

## **1. ANTECEDENTES**

### **1.1. Problema.-**

#### **1.1.1. Generalidades.-**

Allá por el año 1849, Jose Monnier realiza los primeros experimentos del trabajo en conjunto del hormigón y acero. Posteriormente en 1906, Francia establece el primer reglamento del hormigón armado, así se fue evolucionando, hasta tener el material tan usado en la actualidad y sus respectivos procedimientos de cálculo.

El desarrollo de la humanidad, conlleva la realización de grandes edificaciones, es por eso que, día a día, se tienen que realizar diseños con exigencias que son todo un reto para los ingenieros. En las losas con grandes luces, el hormigón armado tiene la desventaja de un peso propio excesivo, lo que dificulta y limita su aplicación. Por ello, las ideas del ingeniero Eduardo Torroja nos llevan al empleo de la estructura espacial mixta, propuesta por el ingeniero mexicano Heberto Castillo en 1967. Entre las ideas originales de H. Castillo está la de formar un conjunto estructural resistente, uniendo una estructura espacial metálica con dos losas de hormigón armado, a la cual llamo “TRIDILOSA”. La estructura, en el sistema propuesto, está formada por un entramado espacial metálico soldado y una o dos losas de hormigón, colocadas en la capa superior de compresión e inferior de negativos.

Como la estructura metálica es el esqueleto fundamental de la obra, las losas de hormigón se deben agregar solo en las zonas de compresión. Para la puesta en obra de las losas de hormigón, se emplea como soporte la misma estructura metálica y prelosas de hormigón o encofrados metálicos recuperables. Para la correcta aplicación de las estructuras mixtas o compuestas, es indispensable asegurar un trabajo conjunto entre el esqueleto metálico y las losas de hormigón y proporcionar una adecuada adherencia entre ellos.

#### **1.1.2. Planteamiento.-**

Cuando se tiene requerimientos de losas de medianas y grandes luces, el hormigón armado tiene la desventaja de su peso excesivo, lo que dificulta su aplicación. Tiene además, limitadas posibilidades arquitectónicas, debido a que necesita columnas intermedias y secciones de gran dimensión, con mayores cantidades de armaduras.

La estructura espacial consigue eliminar hasta un 60% del peso muerto de la estructura tradicional, ya que en ella se puede evitar la losa inferior en tracción y no se emplea hormigón fisurado, que no trabaja. En la parte superior lleva una capa de hormigón de 5 a 7cm de espesor aproximadamente, que sirve de elemento resistente a la compresión y hace además las veces de piso. En la parte inferior también se puede ubicar una losa que hace las veces de cielorraso y que protege del fuego y agentes agresivos a las diagonales. Una propiedad a resaltar es que al aumentar el canto, como consecuencia de las luces a cubrir, el peso de la estructura por unidad de área no aumenta significativamente.

### **1.1.3. Formulación.-**

El planteamiento de este trabajo de investigación surge de la siguiente pregunta:

¿La nueva alternativa estructural planteada, es más eficiente que un sistema tradicional de losa convencional aligerada con viguetas pretensadas?

Con el estudio de la alternativa planteada de las losas reticulares mixtas se busca dar una mejor solución a los problemas que se tiene, como elevado peso propio, mayores cuantías y estructuras poco eficientes.

### **1.1.4. Sistematización.-**

**Estructura Espacial Mixta (EEM)<sup>1</sup>.**- Es una estructura auto portante, formada por mallas de acero superior e inferior conectadas por diagonales, las cuales forman una pirámide de base cuadrada.

<sup>1</sup> Bozzo Miguel, Bozzo Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 10-14

Esta técnica ofrece la utilidad práctica de obtener estructuras más eficientes que las de hormigón y las de acero, pues en aquellas un 50% del hormigón se encuentra fisurado y no cumple ninguna labor portante, el pandeo por compresión y las flechas limitan la posible esbeltez de la sección. En la EEM el hormigón solo se encuentra ubicado en zonas de compresión, por lo que desaparece este hormigón fisurado; al mismo tiempo, su gran inercia incrementa su rigidez. Proporciona además un aumento de la inercia de la sección, sin un sensible incremento del peso muerto de la misma. Disminuye el peso muerto de la obra hasta un 60%, merma que es función de diversos parámetros.

<b>Tabla 1.1 Comparación de peso e inercia de diferentes cantos</b>							
Variable	30	35	40	45	50	55	60
(% $\Delta I$ )	0	36	77	124	176	234	297
(% $\Delta W$ )	0	0.5	0.67	0.94	1.18	1.45	1.73

**Fuente:** Luis y Miguel Bozzo, *Losas Reticulares Mixtas*, (Editorial Reverté S.A., 2003), Pág. 11

Reduce cargas solicitantes en columnas y zapatas, esto conlleva a tener secciones menores, lo que redundará en un menor peso global de la estructura y menores fuerzas sísmicas. Genera amplias posibilidades arquitectónicas al no requerir vigas peraltadas y columnas intermedias. También permite pasar por el interior de la EEM las instalaciones eléctricas, sanitarias o de aire acondicionado, sin necesidad del empleo de cielos rasos. Posibilidad de prefabricación en planta.

## **1.2. Objetivos.-**

La presente propuesta de trabajo de investigación tiene los siguientes objetivos:

### **1.2.1. General.-**

- Diseñar una losa reticular mixta aplicada a luces medianas, para determinar su eficiencia tanto técnica como económica, frente a un sistema tradicional de losa alivianada con viguetas pretensadas.

### **1.2.2. Específicos.-**

- Dimensionar una losa reticular mixta aplicada a luces medianas.
- Modelar la estructura en estudio, mediante programas informáticos como ser el AUTOCAD y CYPECAD (METAL 3D).
- Realizar el rediseño de losas de entrepiso y cubierta, para el bloque administrativo de la facultad de Ciencias y Tecnología de la U.A.J.M.S.
- Comparar técnica y económicamente la nueva solución estructural con la existente, para ello se hará uso de los planos estructurales del edificio.
- Mencionar un método constructivo más eficiente, para desarrollar este nuevo sistema estructural.

## **1.3. Justificación.-**

Las razones por las cuales se elabora el presente perfil de trabajo de investigación son las siguientes:

### **1.3.1. Teórica.-**

La investigación propone, en función de teorías existentes, aportar mediante el estudio de un nuevo sistema estructural, en desmedro del tradicional, para de esta manera poder adquirir nuevos conocimientos y tener una nueva alternativa de solución estructural.

### **1.3.2. Metodológica.-**

El resultado de la investigación nos permitirá establecer una alternativa de solución estructural innovadora, que nos proporcione mayores beneficios que el sistema tradicional, realizando un estudio descriptivo detallado, de manera que se pueda evidenciar todas sus ventajas estructurales.

### **1.3.3. Práctica.-**

Prácticamente al tener un nuevo sistema estructural, que nos brinda grandes ventajas con respecto al tradicional, pudiendo reducir considerablemente el peso propio de la estructura, se necesitará menos volúmenes de hormigón, menor cantidad de materiales, y se tendrá mayores posibilidades arquitectónicas.

## **1.4. Hipótesis.-**

Como parte de este trabajo de investigación, se plantea la siguiente hipótesis:

- El nuevo sistema estructural, de losa reticular mixta, es más eficiente (técnica y económicamente) que una estructura aporticada tradicional, con un sistema de losa convencional alivianada con viguetas pretensadas, debido a que nos permite reducir, en porcentajes importantes, el peso propio de la estructura, disminuir la cantidad de armaduras y tener elementos estructurales de menor dimensión.

## **1.5. Alcance del Estudio.-**

Este trabajo tendrá como finalidad estudiar las bases de cálculo de este nuevo sistema constructivo (losas reticulares mixtas) aplicado a luces medianas.

Como ejemplo de aplicación del uso de este nuevo sistema estructural, se hará el rediseño del bloque Administrativo de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la U.A.J.M.S., en lo que respecta a las losas de entrepiso y cubierta del edificio. Y, con base en los planos

estructurales de la edificación ya existente, construida con losas alivianadas, se realizará la comparación técnica - económica con el nuevo sistema estructural que se propone.

#### **1.5.1. Restricciones y limitaciones.-**

El campo de trabajo de investigación estará delimitado a estudiar las losas reticulares mixtas, aplicadas a luces medianas en edificios y a determinar sus bases de cálculo, para dicho sistema estructural. El estudio se realizara para una losa normal, que soporta cargas normales, de una edificación con una luz de diseño mediana<sup>2</sup>, este parámetro varia dentro de un rango de 5 a 15 m.

#### **1.6. Tipo de Investigación.-**

El estudio será teórico-descriptivo del nuevo sistema estructural (losas reticulares mixtas), en el cual se aplicaran los fundamentos de análisis estructural, para estimar el comportamiento de los mismos y verificar sus ventajas, frente a un sistema tradicional de losa alivianada y viguetas pretensadas, realizando una comparación técnico-económica.

#### **1.7. Metodología de Investigación.-**

El tipo de metodología que se utilizará en la realización de esta investigación, será el método científico, en dicho método se hace uso de un relevamiento de información, donde se hace una recopilación de sucesos y antecedentes, que dependiendo de su análisis, se buscaran opciones de soluciones factibles o viables de los problemas presentados. Para el caso de este trabajo de investigación, por ser de índole novedoso en esta región, no se cuenta con suficiente información histórica, ni un problema definido con importancia significativa; sin embargo, de lo que se trata es de presentar un nuevo material disponible, para promover su uso en la industria de la construcción. Por tanto, se abordaran temas que tengan relación con

el objeto de estudio de este trabajo, en la búsqueda de la viabilidad técnica del uso de las losas reticulares mixtas.

<sup>2</sup> R.P., Hormigón II-74.05 (05/05), *Luces de Diseño* (Clase N° 23), Facultad de Ingeniería U.B.A., Departamento de Construcciones y Estructuras.

En forma descriptiva, se realizará el estudio en gabinete de las bases de cálculo de este nuevo sistema estructural y el apoyo de un programa informático, como es el NUEVO METAL 3D (CYPECAD-2010), para modelar nuestra estructura.

Esta investigación se desarrollara en tres etapas, en las cuales se tratara de abordar los más significativos criterios de diseño de las losas reticulares mixtas, así como su aplicabilidad a luces medianas y los beneficios que puede ofrecer su proceso constructivo. Posteriormente, se analizaran los resultados obtenidos y se realizara un ejemplo de aplicación para comparar este nuevo sistema estructural con el tradicional y más usado.

### **1.7.1 Normas Aplicadas.-**

Las normas establecen un criterio objetivo que debe tener un producto, proceso, sistema, persona o servicio, definen la seguridad, durabilidad, habilidad, fiabilidad, mantenimiento e intercambiabilidad. En ellas se unifican criterios, respecto a determinadas materias, para la utilización de un lenguaje común, en un campo de actividad concreto; es un pacto entre los fabricantes, los proveedores, los trabajadores, los consumidores, los usuarios y el gobierno, donde se acuerdan las características técnicas que deberá reunir una persona, un producto, un proceso, un sistema, o un servicio.<sup>3</sup>

La mayoría de países tienen normativa propia, donde se indican los procedimientos y especificaciones para cada caso así que se usaran normas de referencia para guía y la comparación de los resultados correlacionando estas a los elementos estructurales como la CBH: 1987 (Norma Boliviana del Hormigón Armado), la norma NB 136001:2003(Requisitos de Calidad para Soldaduras), la norma NB 136008:2007 (Guía para la Inspección Visual de Soldaduras), y la norma AISC (LRFD)-2005.

<sup>3</sup> BILBAO T, Estebeni, Trabajo Especial de Grado *Estudio de Losas Mixtas de Acero y Concreto en sus Condiciones de Servicio y Estados Límites de Resistencia*, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Noviembre, 2004.

### **1.7.2 Fuentes y técnicas para recolección de la información.-**

**Fuentes primarias.-** Básicamente la información primaria será generada en función al conjunto de datos y cálculos de gabinete que serán efectuados en el transcurso de la ejecución de la presente propuesta de investigación.

**Fuentes secundarias.-** La información escrita por terceras personas, que se menciona en la presente investigación, será mencionada en pie de página, mediante citas, donde se incluye el nombre del autor, el título de la obra y la página, como así también al final del presente trabajo, en el punto que hace referencia a la bibliografía que contempla todas las fuentes consultadas, que servirán de apoyo para el desarrollo de esta propuesta.

### **1.7.3 Tratamiento de la información.-**

Una vez completada la recolección de datos (como ser bibliografía preliminar y planos estructurales), se procederá a los cálculos matemáticos, para el cálculo y dimensionamiento del nuevo sistema estructural (losa reticular mixta), lo cual se realizara íntegramente en gabinete.

Se estudiaran las bases de cálculo de este nuevo sistema estructural (losas reticulares mixtas), sus ventajas y aplicabilidad a ciertas condiciones de diseño. También se realizaran todas las verificaciones correspondientes, para garantizar la estabilidad de la estructura.

Se realizara el análisis comparativo frente a un sistema aperturado tradicional, con una losa convencional alivianada con viguetas pretensadas (que es la que se utilizó en el bloque administrativo de la Facultad de Ciencias y Tecnología), para ver si es viable su aplicabilidad a ciertos parámetros, como ser luces de diseño. El proceso constructivo es otro factor preponderante al estudiar esta losa, para lo cual se hará un análisis teórico del mismo, para



optar por la alternativa más viable y, por último, se pretende comparar económicamente este tipo de losa, que en principio parece más cara, porque se trata de solo acero, pero que se abarata significativamente al disminuir considerablemente los volúmenes de hormigón,

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Losas de Entrepisos.-<sup>4</sup>

Losas o placas de entrepiso son los elementos rígidos que separan un piso de otro, construidos monolíticamente o en forma de vigas sucesivas apoyadas sobre los muros estructurales.

Las losas o placas de entrepiso cumplen las siguientes funciones:

**Función arquitectónica:** Separa unos espacios verticales formando los diferentes pisos de una construcción; para que esta función se cumpla de una manera adecuada, la losa debe garantizar el aislamiento del ruido, del calor y de visión directa, es decir, que no deje ver las cosas de un lado a otro.

**Función estructural:** Las losas o placas deben ser capaces de sostener las cargas de servicio como el mobiliario y las personas, lo mismo que su propio peso y el de los acabados como pisos y revoques. Además forman un diafragma rígido intermedio, para atender la función sísmica del conjunto.

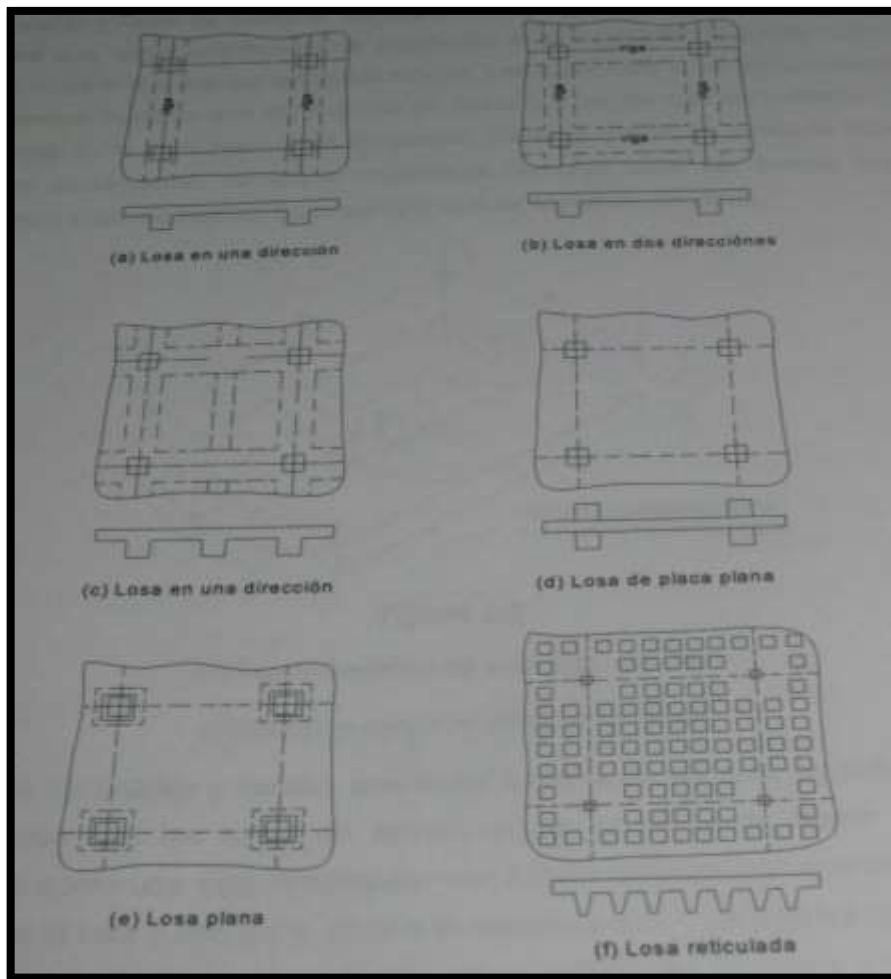
Las losas se pueden apoyar sólo en dos lados opuestos, como en la figura 2.1a, caso en que la acción estructural de la losa es fundamentalmente en una dirección, puesto que transmite las cargas en la dirección perpendicular a la de las vigas de apoyo. También es posible que haya vigas en los cuatro lados, como en la figura 1.1b, de modo que se obtiene una acción de losa en dos direcciones. Asimismo pueden suministrarse vigas intermedias, como aparece en la figura 1.1c. Si la relación entre la longitud y el ancho de un panel de losa es mayor que un valor alrededor de dos, la mayor parte de la carga se transmite en la dirección corta hacia las vigas de apoyo y se obtiene, en efecto, acción en una dirección aunque se proporcionen apoyos en todos los lados. En algunos casos, las losas de hormigón armado se pueden apoyar directamente sobre columnas, como en la figura 1.1d, sin la utilización de vigas secundarias o principales.

Estas losas se identifican como placas planas y se utilizan a menudo cuando las luces no son muy largas y las cargas no son particularmente pesadas.

<sup>4</sup> [cecasayelen.blogs.com/2009/03/losas-de-entrepisos.html](http://cecasayelen.blogs.com/2009/03/losas-de-entrepisos.html)

La construcción del tipo de losa plana, ilustrada en la figura 1.1e, tampoco incluye vigas pero incorpora una región con un sobre espesor de losa en la vecindad de la superior; ambos son mecanismos para reducir los esfuerzos generados por cortante y flexión negativa alrededor de las columnas; por lo general se llaman paneles con ábacos o sobre espesores y capiteles de columna. En estrecha relación con la placa plana está la losa con viguetas en dos direcciones o losa reticular que ilustra la figura 1.1f, con el fin de reducir la carga muerta de la construcción con losa maciza, se forman vacíos en un patrón rectilíneo mediante elementos de aligeramiento contruidos en metal o en fibra de vidrio. Se obtiene así una construcción nervada en dos direcciones.

Por lo general, los



Por lo

aligeramientos se omiten cerca de las columnas de manera que se forme una losa maciza para resistir mejor los momentos y cortantes en éstas áreas.

#### FIG N° 2.1 Tipos de Losas Estructurales

Las losas de hormigón armado de los tipos expuestos, se diseñan casi siempre para cargas que se suponen distribuidas de manera uniforme sobre la totalidad de uno de los paneles de la losa, limitadas por las vigas de apoyo o por los ejes entre centros de columnas. Las pequeñas cargas concentradas pueden absorberse mediante la acción en dos direcciones del refuerzo (acero a flexión en dos direcciones para sistemas de losa en dos direcciones o acero a flexión en una dirección más acero de repartición lateral para sistemas en una dirección). Por lo general, las grandes cargas concentradas requieren vigas de apoyo.

Las losas o placas de entrepiso se pueden clasificar así:

- **Según la dirección de carga:**<sup>5</sup>

**Losas unidireccionales:** Son aquellas en que la carga se transmite en una dirección hacia los muros portantes; son generalmente losas rectangulares en las que un lado mide por lo menos 1.5 veces más que el otro. Es la más corriente de las placas que se realizan en nuestro medio.

La acción estructural de una losa en una dirección puede visualizarse en términos de la deformación de la superficie cargada. La figura 2.2 ilustra una losa rectangular simplemente apoyada en la extensión de sus dos bordes largos opuestos y libres de cualquier soporte a lo largo de los dos bordes cortos. Si se aplica una carga uniformemente distribuida a la superficie, la forma deflectada será como la que indican las líneas sólidas. Las curvaturas y, en consecuencia, los momentos flectores son los mismos en todas las franjas que se extienden en la dirección corta entre los bordes apoyados, mientras que no se presenta curvatura y, por consiguiente, no existe momentos flectores para las franjas largas y paralelas a dichos bordes. La superficie que se forma es cilíndrica.

Para efectos de análisis y diseño, una franja unitaria de tal losa, cortada formando ángulos rectos con las vigas de apoyo, como lo indica la figura 2.3, puede considerarse como una viga rectangular con ancho unitario, con una altura “h” igual al espesor de la losa y una luz “la” igual a la distancia entre los bordes apoyados. La carga por unidad de área sobre la losa se convierte en la carga por unidad de longitud sobre la franja de losa.

<sup>5</sup> S.MERRIFT, Frederic, *Manual del Ingeniero Civil*, Tomo II, Tercera Edición, Pág. 8-52, 8-59.

Puesto que todas las cargas sobre la losa deben transmitirse a las dos vigas de soporte, se concluye que todo el refuerzo debe colocarse formando ángulos rectos con estas vigas, con excepción de algunas barras que deben ubicarse en la otra dirección para controlar el agrietamiento por retracción de fraguado y temperatura. Una losa en una dirección puede considerarse entonces como un conjunto de vigas rectangulares una junto a la otra.

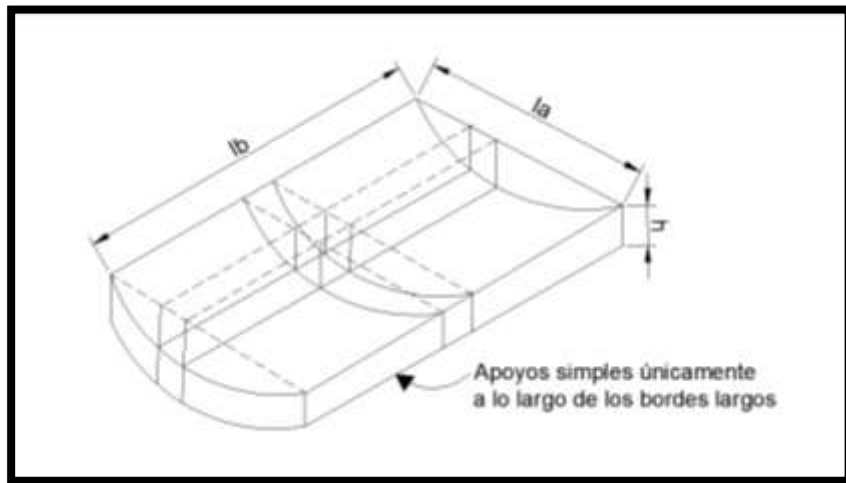


FIG N° 2.2 Forma deflecionada de una losa en una dirección y cargada uniformemente

La compresión por flexión en el hormigón en la dirección de “ $l_a$ ” generará una expansión lateral en la dirección de “ $l_b$ ” a menos que se restrinja el hormigón a compresión. Para losas en una dirección, esta expansión lateral es resistida por las franjas adyacentes de la losa, que también tienden a expandirse. El resultado es un ligero fortalecimiento y rigidización en la dirección de la luz, pero este efecto es pequeño y puede despreciarse.

Los momentos y cortantes de diseño en losas en una dirección pueden encontrarse bien sea mediante análisis elástico o por los mismos coeficientes utilizados para vigas. Si la losa descansa libremente sobre sus apoyos, la longitud de la luz puede tomarse igual a la luz libre más el espesor de la losa, sin necesidad de exceder la distancia entre centros de apoyo. En el análisis de losas continuas deben utilizarse las distancias centro a centro, pero se permite una reducción de los momentos negativos para tener en cuenta el ancho de los apoyos.

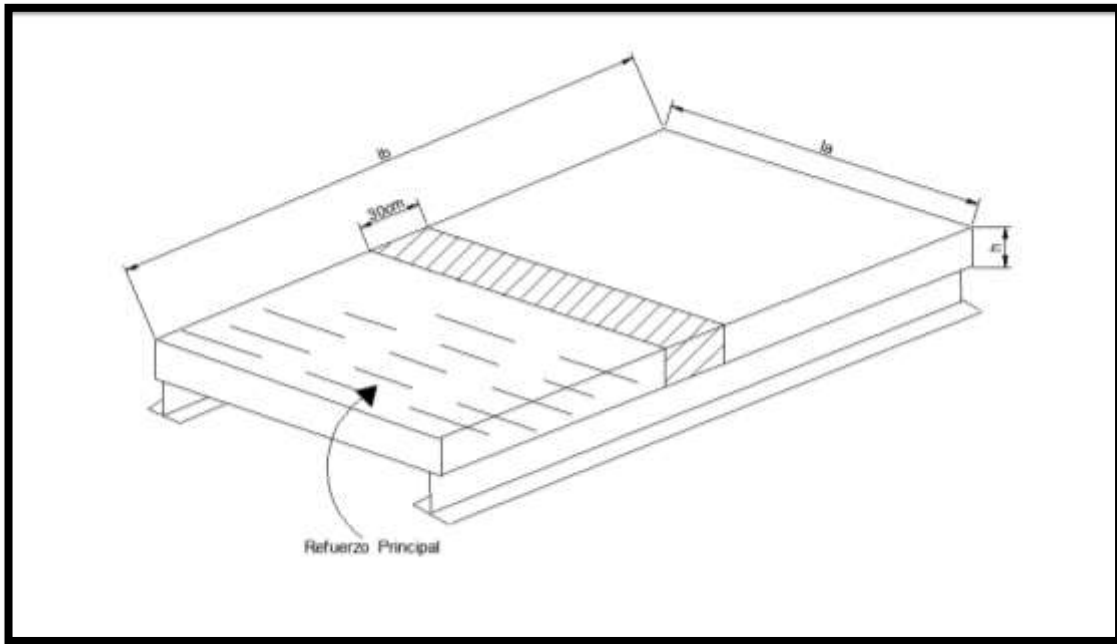


FIG N° 2.3 Principio básico de la franja unitaria para el diseño a flexión

**Losa o placa bidireccionales:** Cuando se dispone de muros portantes en los cuatro costados de la placa y la relación entre la dimensión mayor y la menor del lado de la placa es de 1.5 o menos, se utilizan placas reforzadas en dos direcciones.

Los tipos de construcción en hormigón armado que se caracterizan por una acción en dos direcciones incluyen losas soportadas por muros o vigas en todos los lados (figura 2.1b), placas planas (figura 2.1d), losas planas (figura 2.1e) y losas reticulares (figura 2.1f).

El tipo más simple de losa con acción en dos direcciones es el que representa la figura 2.1b, donde la losa o el panel de losa, está soportado a lo largo de sus cuatro bordes por vigas monolíticas de hormigón relativamente altas y rígidas, por muros o vigas principalmente de acero.

La los que se ilustra en la figura 2.4a, en el cual los soportes de borde son bastante rígidos de manera que se puede considerar que éstos no ceden bajo la carga.

Para visualizar su comportamiento a flexión es conveniente pensar que está conformada por dos conjuntos de franjas paralelas en cada una de las dos direcciones, que se interceptan entre sí.

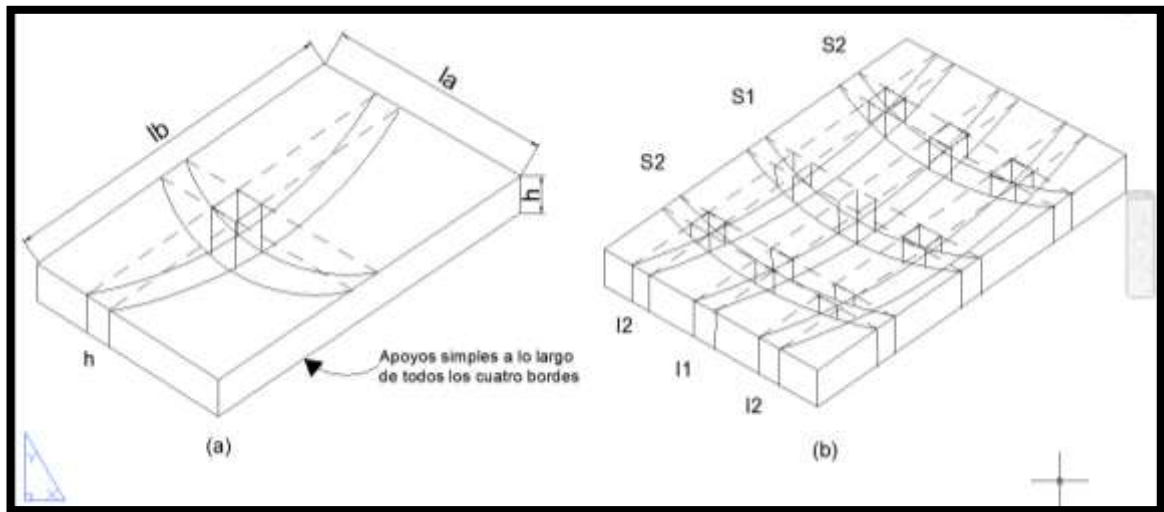


FIG N° 2.4 Losa en dos direcciones sobre apoyos de bordes simples: (a) flexión de la franja central de la losa; (b) modelo reticular de la losa

Evidentemente, parte de la carga es tomada por uno de estos conjuntos de franjas y se transmite a un par de soportes de borde, y el resto de la carga la toma el otro conjunto.\*6

Las losas de entrepiso también pueden clasificarse de la siguiente manera:

**Losas aligeradas:** Son las que utilizan un aligerante para rebajar su peso e incrementar el espesor para darle mayor rigidez transversal a la losa. Los aligerantes pueden ser rígidos o flexibles.

**Losas macizas:** Son las fundidas o vaciadas sin ningún tipo de aligerante. Se usan con espesores hasta de 15 cm, generalmente utilizan doble malla de acero una en la parte inferior y otra en la parte superior.

### **2.1.1 Losas Aligeradas.-**

#### **a) Losas con Viguetas Pretensadas.-<sup>6</sup>**

La losa a base de viguetas pretensadas y bovedillas es un sistema estructural formado por componentes portantes prefabricados denominados viguetas pretensadas, componentes aligerantes llamados bovedillas y por una losa de compresión. El sistema está perimetralmente confinado con una dala o viga de hormigón reforzado.

La vigueta pretensada es un componente portante resistente del sistema, formado por alambres de pre esfuerzo y de hormigón de alta resistencia, las cuales son de alma llena mediante fabricación de moldes fijos o extrusión (molde deslizante).

Bovedilla o componente aligerante es el componente de relleno apoyado directamente en las viguetas, fabricados de materiales con densidad inferior a la del hormigón, tales como cemento-arena, poliestileno, barro o cualquier otro material que disminuya el peso y aligere la losa. No se considera contribución alguna por parte de las bovedillas a la resistencia de la losa.

Losa de compresión es el hormigón colocado en obra con el acero de refuerzo requerido, el cual queda encima de las viguetas y bovedillas, siendo su función estructural integrar y dar continuidad al sistema.

Al realizarse el colocado del hormigón en la obra, se integra en forma monolítica la vigueta con la capa de compresión (como si toda la losa se colara al mismo tiempo).

Como una vigueta es parte de un sistema estructural que constituye una losa de entrepiso, su función es absorber los esfuerzos de flexión que se presentan en los nervios modulares de la placa de losa; la forma y sentido en que es colocada permite transmitir las cargas de uso funcional hacia la estructura del edificio, para luego ser transmitidas a las fundaciones.

<sup>6</sup> Ing. MENDOZA VIDAL, José Antonio, *Diseño de Losas*, Universidad Autónoma de Tabasco, México, 2004.PDF.



Los materiales utilizados para la construcción de la vigueta pretensada tienen características muy superiores a las fabricadas con hormigones convencionales, por lo que generan elementos de mayor calidad y resistencia.

<b>Tabla 2.1 Comparación de Materiales en Viguetas Pretensadas y Prefabricadas</b>		
<b>PRODUCTO</b>	Resistencia del Acero $f_{yk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia del Hormigón (28días) $f_{ck}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Vigueta Pretensada</b>	18000	350
<b>Vigueta Prefabricad</b>	5000	210

Fuente: <http://www.concretec.com.bo/nueva/images/PDF/viguetaspretensadas.pdf>

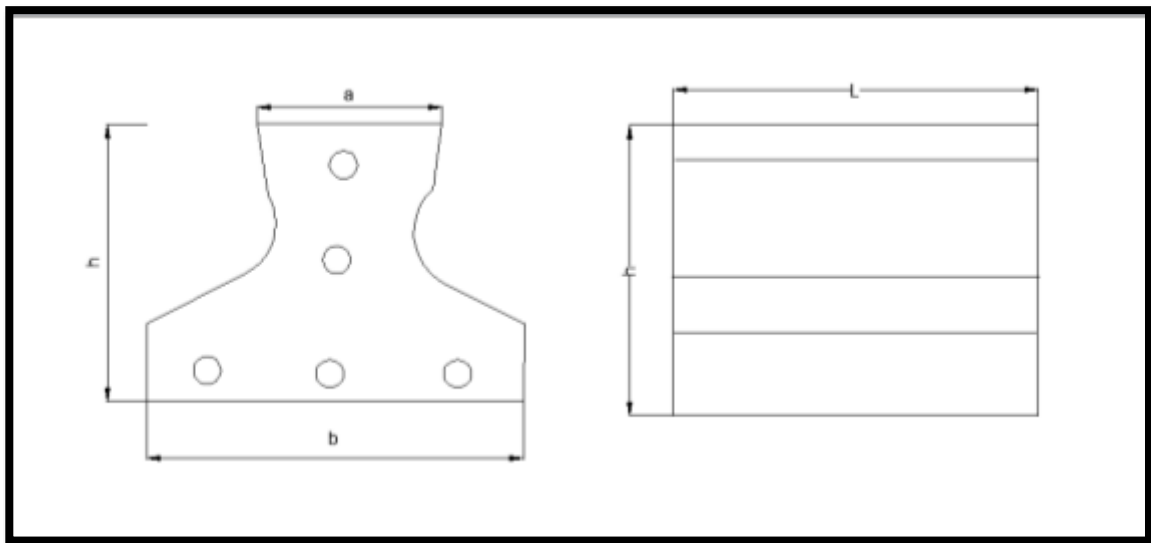


FIG N° 2.5 Características y dimensiones de viguetas pretensadas (las medidas varían según lo indicado en la Norma NB 997-05)

La sección de la vigueta pretensada es optimizada para generar una traba perfecta entre la vigueta y la carpeta de compresión, evitando que esta se desprenda a causa de cualquier tipo de carga aleatoria.

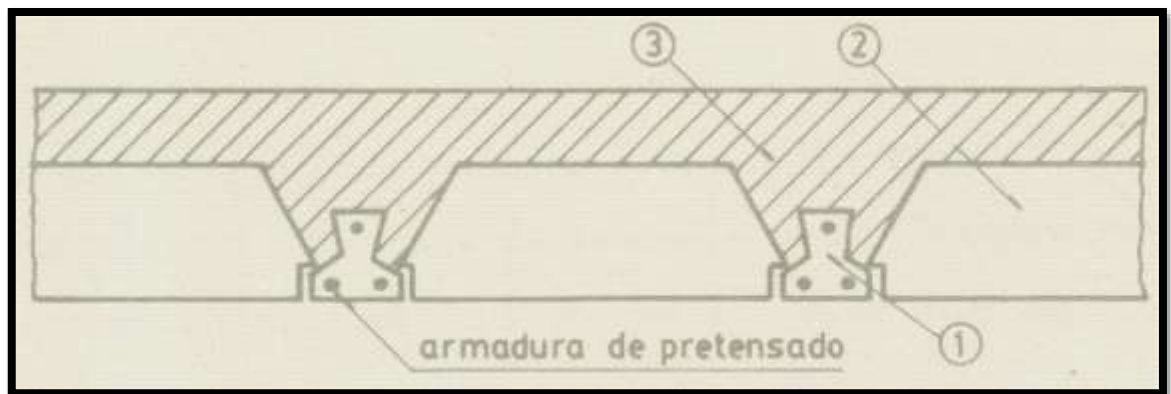


FIG N° 2.6 Sistema de Aplicación de la Vigueta (donde 1.-vigueta, 2.- complemento de plastoformo, 3.- carpeta de compresión)

Entre la ventaja del uso de viguetas tenemos:

- Óptima traba; la forma ensanchada de la cabeza asegura un mejor ajuste y fijación con el hormigón de la carpeta de compresión produciendo un efecto cuña consolidando la rigidez y estabilidad de todo el elemento.
- Existe una adherencia perfecta ya que los canales que producen un efecto cuña y la rugosidad de la vigueta, permite mayor adherencia con el hormigón de compresión absorbiendo esfuerzos de corte rasante que se presentan en la losa.

- Máxima resistencia; el acero de alta resistencia, utilizando como armadura de la vigueta le proporciona una resistencia más de tres veces superior que las losas de hormigón convencional, garantizando su durabilidad en la losa.
- Óptima para el uso en luces de mayor longitud sin apoyos intermedios, brinda menor vibración en losas terminadas, mayor rigidez en la losa.

Como complemento se utiliza stylopor expandido, más conocido como plastoformo, es fabricado bajo un proceso de expansión de vapor y tiene como característica principal no ser inflamable, cuenta con una gran versatilidad al poder ser cortado en cualquier forma en la que sea requerido. También se lo utiliza como aislante térmico y sonoro en diferentes ambientes y construcciones de todo tipo.

Entre las ventajas de uso del plastoformo se puede nombrar: su velocidad y facilidad en el colocado, aislante térmico, aislante acústico, aliviana peso a la estructura, fácil manipulación y corte, auto extingible no inflamable.

Se recomienda que las viguetas se encuentren apuntaladas en el momento de colocarse el complemento de plastoformo, para evitar deformaciones en la losa y hasta posibles caídas de la misma por la circulación del personal que coloca los mismos.

Se recomienda también no pisar las piezas una vez colocadas en la losa, estas pueden sufrir deformaciones que provoquen pérdida de rendimiento por m<sup>2</sup> en el hormigón de la carpeta de compresión.



FIG N° 2.7 Aplicación de Plastoformo

El espesor mínimo de la losa depende del sistema de entrepiso utilizado y del tipo de apoyo o elementos de soporte de acuerdo con la siguiente tabla:

<b>Tabla 2.2 Espesores de Losas</b>			
<b>TIPO DE LOSA</b>	<b>CONDICION DE APOYO</b>		
	Simplemente Apoyada	Un Apoyo Continuo	Continuo con Voladizo
<b>Maciza</b>	L/20	L/24	L/10

<b>Aligerada (con viguetas en una dirección)</b>	L/16	L/18.5	L/8
--	------	--------	-----

Fuente: <http://en-asociacion-de-lo-mejor-de-la-arquitectura.over-blog.es/article-29413744.html>

### **b) Losas Casetonadas.-<sup>7</sup>**

Este tipo de losas se elabora a base de un sistema de entramado de trabes cruzadas que forman una retícula, dejando huecos intermedios que pueden ser ocupados permanentemente por bloques huecos o materiales cuyo peso volumétrico no exceda de 900kg/m y sean capaces de resistir una carga concentrada de una tonelada. La combinación de elementos prefabricados de hormigón simple en forma de cajones con nervaduras de hormigón reforzado colado en el lugar que forman una retícula que rodea por sus cuatro costados a los bloques prefabricados. También pueden colocarse, temporalmente a manera de cimbra para el colado de las trabes, casetones de plástico prefabricados que una vez fraguado el concreto deben retirarse y lavarse para usos posteriores. Con lo que resulta una losa liviana, de espesor uniforme.

<sup>7</sup> Ing. PIANA, Martin, *Losas Casetonadas en la Construcción*, Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza, España, 2011.

Entre sus ventajas se encuentra:

- Los esfuerzos de flexión y corte son relativamente bajos y repartidos en grandes áreas.
- Permite colocar muros divisorios libremente.
- Se puede apoyar directamente sobre las columnas, sin necesidad de trabes de carga entre columna y columna.

- Resiste fuertes cargas concentradas, ya que se distribuyen a áreas muy grandes a través de las nervaduras cercanas de ambas direcciones.
  - Este tipo de losas, son más livianas y rígidas que las macizas.
  - Permite la modulación con claros cada vez mayores, lo que significa una reducción en el número de columnas.
  - La construcción de este tipo de losa, proporciona un aislamiento térmico y acústico.
  - Su aplicación es muy variada y flexible, bien puede utilizarse en edificios de pocos niveles, ó grandes edificaciones, para construcciones de índole público, escuelas, centros comerciales, hospitales, oficinas, multifamiliares, bodegas, almacenes, construcciones industriales ó casas económicas en serie ó residencias particulares.
- **Casetón.-**

Los casetones son bloques de poliestileno expandido, de dimensiones muy variables cortados en planta para la utilización en el relleno de losas nervadas reticulares. Se obtienen losas de cubierta y entepiso de gran ligereza, sin sacrificio de sus características estructurales y con ventajas térmicas adicionales, optimizando la utilización del acero en las estructuras. Los casetones se presentan en diferentes medidas según las necesidades de la construcción requerida.

Ventajas del Casetón.-

Entre sus principales ventajas encontramos que es un aligerador de losas de cubiertas y entrepisos para salvar grandes claros, gran capacidad autoportante debido a la rigidez de las nervaduras reticulares, es un sistema constructivo económico, se tiene una gama muy amplia en dimensiones disponibles de casetón, su rapidez y flexibilidad en la construcción, su aislamiento térmico y acústico, es un sistema estructuralmente ligero, excelente estabilidad



FIG N° 2.8 Casetón

### 2.1.2 Losas Macizas.-<sup>8</sup>

Son elementos estructurales de concreto armado, de sección transversal rectangular llena, de poco espesor y abarcan una superficie considerable del piso. Sirven para conformar pisos y techos en un edificio y se apoyan en las vigas o pantallas. Pueden tener uno o varios tramos continuos. Tienen la desventaja de ser pesadas y transmiten fácilmente las vibraciones, el ruido y el calor; pero son más fáciles de construir; basta fabricar un encofrado de madera, de superficie plana, distribuir el acero de refuerzo uniformemente en todo el ancho de la losa y vaciar el concreto.

Las luces de cada tramo se miden perpendicularmente a los apoyos; cuando éstos no sean paralelos, la luz del tramo será variable y se considerará en la dirección que predomina en la placa.

<sup>8</sup> [Construestruconcreto.webpin.com/755419\\_2-6-Losas-Macizas.html](http://Construestruconcreto.webpin.com/755419_2-6-Losas-Macizas.html)

Según sea la forma de apoyo, las losas macizas pueden ser:

- Armadas en un sentido, si la losa se apoya en dos lados opuestos. En este caso el acero principal se colocará perpendicularmente a la dirección de los apoyos.
- Armada en dos sentidos, si se apoya en los cuatro lados. En este caso se colocarán barras principales en los dos sentidos ortogonales.

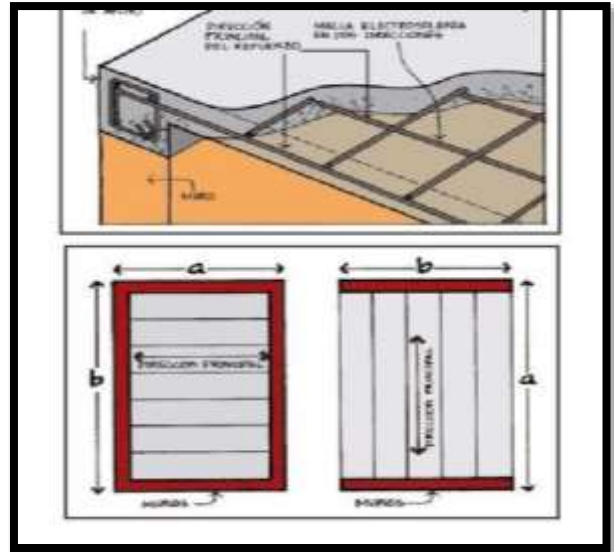


FIG N° 2.9 Detalle de una Losa Maciza

## 2.2 Losas de Cubierta.-<sup>9</sup>

Se llama cubiertas al elemento constructivo que protege a los edificios en la parte superior y, por extensión, a la estructura sustentante de dicha cubierta. Aunque el conjunto de ambas cosas, cubierta y estructura tiene un nombre más específico: techumbre.

Las cubiertas son necesarias para proteger los distintos tipos de edificios de los diferentes fenómenos meteorológicos (lluvia, nieve, frío, calor).

Las losas de cubierta Se denominan también cubiertas planas por lo que son sensiblemente horizontales, comúnmente compuesta por uno o varios faldones de pendiente inferior al 5%. A diferencia de las cubiertas inclinadas, las cubiertas planas permiten el tránsito de las personas por su superficie, así como la colocación de maquinaria. Conceptualmente, el funcionamiento de una cubierta plana y un tejado o cubierta inclinada son distintos: mientras que el tejado trata de evacuar el agua, la cubierta plana la recoge para conducirla hacia los sumideros.

<sup>9</sup> [www.academia.edu/8571856/LOSAS\\_DE\\_ENTREPISO\\_Y\\_CUBIERTAS](http://www.academia.edu/8571856/LOSAS_DE_ENTREPISO_Y_CUBIERTAS)



## **Componentes.-**

Con independencia de su tipología, las cubiertas planas deben disponer de los siguientes elementos:

**Soporte estructural:** elemento que soporta la propia cubierta y las cargas que eventualmente se produzcan sobre ella (maquinaria, mobiliario, personas, agua, nieve, viento...)

**Aislante térmico:** capa aislante que, a modo de manta, reduce el intercambio de frío o calor con el exterior.

**Lámina impermeabilizante:** barrera contra el agua.

**Protección superior:** protege las capas inferiores frente a la radiación solar y el desgaste mecánico, y debe ser suficientemente pesada, o en su defecto, estar suficientemente anclada como para evitar que la succión del viento pueda levantarla. Como superficie de acabado, cumple también una función estética.

## **Tipologías de cubierta plana.-**

Según el orden de colocación de las capas, y de los materiales empleados, las cubiertas planas pueden clasificarse de distintas maneras:

- Por su ventilación:

**Fría:** cámara de aire entre la estructura y el revestimiento exterior.

**Caliente:** el revestimiento y el aislante descansan directamente sobre la estructura.

- Por la disposición del aislante:

**Tradicional:** el impermeabilizante se coloca encima del aislante

**Invertida:** el aislante se coloca encima del impermeabilizante

- Por su acabado:

Transitable: el revestimiento superior permite el tránsito de personas

No transitable: el revestimiento no está pensado para el tránsito habitual.

Ajardinada: la cubierta soporta una capa de tierra con vegetación, a modo de jardín

Inundada: La cubierta está permanentemente inundada con varios centímetros de agua.

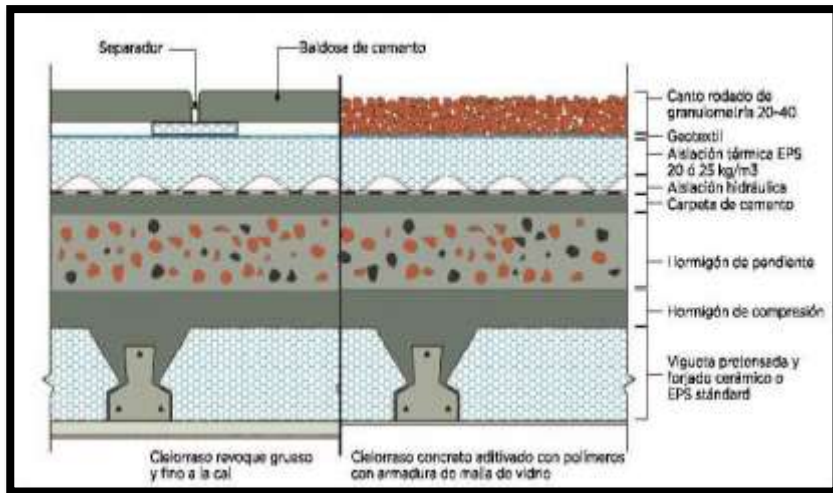


FIG N° 2.10 Detalle de una Losa de Cubierta Plana

### 2.3 Introducción a las Estructuras Espaciales Mixtas.-<sup>10</sup>

El proyecto de estructuras mixtas se remonta a España al puente Tordera en la década de 1940. Sin embargo a pesar de sus ventajas, el proyecto de losas mixtas no ha sido paralelo al de los elementos lineales, siendo muy pocas las estructuras en esta tipología.

Entre sus ventajas frente a estructuras convencionales de pórticos se puede destacar la mayor flexibilidad en la distribución de columnas en planta, su potencial disminución de canto total y la facilidad de ejecución.

Las losas convencionales, sin embargo, tienen una desventaja importante, que es su considerable incremento de peso propio y su menor resistencia frente a acciones sísmicas. Esta última desventaja se debe no solo al aumento de peso sino a su mayor propensión a fallos frágiles tipo punzonamiento de pilares.

<sup>10</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 6-8

Una primera tipología de losa mixta son los emparrillados planos de vigas metálicas con una losa de hormigón superior con conectores. Esta tipología permite una transferencia de cortante dúctil en los apoyos además de las ventajas propias de las soluciones mixtas, tales como simplificación del proceso constructivo y disminución de canto. El sistema se basa en un entramado de vigas mixtas y prelosas.

### **Losas Reticulares Mixtas.-**

Las mallas espaciales son la repetición de un gran número de barras de pequeña longitud en comparación a la superficie y cubren una superficie plana o curva. Así las mallas espaciales son la versión en el espacio de las tradicionales celosías o cerchas planas, empleadas antiguamente más por una limitación del análisis que por otro condicionante.

Por otra parte, en función del patrón de repetición es posible formar diversas tipologías de mallas espaciales, como pirámides de base cuadrada o la simple intersección de una pluralidad de cerchas planas.

La estructura espacial mixta (EEM) es un nuevo concepto estructural ideado para reemplazar con ventaja a losas, placas y cascarones, cuando se desea cubrir luces medianas y luces grandes, así como resistir sobrecargas elevadas, en diferentes aplicaciones como edificios, puentes, naves industriales u otras estructuras arquitectónicas.

La estructura tiene un comportamiento auto portante en la que los elementos que la forman trabajan bajo las condiciones más elementales, es decir esfuerzos de tracción, compresión y cortante, y los materiales que la constituyen están colocados de manera que el acero absorbe las tracciones, el hormigón las compresiones y las diagonales (de acero) alternativamente a tracción o compresión.

Recientemente en el año 2001, se ha generalizado la EEM para simplificar el proceso constructivo en países con costo de mano de obra elevada.

En la EEM una de las consecuencias de la malla espacial de pirámides de base cuadrada es su posible modelización como una losa equivalente maciza, simplificando considerablemente el cálculo.

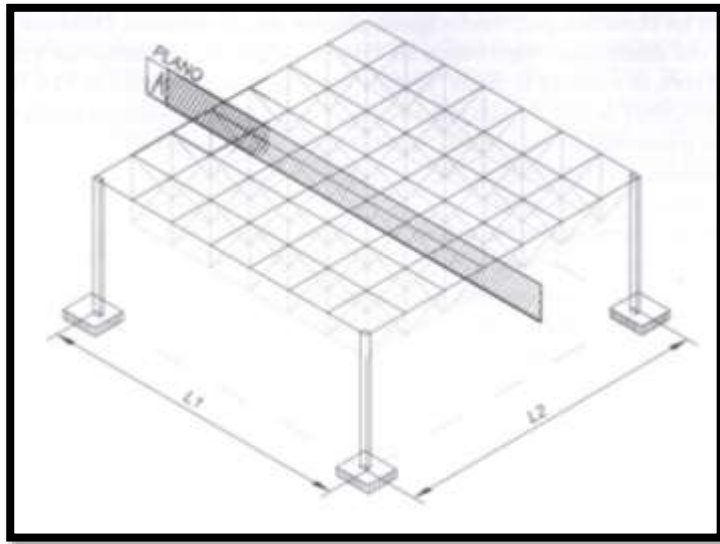


FIG N° 2.11 Vista

Isométrica

de la malla espacial

### 2.3.1 Ventajas y Características de las Estructuras Espaciales Mixtas.<sup>-11</sup>

En la tridilosa solo el 33% del concreto trabaja por compresión, con una eficiencia de hasta el 90% de este material, lo que permite la construcción de estructuras mucho más ligeras, resistentes y económicas en tiempos mucho menores que los sistemas convencionales...

Una de las cualidades más destacadas de su estructura es que puede ahorrar un 66% de hormigón y hasta un 40% de acero, debido al hecho de que no necesita ser rellenado de hormigón en la zona de tracción.

<sup>11</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Prefacio.

### 2.3.1.1 Aspecto Técnico.-<sup>12</sup>

1.- Esta técnica ofrece la utilidad práctica de obtener estructuras más eficientes que las de hormigón armado y las de acero, pues en aquellas un 50% del hormigón se encuentra fisurado y no cumple ninguna labor portante; y, en las de acero, el pandeo por compresión y las flechas limitan la posible esbeltez de la sección. En la EEM el hormigón solo se encuentra ubicado en zonas de compresión, por lo que desaparece este hormigón fisurado; al mismo tiempo, su gran inercia incrementa su rigidez y evita su pandeo y abolladura.

2.- Proporciona, además, un aumento de la inercia de la sección sin un sensible incremento del peso muerto de la misma. La tabla 1.1 presenta el aumento del momento de inercia de la EEM ( $\% \Delta I$ ) con el peralte (H) y su respectivo incremento de peso propio ( $\% \Delta W$ ) en comparación a un canto inicial de 30cm. Es decir, entre una EEM de 30cm de peralte y una de, por ejemplo, 60cm el aumento del momento de inercia es del orden del 300% y, en cambio, el respectivo incremento de peso muerto no llega al 2%.

3.- Disminuye el peso muerto en el conjunto de la obra hasta un 60%, merma que es función de diversos parámetros.

A continuación se muestra un ejemplo, considerando una edificación de una sola planta rectangular con una longitud de 20m y un ancho "L", se comparan dos posibles alternativas de solución.

<sup>12</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 10.



FIG N° 2.12 Plano Solución Tradicional

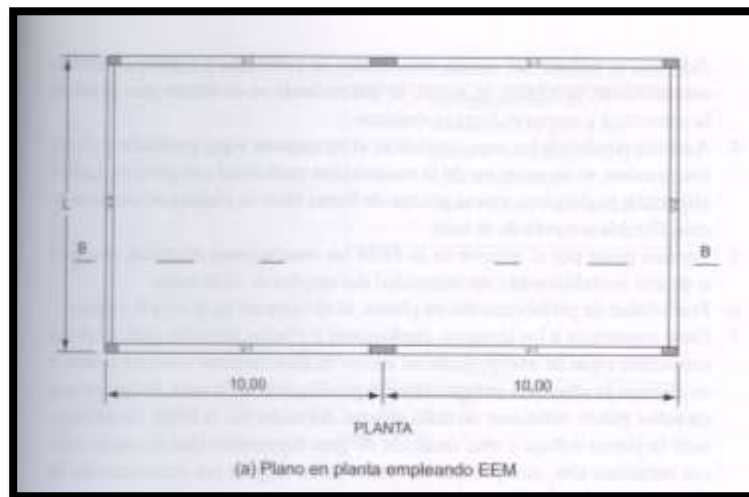


FIG N° 2.13 Plano Solución con EEM

4.- Amplias posibilidades arquitectónicas al no requerir vigas peraltadas y pilares intermedios, al no necesitar de la modulación tradicional con pórticos planos y aligerado, pudiéndose ubicar pilares de forma libre en planta con una iluminación flexible a través de la losa.

5.- Permite pasar por el interior de la EEM las instalaciones eléctricas, sanitarias o de aire acondicionado sin necesidad del empleo de cielos rasos.

6.- Posibilidad de prefabricación en planta, si el volumen de la obra lo requiere.

7.- Gran resistencia a los choques, explosiones y efectos sísmicos, pues al ser una estructura espacial autoportante su apoyo es directamente sobre los pilares, y se elimina la situación peligrosamente privilegiada de la viga, la cual en caso de fallar puede ocasionar un fallo general del techo.

### **2.3.1.2 Aspecto Económico.-<sup>13</sup>**

Se pueden citar varios aspectos significativos:

1.- Economía general de la obra, pues se obtiene una estructura más eficiente que emplea óptimamente el acero y el hormigón, disminuyendo a la vez los esfuerzos a los que las columnas y zapatas estarán sometidos.

2.- Simplificación en la construcción y eliminación de apuntalamientos provisionales, pues la misma EEM se puede utilizar como soporte de los encofrados.

3.- Mejor valor de reventa, pues se adapta cómodamente a cualquier modificación de los locales, debido al menor número de columnas y/o a la posibilidad de cambiar las instalaciones eléctricas, sanitarias o de aire acondicionado con suma facilidad.

4.- Reducción del plazo de construcción y de los trabajos a realizar a pie de obra.

5.- Menores cargas financieras, debido a la mayor rapidez en la construcción.

6.- Empleo más rentable, y en su caso, tasa de alquiler más elevada de las grandes superficies debido a la ausencia de pilares.

## **2.4 Descripción del Sistema.-<sup>14</sup>**

La estructura espacial mixta (EEM) clásica es una estructura autoportante, formada por mallas de acero superior e inferior conectadas por diagonales, las cuales forman una pirámide de base cuadrada. Como elementos rigidizantes se tiene una losa superior y otra losa inferior de hormigón, tal como se detalla a continuación, así como su comportamiento bajo diferentes acciones de carga.

<sup>13</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 14.

Así la EEM está constituida por:

- Un armazón metálico formado por dos mallas de acero; una es denominada superior y la otra inferior, llamadas así por su ubicación dentro del armazón metálico. Estas mallas están unidas entre sí por diagonales que forman pirámides de base cuadrada.
- Una o dos losas de hormigón; una ubicada en la malla superior, que vendría a formar el piso, y la otra ubicada en la malla inferior, que sería el cielo raso o falso techo.

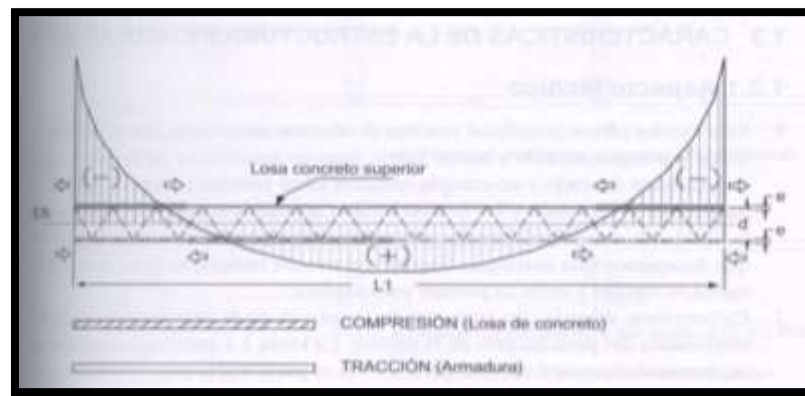


FIG N° 2.14 Fuerzas Internas de Compresión y Tracción en las EEM

En esta estructura la transmisión de esfuerzos de las losas de hormigón superior e inferior se efectúa a través de las barras diagonales trianguladas en el espacio y empotradas en ellas, lo que permite el comportamiento tipo losa de la estructura.

<sup>14</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 9-10.



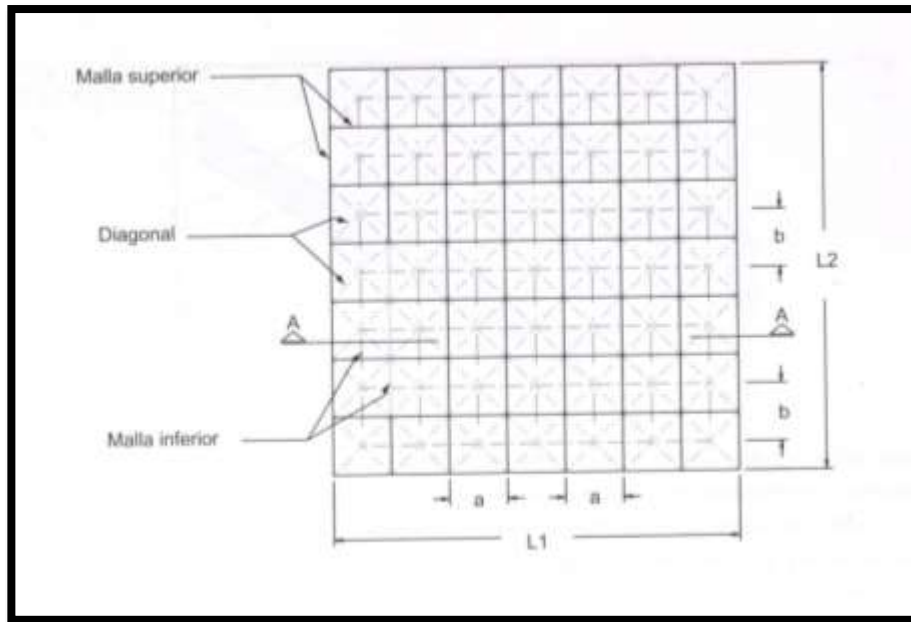


FIG N° 2.15 Componentes de la EEM

La estructura espacial mixta es una solución particularmente adecuada para las construcciones sismo resistente, en particular aquellas con vibraciones de altas frecuencias. Esta característica no se debe solo a su potencial ductilidad y periodos largos que evitan frecuencias resonantes en la mayoría de las situaciones practicas cuando se emplea sino la reducción de peso y correspondiente fuerza sísmica que conlleva; porque se sabe que a menos peso el comportamiento sísmico es mejor.

El método de análisis por elementos finitos es el más efectivo con el que cuenta el ingeniero en la actualidad. En el presente caso, este método permite idealizar la estructura espacial mixta clásica, como la superposición de una celosía espacial metálica con una o dos losas de hormigón trabajando a esfuerzos de membrana. De este modo, la matriz de rigidez de la estructura se obtiene como la superposición adecuada de la matriz de rigidez de elementos de membrana y de elementos de reticulado.

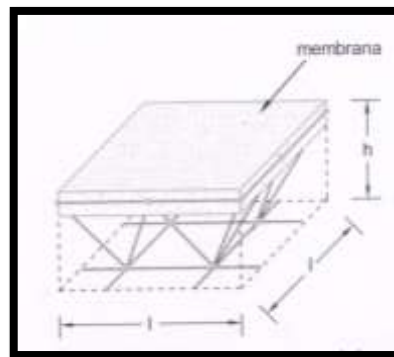
El sistema así idealizado permite estudiar, lo más racionalmente posible, el comportamiento real de la estructura.

#### 2.4.1 Barras de Reticulado.-<sup>15</sup>

A continuación se desarrollan las expresiones de rigidez de barras para el análisis de estructuras espaciales mixtas formadas por una malla de pirámides de base cuadrada. En estas no se consideran los efectos de la flexión, dado que su rigidez es un orden de magnitud inferior a la rigidez axial. Por lo tanto, a pesar de tener nudos rígidos formados por soldadura, sus extremos pueden considerarse a efectos de cálculo como articulados.

Al cargarse una estructura, ésta se deforma generando trabajo externo por las fuerzas aplicadas y sus respectivos desplazamientos y trabajo interno por las deformaciones y tensiones en el volumen del sólido. La estructura está en equilibrio estable, si ambos trabajos son iguales y mínimos. Por ello en el elemento mostrado en la figura, se pueden considerar los efectos de la flexión en las barras, dado que hay un sistema estático equivalente bajo deformaciones axiales únicamente.

FIG N° 2.16 Elemento  
Espacial Mixto



En el contexto de una barra de reticulado donde sólo se consideran las deformaciones axiales, esta sólo tendrá acortamientos o alargamientos y la rigidez será un coeficiente que relacione estos con las fuerzas que los originen. Así, aplicando una fuerza en un extremo de la barra y fijando el otro, se tiene por equilibrio que las fuerzas en sus extremos han de ser iguales y de sentido contrario.

<sup>15</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 32.

## 2.4.2 Láminas y Membranas.-<sup>16</sup>

Tal como se ha indicado, el dimensionamiento de una estructura laminar requiere la determinación del estado de tensiones originado por las fuerzas exteriores. Los esfuerzos que hay que considerar, mostrados a continuación en la siguiente figura, para un elemento laminar general son:

- Los esfuerzos de membrana, constituidos por los normales  $N_1$  y  $N_2$  y los tangenciales  $N_{12}$  y  $N_{21}$ . Los esfuerzos normales son tangentes a la superficie neutra y normal a la sección. Los esfuerzos tangenciales son tangentes tanto a la superficie neutra como la sección.
- Los esfuerzos de flexión, constituidos por los pares de flexión  $M_{11}$  y  $M_{22}$ , aplicados en la sección, los pares de torsión  $M_{12}$  y  $M_{21}$  y los esfuerzos de corte  $Q_1, Q_2$ .
- Los esfuerzos normales a la superficie neutra, que son nulos o de segundo orden en comparación a los anteriores.

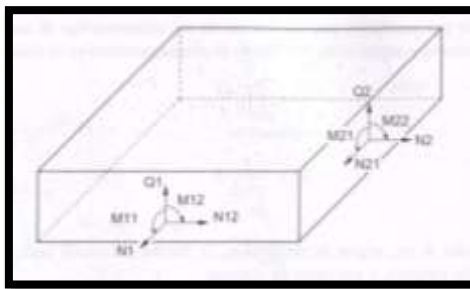


FIG N° 2.17 Esfuerzos Internos del Elemento

Para el cálculo de estas diez funciones se diseñó de las ecuaciones de la estática, que son seis: tres que resultan al establecer el equilibrio de las fuerzas exteriores y esfuerzos de corte, correspondiente a un elemento de lámina, en tres direcciones, y otras tres del equilibrio de momentos respecto a tres ejes.

<sup>16</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 33-34.

## **2.5 Comportamiento de las Losas Reticulares Mixtas.-<sup>17</sup>**

Esta estructura espacial está necesariamente formada por un esqueleto metálico de pirámides de base cuadrada trianguladas en cada dirección. La triangulación hace posible la asimilación a una estructura continua tipo losa equivalente. Los desarrollos en simulación numérica, sin embargo, permiten actualmente el empleo de mallas espaciales generalizadas, no necesariamente trianguladas en el espacio, analizándose el modelo mediante barras y láminas.

El distanciamiento de las losas de hormigón mediante el “separador” metálico permite incluso el empleo del espacio interior de la propia malla espacial.

En las losas reticulares mixtas generalizadas el “separador” o entramado metálico interior no tiene por qué seguir una tipología de malla espacial de pirámides de base cuadrada. En este sistema es necesario que el separador de las tracciones y compresiones resultantes de la flexión sea metálico, dado su mayor módulo de elasticidad y menor peso en comparación al hormigón, pero su tipología puede variar en función de la obra.\*20

### **2.5.1 Influencia de la Topología de la Malla.-**

Un primer aspecto a considerar es la topología de la malla, la cual extrapolando de las cerchas puede ser similar a un entramado de vigas Warren o de vigas Pratt, entre otras. Como es conocido, en estructuras metálicas convencionales, las vigas Warren tienen la ventaja de emplear menor número de barras al eliminar los montantes, porque tienen diagonales consecutivas en tracción y compresión. Las vigas Pratt tienen montantes y diagonales, idealmente, los primeros están en compresión y las diagonales en tracción.

Dada la mayor longitud de las diagonales en comparación a los montantes, esta topología es conveniente para limitar la esbeltez de las barras y los efectos del pandeo. Este último efecto es importante y a tener muy en cuenta en estas estructuras por su potencial colapso progresivo al fallar un elemento del separador y reducir la distancia entre el par de flexión.

<sup>17</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág.120-125.

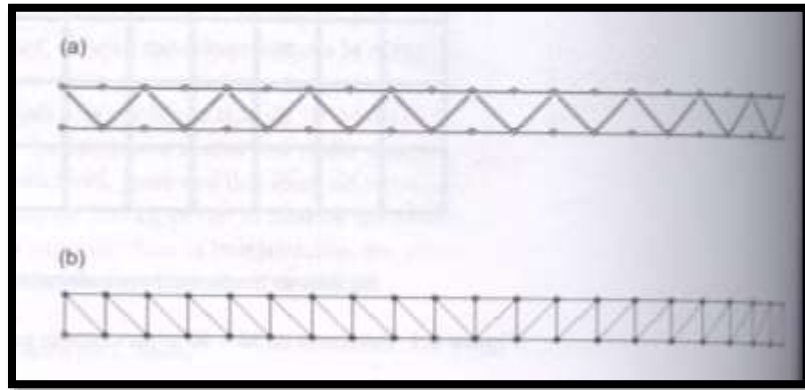


FIG N° 2.18 Tipologías de separadores consideradas inicialmente

### 2.5.2 Influencia de la Dimensión de la Malla.-

Un aspecto importante para el dimensionamiento de estas estructuras es la selección del distanciamiento entre separadores o medida de la malla. En la figura que se muestra a continuación (una malla de 5\*5m), se considera como topología del separador aquella con montantes y diagonales de manera tal que, estos últimos se encuentran sometidos únicamente a tracción.

Por otra parte 5m es una separación máxima conveniente dados los 15cm de las losas de hormigón. La losa superior está comprimida por la flexión y es suficiente para evitar la fisuración, aunque para la inferior sea ventajoso el emplear pretensado mediante vainas planas del tipo 4-0.6pulgadas.

Se presenta una tabla para conocer los análisis de servicio y rotura para ambas mallas, que corresponde a los elementos debidamente dimensionados según la normativa americana LRFD.

<b>Tabla 2.3 Comparación entre dos separaciones de malla</b>		
	Malla 2.5*2.5m (h)	Malla 5*5m (h)
<b>Flecha</b>	4.8cm	5.6cm
<b>Axial en Montantes</b>	+1955KN -186KN	+3095KN +117KN
<b>Axial en Diagonales</b>	+408KN -1301KN	+302KN -3766KN
<b>Kilos de acero/m<sup>2</sup></b>	60	45

**Fuente: Miguel Bozzo, Losas Reticulares Mixtas, (Editorial Reverté, S.A., 2003), Pág. 126.**

Es claro que es estructuralmente conveniente el distanciar la malla hasta valores de dos veces el canto de la losa reticular mixta por la disminución del número de elementos a unir y por la facilidad de circulación por el interior del separador, aunque se dificulte el dimensionamiento del nudo por las mayores fuerzas a transmitir.

## **2.6 Desarrollo del Nuevo Sistema Estructural.-<sup>18</sup>**

Se entiende por “sistema estructural” a toda solución estructural válida en un campo de aplicación y con unos determinados procedimientos de análisis y dimensionamiento propios. Una estructura está formada, por lo general, por sub-sistemas estructurales para cargas verticales y para cargas laterales, sean estas últimas de viento o sísmicas.

El planteamiento de edificios con el sistema EEM, se simplifica considerablemente y proporciona una flexibilidad máxima en el proyecto arquitectónico. Con este sistema se pueden plantear edificios libres de pilares interiores con luces entre 20 y 60m. \*23

<sup>18</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 134.

## **2.7 Bases de Calculo y Dimensionamiento.-<sup>19</sup>**

El diseño es un proceso que parte de unos requisitos de forma, función y resistencia, y obtiene una o varias soluciones. Por ejemplo, para diseñar una losa se suele partir de su función (sea ésta de una oficina, local industrial, depósito de materiales o una zona de estacionamiento), forma horizontal (plana, inclinada, esviada, etc.), posibles ubicaciones de sistemas estabilizadores (núcleos rígidos o pantallas), así como sistemas estabilizadores secundarios (capiteles o ábacos) y las características de los materiales (resistencia del hormigón y límite de fluencia del acero, entre otros). Partiendo de esta información se seleccionan una o varias ubicaciones para los pilares con capiteles y/o ábacos, placas y/o muros portantes, se determina la sobrecarga y se estima el peso propio seleccionando un determinado espesor para la losa (por ejemplo luz/25). Posteriormente se realiza el análisis y se verifica el comportamiento de la losa bajo diversos criterios o estados límite.

Una vez seleccionada la ubicación, número de columnas y muros portantes, el estudio consistirá en el diseño de losas reticulares mixtas como elementos armados en dos direcciones y formadas por una celosía espacial con los inferior y/o superior.

Para el análisis de las losas reticulares clásicas mediante los métodos aproximados de asimilación a continuos, las medidas de esfuerzos que se emplean son los momentos flectores, momentos torsores y cortantes verticales, definidos por unidad de longitud. Posteriormente al diseño a flexión de la EEM se realizará su verificación por cortante y punzonamiento, transferencia de momentos y cortantes entre losas y pilares empleando el diseño a la rotura. Finalmente se presentan diversos estados límites de verificación en servicio, tales como desplazamiento máximo vertical y fisuración.

<sup>19</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 90.

### **2.7.1 Diseño de la EEM Modelada Tridimensionalmente.-<sup>20</sup>**

Inicialmente se considerará el diseño partiendo de un análisis de la losa como una estructura laminar continua y homogénea. Se adoptará la losa modelada tridimensionalmente, es decir, empleando tipo barra y elementos tipo placa. En este caso se determinará exactamente las fuerzas axiales en las barras de acero y los esfuerzos que se generarán en la losa de hormigón para las distintas combinaciones de carga. Para el diseño de los elementos se utilizará el diseño por factores de carga y resistencia (LRFD).

#### **2.7.1.1 Diseño de la Losa.-**

Para el diseño de las losas de hormigón se utilizarán las especificaciones establecidas en la parte 5 del manual AISC (LRFD), para miembros de sección compuesta. Como en el análisis se obtienen directamente los esfuerzos de membrana, que se generan en la losa de hormigón, se debe verificar que estos sean menores que la siguiente expresión:

$$\sigma_c \leq 0.85f_c^a$$

Por otra parte, un límite para controlar la microfisuración del hormigón en compresión, establecido en la normativa española EHE:

$$\sigma_c \leq 0.6f_c^a$$

Estos límites se cumplen ampliamente en este tipo de estructuras. Cabe señalar que, en este caso, el hormigón trabaja casi totalmente a compresión. Si es que en otros casos se obtienen tracciones en el hormigón se considerará que las barras de acero absorben dichos esfuerzos; en caso extremo, se considerará el uso de una losa inferior y capiteles, sobre todo en las zonas de apoyo como las columnas.



<sup>20</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 10.

### **2.7.1.2 Diseño de los Elementos de Barra (LRFD).<sup>-21</sup>**

#### **2.7.1.2.1 Conceptos Básico.-**

El diseño por factores de carga y resistencia (LRFD), es un método para diseñar estructuras tal que no se excede ningún estado límite aplicable cuando la estructura se somete a todas las combinaciones apropiadas de cargas. El estado límite es una condición en la cual una estructura o un componente estructural se hace inadecuado. Un miembro estructural puede tener varios estados límite.

Los estados límite de resistencia tienen que ver con la seguridad y se relacionan con la capacidad máxima de soportar carga (por ejemplo, rotura plástica y pandeo). Los estados límites de utilidad se relacionan con el desempeño bajo condiciones de servicio normales (por ejemplo, deformación excesiva y vibración).

El método LRFD, como se aplica a cada estado límite, se puede resumir en la fórmula:

$$\Sigma \gamma_i * Q_i \leq \phi * R_n$$

En la ecuación que se mostró anteriormente, el miembro de la izquierda representa la resistencia necesaria y el miembro de la derecha de la desigualdad es la resistencia de diseño.

#### **2.7.1.2.2 Cargas.-**

Las cargas estructurales se clasifican como se detalla a continuación:

**Carga Permanente (C).**- peso de la estructura y todos los demás dispositivos instalados permanentemente en la construcción, incluyendo muros y divisiones.

<sup>21</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 111-115.

**Carga Viva (V).**- carga de la gravedad debida al uso propuesto y a la ocupación; incluye el peso de las personas, de los muebles, de los equipos y divisiones móviles. En el DFCR, la notación L se refiere a las cargas vivas del piso y  $V_t$  a las cargas vivas del techo.

**Carga Sísmica (S).**- es un concepto utilizado en ingeniería sísmica que define las acciones que un sismo provoca sobre la estructura de un edificio y que deben ser soportadas por esta. Se transmiten a través del suelo, las estructuras adyacentes o el impacto de las olas de los maremotos.

**Carga de Lluvia (Ll).**- carga debida al agua de lluvia o hielo iniciales; se excluye la contribución del apozamiento.

**Carga de Nieve (N).**- carga debida a la acción del peso de lo que se conoce como nevada, se da en casos muy extremos donde el clima así lo permite.

**Carga de Viento (E).**- hace referencia a la acción que ejerce el viento sobre alguna estructura en estudio. Dependiendo de la altura de la edificación y la velocidad del viento, esta puede ser tomada o no en cuenta para el diseño.

En el diseño, la carga muerta se calcula a partir de los pesos reales de los diferentes elementos estructurales y no estructurales.

### 2.7.1.2.3 Combinaciones de Carga.-

La resistencia necesaria está definida en la especificación AISC (LRFD), como la fuerza máxima (valor absoluto) obtenida de las siguientes combinaciones de carga:

$$1.4C \quad (A4-1)$$

$$1.2C+1.6V+0.5 (V_t \text{ o } N \text{ o } Ll) \quad (A4-2)$$

$$1.2C+1.6 (V_t \text{ o } N \text{ o } Ll) + (0.5V \text{ o } 0.8B) \quad (A4-3)$$

$$1.2C+1.3B+0.5V+0.5 (V_t \text{ o } N \text{ o } Ll) \quad (A4-4)$$

$$1.2C+1.5S+ (0.5V \text{ o } 0.2N) \quad (A4-5)$$

$$0.9C-(1.3B \text{ o } 1.5S) \quad (A4-6)$$

Las cargas C, V,  $V_t$ , N, Ll, B y S representan las cargas en sí mismas o sus efectos (es decir, las fuerzas o los momentos causados).

Donde:

C= carga muerta

V= carga viva

$V_t$ , N, Ll= carga en el techo

S= carga sísmica

### **2.7.1.3 Diseño de la Resistencia de los Elementos Sometidos a Compresión.-**

El diseño de los elementos tipo barra en compresión es importante en estas estructuras, entre otros motivos porque su pandeo inicial puede ocasionar una disminución en el canto de la losa mixta originando un aumento de las sollicitaciones y un efecto progresivo de daño en la estructura. En este sentido, es recomendable en estructuras de gran entidad realizar un estudio de equilibrio en la configuración deformada subdividiendo las diagonales en compresión en un número adecuado de barras y estudiando su respuesta sin contar con dicha diagonal.

El pandeo de un elemento barra sometida a una carga axial puede ser elástico o inelástico. Para propósitos de diseño, se toma  $\lambda_c=1.5$  como la frontera entre el pandeo elástico y el inelástico del elemento.

$$\lambda_c = \frac{K * l}{r * \pi} * \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

Para columnas de sección transversal que tengan relaciones ancho-espesor, iguales o menores que  $l_r$ , la resistencia a la compresión de diseño es  $\phi_c * P_n$ , en donde:

$$\phi_c = 0.85$$

$$P_n = A_g * F_{cr}$$

Si  $\lambda_c \leq 1.5$ , el pandeo de la columna es inelástico:

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) * F_y$$

O en la forma alterada dada en el comentario de la especificación AISC (LRFD):

$$F_{cr} = [e^{(-0.419 \lambda_c^2)}] * F_y$$

Si  $\lambda_c > 1.5$ , el pandeo de la columna es elástico:

$$F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] * F_y$$

En los términos de esas ecuaciones están:

$\lambda_c$  = parámetro de esbeltez

$F_y$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$E$  = módulo de elasticidad del acero =  $200000 \text{ kg/cm}^2$

$\phi_c$  = coeficiente de reducción de la resistencia para compresión.

$P_n$  = resistencia nominal a la compresión ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$A_g$  = área bruta de la sección transversal ( $\text{cm}^2$ ).

$F_{cr}$  = esfuerzo crítico de compresión ( $\text{kg/cm}^2$ ).

#### **2.7.1.4 Diseño de la Resistencia de los Elementos Sometidos a Tracción.-**

Un miembro dúctil de acero, sin agujeros y sometido a una carga de tensión puede resistir, sin fracturarse, una carga mayor que la correspondiente al producto del área de su sección transversal y del esfuerzo de fluencia de la cero, gracias al endurecimiento por deformación. Sin embargo, un miembro a tensión cargado hasta el endurecimiento, se alargará considerablemente y restará utilidad a éste y puede, además, causar la falla del sistema estructural del que forma parte el miembro.

La especificación LRFD-D1, estipula que la resistencia de diseño de un miembro a tensión,  $\phi_t P_n$ , será la más pequeña de los valores obtenidos cuando ocurre en los siguientes casos:

Para el estado límite de fluencia en la sección bruta (con la idea de prevenir alargamiento excesivo del miembro).

$$P_u = \phi_t F_y A_g \quad \text{con } \phi_t = 0.9$$

Para la fractura de la sección neta en la que se encuentran agujeros de tornillos o remaches. Que en este caso no serán tomados en cuenta por tratarse de barras de acero soldables.

#### **2.8 Aplicaciones.-<sup>22</sup>**

La EEM se ha empleado en distintas tipologías, como diafragmas planos varios pisos rigidizados con una losa superior y/o inferior de hormigón, así como cobertura de techos de sección variables con sobrecarga y sin ella, arcos e incluso cúpulas. Está claramente probada no solamente su durabilidad así como su función acústica, térmica y estética; sino también su gran rigidez como diafragma en grandes luces con una o doble losa, así como su ahorro en materiales, y por consiguiente, su menor costo, en particular para luces importantes.

### **2.8.1 Naves Industriales.-**

Como es claro, una de las ventajas que posee la EEM es poder cubrir grandes luces lo que la hace particularmente adecuada en techos de naves industriales donde se precisen grandes talleres y áreas libres, sin pilares interiores.

El empleo de la tridilosa en estas estructuras permite mostrar las ventajas, no solo arquitectónicas, del sistema, sino también estructurales, toda vez que se hace trabajar eficientemente a los materiales sometidos a esfuerzos frente a los que presentan un mejor comportamiento (compresión para el hormigón y tracción para el acero).

En estas estructuras, sin embargo, una desventaja económica que se puede dar es la facilidad de ubicar pilares cercanos en el perímetro, lo cual condiciona el trabajo del techo a uno unidireccional. Así se pierde la ventaja del trabajo bi-direccional de la EEM y puede ser más económico desarrollar vigas espaciales mixtas similares a las que se desarrollan con trabajo unidireccional.

### **2.8.2 Planta Industriales, Fábricas y Edificios de Varios Pisos.-**

Tal como se ha indicado, las industrias textiles generalmente requieren grandes luces y alturas, donde la EEM presenta grandes ventajas, permitiendo una distribución flexible y variable con el tiempo. Por ello, durante más de dos décadas se ha aplicado el sistema de EEM en la construcción de plantas industriales.

Una de las diversas aplicaciones de la EEM en edificios industriales es con techos en diente de sierra para fines de ventilación e iluminación. Con esta tipología se ha proyectado y construido con la EEM teniendo la particularidad de que los sistemas resistentes se encuentran en el perímetro de la edificación, y su cobertura es de varios tramos inclinada en un solo sentido, esta es una alternativa económica, flexible y segura.

Una de las aplicaciones de la EEM que permite un óptimo aprovechamiento del material es la consideración de una sección variable a dos aguas. Por otro lado, las ventajas de las

estructuras mixtas, como son un uso más racional del acero y del hormigón, aumento de la luz sin un sensible aumento del peso propio.

El sistema de EEM tiene múltiples usos ya sea en edificios para viviendas, centros comerciales, oficinas y aulas, entre otros. Los diferentes niveles de pisos varían entre edificios, de acuerdo a los requerimientos arquitectónicos, pero claramente se dispone de un sistema muy flexible que simplifica considerablemente no solo la ubicación de pilares y elementos estabilizadores laterales, sino que también disminuye sensiblemente la cimentación al reducir las cargas hasta un 60%.

### 2.8.3 Coberturas Poligonales.-

Las coberturas poligonales a partir de 3 lados o caídas de agua se suelen emplear en ambientes que requieren espacios amplios, dentro de los cuales se pueden destacar las estructuras para la práctica del deporte, reuniones sociales y las destinadas al culto religioso. Los lados o caídas de agua pueden ser variados en función de las necesidades arquitectónicas o de uso.

Las iglesias son naves que requieren grandes luces así como alturas suficientes que cumplan con los requerimientos arquitectónicos estéticos de volumetría, así como de espacio. La EEM es un sistema adecuado para estas necesidades y por ello se han proyectado y construido diversas iglesias.

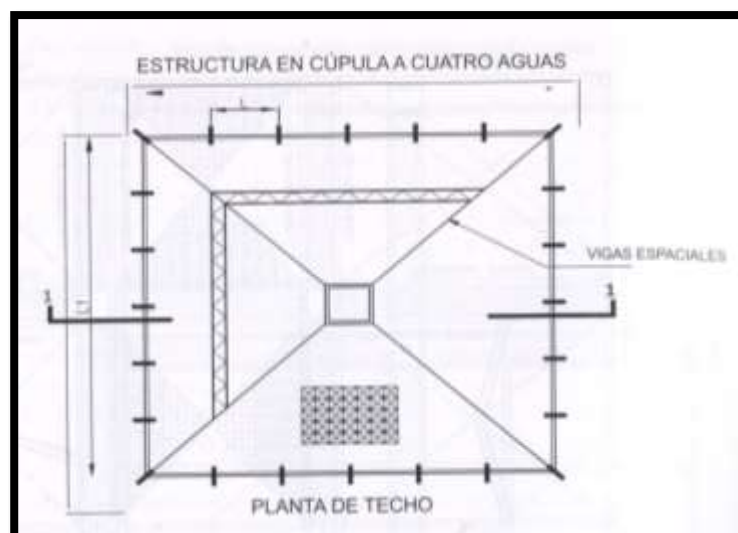


FIG N° 2.19 Plano de cobertura poligonal con 4aguas con EEM

#### 2.8.4 Coberturas Esféricas.-

Esta estructura se trata de una cúpula esférica apoyada sobre pilares perimetrales. El diámetro de la cúpula con EEM, y según estudios realizados, puede alcanzar los 100m, sin un costo excesivo.

La lógica estructural de emplear la EEM en esta tipología, además de por su menor peso y cargas sísmicas, es por el proceso constructivo. En las grandes luces, y dados los espacios a cubrir, es muy conveniente reducir encofrados y simplificar el proceso constructivo.

Empleando este sistema se prefabrican los arcos o “costillas” radiales, los cuales servirán para apoyar los encofrados de las losas intermedias. De esta forma se construye, franja a franja, la estructura sin necesitar encofrar todo el volumen.

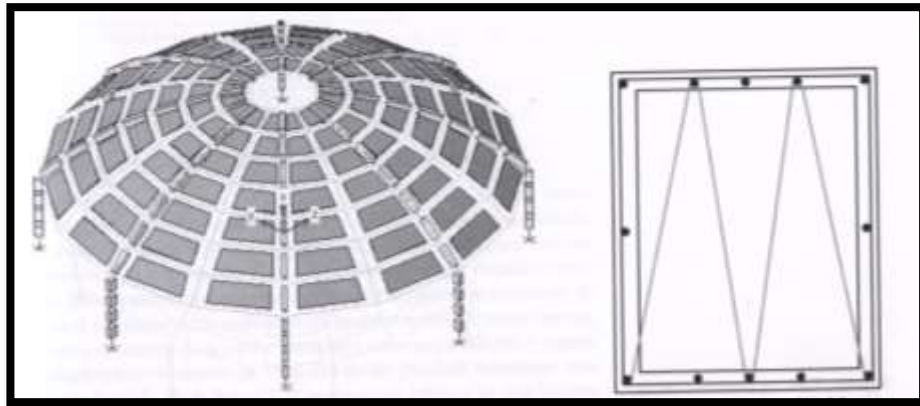


FIG N° 2.20 Cúpula Esférica

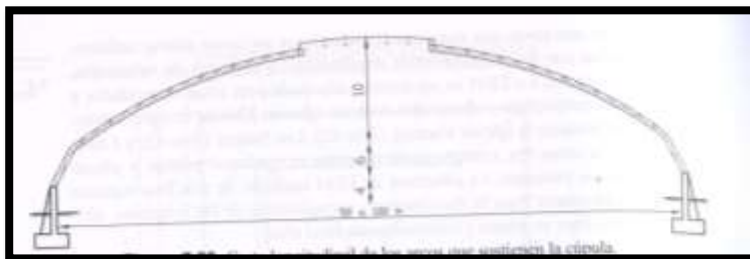




FIG N° 2.21 Corte longitudinal de los arcos que sostienen la cúpula

### 2.8.5 Hangares.-

En la actualidad, para cubrir ambientes de grandes luces, como depósitos, hangares, coliseos o auditorios, entre otros, se emplean los siguientes sistemas estructurales.

- a) Estructuras metálicas con coberturas ligeras.
- b) Pórticos con vigas pretensadas (prefabricadas o no), o mixtas junto con losas aligeradas.
- c) Estructuras laminares.

Con el empleo de la EEM se aporta una novedosa tipología para proyectar en estas situaciones que permite, en el caso de cubiertas planas, en el caso de cubiertas planas, el empleo del espacio superior.

El sistema propuesto para el caso de grandes luces consiste en intercalar piezas prefabricadas y tramos de EEM, en cada caso particular el proyectista debe escoger la franja de EEM, pues ella es la que lleva las cargas a los pilares. La economía se consigue en el sistema constructivo que permite ahorro de mano de obra y velocidad en su ejecución, y en el ahorro de materiales de construcción.

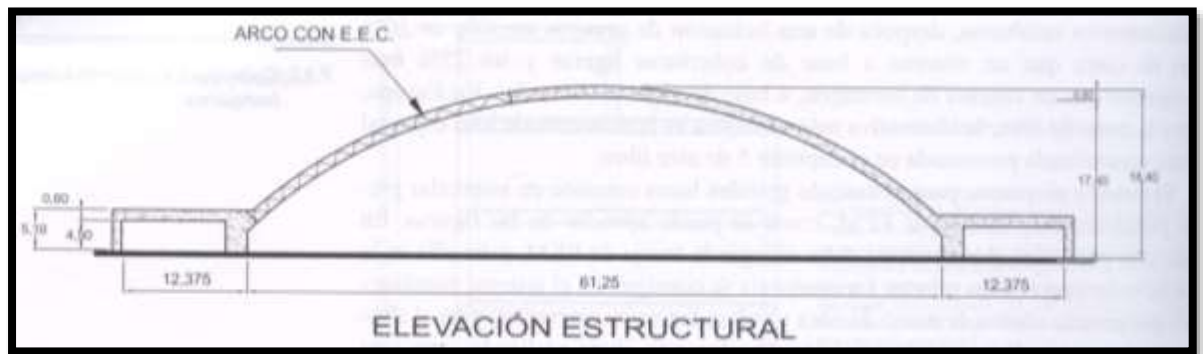


FIG N° 2.22 Elevación de hangar

### 2.8.6 Puentes.-

Esta estructura tiene la novedad de reemplazar el hormigón por madera de menor peso y costo. La EEM, como un nuevo sistema constructivo, se ha aplicado para puentes

peatonales conjuntamente con la madera cumpliendo la función del tablero y a su vez como elemento que absorbe parcialmente la compresión, conectando la madera con la estructura metálica. Esta estructura se la puede fabricar en un taller y luego efectuar el montaje para la reducción de costos.

También se puede utilizar en puentes peatonales con tablero de hormigón y EEM, para evitar de esta manera accidentes eliminando las columnas intermedias. La EEM trabaja eficientemente dado que el hormigón absorbe los esfuerzos de compresión y los elementos biarticulados de acero los esfuerzos de tracción, reduciéndose las flechas y posibles vibraciones por el empotramiento.

## **2.9 Comportamiento Sismorresistente de la EEM.-<sup>23</sup>**

Los sismos representan una de las sollicitaciones más extremas a las que una estructura va a estar sometida en su vida útil, sin que se sepa con precisión cuándo actuará, que dirección tendrá o cual será su magnitud y constituyen, por tanto, un serio problema para el diseño de una estructura.

Claramente, estas fuerzas no se pueden transferir mediante soluciones elásticas lineales y es necesario desarrollar zonas de plastificación que disipen energía y controlen la vibración.

La filosofía de las normas modernas de diseños sismorresistentes establece que una estructura debe estar capacitada para resistir, en el rango elástico, los sismos moderados que en su vida útil la puedan solicitar y en el rango inelástico, sin pérdida de vidas humanas, el sismo extremo o severo que pudiese ocurrir. La resistencia inelástica que se busca dar a las estructuras es función de su ductilidad, la cual es la capacidad de disipar cantidades significativas de energía por medio del comportamiento inelástico bajo deformaciones cíclicas de gran amplitud, sin reducción significativa de la resistencia.

El acero, bajo sollicitaciones primarias uni-axiales, es un material muy dúctil y de ello se deriva la gran resistencia inelástica de las construcciones que lo emplean. El hormigón es en sí un material frágil; sin embargo, sorprendentemente, el hormigón armado, según la cantidad y ubicación de las armaduras, es un material dúctil.

<sup>23</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 14-15.

La ductilidad global de una estructura se logra evitando la formación de cualquier mecanismo de fallo frágil tal como de cortante o de aplastamiento del hormigón. La Estructura Espacial Mixta es una solución particularmente adecuada para las construcciones sismorresistentes, en particular aquellas con vibraciones de altas frecuencias en diversas zonas con suelo rígido. Esta característica se debe no solo a su potencial ductilidad y periodos largos que evitan frecuencias resonantes en la mayoría de las situaciones prácticas cuando se emplea, sino la reducción de peso y correspondiente fuerza sísmica que conllevan.

### **2.10 Transferencia de Cargas en una Losa Rectangular y una Losa Circular.-<sup>24</sup>**

Las placas son elementos estructurales (unidades funcionales estructurales) de carácter superficial es decir que en ellas dos de las dimensiones predominan sobre la tercera. Están asociadas al hormigón armado como el material de construcción más idóneo, o quizás único, para materializarlas.

Las deformaciones que se producen están determinadas por las condiciones de apoyo y por la posición relativa entre el plano medio y la dirección de las cargas. Se distinguen así como distintos tipos de placas a muros, vigas altas y losas.

El uso más generalizado y también el primero que aparece en la historia es para estructurar cerramientos intermedios o superiores, el plano medio es horizontal o sensiblemente horizontal. En esta situación particular a las placas se las suele designar como losas. En las losas la acción de las cargas es sensiblemente normal al plano medio, en consecuencia se producirá el descenso de los puntos que no pertenecen a los apoyos configurándose una superficie deformada que en la mayoría de los casos es de doble curvatura.

<sup>24</sup> Estabilidad de las Construcciones II, *Losas I*, Casos Losas Aisladas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Valencia, 2007.

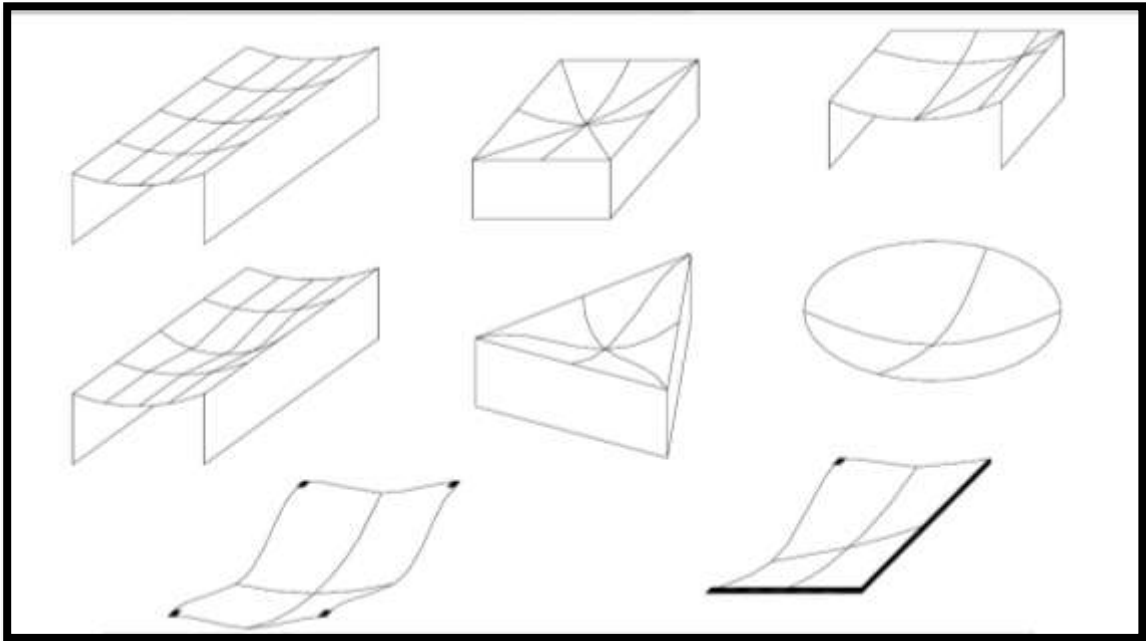
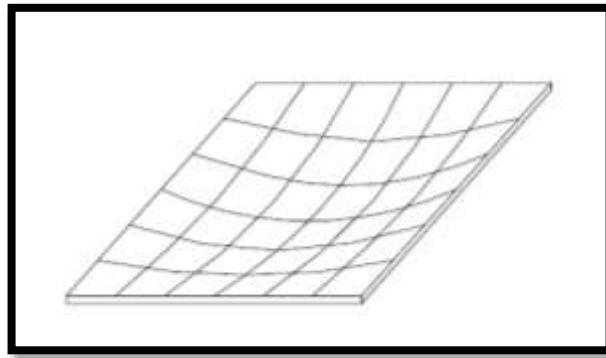


FIG N° 2.23 Deformadas de Distintos Tipos de Losas

La superficie deformada presenta características derivadas de las condiciones de apoyo, carga o forma de la planta de la losa. Los apoyos podrán ser puntuales o lineales y estos paralelos o concurrentes; las cargas superficiales, lineales o puntuales y la forma de la planta cualquiera. El estudio de un caso particular, una losa de planta rectangular simplemente apoyada en todo su perímetro y cargada uniformemente, permite establecer criterios de comportamiento y modelos de análisis que resultarán luego extrapolables a otros casos más complejos.

Para comprender el comportamiento de esta losa se la modela como dos conjuntos de fajas perpendiculares entre sí. Cada elemento de superficie de la losa pertenece a los dos sistemas de fajas y por lo tanto el total de carga que actúa sobre él influye en la deformación de las dos fajas que lo atraviesan, produciéndose descargas en las cuatro zonas de apoyo de las fajas. Las dos fajas se curvan, se flexan. Se visualiza así el trabajo a flexión en más de una dirección que es característico de las placas apoyadas en todo su contorno.

FIG N° 2.24



Ejemplo de

Deflexión

La deformación de las dos fajas centrales presenta una curvatura análoga a la que se produce en un tramo lineal (viga), igualándose los descensos máximos. Para el resto de las fajas la deformación que se produce no es solamente una curvatura (flexión) sino que también resultan alabeadas (torsionadas) debido a que la compatibilidad de deformaciones entre los dos conjuntos de fajas hace que las secciones de una faja, tal como la que se grafica, giren con respecto a las de los apoyos que permanecen con sus lados en posición horizontal y vertical. La capacidad resistente de las placas surge por lo tanto no solamente de su rigidez flexional, la resistencia a curvarse en ambas direcciones, sino también de la rigidez torsional es decir la resistencia a alabearse.

**Losa de planta circular apoyada en todo su perímetro.-**

La deformación de una losa circular apoyada en todo su perímetro y con carga uniforme presenta todos los cortes diametrales idénticos, tomando dos ortogonales cualesquiera como representativos se ponen de manifiesto la deformación y las zonas traccionadas.

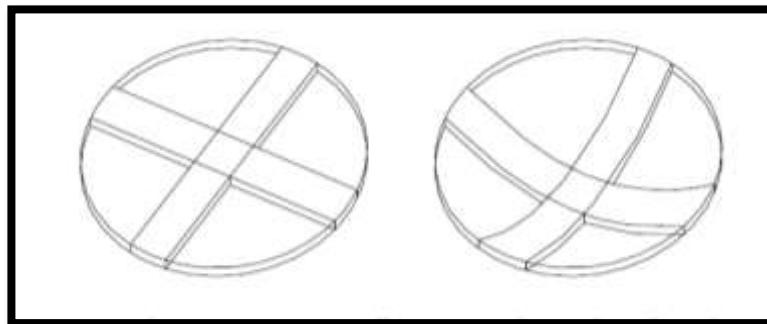


FIG N° 2.25 Deflexión en losas circulares

Las armaduras se organizan como una malla ortogonal, en dos direcciones cualesquiera y cercana a la cara inferior de la losa y como en los casos analizados antes es necesario colocar armadura en la cara superior próxima al borde.

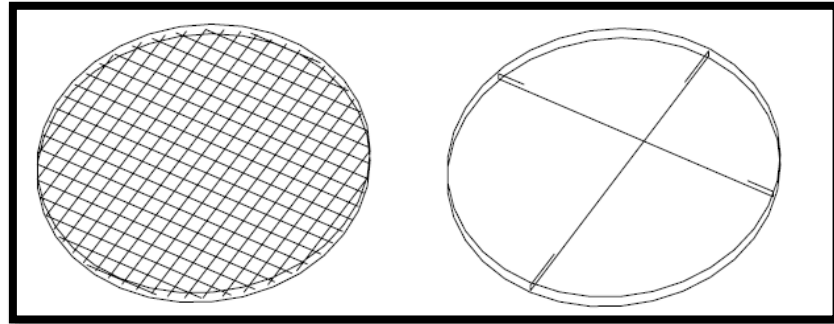


FIG N° 2.26 Detalle de armaduras en losas circulares

## 2.11 Conexiones Soldadas.-

### 2.11.1 Generalidades.-<sup>25</sup>

La soldadura es un proceso en el que se unen partes metálicas mediante el calentamiento de sus superficies a un estado plástico, permitiendo que las partes fluyan y se unan con o sin la adición de otro metal fundido. Aunque la soldadura moderna existe desde hace bastantes años, es hasta en las últimas décadas que se ha adquirido gran importancia en la ingeniería estructural. La adopción de la soldadura estructural fue muy lenta durante varias décadas, porque muchos ingenieros pensaban que tenía dos grandes desventajas: (1) que tenía poca resistencia a la fatiga en comparación con las conexiones atornilladas o remachadas y (2) que era imposible asegurar una alta calidad de soldadura si no se contaba con una inspección irracionalmente amplia y costosa.

En la actualidad, la mayoría de los ingenieros aceptan que las juntas soldadas tienen una resistencia considerable a la fatiga. Como consecuencia, la soldadura se permite en casi todos los trabajos estructurales, excepto en algunos puentes.

<sup>25</sup> McCORMAC, Jack, *Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD*, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., 1996, Pág. 344.

### **2.11.2 Ventajas de la Soldadura.**<sup>26</sup>

Actualmente es posible aprovechar las grandes ventajas que la soldadura ofrece, ya que los temores de fatiga e inspección se han eliminado casi por completo. Algunas de las muchas ventajas de la soldadura, se presentan a continuación:

1. Para la mayoría de la gente, la primera ventaja está en el área de la economía, porque el uso de la soldadura permite grandes ahorros en el peso del acero utilizado. Las estructuras soldadas permiten eliminar un gran porcentaje de las placas de unión y de empalme, tan necesarias en las estructuras remachadas o atornilladas, así como la eliminación de las cabezas de remaches o tornillos. La soldadura también requiere menos trabajo que el que se necesita para el remachado, porque un soldador puede reemplazar a la cuadrilla normal remachadora de cuatro hombres.
2. La soldadura tiene una zona de aplicación mucho mayor que los remaches o los tornillos.
3. Las estructuras soldadas son estructuras más rígidas, porque los miembros por lo general están soldados directamente uno a otro.
4. El proceso de fusionar las partes por unir, hace a las estructuras realmente continuas. Esto se traduce en la construcción de una sola pieza y puesto que las juntas son tan fuertes o más que el metal base, no debe haber limitaciones a las uniones.
5. Resulta más fácil realizar cambios en el diseño y corregir errores durante el montaje (y a menor costo), si se usa soldadura.
6. Otro detalle que es importante es lo silencioso que resulta soldar.
7. Se usan menos piezas y, como resultado, se ahorra tiempo en detalle, fabricación y montaje de la obra.

<sup>26</sup> McCORMAC, Jack, *Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD*, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., 1996, Pág. 345-346.

### **2.11.3 Soldaduras de Filete.-**

Las pruebas han mostrado que las soldaduras de filete son más resistentes a la tensión y a la compresión que al corte, de manera que los esfuerzos determinantes en soldaduras de filete que se establecen en las especificaciones para soldadura, son esfuerzos de corte.

La soldadura de filete de preferencia debe tener una superficie plana o ligeramente convexa, aunque la convexidad de la soldadura no se suma a su resistencia acumulada. Otro detalle importante con respecto a la forma de las soldaduras de filete, es el ángulo de la soldadura con las piezas que se sueldan. El valor conveniente de este ángulo está cercano a los 45°. Para las soldaduras de filete de 45° las dimensiones de los lados son iguales y dichas soldaduras se conocen por la dimensión de sus lados (como soldadura de filete de 1/4pulg).

### **2.11.4 Resistencia de las Soldaduras.-**

Como se indicó previamente, el esfuerzo en una soldadura se considera igual a la carga  $P$  dividida entre el área de la garganta efectiva de la soldadura. Este método para determinar la resistencia de soldaduras de filete, se usa sin tomar en cuenta la dirección de la carga. Las pruebas han demostrado que los filetes transversales son un tercio más resistentes que los filetes longitudinales, pero este hecho no es reconocido por la mayor parte de las especificaciones, con el fin de simplificar los cálculos. Una razón del porqué los filetes transversales son más fuertes, es que el esfuerzo está más uniformemente repartido en su longitud total, en tanto que en los filetes longitudinales se reparte en forma dispareja debido a deformaciones que varían a lo largo de la soldadura.



### 2.11.5 Requisitos del LRFD.<sup>-27</sup>

En las soldaduras el material del electrodo deberá tener propiedades del metal base. Si las propiedades son comparables se dice que el metal de aportación es compatible con el metal base.

La resistencia de diseño de una soldadura específica se toma como el menor de los valores  $\phi * F_w$  ( $F_w$  es la resistencia nominal de la soldadura) y  $\phi * F_{BM}$  ( $F_{BM}$  es la resistencia nominal del metal base).

Para las soldaduras de filete la resistencia nominal por esfuerzos en el área efectiva de la soldadura es  $0.60 * F_{EXX}$  ( $F_{EXX}$  es la resistencia por clasificación del metal base) y  $\phi$  es igual a 0.75. Si se tiene tensión o compresión paralela al eje de la soldadura, la resistencia nominal del metal base es  $F_y$  y  $\phi$  es igual a 0.90. La resistencia de diseño por cortante de los miembros conectados es  $\phi * F_n * A_{ns}$  donde  $\phi=0.75$ ,  $F_n$  es 0.6 y  $A_{ns}$  es el área neta sujeta a cortante.

Los electrodos para la soldadura se designan como E60XX, E70XX, etc. En este sistema de clasificación la letra E significa electrodo y los dos primeros dígitos (como 60y70) indican la resistencia mínima a la tensión de la soldadura en klb/pulg<sup>2</sup>.

<sup>27</sup> McCORMAC, Jack, *Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD*, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., 1996, Pág. 358-361

### **3. DESARROLLO DEL ESTUDIO**

#### **3.1 Introducción.-**

En el presente capítulo se realizará el diseño de los elementos correspondientes a las losas de entrepiso y cubierta, del Bloque Administrativo de la Facultad de Ciencias y Tecnología, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Debido al gran tamaño de la losa, tanto de cubierta como de entrepiso y, la inmensa cantidad de elementos, añadidos a la gran cantidad de operaciones matemáticas que se deberían realizar para la determinación de esfuerzos de manera manual, se ha visto por conveniente determinarlos a través de un programa de cálculo.

El cálculo de esfuerzos, se lo realizará a través del programa de Cálculo de Estructuras Metálicas METAL 3D; este programa en particular, discretiza los elementos mediante el método de los elementos finitos.

Esta ayuda, simplifica de gran manera el dimensionamiento de los elementos, cuyo dimensionado se detalla a continuación. Solamente el pre dimensionamiento se lo realizará de manera manual.

Teniendo el diseño terminado se procederá a realizar un análisis comparativo, técnico-económico con el sistema estructural que se tiene actualmente en la edificación.

Para terminar se hará referencia al método constructivo más eficiente, que se debería adoptar para llevar adelante el montaje de este nuevo sistema estructural, de losas reticulares mixtas, aprovechando todas sus ventajas y optimizando el tiempo de ejecución de la misma.

#### **3.2 Sistema Estructural Existente.-**

En la edificación se puede observar, mediante los planos estructurales de la misma, que se diseñaron dos tipos de losas. Una de geometría rectangular que consiste, en una losa alivianada con complemento de polietileno expandido y como estructura de soporte, viguetas pretensadas. También se observa una losa de geometría circular, que fue diseñada mediante una losa casetonada. El edificio cuenta con una losa de cubierta y dos losas de entrepiso (información recabada de los planos estructurales de dicho bloque).

Las losas alivianadas son fáciles de construir y se aplican con el fin de ahorrar material y tener menos peso. Además dado que están constituidas por materiales livianos y con huecos que alojan aire en su interior, tienen una mejor aislación térmica y acústica. También necesitan de un encofrado, pero menos minucioso que en el caso anterior.

En general en este tipo de losas los hierros principales ya no se distribuyen a lo largo de toda la superficie, sino que se concentran longitudinalmente dentro de viguetas o nervaduras, que harán de estructura soporte del conjunto. A pesar de ello necesitarán de una armadura de repartición en la parte superior, para distribuir bien las cargas.

Existen varios recursos; en lo que a materiales se refiere; para ejecutar una losa alivianada, que a continuación se enumerarán.<sup>28</sup>

- Losa alivianada con cerámica.- Estas losas se componen básicamente de un elemento estructural que es la vigueta, un elemento de volumen o masa (el bloque cerámico) y un elemento unificador que da cohesión al conjunto, que es la capa de compresión constituida por un hormigón alivianado, en donde se reemplazó al canto rodado (agregado grueso) por un agregado de menos peso como ser arcilla expandida o “leca”.
- Losa nervurada.- Es una mezcla entre losa llena o maciza y losa cerámica. Aquí las viguetas son reemplazadas por nervaduras de hormigón, las que (al igual que las viguetas) se encargarán de contener los hierros principales. Es decir que es una losa

cerámica, pero en este caso el elemento estructural (vigüeta) no viene pre armado, sino que se lo fabrica “in situ”.

- Losa casetonada.- Es muy parecida a la anterior, solo que las nervaduras aquí, ya no tienen un solo sentido longitudinal, sino que están cruzados. Es decir que llevan nervios en dos direcciones cruzadas y; al igual que el anterior; los nervios se encargan de portar dentro de sí a la armadura principal. Con este sistema se consiguen losas económicas y muy resistentes (más que el anterior) aplicable a grandes luces. Los casetones se hacen con material plástico, metálico o de madera.
- Losa hueca pretensada.- Funciona de manera parecida a la losa cerámica con vigüetas. La diferencia con aquella es que en ésta el elemento estructural (vigüeta) y el de volumen o masa están unificados. Por ello el peso de cada placa es grande y debe recurrirse a medios mecánicos para su montaje. Su uso es aconsejable en entresijos comerciales.

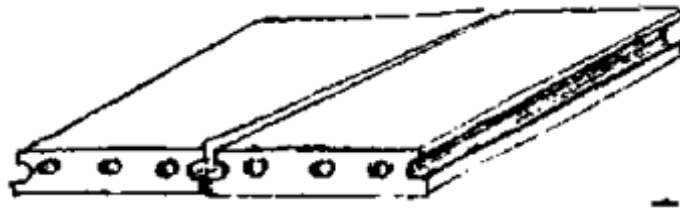


FIG N° 3.1 Losa Hueca

- Losa alivianada con plasto formo.- Es un entresijo unidireccional, está constituido por vigüetas prefabricadas de hormigón como el elemento resistente, bovedillas de poliestileno expandido, como elemento aligerante.

La losa se completa con el hormigón vertido in situ para la carpeta de compresión, armadura para momentos negativos y de reparto que se coloca en obra, empleando una disposición y tipo de acero de acorde con nuestras especificaciones.

Todo este conjunto constituye un único elemento estructural rígido, capaz de resistir y transmitir los esfuerzos a que estará sometido el entrepiso.

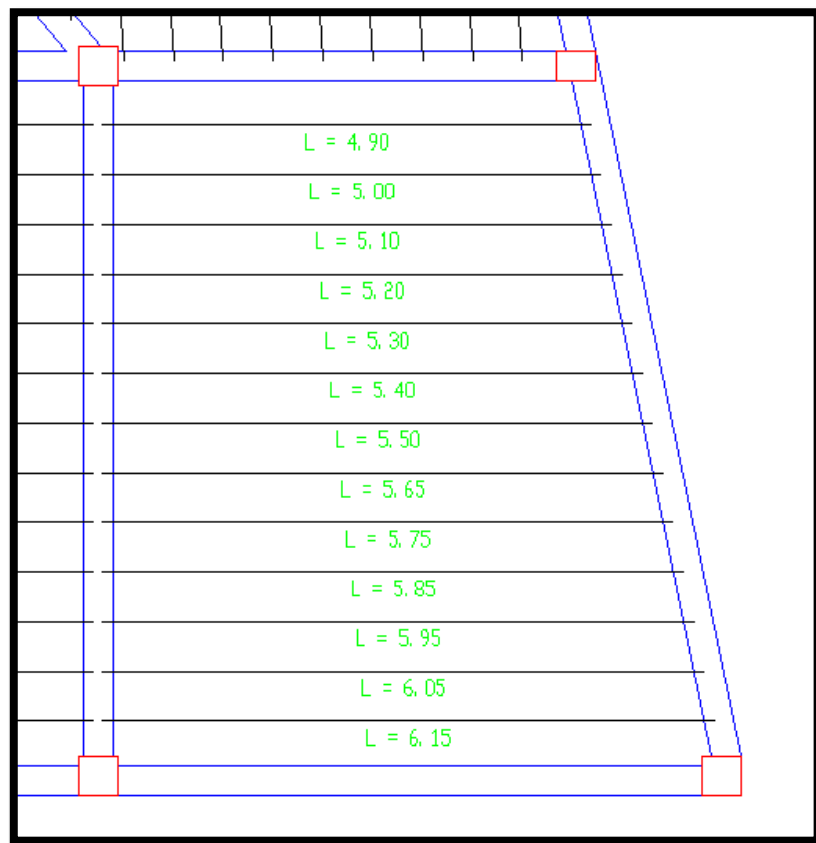


FIG N° 3.2 Dimensión de Viguetas de la Losa más Crítica de la Edificación

### **3.3 Sistema Estructural Propuesto.-**

#### **3.3.1 Bases de Cálculo.-**

##### **3.3.1.1 Características Generales del Edificio en Estudio.-**

El edificio que será estudiado, es el bloque administrativo de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la U.A.J.M.S.

La superficie que ocupa dicho ambiente es de 2816.53m<sup>2</sup>, está constituido por tres plantas de áreas similares, pero de distribución arquitectónica distinta, destinados a oficinas, cuenta con una cubierta de losa

En todas las plantas, además de contar con ambientes para oficinas, se debe hacer referencia que uno de los mismos es de geometría circular, que la planta baja funciona como cafetería y las otras dos plantas como auditorio.

##### **3.3.1.2 Materiales.-**

Las características de los materiales que se utilizará para el presente trabajo se los detallan a continuación:

$f_{ck} = 210 \text{ kg/cm}^2$  (resistencia característica del hormigón)

$f_{yk} = 4000 \text{ kg/cm}^2$  (resistencia característica del acero DA-400 S con características de soldabilidad, fabricado con norma PNA 4 00799).

##### **3.3.1.3 Requisitos Dimensionales Según Normativa.-**

De acuerdo a normativas, teniendo como información secundaria los planos estructurales de la edificación. los requisitos dimensionales son los siguientes:

- Para las columnas la dimensión transversal mínima será de 25cm.
- Las vigas serán de sección rectangular, con dimensiones de 30x50cm y en zonas de mayor sollicitación las mismas serán de 30x70cm.
- En las placas, las normas indican que la relación que debe existir entre el canto y la luz será mínimamente 1/28, para evitar congestionamiento de armadura se recomienda 1/25, además el canto mínimo deberá ser de 15cm.
- En zonas aligeradas el espesor de la losa superior (capa de compresión) no será menor a 3cm.

- El ancho de los nervios no será menor a 7cm, ni a la cuarta parte de la altura del nervio, sin contar la losa superior.
- La losa reticular llevará en todo su contorno una viga de borde o perimetral.

### **3.3.2 Análisis de Cargas Permanentes.-**

Las cargas permanentes o muertas como se las conoce comúnmente, son las provenientes de los pesos propios de los elementos estructurales y así también de los no estructurales como ser:

Peso propio de la losa, peso propio de vigas, peso propio de columnas, peso de gradas, peso del sobrepiso y acabados, peso de las paredes y revoques.

### **3.3.3 Elementos rectos a flexión y sus componentes.-**

El propósito de la celosía es mantener paralelas y a las distancias correctas las diversas partes del miembro armado (cordón superior e inferior), con el objetivo de unificar la distribución de esfuerzos en ellos. Las especificaciones LRFD-E4 nos proporcionan las siguientes especificaciones:

- a) La celosía debe espaciarse de manera que las partes individuales conectadas no tengan valores de  $l/r$  entre conexiones mayores que rigen para el miembro armado completo ( $Kl/r$ ).
- b) La celosía debe ser dimensionada de manera que proporcione resistencia a una fuerza cortante normal al eje del miembro, igual o menor al 2% de la resistencia de compresión del miembro.
- c) La relación de esbeltez para la celosía se limita a 140 para celosía simple y a 200 para celosía doble.
- d) Para barras de celosía simple en compresión,  $L_d$  debe considerarse como la longitud entre líneas de conectores o soldaduras y el 70% de esa longitud para una celosía doble.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> Hermes Sossa Romero, Tesis de Grado, U.A.J.M.S., *Análisis de Comparación Técnica-Económica entre Forjados Bidireccionales y Forjados Mixtos Aplicados a una Estructura Tipo*, Tarija, 2011, Pág. 85.

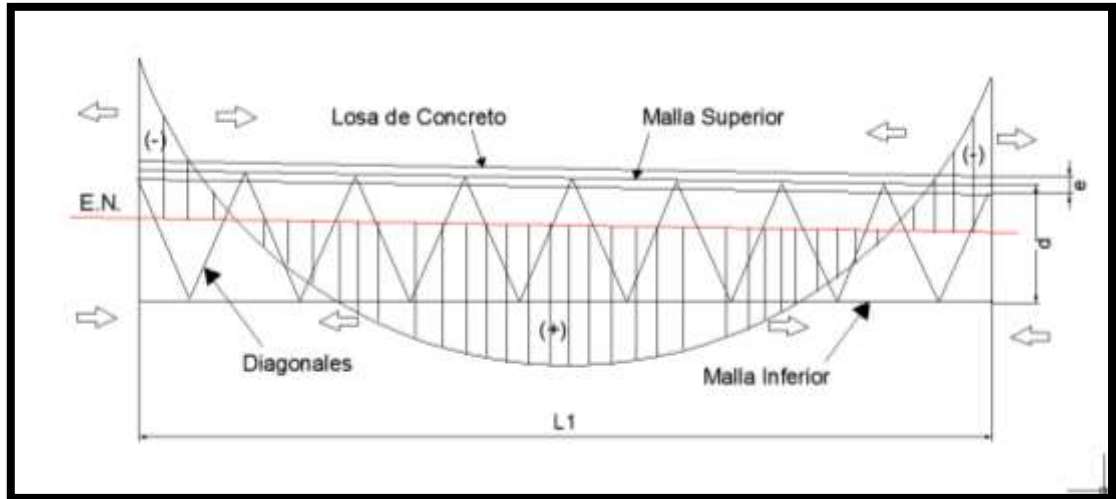


FIG N° 3.3 FIG N° 3.3 Fuerzas Internas de Tracción y Compresión

### 3.3.4 Análisis y Modelación de Losas Reticulares Mixtas.-

#### • Predimensionamiento.-

Como en este caso el estudio se lo realizará de una estructura mixta, es decir de acero y hormigón, para determinar el canto de la losa se usará la norma ACI y para los componentes del elemento estructural se utilizará la normativa LRFD.

#### ➤ Losas de Entrepiso y Cubierta.-

##### a) Canto de Losa.-

En un diseño estructural, se debe tomar en cuenta, la losa más crítica que es la de mayor dimensión, o sino también una intermedia, para uniformizar el canto de la losa en toda la estructura.



Se utilizará una sola altura de losa uniformizando el cálculo, en base a la información que nos proporcionan los planos arquitectónicos del edificio en estudio, la losa crítica tiene las siguientes dimensiones 7.30m por 7.0m.

$$h = \frac{l}{25}$$

$$h = \frac{7.3}{25} = 0.29m$$

Se adopta como dimensión del canto de losa **h=0.3m**.

b) Altura de la Capa de Compresión.-

Las recomendaciones indican que en los entrepisos la altura de la losa superior (capa de compresión), no será inferior a 3cm, si se emplean bloques aligerantes de cerámico. Si se emplearan moldes recuperables o moldes de poliuretano, el espesor de la capa de compresión no deberá ser menor a 5cm.

Se adoptará una altura de compresión **hc=5cm**.

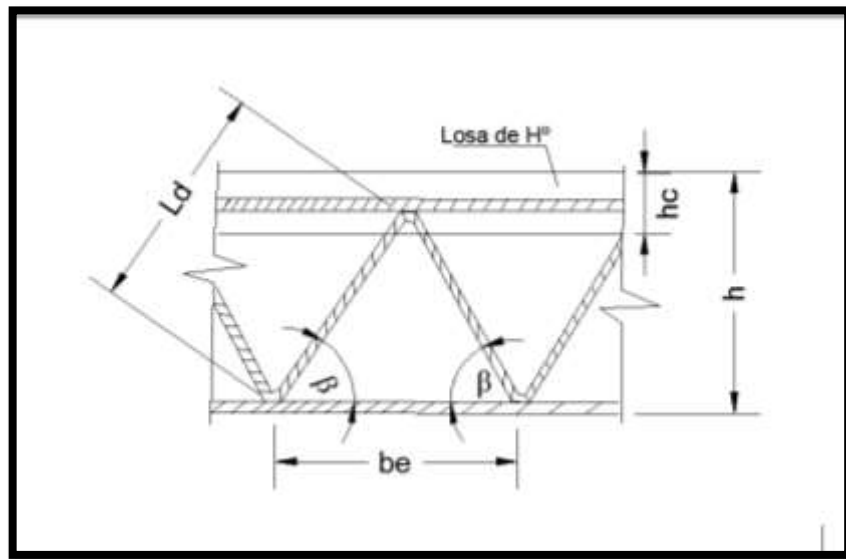


FIG N° 3.4 Detalle de una Losa Reticular (Predimensionamiento)

Si se realiza el cálculo de dichos valores, usando la geometría de una pirámide de base cuadrada, se obtienen los siguientes resultados:

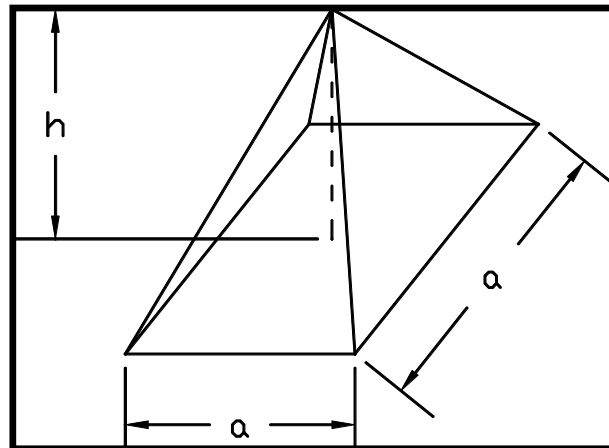


FIG N° 3.5 Pirámide Espacial

Se tiene la siguiente ecuación:

$$h = \frac{1}{\sqrt{2}} * a$$

Se debe reemplazar el valor de  $h=0.3m=30cm$  en la ecuación:

$$a = h * \sqrt{2}$$

$$a = 0.3 * \sqrt{2} = 0.42m = 42cm$$

El valor de **a=0.45m** (valor constructivo) es el valor de la arista de la pirámide de base cuadrada.

c) Cargas de Sobrepisos y Acabados.-

<b>Tabla 3.1 SOBRECARGA DE PISO</b>		
<b>Mosaico + mortero</b>	$\gamma_{\text{piso}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	P1 (kg/m <sup>2</sup> )
<b>0.04</b>	2000	80
<b>Tabla 3.2 SOBRECARGA DE CIELO FALSO</b>		
<b>Yeso</b>	$\gamma_{\text{yeso}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	P1 (kg/m <sup>2</sup> )
<b>0.017</b>	1200	20

Fuente: Hormigón Armado de Jiménez Montoya-Mesenguer-Morán.

d) Determinación de Cargas Vivas.-

o Cargas Vivas o Accidentales.-

Las cargas que se deben adoptar como accidentales o vivas, para edificios de docentes, con aulas, despachos y comedores.

<b>Tabla 3.2 Sobrecargas de Diseño Bloque Administrativo Fac. Ciencias y Tecnología</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Sobrecarga (kg/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Losa de Entrepiso</b>	Aulas, despachos y comedores	300
<b>Losa de Cubierta</b>	Accesibles solo privadamente	150

<b>Cielo falso</b>	Cordón Inferior	20
--------------------	-----------------	----

<b>Tabla 3.3 Valores de Sobrecarga según Normativa</b>	
<b>USO DEL ELEMENTO</b>	<b>SOBRECARGA (Kg/m<sup>2</sup>)</b>
<b>A.- AZOTEAS</b>	
Accesibles solo para conservación	100
Accesibles solo privadamente	150
Accesibles al público	Según su uso
<b>B.- VIVIENDAS</b>	
Habitaciones de viviendas económicas	150
Habitaciones en otro caso	200
Escaleras y accesos públicos	300
Balcones volados	*
<b>C.- HOTELES, HOSPITALES, CARCELES, ETC.</b>	
Zonas de dormitorio	200
Zonas públicas, escaleras, accesos	300

Locales de reunión y de espectáculo	500
Balcones volados	*
<b>D.- OFICINAS Y COMERCIOS</b>	
Locales privados	200
Oficinas públicas, tiendas	300
Galerías comerciales, escaleras y accesos	400
Locales de almacén	Según su uso
Balcones volados	*
<b>E.- EDIFICIOS DOCENTES</b>	
Aulas, despachos y comedores	300
Escaleras y accesos	400
Balcones volados	*
<b>F.- IGLESIAS, EDIFICIOS DE REUNIÓN Y DE ESPECTACULOS</b>	
Locales con asientos fijos	300
Locales con asientos, tribunas, escaleras	500
Balcones volados	*

Fuente: Hormigón Armado de Jiménez Montoya-Mesenguer-Morán.

- Cargas de Viento.-

Las cargas de viento se distribuyen en forma puntual en cada nudo, esta carga puntual resulta de multiplicar la carga de viento por el área de influencia en cada nudo del pórtico.

Según la norma MV 101-1962 se asumen los siguientes valores:

En un edificio de 0-10m de altura:  $P=50\text{kg/m}^2$ .

En un edificio de de 11-30m de altura:  $P=75\text{kg/m}^2$

**En el diseño no se hará uso de la carga debida al viento**, porque como se trata del diseño de losas de entrepiso las mismas que no son afectadas por esta acción (viento), la misma que si actúa contra las paredes del edificio; que no es el tema que está en estudio en este trabajo.

### ➔ Losa Circular.-

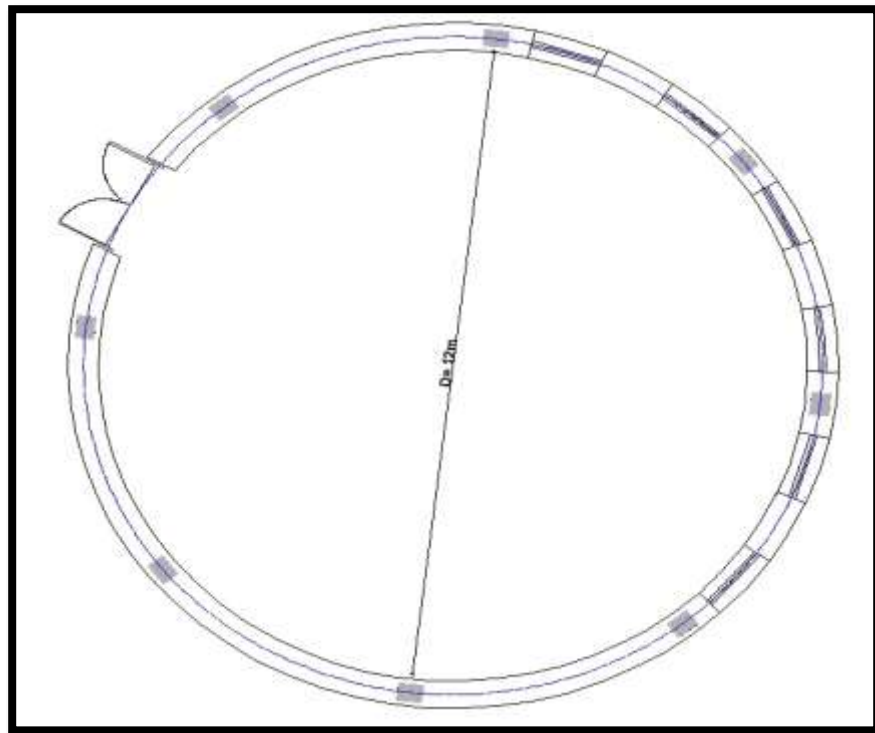


FIG N° 3.6 Dimensiones de la Losa Circular

a) Canto de Losa.-

$$h = \frac{l}{25}$$

$$h = \frac{6.26 + 5.04}{25} = 0.45$$

Se adoptará como dimensión del canto de losa **h=0.45m**.

b) Altura de la Capa de Compresión.-

Las recomendaciones indican que en los entrepisos la altura de la losa superior (capa de compresión), no será inferior a 3cm, si se emplean bloques aligerantes de cerámico, y si se emplearán moldes recuperables o moldes de perdidos de poliuretano, el espesor de la capa de compresión no deberá ser menor a 5cm.

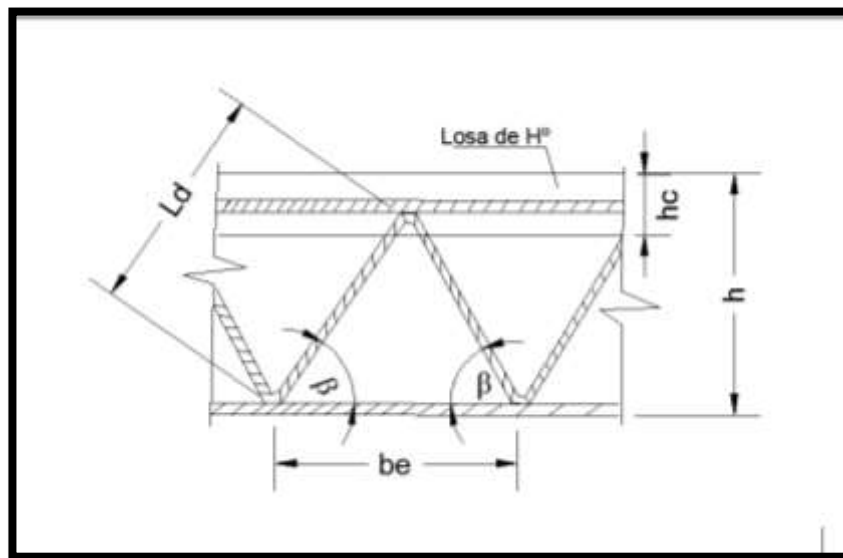


FIG N° 3.7 Detalle de la Losa Reticular Circular

Se adoptará una altura de compresión **hc=5cm**.

c) Determinación de Cargas Vivas.-

Se tomarán en cuenta los mismos valores detallados en la **Tabla 3.3**.

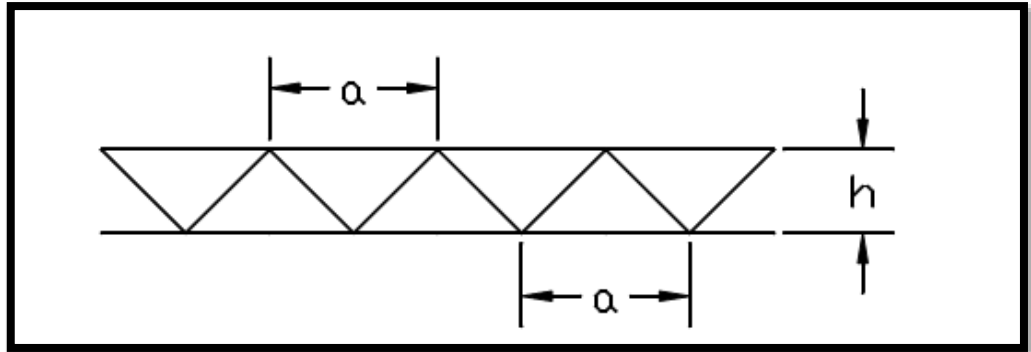


FIG N° 3.8 Vista en Planta de la Pirámide de Base Cuadrada

Si se realiza el cálculo de dichos valores usando la geometría de una pirámide de base cuadrada se obtiene los siguientes resultados:

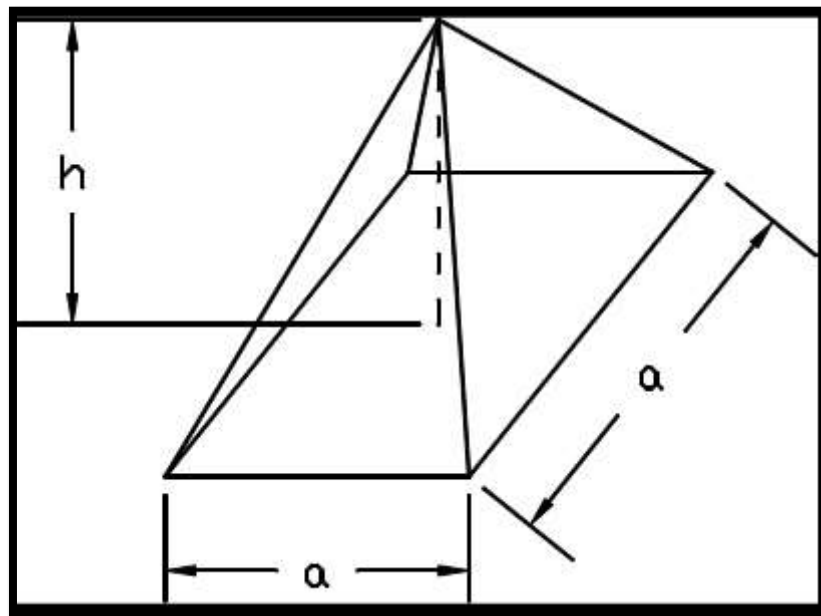


FIG N° 3.9 Pirámide Base Cuadrada

$$h = \frac{1}{\sqrt{2}} * a$$

Se debe reemplazar el valor de  $h=0.45\text{m}=45\text{cm}$ .



$$a = h * \sqrt{2}$$

$$a = 0.45 * \sqrt{2} = 0.64m = 64cm$$

El valor de **a=0.65m** (valor constructivo) es el valor de la arista de la pirámide de base cuadrada.

### **3.4 Dimensionamiento Estructural.-**

#### **3.4.1 Análisis por Asimilación a Estructuras Continuas.-**

Debido a la complejidad de cálculo del análisis de mallas espaciales mixtas por elementos finitos, se recurre con facilidad al método alternativo donde la estructura espacial mixta se asimila a un elemento continuo de losa de hormigón con canto equivalente trabajando a esfuerzos de placa.

##### **3.4.1.1 Teoría de la Losa Ortótropa Equivalente.-<sup>30</sup>**

Este método alternativo de análisis de estructuras continuas que permite calcular una estructura espacial mixta, asimilándola a una losa ortótropa equivalente, con parámetros adecuadamente determinados y es el procedimiento más empleado en la práctica.

Resolviendo las ecuaciones diferenciales desarrolladas mediante aproximaciones por elementos finitos, se analizan sistemas estructurales de forma general, no existiendo restricción, ni de la geometría ni del tipo y ubicación de los apoyos. Es posible, igualmente, considerar la interacción de la estructura espacial mixta con las vigas de borde y los pilares que la soportan.

<sup>30</sup> BOZZO Miguel, BOZZO Luis, *Losas Reticulares Mixtas*, Editorial Reverté S.A., España, 2003, Pág. 37-39.

Este procedimiento tiene la ventaja de reducir considerablemente el número de incógnitas involucradas en el análisis, con el consiguiente ahorro de tiempo de cálculo; sin embargo, es importante que los parámetros de la losa ortótropa equivalente, sean adecuadamente seleccionados.

Para realizar la equivalencia entre una tridilosa y una losa de hormigón se utiliza una inercia equivalente. Se sabe que la rigidez flexional de la losa continua es la siguiente:

$$D = \frac{E * t^3}{12(1 - \mu^2)}$$

Si se considera un ancho “b” se puede modificar la ecuación anterior de la siguiente manera:

$$D = \frac{b * t^3}{12} * \frac{E}{b * (1 - \mu^2)} = I_{equiv} * \frac{E}{b * (1 - \mu^2)}$$

La cual considera una losa de hormigón de ancho “b” con inercia equivalente.

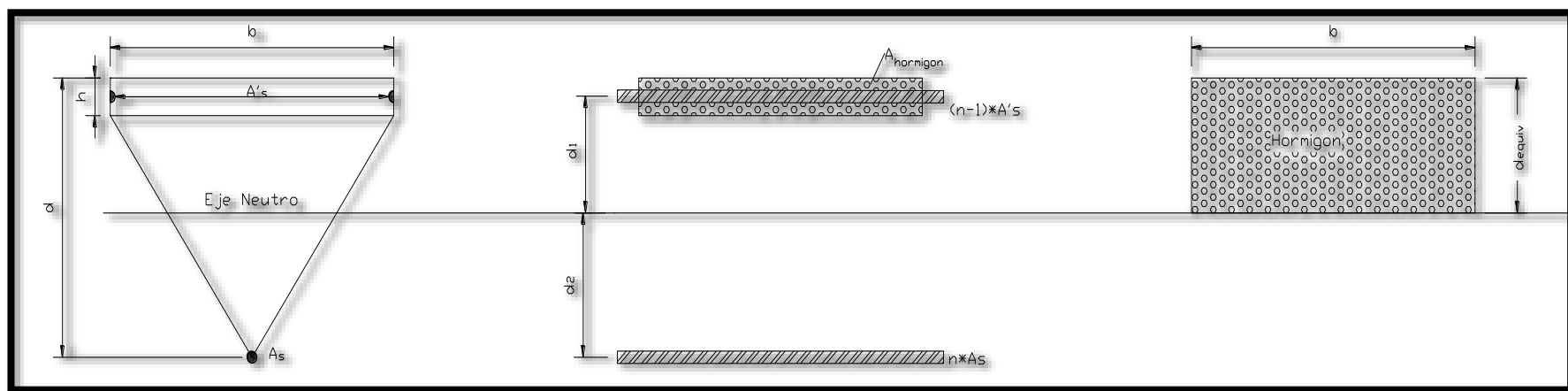


FIG N° 3.10 a) Tridilosa de ancho b, b) sección transformada, c) losa de H° con inercia equivalente

A continuación se calcula una inercia aproximada de la tridilosa, con el criterio de sección transformada, como se muestra en la figura 3.10, donde el valor de “n” es la relación de módulos de elasticidad del acero y del hormigón:

$$n = \frac{E_{acero}}{E_{hormigon}}$$

Efectuando operaciones con la sección transformada se obtienen las siguientes distancias al eje neutro del hormigón y acero superior (d1) y del acero inferior (d2):

$$d_1 = \left(d - \frac{h}{2}\right) * \left(\frac{n * A_s}{h * b + n * A_s + (n - 1)A's}\right)$$

$$d_2 = \left(d - \frac{h}{2}\right) * \left(\frac{h * b + (n - 1) * A's}{h * b + n * A_s + (n - 1)A's}\right)$$

Se calcula posteriormente la inercia de la sección transformada con la siguiente ecuación:

$$I_{eq} = d_1^2 * ((N - 1) * A'_s + b * h) + d_2^2 * (n * A_s)$$

Considerando un bloque de hormigón con idéntica inercia se obtiene inercia se obtiene el canto equivalente. Para un ancho (b) de hormigón:

$$I_{eq} = \frac{d * d_{eq}^3}{12}$$

$$d_{eq} = \sqrt[3]{\frac{12 * I_{eq}}{b}}$$

### 3.4.2 Dimensionamiento de la Losa de Entrepiso Rectangular

Se realizará el diseño de los miembros que componen la losa mixta, de manera manual y posteriormente se los comparará con los resultados obtenidos con ayuda del programa informático. (El cálculo de los demás los elementos estructurales y, sus verificaciones respectivas, están detallados en el Anexo 2)

### ➔ Carpeta de Compresión.-

Para el diseño de las losas de hormigón se utilizarán las especificaciones establecidas en la parte 5 del manual AISC (LRFD), para miembros de sección compuesta. Como en el análisis se obtienen directamente los esfuerzos de membrana, que se generan en la losa de hormigón, se debe verificar que estos sean menores que la siguiente expresión:

$$\sigma_c \leq 0.85f_c$$

Por otra parte, varias normativas del hormigón, especifican que para controlar la microfisuración del hormigón en compresión, las tensiones en el mismo no deben exceder el 60% de la resistencia característica:

$$\sigma_c \leq 0.6f_c$$

Estos límites se cumplen ampliamente en este tipo de estructuras. Se analizó la losa más solicitada, de 7.3m x 7.0m de luces en cada dirección, cargado con la hipótesis más desfavorable, y se obtuvieron los esfuerzos en la losa de sólo  $\sigma_c=110 \text{ kg/cm}^2$ .

Si se considera la resistencia característica del hormigón  $f_c= 210\text{kg/cm}^2$ .

$$0.85*210= 178.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$110 \text{ kg/cm}^2 \leq 178.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ CUMPLE}$$

$$0.6*210= 126 \text{ kg/cm}^2$$

$$110 \text{ kg/cm}^2 \leq 126 \text{ kg/cm}^2 \text{ CUMPLE}$$

Como se puede observar, los esfuerzos actuantes están, muy por debajo de los esfuerzos resistentes. Cabe señalar que, en este caso, el hormigón trabaja casi totalmente a

compresión. Si es que en otros casos se obtienen tracciones en el hormigón se considerará que las barras de acero absorben dichos esfuerzos.

➤ **Estructura metálica.-**

Para el armazón metálico, que compone la losa, se obtendrán los mayores esfuerzos, con los cuales va a trabajar cada barra, y con estos datos se puede pasar al dimensionamiento, que consistirá en diseñar aquellas barras que estén sometidas a compresión como columnas, y las barras que trabajen a tracción diseñarlas como tirantes.

Para tener una uniformidad en las secciones de las piezas se debe dimensionarlas en función a la barra más solicitada; tanto del cordón superior, del cordón inferior y diagonales. En la tabla se resumen los máximos esfuerzos de compresión y tracción, de la losa.

<b>Tabla 3.4 Máximos Esfuerzos de Compresión y Tracción</b>		
<b>Barra</b>	<b>Carga Muerta (Kg)</b>	<b>Carga Viva (Kg)</b>
<b>Máxima Compresión</b>		
<b>Cordón Superior</b>	-457	-541
<b>Cordón Inferior</b>	-153	-196
<b>Diagonales</b>	-150	-165
<b>Máxima Tracción</b>		
<b>Cordón Superior</b>	1192	2359
<b>Cordón Inferior</b>	843	877
<b>Diagonales</b>	795	974

Fuente: NUEVO METAL 3D-(CYPECAD 2012)

## ⇒ Cordón Superior.-

### ➤ Máxima Compresión.-

Combinaciones de Carga.-

$$1.- U = 1.4 * D = 1.4 * (-457) = -639.8 \text{kg}$$

$$2.- U = 1.2 * D + 0.5 * L_R = 1.2 * (-457) + 0.5 * (-541) = -818.9 \text{kg}$$

$$3.- U = 1.2 * D + 1.6 * L_R + 0.8 * W = 1.2 * (-457) + 1.6 * (-541) + 0.8 * (0) = \mathbf{-1414 \text{kg}}$$

$$4.- 1.2 * D + 1.3 * W + 0.5 * L_R = 1.2 * (-457) + 1.3 * (0) + 0.5 * (-541) = -818.9 \text{kg}$$

De todas las combinaciones realizadas, la más desfavorable es la tercera con un valor de compresión de: **-1414kg.**, con lo que se procederá a diseñar los elementos del cordón superior.

### Datos Generales:

$$F_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 0.45 \text{m}$$

$$K = 1 \text{ (valor teórico); } K = 1.2 \text{ (condiciones ideales)}$$

$$\text{Carga Axial} = 1414 \text{kg}$$

$$\text{Suponemos } \frac{K * L}{r} = 30$$

Cálculo de  $\lambda_c$ :

$$\lambda_c = \frac{30}{\pi} * \sqrt{\frac{4000}{2000000}} = 0.43$$

Esfuerzo crítico o de pandeo: (columna intermedia, pandeo inelástico)

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) * F_y * 0.85$$

$$F_{cr} = (0.658^{0.43^2}) * 4000 * 0.85 = 3295.03 \text{ kg/cm}^2$$

Área requerida:  $A_{req} = \frac{\text{Carga Axial}}{F_{cr}}$

$$A_{req} = \frac{1414 \text{ kg}}{3295.03 \text{ kg/cm}^2} = 0.49 \text{ cm}^2$$

Probamos con un perfil tubular circular con las siguientes características:

Diámetro= 16mm;  $A = 2.02 \text{ cm}^2$ ;  $I = 0.32 \text{ cm}^4$

Radio de giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.32}{2.02}} = 0.40 \text{ cm}$$

Relación de esbeltez:

$$\frac{K * L}{r} = \frac{1.2 * 45 \text{ cm}}{0.40 \text{ cm}} = 135$$

Cálculo de  $\lambda_c$ :

$$\lambda_c = \frac{135}{\pi} * \sqrt{\frac{4000}{2000000}} = 1.97$$

Esfuerzo crítico o de pandeo:

$$F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda c^2} \right) * F_y * 0.85$$

$$F_{cr} = \left( \frac{0.877}{1.97^2} \right) * 4000 * 0.85 = 807.39 \text{ kg/cm}^2$$

Comprobación de sección:

$$P_u = \phi_t * F_{cr} * A_g$$

$$P_u = 0.9 * 807.39 * 2.84 = 1461 \text{ kg}$$

El perfil elegido cumple con la resistencia requerida porque:

$$1461 \text{ kg} > 1414 \text{ kg CUMPLE}$$

➤ **Máxima Tracción.-**

Combinaciones de Carga:

$$1.- U = 1.4 * D = 1.4 * (1192) = 1168.8 \text{ kg}$$

$$2.- U = 1.2 * D + 0.5 * LR = 1.2 * (1192) + 0.5 * (2359) = 2609.9 \text{ kg}$$

$$3.- U = 1.2 * D + 1.6 * LR + 0.8 * W = 1.2 * (192) + 1.6 * (359) + 0.8 * (0) = \mathbf{5204.8 \text{ kg}}$$

$$4.- 1.2 * D + 1.3 * W + 0.5 * LR = 1.2 * (192) + 1.3 * (0) + 0.5 * (359) = 2609.9 \text{ kg}$$

De todas las combinaciones realizadas, la más desfavorable es la tercera con un valor de compresión de: **5204.8kg.**, con lo que se procederá a diseñar los elementos sometidos a tracción.

Datos Generales:

Material AEH-400

$$F_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 0.45 \text{ m}$$

$$K = 1 \text{ (valor teórico); } K = 1.2 \text{ (condiciones ideales)}$$



Carga Axial = 5204.80kg

$\phi_t = 0.75$

U=0.9

$$Fu = \frac{58klb}{pulg^2} * \frac{1000lb}{1klb} * \frac{0.070307lb/pulg^2}{1kg/cm^2} = 4077.86 kg/cm^2$$

Cálculo de Áreas Mínimas Requeridas:

$$A_{gmin} = \frac{Pu}{\phi_T * Fy} = \frac{5204.80kg}{0.75 * \frac{4000kg}{cm^2}} = 1.73cm^2$$

$$A_{gmin} = \frac{Pu}{\phi_T * Fu * U} = \frac{5204.80kg}{0.75 * \frac{4077.86kg}{cm^2} * 0.9} = 1.89cm^2$$

Cálculo de la relación de esbeltez:

$$r = \frac{k * L}{300} = \frac{1.2 * 0.45}{300} = 0.018cm$$

Probamos con un perfil tubular rectangular con las siguientes características:

Diámetro= 16mm; A = 2.01cm<sup>2</sup>; I = 0.32cm<sup>4</sup>

Radio de giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.32}{2.01}} = 0.40cm$$

0.40cm > 0.018cm CUMPLE

$A_{gmin} = 1.89cm^2 < A_{perfil} = 2.01cm^2$  CUMPLE

Comprobación:

$$Pu = \phi_t * Fy * Ag$$

$$P_u = 0.9 * 4000 * 2.01 = 6031.86\text{kg}$$

**6031.86kg > 5204.80kg CUMPLE**

### ➤ **Cordón Inferior.-**

#### ➤ **Máxima Compresión.-**

Combinaciones de Carga.-

$$1.- U = 1.4 * D = 1.4 * (-113) = -158.2\text{kg}$$

$$2.- U = 1.2 * D + 0.5 * L_R = 1.2 * (-113) + 0.5 * (-196) = -233.6\text{kg}$$

$$3.- U = 1.2 * D + 1.6 * L_R + 0.8 * W = 1.2 * (-113) + 1.6 * (-196) + 0.8 * (0) = \mathbf{-449.2\text{kg}}$$

$$4.- 1.2 * D + 1.3 * W + 0.5 * L_R = 1.2 * (-113) + 1.3 * (0) + 0.5 * (-196) = -233.6\text{kg}$$

De todas las combinaciones realizadas, la más desfavorable es la tercera con un valor de compresión de: **-449.2kg**, con lo que se procederá a diseñar los elementos del cordón superior.

#### **Datos Generales:**

$$F_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 0.45\text{m}$$

$$K = 1 \text{ (valor teórico); } K = 1.2 \text{ (condiciones ideales)}$$

$$\text{Carga Axial} = 449.2 \text{ kg}$$

$$\text{Suponemos } \frac{K * L}{r} = 30$$

Cálculo de  $\lambda c$ :

$$\lambda_c = \frac{30}{\pi} * \sqrt{\frac{4000}{2000000}} = 0.43$$

Esfuerzo crítico o de pandeo: (columna intermedia, pandeo inelástico)

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) * F_y * 0.85$$

$$F_{cr} = (0.658^{0.43^2}) * 4000 * 0.85 = 3150.12 \text{ kg/cm}^2$$

Área requerida:  $A_{req} = \frac{\text{Carga Axial}}{F_{cr}}$

$$A_{req} = \frac{449.2 \text{ kg}}{3150.12 \text{ kg/cm}^2} = 0.14 \text{ cm}^2$$

Probamos con un perfil tubular circular con las siguientes características:

Diámetro= 12mm; A = 1.13cm<sup>2</sup>; I = 0.10cm<sup>4</sup>

Radio de giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.10}{1.13}} = 0.30 \text{ cm}$$

Relación de esbeltez:

$$\frac{K * L}{r} = \frac{1.2 * 45 \text{ cm}}{0.30 \text{ cm}} = 180$$

Cálculo de  $\lambda_c$ :

$$\lambda_c = \frac{180}{\pi} * \sqrt{\frac{4000}{2000000}} = 2.56$$

Esfuerzo crítico o de pandeo:

$$F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda c^2} \right) * F_y * 0.85$$

$$F_{cr} = \left( \frac{0.877}{2.56^2} \right) * 4000 * 0.85 = 454.15 \text{ kg/cm}^2$$

Comprobación de sección:

$$P_u = \phi_t * F_{cr} * A_g$$

$$P_u = 0.9 * 462.27 * 1.13 = 462.27 \text{ kg}$$

El perfil elegido cumple con la resistencia requerida porque:

$$462.27 \text{ kg} > 449.2 \text{ kg CUMPLE}$$

➤ **Máxima Tracción.-**

Combinaciones de Carga:

$$1.- U = 1.4 * D = 1.4 * (843) = 1180.2 \text{ kg}$$

$$2.- U = 1.2 * D + 0.5 * LR = 1.2 * (843) + 0.5 * (877) = 1450.1 \text{ kg}$$

$$3.- U = 1.2 * D + 1.6 * LR + 0.8 * W = 1.2 * (843) + 1.6 * (877) = \mathbf{2414.8 \text{ kg}}$$

$$4.- 1.2 * D + 1.3 * W + 0.5 * LR = 1.2 * (843) + 1.3 * (0) + 0.5 * (877) = 1450.1 \text{ kg}$$

De todas las combinaciones realizadas, la más desfavorable es la tercera con un valor de compresión de: **2414.8kg.**, con lo que se procederá a diseñar los elementos sometidos a tracción.

**Datos Generales:**

$$F_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 0.45 \text{ m}$$

$$K = 1 \text{ (valor teórico); } K = 1.2 \text{ (condiciones ideales)}$$

Carga Axial = 2414.8kg

$\phi_t = 0.75$

U=0.9

$$Fu = \frac{58klb}{pulg^2} * \frac{1000lb}{1klb} * \frac{0.070307lb/pulg^2}{1kg/cm^2} = 4077.86 kg/cm^2$$

Cálculo de Áreas Mínimas Requeridas:

$$A_{gmin} = \frac{Pu}{\phi_T * Fy} = \frac{2414.8kg}{0.75 * \frac{4000kg}{cm^2}} = 0.80cm^2$$

$$A_{gmin} = \frac{Pu}{\phi_T * Fu * U} = \frac{2414.8kg}{0.75 * \frac{4077.86kg}{cm^2} * 0.9} = 0.87cm^2$$

Cálculo de la relación de esbeltez:

$$r = \frac{k * L}{300} = \frac{1.2 * 0.45}{300} = 0.018cm$$

Probamos con un perfil tubular rectangular con las siguientes características:

Diámetro= 12mm; A = 1.13cm<sup>2</sup>; I = 0.10cm<sup>4</sup>

Radio de giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.10}{1.13}} = 0.3cm$$

0.3cm > 0.018cm CUMPLE

$A_{gmin} = 0.87cm^2 < A_{perfil} = 1.13cm^2$  CUMPLE

Comprobación:

$$Pu = \phi_t * Fy * Ag$$

$$P_u = 0.9 * 4000 * 1.13 = 3392.92\text{kg}$$

$$3392.92\text{kg} > 2414.8\text{kg CUMPLE}$$

### ➤ Diagonales.-

#### ➤ Máxima Compresión.-

Combinaciones de Carga.-

$$1.- U = 1.4 * D = 1.4 * (-150) = -210\text{kg}$$

$$2.- U = 1.2 * D + 0.5 * L_R = 1.2 * (-150) + 0.5 * (-165) = -262.5\text{kg}$$

$$3.- U = 1.2 * D + 1.6 * L_R + 0.8 * W = 1.2 * (-150) + 1.6 * (-165) + 0.8 * (0) = -444\text{kg}$$

$$4.- 1.2 * D + 1.3 * W + 0.5 * L_R = 1.2 * (-150) + 1.3 * (0) + 0.5 * (-165) = -262.5\text{kg}$$

De todas las combinaciones realizadas, la más desfavorable es la tercera con un valor de compresión de: **-444kg**, con lo que se procederá a diseñar los elementos del cordón superior.

#### Datos Generales:

$$F_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 0.45\text{m}$$

$$K = 1 \text{ (valor teórico); } K = 1.2 \text{ (condiciones ideales)}$$

$$\text{Carga Axial} = 444\text{kg}$$

$$\text{Suponemos } \frac{K * L}{r} = 30$$

Cálculo de  $\lambda_c$ :

$$\lambda_c = \frac{30}{\pi} * \sqrt{\frac{4000}{2000000}} = 0.43$$

Esfuerzo crítico o de pandeo: (columna intermedia, pandeo inelástico)

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) * F_y * 0.85$$

$$F_{cr} = (0.658^{0.43^2}) * 4000 * 0.85 = 3150.12 \text{ kg/cm}^2$$

Área requerida:  $A_{req} = \frac{\text{Carga Axial}}{F_{cr}}$

$$A_{req} = \frac{444 \text{ kg}}{3150.12 \text{ kg/cm}^2} = 0.14 \text{ cm}^2$$

Probamos con un perfil tubular circular con las siguientes características:

Diámetro= 12mm;  $A = 1.13 \text{ cm}^2$ ;  $I = 0.10 \text{ cm}^4$

Radio de giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.10}{1.13}} = 0.30 \text{ cm}$$

Relación de esbeltez:

$$\frac{K * L}{r} = \frac{1.2 * 45 \text{ cm}}{0.30 \text{ cm}} = 180$$

Cálculo de  $\lambda_c$ :

$$\lambda_c = \frac{180}{\pi} * \sqrt{\frac{4000}{2000000}} = 2.56$$

Esfuerzo crítico o de pandeo:

$$F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda c^2} \right) * F_y * 0.85$$

$$F_{cr} = \left( \frac{0.877}{2.56^2} \right) * 4000 * 0.85 = 454.15 \text{ kg/cm}^2$$

Comprobación de sección:

$$P_u = \phi_t * F_{cr} * A_g$$

$$P_u = 0.9 * 454.15 * 2.84 = 462.27 \text{ kg}$$

El perfil elegido cumple con la resistencia requerida porque:

$$462.27 \text{ kg} > 444 \text{ kg CUMPLE}$$

➤ **Máxima Tracción.-**

Combinaciones de Carga:

$$1.- U = 1.4 * D = 1.4 * (795) = 1113 \text{ kg}$$

$$2.- U = 1.2 * D + 0.5 * LR = 1.2 * (795) + 0.5 * (974) = 1441 \text{ kg}$$

$$3.- U = 1.2 * D + 1.6 * LR + 0.8 * W = 1.2 * (795) + 1.6 * (974) = \mathbf{2512.4 \text{ kg}}$$

$$4.- 1.2 * D + 1.3 * W + 0.5 * LR = 1.2 * (795) + 1.3 * (0) + 0.5 * (974) = 1441 \text{ kg}$$

De todas las combinaciones realizadas, la más desfavorable es la tercera con un valor de compresión de: **2512.4kg.**, con lo que se procederá a diseñar los elementos sometidos a tracción.

**Datos Generales:**

$$F_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 0.45 \text{ m}$$

$$K = 1 \text{ (valor teórico); } K = 1.2 \text{ (condiciones ideales)}$$



Carga Axial = 2512.4kg

$\phi_t = 0.75$

U=0.9

$$Fu = \frac{58klb}{pulg^2} * \frac{1000lb}{1klb} * \frac{0.070307lb/pulg^2}{1kg/cm^2} = 4077.86 kg/cm^2$$

Cálculo de Áreas Mínimas Requeridas:

$$A_{gmin} = \frac{Pu}{\phi_T * Fy} = \frac{2512.4kg}{0.75 * \frac{4000kg}{cm^2}} = 0.84cm^2$$

$$A_{gmin} = \frac{Pu}{\phi_T * Fu * U} = \frac{2512.4kg}{0.75 * \frac{4077.86kg}{cm^2} * 0.9} = 0.92cm^2$$

Cálculo de la relación de esbeltez:

$$r = \frac{k * L}{300} = \frac{1.2 * 0.45}{300} = 0.018cm$$

Probamos con un perfil tubular rectangular con las siguientes características:

Diámetro= 12mm; A = 1.13cm<sup>2</sup>; I = 0.10cm<sup>4</sup>

Radio de giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.10}{1.13}} = 0.30cm$$

0.30cm > 0.018cm CUMPLE

$A_{gmin} = 0.92cm^2 < A_{perfil} = 1.13cm^2$  CUMPLE

Comprobación:

$$Pu = \phi_t * Fy * Ag$$

$$P_u = 0.9 * 4000 * 1.13 = 3392.92\text{kg}$$

**3392.92kg > 2512.4 kg CUMPLE**

<b>Tabla 3.5 Diámetros de Perfiles para Losa de Entrepiso Rectangular</b>	
<b>Descripción Elemento</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
<b>Cordón Superior</b>	16
<b>Cordón Inferior</b>	12
<b>Diagonales</b>	12

➤ **Diseño Mediante el Programa Nuevo Metal 3D.-**

La losa que se tomo como modelo para realizar el dimensionamiento es la más desfavorable, es decir que tiene las mayores dimensiones:

Longitud mayor= $l_y$ = 18.3m

Longitud menor= $l_x$ = 7.2m

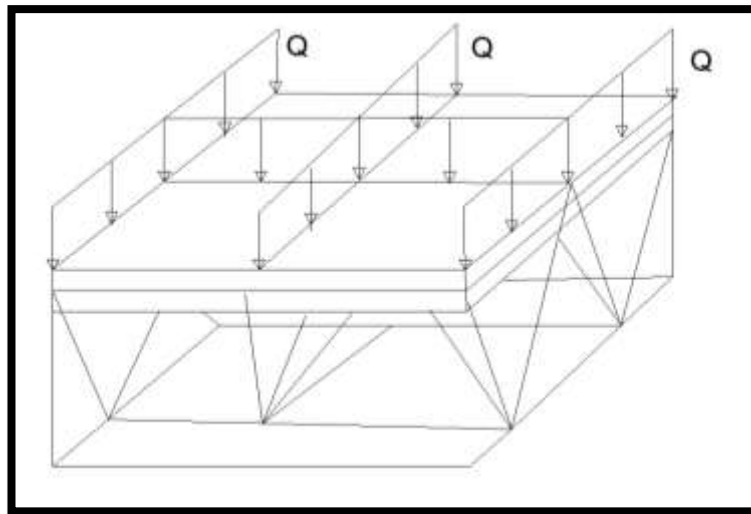


FIG N° 3.11 Forma de Cargar la Estructura (como una carga distribuida)

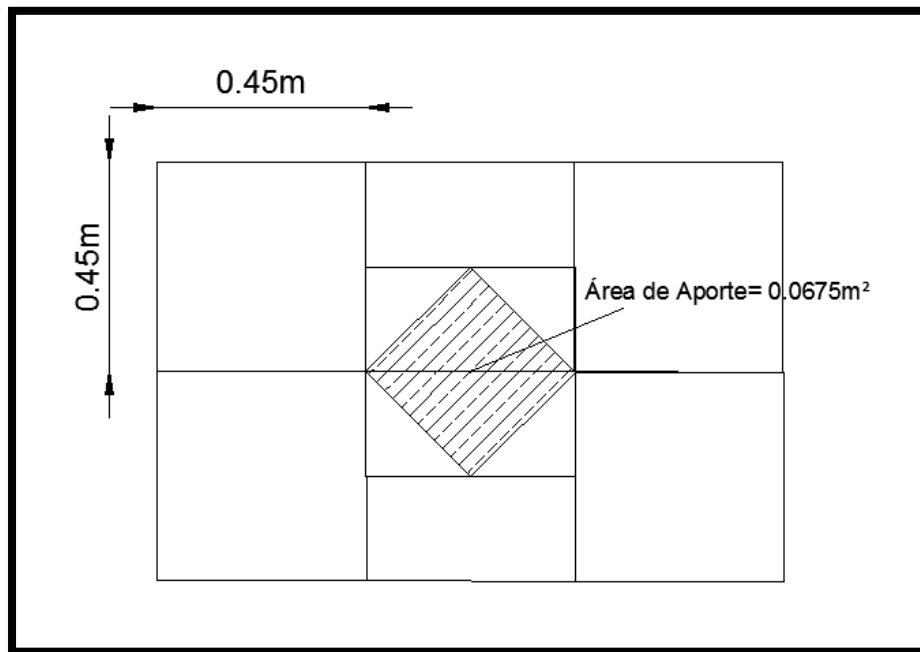


FIG N° 3.12 Vista en Planta de la Pirámide de Base Cuadrada

**Geometría de la Pirámide:**

Lado de la pirámide= $a=0.45\text{m}$

Altura de la pirámide= $h= 0.3\text{m}$

**Cálculo de Carga Permanente.-**

➔ **Cordón Superior.-**

Dimensión de la pirámide de base cuadrada  $l=0.45\text{m}$

Área de Aporte= $0.0675\text{m}^2$

Altura de la capa de compresión=0.05m

Peso específico del Hormigón=2400kg/m<sup>3</sup>

$$P=0.0675*0.05*2400=8.1 \text{ kg}$$

Para volverla una carga distribuida se divide entre la dimensión de la pirámide de base cuadrada:

$$\text{CP}=8.1/0.45= 18\text{kg/m}$$

**Cálculo de Sobrecarga.-**

➤ **Cordón Superior.-**

**Sobrecarga para entresijos con aulas y oficinas= 300 kg/m<sup>2</sup>**

Área de aporte=0.0675m<sup>2</sup>

$$P=300*0.0675= 20.25 \text{ kg}$$

Para que sea una carga uniformemente distribuida:

$$\text{SC}=20.25/0.3= 67.50\text{kg/m}$$

➤ **Cordón Inferior.-**

**Sobrecarga debido al cielo falso= 20 kg/m<sup>2</sup>**

$$\text{SC}=0.0675*20= 1.35\text{kg}$$

$$\text{SC}=1.35/0.3= 4.5\text{kg/m}$$

Se realiza el diseño estructural con ayuda del Metal 3D (para el armazón metálico que comprende la losa es decir; cordón superior, cordón inferior y diagonales), del cual se obtienen los siguientes resultados:

<b>Tabla 3.6 Diámetros de Perfiles para Losa de Entrepiso Rectangular</b>
---

<b>Descripción Elemento</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
<b>Cordón Superior</b>	16
<b>Cordón Inferior</b>	12
<b>Diagonales</b>	12

Fuente: NUEVO METAL 3D (CYPECAD 2012)

**Tabla 3.7 Resumen de Medición**

Material		Serie	Descripción	Diámetro (mm)	Longitud		Volumen		Peso	
Tipo	Designación				Perfil (m)	Total (m)	Perfil (m³)	Total (m³)	Perfil (Kg)	Total (Kg)
Acero Laminado	S400	Barras Redondas	Cordón Superior	16	555.480	2310.27	0.362	0.077	602.91	2056.24
			Cordón Inferior	12	606.300			0.085	753.32	
			Diagonales	12	1148.49			0.2	700.01	

Fuente: NUEVO METAL 3D (CYPECAD 2010)

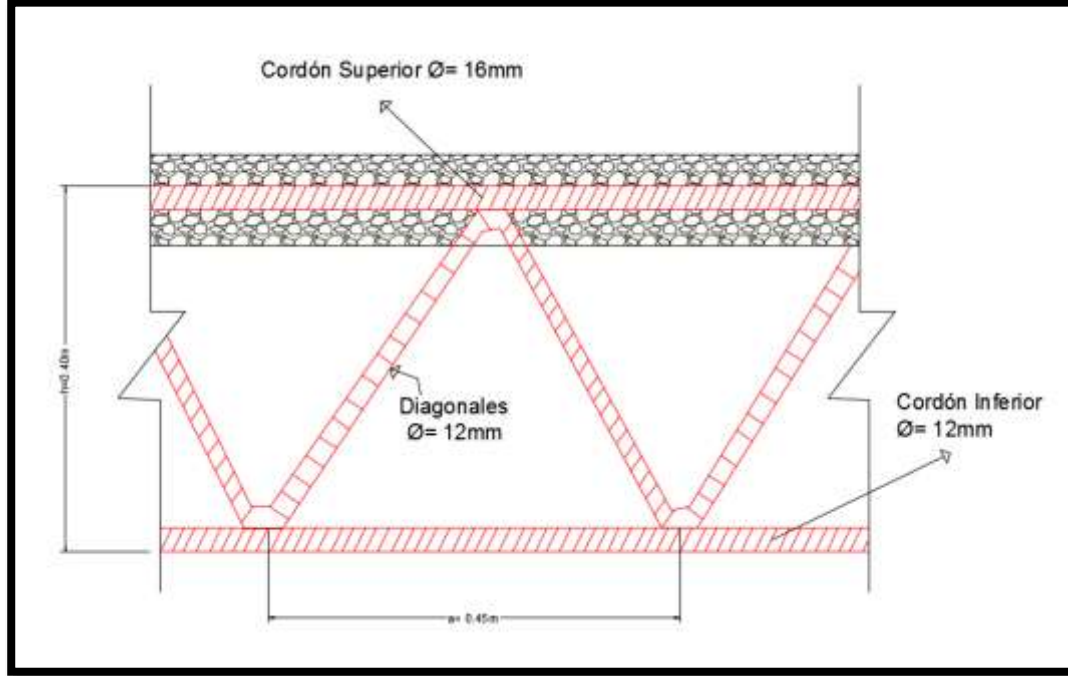


FIG N° 3.13 Detalle de una Sección de losa de Entrepiso Rectangular

### 3.4.3 Dimensionamiento de la Losa de Cubierta Rectangular.-

Se obtiene el área de aporte que se tiene en la pirámide de base cuadrada:

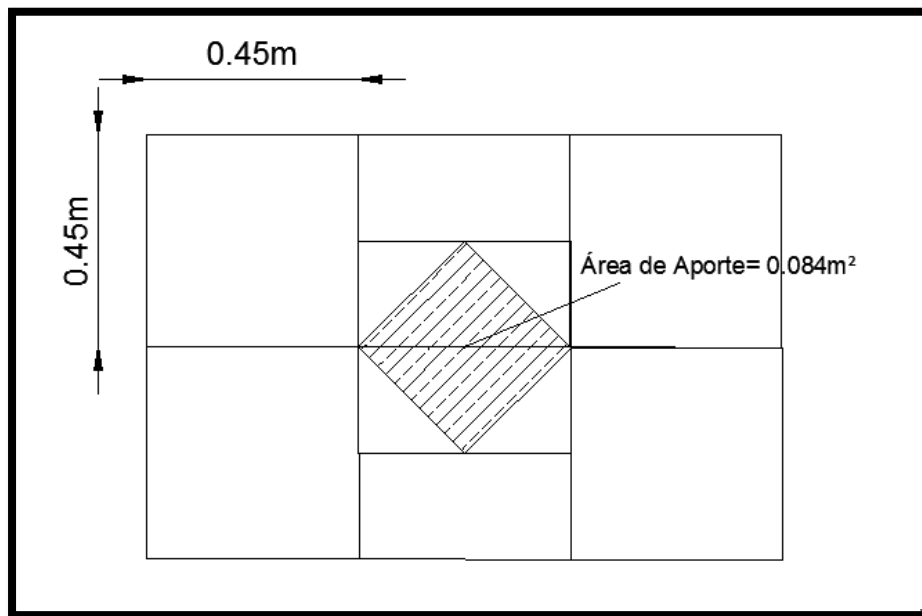


FIG N° 3.14 Dimensiones de la Pirámide de base Cuadrada

En la siguiente figura se muestra el área de aporte para determinar las cargas que actuarán en la losa; tanto la carga por peso propio como la sobrecarga:

#### Geometría de la Pirámide:

Lado de la pirámide= $a=0.45\text{m}$

Altura de la pirámide= $h=0.4\text{m}$

#### Determinación de la Carga Permanente.-

##### ➔ Cordon Superior.-

Dimensión de la pirámide de base cuadrada  $a=0.45\text{m}$

Área de Aporte= $0.084\text{m}^2$



Altura de la capa de compresión=0.05m

Peso específico del Hormigón=2400kg/m<sup>3</sup>

$$P=0.084*0.05*2400=10.08 \text{ kg}$$

Para volverla una carga distribuida se divide entre la dimensión de la pirámide de base cuadrada:

$$\text{CP}=10.08/0.42=24\text{kg/m}$$

**Determinación de la Sobrecarga.-**

➤ **Cordón Superior.-**

**Sobrecarga para azoteas sin acceso=150kg/m<sup>2</sup>**

Área de aporte=0.084m<sup>2</sup>

$$P=150*0.084=12.6\text{kg}$$

Para que sea una carga uniformemente distribuida:

$$\text{SC}=12.6/0.42=31.5\text{kg/m}$$

➤ **Cordón Inferior.-**

Sobrecarga debido al cielo falso= 20 kg/m<sup>2</sup>

$$\text{SC}=0.084*20= 1.68 \text{ kg}$$

$$\text{SC}=1.68/0.4= 4.2 \text{ kg/m}$$

Con estos valores se puede proceder al dimensionamiento estructural.

<b>Tabla 3.8 Diámetros de Perfiles para Losa de Cubierta Rectangular</b>	
<b>Descripción Elemento</b>	<b>Diámetro (m)</b>
<b>Cordón Superior</b>	16
<b>Cordón Inferior</b>	12
<b>Diagonales</b>	12

Fuente: NUEVO METAL 3D (CYPECAD 2010)

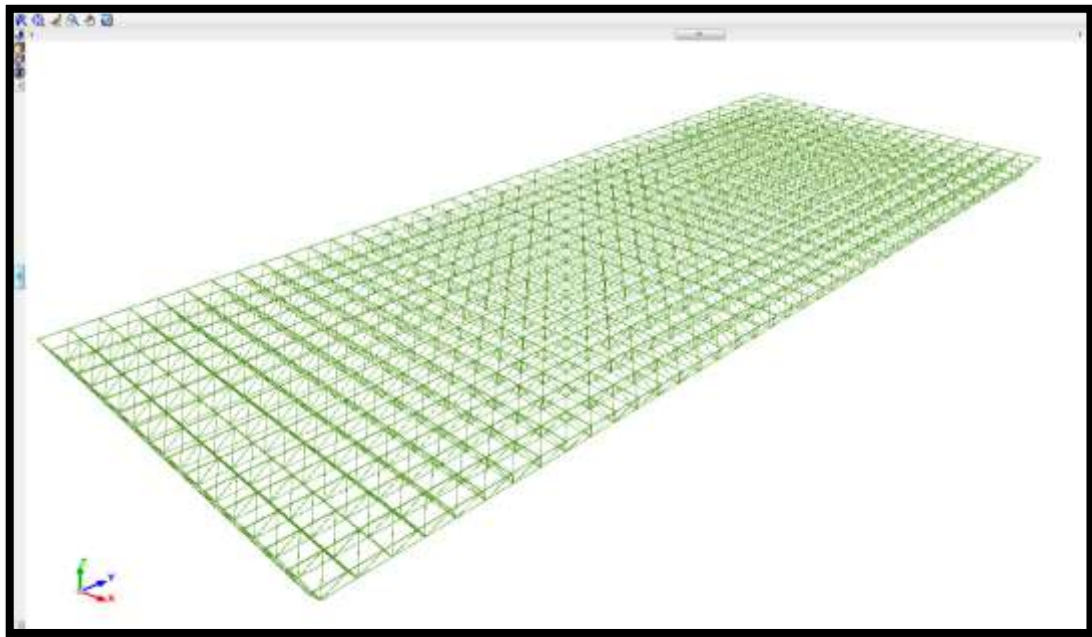


FIG N° 3.15 Losa Modelada en 3 Dimensiones

Tabla 3.9 Resumen de Medición

Material		Serie	Descripción	Diámetro (mm)	Longitud		Volumen		Peso	
Tipo	Designación				Perfil (m)	Total (m)	Perfil (m³)	Total (m³)	Perfil (Kg)	Total (Kg)
Acero Laminado	S400	Barras Redondas	Cordón Superior	16	555.480	2310.27	0.087	0.362	602.91	2056.24
			Cordón Inferior	12	606.300				753.32	
			Diagonales	12	1148.49				700.01	

Fuente: NUEVO METAL 3D (CYPECAD 2010)

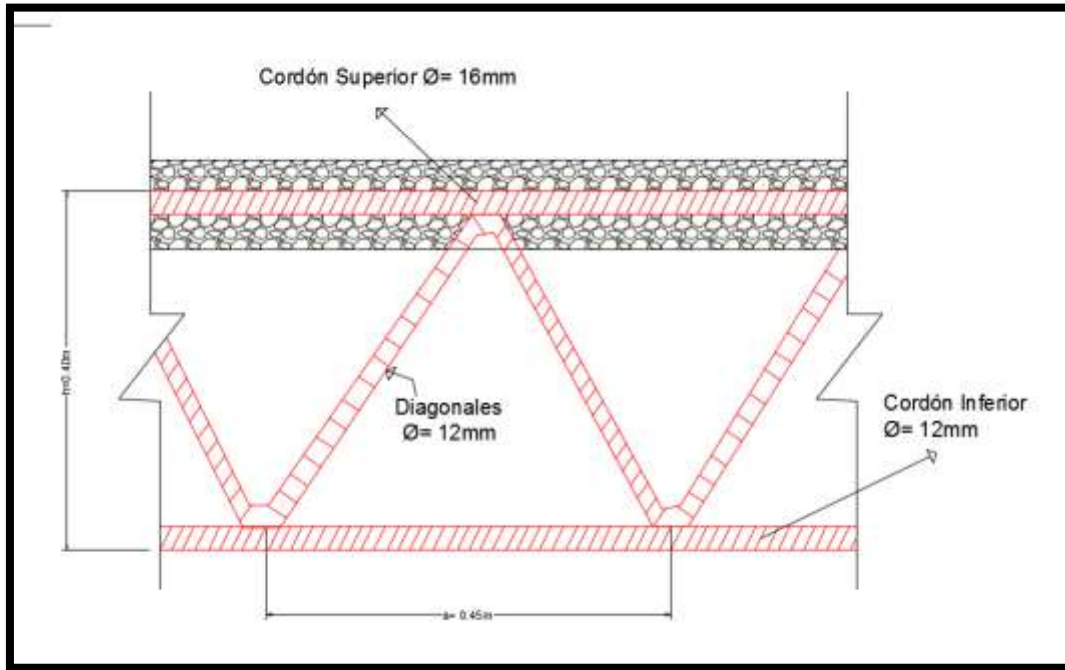


FIG N° 3.16 Detalle de una Sección de losa de Cubierta Rectangular.

### 3.4.4 Dimensionamiento de Losa Circular de Entrepiso.-

La losa circular tiene un diámetro de 12m, y no cuenta con columnas intermedias.

El área de aporte que recibe cada barra que interviene dentro de la pirámide de base cuadrada es la siguiente:

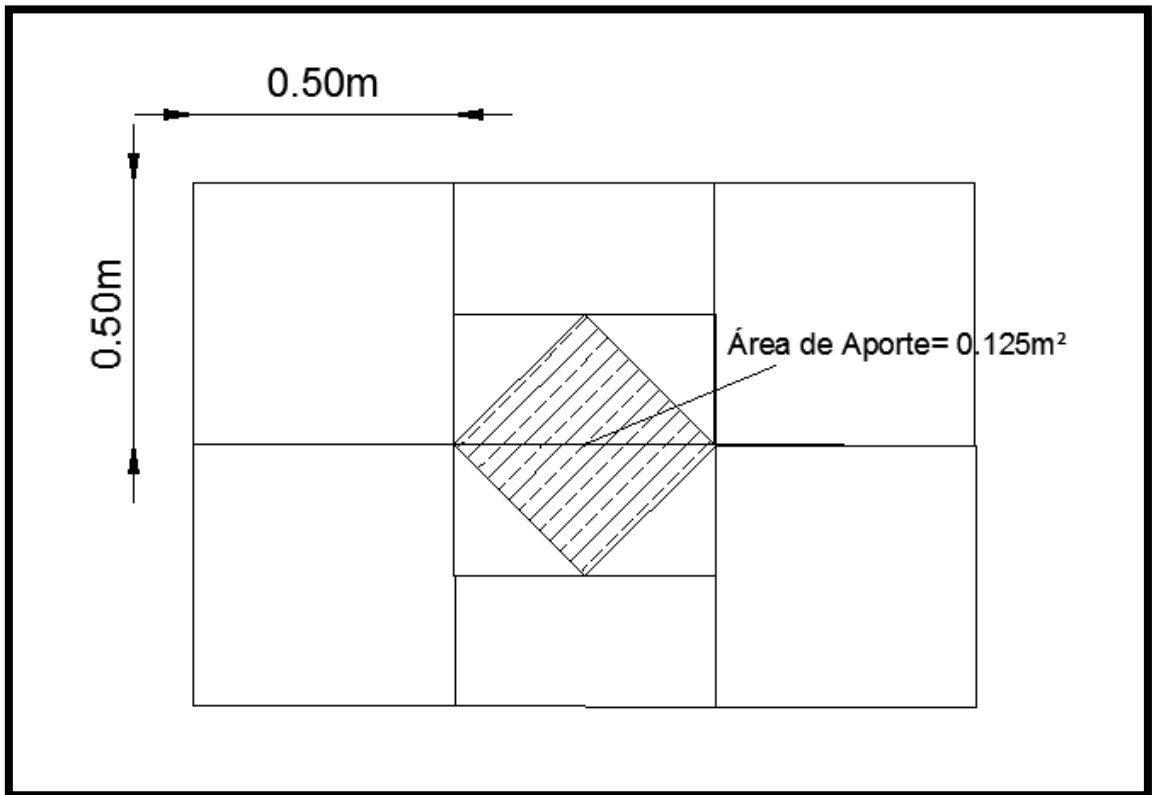


FIG N° 3.17 Vista en Planta Pirámide de base cuadrada

### **Geometría de la Pirámide:**

Lado de la pirámide= $a=0.5\text{m}$

Altura de la pirámide= $h= 0.5\text{m}$

### **Determinación de la Carga Permanente.-**

#### **➤ Cordon Superior.-**

Dimensión de la pirámide de base cuadrada  $a=0.5\text{m}$

Área de Aporte= $0.125\text{m}^2$

Altura de la capa de compresión= $0.05\text{m}$

Peso específico del Hormigón= $2400\text{kg/m}^3$

$$P=0.125*0.05*2400=15.024 \text{ kg}$$

Para volverla una carga distribuida se debe dividir entre la dimensión de la pirámide de base cuadrada:

$$\text{CP}=\mathbf{15.024/0.5= 30 \text{ kg/m}}$$

### **Determinación la Sobrecarga.-**

#### **➤ Cordon Superior.-**

**Sobrecarga para entresijos con aulas y oficinas=  $300\text{kg/m}^2$**

Área de aporte= $0.125\text{m}^2$

$$P= 250*0.125= 37.50 \text{ kg}$$

Para que sea una carga uniformemente distribuida:

$$SC=37.50/0.5= 75\text{kg/m}$$

⇒ **Cordón Inferior.-**

**Sobrecarga debido al cielo falso= 20kg/m<sup>2</sup>**

$$SC=0.125*20= 2.50\text{kg}$$

$$SC=2.50/0.5= 8.35\text{kg/m}$$

Del diseño se obtienen los siguientes resultados:

<b>Tabla 3.9 Diámetros para Losa de Entrepiso Circular</b>	
<b>Descripción Elemento</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
<b>Cordón Superior</b>	16
<b>Cordón Inferior</b>	12
<b>Diagonales</b>	12

Fuente: NUEVO METAL 3D (CYPECAD 2010)

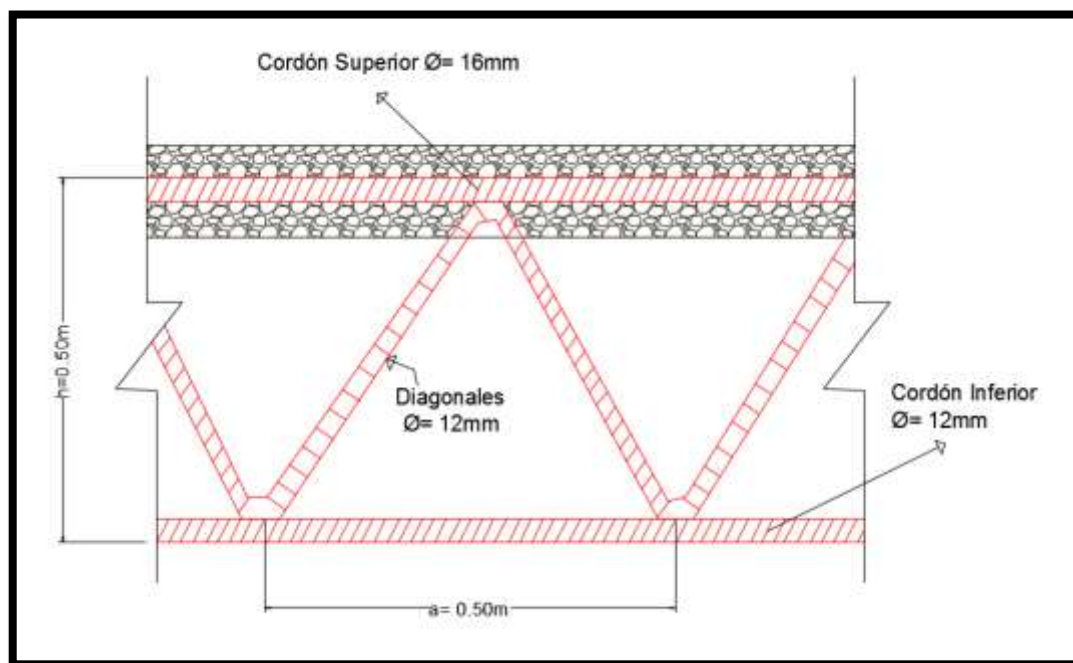


FIG N° 3.18 Detalle de una Sección de losa de Entrepiso Circular.



Tabla 3.10 Resumen de Medición

Fuente: NUEVO METAL 3D (CYPECAD 2010)

Material		Serie	Descripción	Diámetro (mm)	Longitud		Volumen		Peso	
Tipo	Designación				Perfil (m)	Total (m)	Perfil (m³)	Total (m³)	Perfil (Kg)	Total (Kg)
Acero Laminado	S400	Barras Redondas	Cordón Superior	16	655.87	2162.117	0.11	0.542	753.32	2076.24
			Cordón Inferior	12	457.757		0.212		622.91	
			Diagonales	12	1048.49		0.22		700.01	

### 3.4.5 Dimensionamiento de Losa Circular de Cubierta

La losa circular tiene un diámetro de 12m, y no cuenta con columnas intermedias.

El área de aporte que recibe cada barra que interviene dentro de la pirámide de base cuadrada es la siguiente:

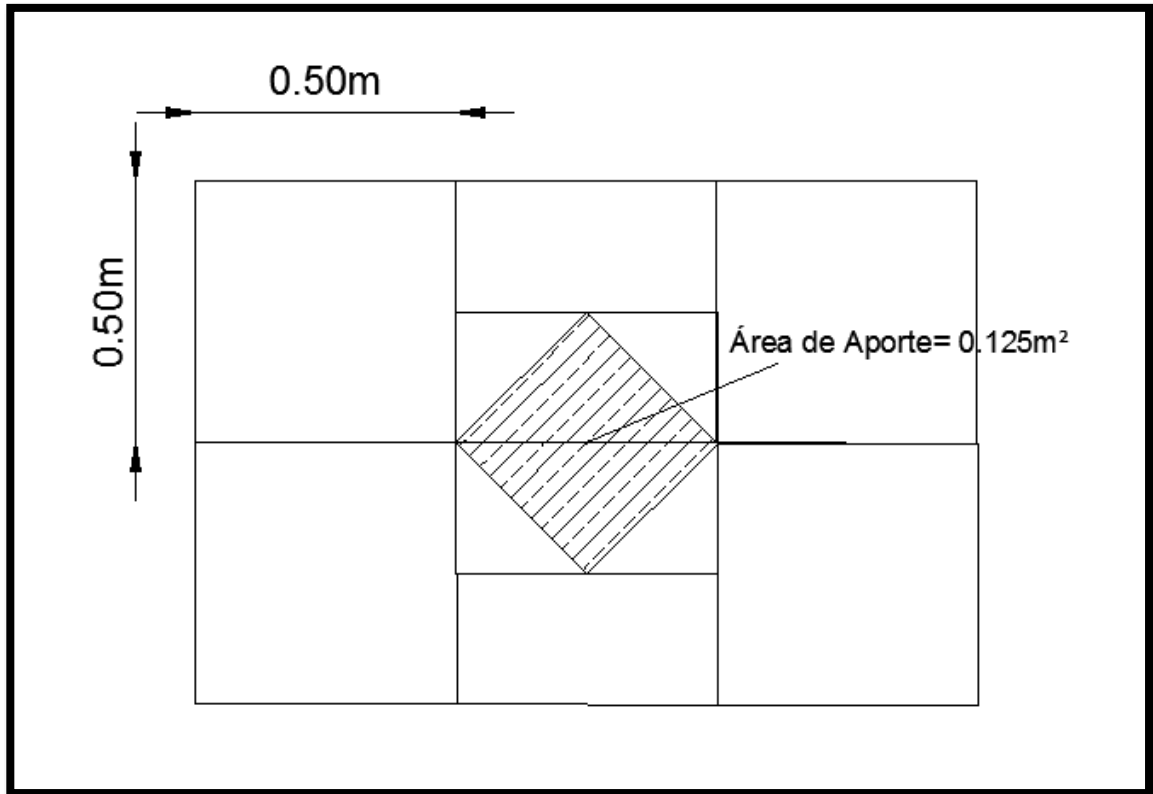


FIG N° 3.19 Vista en Planta Pirámide de base Cuadrada

**Geometría de la Pirámide:**

Lado de la pirámide= $a=0.5\text{m}$

Altura de la pirámide= $h= 0.5 \text{ m}$

**Determinación de la Carga Permanente.-**

☞ Cordón Superior:

Dimensión de la pirámide de base cuadrada  $l=0.5\text{m}$

Área de Aporte= $0.125\text{m}^2$

Altura de la capa de compresión= $0.05\text{m}$

Peso específico del Hormigón= $2400\text{kg/m}^3$

$$P=0.125*0.05*2400=15.024 \text{ kg}$$

Para volverla una carga distribuida:

$$\text{CP}=15.024/0.5= 30 \text{ kg/m}$$

**Determinación la Sobrecarga.-**

➤ **Cordón Superior.-**

**Sobrecarga para azoteas sin acceso= 150kg/m<sup>2</sup>**

Área de aporte=0.125m<sup>2</sup>

$$P = 150 * 0.125 = 18.78 \text{ kg}$$

Para que sea una carga uniformemente distribuida:

$$SC = 18.75 / 0.5 = 37.5 \text{ kg/m}$$

➤ **Cordón Inferior.-**

**Sobrecarga debido al cielo falso= 20kg/m<sup>2</sup>**

$$SC = 125 * 30 = 3.76 \text{ kg}$$

$$SC = 3.76 / 0.5 = 7.51 \text{ kg/m}$$

Resultados del diseño:

<b>Tabla 3.11 Diámetros para Losa de Cubierta Circular</b>	
<b>Descripción Elemento</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
<b>Cordón Superior</b>	16
<b>Cordón Inferior</b>	12
<b>Diagonales</b>	12

Fuente: NUEVO METAL 3D (CYPECAD 2010)

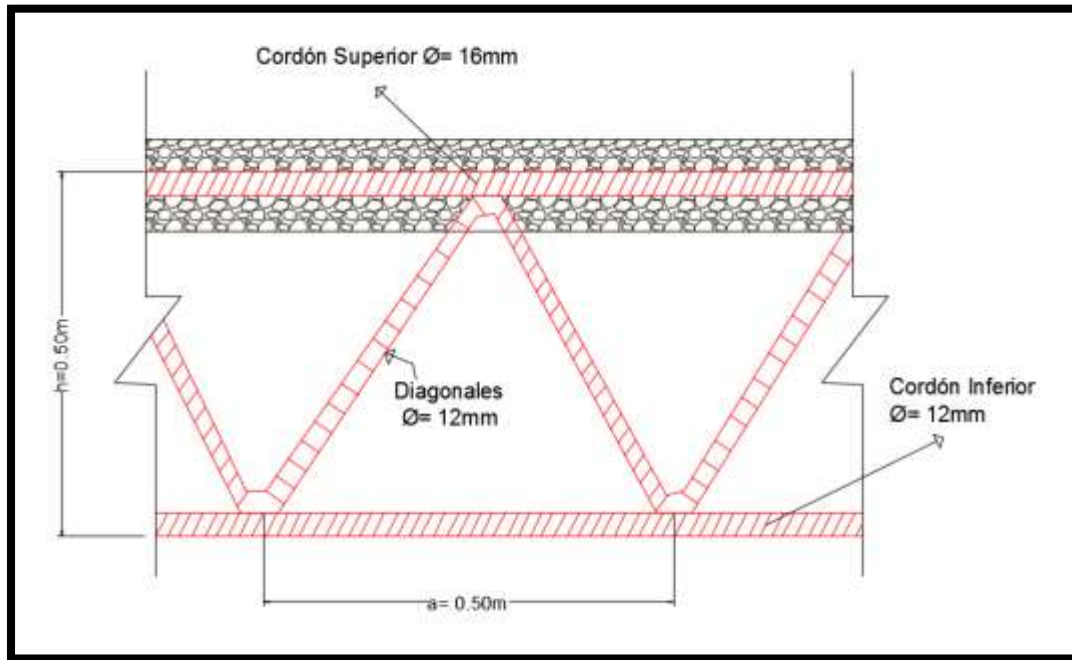


FIG N° 3.20 Detalle de una Sección de losa de Cubierta Circular

Tabla 3.10 Resumen de Medición

Fuente: NUEVO METAL 3D (CYPECAD 2010)

Material		Serie	Descripción	Diámetro	Longitud	Volumen	Peso
Tipo	Designación						
Acero Laminado	S400	Barras Redondas	Cordón Super				
			Cordón Infer				
			Diagonale				

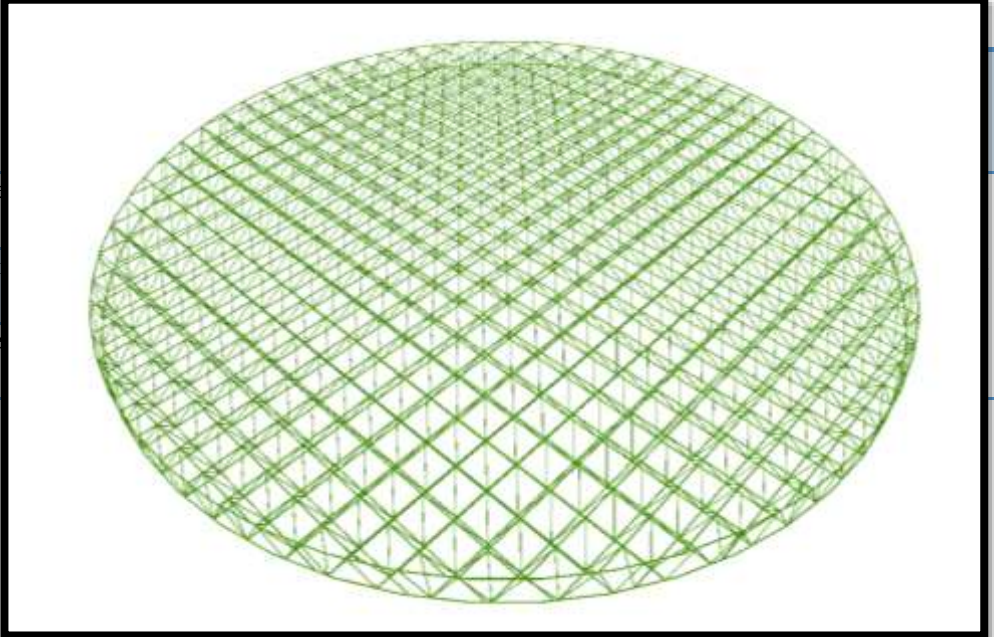


FIG N° 3.21 Vista Tridimensional de la

Malla Circular

### 3.4.6 Diseño de las Uniones.-

En este tipo de estructura, son más utilizadas las conexiones soldadas, debido a que la soldadura tiene una zona de aplicación mayor, además las estructuras soldadas, son estructuras más rígidas, también su ensamblaje es más fácil, se necesita menos trabajo de la mano de obra y se permite grandes ahorros en el peso del acero utilizado, lo que al final influye directamente en la economía de la obra.

Para el módulo de esta losa reticular, se calcularán 2 tipos de unión, las cuales se detallan en la figura.

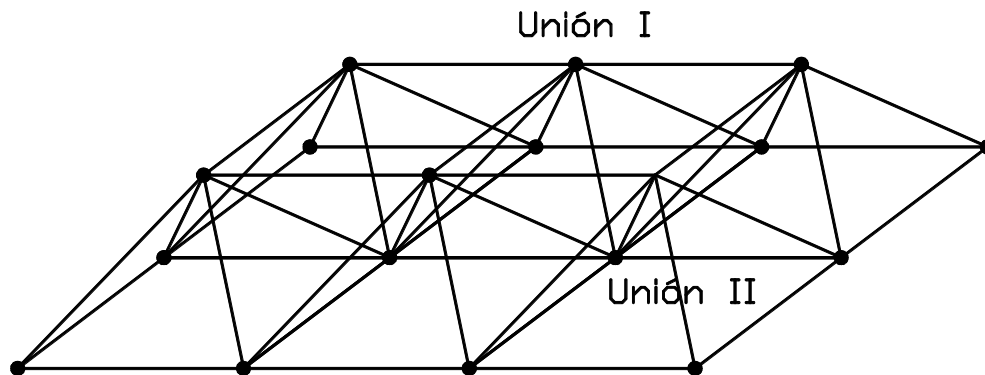


FIG N° 3.22 Identificación de los tipos de uniones

#### 3.4.6.1 Diseño de la Unión Tipo I y II.-

Como se observa en el gráfico, la unión tipo I corresponde a las uniones del cordón superior con las diagonales y a la vez con los otros elementos que corresponden también al cordón superior. La unión del tipo II corresponde a las uniones del cordón inferior con las diagonales y, a la vez con los otros elementos que corresponden al cordón inferior.

Para el diseño de las uniones soldadas, se diseñarán solo un punto de unión, sólo como referencia de cálculo, debido a que sería muy tedioso calcular cada punto de unión, claro que cuando se proceda a la construcción será necesario el cálculo de las uniones de cada nudo.

Según algunos datos proporcionados por la especificación del LRFD, tenemos los siguientes criterios.

### **Resistencia del Metal de Soldadura.-**

Se determina por la siguiente ecuación:

$$F_{ws} = 0.707 * \phi_s * Fw * w$$

Dónde:

$F_{ws}$ = resistencia del metal de soldadura (kg/cm<sup>2</sup>)

$$\phi_s = 0.75$$

$$Fw = 0.6 * Fu \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$F_n$ = resistencia del electrodo (kg/cm<sup>2</sup>)

$W$ =pie del filete (mm)

Datos para el diseño:

$F_u = 70 \text{klb/pulg}^2 = 4820 \text{kg/cm}^2$  (resistencia característica del electrodo E-70)

$$W = 5 \text{mm} = 0.5 \text{cm}$$

$$F_{ws} = 0.707 * \phi_s * 0.6 * F_u * w$$

$$F_{ws} = 0.707 * 0.75 * (0.6 * 4820) * 0.5$$

$$F_{ws} = 766.74 \text{ kg/cm}$$

### **Resistencia del Material Base.-**

$$F_{wb} = 0.9 * F_y * t_e$$

Donde:

$F_{wb}$ = resistencia del metal base (kg/cm<sup>2</sup>)



Fy= resistencia característica del acero (kg/cm<sup>2</sup>)

t<sub>e</sub>= espesor del elemento (mm)

Datos para el diseño:

$$F_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_e = 2\text{mm} = 0.2\text{cm}$$

$$F_{wb} = 0.9 * 4000 * 0.2$$

$$F_{wb} = 720 \text{ kg/cm}$$

### **Longitud de Filete Requerida.-**

Se soldará alrededor del perímetro del perfil, para poder evitar que la corrosión pueda introducirse en el interior del mismo.

Por lo tanto, la longitud de soldadura será:

Según las especificaciones del LRFD, para perfiles de espesores de hasta 6mm, el espesor mínimo de soldadura será: 3mm.

$$L_{req} = \frac{F_u}{F_{wb}}$$

Dónde:

F<sub>u</sub>= fuerza de compresión o tracción más crítica (kg/cm<sup>2</sup>) = 2359 kg (diagonales)

F<sub>wb</sub>= resistencia del metal base (kg/cm<sup>2</sup>)= 720 kg

$$L_{req} = \frac{2359 \text{ kg}}{720 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}}$$

$$L_{req} = 3.28\text{cm} = 0.032\text{m}$$

### 3.4.6.2 Diseño del Doblado de Barras.-

Las barras que generalmente en sus extremos se doblan son las diagonales; para calcular la longitud de doblado, se aplica la siguiente fórmula:

$$d_i = \frac{\left[\left(\frac{D_e}{D_d} + 2\right) * \cos\alpha\right] - 1}{1 - \cos\alpha} * D_d$$

Donde:

$d_i$  = diámetro sobre el cual debe curvarse las barras diagonales

$D_e$  = diámetro del tubo estructural de las mallas horizontales

$D_d$  = diámetro de la barra diagonal

$\alpha$  = ángulo entre la diagonal y las barras horizontales

Datos

$$D_e = 0.016m$$

$$D_d = 0.012m$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$d_i = \frac{\left[\left(\frac{0.016}{0.012} + 2\right) \cos 45^\circ\right] - 1}{1 - \cos 45^\circ} * 0.012 = 0.019m$$

$$d_i = 5 * D_d = 5 * 0.012 = 0.06m$$

De los valores encontrados, elegimos el mayor que es **0.06m** que será el diámetro interior de doblado de las diagonales.

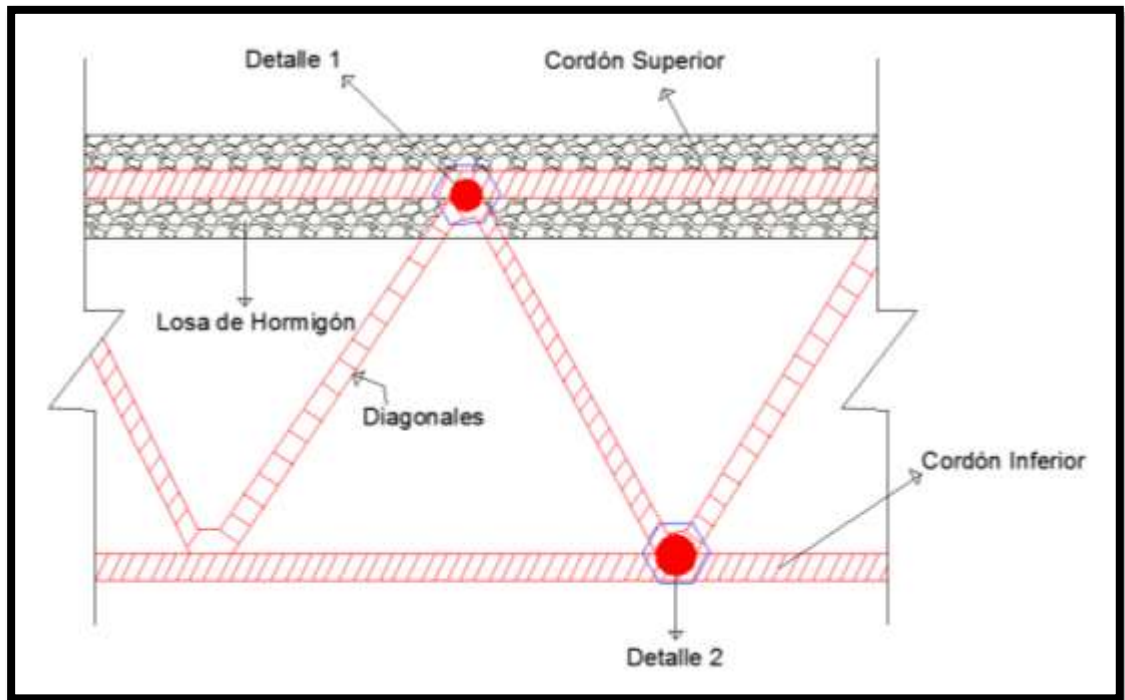


FIG N° 3.23 Corte Sección de Losa Mixta

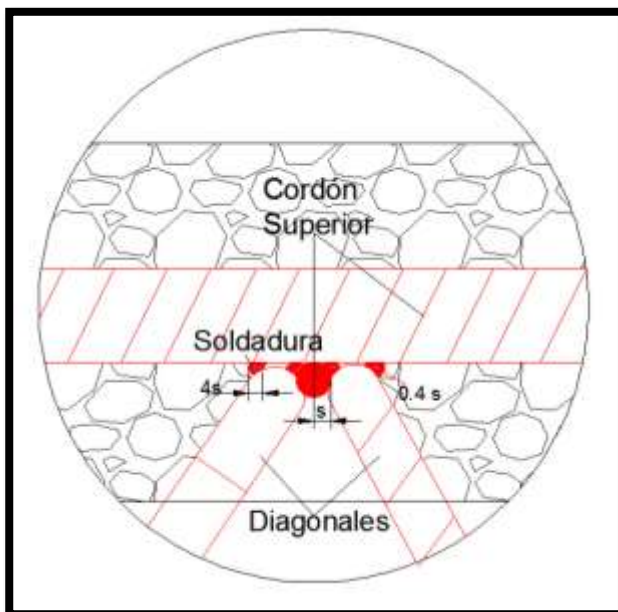
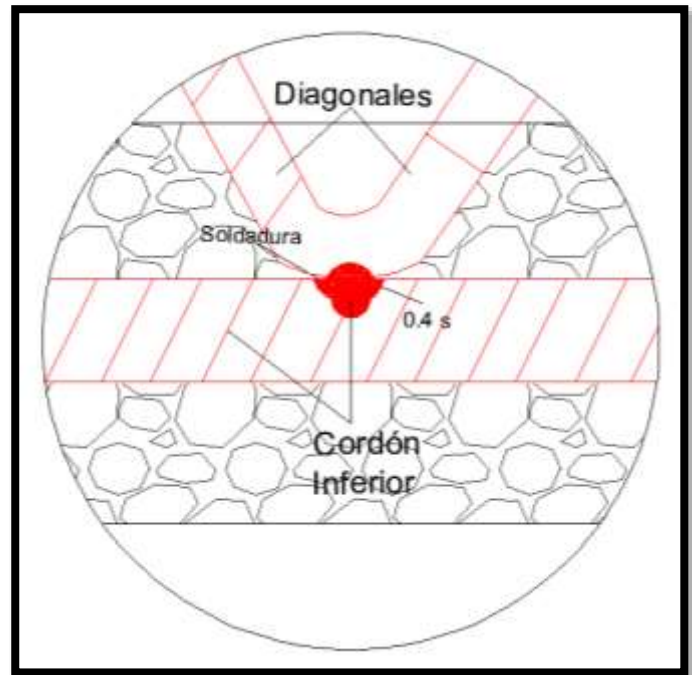


FIG N° 3.24 Detalle 1 Unión con soldadura cordón superior y diagonal

FIG N° 3.25Detalle 2 Unión con soldadura cordón inferior y diagonal



### 3.4.7 Proceso Constructivo.-

1.- Se debe comenzar el proceso de armado con el esqueleto metálico, que es la base de la estructura mixta. Armando por separado las mallas superior e inferior. Posteriormente se procede al doblado de las diagonales.



FIG N° 3.26 Armado de las Mallas superior e inferior



FIG N° 3.27 Doblado de las diagonales

2.- Una vez que se tiene armadas las mallas superior e inferior, y dobladas las diagonales, se debe proceder a la unión de toda la estructura, proceso que se realizará mediante soldadura.



FIG N° 3.28 Unión de las Mallas y Diagonales mediante Soldadura

3.- Para el vaciado de la carpeta de Hormigón en la parte superior de la losa, se monta sobre el cordón superior una placa prefabricada, que consiste en una plancha metálica que cubre la dimensión de la base de la pirámide de base cuadrada.



FIG N° 3.29 Pieza prefabricada colocada, para el vaciado de la carpeta de Hormigón

4.- Este procedimiento se lo puede realizar en un taller o en obra, dependiendo de las características de las luces a cubrir, del espacio disponible para el armado de la losa mixta, etc.



FIG N° 3.30 Proceso Constructivo



5.- Es conveniente el armado, mediante franjas de losa, al momento de montar la estructura para ello se hará la utilización de una grúa, para su izado hasta su posición definitiva.



FIG N° 3.31 Montaje de losa

6.- El detalle del apoyo, de la losa sobre la viga perimetral se muestra en la siguiente figura.

7.- Detalle de apoyo de losa sobre viga perimetral.

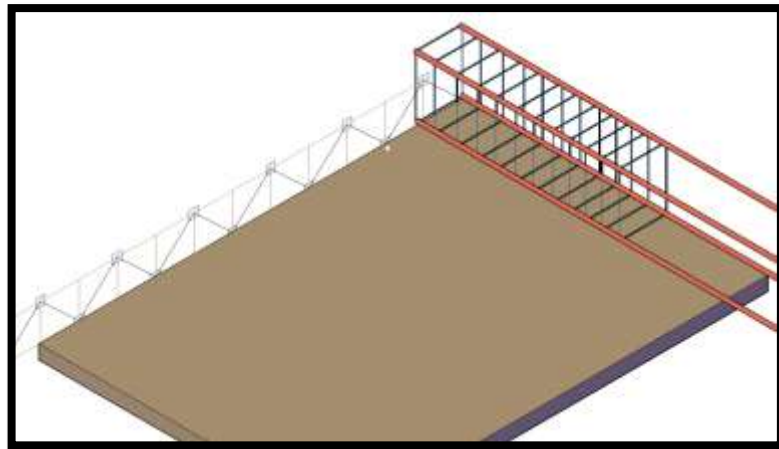


FIG N° 3.32 Detalle Constructivo de Apoyo de losa sobre viga perimetral

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.-

#### 4.1 Datos Obtenidos.

Una vez finalizado el diseño de las losas de entrepiso, se presentan los siguientes resultados:

##### • Losa de Entrepiso Rectangular.-

Descripción	Diámetro (m)	Longitud Total (m)	Longitud Comercial (m)	Nº de Barras
Cordón Superior	16	555.480	12	47
Cordón Inferior	12	606.300	12	51
Diagonales	12	1148.49	12	96

Adicionalmente se tienen los datos de área y perímetro de la losa:

$$\text{Área} = 126.71 \text{m}^2$$

$$\text{Perímetro} = 49.69 \text{m}$$

$$\text{Peso Total de la Estructura Metálica} = 2056.24 \text{ kg}$$

Con los datos previamente mostrados, se muestra el peso propio de la losa reticular calculada:

$$\text{P.P. LOSA METALICA} = 2056.24 / 126.71 = \mathbf{16.23 \text{ kg/m}^2}$$

$$\text{P.P. CARPETA DE COMPRESION} = 0.05 \text{m} * 2400 \text{kg/m}^3 = \mathbf{120 \text{kg/m}^2}$$

$$\text{P.P. TOTAL DE LA LOSA RETICULAR} = \mathbf{136.23 \text{ kg/m}^2}$$



• **Losa de Cubierta Rectangular.-**

Descripción	Diámetro (m)	Longitud Total (m)	Longitud Comercial (m)	Nº de Barras
Cordón Superior	16	555.480	12	47
Cordón Inferior	12	606.300	12	51
Diagonales	12	1148.49	12	96

Adicionalmente se tienen los datos de área y perímetro de la losa:

$$\text{Área} = 126.71\text{m}^2$$

$$\text{Perímetro} = 49.69\text{m}$$

Con los datos previamente mostrados, se muestra el peso propio de la losa reticular calculada:

$$\text{P.P. LOSA METALICA} = 2056.24/126.71 = \mathbf{16.23 \text{ kg/m}^2}$$

$$\text{P.P. CARPETA DE COMPRESION} = 0.05\text{m} * 2400\text{kg/m}^3 = \mathbf{120\text{kg/m}^2}$$

$$\text{P.P.TOTAL DE LA LOSA RETICULAR} = \mathbf{136.23 \text{ kg/m}^2}$$

• **Losa de Entrepiso Circular.-**

Descripción	Diámetro (m)	Longitud Total (m)	Longitud Comercial (m)	Nº de Barras
Cordón Superior	16	655.87	12	55

Cordón Inferior	12	457.757	12	39
Diagonales	12	1048.49	12	88

Área de la Losa= 113.10 m<sup>2</sup>

Con los datos previamente detallados, se muestra el peso propio de la losa reticular.

**P.P. ARMAZON METALICO= 2076.24/126.71= 18.36 kg/m<sup>2</sup>**

**P.P. CARPETA DE COMPRESION= 0.05m\*2400kg/m<sup>3</sup>= 120kg/m<sup>2</sup>**

**P.P.TOTAL DE LA LOSA RETICULAR= 138.36 kg/m<sup>2</sup>**

• **Losa de Cubierta Circular.-**

Descripción	Diámetro (m)	Longitud Total (m)	Longitud Comercial (m)	Nº de Barras
Cordón Superior	16	655.87	12	55
Cordón Inferior	12	457.757	12	39
Diagonales	12	1048.49	12	88

Área de la Losa= 113.10 m<sup>2</sup>

Con los datos previamente detallados, se muestra el peso propio de la losa reticular.

**P.P. ARMAZON METALICO= 2076.24/126.71= 18.36 kg/m<sup>2</sup>**

**P.P. CARPETA DE COMPRESION= 0.05m\*2400kg/m<sup>3</sup>= 120kg/m<sup>2</sup>**

**P.P.TOTAL DE LA LOSA RETICULAR= 138.36 kg/m<sup>2</sup>**

## **4.2 Comparación de Alternativas.-**

Dentro del análisis comparativo entre las dos alternativas estructurales, se muestran tanto análisis técnicos como económicos.

### **4.2.1 Análisis Técnico.-**

#### **4.2.1.1 Proceso Constructivo.-**

##### **a) Estructura Existente.-**

Para la construcción de este tipo de losas es imprescindible realizar un encofrado y apuntalamiento, lo que implica emplear un determinado tiempo de ejecución.

También se requiere un proceso de armado, lo que requiere el empleo de personal apropiado. Se debe tomar en cuenta que, de este proceso de armado, se desperdicia gran cantidad de varillas de acero, que inciden en el presupuesto final.

##### **b) Estructura Propuesta (Losa Reticular Mixta).-**

Esta losa entre sus características nos ofrece que, al ser prefabricada y al tener un comportamiento autoportante, en el momento del montaje, tiene un proceso de armado muy simple, permitiendo eliminar puntales provisionales, pues la misma estructura se la puede utilizar como soporte de los encofrados. Además, este proceso constructivo, puede ser fácilmente modificado, adecuándolo a las características o exigencias del espacio a cubrir. De todas maneras, siempre se evidencia un ahorro en el

tiempo de ejecución y también se disminuye el requerimiento de mano de obra.

Debido a que este tipo de losas son pre fabricadas en obra o fuera de ella, además de sus características propias de resistencia y mecánica, es muy improbable que se produzcan deformaciones en su fabricación, esto lleva a que los acabados sean de buena calidad, pudiendo dejar las celosías espaciales y la malla inferior a la vista.

En el proceso constructivo, como esta losa es parcialmente o totalmente prefabricada, existe un mayor control en el doblado de las armaduras y en la ejecución. Además, el material sobrante se lo puede reutilizar en la sujeción para el montaje de la estructura, realizar los empalmes o algunas uniones con soldadura que se requiera.

#### **4.2.1.2 Incidencia del Peso Propio.-**

Con la finalidad de conocer la incidencia del peso propio en ambas alternativas planteadas.

##### **1) Comparación Losa Reticular Mixta vs Losa Alivianada con Polietileno Expandido y Viguetas Pretensadas.-**

a) Peso Propio Losa Alivianada con Polietileno Expandido y Viguetas Pretensadas.-

<b>Peso Losa Alivianada (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área de la Losa (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso de Losa en una Planta (kg)</b>	<b>Nº de Plantas</b>	<b>Peso Total de Losa (kg)</b>
230	126.71	29143.30	3	87429.90

b) Peso Propio Losa Reticular Mixta.-

<b>Vol. De H°A° de la Losa (m³)</b>	<b>Peso Espe. H°A° (kg/m³)</b>	<b>Peso de Losa en una Planta (kg)</b>	<b>N° de Plantas</b>	<b>Peso Total de Losa (kg)</b>
6.33	2400	15192	3	45576

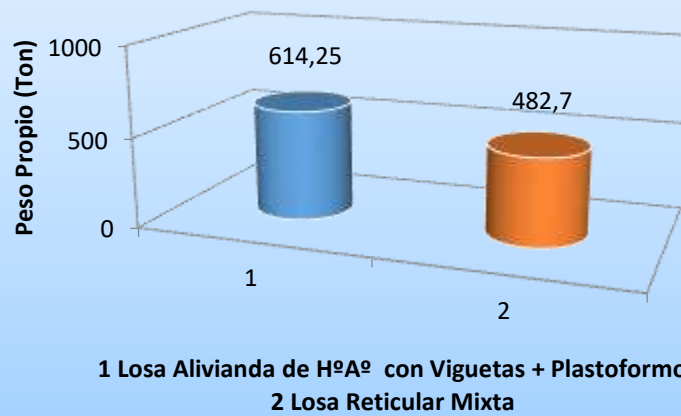
<b>Peso de la Celosía (kg/m²)</b>	<b>Área de la Losa (m²)</b>	<b>Peso Total de la Celosía(kg)</b>	<b>N° de Plantas</b>	<b>Peso Total de Losa (kg)</b>
16.23	126.71	2056.50	3	6169.50

**Peso Total Losa Reticular Mixta= 51745.50 kg**

c) Cuadros Comparativos.-

<b>Descripción</b>	<b>Peso (Ton)</b>	<b>Diferencia de Peso (Ton)</b>	<b>%Peso Alivianado</b>
Estructura Existente	87.43	35.68	40.80
Estructura Propuesta	51.75		

## Analisis Comparativo del Peso Propio



Como se puede evidenciar, la losa reticular mixta (estructura propuesta), tiene un peso propio que es casi la mitad del peso de una losa aliviada convencional.

El porcentaje de peso que se logra disminuir en la estructura es de 57.25%, este peso no se transmite al resto de los elementos estructurales y al suelo de fundación, ahorrando considerablemente en volúmenes de Hormigón, al tener secciones más esbeltas, por ende más livianas.

Otra de las ventajas que nos brinda la losa reticular mixta es que, el peso de la estructura por unidad de área ( $\text{kg/m}^2$ ) no aumenta significativamente, si se desea cubrir mayores luces o áreas.

## 2) Comparación Losa Reticular Mixta vs Losa Casetonada.-

### a) Peso Propio Losa Casetonada.-

<b>Peso Losa Casetonada(kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área de la Losa (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso de Losa en una Planta (kg)</b>	<b>Nº de Plantas</b>	<b>Peso Total de Losa (kg)</b>
230	113.10	46144.8	3	<b>138434.40</b>

### b) Peso Propio Losa Reticular Mixta.-

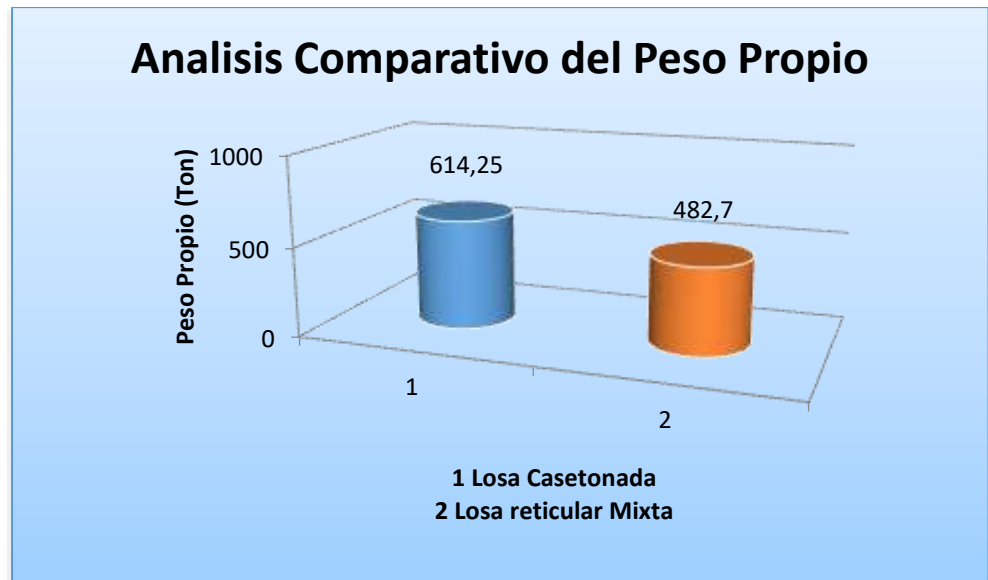
<b>Vol. De HºAº de la Losa (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Espe. HºAº (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso de Losa en una Planta (kg)</b>	<b>Nº de Plantas</b>	<b>Peso Total de Losa (kg)</b>
5.655	2400	13572	3	<b>40716</b>

<b>Peso de la Celosía (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área de la Losa (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso Total de la Celosía(kg)</b>	<b>Nº de Plantas</b>	<b>Peso Total de Losa (kg)</b>
18.36	126.71	490.40	3	<b>1471.19</b>

**Peso Total Losa Reticular Mixta= 42187.19 kg**

c) Cuadros Comparativos.-

Descripción	Peso (Ton)	Diferencia de Peso (Ton)	%Peso Alivianado
<b>Estructura Existente</b>	138.43	96.24	69.53
<b>Estructura Propuesta</b>	42.18		





#### 4.2.2 Análisis Económico.-

Para realizar un análisis económico real, es necesario cuantificar materiales, mano de obra, herramientas y equipos requeridos en la construcción de cada tipo de losa que se están estudiando.

a) Losa Aliviada con Polietileno Expandido y Viguetas Pretensadas. .-

<b>MATERIALES</b>		
Descripción	Acero Estructural	$f_{yk}=4000\text{kg/cm}^2$
	Hormigón Tipo A	$f_{ck}=200\text{kg/cm}^2$

b) Losa Casetonada

<b>MATERIALES</b>		
Descripción	Acero Estructural	$f_{yk}=4000\text{kg/cm}^2$
	Hormigón Tipo A	$f_{ck}=200\text{kg/cm}^2$

c) Losa Reticular Mixta

<b>MATERIALES</b>		
Descripción	Acero Estructural	$f_{yk}=4000\text{kg/cm}^2$

	Hormigón Tipo A	$f_{ck}=210\text{kg/cm}^2$
--	-----------------	----------------------------

<b>PRECIO UNITARIO</b>				
<b>ITEM: Losa Alivianada de H°A° con Viguetas + Plastoformo</b>			<b>UNIDAD: m²</b>	
<b>A.- Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Cemento Portland</b>	Kg	22	0,17	4,9725
<b>Arena Común</b>	m³	0,035	14,14	0,4949
<b>Grava Común</b>	m³	0,05	12,02	0,3606
<b>Fierro Corrugado</b>	kg		8,29	16.58
<b>Madera de Construcción</b>	ft²	2	0,57	1,14
<b>Alambre</b>	Kg	0,05	1,79	0,0895
<b>Clavos</b>	Kg	0,05	1,79	0,0895
<b>Vigueta Pretensada</b>	ml	3	30	90
<b>Plastoformo</b>	Pza	2	18,5	37
		<b>Sub-Total</b>		149.4945
<b>B.- Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rend.</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Encofrador</b>	Hr	0,8	17,5	14,00
<b>Armador</b>	Hr	0,8	17,5	14,00

<b>Albañil</b>	Hr	1	17,5	17,50
<b>Ayudante</b>	%	1,5	12,00	18,00
<b>Beneficios Sociales</b>	%	70	63.50	44.45
		<b>Sub-Total</b>		107.95
<b>C.- Herramientas y equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rend.</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Hormigonera</b>	Hr	0,04	24	0,96
<b>Vibradora</b>	Hr	0,04	13	0,52
<b>Otros</b>	%	5	107.95	5.40
		<b>Sub-Total</b>		6.88
<b>D.- Costo Directo</b>				264.32
<b>E.- Gastos Generales</b>		(13,39%D)		34.36
<b>F.- Utilidad</b>		10%(D+E)		29.87
<b>G.- P.U. sin impuestos</b>		(D+E+F)		328.55
<b>I.- Impuestos</b>		16%(D+E+F)		52.57
<b>P.- Precio Unitario</b>		(G+I)		<b>381.12</b>
		<b>TOTAL P.U.</b>		<b>645.44</b>

<b>PRECIO UNITARIO</b>				
<b>ITEM: Losa Casetonada</b>			<b>UNIDAD: m<sup>2</sup></b>	
<b>A.- Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Cemento Portland</b>	Kg	22	0.17	3.74

<b>Arena Común</b>	m <sup>3</sup>	0,035	14.14	0.4949
<b>Grava Común</b>	m <sup>3</sup>	0,05	12.02	0.601
<b>Fierro Corrugado</b>	Kg	2	8,29	16.58
<b>Madera de Construcción</b>	ft <sup>2</sup>	10	0.57	5.7
<b>Alambre</b>	Kg	0,05	1.79	0.0895
<b>Clavos</b>	Kg	0.05	1.79	0.0895
<b>Casetones</b>	Pza	5	18,5	92.5
		<b>Sub-Total</b>		119.7949
<b>B.- Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rend.</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Encofrador</b>	Hr	1,15	17,5	20,13
<b>Armador</b>	Hr	1	17,5	17,50
<b>Albañil</b>	Hr	1,5	17,5	26,25
<b>Ayudante</b>	%	2	12,00	24,00
<b>Beneficios Sociales</b>	%	70	87,88	61,51
		<b>Sub-Total</b>		149,39
<b>C.- Herramientas y equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rend.</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Hormigonera</b>	Hr	0,05	4,24	0,21
<b>Vibradora</b>	Hr	0,05	2,4	0,12
<b>Otros</b>	%	5	149,39	7,47
		<b>Sub-Total</b>		7,80
<b>D.- Costo Directo</b>				426,01
<b>E.- Gastos Generales</b>		(13,39%D)		55,38
<b>F.- Utilidad</b>		10%(D+E)		48,14
<b>G.- P.U. sin impuestos</b>		(D+E+F)		529,53
<b>I.- Impuestos</b>		16%(D+E+F)		84,72
<b>P.- Precio Unitario</b>		(G+I)		<b>614,25</b>

	<b>TOTAL P.U.</b>	<b>776.36</b>
--	-------------------	---------------

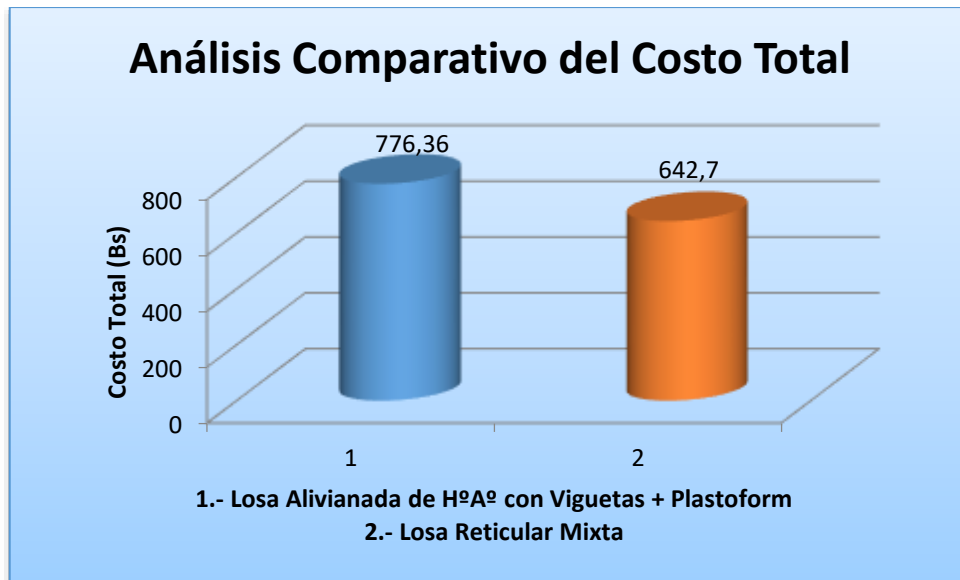
<b>PRECIO UNITARIO</b>				
<b>ITEM: Losa Reticular Mixta</b>			<b>UNIDAD: m<sup>2</sup></b>	
<b>A.- Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Cemento Portland</b>	Kg	22	0,17	3.4
<b>Arena Común</b>	m <sup>3</sup>	0,035	14,14	0,4949
<b>Grava Común</b>	m <sup>3</sup>	0,05	12,02	0,3606
<b>Fierro Corrugado</b>	Kg	2	8,29	124.35
<b>Electrodos</b>	Kg	0,4	22	8.8
<b>Pintura Anticorrosiva</b>	Gl	0,05	40	2
		<b>Sub-Total</b>		139.4055
<b>B.- Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rend.</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Metalúrgico</b>	Hr	3	18,25	54.75
<b>Albañil</b>	Hr	0,4	17,5	17.50
<b>Ayudante</b>	Hr	1,5	12	18,00
<b>Beneficios Sociales</b>	%	70	90.25	63.18
		<b>Sub-Total</b>		153.43
<b>C.- Herramientas y equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rend.</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>Soldadora</b>	Hr	0,3	15	4,50

<b>Hormigonera</b>	Hr	0,05	4,24	0,21
<b>Vibradora</b>	Hr	0,05	2,4	0,12
<b>Otros</b>	%	5	153.43	7.67
		<b>Sub-Total</b>		12.50
<b>D.- Costo Directo</b>				305.33
<b>E.- Gastos Generales</b>		(13,39%D)		39.69
<b>F.- Utilidad</b>		10%(D+E)		34.50
<b>G.- P.U. sin impuestos</b>		(D+E+F)		379.53
<b>I.- Impuestos</b>		16%(D+E+F)		60.72
<b>P.- Precio Unitario</b>		(G+I)		<b>642,70</b>
		<b>TOTAL P.U.</b>		<b>642,70</b>

**1) Comparación Losa Reticular Mixta vs Losa Alivianada con Polietileno Expandido y Viguetas Pretensadas.-**

<b>Análisis Comparativo del Costo Total</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Costo Total (Bs)</b>	<b>Diferencia de Costo (Bs)</b>	<b>% Diferencia</b>

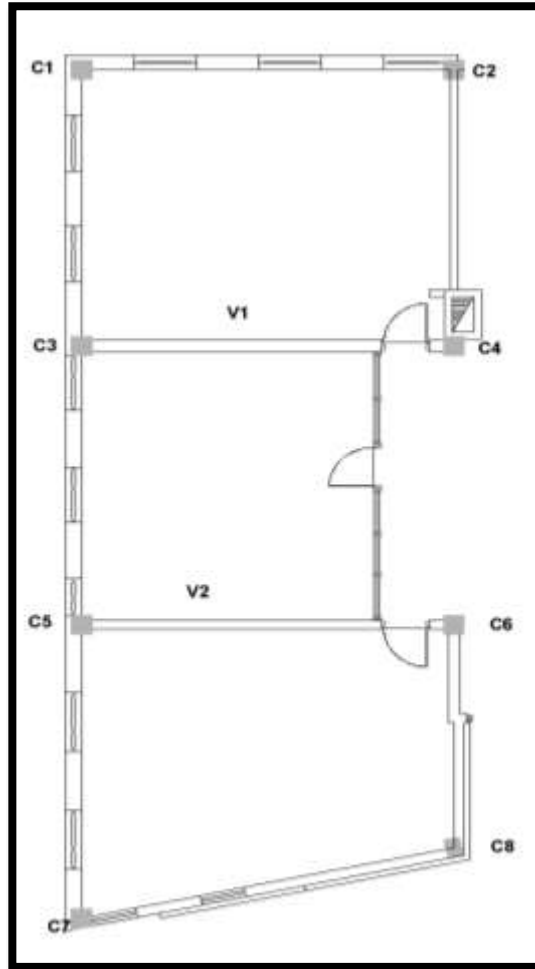
<b>Losa Alivianada de H°A° con Viguetas + Plastoformo</b>	645.44	2.74	0.40
<b>Losa Reticular Mixta</b>	642.70		



Como se observa en los resultados, la losa reticular tiene prácticamente el mismo costo, que la losa alivianada de H°A° con Viguetas + Plastoformo, pero al usar una losa reticular mixta, optimizamos el uso de vigas y columnas intermedias, teniendo un ahorro de volúmenes de hormigón, que influye directamente en el costo total de la obra.

### 1.1) Volúmenes de Hormigón.-

**Solución existente, losa alivianada de H°A° con viguetas pretensadas + Plastoformo.-**



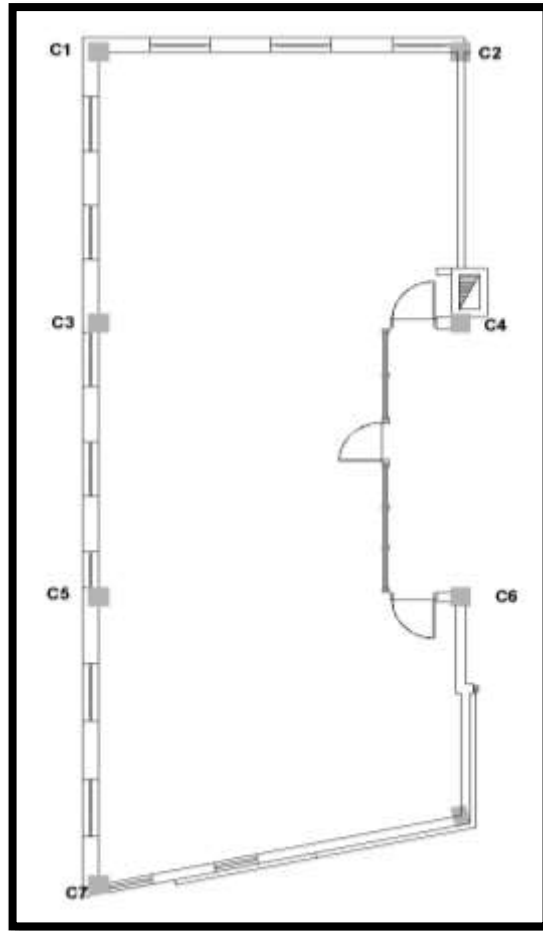
En la franja de adoptó para el observando los arquitectónicos que se cuenta con

de dimensión de 0.3m x 0.3m y dos vigas intermedias de 6m x 0.3m.

losa, que se diseño, planos se observa 8 columnas

**Solución planteada, con Losa Reticular Mixta.-**





Si se aprovecha las ventajas reticular al no contar con vigas intermedias, se obtiene un vano más limpio, ahorrando volúmenes de hormigón, también favorece al peso propio de la estructura que se transmite a los demás elementos estructurales.

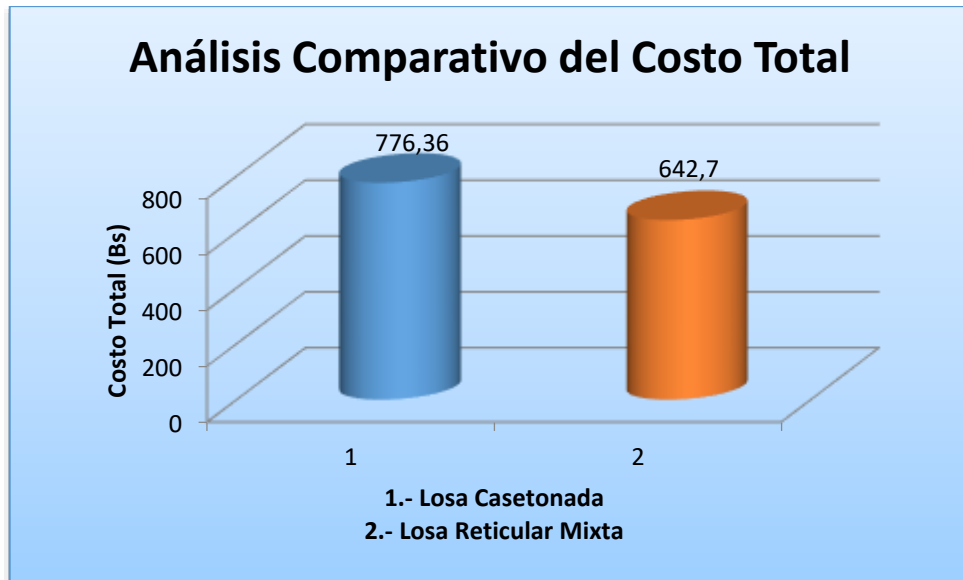
Si se aprovecha las técnicas de la losa mixta, se puede obtener un vano más limpio, ahorrando volúmenes de hormigón, también favorece al peso propio de la estructura que se transmite a los demás elementos estructurales.

<b>Volúmenes de Hormigón Disminuidos</b>							
Lado “L” (m)	Lado “b” (m)	Altura “h” (m)	Vol. 1 viga (m <sup>3</sup> )	Nº de Vigas Eliminadas	Vol. Total por Planta (m <sup>3</sup> )	Nº Plantas	Vol. Total (m <sup>3</sup> )
6	0.3	0.7	1.26	2	2.52	3	7.56

Como se puede observar en la tabla anterior, solo en la franja de losa que se estudio, al eliminar dos vigas intermedias, se logra ahorrar 7.56m<sup>3</sup> de Hormigón, en toda la edificación, que consta de tres plantas.

## 2) Comparación Losa Reticular Mixta vs Losa Casetonada.-

<b>Análisis Comparativo del Costo Total</b>			
<b>Descripción</b>	Costo Total (Bs)	Diferencia de Costo (Bs)	% Diferencia
<b>Losa Casetonada</b>	776.36	293.66	37.83
<b>Losa Reticular Mixta</b>	482.70		

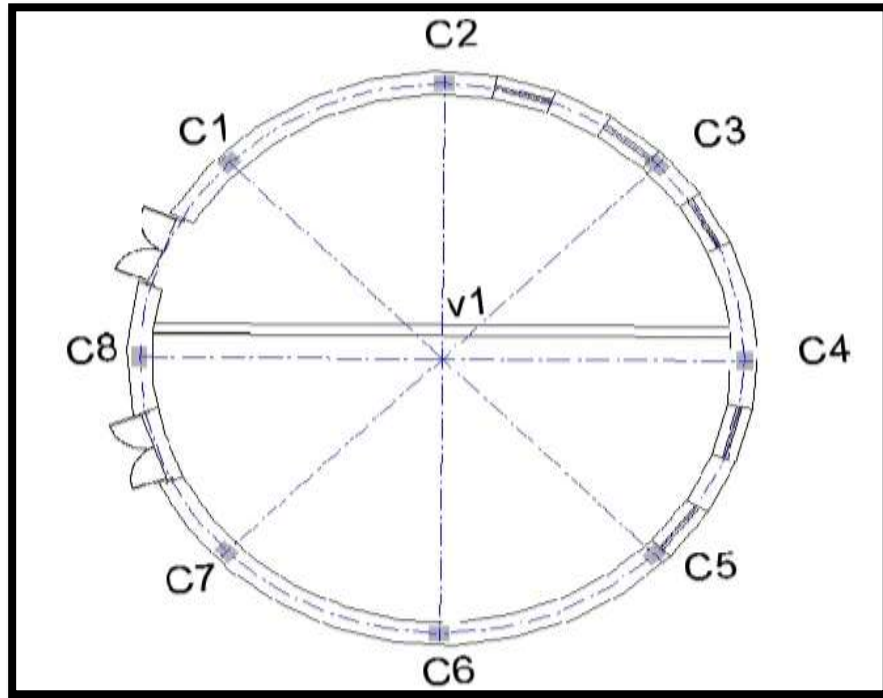


Tomando en cuenta los resultados que se obtiene, se evidencia que la losa reticular mixta nos brinda un ahorro en la economía de 37.83%, en comparación a una losa casetonada.

#### **2.1) Volúmenes de Hormigón Disminuidos.-**

Se plantea las dos alternativas de solución para la edificación, en lo que respecta a la losa de geometría circular.

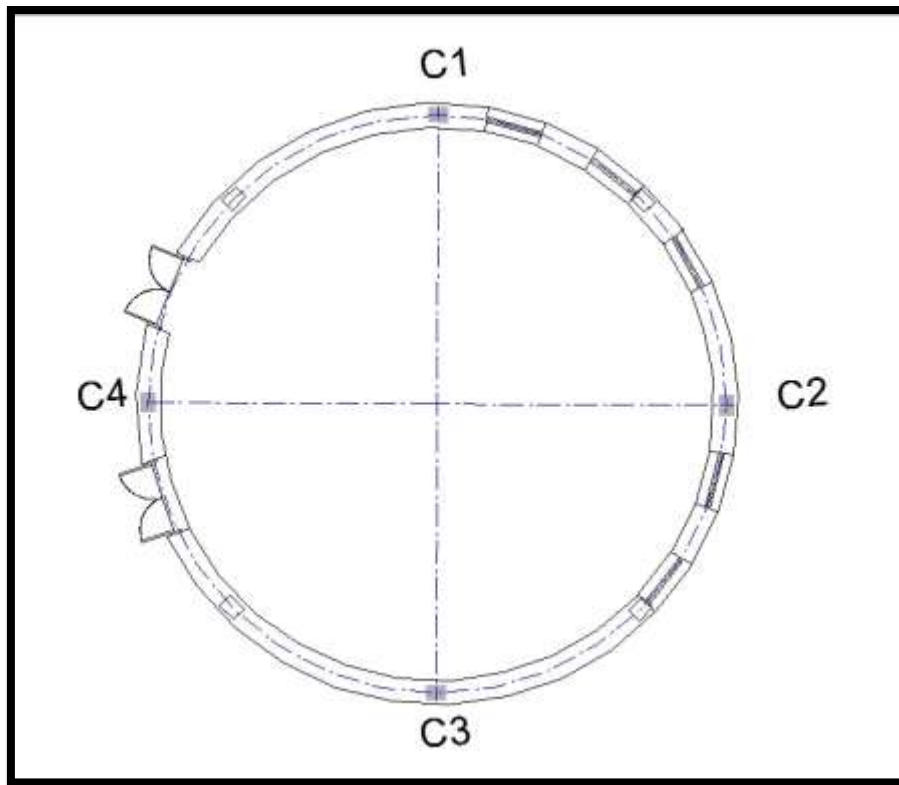
#### **Solución con losa casetonada.-**



En la imagen, se puede apreciar que la losa circular, está apoyada en una viga perimetral, también se tiene una viga central, y ocho columnas como soporte de la viga perimetral.

Solución con Losa Casetonada							
Nº de Columnas	Dimensiones de Columna			Vol. Columna (m3)	Vol. Total Columnas (m3)	Peso Columna (kg)	Peso Total Columnas (Kg)
	base (m)	ancho (m)	altura (m)				
8	0,3	0,3	3,3	0,297	2,376	712,8	5702,4

**Solución con Losa Reticular Mixta.-**



Claramente las ventajas técnicas de esta losa nos permiten, aparte de aligerar el peso de la misma, obtener vanos de mayor amplitud, eliminando la labor de columnas y vigas intermedias, como se puede evidenciar en la imagen.

Solución con Losa Reticular Mixta							
Nº de Columnas	Dimensiones de Columna			Vol. Columna (m <sup>3</sup> )	Vol. Total Columnas (m <sup>3</sup> )	Peso Columna (kg)	Peso Total Columnas (Kg)
	base (m)	ancho (m)	altura (m)				
4	0,3	0,3	3,3	0,297	1.188	712,8	2851.2

Si se hace un análisis de los resultados mostrados en las tablas anteriores, se puede ver el ahorro tanto en volumen de Hormigón, como en peso de la estructura es del 50%, si se adopta la losa reticular mixta.

#### 4.2.3 Análisis de las Deflexiones.-

Según el ACI 318-83, los efectos diferidos del hormigón, como la retracción y la fluencia, se determinan de manera análoga que para vigas. Así la deflexión función del tiempo se evalúa como la deflexión inicial multiplicada por:

$$\left(2 - 1.2 * \frac{A's}{As}\right)$$

Dónde: A's y As son áreas de acero a compresión y a tracción, respectivamente. Así, como es común en losas y reticulados, el área de acero a compresión es reducida y ese factor corresponde a dos. Es decir, la deflexión total diferida, más la inicial, sería tres veces la inicial.

La deflexión máxima permisible será la suma de la deflexión inmediata y la deflexión diferida:

$$\delta_{MAX} = \delta_{INST} + \delta_{DIF}$$

Las deflexiones máximas permisibles recomendadas por el ACI para losas aligeradas unidireccionales se presenta en la tabla 4.10. Como los criterios que limitan la deflexión máxima en losas aligeradas unidireccionales son similares a los que limitan las deflexiones de las losas bidireccionales, dicha tabla puede emplearse para ambos casos. La deflexión máxima, según este código, varía entre luz/180 a luz/480, en función de una serie de factores tales como si la losa es, de piso o de techo.

Una losa mixta tiene mayor deformación en comparación a una losa reticular, a pesar de tener el mismo canto, esto se debe a que la losa mixta al estar construida con menos relleno de Hormigón y más acero estructural en su sección, se hace menos rígida pero más flexible y dúctil, al tener una resistencia inelástica capaz de soportar grandes cargas, estando sus deformaciones dentro de los rangos permitidos.

<b>Deflexión Máxima Permisible</b>		
<b>Tipo de Elemento</b>	<b>Deflexión que considerar</b>	<b>Deflexión Máxima</b>
Techos planos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños por deflexiones excesivas.	Deflexión instantánea debida a la carga viva.	L/180 (b)

Pisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños por deflexiones excesivas.	Deflexión instantánea debida a la carga viva.	L/360
Pisos o techos que soporten o estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de no sufrir daños por deflexiones excesivas.	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de la deflexión diferida, debida a todas las cargas sostenidas, y a la deflexión inmediata, debida a cualquier carga viva adicional). (a)	L/480 (c)
Pisos o techos que soporten o estén ligados a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños por deflexiones excesivas.		L/240 (d)

Fuente: Miguel Bozzo-Luis Bozzo, “Losas Reticulares Mixtas”, (Editorial Reverté S.A., 2003), Pág.102

A continuación se muestra los valores, que se deben tomar en cuenta, para el análisis de las deflexiones:

<b>Deflexiones Máximas Adoptadas</b>	
<b>Tipo de Elemento</b>	<b>Deflexión Máxima</b>
<b>Losa de Entrepiso</b>	L/360
<b>Losa de Cubierta</b>	L/480

Dónde: L= luz de diseño o sollicitación.



Se presenta las deformaciones más críticas en la losa mixta, en comparación a las deflexiones máximas permitidas, según el criterio adoptado en la tabla anterior.

<b>Tipo de Elemento</b>	<b>Luz de Diseño (m)</b>	<b><math>\Delta L</math> adm (m)</b>	<b><math>\Delta L</math> (m)</b>
<b>Losa Rectangular de Entrepiso</b>	7.20	0.020	0.017
<b>Losa Rectangular de Cubierta</b>	7.20	0.015	0.010

<b>Tipo de Elemento</b>	<b>Luz de Diseño (m)</b>	<b><math>\Delta L</math> adm (m)</b>	<b><math>\Delta L</math> (m)</b>
<b>Losa Circular de Entrepiso</b>	12	0.033	0.026
<b>Losa Circular de Cubierta</b>	12	0.025	0.017

#### **4.3 Contrastación de Hipótesis.-**

Una vez finalizado el estudio, se puede realizar la verificación de la hipótesis que se planteó al iniciar el mismo (ver punto 1.4). Contrastando con lo indicado al iniciar, claramente podemos observar que se logró aligerar el peso propio de la estructura considerablemente. También se redujo un gran número de elementos estructurales, como ser columnas intermedias, demostrando de esta manera las ventajas técnicas de la losa reticular mixta. Otro aspecto que se debe mencionar, es el ahorro económico que tiene este nuevo sistema estructural planteado, así también, el ahorro en su tiempo de ejecución.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

### 5.1 Conclusiones.-

Del presente trabajo de investigación, se puede citar las siguientes conclusiones:

- Se puede afirmar que las losas reticulares mixtas, presentan grandes ventajas técnicas y económicas, que pueden ser aprovechadas eficientemente.
- Las losas reticulares nos permiten cubrir mayores luces y sobrecargas, distribuyendo los esfuerzos, en la mayoría de los casos en encadenados perimetrales, prescindiendo de columnas intermedias permitiendo vanos más limpios.
- En la comparación técnica de los sistemas constructivos (existente vs. Propuesto), la losa reticular nos ofrece una gran ventaja, porque al ser prefabricada y al tener la misma un comportamiento autoportante, nos ayuda a eliminar apuntalamientos, encofrados, logrando un ahorro en el tiempo de ejecución, en el empleo de materiales y en mano de obra. Factores que inciden directamente, en la economía de la obra.
- Una ventaja adicional de este tipo de losas, es la esteticidad o vistosidad de la propia estructura, que en casos particulares usa el cordón inferior como cielo falso visto.
- Con relación al peso propio, esta losa reticular tiene una gran ventaja, debido a que es mucho más liviana que la existente, incidiendo directamente en las secciones de elementos como vigas, columnas, zapatas y al suelo de fundación.
- Finalmente, con el planteamiento de las dos alternativas de solución, se llega a la conclusión que: aplicar una losa reticular mixta como entrepiso o cubierta a una estructura, es brindar a la misma economía, que no afecta la resistencia mecánica de la misma, menor tiempo de ejecución, minoración de cargas, se puede optimizar las secciones de columnas, vigas, zapatas, incluso la capacidad portante del suelo de fundación, teniendo la ventaja de contar con una estructura mucho

más liviana, con un costo global menor, comparado a la solución tradicional, confirmando así la hipótesis planteada al iniciar el presente estudio.

## 5.2 Recomendaciones

Para tener mejores resultados al utilizar esta losa, se puede citar algunas recomendaciones necesarias:

- En virtud al conocimiento adquirido sobre las cualidades de las losas reticulares o tridilosas, en lo que respecta al aumento de inercia y el leve incremento de peso propio, al aumentar el canto de la sección, es aconsejable adoptar esta solución estructural, para cubrir medianas y grandes luces; donde sus ventajas tanto técnicas como económicas se reflejaran claramente.
- Si en una estructura se presentarían situaciones inesperadas, como ser: aumentar un nivel más en la edificación, problemas por asentamientos, actividad sísmica, mala calidad del suelo de fundación, poco margen de ejecución, materiales y mano de obra con un costo elevado; la losa reticular mixta sería la mejor solución que se podría plantear debido a que es una estructura de gran resistencia, muy liviana, económica y sobre todo de fácil ejecución.
- Al momento de realizar el armado de las parrillas metálicas, tanto superior como inferior, el control debe ser minucioso, sobre todo en lo que respecta a mantener la geometría de las pirámides que forman dicho emparrillado. Así también, en las uniones y/o empalmes que se realizaran mediante soldaduras.
- El material que se vaya a emplear, debe cumplir todas las normas de calidad que exige la norma boliviana, siendo el más conveniente el acero soldable.
- La optimización de materiales es un aspecto que se debe tomar muy en cuenta, para satisfacer las solicitudes de diseño, pero siendo aconsejable no utilizar un diámetro menor a 6mm, para evitar problemas de mermas de áreas de acero, por efectos de la corrosión; también se tiene una mayor área para la unión mediante soldadura, teniendo además un mayor control sobre la esbeltez de los elementos

y el doblado de las diagonales, garantizando la aparición de fisuras en estas zonas críticas de la estructura.