**DNC**
GE 12Cátedra: **ESTRUCTURAS - NIVEL 2 - PLAN DE ESTUDIOS 6**

Taller: VERTICAL I - DELALOYE - NICO - CLIVIO

Guía de Estudio GE Nº12: Estereoestructuras

Curso 2013

Elaboró: JTP Ing. Angel Maydana

Revisión: 0

Fecha: mar 2013

ESTEREO ESTRUCTURAS

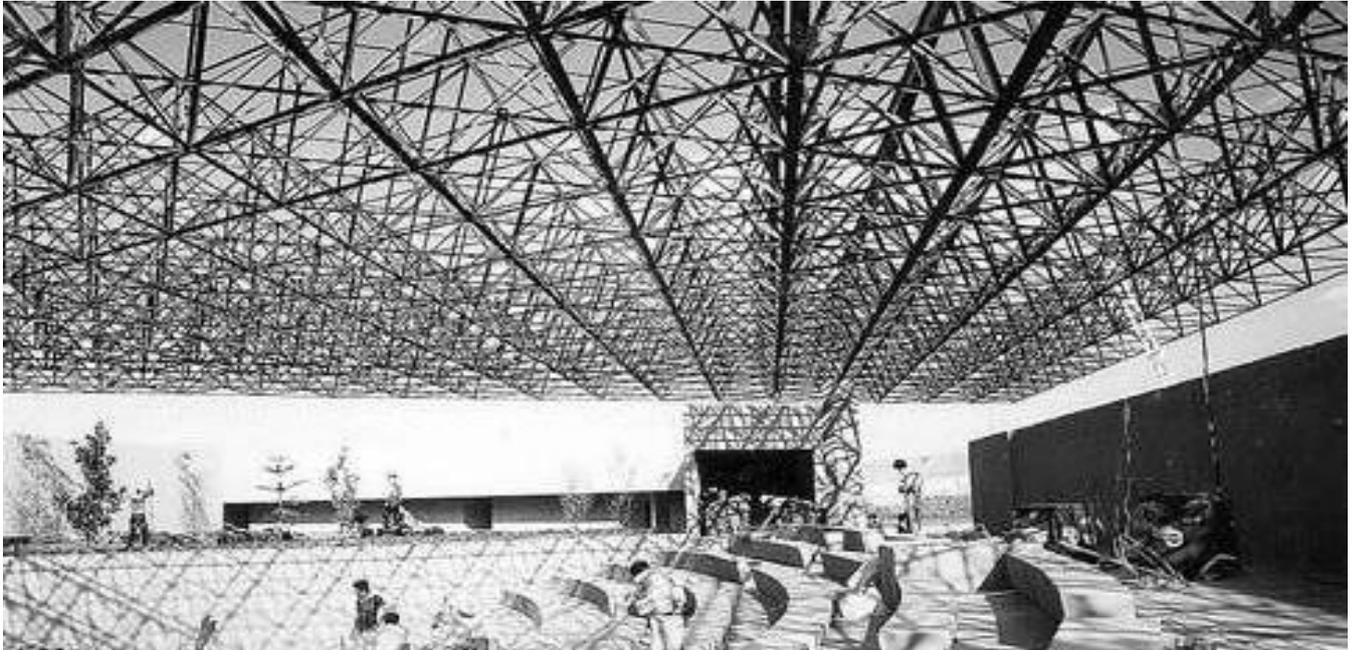


Figura Nº 1. Comunidad Terapéutica. Morelia, Michoacán, Mexico (1986)- 750 m²

Las estereoestructuras o grillas espaciales constituyen una óptima solución para cubrir grandes luces. Estas formas constructivas, en sus distintas familias (planas, plegadas, cilíndricas, esféricas, etc.), consisten básicamente en estructuras de barras (generalmente metálicas) cuya conexión y disposición permite una adecuada distribución de las solicitaciones provocadas por las cargas exteriores (peso propio, cerramientos, sobrecargas útiles o accidentales, viento, etc.) y las correspondientes reacciones de apoyo.

Las conexiones de las barras se realizan en los nudos, para los que existe una gran variedad constructiva que da origen a distintos sistemas, algunos sujetos a patentes con mayor o menor grado de difusión.

Si bien en todos los casos el funcionamiento de estas estructuras es espacial, (actúan los esfuerzos en las tres dimensiones), la forma de la grilla puede adoptar una de las siguientes disposiciones geométricas:

a) grillas planas, con aplicación a cubiertas y entrepisos. Pueden ser horizontales, inclinadas o quebradas a dos aguas. Este tipo de grillas puede inclusive utilizarse estructuralmente para el armado de paredes.



Figura Nº 2 - Hospital Médico del Sur. D.F. México (2005)

- b) **grillas en bóveda cilíndrica**, con una directriz (transversal) curva -arco de circunferencia, parábola, elipse, etc.- y sus elementos de apoyo y de rigidización se encuentran en sus extremos.
- c) **grillas plegadas**, que resultan una variante de la anterior, cuando en vez de una curva la sección transversal se materializa con una poligonal.
- d) **grillas cúpulas de revolución**, cuando su generación es por rotación en torno a un eje de simetría.

El comportamiento funcional de estas estructuras se corresponde con las estructuras de una misma familia geométrica (en forma plegada, de bóveda cilíndrica, en cúpula, etc.) que han sido analizadas oportunamente. Esto quiere decir que la forma de interpretarlas y de determinar esfuerzos característicos en el plano medio de la estructura son similares. Corresponde sí, distribuir esos esfuerzos (momento flector, corte, torsión) en las barras discretas de las capas que conforman las grillas.

Grillas Planas

La forma general de estas estructuras se desarrolla predominantemente en un plano, horizontal o inclinado (incluso vertical cuando se utilizan como paredes). También puede tratarse de planos distintos, quebrándose a dos aguas.

El espesor o altura entre capas de la estructura, perpendicular al plano en que se desarrolla la misma, responde a valores que son función de las cargas a soportar (según se trate de cubiertas, entresijos o cerramientos), de las luces entre apoyos, de las características geométricas de la grilla (número de direcciones principales definidas por las barras de las capas) y de las características constructivas (forma de las barras y uniones).



Figura Nº 3 Ajuste en la construcción de una grilla plana

Generación de una estructura espacial

La grilla plana es una generación al espacio de las vigas reticuladas que se desarrollan en un plano. Podemos concebir la forma de generar una grilla plana según dos enfoques distintos:

1) Consideremos un conjunto de vigas reticuladas planas paralelas que se ubican en la dirección X-X (Figuras 4a, 4b y 4c). La cubierta apoya sobre estas vigas mediante correas que se extienden en la dirección Y-Y. En estas condiciones, una carga aislada que actúe sobre una de estas vigas, es soportado exclusivamente por ella, sin colaboración de las restantes (se considera despreciable la rigidez de las correas para distribuir cargas). No tenemos una estructura única, sino un conjunto de estructuras independientes.

Consideremos ahora que entrecruzamos dos familias de vigas reticuladas planas que se desarrollan en planos verticales paralelos en cada dirección X e Y (Figuras 5a, 5b y 5c); como ambas familias de vigas existen en el mismo plano horizontal, tienen en común ciertos elementos constructivos como por ejemplo, los parantes verticales.

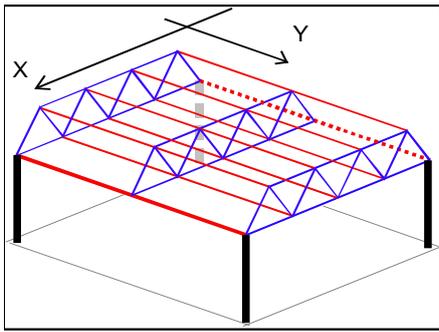


Figura N° 4a

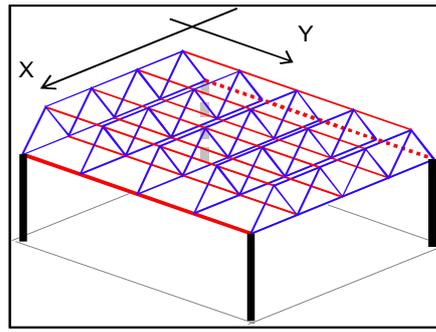


Figura N° 4b

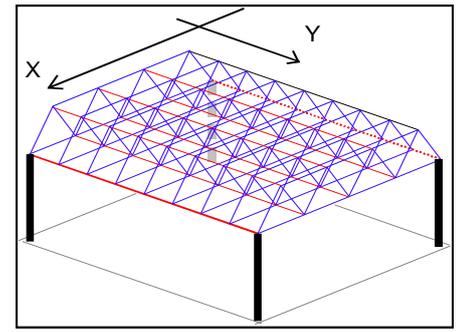


Figura N° 4c

En las figuras 4 a,b y c, se ven las vigas reticuladas planas independientes, en donde, para el caso que actúe una carga aislada sobre una de ellas, las otras vigas no colaboran con su resistencia dado que no existe vinculación transversal (es despreciable la rigidez de las correas)

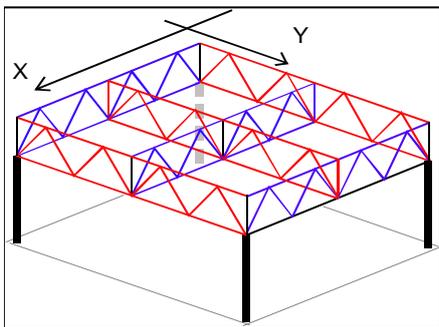


Figura N° 5a

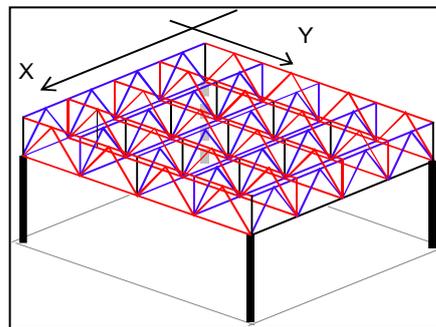


Figura N° 5b

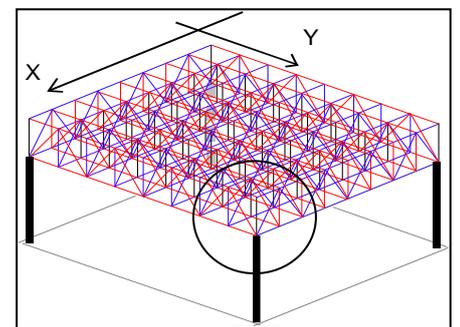


Figura N° 5c

En las figuras 5 a,b y c, se ven las familias de vigas reticuladas planas independientes, en las direcciones X e Y, en cuyos encuentros se vinculan con barras verticales (parantes).

En la figura 6 se ha sombreado los planos verticales y horizontales para verlos en detalle.

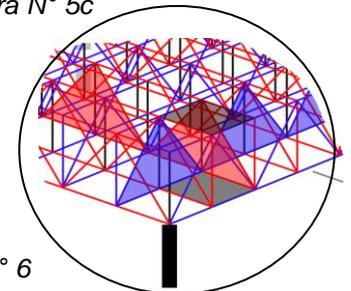


Figura N° 6

En este último caso, existe una real colaboración entre las dos familias de vigas, ya que una carga aislada actuando sobre una viga es soportada no solo por ésta sino, a través de la rigidez del conjunto, por todas las restantes vigas, que ahora sí constituyen una estructura única. La rigidez del conjunto (resistencia a las deformaciones) es mucho mayor que en el caso anterior.

Las dos familias de vigas que conforman la grilla se ubican a 90° entre sí (grilla rectangular), pero podrían ubicarse (siempre en el mismo plano) formando un ángulo distinto a 90° (grilla oblicua). En ambos casos, el comportamiento estructural se corresponde con el emparrillado de vigas visto oportunamente en cursos anteriores.

Otra forma de considerar un entrecruzamiento o emparrillado de vigas reticuladas planas, es que éstas no se dispongan en planos verticales sino en planos inclinados. (Figura N° 7)

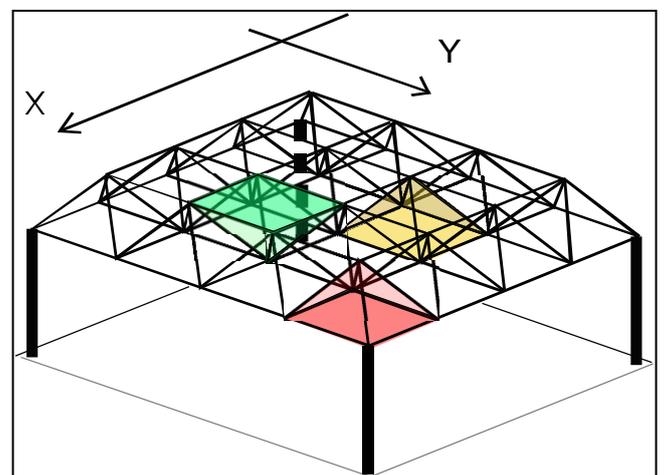
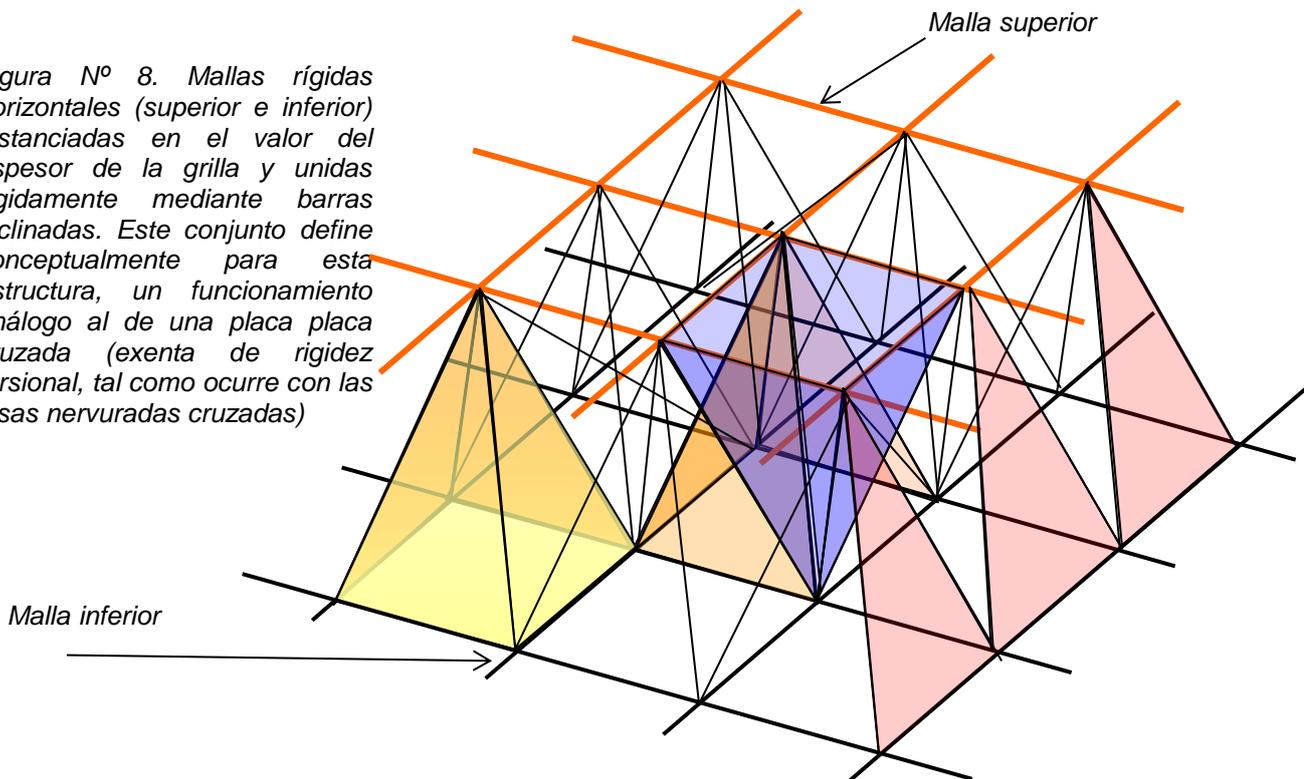


Figura N° 7

En esta forma, ambas familias de vigas reticuladas tienen en común no un solo elemento o barra (tal como los parantes verticales (Figuras 5a, b y c) sino seis barras que constituyen una pirámide de base rectangular. La capacidad de distribución de las cargas en ambas direcciones X e Y aumenta sensiblemente, lo que hace que los esfuerzos en cada una de ellas sean menores y por ende pueden construirse estructuras más esbeltas o de menor espesor.

2) Otra forma de concebir la generación de estas grillas es considerando a las barras que unen los nudos del plano superior como formando una malla rígida cuadriculada. Las barras que unen los nudos del plano inferior, a su vez forman otra malla rígida cuadriculada cuyos nudos están desplazados respecto de los nudos del plano superior. Según una proyección vertical, los nudos del plano superior caerán en el centro de la malla inferior y viceversa. Ambas mallas o napas, la superior y la inferior, distanciadas en el espesor de la grilla, se solidarizan uniendo con barras inclinadas -cada nudo de una de las napas con los cuatro nudos de la otra napa que "encierran" al primero-. (Figura N° 8)

Figura N° 8. Mallas rígidas horizontales (superior e inferior) distanciadas en el valor del espesor de la grilla y unidas rígidamente mediante barras inclinadas. Este conjunto define conceptualmente para esta estructura, un funcionamiento análogo al de una placa placa cruzada (exenta de rigidez torsional, tal como ocurre con las losas nervuradas cruzadas)



En las figuras 9 a, b y c se indican las plantas de las familias de vigas que hemos descrito. En la figura 9a, las vigas reticuladas planas son verticales, en cambio en las figuras 9 b y c, estas vigas están inclinadas. En la figura 9c, la malla superior está desplazada con respecto a la malla inferior, por lo que las vigas reticuladas planas están "menos" inclinadas que las indicadas en la figura 9b.

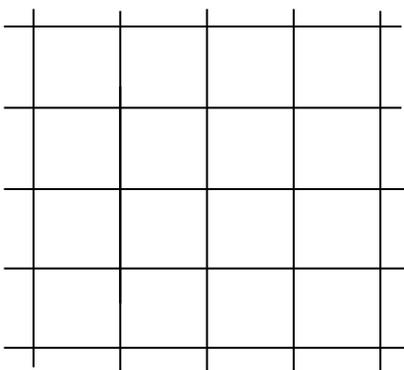


Figura N° 9a

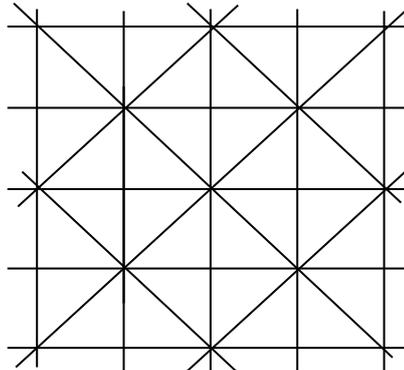


Figura N° 9b

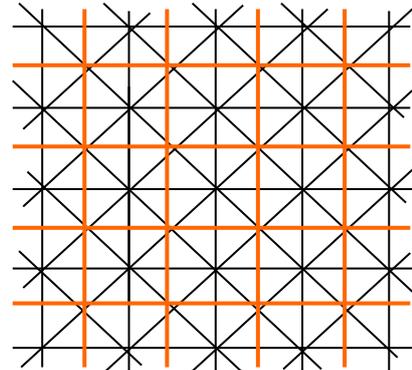


Figura N° 9c

Campo de aplicación

Las ventajas que presenta este sistema estructural y constructivo son muy variadas, y la mayor parte de ellas concurre a la economía (ésta es mayor en los países más industrializados donde el precio del acero es competitivo).

Algunas ventajas:

a) rapidez de fabricación y montaje: todos los elementos son prefabricados en taller, con tolerancias estrictas (tanto porque lo posibilita este tipo de tecnología como porque lo requiere la precisión del montaje) lo que asegura uniformidad en la calidad de la obra.

El montaje, completamente estandarizado, puede ser ejecutado con mano de obra poco o semi especializada. Los elementos son de reducido peso y se requiere equipo menor de montaje. Todo esto implica una gran rapidez en la fabricación de los distintos elementos y en el montaje de la estructura, lo que se traduce en una rápida puesta en servicio de la obra.

b) Liviandad: la esbeltez de todos los elementos permite una estructura sumamente liviana (hasta del orden de 4 a 5 kg. de acero por cada m² cubierto), con la consiguiente economía en infraestructura de apoyo (vigas y columnas o pórticos) y fundaciones.

c) posibilidad de grandes luces libres: la liviandad de la estructura (basada en la mayor resistencia del acero y de la buena distribución de los esfuerzos) permite salvar grandes luces sin apoyos intermedios, lo cual es de gran importancia en ciertos tipos de obras como por ejemplo hangares, salas deportivas, pabellones de exposición, salones, iglesias, plantas fabriles, aleros para tribunas, etc.

d) sencillez de los cerramientos: la misma forma de la estructura con sus figuras planas para la malla de la napa superior (triángulos, rectángulos o cuadrados, hexágonos, etc.) permite gran facilidad para cubrir la superficie con elementos de cerramientos prefabricados, todos iguales y fácilmente colocables. Asimismo la iluminación es fácilmente solucionable con elementos vidriados de cierre.

e) buen comportamiento sonoro: en el caso de cubiertas para salas de conciertos o conferencias, iglesias, teatros, etc., se ha comprobado un excelente comportamiento acústico. Esto es debido al casi despreciable efecto que tienen las reverberaciones e interferencias merced a la tupida compartimentación de la cubierta mediante un gran número de barras dispuestas en distintas direcciones.

f) efecto decorativo: frecuentemente el aspecto de las cubiertas de grillas resulta bien integrado a la finalidad y sentido de la obra, complementando a ésta no solo funcional sino estéticamente. Esto hace innecesario y aún inconveniente ocultar la estructura con cielorrasos, lo que se traduce en una economía adicional.

g) mayor resistencia al colapso: la eventual destrucción de una porción de la estructura es soportada por una redistribución de esfuerzos a las barras circundantes, sin que se agote la capacidad portante de la estructura total. Esto permite la posterior separación del sector dañado, fácil y rápidamente, mediante el simple reemplazo de los elementos averiados. Situaciones tales han ocurrido por efecto de explosiones o por fallas de algún elemento defectuoso, o por el pandeo de alguna barra en casos en que el análisis de esfuerzos no fuese correcto.

h) ubicación de cañerías: la altura (espesor) de la grilla plana a dos napas (usualmente del orden de 1,00 m más o menos) y la disposición regular de las barras inclinadas, permiten prever fácilmente en su interior el pasaje de las distintas canalizaciones (electricidad, calefacción, ventilación, sanitarios, desagües, etc.).

i) posibilidad de competencia económica: para evaluarlas frente a otras posibles soluciones estructurales deberá considerarse:

- costo de la materia prima (generalmente acero)
- costo del proceso de fabricación de los distintos elementos
- disponibilidad de equipo de montaje y costo de sus operaciones
- costo de la mano de obra de ensamble y terminación
- costo del mantenimiento de la estructura
- incidencia económica de la rapidez en la puesta en servicio de la obra
- costo de la patente (en caso de recurrir a sistemas patentados)

Del estudio técnico-económico surgirá la conveniencia de la utilización de las grillas como solución estructural, sin perder de vista las consideraciones sobre características arquitectónicas, funcionales, estéticas, geográficas, etc. Por tal motivo no puede establecerse un campo de aplicación absoluto para el empleo de las grillas, ya que su aplicación estará influenciada por un conjunto variado de aspectos. La experiencia indica que dentro de un cierto orden de dimensiones, este sistema compite favorablemente con otras soluciones tradicionales.

Así podemos considerar los siguientes campos de utilización:

a) grillas a dos napas y dos direcciones pueden usarse económicamente para cubrir luces libres de entre 15,00 a 20,00 m como mínimo hasta alrededor de 40,00 a 45,00 m como máximo. El espesor de la estructura es del orden de $1/20$ a $1/25$ de la luz libre.

b) para luces mayores a las anteriores, se utilizan grillas a dos napas y tres direcciones o las que tienen la napa superior dispuesta en forma triangular o hexagonal y la napa inferior tiene malla triangular o cuadrada. El espesor de la estructura es del orden de $1/30$ a $1/40$ de la luz libre.

Las mayores luces libres cubiertas por estas estructuras son del orden de 90,00 a 100,00 m aunque no hay impedimentos técnicos para que estas luces sean superadas.

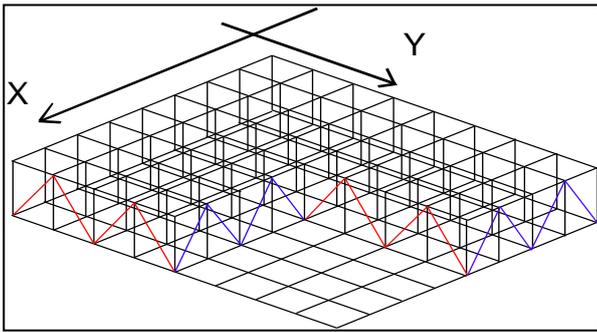


Figura N° 10a. Grilla a 2 napas y 2 direcciones

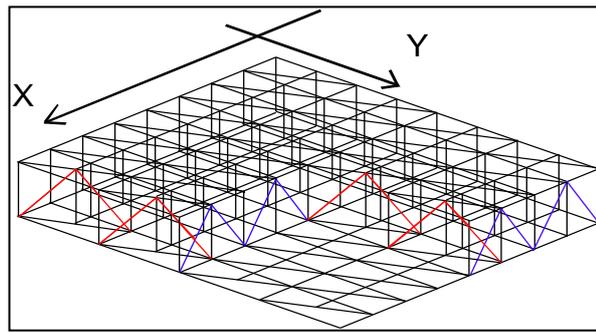


Figura N° 10b. Grilla a 2 napas y 3 direcciones

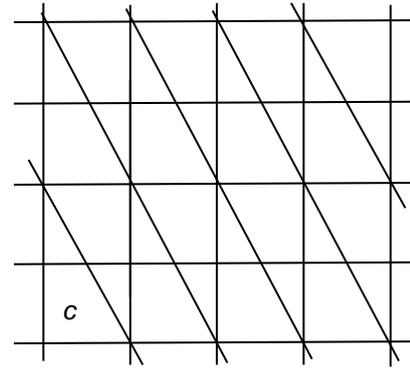
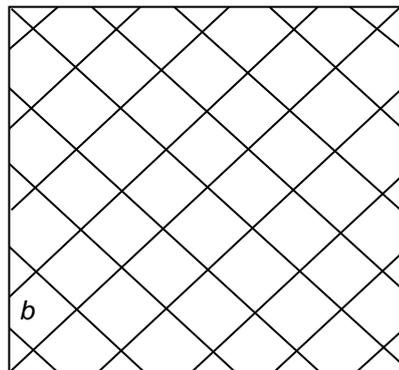
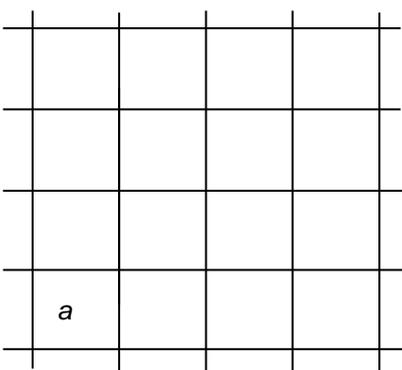


Figura N° 11a y b. Grilla a 2 napas y 2 direcciones ortogonales (a) y oblicua (b) en PLANTA

Figura N° 11c. Grilla a 2 napas y 3 direcciones en PLANTA

Las grillas a dos napas y dos direcciones ortogonales se utilizan para cubrir plantas aproximadamente cuadradas. Si bien su funcionamiento estructural no es tan conveniente como el de una grilla diagonal, su mayor simplicidad constructiva suele hacerla preferible en muchos casos. Todas las "vigas plana" que constituyen la grilla son de igual longitud y por lo tanto de igual rigidez flexional, si la planta es cuadrada (recordemos que siendo la rigidez flexional $R_f = E \times J / L$ con E = módulo de elasticidad, J = momento de inercia y L = luz de flexión, para vigas con igual valor de $E \times J$ -igual material e igual escuadría- son más rígidas las vigas más cortas).

Las grillas a dos napas y dos direcciones diagonales u oblicuas se utilizan para cubrir plantas más alargadas o plantas cuadradas cuando las dimensiones son de mayor importancia. Su funcionamiento estructural es más ventajoso que en el caso de las ortogonales porque al ser las "vigas de esquina" más cortas que las "vigas centrales", son más rígidas que estas últimas y por lo tanto le sirven de "apoyo". Las "vigas más largas" (que constituyen la mayor parte de la superficie total de la estructura) ven así reducida su luz de flexión y por lo tanto sus esfuerzos. Además la dirección de las "vigas diagonales" sigue más directamente que en las grillas ortogonales la dirección de los momentos flectores principales, con lo que el material está mejor aprovechado.

Las grillas planas a dos napas y tres direcciones tienen mayor número de elementos estructurales (mayor número de barras, tanto en las napas como en las inclinadas) con los cuales absorber el estado de cargas externas y en consecuencia cada elemento individual resulta menos solicitado, por lo tanto puede resultar más esbelto. No solo es una estructura más resistente que las mencionadas anteriormente, sino que también resultan más rígidas y por lo tanto es la estructura que se utiliza para cubrir superficies mayores. La malla resultante es triangular, con lados de aproximadamente 2,00 m de longitud.

Consideraciones sobre las cargas actuantes

En las cubiertas o entrepisos para grandes luces, en los que la solución estructural reside en la resistencia flexional de los elementos portantes principales (por ejemplo los usuales sistemas de vigas aisladas o incluso emparrillados con losa de cerramiento, o losas planas sin vigas) el peso propio de tales estructuras suele ser tan grande respecto de las sobrecargas útiles o accidentales, que hace a dichas estructuras relativamente insensibles respecto de los cambios de posición o de forma (puntual, parcialmente distribuidas, etc.) de las sobrecargas. Esto vale para las estructuras realizadas con perfiles laminados de acero y viguetas prefabricadas y tanto más para las realizadas enteramente en hormigón armado.

En cambio, para las estructuras alivianadas reticuladas realizadas con barras de acero (como es el caso de las grillas planas) el peso propio de la estructura se reduce tan radicalmente (a valores que pueden oscilar entre 5 y 10 kg/m² de superficie cubierta) que las sobrecargas útiles o accidentales pasan a tener una importancia decisiva en el total de las cargas.

En tales condiciones, el hecho de que las sobrecargas puedan ser puntuales o por lo menos repartidas sobre áreas pequeñas, hace que aquellas estructuras con alta capacidad de distribuir sobrecargas entre muchos elementos resistentes tengan grandes ventajas técnicas y económicas frente a las estructuras de tipo convencional (con pocos elementos resistentes principales y varios elementos resistentes secundarios) que carecen de aquella capacidad.

En estructuras tan relativamente livianas, uno de los tipos de sobrecargas accidentales de suma importancia en su consideración es el de las acciones de viento. Para esto habrá que considerar, en función de la ubicación regional y geográfica, lo que indiquen los Reglamentos Técnicos vigentes.

Elementos constituyentes

Básicamente son las BARRAS (superiores, inferiores, verticales y/o inclinadas) y los NUDOS o elementos de unión.

BARRAS: pueden ser redondos macizos (barras de hierro que se usan en hormigón armado) que se usan fundamentalmente a tracción (a compresión sólo en los casos de pequeñas luces); pueden ser secciones tubulares (suelen ser las más usuales dado la mayor resistencia y rigidez que le confiere su forma) que se utilizan tanto para tracción como para compresión; pueden ser perfiles laminados o armados (compuestos) que se utilizan especialmente en obras de mayor envergadura.

NUDOS: en las mallas espaciales tienen un doble cometido. En primer lugar deben garantizar la transmisión de los esfuerzos a lo largo de toda la estructura. En segundo lugar deben facilitar el proceso constructivo de la malla y por consiguiente absorber la inevitable dispersión en las longitudes de las barra respecto de los valores proyectados al igual que sus propias deficiencias de fabricación. Estos elementos son los que básicamente diferencian y caracterizan a los distintos sistemas patentados.



Figura N° 12
Barra tubo, de acero con extremidades aplastadas que permite vincularse a través de bulones o pernos



Figura N° 13
Nudo de chapa de acero, doblada con vinculación abulonada a las barras



Figura N° 14
Nudo (sistema Mero, roscado) también pueden ser por encastre o inserción, y abulonados.



Este sistema (Mero) consiste básicamente en un poliedro de 18 caras en donde, en cada una de ellas hay un agujero con rosca. Es una buena solución para nudos muy complejos (hasta 18 barras) que se resuelve por simple roscado.

En construcciones usuales, con nudos del orden de 8 o 12 barras concurrentes, el elevado número de facetas del poliedro admite amplia libertad en la variabilidad de los ángulos de inclinación de las distintas barras.

El sistema de roscado es el siguiente: la barra tubular (1) tiene terminaciones tronco-cónicas en cada una de las cuales hay contenido un tornillo suelto (2), que tiene un agujero pequeño (3) en su cuerpo roscado.

Envolviendo a este tornillo hay una pieza tubular alargada (5) de contorno poliédrico totalmente independiente del tornillo, que tiene un agujero también alargado (4) en dos de sus caras opuestas. Enfrentando el extremo de la barra con la respectiva cara del núcleo poliédrico del nudo (7), y presentando el tornillo (totalmente flojo) con el hueco roscado (6) de dicha cara, se procede al atornillado de la siguiente manera: se pasa una chaveta fina a través del agujero alargado de la pieza poliédrica exterior (5) y también del pequeño agujero circular (3) del tornillo, y haciendo girar dicha chaveta se va atornillando a éste en el nudo. A medida que se gira la chaveta, el tornillo se adentra en el núcleo poliédrico desplazándose (y desplazando la barra) y ajustando la posición de la barra y del nudo

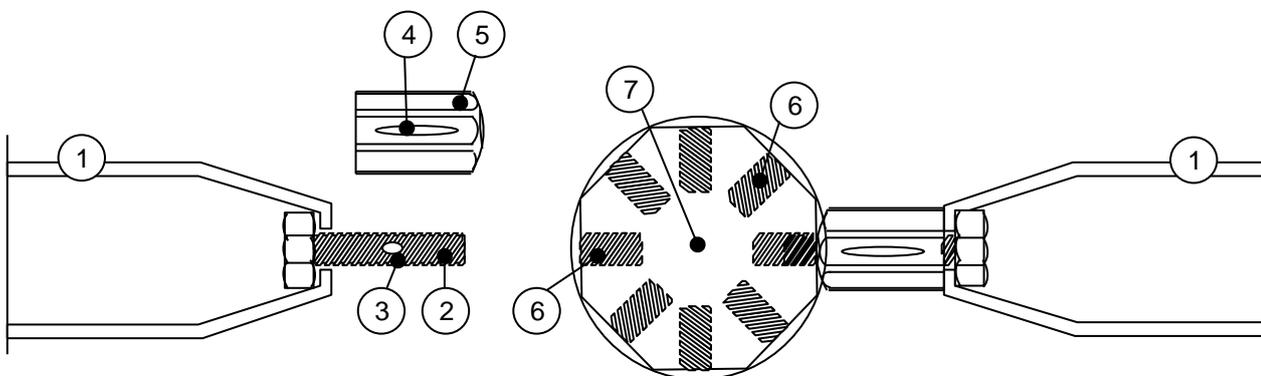
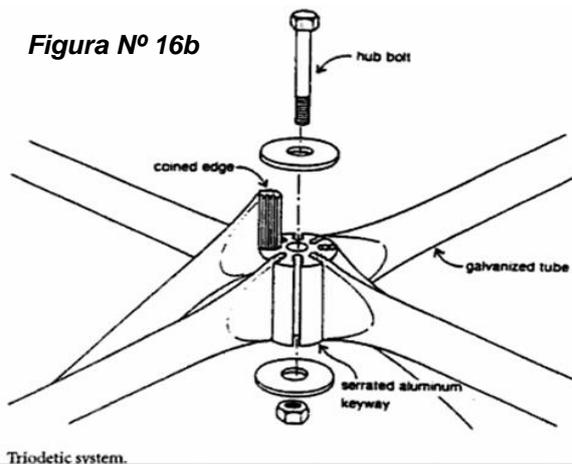


Figura N° 15 Sistema de nudo roscado

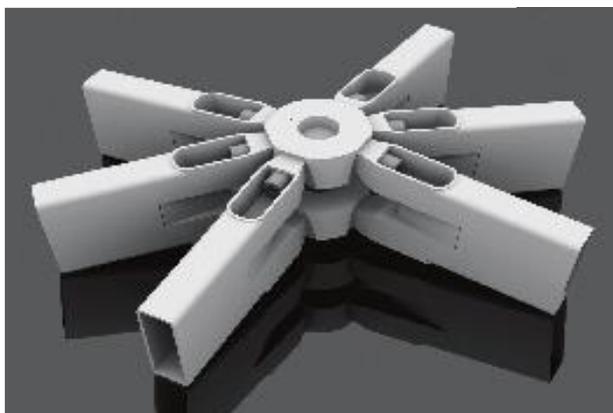
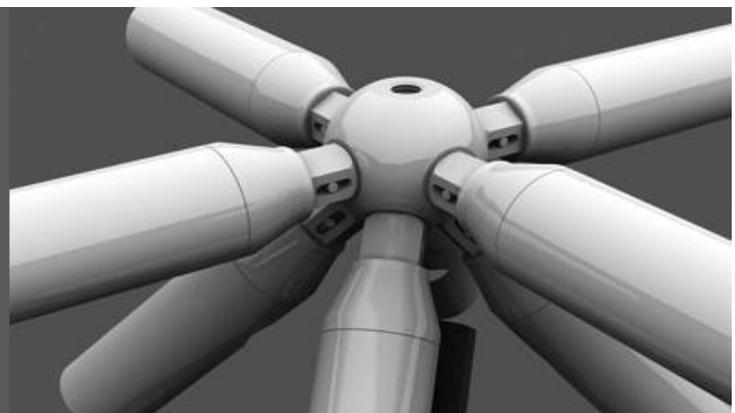
Figura N° 16a Sistema Triodetic

Sistema Triodetic: este sistema no usa soldadura, tornillos o pernos, consiste en un disco cilíndrico cuya altura es aproximadamente igual al diámetro aplastado de las barras a unir. Éstas se aplastan en sus extremos de modo de poder introducir las en hendiduras dentadas existentes en el perímetro del disco, y con martillos especiales se van deformando sus extremos hasta llenar las ranuras y quedar vinculados, pudiendo las barras acoplarse al mismo bajo cualquier ángulo de incidencia. Sólo permiten barras a 90° y a 45°.

Figura N° 16b**Figura N° 16c Sistema Triodetic**

Hay varias patentes, por ejemplo la "Space Dec" en Gran Bretaña, el sistema "Unibat" en Francia, el sistema "Octaplatte" en Alemania, en EEUU el "IBG System", el "Modu Span System", el "Power Strut System". Resulta particularmente interesante el sistema "Mero", de origen alemán, adoptado en EEUU por la Unistrut Corp

Sistema Novum

**Figura N° 17 FF - Free Form**
Conectores para mallas de una napa**Figura N° 18 KK - Kugel Knoten (Ball Node)**
Conectores esféricos para grillas de doble napa

Apoyos

Independientemente de la forma en que se adopte la conformación de una grilla para cubierta o entrepiso (barras en dos o en tres direcciones, con mallas cuadradas, rectangulares, triangulares o hexagonales en cada napa, etc.) puede además estar sustentada de muy diversas maneras.

1) Cuando se requiere una planta libre (sin columnas en el interior) se deberá recurrir a un diseño de grilla cuya resistencia y rigidez esté acorde con el orden de luces a salvar. En este caso se pueden disponer columnas metálicas o de hormigón armado, con dinteles simplemente apoyados o aporticados, sirviendo de apoyo a la grilla en su perímetro. Igualmente puede tratarse de muros o tabiques portantes.

2) En ciertos casos puede ocurrir que la planta a cubrir sea demasiado grande, o aún sin ser excesivas en sus dimensiones, no constituya un obstáculo la colocación de columnas como apoyos intermedios o interiores. Entonces es usual recurrir a un engrosamiento en ciertos puntos de la grilla mediante la colocación de un elemento piramidal invertido, cuya base tiene la misma forma geométrica que la malla de la napa. El vértice inferior de dicha pirámide apoya sobre la columna. Figura N° 19

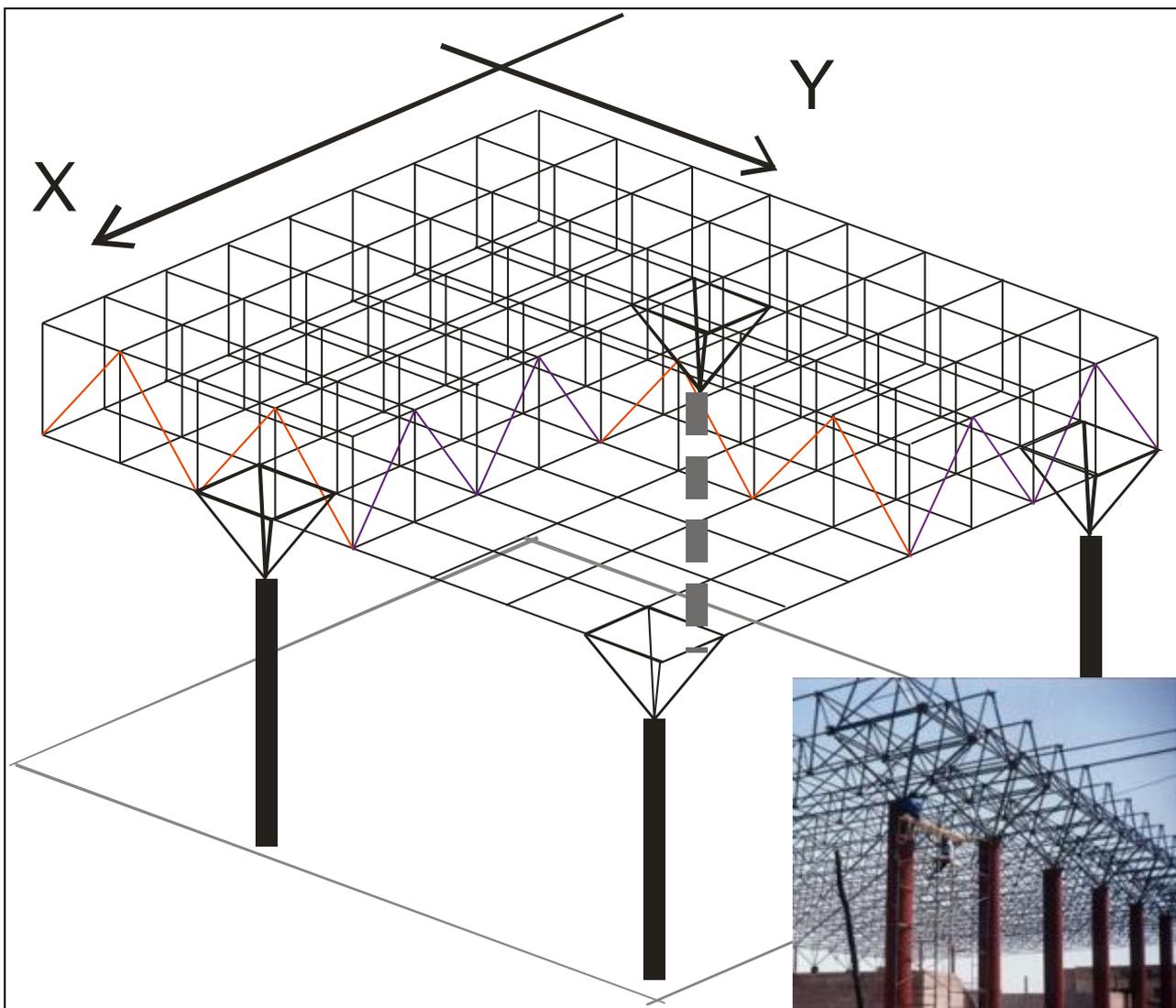


Figura N° 19 Grilla y columnas se vinculan a través de una pirámide invertida

Una grilla funciona estructuralmente en forma análoga a una placa equivalente (en forma, cargas, dimensiones y forma de apoyo), pero exenta de rigidez torsional. En el caso de una grilla apoyada no solo en el contorno sino también sobre apoyos interiores, su funcionamiento es análogo al esquema de funcionamiento estructural del entrepiso sin vigas, que apoyan en puntos discretos o superficies reducidas.

Una grilla apoyada sobre columnas aisladas puede considerarse dividida en franjas paralelas a las filas de columnas, denominadas "fajas medias o centrales" y "fajas de columnas". Estas últimas están apoyadas más rígidamente y en consecuencia, a igualdad de cargas y de luces, resisten más solicitaciones. La división de las fajas centrales y de columnas podrá realizarse aproximadamente como lo indica la figura. Hay autores que le asignan a la faja central el 60% de la luz (en vez el 50% como en este caso) y el 40% restante a la faja columna.

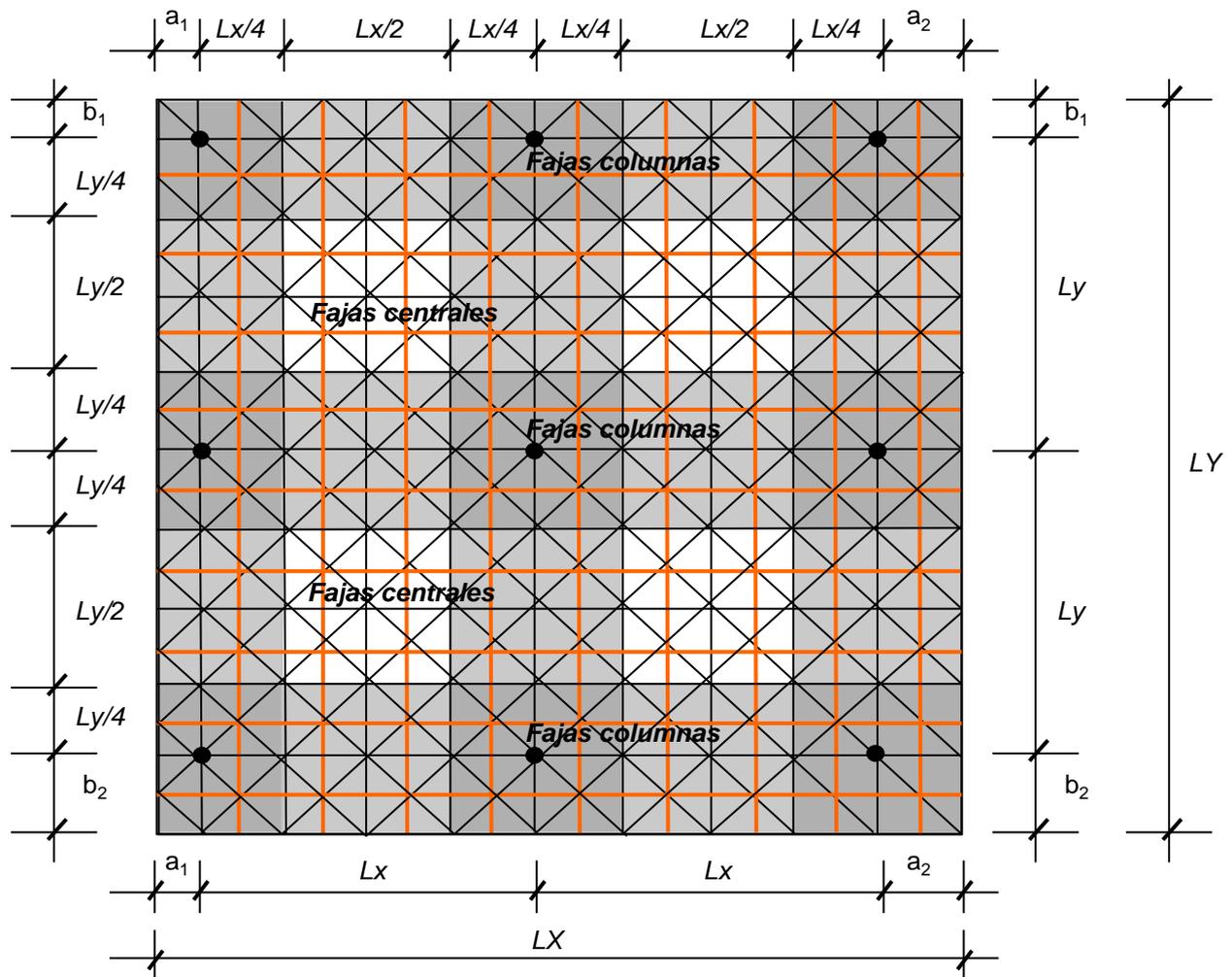


Figura Nº 20 Grilla asimilada a un entrepiso sin vigas

En particular, los sectores directamente apoyados sobre columnas, deben absorber las reacciones, y en consecuencia deben aumentar la sección de las barra (especialmente las diagonales y/o verticales concurrentes). Al efecto colabora en la mejor absorción de estas reacciones, la distribución que realizan las pirámides invertidas interpuestas entre la napa inferior y el coronamiento de las columnas.

Otra forma de sustentar una grilla puede ser vincularla con columnas que continúen el esquema espacial, dándole continuidad como un pórtico. En la figura 19 se indica una posibilidad de una grilla aporticada. Las columnas del pórtico tendrán ahora napa exterior y napa interior. Las porciones horizontales de la grilla que vinculan ambas columnas, funcionan como dinteles del pórtico. A efectos de simplificar el predimensionamiento, podemos admitir que las columnas del pórtico se analicen en dos planos independientes, esto es el plano X-Z y luego en el plano Y-Z. Los esfuerzos finales serán la superposición de ambos.

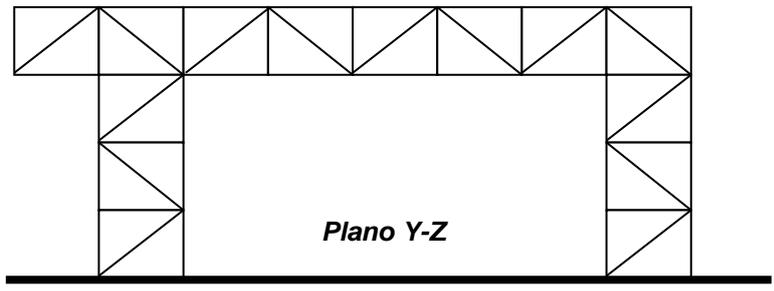
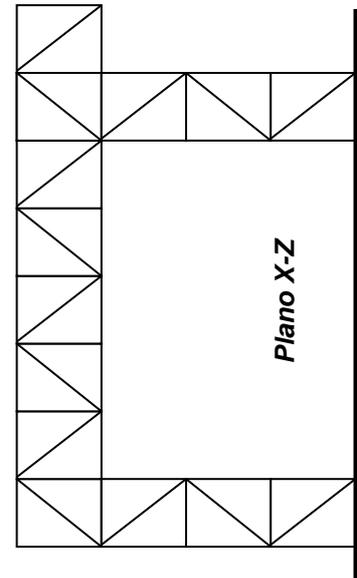
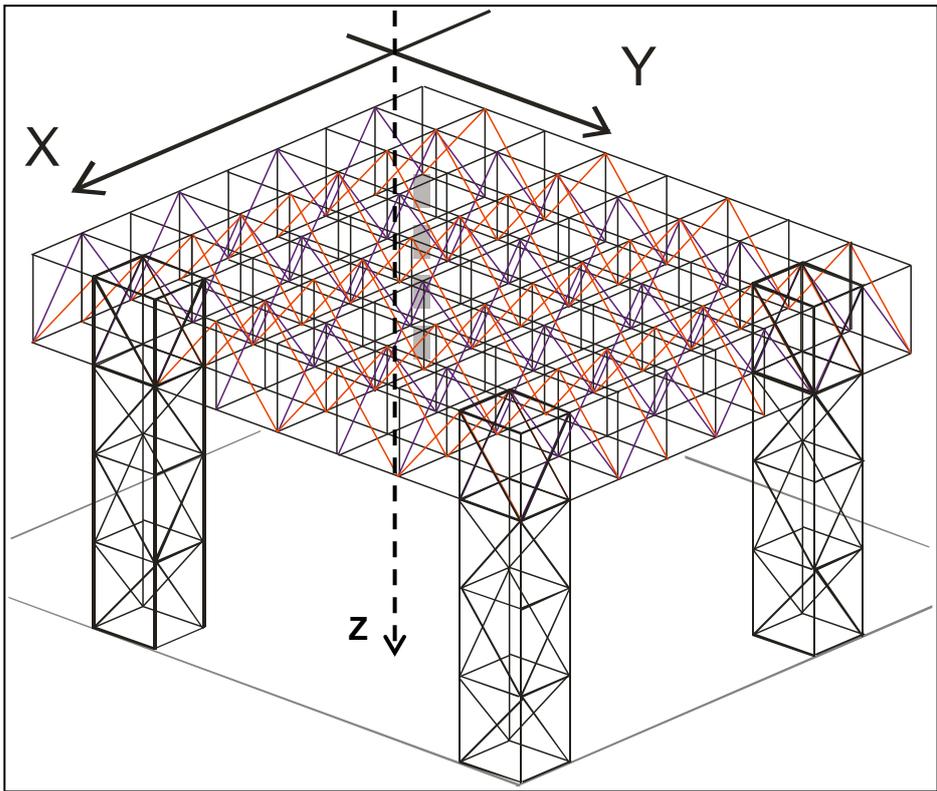
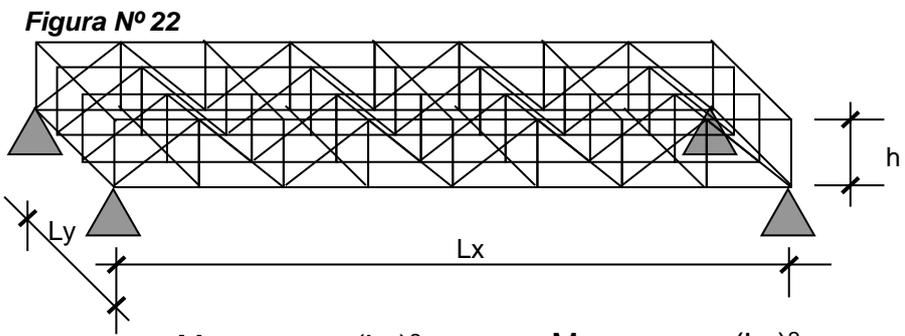


Figura Nº 21
Grillas
aporticadas

Grillas planas de doble napa, simplemente apoyadas:

Para definir las dimensiones estructurales de la grilla, podemos partir de las consideraciones más simples. Tomamos la grilla como una losa cruzada y determinamos las solicitaciones de momentos flectores y corte, por algunas de las tablas ya utilizadas oportunamente (por ejemplo Bares).



q= carga uniforme

$$W_s = \frac{\delta_x q_x (L_x)^4}{E x h^3}$$

Ws = deformada en el centro de la grilla

$$M_x = \alpha_x q_x (L_x)^2$$

$$M_y = \psi_x q_x (L_y)^2$$

Momentos según X e Y

$$Q_x = \phi_x q_x L_x$$

$$Q_y = \Omega_x q_x L_y$$

Corte según X e Y

Las tablas de Bares también proporcionan las reacciones por unidad de longitud y totales, además de los esfuerzos de momento flector y corte, para una gran variedad de placas en distintas condiciones de apoyos y de cargas.

Es útil conocer el valor de la deformada (flecha) en el centro de la placa (W_s), puesto que nos da una idea del orden de la contraflecha constructiva que debe disponerse al momento del montaje de la grilla.

Si las condiciones de apoyos (no el caso de cuatro apoyos aislados) permiten determinar unas fajas de columnas y unas fajas centrales (sin columnas), entonces la determinación de los esfuerzos se hace como en el caso de un entrepiso sin vigas, donde la distribución de momentos flectores es en función de coeficientes que tienen en cuenta la rigidez relativa de cada faja.

Dividiendo los valores de M_x y de M_y por el brazo de palanca h , se obtienen las fuerzas de compresión y de tracción en el cordón superior e inferior, respectivamente.

$$C_x = T_x = M_x / h$$

$$C_y = T_y = M_y / h$$

Con estos valores verificamos la sección A_t de las barras traccionadas del cordón inferior.

$$A_t = T / \sigma_e$$

En el caso de las barras comprimidas del cordón superior, habrá que verificar al pandeo.

$$\lambda = L_{\text{pandeo}} / i_{\text{mínimo}}$$



$$\omega$$

$$\sigma_e = C \omega / A_c \leq \sigma_{e_{\text{adm}}}$$

λ = esbeltez

L_{pandeo} = longitud de pandeo (depende de la vinculación)

$i_{\text{mínimo}}$ = radio de giro mínimo de la barra

ω = coeficiente de mayoración de pandeo, en función de la esbeltez (λ)

C = fuerza de compresión, según x: (C_x), según y (C_y)

A_c = sección de la barra comprimida que estamos verificando al pandeo

Según sea la geometría de cada grilla, deberá calcularse la longitud de las barras comprimidas y en particular las diagonales comprimidas. En el caso de la figura 22, (cuyo detalle se repite en la figura 23) donde la grilla está formada por vigas reticuladas ortogonales verticales, la longitud de la diagonal vale:

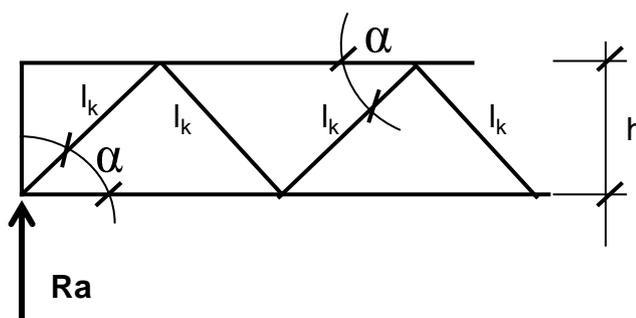


Figura Nº 23

longitud

$$l_k = \frac{h}{\sin \alpha}$$

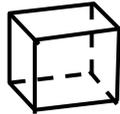
esfuerzo

$$C_d = \frac{R_a}{\sin \alpha}$$

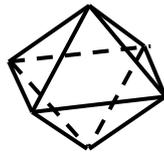
CELDAS BÁSICAS



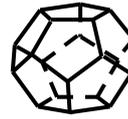
Tetraedro:
cuatro caras



Hexaedro:
seis caras



Octaedro:
ocho caras



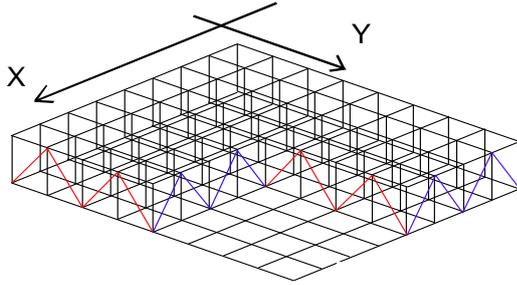
Dodecaedro:
doce caras



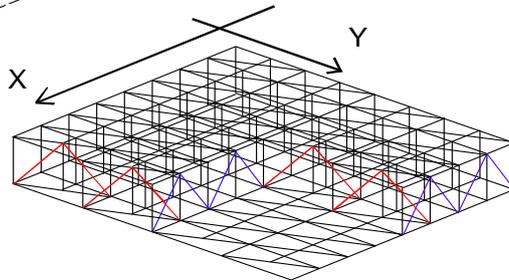
Icosaedro:
veinte caras

GRILLAS PLANAS

A 2 napas y 2 direcciones



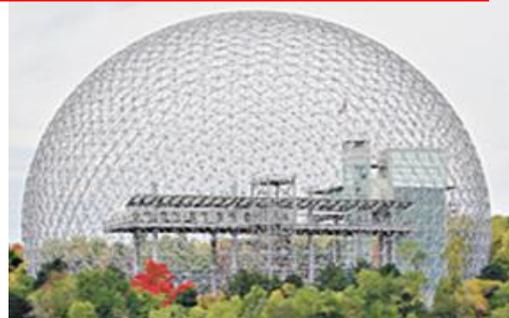
A 2 napas y 3 direcciones



GRILLAS A SIMPLE CURVATURA



Bóveda cilíndrica



Cúpula geodésica

GRILLAS A DOBLE CURVATURA



Paraboloide hiperbólico