson relativo a las deformaciones elásticas bajo tensiones normales de utilización puede tomarse igual a 0,2, si bien en ciertos cálculos puede desprejarse el efecto de la dilatación transversal. Al aumentar la carga e iniciarse la plastificación del hormigón, el coeficiente de Poisson aumenta rápidamente hasta alcanzar un valor del orden de 0,5<sup>1</sup>.

### 3.1.5.1.10. Acero estructural

El acero es un material elemental para el hormigón estructural en la resistencia a esfuerzos de tracción, es por ello que a medida que se incrementaba el uso del hormigón armado o estructural se vio la necesidad de mejorar la adherencia de las barras de acero al hormigón entonces se decidió proveer de unas corrugas o resaltos en todo el largo de las barras de acero, que hoy en día son la pieza elemental del hormigón armado

#### 3.1.5.1.10.1. Tipos y propiedades de las barras.

Entre los tipos de barras de acero corrugadas tenemos las barras soldables y las que son soldables y además tienen una ductilidad especial, dentro de cada una se tiene diferentes tipos de acuerdo al límite elástico del acero, es así que tenemos a continuación los más conocidos

- Acero B 400 S
- Acero B 400 SD
- Acero B 500 S
- Acero B 500 SD

---

<sup>1</sup> **Fuente:** Hormigón Armado de Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer, Francisco Moran Cabré (14ª edición). Pág. 90,91

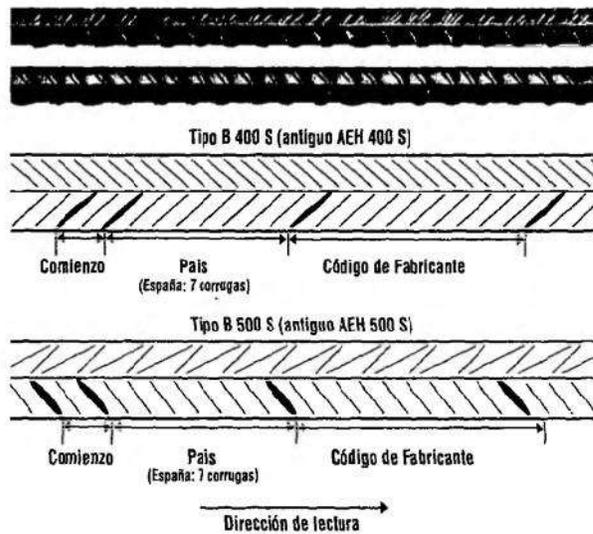


Figura # 27 (Forma de corrugas y código de identificación de barras. Fuente: Calidad Siderúrgica, 1998)

**Fuente:** Hormigón Armado de Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer, Francisco Moran Cabré (14ª edición). Pág. 114

Entre los aspectos más importantes que definen el comportamiento del acero tenemos los siguientes:

- Módulo de elasticidad  $E_s$ .
- Módulo de elasticidad  $E_s$ .
- Coeficiente de Poisson  $\nu$ .
- Adherencia con el concreto.
- Grados y resistencias.

### 3.1.5.1.10.2. Módulo de elasticidad $E_s$ .

Las dos características numéricas principales que determinan los rasgos de una barra de refuerzo son su límite de fluencia (generalmente iguales en tensión y compresión) y su módulo de elasticidad  $E_s$ . Este último ( $E_s$ ) es casi el mismo para todos los aceros de refuerzo (pero no para los aceros de pre-esfuerzo) y se toma el valor como  $E_s = 29000000 \text{ lb/plg}^2$ <sup>1</sup> que son aproximadamente 200000

Mpa.; valor considerado en la norma española EHE 08, pero en la norma

<sup>1</sup> Fuente: Diseño De Estructuras De Concreto de Arthur H. Nilson (12ma Edición) Pág. 55

Boliviana toma un valor de  $E_S = 210000$  MPa, valor que será utilizado en el presente estudio.

#### **3.1.5.1.10.3. Coeficiente De Poisson, $\nu$**

El coeficiente de Poisson corresponde a la razón entre la elongación longitudinal y a la deformación transversal en el ensayo de tracción.

El coeficiente de Poisson que vale  $= 0.3$ <sup>I</sup>

#### **3.1.5.1.10.4. La adherencia con el Hormigón**

Para lograr una acción efectiva del refuerzo en el hormigón, es esencial que el acero y el concreto se deformen en forma conjunta, es decir, es necesario que haya una adherencia suficientemente fuerte entre los dos materiales para asegurar que no ocurrirán movimientos relativos entre las barras de refuerzo y el concreto circundante. Esta unión se produce por la fuerte adhesión química que se desarrolla en la interface acero-concreto, por la rugosidad natural de la superficie de las barras de refuerzo laminadas en caliente y por los resaltes superficiales poco espaciados que se forman en las barras de refuerzo (barras corrugadas) con el fin de proveer un alto grado de entrelazamiento entre los dos materiales.<sup>II</sup>

#### **3.1.5.2. Viguetas pretensadas.**

Son elementos resistentes generalmente prefabricados y mayores resistencias del hormigón y alambres de pre esfuerzo, al prefabricarse esto hace posible que se tengan mejores condiciones de control de calidad, su diseño está en función especialmente del vano a cruzar, son elementos diseñados para trabajar de simplemente apoyada en sus dos extremos, actualmente existe una gran demanda por este tipo de elemento en nuestro país, justamente por esa razón es que existe mucha oferta de las mismas.

#### **3.1.5.3. Complementos para losa.**

Existen dos tipos generales de casetones: los recuperables y los no recuperables, los primeros que son parte de este estudio los más conocidos y utilizados en nuestro medio

---

<sup>I</sup> Fuente: Norma Básica de la Edificación “NBE-EA-95” Estructuras de Acero en Edificación

<sup>II</sup> Fuente: Diseño De Estructuras De Concreto de Arthur H. Nilson (12ma Edición) Pág. 51

son los de poliestireno ya que es un material liviano y además ayuda a obtener un mejor aislamiento acústico entre plantas. Los bloques de poliestireno se pueden fabricar en múltiples anchos y altos, y en una amplia gama de contornos, adaptándose a cualquier diseño de la losa. Por su elevada rigidez estructural y versatilidad de diseño se utilizan, cada vez más, las losas en dos direcciones o reticulares.

Entre las ventajas que ofrece respecto a los complementos de cerámica tenemos las siguientes:

- Los bloques de poliestireno a diferencia de las de cerámica pueden acomodarse mejor en el momento de la colocación en obra ya que puede ser flexible en irregularidades geométricas o constructivas.
- Los bloques de poliestireno son mucho más livianos por lo que ayudan a aliviar la estructura y por su peso menor también son más manejables y ayuda a incrementar el rendimiento de mano de obra en el colocado.
- Este material no es frágil en comparación con la arcilla evitando así pérdidas al momento del acopio y traslado del material a la obra.



*Figura # 28(Complemento de poliestireno para losa reticular)*

### **3.1.6. Hipótesis de cargas**

Para este proyecto se definió las siguientes hipótesis de cargas:

- Peso propio
- Cargas muertas
- Sobrecargas
- Carga de viento (en x, en -x, en y, en -y)

Para el análisis de la estructura se debe buscar la combinación de cargas más desfavorable para la estructura.

De acuerdo al Código Boliviano del Hormigón se tiene que para lograr tal situación se debe disminuir la resistencia de los materiales y aumentar las cargas, de acuerdo a condiciones de control de calidad.

Hipótesis I  $\gamma_f * G + \gamma_f G^* + G$

Hipótesis II  $0,90 * (\gamma_f * G + G^*) + 0,90 * \lambda_f * W$

Hipótesis III  $0,80 * (\gamma_f * G + G^*) + F_e + W_e$

### 3.1.7. Software de cálculo estructural.

Existen muchos programas de modelado estructural; uno de los cuales es CYPECAD, caracterizado porque además de realizar el análisis estructural de los proyectos, este plasma los resultados en planos, Cypecad es desarrollado por la empresa *CYPE Ingenieros*, la versión a utilizar será la edición 2014 versión P.

*CYPECAD ha sido concebido para realizar el diseño, cálculo y dimensionado de estructuras de hormigón armado y metálicas para edificación y obra civil, sometidas a acciones horizontales, verticales y a la acción del fuego.*

*Estas estructuras pueden estar compuestas por: pilares (de hormigón, de acero y mixtos), pantallas y muros; vigas de hormigón, metálicas y mixtas; forjados de viguetas (genéricas, armadas, pretensadas, in situ, metálicas de alma llena y de celosía), placas aligeradas, losas mixtas, reticulares y losas macizas; y cimentaciones por losas, vigas de cimentación, zapatas y encepados. También dimensiona y comprueba uniones metálicas soldadas y atornilladas (incluidas las placas de anclaje).*

*Es posible incluir en la estructura de CYPECAD obras de CYPE 3D integradas (perfiles de acero, aluminio y madera), para su dimensionamiento y optimización de secciones desde el propio CYPECAD<sup>1</sup>.*

### **3.2. Análisis de alternativas de solución.**

Entre las alternativas a desarrollar tenemos al sistema tradición de losas unidireccionales con viguetas pretensadas y las losas reticulares.

#### **3.2.1. Losas Reticulares Apoyadas Sobre Columnas**

##### **3.2.1.1. Generalidades**

Las losas o placas planas sin vigas resultan una buena alternativa para salvar aspectos como la estética en los ambientes al presentar techos planos donde da la libertad de colocar la tabiquería en cualquier dirección sin requerir alguna consideración adicional en el diseño, pero ante las grandes luces que exigen un altura de losa considerable haciendo que la estructura se encarezca, es por ello que las losas reticulares de hormigón armado con complementos perdidos, cumple con las mismas cualidades pero al ser una losa alivianada reduce sus costos en comparación con las placas planas (Ver Figura # 29) ; a continuación se presentan algunos de los motivos por los cuales se recomendaría su uso:

- Conseguir ambientes más amplios sin columnas centrales.
- Conseguir un techo totalmente plano y elegante.
- Disfrutar de un aislamiento acústico entre plantas.
- Poder emplazar la tabiquería con cualquier geometría, sin que esto requiera un reforzamiento adicional para resistir la misma.

<sup>1</sup> Información obtenida de la página de soporte del programa: [cypecad.cype.es](http://cypecad.cype.es)

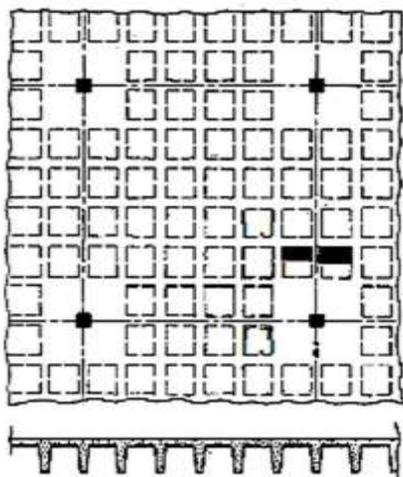


Figura # 29 (Losa Reticular)

**Fuente:** Diseño De Estructuras De Concreto de Arthur H. Nilson (12ma Edición), pág. 366

### 3.2.1.2. Breve reseña histórica

En referencia a las placas del hormigón armado apoyadas directamente sobre columnas es difícil precisar su origen pero se puede indicar que tiene una aparición relativamente reciente, ya que se conocen construcciones este tipo en Norte América en el primer cuarto del siglo XX, es por esta razón que se podría indicar que este tipo de losas tiene su origen en ese país, estas primeras construcciones fueron totalmente empíricas, pero rápidamente se iniciaron los estudios al respecto, destacándose trabajos como los de NTCHOLS, basados en los previos de WESTERGAARD y la norma norteamericana ACI 318 y sus posteriores ediciones ha dedicado una gran atención a este tipo de estructura, modificando su método de cálculo de acuerdo a la experiencia de uso, la investigaciones teóricas y experimentales desarrolladas<sup>I</sup>.

También el código británico CP110 (BSI, 1972) ha encarado el tema recomendando métodos aproximados de cálculo, que en revisiones posteriores conducen a criterios muy similares a los del ACI<sup>II</sup>.

Las losas reticulares tal como se las conoce actualmente derivan de las losas macizas continuas que se empotraban elásticamente en un emparrillado de vigas acusadas de

<sup>I</sup> **Fuente:** Cálculo, Construcción y Patología de los Forjados de Edificación de José Calavera Ruiz, (4ª edición, editorial Intemac, Madrid - España, 1988), pág. 365

<sup>II</sup> **Fuente:** Recomendaciones para el proyecto y construcción de placas macizas de hormigón “in situ” para forjados – Grupo Celsa – Universidad Politécnica de Cataluña – Febrero 2002

gran rigidez que junto a los soportes formaban un conjunto espacial de pórticos cruzados ortogonalmente. Pasar de las losas tradicionales trabajando unidireccionalmente entre jácenas, a la losa maciza con capacidad de repartir cargas bidireccionalmente a un conjunto de vigas cruzadas fue un paso lógico, motivado sin duda por el deseo de conseguir iguales o mayores resistencias con elementos estructurales de tamaño cada vez menor<sup>I</sup>.

### **3.2.1.3. Características Resistentes.**

Las losas reticulares son estructuras que transmiten sus esfuerzos en dos direcciones ortogonales, las mismas direcciones en las que fueron armadas o reforzadas, por lo mismo estas estructuras admiten que sus flexiones puedan ser analizadas y descompuestas en sus direcciones de armado y forma con los soportes un conjunto estructural espacial, capaz de soportar acciones verticales muy adecuadamente y las horizontales razonablemente bien<sup>II</sup>.

### **3.2.1.4. Ventajas e inconvenientes de uso**

Para tomar decisiones las más acertadas posible es necesario conocer sobre los pros y los contras de cualquier aspecto, es en este sentido que por el fin que persigue este trabajo que se incrementa el uso de este tipo de losa en nuestro medio para ello se presenta a continuación las ventajas y desventajas de este tipo de losa.

#### **3.2.1.4.1. Ventajas**

Dentro de las ventajas que se describe en las diferentes publicaciones y libros se puede mostrar las siguientes:

- Esta clase de forjado resultó una excelente alternativa para salvar grandes luces de ambientes sin incrementar en gran medida el peso de la losa.
- Las losas reticulares soportan importantes sobrecargas de servicio.
- Da una cierta libertad a la hora de definir las columnas ya que se puede colocar las mismas a distancias mucho mayor que las losas con viguetas.

---

<sup>I</sup> **Fuente:** Manual Práctico “Los Forjados Reticulares” de Florentino Regalado Tesoro - 1991 – Pág. 09

<sup>II</sup> **Fuente:** Manual Práctico “Los Forjados Reticulares” de Florentino Regalado Tesoro - 1991 – Pág.

- A la hora de enfrentar las caprichosas geometrías de la distribución de tabiquerías este tipo de losa ofrece la capacidad de soportar dicha tabiquería en cualquier dirección y no requerir un refuerzo adicional para soportar los mismos.
- Con este tipo de losa no se tiene muchos inconvenientes a la hora de proyectar huecos en la misma a diferencia de la losa con viguetas.
- Es una buena herramienta a la hora de proyectar voladizos de luces considerables a comparación de las losas tradicionales.
- Al presentar mayores alturas de losa tiene mucho mejor aislamiento acústico.
- Los forjados reticulares pueden aguantar cargas no previstas del orden de unos 20 a 30 % por encima de las losas con viguetas, a igualdad de parámetros de cálculo<sup>1</sup>.

#### **3.2.1.4.2. Inconvenientes de uso**

De igual forma se presenta a continuación los inconvenientes en el uso de este tipo de losa:

- Este tipo de losas requiere un mayor encofrado que las losas con viguetas.
- Las losas reticulares tienen un mayor peso que las losas con viguetas.
- Las losas de este tipo tienen una mayor altura.
- Se requiere un mayor control técnico a la hora del diseño y la construcción.
- Se requiere de un mayor análisis de las instalaciones porque si no se proyectan adecuadamente los huecos para las instalaciones, realizar las perforaciones a la losas resultará mucho más complejo que las losas con viguetas.

#### **3.2.1.5. Materiales**

Los materiales empleados para realizar este tipo de losa son el hormigón el acero de construcción y los complementos.

#### **3.2.1.6. Naturaleza de las losas reticulares**

Un elemento sometido a flexión concentra los mayores esfuerzos en las fibras externas de la sección vale decir la fibra inferior está sometida a tracción y la fibra superior a compresión, ya que en las losas el esfuerzo predominante es el de la flexión es que se

---

<sup>1</sup> **Fuente:** Manual Práctico “Los Forjados Reticulares” de Florentino Regalado Tesoro - 1991 – Pág. 42

puede realizar una optimización hormigón reduciéndolo en las secciones o áreas en que esté sometido tracción con la ayuda de elementos aligerantes, sin dejar de lado claro la comprobación a cortante, de esta manera las losas reticulares son una buena opción para optimizar la sección concentrando en la parte superior una capa de compresión y reduciendo su uso en la parte inferior con complementos de material liviano como lo es poliestireno expandido.

En este estudio se toma en cuenta solamente losas reticulares bidireccionales con complementos no recuperables de acuerdo con las condiciones más que todo estéticas uno de los beneficios de este tipo de elementos es que colocando un cielo raso se genera una superficie lisa que a la vista genera una buena impresión al no encontrar elementos como vigas descolgadas que sobresalen de la losa.

*Las losas nervuradas en dos direcciones consisten en filas de viguetas o nervios de hormigón perpendiculares entre sí con cabezales macizos sobre las columnas (los cuales son necesarios para proveer resistencia al corte). Habitualmente las viguetas o nervios se forman usando encofrados cuadrados normalizados tipo "casetones." Alrededor de las columnas no se colocan estos casetones, formando así los cabezales macizos. Para los propósitos del diseño, las losas nervuradas se consideran como losas planas en las cuales los cabezales macizos actúan como ábacos. Los sistemas con losas nervuradas permiten reducir considerablemente la carga permanente con respecto a los sistemas con losas planas convencionales, ya que es posible minimizar la altura de la losa gracias a que la separación entre los nervios es pequeña. En consecuencia, este sistema es particularmente ventajoso cuando se desea cubrir grandes luces o soportar cargas elevadas sin utilizar ábacos de gran altura ni vigas de apoyo. Además, la geometría formada por los nervios suele ser deseable desde el punto de vista arquitectónico<sup>1</sup>*

Dentro de este tipo de estructura es bueno definir los elementos que son parte de ellas o no dependiendo de criterios como necesidades como ser:

---

<sup>1</sup> Definición de acuerdo a la Actualización Para El Código ACI 2002 – Capítulo 18 – Sistemas de losas que trabajan en dos direcciones.

### 3.2.1.7. Flexión

Las losas reticulares en estudio al no contemplar vigas descolgadas pertenece a la familia de losas planas, por el entramado ortogonal que es característico de este tipo de losa permiten resistir cargas verticales adecuadamente admitiendo flexiones haciendo que la losa se deforme en una forma semejante a un plato debido a que las sollicitaciones más importantes se dan en las dos direcciones principales que pueden ser descompuestas para su análisis las direcciones ortogonales del armado.

Si tomamos una placa rectangular apoyada en su contorno, sometida a una carga uniforme, y la dividimos en franjas, vemos que se curvan en dos direcciones principales, debido a los momentos existentes y por tanto, debe armarse en ambas direcciones para resistirlos.

En los forjados reticulares apoyados sobre pilares, a diferencia de la placa rectangular apoyada en su contorno, las flexiones mayores se producen en el sentido de la luz mayor, y es característica esencial de los mismos que la carga total debe ser resistida íntegramente por los nervios en las dos direcciones establecidas.

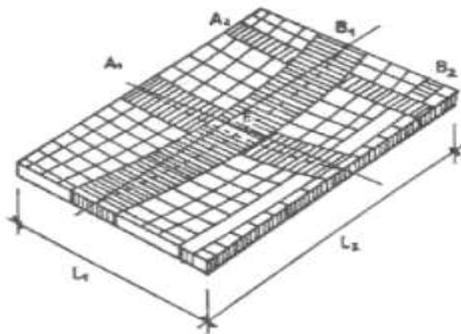


Figura # 30 (Sección de placa plana apoyada en los bordes)

**Fuente:** Construcción de estructuras Hormigón Armado de Pascual Urbán Brotóns

### 3.2.1.8. Esfuerzos de corte

En este tipo de losas que trabajan en dos direcciones apoyadas directamente en las columnas los sectores críticos y que merecen la mayor de las atenciones son justamente las uniones entre la losa y las columnas o el llamado punzonamiento, ya que la totalidad del momento exterior negativo es transmitido directamente de la losa a la columna, este

aspecto debe ser tomado muy en cuenta a la hora del diseño ya que una falla de este tipo produce rupturas frágiles.

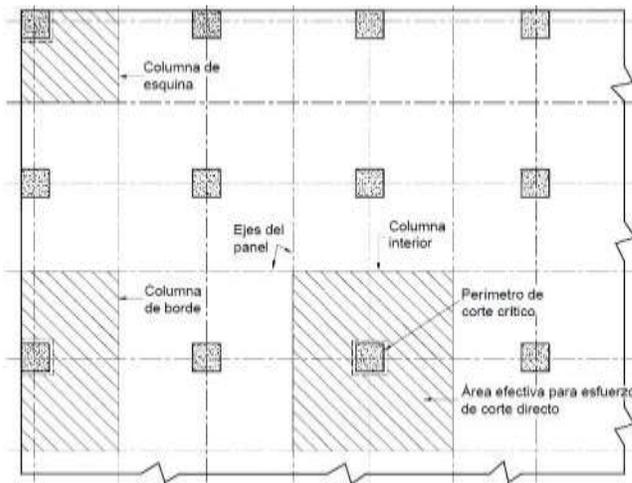


Figura # 31 (Ubicaciones críticas para la resistencia al corte en una losa)

Fuente: Capítulo 18 Notes ON ACI 318-2002

Durante el diseño de losas planas que se apoyan directamente en las columnas se debe considerar dos tipos de corte uno de ellos el corte en una dirección que se debe tomar muy en cuenta cuando son losas largas y angostas o consideradas en una sola dirección, ya que en este caso se considera que la losa actúa como una viga ancha entre columnas donde la sección más crítica ocurre a una distancia  $d$ <sup>(1)</sup> medida a partir de la cara de la columna;

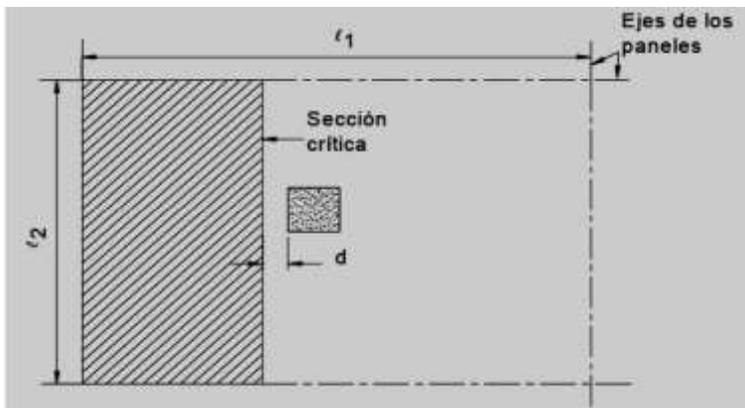
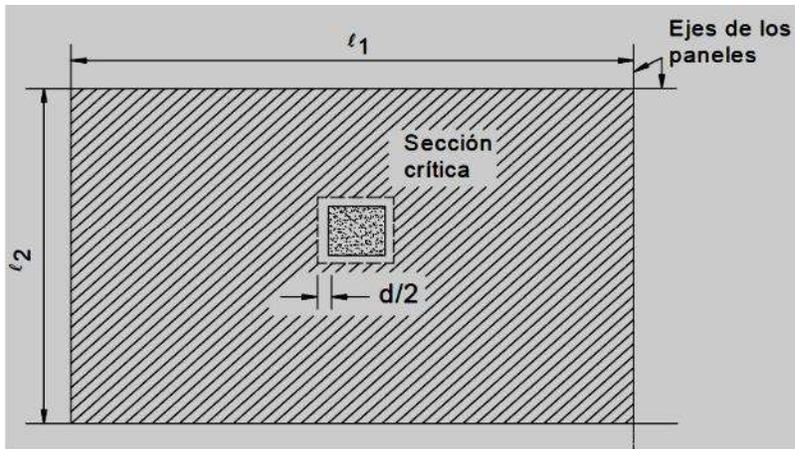


Figura # 32 (Corte en una dirección)

Fuente: Capítulo 18 Notes ON ACI 318-2002

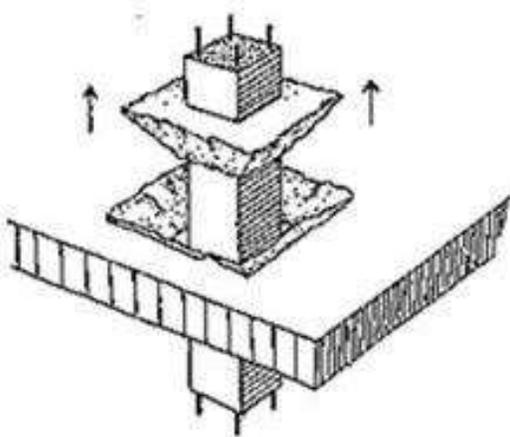
<sup>1</sup> Brazo mecánico de la losa o el ábaco

Pero el mismo generalmente no es el factor de decisivo sin en cambio en general el corte en dos direcciones o punzonamiento es el esfuerzo de corte más crítico en losas planas cuya sección crítica ocurre a un perímetro de  $d/2$  alrededor de la columna.



*Figura # 33 (Corte en dos direcciones)*

**Fuente:** Capítulo 18 Notes ON ACI 318-2002



*Figura # 34 (Corte en dos direcciones)*

**Fuente:** Capítulo 18 Notes ON ACI 318-2002

### 3.2.1.9. Estados limites

El Estado Límite se define como el estado donde actúan las máximas solicitaciones y se garantiza el no fallo parcial o total de la estructura sin llegar a alcanzar las condiciones de inseguridad de comportamientos tales como rotura frágil, fisuración

excesiva, pandeo, rotaciones inadmisibles, fatiga, vibraciones peligrosas o pérdidas de funcionalidad y equilibrio. En este estado se diseña para lograr la resistencia y estabilidad de la estructura, con los valores de cálculo.

Dentro de los estados límites se clasifican en los siguientes:

#### **3.2.1.9.1. Estado de límites últimos:**

En este estado actúan las cargas factorizadas llegando hasta el agotamiento de la estructura se podría indicar que es la capacidad de resistencia de la misma. En este estado la estructura llega a convertirse en un mecanismo plástico que ocurre cuando las armaduras fluyen produciendo rotulas plásticas en varias partes de la estructura logrando que la misma sea totalmente inestable.

En la comprobación de los Estados Límite Últimos que consideran la rotura de una sección o elemento, se debe satisfacer la condición:

$$S_D \leq R_D$$

Donde:

$S_D$  = Valor de cálculo del efecto de las acciones

$R_D$  = Valor de cálculo de la respuesta estructural

Los factores de seguridad empleados en este análisis son bastante altos ya que al alcanzar estos límites se produce el colapso de la estructura.

El estado de límite último puede ser alcanzado en los siguientes casos:

- Estado límite de equilibrio (Pérdida del equilibrio de la estructura, parcial o total de la misma.)
- Transformación de la estructura en un mecanismo plástico.
- Deformaciones excesivas en una sección (Flexión, Tracción, compresión, cortante, punzonamiento, Torsión, rasante, adherencia, anclaje)

- Inestabilidad
- Fatiga

### **3.2.1.9.2. Estado de límites servicio:**

El estado límite de servicio o uso es el que se da cuando por la acción de cargas no factorizadas se producen efectos importantes de deformación, derivas, asentamientos, desplazamientos laterales totales, flechas instantáneas o diferidas y vibraciones importantes pero sin llegar al colapso de la estructura pudiendo ésta ser reparada en muchos casos sus factores de seguridad no son muy altos en relación a los estados de límites últimos.

En estructuras de hormigón armado los más importantes son:

- Estado límite de Deformación
- Estado límite Fisuración
- Estado límite de Vibraciones

En la comprobación de los Estados Límite de Servicio, se debe satisfacer la condición

$$C_D \geq E_D$$

Donde:

$C_D$  = Valor límite admisible para el Estado Límite a comprobar

$E_D$  = Valor de cálculo del efecto de las acciones

### **3.2.1.10. Deformaciones**

Dentro de los estados de límite de servicio se encuentra el estado límite de deformación el cual se satisface cuando los movimientos (flechas o giros) no sobrepasan los valores límites establecidos.

La actuación de cargas ya sea corta o larga duración y otras acciones provoca las correspondientes deformaciones en los elementos estructurales. Por efecto de las

mismas. Los puntos de la directriz de cada una de las piezas experimentan movimientos, que en una estructura plana pueden ser:

- Un desplazamiento longitudinal (alargamiento o acortamiento)
- Un desplazamiento transversal a la directriz (Flecha)
- Un giro (de la tangente a la directriz deformada.) De

estas tres deformaciones la más importante es la flecha. <sup>1</sup>

Las flechas debidas a la flexión se obtienen de la doble integración de las curvaturas y la flecha debido al cortante se obtiene por simple integración de las distorsiones.

Las flechas se pueden clasificar en las siguientes:

- Flecha instantánea que es la que ocurre por la acción total de las cargas; sin considerar los efectos diferidos.
- Flecha total que es la suma de la flecha instantánea más la flecha ocasionada por efectos diferidos.
- Flecha activa que es la flecha considerada al momento de su construcción que su valor es considerado como la resta de la flecha total menos la flecha del elemento al momento de su construcción.

### **3.2.1.11. Valores límites admisibles para las flechas**

Los valores admisibles para las flechas dependen del tipo de estructura y la función que cumpla, la norma EHE 08 define para edificaciones normales como flecha máxima al menor de los valores siguientes:

$$f_{\text{Tot}} \leq L/500$$

$$f_{\text{Tot}} \leq L/1000 + 0,5 f_{\text{Act}} \leq L/400$$

<sup>1</sup> Hormigón Armado, 14ª edición de Jiménez Montoya – Pág. 432

---

Donde:

$f_{\text{Tot}}$  = Flecha total

$f_{\text{Act}}$  = Flecha activa

### 3.2.1.12. Cálculo de flechas

Dentro del estado límite de fisuración donde el estado tensional es tal que la sección de las piezas de hormigón armado están sometidas a tracciones logrando en algún momento por la acción de las cargas que se supere la resistencia a tracción del hormigón provocando que el elemento se fisure a lo largo de su longitud hasta que se alcance el fenómeno de rigidización de la sección “tension-stiffening”, que hace que aunque la sección del elemento es constante a lo largo de la pieza la rigidez de la misma no es igual en toda su longitud; la rigidez a flexión de los elementos estructurales está en función del producto de la inercia por la sección ( $E \cdot I$ ) que cuando se producen las fisuraciones la inercia no es constante en toda la longitud del elemento, tomando en cuenta este aspecto es que no se podría estimar las flechas con el enfoque tradicional y se tendría de realizar la doble integración de la curva de deformaciones para conocer las flechas, siendo ésta dependiente de una serie de variables como la adherencia del acero y el hormigón, distribución de aberturas y otras, en la práctica se recurre a métodos aproximados y simplificados para la estimación de flechas como lo es el método de *Dan Earle Branson (1.928)*, y su método llamado **Momento de Inercia Equivalente** que fue adoptado en primera instancia por el *AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI* y en la norma Española EHE 08, el cual es compatible con las fórmulas de resistencia de materiales para conocer la deformaciones instantáneas por flexión en elementos de sección constante.

El momento de inercia equivalente se obtiene con la siguiente expresión empírica:

$$= I_e * \left[ 1 - \left( \frac{M_f}{M_u} \right)^3 \right]^2 I_f + I_b$$

Donde:

---

<sup>1</sup> Fuente: EHE 08 Artículo 50.2.2.2 Cálculo de la flecha instantánea

$I_e$  = Momento de inercia equivalente

$M_f$  = Momento de fisuración de la sección, correspondiente a una tensión máxima de tracción en el hormigón igual a su resistencia a flexotracción  $f_{ct,m,fl}$ .

$M_a$  = Momento máximo flector histórico aplicado a la pieza hasta en instante en el que se calcule la flecha.

$I_b$  = Momento de inercia de la sección bruta.

$I_f$  = Momento de inercia de la sección fisurada homogeneizada a valores del hormigón.

### 3.2.1.12.1. Cálculo de la Flecha Instantánea

El cálculo de la flecha instantánea se la realiza con las fórmulas de resistencia de materiales para inercia constante a lo largo de la pieza donde en este caso este valor corresponderá a la inercia equivalente y el módulo de deformación longitudinal se debe considerar al módulo secante en vez del módulo inicial. <sup>I</sup>

$$E_c = 8500 \quad \text{II} \quad \sqrt[3]{f_c}$$

Donde:

$f_{cm}$  = Resistencia media a compresión del hormigón a 28 días de edad.

Para la obtención de las flechas máximas generalmente se encuentran en las siguientes secciones:

i. En la sección central en elementos isostáticos simplemente apoyados ii.

En el arranque del elementos en voladizos

iii. En vanos internos de un elemento continuo de acuerdo a la siguiente expresión:

<sup>I</sup> Como indica la norma EHE-08 en su capítulo 03 Propiedades tecnológicas de los materiales, Art. 39.6 Módulo de Deformación Longitudinal Del hormigón - Pág. 171

<sup>II</sup> De acuerdo a norma EHE-08, dicha expresión es válida siempre que las tensiones, en condiciones de servicio, no sobrepasen el valor de  $0,40 f_{cm}$  - Pág. 171

$$= 0,50 I_e + 0,25 I_{e1} + 0,25 I_{e2}$$

Donde:

$$I_e \quad I_e \quad I_{e1} \quad I_{e2}$$

$I_e$  = Momento de inercia equivalente.

$I_{ec}$  = Momento de inercia en el centro del elemento.

$I_{ee1}$  = Momento de inercia equivalente en el apoyo inicial.  $I_{ee2}$  =  
Momento de inercia equivalente en el apoyo final.

iv. En vanos externos con un solo extremo continuo de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I_e = 0,75 I_{ec} + 0,25 I_e$$

Donde:

$I_e$  = Momento de inercia equivalente.

$I_{ec}$  = Momento de inercia en el centro del elemento.  $I_{ee}$  =  
Momento de inercia equivalente en el apoyo.

### 3.2.1.12.2. Cálculo de la Flecha Diferida

Para la estimación de la flecha diferida la norma EHE-08 nuevamente hace uso del método establecido por *Dan Earle Branson* la *deformación adicional diferida* que es dada por la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50 \rho'}$$

Donde:

$\rho'$  = Es la cuantía geométrica de la armadura de compresión  $A_{s2}$  referida a la sección

$\xi$  = Es un coeficiente que depende de la duración de la carga, cuyo valor se toma de la siguiente Tabla o bien puede interpolarse de la siguiente Figura

Tabla # 1 (Valores del coeficiente  $\xi$ )

Duración de la carga	$\xi$
2 semanas	0,5
1 mes	0,7
3 meses	1
6 meses	1,2
1 año	1,4
5 años ó más	2,0

Fuente: Norma EHE -08 – Página 259

Para edad  $j$  de carga y  $t$  de cálculo de la flecha, el valor de  $\xi$  a tomar en cuenta para el cálculo de  $\lambda$  es  $\xi(t) - \xi(j)$ .

En el caso de que la carga se aplique por fracciones  $P_{(1)}, P_{(2)}, P_{(3)}, \dots, P_{(n)}$ , se puede adoptar como valor de  $\lambda$  el dado por:

$$= \frac{\xi_1 P_1 + \xi_2 P_2 + \dots + \xi_n P_n}{\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n}$$

### 3.2.1.13. Comportamiento de una losa reticular

Las placas continuas sobre apoyos aislados constituyen estructuras espaciales complejas cuyo cálculo riguroso es difícil de abordar. La estructura puede asimilarse a un emparrillado sustentado sobre apoyos elásticos, lo que permite tener en cuenta la colaboración de los soportes; el emparrillado resultante puede analizarse en ordenador mediante un programa típico de cálculo matricial.

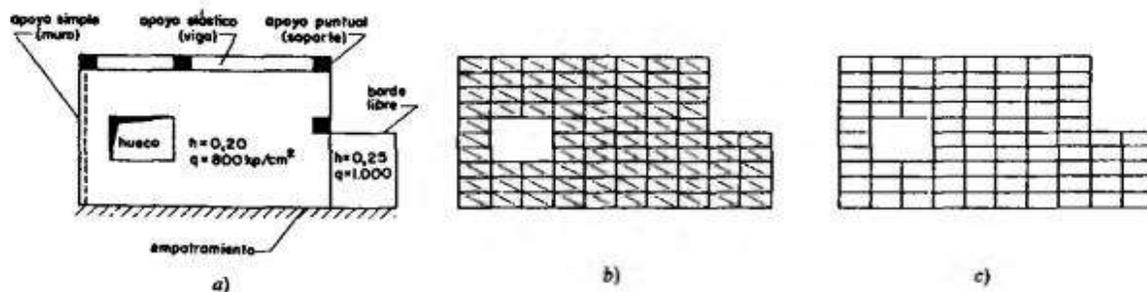


Figura # 35 – (Elementos finitos y asimilación a un emparrillado)

Fuente: Hormigón Armado Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer, Francisco Moran Cabré (14ª edición).

Una característica importante que debe destacarse en los forjados sin vigas es su alto grado de hiperestatismo.

En las placas con vigas los momentos flectores mayores de la placa se originan en la dirección de la luz más corta series de vigas para ir y los menores, en la más larga, repartiéndose las cargas entre ambas a parar a los pilares.

En cambio, en los forjados sin vigas, como veremos, las flexiones mayores se producen en el sentido de la luz mayor y la *característica esencial* es que en este tipo de forjados la carga debe ser transmitida íntegramente por la placa en ambas direcciones.<sup>1</sup>

En los forjados o losas en estudio al estar apoyadas directamente sobre los soportes (columnas) ante la acción de las cargas la losa deberá recibir éstas y transmitirlas a los soportes mediante la distribución de esfuerzo en todo el entramado de nervios para llegar finalmente a los apoyos.

#### **3.2.1.14. Proceso constructivo**

El proceso constructivo es muy importante dentro de la construcción ya que de él depende que se construya de acuerdo a lo proyectado, evitando así pérdidas de material, incrementos de costo y desmedro de la calidad de la obra.

##### **3.2.1.14.1. Encofrado**

El encofrado debe realizarse para toda superficie de la losa aunque en realidad solo se necesite el encofrado para los nervios, constructivamente es más práctico realizar el encofrado de toda la losa; este encofrado tendrá una vida útil más larga si la comparamos con una losa maciza ya que el encofrado sólo tiene contacto con los nervios de la losa por lo tanto su área de contacto con el hormigón es menor.

---

<sup>1</sup> PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON de J. Calavera (Tomo I – 2da Edición)  
Pag.368



*Figura # 36 – (Fotografía de un encofrado para losa reticular)*



*Figura # 37 – (Fotografía de un encofrado para losa reticular)*

#### **3.2.1.14.2. Colocado de los complementos**

Se debe colocar los complementos cuidando de dejar el ancho de los nervios y en forma rectilínea, se debe asegurar los complementos al encofrado para que al momento del colocado de la armadura y el vaciado del hormigón, éstos no se desplacen del lugar donde fueron colocados, el espacio para los nervios debe ser recto y para ello los complementos deberán estar bien alineados y asegurados cuando estén en su posición final.



*Figura # 38 – (Fotografía del colocado de los complementos para una losa reticular)*



*Figura # 39 – (Fotografía del colocado de los complementos para una losa reticular)*

### **3.2.1.14.3. Colocado de la armadura**

En esta etapa se deberá realizar el colocado de toda la armadura de la losa, siempre cuidando que se asegure el espacio necesario para los recubrimientos de los nervios y sin mover los complementos, la armadura de la capa de compresión deberá asegurarse que vaya en la posición correcta con la implementación de bloques de mortero pre fabricado (Galletas) para que la armadura quede en el lugar correspondiente.



*Figura # 40 – (Fotografía del colocado de la armadura para una losa reticular)*



*Figura # 41 – (Fotografía del colocado de la armadura para una losa reticular)*



*Figura # 42 – (Fotografía del armado de un ábaco)*



*Figura # 43 – (Fotografía de la armadura y complementos colocados en su lugar listo para iniciar el hormigonado)*

#### **3.2.1.14.4. Hormigonado**

Este proceso es esencial que se lo realice con gran control de calidad ya que de ello depende que la estructura trabaje como se la diseñó, este proceso generalmente se lo hace con un sistema de bombeo del hormigón esparciéndolo por todos los nervios con la ayuda de vibradores de inmersión, el hormigón debe tener la suficiente fluidez para llegar a cubrir las armaduras y recubrimientos evitando que queden las llamadas coqueras pero esta fluidez debe ser controlada ya que como es conocido existe una relación directa entre la cantidad de agua y el cemento que influye directamente en la resistencia del hormigón.



*Figura # 44 – (Fotografía del proceso de hormigonado en losas reticulares)*

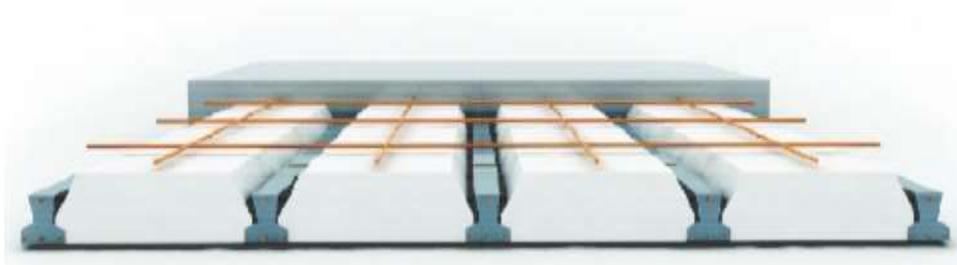


*Figura # 45 – (Fotografía del proceso de hormigonado en losas reticulares)*

### **3.2.2. Losa Unidireccional Alivianada Con Viguetas Pretensadas**

#### **3.2.2.1. Generalidades**

Este tipo de losa actualmente es el más utilizado en nuestro medio, sus elementos resistentes, son elementos pre fabricados denominados viguetas, las cuales van acompañadas de elementos aligerantes ya sea de poliestireno o cerámica, seguidos de una capa de compresión vaciada in situ con una armadura de refuerzo; las viguetas se fabrican en varias dimensiones tanto en sección como en longitud, para que de esta manera satisfacer las demandas.



*Figura # 46 – (Losa con viguetas Pretensadas)*

**Fuente:** Ficha técnica PRETENSA

#### **3.2.2.2. Breve reseña histórica**

A principios del siglo XX, hacen su aparición los primeros sistemas de prefabricación de hormigón armado, las viguetas prefabricadas paulatinamente fueron sustituyendo las viguetas metálicas con bóvedas cerámicas hechas in situ, surgidas durante la revolución industrial.

### **3.2.2.3. Características Resistentes**

Las losas con viguetas pretensadas pertenecen al grupo de las losas unidireccionales, las cuales trabajan bien para luces no muy grandes, el problema que se ha ido superando ha sido lograr la adherencia entre los elementos prefabricados resistentes y la capa de compresión vaciada in situ, especialmente para resistir esfuerzos de corte, esto se ha ido superando cuando los fabricantes de viguetas han ido proporcionándoles a su producto de una rugosidad adicional en la parte superior de las viguetas.

### **3.2.2.4. Ventajas e inconvenientes de uso**

Las ventajas e inconvenientes de uso de este tipo de losas son los siguientes:

#### **3.2.2.4.1. Ventajas**

Entre las principales ventajas tenemos las siguientes:

- Una de las ventajas de este tipo de losa es que no necesita que se encofre toda la superficie de la losa, más al contrario sólo necesita puntales bajo las viguetas para que puedan resistir el peso de la carpeta de compresión y las personas y equipo que está vaciando la losa.
- Este tipo de losa permite utilizar encofrados que no posean caras de un buen acabado ya que su función solo es ayudar a resistir a las viguetas el peso de la carpeta de compresión y la mano de obra del vaciado.
- Como el encofrado no entra en contacto con el hormigón vaciado, la vida útil de este encofrado será mucho mayor.
- Otra ventaja importante es que en este tipo de losa a contener elementos resistentes pre fabricado, su ejecución es mucho más rápida.
- Una ventaja importante es que este tipo de losa permite crear entrepisos y techos inclinados sin muchas dificultades adicionales.

#### **3.2.2.4.2. Inconvenientes de uso**

Entre los inconvenientes de uso de este tipo de losa tenemos los siguientes:

- Las losas sólo transmiten los esfuerzos en una sola dirección.

➤ Todas las instalaciones que se tengan que hacer y no se puedan acomodar en la capa de compresión, si no dentro de los complementos, deberán hacerlo solamente en la dirección de armado.

### **3.2.2.5. Proceso constructivo**

Al presentar varios elementos prefabricados, el proceso constructivo es mucho más rápido y se reduce el personal calificado para realizar esta actividad ya que solamente se vaciará “in situ”, la capa de compresión.

### **3.2.2.6. Colocado de viguetas pretensadas**

En este proceso se colocan las viguetas adecuadamente espaciadas para poder colocar los complementos y no queden aberturas, se debe tener cuidado al manipular y someter a esfuerzos a estas viguetas ya que están diseñadas para trabajar simplemente apoyadas en ambos extremos.



*Figura # 47 – (colocado de viguetas pretensadas)*

### **3.2.2.7. Encofrado**

El encofrado se lo realiza solamente para ayudar a las viguetas a soportar la carga de la capa de compresión y la mano de obra ocupada para realizar este vaciado, el espaciamiento deber ser tal que no permita que las viguetas presenten deformaciones.



*Figura # 48 – (Encofrado para una losa con viguetas pretensadas)*

### **3.2.2.8. Colocado de complementos aligerantes**

Este proceso es rápido al tratarse de complementos de poliestireno que es liviano y fácil de manipular, incluso de puede amoldar a irregularidades geométricas sin mayor problema, se debe cuidar que queden a un mismo nivel para que el espesor de la capa de compresión sea uniforme.



*Figura # 49 – (Viguetas, complementos y armadura de refuerzo en la capa de compresión colocados)*

### **3.2.2.9. Colocado de la armadura de refuerzo en la capa de compresión.**

En este proceso constructivo es de mucha importancia colocar los elementos auxiliares (“Galletas”), para mantener la armadura en la parte central de la capa de compresión al momento del hormigonado de la misma.



*Figura # 50 – (Viguetas, complementos y armadura de refuerzo en la capa de compresión colocados)*

### **3.2.2.10. Vaciado de la carpeta de compresión de la losa**

Este proceso se lo puede realizar con hormigón bombeado o acarreado al lugar de emplazamiento, la misma que debe ser vibrada a fin de lograr que no se presenten vacíos y que se dejen lugares sin la mezcla de hormigón.



*Figura # 51 – (Vaciado de la capa de compresión en un sistema de losas con vigas pretensadas)*

## CAPÍTULO IV

### APLICACIÓN PRÁCTICA

#### **4.1.   Ámbito**

En este capítulo se desarrolla el dimensionamiento de un solo edificio pero con losas diferentes en uno y otro cálculo, para ambos se tienen la misma geometría del edificio, con las mismas cargas y sobrecargas, con el mismo número de columnas en uno y el otro, esto con la intención de poder comparar los diseños para casi las mismas condiciones, arquitectónicas, estructurales y de estética.

#### **4.2.   Características particulares del edificio**

El edificio en estudio corresponde a una estructura de departamentos habitacionales el número de plantas a construir son diez todos con una altura de entrepisos de 3.50 metros de altura excepto el primer nivel que tiene una altura de 4.00 metros, en una superficie de 240 metros cuadrados de construcción por planta.

La geometría de sus plantas son iguales en todas excepto en la primera planta.

Para fines de poder realizar una comparación técnica y económica entre los dos sistemas se buscó trabajar con una distribución de ambientes cuyas luces oscilen entre los 4 y los 7,50 metros ya que trabajar con luces menores resultaría impráctico y no funcional trabajar con losas reticulares y por el contrario para luces mayores resulta ya impráctico pensar en losas comunes con viguetas pretensadas, es decir las luces establecidas son dadas tal que pueda existir una competitividad racional de acción entre un sistema y el otro.

### 4.3. Normativa aplicada

Se adopta el código Boliviano del Hormigón CBH-087, pero habiendo aspectos que no están contemplados en esta norma, se consideró estos aspectos con las normas EHE-08 y ACI 318-11.

### 4.4. Ubicación

El edificio objeto de este estudio está orientado para que se ejecute en la zona de Lourdes – Barrio La Florida de la ciudad de Tarija.

### 4.5. Sistema de unidades

El sistema adoptado las unidades del Sistema Internacional.

### 4.6. Materiales a utilizar

Los materiales a utilizar en este proyecto y sus características son las siguientes:

*Tabla # 2 – (Características de los materiales a utilizar en el proyecto)*

<b>Descripción:</b>	<b>Características</b>
Cemento	Tipo I, Portland Acero
Tipo B 400 S Hormigón para Zapatas H17,5	Tipo
Hormigón para sobrecimientos	Tipo H21
Hormigón para columnas	Tipo H21
Hormigón para losas	Tipo H21

### 4.7. Resistencia admisible del terreno de fundación

Este valor fue adoptado con un valor de  $\sigma_{adm \text{ terreno}} = 2,50 \text{ Kg/cm}^2$ .

#### 4.8. Hipótesis de cargas

Se establecen las siguientes combinaciones de cargas con sus coeficientes de mayoración de cargas para condiciones de control de ejecución normal, Daños previsibles: B. Daños de tipo medio; Exposición al viento: Normal y tomando en cuenta la alternancia de cargas se tiene:

HIPÓTESIS DE CARGA	CARGA MAYORADA
Hipótesis I	$1,60 * G + 1,6 * Q$
Hipótesis II	$0,9 * (1,60 * G + 1,6 * Q) + 0,90 * 1,60 * W$

Donde:

G= valor característico de las cargas permanentes, más las acciones indirectas con carácter de permanencia.

Q = valor característico de las cargas variables, de explotación, de nieve, del terreno, más las acciones indirectas con carácter variable, excepto las sísmicas.

W = valor característico de la carga de viento.

Existe otra combinación de carga que incluye la acción sísmica pero tomando en cuenta que para el presente trabajo no se tomará en cuenta la acción sísmica, debido a que Tarija se encuentra sobre un excelente basamento de rocas del periodo del ordovícico, donde no se presentan grados de sismicidad atenuante, tomando en cuenta que el viento tiene una mayor acción de carga que la sísmica y partiendo de la hipótesis de que cuando existe sismo no se presenta viento, no existiendo la suma de estos esfuerzos se desprecia la acción sísmica.

#### 4.9. Estimación de Cargas actuantes en la estructura

Se tiene las siguientes cargas:

##### 4.9.1. Cargas Muertas

Dentro de este tipo de cargas se tienen las siguientes:

#### 4.9.1.1. Cargas por peso propio

Se determina las cargas por peso propio al multiplicar el peso específico del material por la sección en caso de elementos lineales y por el espesor en caso de elementos superficiales.

Para el presente trabajo estas cargas serán estimadas por el software a utilizar para resolver la estructura tomando en cuenta la geometría de los elementos y el peso específico de los mismos.

Tomando en cuenta que el dimensionamiento de una estructura es un proceso iterativo pre dimensionando secciones y comprobando.

#### 4.9.1.2. Carga permanente

Para el cálculo se utilizarán las siguientes cargas permanentes:

Calamina de plástico = 0.025 KN/m<sup>2</sup>

Cielo raso (peso específico revoque de yeso\* la altura del cielo raso)

Peso específico del revoque de yeso = 0.13 KN/m<sup>2</sup>/ 1 cm de espesor<sup>I</sup>

Espesor del cielo raso 1 cm **Q C.R. = 0.13 KN/m<sup>2</sup>**

Carpeta de nivelación para pisos = (Espesor de carpeta \* peso específico del hormigón)

Considerando un espesor de 3 cm. y un peso propio del hormigón simple de 23 KN/m<sup>3</sup><sup>II</sup>, se tiene:

Carga por carpeta de nivelación **Q C. Niv. = 0.69 KN/m<sup>2</sup>**

Carga por pisos = (Espesor de baldosa de cerámica \* peso específico baldosa de cerámica)

Peso específico de baldosa de cerámica = 18 KN/m<sup>3</sup><sup>III</sup>

<sup>I</sup> Valor tomado del anteproyecto de la norma boliviana APNB 1225002-1 IBNORCA – Tabla 3.5 cargas superficiales Pág. 13

<sup>II</sup> Valor tomado del anteproyecto de la norma boliviana APNB 1225002-1 IBNORCA – Tabla 3.1 - Peso específico de materiales estructurales Pág. 7

<sup>III</sup> Valor tomado del anteproyecto de la norma boliviana APNB 1225002-1 IBNORCA – Tabla 3.1 - Peso específico de materiales estructurales Pág. 7

Espesor de baldosa de cerámica = 1 Cm

Carga por pisos  $Q_{\text{Cer.}} = 0,18 \text{ KN/m}^2$

Cargas por peso propio de la tabiquería  $Q_{\text{Tab.}} = 1 \text{ KN/m}^2$  <sup>1</sup>

Se optó por tomar una carga distribuida ya que la tabiquería en la edificación analizada la mayor parte de los muros no se cargan directamente en las vigas si no en las losas.

#### 4.9.2. Cargas Variables

Entre este tipo de carga tenemos:

##### 4.9.2.1. Sobrecargas de Uso

Como el edificio en estudio está destinado a uso habitacional, del anteproyecto de la norma boliviana APNB 1225002-1 IBNORCA Tabla 4.1 - Sobrecarga de servicio se tiene:

Tipo de Servicio : Hoteles, casas multiformes y departamentos - habitaciones privadas y corredoras que las sirven

**Sobrecarga de uso : 2 KN/m<sup>2</sup>**

Tipo de Servicio : Azoteas accesibles privadamente

**Sobrecarga de uso : 3 KN/m<sup>2</sup>**

Tipo de Servicio : Azoteas accesibles privadamente Área 7,60 x 4,50

$$L_r = R_1 * R_2$$

Área tributaria  $A_t$  : 7,60 x 4,60 = 34,96 m<sup>2</sup>

$$\rightarrow R_1 = 1,2 - 0,01076 A_t$$

$$R_1 = 0,82$$

$$R_1 = 1,2 - 0,01076 A_t$$

---

<sup>1</sup> Valor tomados del CTE código Técnico la edificación

$F = 0.12 \cdot \text{pendiente}$  Para una pendiente de 20%  $F = 2,40$

$$\rightarrow R_2 = 1,2 - 0,05 \cdot F$$

$$R_2 = 1,08$$

→ Sobrecarga de uso  **$L_r = 0,86 \text{ KN/m}^2$**

Sobrecarga en ascensor =

Área del hueco =  $1,20 \times 1,20 = 1,44 \text{ m}^2 \rightarrow \text{SC}_{\text{Asce.}} = 35 \text{ KN/m}^2$

#### 4.9.2.2. Cargas de viento

Para el estudio realizado, se tiene una velocidad media del viento en la ciudad de Tarija de **27,20 m/s**, este valor referencial es considerado en el presente trabajo tomando en cuenta que este valor ha sido utilizado en diferentes tesis anteriores.

El software con el que se va a calcular la estructura necesita para estimar estas cargas las dimensiones de las áreas expuestas al viento y la velocidad del viento.

#### 4.9.2.3. Cargas de nieve

Debido a que en la ciudad de Tarija la nieve que cae no llega a ser de gran magnitud por lo que su efecto no será considerado en este análisis.

#### 4.9.2.4. Cargas por efectos sísmicos

Las ciudad de Tarija tiene una baja probabilidad de riesgo sísmico de gran magnitud, para este estudio no se realizará un diseño sismo resistente.

#### 4.9.3. Resumen de cargas

A continuación se presenta la *Tabla # 3* en la cual se detalla el resumen de cargas analizadas en las secciones anteriores, estos datos serán introducidos al software para el cálculo subsiguiente.

Tabla # 3. (Resumen de solicitaciones en la edificación por planta)

N°	Nivel	Carga por peso propio	Carga muerta	Sobrecarga de Uso	Sobrecarga por acción del viento
1	Primera Planta	Estimada por el Software de cálculo	$Q_{Tab.} = 1$ KN/m <sup>2</sup>	0 KN/m <sup>2</sup> Porque la carga viva no afecta a la estructura resistente en este nivel	$V_{Viento} : 27,2$ m/s $X_1 = 20,00$ m $Y_1 = 3,50$ m $X_2 = 10,00$ m $Y_2 = 3,50$ m
2	Segunda Planta	Estimada por el Software de cálculo	$Q_{C.R.} + Q_{C.Niv}$ + $Q_{Cer.}$ + $Q_{Tab} = 2$ KN/m <sup>2</sup>	2 KN/m <sup>2</sup>	$V_{Viento} : 27,2$ m/s $X_1 = 20,00$ m $Y_1 = 3,50$ m $X_2 = 10,00$ m $Y_2 = 3,50$ m
3	Tercera Planta	Estimada por el Software de cálculo	$Q_{C.R.} + Q_{C.Niv}$ + $Q_{Cer.}$ + $Q_{Tab} = 2$ KN/m <sup>2</sup>	2 KN/m <sup>2</sup>	$V_{Viento} : 27,2$ m/s $X_1 = 20,00$ m $Y_1 = 3,50$ m $X_2 = 10,00$ m $Y_2 = 3,50$ m
4	Cuarta Planta	Estimada por el Software de cálculo	$Q_{C.R.} + Q_{C.Niv}$ + $Q_{Cer.}$ + $Q_{Tab} = 2$ KN/m <sup>2</sup>	2 KN/m <sup>2</sup>	$V_{Viento} : 27,2$ m/s $X_1 = 20,00$ m $Y_1 = 3,50$ m $X_2 = 10,00$ m $Y_2 = 3,50$ m
5	Quinta Planta	Estimada por el Software de cálculo	$Q_{C.R.} + Q_{C.Niv}$ + $Q_{Cer.}$ + $Q_{Tab} = 2$ KN/m <sup>2</sup>	2 KN/m <sup>2</sup>	$V_{Viento} : 27,2$ m/s $X_1 = 20,00$ m $Y_1 = 3,50$ m $X_2 = 10,00$ m $Y_2 = 3,50$ m

N°	Nivel	Carga por peso propio	Carga muerta	Sobrecarga de Uso	Sobrecarga por acción del viento
6	Sexta Planta	Estimada por el Software de cálculo	$Q_{C.R.} + Q_{C.Niv} + Q_{Cer.} + Q_{Tab} = 2 \text{ KN/m}^2$	2 $\text{KN/m}^2$	$V_{\text{Viento}} : 27,2 \text{ m/s}$ $X_1 = 20,00 \text{ m}$ $Y_1 = 3,50 \text{ m}$ $X_2 = 10,00 \text{ m}$ $Y_2 = 3,50 \text{ m}$
7	Séptima Planta	Estimada por el Software de cálculo	$Q_{C.R.} + Q_{C.Niv} + Q_{Cer.} + Q_{Tab} = 2 \text{ KN/m}^2$	2 $\text{KN/m}^2$	$V_{\text{Viento}} : 27,2 \text{ m/s}$ $X_1 = 20,00 \text{ m}$ $Y_1 = 3,50 \text{ m}$ $X_2 = 10,00 \text{ m}$ $Y_2 = 3,50 \text{ m}$
8	Octava Planta	Estimada por el Software de cálculo	$Q_{C.R.} + Q_{C.Niv} + Q_{Cer.} + Q_{Tab} = 2 \text{ KN/m}^2$	2 $\text{KN/m}^2$	$V_{\text{Viento}} : 27,2 \text{ m/s}$ $X_1 = 20,00 \text{ m}$ $Y_1 = 3,50 \text{ m}$ $X_2 = 10,00 \text{ m}$ $Y_2 = 3,50 \text{ m}$
9	Novena Planta	Estimada por el Software de cálculo	$Q_{C.R.} + Q_{C.Niv} + Q_{Cer.} + Q_{Tab} = 2 \text{ KN/m}^2$	2 $\text{KN/m}^2$	$V_{\text{Viento}} : 27,2 \text{ m/s}$ $X_1 = 20,00 \text{ m}$ $Y_1 = 3,50 \text{ m}$ $X_2 = 10,00 \text{ m}$ $Y_2 = 3,50 \text{ m}$
10	Décima Planta	Estimada por el Software de cálculo	$Q_{C.R.} + Q_{C.Niv} + Q_{Cer.} + Q_{Tab} = 2 \text{ KN/m}^2$	2 $\text{KN/m}^2$	$V_{\text{Viento}} : 27,2 \text{ m/s}$ $X_1 = 20,00 \text{ m}$ $Y_1 = 3,50 \text{ m}$ $X_2 = 10,00 \text{ m}$ $Y_2 = 3,50 \text{ m}$
11	Terraza	Estimada por el	$Q_{C.R.} + Q_{C.Niv} + Q_{Cer.} +$	3 $\text{KN/m}^2$	$V_{\text{Viento}} : 27,2 \text{ m/s}$ $X_1 = 20,00 \text{ m}$

N°	Nivel	Carga por peso propio	Carga muerta	Sobrecarga de Uso	Sobrecarga por acción del viento
		Software de cálculo	$Q_{Tab} = 2$ KN/m <sup>2</sup>		$Y_1 = 3,50$ m $X_2 = 10,00$ m $Y_2 = 3,50$ m
12	Losa ascensor	Estimada por el Software de cálculo		35 KN/m <sup>2</sup>	$V_{viento} : 27,2$ m/s $X_1 = 4,50$ m $Y_1 = 3,90$ m $X_2 = 7,60$ m $Y_2 = 3,90$ m
13	Cubierta	Estimada por el Software de cálculo	$Q_{cal.} = 0.025$ KN/m <sup>2</sup>	0,86 KN/m <sup>2</sup>	$V_{viento} : 27,2$ m/s $X_1 = 4,50$ m $Y_1 = 3,90$ m $X_2 = 7,60$ m $Y_2 = 3,90$ m

#### 4.10. Diseño de edificio con losas aligeradas con viguetas pretensadas

Este diseño se lo realizará mediante el software Cypecad, este programa necesita que se le provea de datos como la norma a utilizar, geometría, características de los materiales a emplear, definición de los elementos resistentes, como así también de un pre dimensionamiento inicial de los mismos que es lo que se realizará a continuación.

##### 4.10.1. Pre dimensionamiento de elementos

###### 4.10.1.1. Losas

Para mantener una uniformidad en todo la planta se decide analizar la losa más desfavorable.

Entre los pórticos 2 - 3 y 4 -5 entre los pórticos 8 y 13

Tenemos una luz de 7,30 y 5,75 metros por lo tanto se tiene: para la luz menor de 5,75 m un canto de:

En el caso particular de forjados de viguetas con luces menores que 7 m y de forjados de losas alveolares pretensadas con luces menores que 12 m, y sobrecargas no mayores que 4 kN/m<sup>2</sup>, no es preciso comprobar si la flecha cumple con las limitaciones de 50.1, si el canto total  $h$  es mayor que el mínimo  $h_{\text{mín}}$  dado por<sup>1</sup>:

$$h = \delta_1 * \delta_2 * m \frac{L}{C}$$

Donde:

$\delta_1$  = Factor que depende de la carga total y que tiene el valor de  $\sqrt{q/7}$

$\delta_2$  = Factor que tiene el valor de  $(L/6)^{1/4}$

$q$  = la carga total, en kN/m

$C$  = Coeficiente cuyo valor se toma de la Tabla 50.2.2.1.b = 23

$$q = \text{CM} + \text{SC} = 2 + 2 = 4 \text{ kN/m}^2$$

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{4}{7}} = 0,76$$

$$\delta_2 = \sqrt[4]{\frac{5,75}{6}} = 0,99$$

$$h_m = 0,76 * 0,99 * \frac{5,75}{23} = 0,19$$

Se tomará en una primera aproximación de  $h_{\text{losa}} = 20 \text{ cm}$

#### 4.10.1.2. Vigas

De igual manera para el tramo más desfavorable se tiene. Entre

los pórticos 2 - 3 y 4 -5 entre los pórticos 8 y 13

$$L = 7,30 \text{ m}$$

La Instrucción EHE-08 establece que no será necesaria la comprobación del Estado Límite de Servicio de deformaciones en aquellas vigas y losas de edificación cuya esbeltez o relación luz/canto útil sea igual o inferior a los valores indicados en la

Tabla 50.2.2.1.a.; por lo tanto, el canto útil mínimo que debe tener un elemento (viga,

<sup>1</sup> Instrucción de Hormigón Estructura EHE-08 – Pág. 248

losa unidireccional o placa) para evitar la comprobación de las deformaciones se obtiene de la siguiente expresión<sup>1</sup>:

$$d \geq \frac{L}{C} = d_m$$

Donde:

L = luz de la viga

C = Coeficiente obtenido de la tabla 50.2.2.1.a de la misma norma.

$$d \geq \frac{7,30}{26} = 0,28 \text{ m}$$

Se tomará en una primera aproximación de  $h_{\text{viga}} = 30 \text{ cm}$  y un ancho de 20 cm.

#### 4.10.1.3. Columnas

De la norma EHE-08 recomienda un ancho de columna mayor o igual a 30 cm para columnas que tengan una falla dúctil

Usando el método de las áreas tributarias que indica que:

$$b \geq k * \frac{A_g}{A_t}$$

Donde

$A_g$  = Área de columna

k = Factor que depende del área tributaria y del tipo de columna según su ubicación

$A_t$  = Área tributaria por planta

De igual manera para las columnas centrales que son las más solicitadas se tiene:

Tabla # 4. (Pre dimensionamiento de columnas)

Tipo de columna	Área tributaria m <sup>2</sup>	K	$A_g$ m <sup>2</sup>	b cm	Sección adoptada
Columna central	29,66	0,0012	0,036	18,86	(30x30)
Columna extrema en	29,01	0,0014	0,041	0,2015	(30x30)

<sup>1</sup> Instrucción de Hormigón Estructura EHE-08 – Pág. 247

portico principal					
Columna extrema en portico secundario	18,34	0,0014	0,026	16,02	(30x30)
Columna en esquina	12,43	0,0015	0.019	13,65	(30x30)

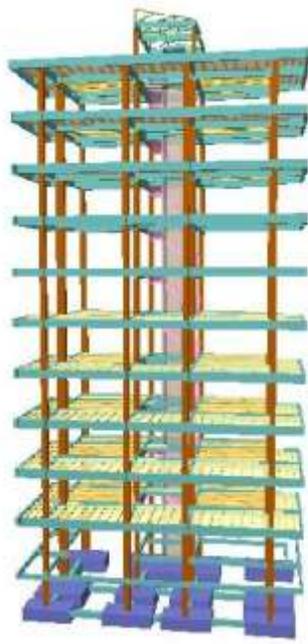
#### 4.10.1.4. Fundaciones

Se optó por un sistema de zapatas aisladas tipo piramidal con una altura de fundación de 2,50 metros.

#### 4.10.2. Diseño

El análisis estructural se lo realizó con la ayuda del Software Cypecad, introduciendo los elementos estructurales de acuerdo a la geometría del edificio y con las dimensiones iniciales obtenidas en el pre dimensionamiento y con las cargas estimadas anteriormente.

Figura # 52 – (Modelado de la estructura en el software de cálculo)



Luego de realizar el cálculo se tuvieron varios problemas como elementos estructurales que no resistían las solicitaciones como es el caso de columnas, vigas y losas, por lo cual se realizó incrementos en las secciones en las direcciones más críticas luego de un proceso sucesivo de esta metodología hasta conseguir una estructura capaz de resistir las solicitaciones adecuadamente con las secciones suficientes; luego de realizar las modificaciones necesarias la estructura quedó con los siguientes elementos estructurales y sus características:

#### 4.10.2.1. Columnas

A continuación se presenta las columnas de la edificación y sus diferentes secciones con las cuales satisfacen los requisitos de las normas y las solicitaciones del edificio.

*Tabla # 5 (Pre dimensionamiento de columnas)*

<b>Pilar</b>	<b>Planta</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>
P6, P8, P9, P5	13	30x30
	12	30x30
	11	40x40
	10	40x40
	9	40x40
	8	40x40
	7	40x40
	6	40x40
	5	40x40
	4	40x40
	3	40x40
	2	40x40
	1	40x40

<b>Pilar</b>	<b>Planta</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>
P1, P4, P7, P10	11	40x40
	10	40x40
	9	40x40
	8	40x40
	7	40x40
	6	40x40
	5	40x40
	4	40x40
	3	40x40
	2	40x40
	1	40x40
P2, P11	11	40x60
	10	40x60
	9	40x60
	8	40x60
	7	40x60
	6	60x60
	5	60x60
	4	60x60
	3	60x60
	2	60x60
	1	60x60
P3, P12	11	40x40
	10	40x40
	9	40x40
	8	40x40
	7	40x40
	6	40x60
	5	40x60
	4	40x60

Pilar	Planta	Dimensiones (cm)
	3	40x60
	2	40x60

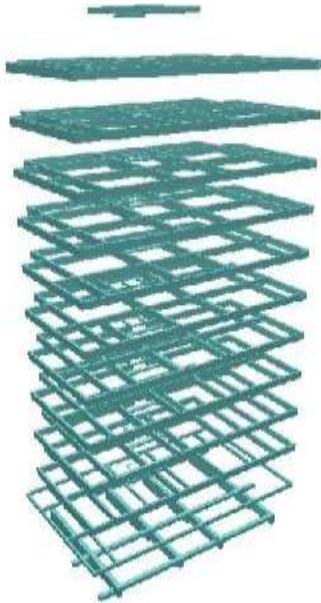
Figura # 53– (Sistema de columnas en la edificación)



#### 4.10.2.2. Vigas

Con el afán de mantener una sección constante se logró hacer cumplir todas las condiciones de solicitaciones con una sección de (20x60) en todas las plantas excepto para la viga de encadenado de la última planta que con una sección de (20x45) cumple todas las condiciones.

Figura # 54 – (Sistema de vigas en la edificación)



#### 4.10.2.3. Losas de viguetas

Se empezó el cálculo con la sección obtenida en el pre dimensionamiento pero luego del proceso de cálculo se vio la necesidad de incrementar el canto de las mismas en las luces más grandes de acuerdo al siguiente detalle:

##### 4.10.2.3.1. Tipos de losa considerados

Debido a que la losa inicial no bastaba para soportar las cargas actuantes en la edificación, por lo cual se tuvo que incrementar el canto de las mismas para los ambientes más grandes.

Tabla # 6 (Tipos de Losa alivianada utilizadas en el proyecto)

Nombre	Descripción
Losa de 25	FORJADO DE VIGUETAS DE HORMIGÓN Canto de bovedilla: 20 cm Espesor capa compresión: 5 cm Intereje: 50 cm Bovedilla: De poliestireno Ancho del nervio: 8 cm

Nombre	Descripción
Losa de 20	FORJADO DE VIGUETAS DE HORMIGÓN Canto de bovedilla: 15 cm Espesor capa compresión: 5 cm Intereje: 50 cm Bovedilla: De poliestireno
Losa de 30	FORJADO DE VIGUETAS DE HORMIGÓN Canto de bovedilla: 25 cm Espesor capa compresión: 5 cm Intereje: 50 cm Bovedilla: De poliestireno

#### 4.10.2.3.2. Disposición de los diferentes tipos de losa en la edificación

Tabla # 7 (Disposición de losas en el edificio)

Grupo	Tipo	Coordenadas del centro del paño
Losa 1	Losa de 20	8.52, 10.00
		6.90, 18.88
		6.90, 1.12
		2.35, 18.88
		2.35, 1.12
		2.35, 15.01
Losa 2	Losa de 20	8.52, 10.00
		6.90, 18.88
		6.90, 1.12
		2.35, 18.88
		2.35, 1.12
		2.35, 15.01

Grupo	Tipo	Coordenadas del centro del paño
Losa 3	Losa de 20	8.52, 10.00 6.90, 18.88 6.90, 1.12 2.35, 18.88 2.35, 1.12 2.35, 15.01 2.35, 10.00
Losa 4	Losa de 20	8.52, 10.00 6.90, 18.88 6.90, 1.12 2.35, 18.88 2.35, 1.12 2.35, 15.01
Losa 5	Losa de 20	8.52, 10.00 6.90, 18.88 6.90, 1.12 2.35, 18.88 2.35, 1.12 2.35, 15.01 2.35, 10.00
Losa 6	Losa de 20	8.52, 10.00 6.90, 18.88 6.90, 1.12 2.35, 18.88 2.35, 1.12 2.35, 15.01 2.35, 10.00

Grupo	Tipo	Coordenadas del centro del paño
Losa 7	Losa de 20	8.52, 10.00 6.90, 18.88 6.90, 1.12 2.35, 18.88 2.35, 1.12 2.35, 15.01 2.35, 10.00
Losa 8	Losa de 20	8.52, 10.00 6.90, 18.88 6.90, 1.12 2.35, 18.88 2.35, 1.12 2.35, 15.01 2.35, 10.00
Losa 9	Losa de 20	8.52, 10.00 6.90, 18.88 6.90, 1.12 2.35, 18.88 2.35, 1.12 2.35, 15.01 2.35, 10.00
Losa de terraza	Losa de 20	6.90, 18.90 2.37, 18.90 8.30, 10.00 2.35, 1.10 6.90, 1.10 2.36, 15.01 2.36, 10.00

Figura # 55 – (Sistema de losas alivianadas con viguetas en la edificación)



#### 4.10.2.4. Fundaciones

Luego de realizar el cálculo se tuvo que optar por considerar vigas de atado y centradoras para que las fundaciones cumplan con las condiciones de resistencia, el detalle de zapatas, vigas de atado y vigas centradoras se presenta a continuación:

Tabla # 8 (Geometría y armado de las zapatas de fundación)

Referencias	Geometría	Armado
P1, P7, P10	Zapata rectangular excéntrica	X: 27Ø12c/12.5
	Ancho inicial X: 20.0 cm	Y: 10Ø20c/18
	Ancho inicial Y: 175.0 cm	
	Ancho final X: 160.0 cm	
	Ancho final Y: 175.0 cm	
	Ancho zapata X: 180.0 cm	
	Ancho zapata Y: 350.0 cm	
	Canto: 90.0 cm	

Referencias	Geometría	Armado
P2	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 180.0 cm Ancho inicial Y: 180.0 cm Ancho final X: 180.0 cm Ancho final Y: 180.0 cm Ancho zapata X: 360.0 cm Ancho zapata Y: 360.0 cm Canto: 110.0 cm	X: 15Ø20c/24 Y: 24Ø16c/15
P3	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 180.0 cm Ancho inicial Y: 195.0 cm Ancho final X: 20.0 cm Ancho final Y: 195.0 cm Ancho zapata X: 200.0 cm Ancho zapata Y: 390.0 cm Canto: 110.0 cm	X: 21Ø16c/18 Y: 7Ø25c/29
P4	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 20.0 cm Ancho inicial Y: 175.0 cm Ancho final X: 160.0 cm Ancho final Y: 175.0 cm Ancho zapata X: 180.0 cm Ancho zapata Y: 350.0 cm Canto: 90.0 cm	X: 27Ø12c/12.5 Y: 6Ø25c/29

Referencias	Geometría	Armado
P5, P8	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 145.0 cm Ancho inicial Y: 145.0 cm Ancho final X: 145.0 cm Ancho final Y: 145.0 cm Ancho zapata X: 290.0 cm Ancho zapata Y: 290.0 cm Canto: 130.0 cm	X: 12Ø20c/24 Y: 12Ø20c/24
P11	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 180.0 cm Ancho inicial Y: 180.0 cm Ancho final X: 180.0 cm Ancho final Y: 180.0 cm Ancho zapata X: 360.0 cm Ancho zapata Y: 360.0 cm Canto: 110.0 cm	X: 15Ø20c/24 Y: 15Ø20c/23
P12	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 185.0 cm Ancho inicial Y: 200.0 cm Ancho final X: 20.0 cm Ancho final Y: 200.0 cm Ancho zapata X: 205.0 cm Ancho zapata Y: 400.0 cm Canto: 110.0 cm	X: 22Ø16c/18 Y: 11Ø20c/18

Referencias	Geometría	Armado
(P6-P9)	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 365.0 cm Ancho inicial Y: 587.8 cm Ancho final X: 20.0 cm Ancho final Y: 177.2 cm Ancho zapata X: 385.0 cm Ancho zapata Y: 765.0 cm Canto: 130.0 cm	Sup X: 32Ø20c/24 Sup Y: 16Ø20c/24 Inf X: 32Ø20c/24 Inf Y: 29Ø20c/13

Tabla # 9 (Geometría y armado de las vigas centradoras)

Referencias	Tipo	Geometría	Armado
[P11 - P10]	VC.T-7.2	Ancho: 40.0 cm Canto: 90.0 cm	Superior: 8Ø25 Inferior: 3Ø12 Piel: 2x2Ø12 Estribos: 1xØ10c/20
[P11 - P12]	VC.T-9	Ancho: 40.0 cm Canto: 110.0 cm	Superior: 14Ø25 Inferior: 3Ø12 Piel: 3x2Ø12 Estribos: 1xØ10c/20
[P7 - P8]	VC.T-7.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 90.0 cm	Superior: 8Ø25 Inferior: 3Ø12 Piel: 2x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/20
[P8 - (P6-P9)]	VC.T-11	Ancho: 40.0 cm Canto: 130.0 cm	Superior: 16Ø25 Inferior: 3Ø12 Piel: 4x2Ø12 Estribos: 1xØ12c/20

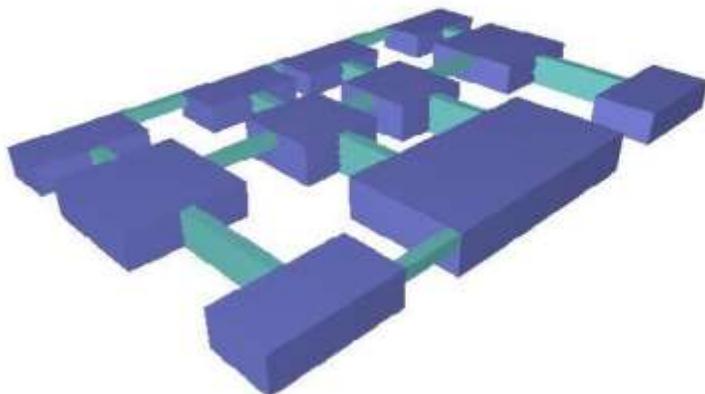
Referencias	Tipo	Geometría	Armado
[(P6-P9) - P5]	VC.T-11	Ancho: 40.0 cm Canto: 130.0 cm	Superior: 16Ø25 Inferior: 3Ø12 Piel: 4x2Ø12 Estribos: 1xØ12c/20
[P5 - P4]	VC.T-7.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 90.0 cm	Superior: 8Ø25 Inferior: 3Ø12 Piel: 2x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/20
[P1 - P2]	VC.T-7.2	Ancho: 40.0 cm Canto: 90.0 cm	Superior: 8Ø25 Inferior: 3Ø12 Piel: 2x2Ø12 Estribos: 1xØ10c/20
[P2 - P3]	VC.T-9	Ancho: 40.0 cm Canto: 110.0 cm	Superior: 14Ø25 Inferior: 3Ø12 Piel: 3x2Ø12 Estribos: 1xØ10c/20

Tabla # 10 (Geometría y armado de las vigas de atado)

Referencias	Tipo	Geometría	Armado
[P7 - P10]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
[P8 - P11]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
[P4 - P7]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30

Referencias	Tipo	Geometría	Armado
[P5 - P8]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
[P3 - (P6-P9)]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
[P2 - P5]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
[P1 - P4]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30

Figura # 56 – (Sistema de zapatas con vigas centradoras y de atado en la edificación)



#### 4.10.3. Determinación de flechas

Las flechas en las viguetas fueron calculadas con el software CYPECAD en cada losa cumpliendo en todas los límites de deflexiones establecidos en las normas, habiéndose encontrado que la losa con mayores solicitaciones y por ende mayores deformaciones

son las losas de cubierta o terraza especialmente las que tienen mayor luz ubicadas entre los pórticos 2 – 3 y 4 – 5 entre los pórticos 8-11 en las cuales se tiene las máximas flechas.

#### **4.10.4. Determinación de flecha activa**

Del programa estructural se tiene que para la losa mencionada anteriormente se tiene una

**Flecha Activa = 8,77 mm**

#### **4.10.5. Determinación de la flecha total**

Del programa estructural se tiene que para la losa mencionada anteriormente se tiene una

**Flecha total = 11,38 mm**

### **4.11. Diseño de edificio con losas reticulares**

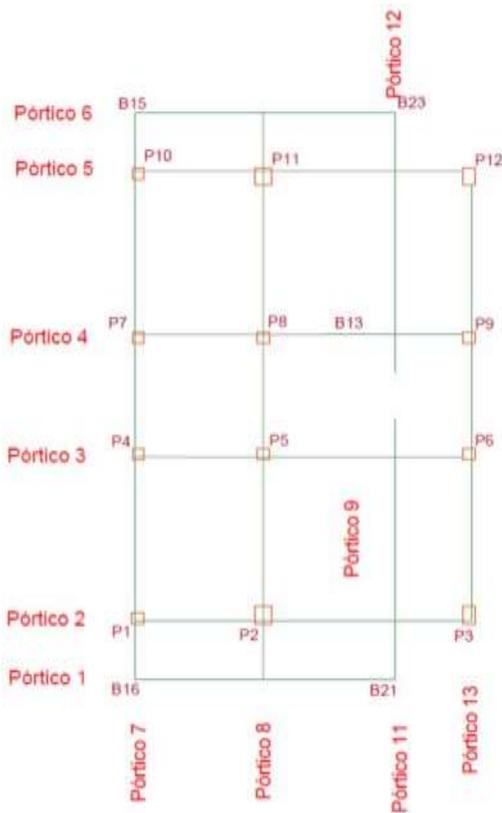
Este diseño se lo realizará mediante el software Cypecad, este programa necesita que se le provea de datos como la norma a utilizar, geometría, características de los materiales a emplear, definición de los elementos resistentes, como así también de un pre dimensionamiento inicial de los mismos que es lo que se realizará a continuación.

#### **4.11.1. Idealización de la estructura**

A continuación desglosaremos el edificio en plantas, pórticos y posible disposición de columnas y losas en la edificación:

Después de analizar los planos arquitectónicos y de tomar en cuenta las condiciones de estética que se le quiere dar al bloque de departamentos habitacionales especialmente con un sistema de losas planas alivianadas también conocidas como losas reticulares, las mismas que están apoyadas directamente en las columnas con la ayuda de ábacos. Se formó una estructura de 13 pórticos con 12 columnas, aclarando que el pórtico número 10 está destinado al análisis de la caja del ascensor:

Figura # 57(Idealización de la estructura con un sistema aporticado)



#### 4.11.2. Pre dimensionamiento de elementos

##### 4.11.2.1. Losas

Para mantener una uniformidad en toda la planta se decide analizar la losa más desfavorable.

Entre los pórticos 2 - 3 y 4 -5 entre los pórticos 8 y 13

Según la norma española EHE-08 la altura de las placas aligeradas de espesor constante no será menor a  $L/28$

Por lo tanto:

$$d_m \geq \frac{7.30}{28} = 0,26 \text{ m}$$

Se tomará en una primera aproximación de  $h_{\text{losa}} = 25 \text{ cm}$

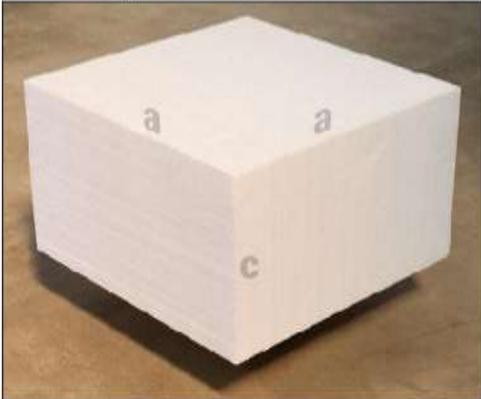
Ahora consideraremos los demás aspectos como la geometría de la sección de la losa:

Para definir el espaciamiento intereje uno de los factores es que las medidas adoptadas sean comerciales para ello se consultó las medidas disponibles en los proveedores de este material en nuestro país la medida del casetón adoptado para el proyecto.

Figura # 58 – (Medidas comerciales de complementos para losas reticulares)

BLOQUES PARA LA CONSTRUCCIÓN  
**CASETÓN DE STYROPOR**

• Densidad: 11 Kg/m<sup>3</sup>



Medidas comerciales del CASETÓN

Detalle	Medidas			Volumen m <sup>3</sup>
	a	a	c	
CASETÓN 40x40x15	40	40	15	0,024
CASETÓN 40x40x20	40	40	20	0,032
CASETÓN 40x40x25	40	40	25	0,040
CASETÓN 40x40x30	40	40	30	0,048
CASETÓN 40x40x35	40	40	35	0,056
CASETÓN 50x50x15	50	50	15	0,038
CASETÓN 50x50x20	50	50	20	0,050
CASETÓN 50x50x25	50	50	25	0,063
CASETÓN 50x50x30	50	50	30	0,075
CASETÓN 50x50x35	50	50	35	0,088

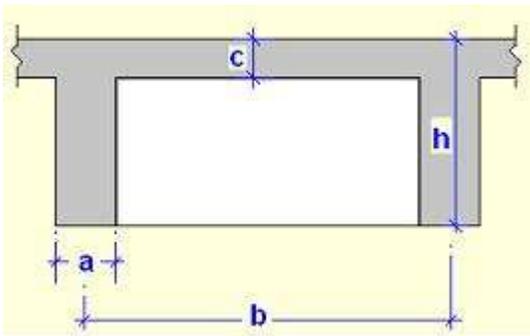
Fuente: página web <http://www.isoporbolivia.com/caseton.html>

Para el proyecto se empezará el cálculo con los bloques de 20 centímetros de altura que son con los cuales podremos obtener una losa de espesor de 25 centímetros.

Teniendo definido la geometría del casetón nos falta determinar el ancho de los nervios, los cuales serán de 12 cm.

Con la definición de estos parámetros tenemos la sección de la losa.

Figura # 59 – (Sección de la losa reticular)



Donde:

a= ancho de nervio b=

intereje

c= Capa de compresión h=

altura total de losa

#### 4.11.2.2. Vigas

Se usará un sistema de vigas tanto en el encadenado de la cubierta de la última planta (Escaleras y Ascensor) y para el sistema de sobrecimientos.

Entre los pórticos 3 - 4 entre los pórticos 8 y 13

$L = 7.30 \text{ m}$

*La Instrucción EHE-08 establece que no será necesaria la comprobación del Estado Límite de Servicio de deformaciones en aquellas vigas y losas de edificación cuya esbeltez o relación luz/canto útil sea igual o inferior a los valores indicados en la Tabla 50.2.2.1.a.; por lo tanto, el canto útil mínimo que debe tener un elemento (viga, losa unidireccional o placa) para evitar la comprobación de las deformaciones se obtiene de la siguiente expresión<sup>1</sup>:*

$$d \geq \frac{L}{C} = d_m$$

Donde:

L = luz de la viga

C = Coeficiente obtenido de la tabla 50.2.2.1.a de la misma norma.

$$d \geq \frac{7,30}{26} = 0,28 \text{ m}$$

Se tomará en una primera aproximación de  $h_{\text{viga}} = 30 \text{ cm}$  y un ancho de 20 cm.

#### 4.11.2.3. Columnas

De la norma EHE-08 recomienda un ancho de columna mayor o igual a 30 cm para columnas que tengan una falla dúctil

Usando el método de las áreas tributarias que indica que:

<sup>1</sup> Instrucción de Hormigón Estructura EHE-08 – Pág. 247

$$A_g = k * A_t$$

Donde

$A_g$ = Área de columna

$k$  = Factor que depende del area tributaria y del tipo de columna según su ubicación

$A_t$ = Area tributaria por planta

De igual manera para las columnas centrales que son las más solicitadas se tiene:

Tabla # 11. (Pre dimensionamiento de columnas)

Tipo de columna	Area tributaria m <sup>2</sup>	K	Ag m <sup>2</sup>	b cm	Seccion adoptada
Columna central	29,66	0,0012	0,036	18,86	(30x30)
Columna extrema en portico principal	29,01	0,0014	0,041	0,2015	(30x30)
Columna extrema en portico secundario	18,34	0,0014	0,026	16,02	(30x30)
Columna en esquina	12,43	0,0015	0,019	13,65	(30x30)

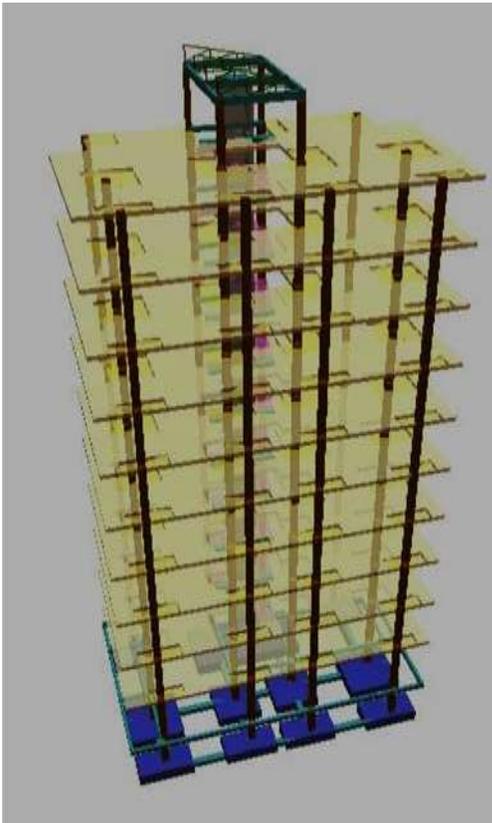
#### 4.11.2.4. Fundaciones

Se optó por un sistema de zapatas aisladas con una altura de fundación de 2,50 metros.

#### 4.11.3. Diseño

El análisis estructural se lo realizó con la ayuda del Software Cypecad, introduciendo los elementos estructurales de acuerdo a la geometría del edificio y con las dimensiones iniciales obtenidas en el pre dimensionamiento y con las cargas estimadas anteriormente.

Figura # 60 – (Modelado de la estructura en el software de cálculo)



Luego de realizar el cálculo se tuvieron varios problemas como elementos estructurales que no resistían las solicitaciones como es el caso de columnas, losas, por lo cual se realizó incrementos en las secciones en las direcciones más críticas luego de un proceso sucesivo de esta metodología hasta conseguir una estructura capaz de resistir las solicitaciones adecuadamente con las secciones suficientes; luego de realizar las modificaciones necesarias la estructura quedó con los siguientes elementos estructurales y sus características:

#### **4.11.3.1. Columnas**

A continuación se presenta las columnas de la edificación y sus diferentes secciones con las cuales satisfacen los requisitos de las normas y las solicitaciones del edificio.

Tabla # 12 (Geometría de columnas)

Pilar	Planta	Dimensiones (cm)
P6, P9	13	30x30
	12	30x30
	11	40x40
	10	40x40
	9	40x40
	8	40x40
	7	40x40
	6	40x40
	5	40x40
	4	40x40
	3	40x40
	2	40x40
	1	40x40
P8	13	55x30
	12	55x30
	11	55x40
	10	55x40
	9	55x40
	8	60x40
	7	60x40
	6	60x40
	5	60x40
	4	60x40
	3	60x40

<b>Pilar</b>	<b>Planta</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>
	2	60x40
	1	60x40
P1, P3, P4, P7, P10, P12	11	40x40
	10	40x40
	9	40x40
	8	40x40
	7	40x40
	6	40x40
	5	40x40
	4	40x40
	3	40x40
	2	40x40
	1	40x40
P2, P11	11	45x40
	10	45x40
	9	45x40
	8	45x40
	7	45x40
	6	45x40
	5	55x40
	4	55x40
	3	55x40
	2	55x40
	1	55x40
P5	13	55x30

Pilar	Planta	Dimensiones (cm)
	12	55x30
	11	55x40
	10	55x40
	9	55x40
	8	55x40
	7	55x40
	6	55x40
	5	55x40
	4	55x40
	3	55x40
	2	55x40
	1	55x40

Figura # 61– (Sistema de columnas en la edificación)



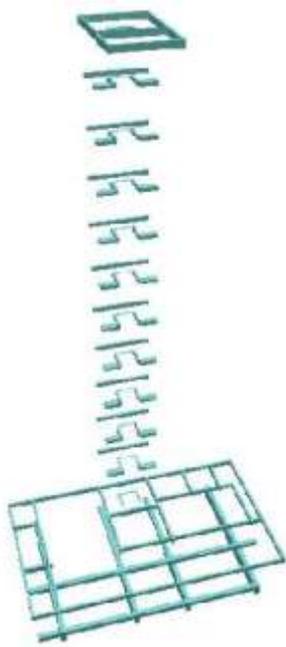
#### 4.11.3.1.1. Capitel

Los capiteles ayudan a soportar los esfuerzos que se producen alrededor de las columnas en interacción con las losas, son una buena alternativa para reducir el canto de las losas sin embargo los capiteles son en realidad un ensanchamiento de las columnas cerca de las losas, siguiendo la tendencia a querer techos completamente planos no se lo consideró en este estudio.

#### 4.11.3.2. Vigas

La sección de viga que logró hacer cumplir todas las condiciones de solicitaciones con una sección en el sistema de encadenado para cubierta fue de (20x45).

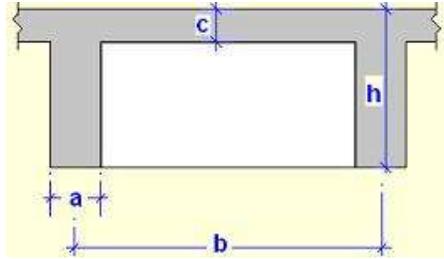
*Figura # 62 – (Sistema de vigas en la edificación)*



#### 4.11.3.3. Losas reticulares

Luego del cálculo realizado los mayores inconvenientes es poder hacer cumplir los esfuerzos de punzonamiento en las losas, para ello se alternó modificando el espacio entreteje de las losas finalmente la sección que pudo cumplir con todos los requisitos es la siguiente.

Figura # 63 – (Sección de la losa reticular)



Donde:

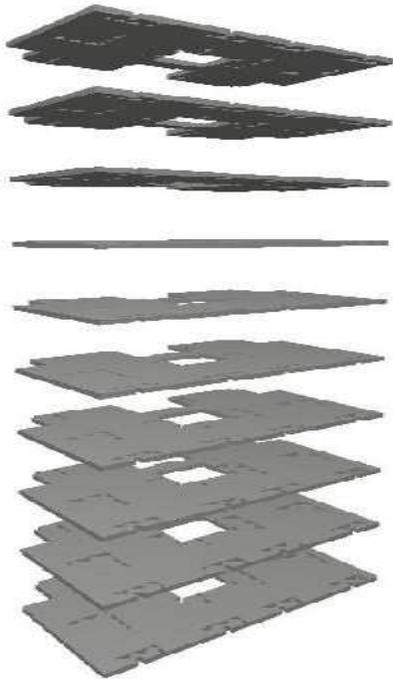
$a =$  ancho de nervio = 12 cm  $b =$

intereje = 62 cm

$c =$  Capa de compresión = 5 cm  $h =$

altura total de losa = 25 cm

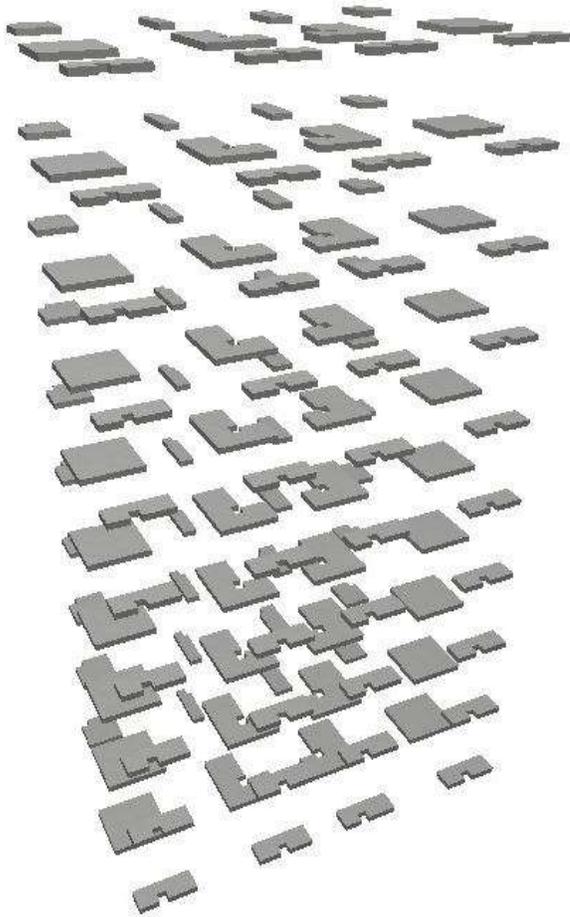
Figura # 64 – (Sistema de losas reticulares en la edificación)



#### 4.11.3.3.1. Ábacos

Los ábacos son el macizado que se realiza alrededor de las columnas donde se produce el perímetro crítico por el esfuerzo de punzonamiento, aunque este factor fue el más difícil de hacer cumplir en este diseño ya que se puede reducir el canto del forjado pero necesariamente se tendría que tener ábacos descolgados; siguiendo con el requerimiento de que se quiere techos completamente planos se optó por mantener el canto de las losas en los ábacos.

*Figura # 65 – (Sistema de ábacos en la edificación)*



#### 4.11.3.4. Fundaciones

Luego de realizar el cálculo se tuvo que optar por considerar vigas de atado y centradoras para que las fundaciones cumplan con las condiciones de resistencia, el detalle de zapatas, vigas de atado y vigas centradoras se presenta a continuación:

Tabla # 13 (Geometría y armado de las zapatas de fundación)

Referencias	Geometría	Armado
P1	Zapata rectangular excéntrica piramidal Ancho inicial X: 20.0 cm Ancho inicial Y: 180.0 cm Ancho final X: 160.0 cm Ancho final Y: 180.0 cm Ancho zapata X: 180.0 cm Ancho zapata Y: 360.0 cm Ancho pedestal X: 45.0 cm Ancho pedestal Y: 50.0 cm Coordenada pedestal X: 2.5 cm Coordenada pedestal Y: 0.0 cm Canto borde: 80.0 cm Canto pedestal: 90.0 cm	X: 27Ø12c/13 Y: 11Ø20c/16
P2, P11	Zapata rectangular excéntrica piramidal Ancho inicial X: 177.5 cm Ancho inicial Y: 177.5 cm Ancho final X: 177.5 cm Ancho final Y: 177.5 cm Ancho zapata X: 355.0 cm Ancho zapata Y: 355.0 cm Ancho pedestal X: 55.0 cm Ancho pedestal Y: 55.0 cm Coordenada pedestal X: 0.0 cm Coordenada pedestal Y: 0.0 cm Canto borde: 90.0 cm Canto pedestal: 100.0 cm	X: 16Ø20c/22 Y: 17Ø20c/21

Referencias	Geometría	Armado
P3, P12	Zapata rectangular excéntrica piramidal Ancho inicial X: 165.0 cm Ancho inicial Y: 180.0 cm Ancho final X: 20.0 cm Ancho final Y: 180.0 cm Ancho zapata X: 185.0 cm Ancho zapata Y: 360.0 cm Ancho pedestal X: 45.0 cm Ancho pedestal Y: 50.0 cm Coordenada pedestal X: -2.5 cm Coordenada pedestal Y: 0.0 cm Canto borde: 90.0 cm Canto pedestal: 100.0 cm	X: 18Ø16c/20 Y: 6Ø25c/29
P4	Zapata rectangular excéntrica piramidal Ancho inicial X: 20.0 cm Ancho inicial Y: 175.0 cm Ancho final X: 160.0 cm Ancho final Y: 175.0 cm Ancho zapata X: 180.0 cm Ancho zapata Y: 350.0 cm Ancho pedestal X: 45.0 cm Ancho pedestal Y: 50.0 cm Coordenada pedestal X: 2.5 cm Coordenada pedestal Y: 0.0 cm Canto borde: 75.0 cm Canto pedestal: 90.0 cm	Sup X: 26Ø12c/13 Sup Y: 13Ø12c/13 Inf X: 26Ø12c/13 Inf Y: 7Ø25c/27

Referencias	Geometría	Armado
P5	Zapata rectangular excéntrica piramidal Ancho inicial X: 150.0 cm Ancho inicial Y: 150.0 cm Ancho final X: 150.0 cm Ancho final Y: 150.0 cm Ancho zapata X: 300.0 cm Ancho zapata Y: 300.0 cm Ancho pedestal X: 70.0 cm Ancho pedestal Y: 70.0 cm Coordenada pedestal X: -0.0 cm Coordenada pedestal Y: 0.0 cm Canto borde: 75.0 cm Canto pedestal: 90.0 cm	X: 16Ø16c/18 Y: 11Ø20c/26
P7	Zapata rectangular excéntrica piramidal Ancho inicial X: 20.0 cm Ancho inicial Y: 175.0 cm Ancho final X: 155.0 cm Ancho final Y: 175.0 cm Ancho zapata X: 175.0 cm Ancho zapata Y: 350.0 cm Ancho pedestal X: 45.0 cm Ancho pedestal Y: 50.0 cm Coordenada pedestal X: 2.5 cm Coordenada pedestal Y: 0.0 cm Canto borde: 75.0 cm Canto pedestal: 85.0 cm	X: 14Ø16c/24 Y: 10Ø20c/16

Referencias	Geometría	Armado
P8	Zapata rectangular excéntrica piramidal Ancho inicial X: 150.0 cm Ancho inicial Y: 150.0 cm Ancho final X: 150.0 cm Ancho final Y: 150.0 cm Ancho zapata X: 300.0 cm Ancho zapata Y: 300.0 cm Ancho pedestal X: 70.0 cm Ancho pedestal Y: 70.0 cm Coordenada pedestal X: -0.0 cm Coordenada pedestal Y: 0.0 cm Canto borde: 75.0 cm Canto pedestal: 85.0 cm	X: 10Ø20c/29 Y: 11Ø20c/26
P10	Zapata rectangular excéntrica piramidal Ancho inicial X: 20.0 cm Ancho inicial Y: 180.0 cm Ancho final X: 160.0 cm Ancho final Y: 180.0 cm Ancho zapata X: 180.0 cm Ancho zapata Y: 360.0 cm Ancho pedestal X: 45.0 cm Ancho pedestal Y: 50.0 cm Coordenada pedestal X: 2.5 cm Coordenada pedestal Y: 0.0 cm Canto borde: 80.0 cm Canto pedestal: 90.0 cm	X: 27Ø12c/13 Y: 7Ø25c/26

Referencias	Geometría	Armado
(P6-P9)	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 365.0 cm Ancho inicial Y: 587.8 cm Ancho final X: 20.0 cm Ancho final Y: 177.2 cm Ancho zapata X: 385.0 cm Ancho zapata Y: 765.0 cm Canto: 90.0 cm	Sup X: 61Ø12c/12.5 Sup Y: 30Ø12c/12.5 Inf X: 61Ø12c/12.5 Inf Y: 34Ø25c/11

Tabla # 14 (Geometría y armado de las vigas centradoras)

Referencias	Tipo	Geometría	Armado
[P10 - P11]	VC.S-7.2	Ancho: 40.0 cm Canto: 90.0 cm	Superior: 8Ø25 Inferior: 8Ø25 Piel: 2x2Ø12 Estribos: 1xØ10c/20
[P11 - P12]	VC.S-8	Ancho: 40.0 cm Canto: 100.0 cm	Superior: 8Ø25 Inferior: 8Ø25 Piel: 2x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
[P7 - P8]	VC.S-6.2	Ancho: 40.0 cm Canto: 85.0 cm	Superior: 7Ø25 Inferior: 7Ø25 Piel: 2x2Ø12 Estribos: 1xØ10c/20
[P4 - P5]	VC.T-7.2	Ancho: 40.0 cm Canto: 90.0 cm	Superior: 8Ø25 Inferior: 3Ø12 Piel: 2x2Ø12 Estribos: 1xØ10c/20

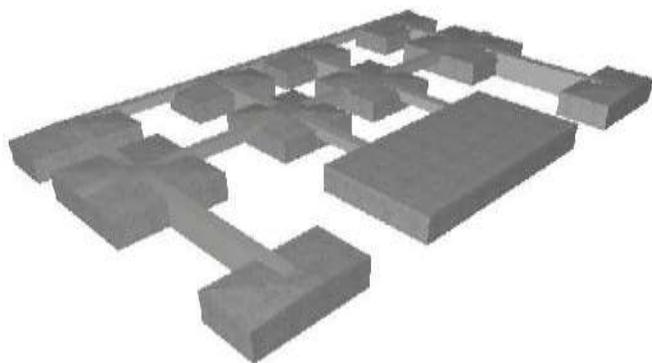
Referencias	Tipo	Geometría	Armado
[P1 - P2]	VC.S-7.2	Ancho: 40.0 cm Canto: 90.0 cm	Superior: 8Ø25 Inferior: 8Ø25 Piel: 2x2Ø12 Estribos: 1xØ10c/20
[P2 - P3]	VC.S-8	Ancho: 40.0 cm Canto: 100.0 cm	Superior: 8Ø25 Inferior: 8Ø25 Piel: 2x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
[P8 - (P6-P9)]	C	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ6c/25
[P5 - (P6-P9)]	C	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 c	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ6c/25

Tabla # 15 (Geometría y armado de las vigas de atado)

Referencias	Tipo	Geometría	Armado
[P7 - P10]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
[P8 - P11]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
[P5 - P8]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
[P4 - P7]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30

Referencias	Tipo	Geometría	Armado
[P1 - P4]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30
[P2 - P5]	C.1	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø12 Inferior: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30

Figura # 66 – (Sistema de zapatas con vigas centradoras y de atado en la edificación)



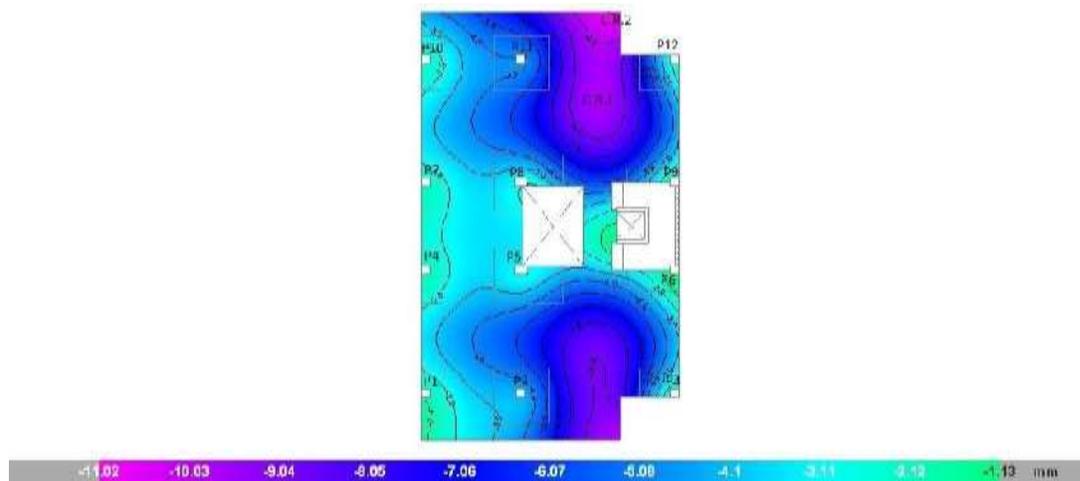
#### 4.12. Determinación de flechas

Las deformaciones serán analizadas en las secciones más críticas de la estructura ya que verificando que se cumplan con los límites permisibles en estos lugares garantizaremos que en toda la estructura las deformaciones serán menores, el programa CYPECAD nos ayuda a encontrar las flechas a través del cálculo de desplazamientos elásticos verticales en las losas reticulares que si bien no son las flechas directamente nos ayuda a poder tener una buena estimación de las flechas al multiplicarlas o amplificarlas por factores que toman en cuenta una serie de aspectos como el proceso constructivo y la pérdida de rigidez que se produce a causa de ello; también otros factores que afectan esta estimación.

Luego del análisis estructural de la edificación se logró identificar que el sector donde se encuentran las mayores desplazamientos son el en la décima planta en la losa de cubierta.

En la combinación más desfavorable:

Figura # 67 – (Diagrama de deformaciones en la losa de cubierta con la combinación de cargas más desfavorable)



Se logró identificar dos puntos críticos CR1 y CR2 donde se encuentran los mayores desplazamientos en la mitad de planta ya que es una estructura simétrica, ya que el programa mide desplazamientos elásticos, es necesario descontar los desplazamientos de las columnas y restarle, para tener el desplazamiento real de ese punto.

$$\delta_{P8} = -3,17 \text{ mm}$$

$$\delta_{P9} = -2,10 \text{ mm}$$

$$\delta_{P11} = -4,87 \text{ mm} \quad \delta_{P12}$$

$$= -2,86 \text{ mm} \quad \delta_{CR1} = -$$

$$6,31 \text{ mm}$$

$$\delta_{CR2} = -5,18 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta_1 + \delta_9}{2} = \frac{-4,87 + (-2,10)}{2} = 3,485 \text{ m}$$

$$\delta_1 = -5,18 \text{ mm} - (-3,485) \text{ mm}$$

$$\delta_1 = -1,695 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta_1 + \delta_1}{2} = \frac{-4,87 + (-2,86)}{2} = 3,865 \text{ m}$$

$$\delta_2 = -6,31 \text{ mm} - (-3,865) \text{ mm}$$

$$\delta_2 = -2,445 \text{ mm}$$

#### 4.12.1. Determinación de flecha instantánea

La flecha instantánea se la puede calcular con una buena aproximación multiplicado los desplazamientos obtenidos con el programa CYPECAD multiplicados por factores de ampliación especificados en la página web de soporte del fabricante del software, por la tanto se tiene

$$\text{Flecha instantánea en CR1} = \beta * \delta_1$$

Donde  $\beta$  para el caso de la flecha instantánea tiene un valor igual a 1,60

$$\text{Flecha instantánea en CR1} = 1,60 * 1,695$$

$$\text{CR1} = 2,712 \text{ mm}$$

$$\text{Flecha instantánea en CR2} = 1,60 * 2,445$$

$$\text{CR1} = 3,912 \text{ mm}$$

#### 4.12.2. Determinación de flecha activa

La flecha activa se la puede calcular con una buena aproximación multiplicado los desplazamientos obtenidos con el programa CYPECAD multiplicados por factores de ampliación especificados en la página web de soporte del fabricante del software, por la tanto se tiene

$$\text{Flecha activa en CR1} = \beta * \delta_1$$

Donde  $\beta$  para el caso de la flecha activa tiene un valor igual a 1,75

$$\text{Flecha instantánea en CR1} = 1,75 * 1,695$$

$$\text{CR1} = 2,966 \text{ cm}$$

$$\text{Flecha instantánea en CR2} = 1,75 * 2,445$$

$$\text{CR1} = 4,279 \text{ cm}$$

Flecha máxima según EHE-08 la deformación límite para forjados que soportan tabiquería se tiene que no debe ser mayor a:

L/400

Para CR1  $5750/400 = 14,375 \text{ mm} \geq 2,966 \text{ mm}$  Cumple!!!

L/400

Para CR2  $1,6 \cdot 2050/400 = 8,20 \text{ mm} \geq 4,279 \text{ mm}$  Cumple!!!

#### 4.12.3. Determinación de la flecha total

La flecha total se la puede calcular con una buena aproximación multiplicado los desplazamientos obtenidos con el programa CYPECAD multiplicados por factores de ampliación especificados en la página web de soporte del fabricante del software, por la tanto se tiene

Flecha activa en CR1 =  $\beta \cdot \delta_1$

Donde  $\beta$  para el caso de la flecha total tiene un valor igual a 2,5

Flecha instantánea en CR1 =  $2,50 \cdot 1,695$

**CR1 = 4,2375 mm**

Flecha instantánea en CR2 =  $2,50 \cdot 2,445$

**CR1 = 6,113 mm**

Flecha máxima según EHE-08 la deformación límite para forjados que soportan tabiquería se tiene que no debe ser mayor a:

L/500

Para CR1  $5750/500 = 11,50 \text{ mm} \geq 4,2375 \text{ mm}$  Cumple!!!

Para CR1  $5750/1000 + 5 \text{ mm} = 10,75 \text{ mm} \geq 6,113 \text{ mm}$  Cumple!!!

L/500

Para CR2  $1,60 \cdot 2050/500 = 6,56 \text{ mm} \geq 4,238 \text{ mm}$  Cumple!!!

Para CR2  $1,60 \cdot 2050/1000 + 5 \text{ mm} = 8,28 \text{ mm} \geq 6,113 \text{ mm}$  Cumple!!!

**CAPÍTULO V****ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS**

A continuación se detalla un análisis comparativo de los dos tipos de losa, para las mismas condiciones de número de columnas, luces de ambientes.

**5.1. Análisis y comparación técnica**

En la siguiente tabla se estampa las comparaciones técnicas entre uno y otro sistema:

*Tabla # 16 (Comparación técnica de losas)*

<b>Ámbito</b>	<b>Losa Reticular con complementos perdidos</b>	<b>Losa unidireccional con viguetas pretensadas</b>
Estético	<p>✓ Su capacidad para salvar grandes luces hace que se pueda realizar un diseño de ambientes mucho más amplios sin la necesidad de columnas intermedias</p>	<p>✓ Por su condición de losa unidireccional obliga a que para grandes luces de vanos las se tenga que considerar un mayor canto.</p>
	<p>✓ Las losas reticulares pueden apoyarse directamente en las columnas con lo que ya no es necesario un sistemas de vigas para que apoye la losa, esta ausencia de losas hace que la tabiquería llegue hasta la losa</p>	<p>✓ Por trabajar en una dirección necesariamente tienen que estar apoyadas en sus bordes transversales a la dirección de armado a elementos que las sostengan como vigas o muros de carga, los cuales la mayoría de las</p>

<b>Ámbito</b>	<b>Losa Reticular con complementos perdidos</b>	<b>Losa unidireccional con viguetas pretensadas</b>
	con su espesor y no sobresalgan las vigas en la misma	veces sobresale del espesor de los muros.
	✓ Techos planos, en este tipo de losas ante la ausencia de vigas se tiene como resultado un techo completamente plano.	✓ Por sus características al ir apoyadas sobre vigas, estas a su vez generalmente sobresalen de la tabiquería y de las losas generando.
Acústico	✓ Presenta una gran capacidad de aislamiento acústico entre plantas	✓ En este caso que se está empleando complemento de plastoformo al igual que en la losa reticular presenta un adecuado aislamiento acústico entre plantas pero al presentar en algunos ambientes espesores menores esto reduce su capacidad de aislamiento.
Térmico	✓ Presenta una gran capacidad de aislamiento térmico entre plantas	✓ En este caso que se está empleando complemento de plastoformo al igual que en la losa reticular presenta un adecuado aislamiento térmico entre plantas pero al presentar en algunos ambientes espesores menores esto reduce su capacidad de aislamiento.

Ámbito	Losa Reticular con complementos perdidos	Losa unidireccional con viguetas pretensadas
Instalaciones sanitarias	<p>✓ Este tipo de losa presenta una gran ventaja a la hora de realizar y dejar espacios para las tuberías de instalaciones sanitarias ya que por ser una estructura bidireccional armada en ambos sentidos se puede hacer pasar las tuberías por cualquier dirección de armado, facilitando así la disposición de estos elementos.</p>	<p>✓ Al estar armada y ser un elemento unidireccional todas las instalaciones sanitarias tienen que seguir la dirección de armado causando inconvenientes a la hora de realizar las instalaciones ya que no se tiene la libertad colocar las tuberías en ambos sentidos.</p>
Tabiquería	<p>✓ Este tipo de losa se caracteriza por poseer la capacidad de que se coloque la tabiquería sin ningún tipo de restricción sobre su superficie ya que no requiere un armado adicional para resistir la carga de tabiques.</p>	<p>✓ La tabiquería debe ir sobre elementos portantes como vigas ya que si va por encima de la losa requerirá que se le dé un refuerzo adicional para soportar la carga de los muros como ser la colocación de doble vigueta resistente debajo de la construcción de los tabiques.</p>
Huecos en la superficie de la losa	<p>✓ Este tipo de losa es muy útil a la hora de prever huecos en la losa, ya que al trabajar en dos direcciones logra que la estructura trabaje como un</p>	<p>✓ Dejar huecos en una losa con viguetas resulta complicado cuando el hueco no presenta columnas y/o vigas que ayuden a que se</p>

<b>Ámbito</b>	<b>Losa Reticular con complementos perdidos</b>	<b>Losa unidireccional con viguetas pretensadas</b>
	entramado que resiste bien ante la presencia de huecos en la losa.	pueda apoyar la losa en los bordes de los huecos.
Encofrado	✓ Se tiene que encofrar toda la superficie de la losa aunque en realidad solo se necesitaría encofrar el área de las nervaduras pero por razones constructivas se encofra toda la superficie.	✓ Este tipo de losa es muy práctico al momento del encofrando, ya que solo necesita un refuerzo de las columnas para soportar el peso del hormigón que se vacía in situ y el peso de los que la construye.
Comportamiento ante fuertes cargas.	✓ Las losas reticulares son muy buenas al momento de soportar grandes sobrecargas y transmitir las a los soportes o columnas.	✓ Su capacidad a resistir grandes cargas es un poco más limitada.
Comportamiento frente a cargas no previstas	✓ Las losas reticulares logran absorber en un 20 a un 30% de cargas no previstas en el diseño.	✓ Las losas con viguetas no presentan esas características para soportar cargas adicionales.
Confort	✓ Su condición de estructura que trabaja en forma de emparrillado tiene un buen comportamiento ante las solicitando deformaciones menores que las losas con viguetas pretensadas.	✓ Al ser estructuras que trabajan en un solo sentido permiten que se produzcan deformaciones considerables.

Ámbito	Losas Reticular con complementos perdidos	Losas unidireccional con viguetas pretensadas
Vibraciones	✓ Las losas reticulares presentan menores vibraciones ante los impactos producidos en la misma en relación a las losas unidireccionales con viguetas pretensadas.	✓ Al ser una estructura liviana generalmente con espesores relativamente menores a las losas reticulares presentan mayores vibraciones ante los impactos producidos en las mismas.
Comportamiento ante fuerzas horizontales	✓ Las losas reticulares tienen trabajar en ambos sentidos tiene mayor rigidez en su plano	✓ Las losas unidireccionales transmiten bien los esfuerzos y las fuerzas en la pero solo en la dirección del armado.
Peso propio	✓ Con este sistema de losas sin vigas se tiene un peso por peso propio y cargas muertas de : 1.645,99 Toneladas	✓ Con este sistema de losas unidireccional aliviana tiene un peso por peso propio y cargas muertas de : 1.742,77 Toneladas

## 5.2. Análisis y comparación de insumos.

Los insumos ocupados para la construcción de ambos sistemas de losas son de fácil acceso en el mercado, así como el cemento, áridos, hierro de construcción, complementos para losa alivianada unidireccional, complementos para losa reticular o casetón perdido y viguetas pretensadas.

A continuación se presenta un análisis de comparación de los mismos en cada sistema de losas:

Tabla # 17 (Detalle de materiales de obra edificio con losas unidireccionales alivianadas con viguetas pretensadas)

N°	Descripción insumos	Und.	Cant.
1	ACERO DE CONSTRUCCION CORRUGADO	KG	43.751,05
2	ALAMBRE DE AMARRE	KG	2.231,59
3	ARENA COMUN	M3	315,84
4	CEMENTO PORTLAND	KG	184.845,92
5	CLAVOS	KG	544,12
6	GRAVA COMUN	M3	480,45
7	MADERA DE CONSTRUCCION	PIE2	26.787,83
8	PLASTOFORM TIRA 100x40x15 cm.	PZA	788,44
9	PLASTOFORM TIRA 100x40x20 cm.	PZA	1.299,88
10	PLASTOFORM TIRA 100x40x25 cm.	PZA	1.526,66
11	VIGUETA PRETENSADA H=10cm	M	3.614,98

Tabla # 18 (Detalle de materiales de obra edificio con losas reticulares con complementos perdidos)

N°	Descripción insumos	Und.	Cant.
1	ACERO DE CONSTRUCCION CORRUGADO	KG	63.871,27
2	ALAMBRE DE AMARRE	KG	3.141,42
3	ARENA COMUN	M3	288,44
4	CASETONES 50x50x20 cm.	PZA	4.651,20
5	CEMENTO PORTLAND	KG	167.694,60
6	CLAVOS	KG	454,24
7	GRAVA COMUN	M3	432,88
8	MADERA DE CONSTRUCCION	PIE2	38.470,75

En el caso del acero de construcción en el edificio con losas reticulares se emplea mayor cantidad de este material, pero tomando en cuenta que los elementos resistentes en el caso de las losas unidireccionales ya viene con su propio acero, por ende el caso de alambre de igual manera es usado en mayor cantidad en las losas reticulares, en el caso de madera y clavos también se demuestra que se ocupa mayor cantidad en el edificio con losas reticulares pero considerando que el encofrado es mayor en este caso pero en su mayoría es más plano y menos complicado que en el otro diseño, en el caso de áridos se emplea mayor cantidad en el caso del proyecto con losas unidireccionales pero su diferencia no es muy grande y por último el tema de complementos se ocupa mayor volumen en el caso de losas unidireccionales y considerando también que los

complementos para las losas unidireccionales presenta una geometría un poco más complicada frente a los complementos perdidos que se usan en el sistema de losas reticulares.

### 5.3. Comparación y comparación de volúmenes de obra

En este análisis comparativo se lo realiza de todo el esqueleto resistente de la edificación sujeto a variación por la elección de uno y otro sistema de losas.

Tabla # 19 (Comparación técnica de losas – Volúmenes de obra)

Elemento	Losa Reticular con complementos perdidos	Losa unidireccional con viguetas pretensadas
Fundaciones	<p>Se utilizó en ambos diseños la misma altura de fundación, zapatas superficiales aisladas con vigas centradoras y de atado de las cuales se tiene las siguientes cantidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zapatas : 98,04 m<sup>3</sup></li> <li>• Vigas centradoras : 5,34 m<sup>3</sup></li> <li>• Vigas de atado: 1,77 m<sup>3</sup></li> </ul>	<p>Se utilizó en ambos diseños la misma altura de fundación, zapatas superficiales aisladas con vigas centradoras y de atado de las cuales se tiene las siguientes cantidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zapatas : 128,95 m<sup>3</sup></li> <li>• Vigas centradoras : 7,02 m<sup>3</sup></li> <li>• Vigas de atado: 2,08 m<sup>3</sup></li> </ul>
Columnas	<p>En ambos diseños se empezó con un proceso iterativo colocando las medidas del pre dimensionamiento y después de hacer correr el programa amentar de sección en los sectores donde lo ameritaba, manteniendo el concepto de que no es muy conveniente cambiar de sección</p>	<p>En ambos diseños se empezó con un proceso iterativo colocando las medidas del pre dimensionamiento y después de hacer correr el programa amentar de sección en los sectores donde lo ameritaba, manteniendo el concepto de que no es muy conveniente cambiar de sección</p>

Elemento	Losa Reticular con complementos perdidos	Losa unidireccional con viguetas pretensadas
	<p>de columnas en cada planta sino después de unos 3 a 4 plantas por lo que se tiene el siguiente volumen de columnas:</p> <p>Columnas: 76,27 m<sup>3</sup></p>	<p>de columnas en cada planta sino después de unos 3 a 4 plantas por lo que se tiene el siguiente volumen de columnas:</p> <p>Columnas: 71,96 m<sup>3</sup></p>
Vigas	<p>En el caso del diseño con losas reticulares, esta no necesitan vigas para apoyarse, pero si existen algunos lugares en la edificación que sí necesitan de vigas por lo cual se tiene el siguiente volumen de vigas de:</p> <p>Vigas: 17,75 m<sup>3</sup></p>	<p>En el caso de losas unidireccionales con viguetas pretensadas si se necesita la construcción de vigas donde puedan apoyarse, si bien se puede colocar una sección diferente de viga en cada tramo esto no es muy práctico hacer esto por temas constructivos y por darle una continuidad a la estructura teniendo en cuenta estos aspectos luego del cálculo se tiene las siguientes cantidades de vigas</p> <p>Vigas: 187,22 m<sup>3</sup></p>
Losas	<p>En cuanto a losas las superficies asignadas en cada diseño son las mismas con la diferencia que en las losas reticulares al no poseer vigas su longitud es considerada hasta los bordes, otra consideración a tener en cuenta es</p>	<p>En cuanto a losas las superficies asignadas en cada diseño son las mismas con la diferencia de que en las losas con vigas se acostumbra considerar la losa hasta donde intersecta con la viga, ya que esta aunque está en</p>

Elemento	Losas Reticular con complementos perdidos	Losas unidireccionales con viguetas pretensadas
	que en este tipo de losas si bien también se puede asignar un canto de losa diferente en cada ambiente lo cual no se lo hizo siguiendo la lógica de diseño defendido de contar con un techo completamente plano y también porque un cambio en el canto de las losas sin vigas resulta incluso más notorio que una losa con vigas.	contacto con la losa y tiene alguno de sus materiales como viguetas en su sección aun así se la considera como viga hasta encima de la losa; ya que las vigas ayudan a esconder un poco el cambio de canto en las losas se ha tomado este criterio para realizar una asignación de 3 tipos de losa cada una con un canto diferente a la otra para asignarlas de acuerdo a las luces de los ambientes.
Acero en la construcción	En el sistema que se empleó las losas reticulares se tiene la siguiente cantidad de acero de construcción requerido para el mismo:  Acero de Construcción: <b>21.361,79 Kg.</b>	En el sistema que se empleó las losas de vigas pretensadas, se tiene la siguiente cantidad de acero de construcción requerido para el mismo:  Acero de Construcción: <b>39.773,68 Kg.</b>

Del cuadro anterior podemos ver que el volumen de zapatas, vigas centradoras y de atado son menores los del sistema de losas reticulares dándonos a entender que la estructura es un poco menos pesada con este sistema comparando con los sistemas de vigas aligeradas de hormigón pretensado.

En el caso de las columnas se evidencia que efectivamente los volúmenes de hormigón son mayores que las obtenidas en el sistema de losas con viguetas pretensadas, uno se

los principales factores que indujo a que esto suceda es debido al gran problema de dar solución al sistema de esfuerzos de punzonamiento en los ábacos, como una medida para contrarrestar esto se tuvo que aumentar las secciones de las columnas en las zonas donde se producían los mayores esfuerzos de punzonamiento.

#### 5.4. Comparación de mano de obra

A continuación se presenta el desglose de la mano de obra en los dos diseños.

*Tabla # 20 (Detalle de mano de obra edificio con losas unidireccionales aliviadas con viguetas pretensadas)*

Descripción insumos	Unidad	Cantidad
ALBAÑIL	HR	5.803,22
ARMADOR	HR	2.386,42
AYUDANTE	HR	9.159,39
ENCOFRADOR	HR	7.971,94
<b>Total:</b>	<b>HR</b>	<b>25.320,97</b>

*Tabla # 21 (Detalle de mano de obra edificio con losas reticulares con complementos perdidos)*

Nº	Descripción insumos	Unidad	Cantidad
1	ALBAÑIL	HR	4.224,25
2	ARMADOR	HR	3.483,89
3	AYUDANTE	HR	9.889,43
4	ENCOFRADOR	HR	5.811,00
	<b>Total:</b>	<b>HR</b>	<b>23.408,57</b>

Se evidencia que si bien la mano de obra para la construcción de losas reticulares es más costosa que la de losas aliviadas con viguetas pretensadas pero esto se compensa en toda la obra ya que se tiene menos volúmenes de obra al no ejecutarse vigas en el otro sistema de losas reticulares.

En el caso del albañil como tal se utiliza menos tiempo que en el sistema de losas unidireccionales con viguetas pretensadas, en el caso del armador se evidencia que se emplea mayor cantidad de tiempo esto debido claro a los menores rendimientos que se realizan el armado de las losas reticulares, en el caso personal semi calificado como es el caso de los ayudantes, éstos se emplean en mayor cantidad en las losas reticulares y por último el caso del encofrador se ocupa menor tiempo en el caso del proyecto con

losas reticulares entendiéndose que en realidad comparando sólo losa con losa en la que se emplea para las losas reticulares es mayor que la que se ocupa en las losas unidireccionales con viguetas prefabricadas sin embargo en la estructura en su conjunto no existen por ejemplo vigas a las que encofrar sin embargo se tiene que encofrar toda la losa en el caso de reticulares pero con la ventaja que es un encofrado superficial o plano y representa mucha dificultad frente al encofrado para vigas la cual es más tediosa.

### 5.5. Análisis y comparación económica

En esta sección se analizará una comparación entre el precio unitario de ambas losas pero tomando en cuenta que al no tener vigas el sistema de losas reticulares, para poder comparar sus costos con las losas con vigas se tiene que incluir los costos de las vigas dentro del precio unitario de las losas con vigas, por lo tanto siguiendo esta lógica se tiene los siguientes presupuestos.

Los mismos que fueron estimados tomando en cuenta el formulario de análisis de precios unitario del sistema estatal de contrataciones con todas las obligaciones e impuestos de ley.

La superficie total de entresijos y cubiertas de losas es de 2040 metros cuadrados.

#### 5.5.1. Costos de entresijos y cubiertas en el edificio de losas unidireccionales alivianadas con viguetas pretensadas:

Tabla # 22 (Presupuesto de paquete estructural de entresijos y losas de cubierta del edificio con losas unidireccionales alivianadas con viguetas pretensadas)

Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
1	HORMIGÓN ESTRUCTURAL PARA VIGAS H21	M3	169,47	2.903,48	492.052,76
2	LOSA ALIVIANADA C/.VIGUETAS PRET. H21 h=20 cm	M2	394,22	308,83	121.746,96
3	LOSA ALIVIANADA C/.VIGUETAS PRET. H21 h=25 cm	M2	649,94	342,30	222.474,46
4	LOSA ALIVIANADA C/.VIGUETAS PRET. H21 h=30 cm	M2	763,33	372,84	284.599,96
5	PROV. Y COLOC. ACERO DE CONSTRUCCIÓN	KG	19.088,14	16,57	316.290,48
<b>Total presupuesto:</b>					<b>1.437.164,62</b>

Por lo tanto se tiene un costo de **704,49 Bs/m<sup>2</sup>** de entepiso y losa de cubierta; este costo es resultado del análisis del edificio en estudio con sus condiciones particulares por lo tanto es un precio referencial.

### 5.5.2. Costos de entrepisos y cubiertas en el edificio de losas reticulares con complementos perdidos:

Tabla # 23 (Presupuesto de paquete estructural de entrepisos y losas de cubierta del edificio con losas reticulares con complementos perdidos)

N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
1	LOSA RETICULAR C/COMP. PERDIDO C/ABACOS H21 h=25cm	M2	2.040,00	442,77	903.250,80
2	PROV. Y COLOC. ACERO DE CONSTRUCCIÓN	KG	37.004,00	16,57	613.156,28
<b>Total presupuesto:</b>					<b>1.516.407,08</b>

Por lo tanto se tiene un costo de **743,34 Bs/m<sup>2</sup>** de entepiso y losa de cubierta entepiso y losa de cubierta; este costo es resultado del análisis del edificio en estudio con sus condiciones particulares por lo tanto es un precio referencial.

### 5.5.3. Comparación de precios unitarios

Luego del análisis presupuestario se tiene que existe una diferencia de **38,84 Bolivianos** por metro de cuadrado entre el sistema de losas unidireccionales alivianadas con viguetas pretensadas respecto al sistema de losas reticulares con complementos perdidos existiendo un **5,51%** de incremento.

## 5.6. Análisis de costos totales

Ahora se presenta el análisis de toda la estructura de soporte del edificio que es variable en función al sistema de entrepisos y losas de cubierta utilizados.

### 5.6.1. Presupuesto de la estructura portante del edificio con losas unidireccionales alivianadas con viguetas pretensadas

A continuación se presentan el correspondiente presupuesto para la construcción de la estructura portante del edificio con losas unidireccionales:

Tabla # 24 (Presupuesto de la estructura portante del edificio con losas unidireccionales alivianadas con viguetas pretensadas)

N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial
1	HORMIGÓN ESTRUCTURAL PARA ZAPATAS H18	M3	128,95	2.140,98	276.079,37
2	HORMIGÓN ESTRUCTURAL PARA VIGAS CENTRADORAS H18	M3	7,02	2.179,25	15.298,33
3	HORMIGÓN ESTRUCTURAL PARA VIGAS DE ATADO H18	M3	2,08	1.866,22	3.881,74
4	HORMIGÓN ESTRUCTURAL PARA COLUMNAS H21	M3	71,96	2.991,11	215.240,28
5	HORMIGÓN ESTRUCTURAL PARA VIGAS H21	M3	187,22	2.903,48	543.589,53
6	LOSA ALIVIANADA C/.VIGUETAS PRET. H21 h=20 cm	M2	394,22	308,83	121.746,96
7	LOSA ALIVIANADA C/.VIGUETAS PRET. H21 h=25 cm	M2	649,94	342,30	222.474,46
8	LOSA ALIVIANADA C/.VIGUETAS PRET. H21 h=30 cm	M2	763,33	372,84	284.599,96
9	PROV. Y COLOC. ACERO DE CONSTRUCCION	KG	39.773,68	16,57	659.049,88
	<b>Total presupuesto:</b>				<b>2.341.960,51</b>

Se estableció un costo de 2.341.960,51 Bolivianos

### 5.6.2. Presupuesto de la estructura portante del edificio con losas reticulares con complementos perdidos

A continuación se presentan el correspondiente presupuesto para la construcción de la estructura portante del edificio con losas reticulares:

Tabla # 25 (Presupuesto de la estructura portante del edificio con losas reticulares con complementos perdidos)

N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial
1	HORMIGON ESTRUCTURAL PARA ZAPATAS H18	M3	98,04	2.140,98	209.901,68
2	HORMIGON ESTRUCTURAL PARA VIGAS CENTRADORAS H18	M3	5,34	2.179,25	11.637,19
3	HORMIGON ESTRUCTURAL PARA VIGAS DE ATADO H18	M3	1,77	1.866,22	3.303,21
4	HORMIGON ESTRUCTURAL PARA COLUMNAS H21	M3	76,27	2.991,11	228.131,96
5	HORMIGON ESTRUCTURAL PARA VIGAS H21	M3	17,75	2.812,75	49.926,31
6	LOSA RETICULAR C/COMP. PERDIDO C/ABACOS H21 h=25cm	M2	2.040,00	442,77	903.250,80
7	PROV. Y COLOC. ACERO DE CONSTRUCCION	KG	58.064,79	16,57	962.133,57
<b>Total presupuesto:</b>					<b>2.368.284,72</b>

Se estableció un costo de **2.368.284,72** Bolivianos

### 5.6.3. Comparación de presupuestos

Luego del análisis presupuestario se tiene que existe una diferencia de **26.324,21**

Bolivianos entre el sistema de losas unidireccionales aliviadas con viguetas pretensadas respecto al sistema de losas reticulares con complementos perdidos existiendo un **1,11%** de incremento.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de realizado el presente estudio se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

#### **6.1. Conclusiones.**

- ✓ Se pudo evidenciar que el sistema de losas reticulares con complementos perdidos tiene grandes beneficios en el aspecto arquitectónico ya que nos permite reducir el número de columnas en una edificación al poder salvar grandes vanos sin muchas complicaciones, también nos permite realizar una tabiquería en forma libre sin ningún tipo de restricciones ya que con este sistema de losas la tabiquería no representa un refuerzo adicional a la estructura para sostenerla; otro de los aspectos importantes que se puede indicar es que también nos permite aprovechar al máximo la altura de entrepiso al no presentar vigas descolgadas.
- ✓ Se pudo demostrar que si bien no se puede generalizar ya que cada estructura es muy diferente de acuerdo a sus características particulares; que se puede obtener estructuras más livianas que la modelación tradicional de losas unidireccionales alivianadas con vigas pretensadas y vigas descolgadas con el sistema de losas reticulares con complementos perdidos y sin vigas.
- ✓ En cuanto a los costos comparando sólo los precios las losas de entrepisos y losas de cubierta si bien no existe ventajas económicas de las losas reticulares con respecto a las losas unidireccionales alivianadas y con viguetas pretensadas; pero se demostró que la diferencia por metro cuadrado no es muy grande, más aun si considerando la frase “lo más bueno no siempre es lo más barato”.
- ✓ Comparando ya los costos totales de la estructura portantes si bien no existe ventajas económicas de las losas reticulares con respecto a las losas unidireccionales

alivianadas y con viguetas pretensadas; pero se demostró que la competitividad de precios ya que la diferencia en este caso para las condiciones establecidas la diferencia de costos es apenas del alrededor del 1,11 % porcentaje que dado a las ventajas técnicas que ofrece el sistema de losas reticulares es un incremento en el costo que valdría la pena erogar.

✓ Queda claro que para vanos pequeños las losas reticulares resultan extremadamente caras e innecesario su empleo y así también para luces relativamente grandes el empleo del sistema tradicional de losas unidireccionales alivianadas y con viguetas prefabricadas también es ineficaz, es así que cuando las condiciones tanto de luces sea en los tramos intermedios es decir luces relativamente grandes pero no muy grandes se debe evaluar bien el sistema de losas a emplear tomando en cuenta que las ventajas ofrecidas por el sistema de losas reticulares son muy buenas y para estas condiciones existe una buena competitividad de costos.

✓ Luego del análisis realizado se concluye que los costos y sus propiedades resistentes de las losas reticulares dependen de varios factores como el espesor de la capa de compresión, separación entre nervios, canto de losa, ancho de nervios, esta serie de factores hacen un poco difícil realizar una conclusión de que a partir de que luces son convenientes utilizar este tipo de losa en forma general.

## **6.2. Recomendaciones.**

Luego de realizado el presente estudio se presentan las siguientes recomendaciones:

✓ Es necesario poner en claro que en el empleo de losas reticulares si bien presentan grandes y atractivas ventajas respecto a otros sistemas de losas hay que tener mucha cuenta a la hora del diseño el tema de refuerzo al punzonamiento sin descuidar los otros aspectos por supuesto, pero considerando que un mal diseño respecto al punzonamiento resulta falta para la estructura y quienes la habitarán ya que si la losa llegará a fallar por este aspecto se conoce como una falla frágil que casi no da muchas señales antes de producirse el colapso de la estructura convirtiéndose así en un peligro inminente; ya como lo que se comenta de manera coincidente en la diferente bibliografía que es preferible que las losas fallen por cualquier otro aspecto menos por punzonamiento.

- ✓ Se recomienda en un diseño de una edificación con losas reticulares con complementos perdidos que se haga previa la construcción de éstas un estudio minucioso y cabal de todos los sistemas de instalaciones ya que si bien en este tipo de losas presenta la ventaja de que se puede dejar espacios para las instalaciones en cualquier dirección, pero que si no se lo hace el pretender realizar instalaciones que fueron omitidas luego del vaciado de la losa resulta un trabajo muy difícil y tedioso.
- ✓ Se recomienda a la hora de la construcción fijar bien los complementos al encofrado para que no se mueva a la hora del hormigonado.
- ✓ Luego del estudio realizado se demostró que las losas reticulares presentan ventajas técnicas respecto al sistema de losas alivianadas unidireccionales pero que tomando en cuenta que los costos, de manera orientativa se puede recomendar que para luces iguales o mayores a 5 metros se recomienda el empleo de losas reticulares frente al empleo de losas alivianadas con viguetas pretensadas, ya que a partir de estas luces las losas reticulares presentan ventajas económicas respecto al sistema de losas alivianadas unidireccionales con viguetas pretensadas, pero se hace énfasis en que esta recomendación es meramente indicativa ya que cada diseño tiene características y condiciones particulares que pueden hacer variar los costos y que deben ser analizados en cada caso.