

ESTABILIDAD ESPACIAL

*“... la estabilidad es una de las exigencias básicas que debe cumplir una estructura”
(Estructuras para Arquitectos, Mario Salvadori).*

Cuando hablamos de **estabilidad estructural** nos referimos a que, frente a cualquier perturbación, los efectos sobre la estructura deben ser mínimos y desaparecer con la perturbación.

Recuerden: “La **estabilidad espacial** de un edificio ante la acción de cargas gravitatorias y cargas laterales (viento, sismo) está garantizada por la existencia de al menos tres planos verticales de apoyo, resistentes a cargas horizontales, no paralelos ni concurrentes entre sí y un plano rígido horizontal perfectamente anclado a los planos verticales anteriormente mencionados”.(ver figura 1)

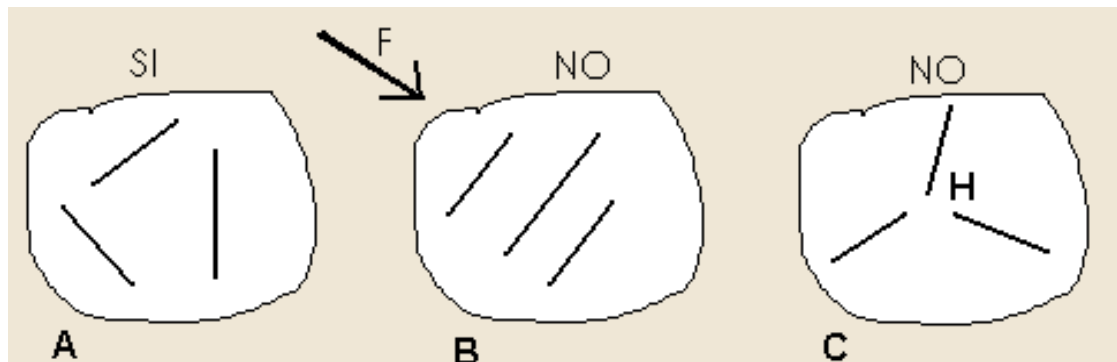
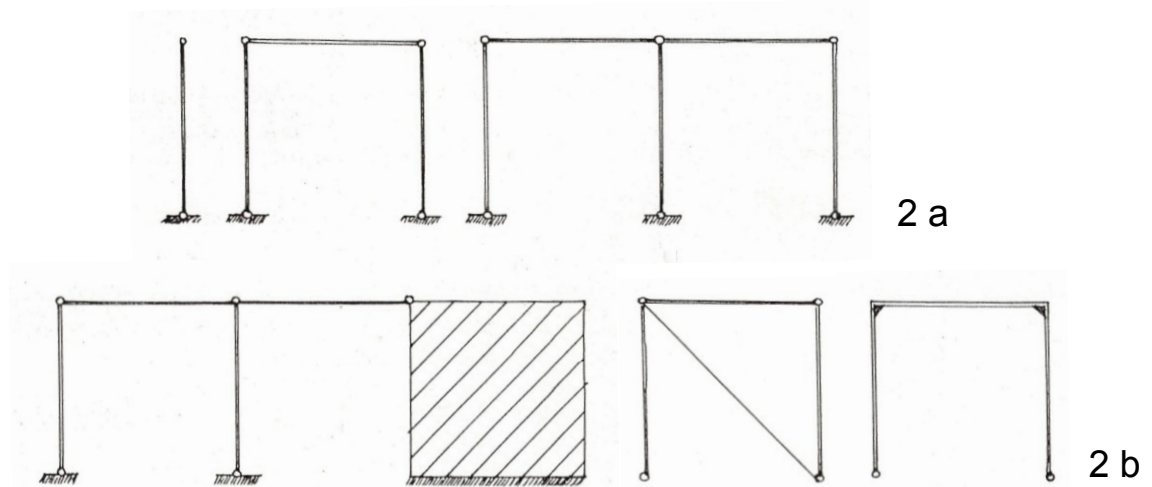


Figura 1

Un elemento inestable no gana estabilidad por unirse a otro tan inestable como él, a menos que se origine un nuevo mecanismo estable en sí mismo y diferente al anterior (ver figuras 2 a y b).



Figuras 2 a y b

Estas condiciones deben verificarse tanto en una pequeña construcción donde los planos verticales pueden ser muros de mampostería y el plano horizontal una losa de hormigón armado, como en las construcciones de grandes luces.

Cuando las dimensiones aumentan, es necesario considerar en estos planos **elementos intermedios** de mayor rigidez, como vigas principales, secundarias y correas, para resistir flexiones frente a acciones perpendiculares a los mismos (cargas gravitatorias o de viento). Se considerará entonces que un **plano resistente** es cualquier mecanismo estructural como viga, pórtico, arco, plano reticulado, capaz de resistir fuerzas importantes en su propio plano y sin capacidad resistente en dirección perpendicular.

A partir de un ejercicio de diseño vamos a analizar el funcionamiento de los mecanismos resistentes que brindan **estabilidad espacial** al edificio. Consideramos que debe ser una **estructura indeformable** frente a las acciones de fuerzas gravitatorias (cargas verticales) y fuerzas producidas por el viento o sismo (cargas horizontales equivalentes).

Partimos del diseño de un edificio de grandes luces cuyo destino es salón de usos múltiples. La luz a cubrir es de 40m x 60m con una altura libre de 7m.

Se propone una **estructura** conformada por **vigas reticuladas planas** de 3m de altura (aprox. luz libre/13), colocadas cada 10m, que en sus extremos apoyan en **columnas** metálicas. Las **correas** de tubos de acero se colocan sobre el cordón superior de las **vigas principales** y en dirección perpendicular a ellas. Están separadas entre sí 2.50m, coincidiendo con los nudos del reticulado (ver figura 3). Sobre éstas se fija la chapa de cubierta.

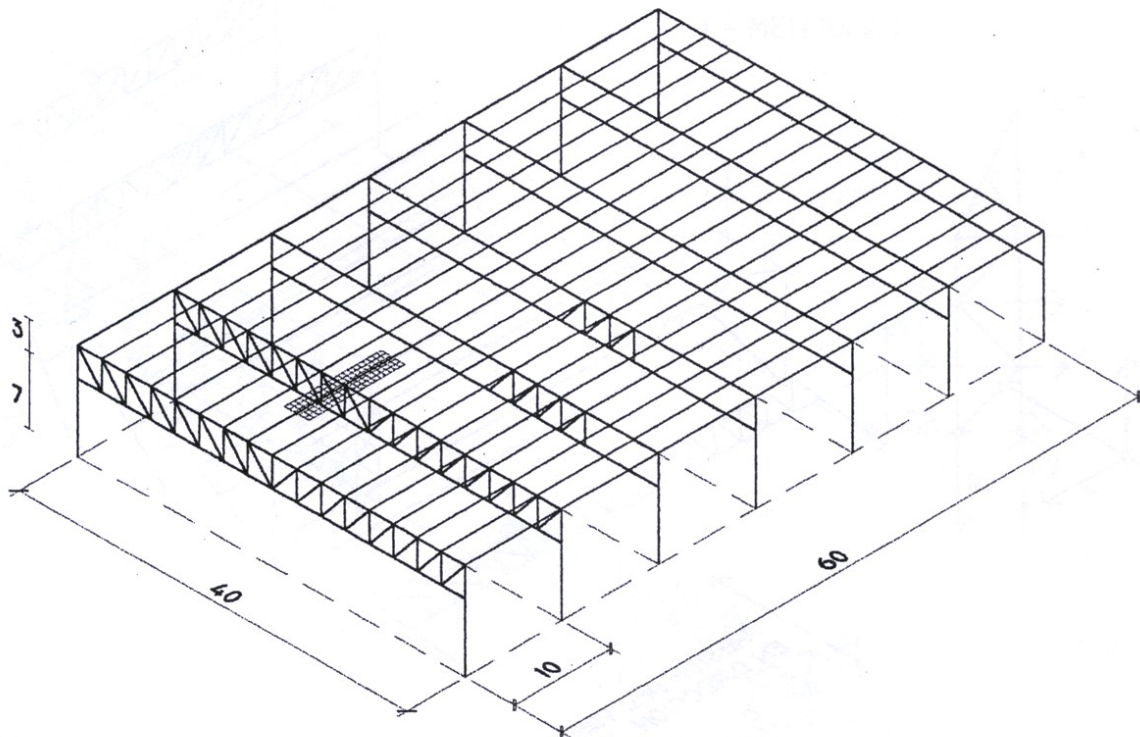


Figura 3. Estructura resistente.

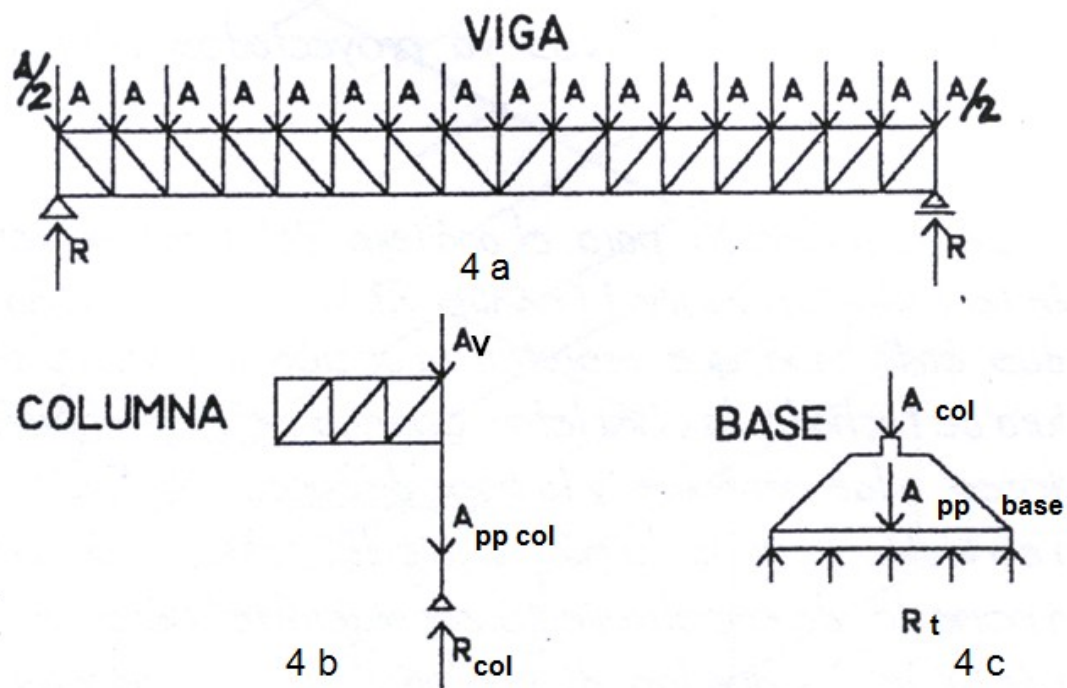
Vamos a analizar en primer término la estabilidad de la estructura frente a las **cargas verticales** originadas por el peso propio de la estructura y cubierta, sobrecarga de uso y alguna sobrecarga variable como por ejemplo nieve. Utilizaremos el principio de acción y reacción en la interacción entre elementos estructurales cumpliendo con las condiciones de equilibrio estático en cada elemento.

Las **correas** transmiten por flexión la carga de cubierta a las **vigas principales**. Estas cargas P_{cub} aplicadas en los nudos del reticulado equivalen al producto entre la carga superficial de cálculo q_g en kg/m^2 y la **superficie de influencia** en cada nudo que es igual a $10m \times 2.5m = 25m^2$ (separación entre nudos del reticulado).

El equilibrio de la **viga** se logra por la reacción R_v de las **columnas** metálicas cuyo valor será igual a la suma de cargas en los nudos dividida por dos.

El equilibrio en la **columna** se logra con la carga vertical A_v transmitida por la **viga**, el peso propio de la columna y la reacción R_c de la **fundación** sobre la columna.

La **fundación** a su vez estará en equilibrio cuando a las acciones aplicadas por la **columna** y a su peso propio los corresponda la reacción R_t que el **terreno** ejerce sobre ella (ver figuras 4 a, b y c).



Figuras 4 a, b y c. Mecanismo resistente para cargas gravitatorias

En el caso de las cargas horizontales, la **presión y succión de viento** son las principales acciones a considerar a la hora de diseñar un mecanismo estable para una estructura de grandes luces.

Frente a una **presión de viento** sobre el plano de fachada, por ejemplo en la dirección **Y**, la estructura, como la concebimos hasta ahora, se deformaría (ver figura 5).

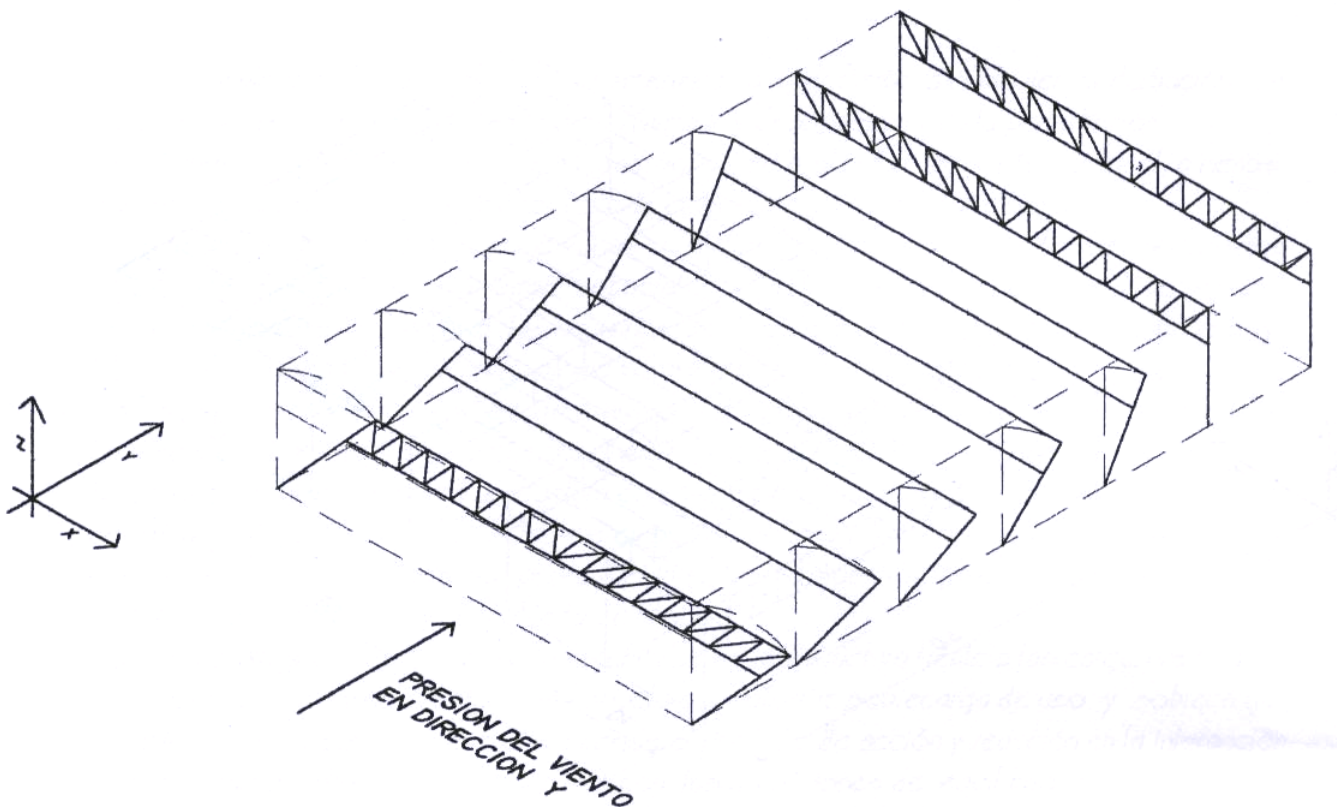
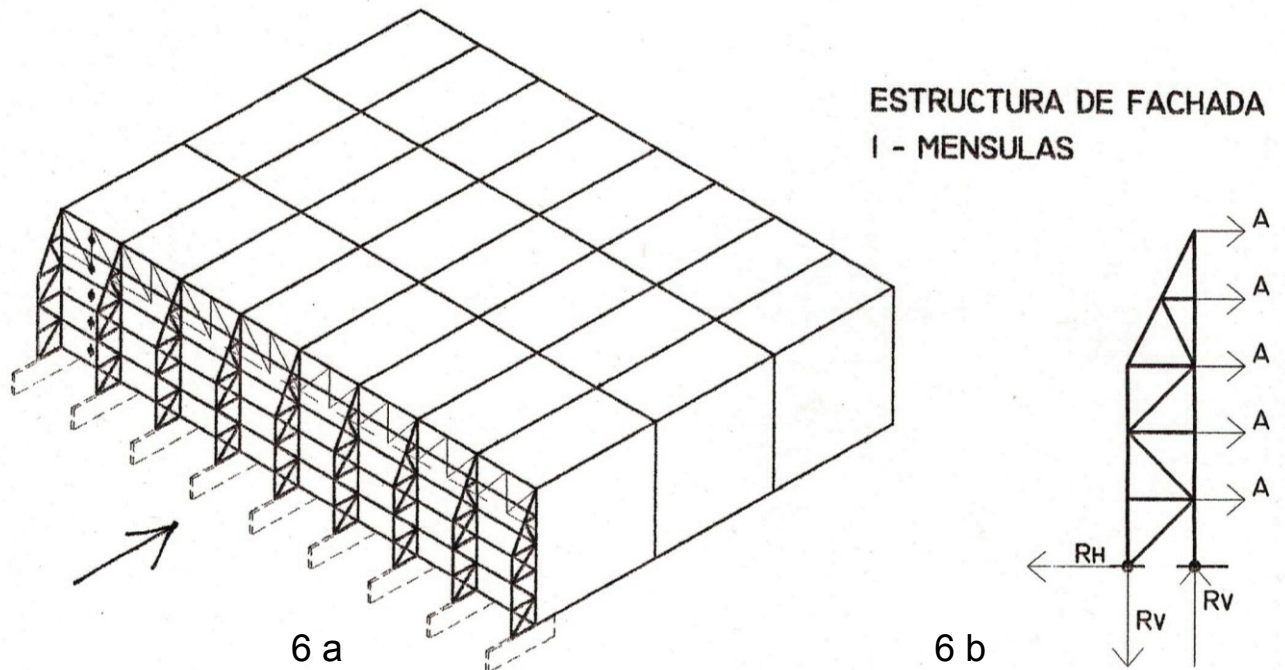


Figura 5. Inestabilidad de la estructura para cargas de viento.

El **plano horizontal** de la cubierta, que está conformado por elementos simplemente apoyados, es **deformable** frente a la acción de **fuerzas horizontales**. A su vez se apoya sobre planos verticales paralelos entre sí formados por vigas y columnas. La deformación es, no sólo muy evidente, sino que llegará a producir el colapso de la estructura.

Para completar la estructura y darle **estabilidad frente a fuerzas horizontales** diseñaremos los **mecanismos mínimos indispensables** utilizando elementos ya proyectados para resistir la acción de cargas verticales.

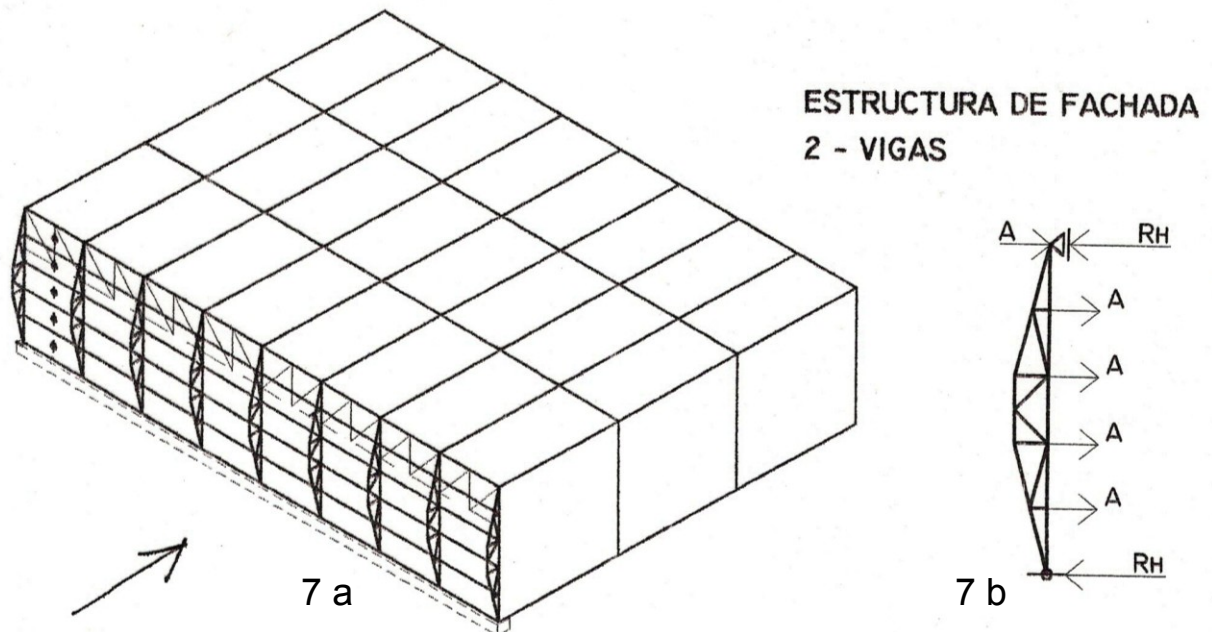
En primer lugar, siguiendo el orden establecido para el análisis del funcionamiento de la estructura, diseñaremos el **plano de fachada**. La opción 1 (ver figura 6 a y b) consiste en una serie de **ménsulas reticuladas**, empotradas en la base, que resisten la acción del viento sin transferir cargas a la cubierta. Completan esta estructura de fachada **correas metálicas horizontales** que por flexión transmiten las acciones a las **ménsulas**, y a través de éstas últimas, a la **base de fundación** donde se empotran las ménsulas.



Figuras 6 a y b. Mecanismo resistente para cargas de viento

Esta propuesta es viable, pero no la más eficiente, teniendo en cuenta que las fundaciones deben resistir un **momento de empotramiento M** considerable (ménsulas de 10m de altura con un área de influencia A de $10\text{m} \times 5\text{m} = 50\text{m}^2$), dependiendo sus dimensiones de la **capacidad resistente del terreno**.

La opción 2 (ver figura 7 a y b) propone como elementos principales **vigas reticuladas verticales** simplemente apoyadas en el plano de cubierta y en el plano de fundación. Estas vigas transmiten por **flexión** parte de la carga al terreno y parte a la cubierta.



Figuras 7 a y b. Mecanismo resistente para cargas de viento

El **plano horizontal** de cubierta está constituido por elementos simplemente apoyados diseñados para resistir cargas verticales, sin ninguna rigidización que impida deformaciones frente a acciones horizontales. Para crear un mecanismo resistente utilizamos parte de los elementos existentes y formamos una **viga reticulada horizontal** de 40m de luz libre que, trabajando a flexión, transmita las cargas que recibe de las vigas de fachada a planos resistentes verticales que analizaremos después (ver figura 8). Las barras **a, b y c** de esta viga cumplen una doble función ya que forman parte de los mecanismos resistentes a cargas verticales y horizontales, y tendrán diferente sección de las que sólo están solicitadas para cargas verticales. Agregamos las diagonales **d**, diseñadas para trabajar a tracción, que permiten materializar el **plano indeformable**.

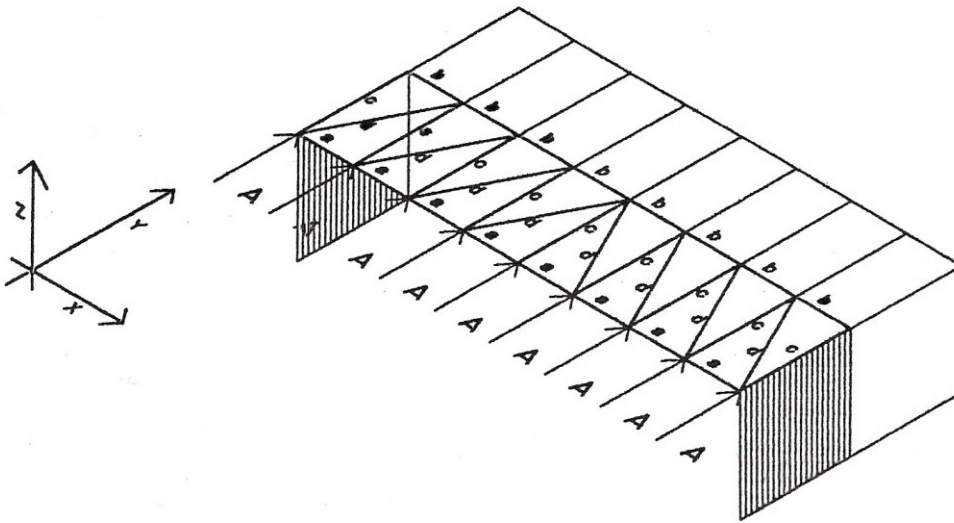
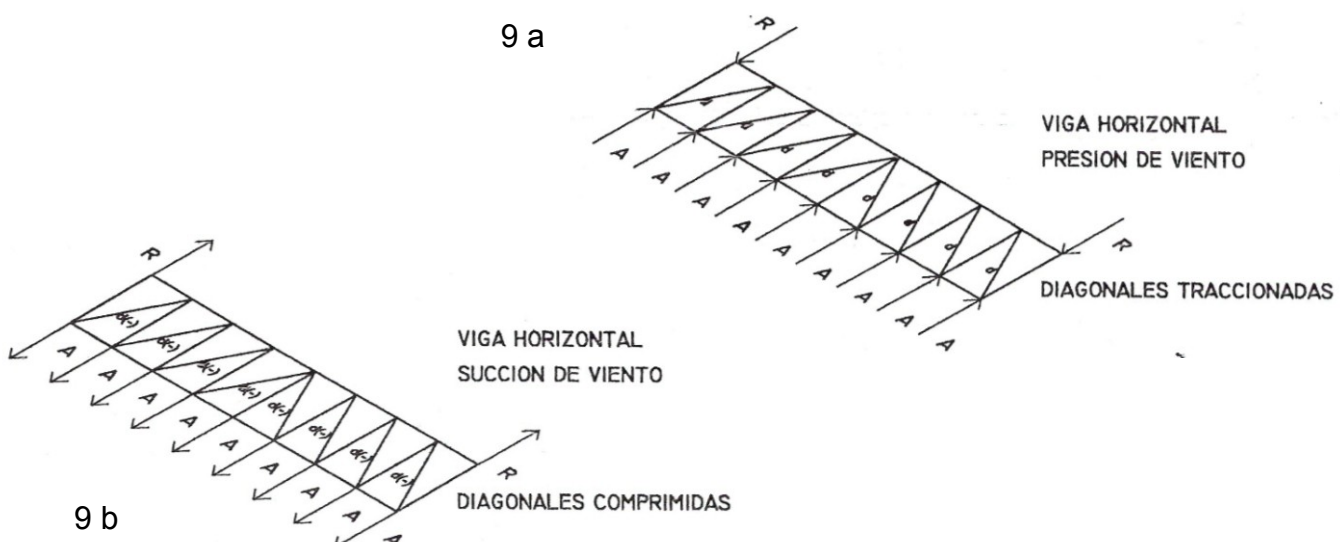


Figura 8. Estructura de cubierta. Viga horizontal para cargas de viento.

Como la dirección y el sentido del viento pueden cambiar, las acciones horizontales equivalentes sobre las fachadas pueden invertir su sentido (presión o succión) y por lo tanto también pueden invertirse las solicitaciones en las barras, de este modo las diagonales traccionadas pasarían a trabajar a compresión (ver figura 9 a y b).



Figuras 9 a y b

Este cambio de sollicitación implica el diseño de una barra de mayor sección, capaz de resistir el esfuerzo (inestabilidad al pandeo), y por lo tanto de mayor costo. Por estos motivos suelen utilizarse dos diagonales sin capacidad de resistir compresiones, lo que garantiza que siempre trabajen las traccionadas, permaneciendo la viga como una estructura isostática (ver figura 10).

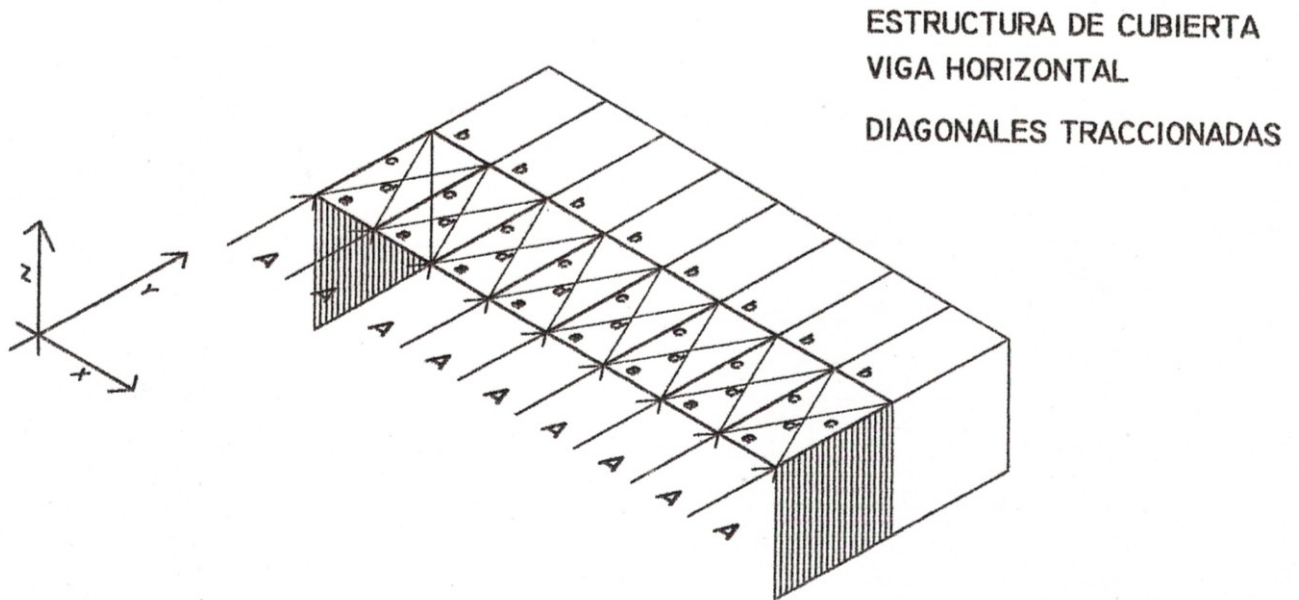


Figura 10. Mecanismo resistente para cargas de viento

Por el principio de acción y reacción, las reacciones R de apoyo de las **vigas horizontales** en los **planos verticales**, se convierten en acciones A_H cuando analizamos el equilibrio de éstos últimos. Para materializar los **planos resistentes verticales** podemos utilizar elementos existentes del mecanismo propuesto para cargas verticales y formar, por ejemplo, **planos reticulados** compuestos por las columnas metálicas y barras diagonales (ver figura 11).

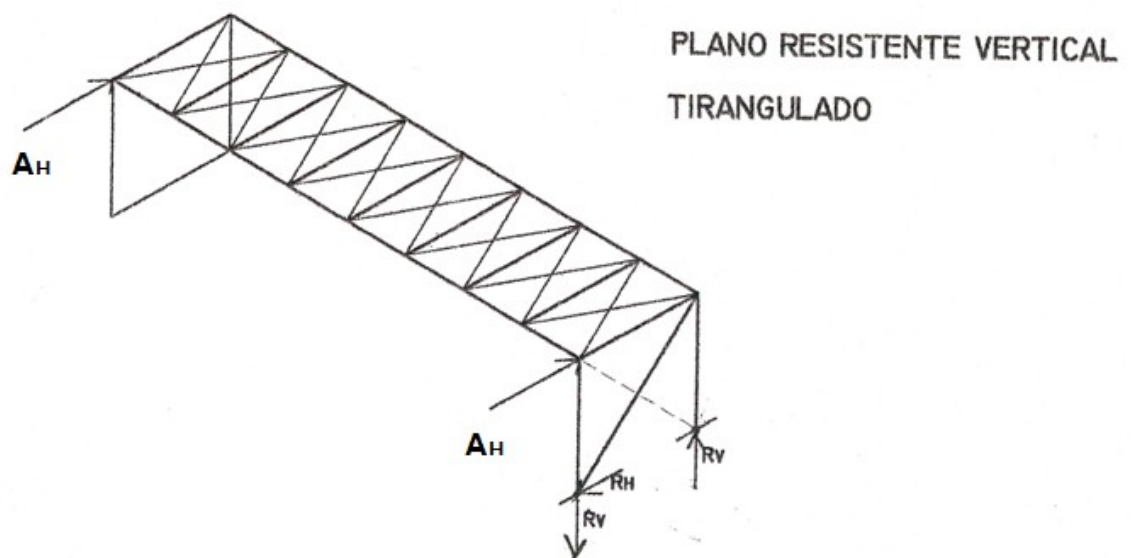
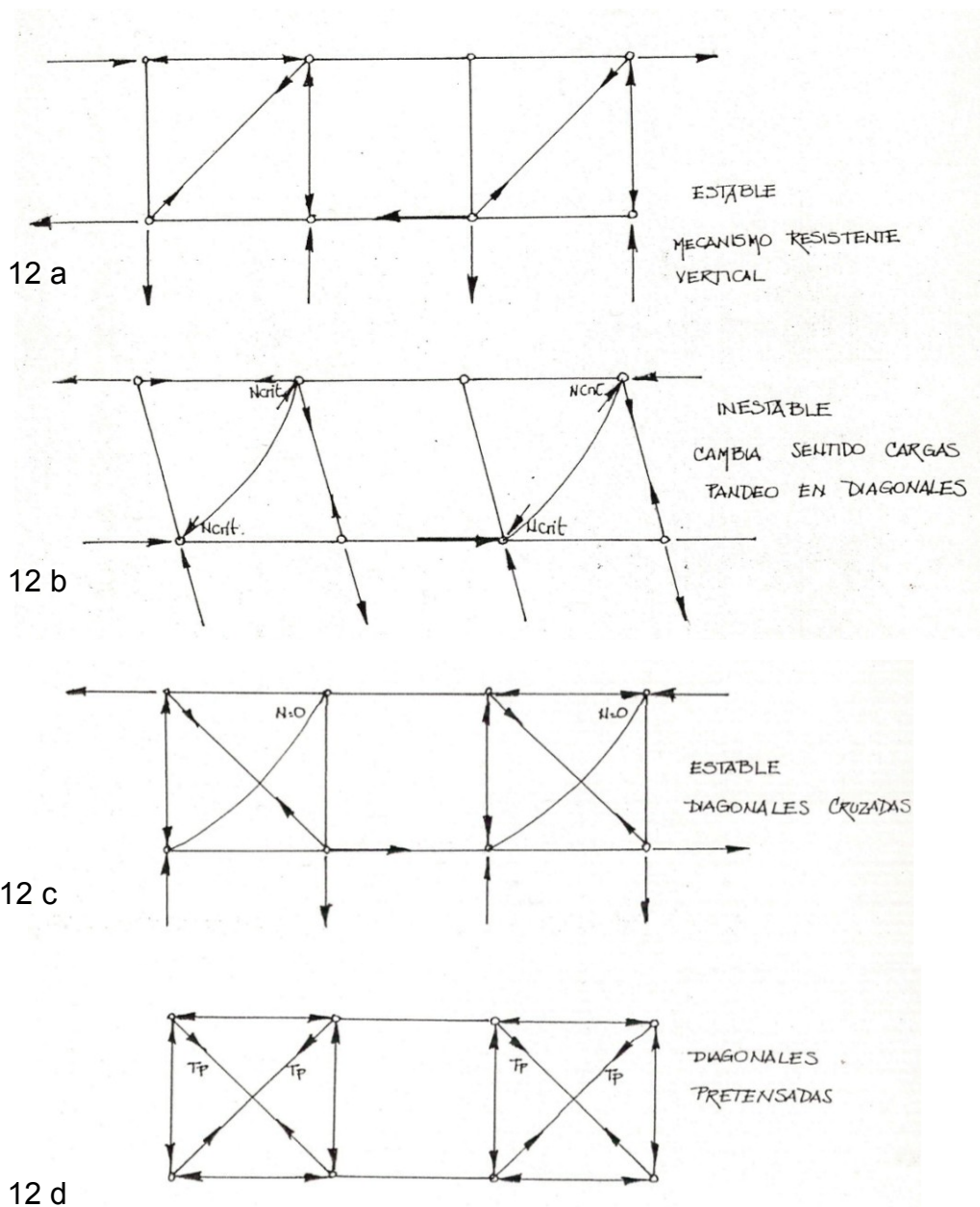


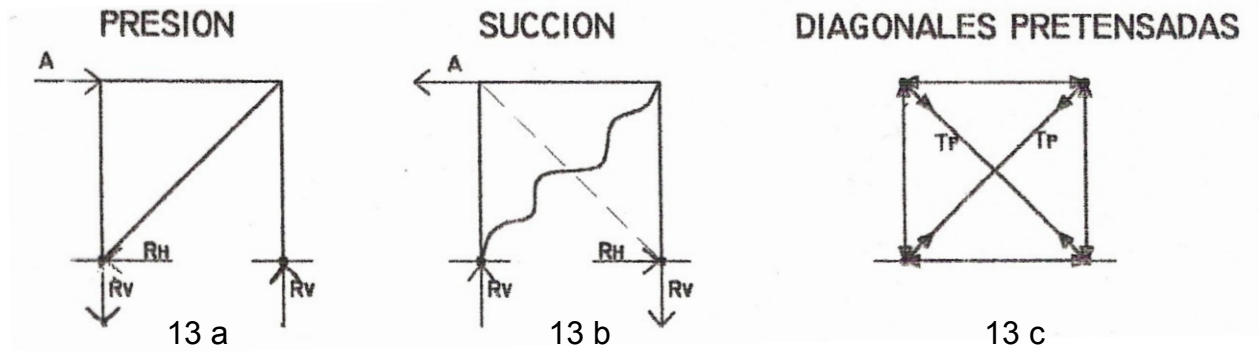
Figura 11. Mecanismo resistente para cargas de viento

Para las diagonales vale la misma observación realizada para vigas reticuladas con respecto al tipo de solicitación y a la preferencia por la utilización de dos diagonales trabajando alternadamente a tracción (ver figuras 12 a, b, c y d).



Figuras 12 a, b, c y d

“El inconveniente que pueden presentar las barras que se aflojan por pandeo es que al cambiar rápidamente el sentido de la carga, pasan a estar traccionadas produciendo un tirón brusco que es mucho más perjudicial que la misma carga aplicada en forma progresiva, o casi estática. Los elementos de unión: chapas perforadas, bulones, etc., son los más perjudicados por ese impacto. Como solución suele recurrirse a una ligera tracción previa T_p , que se da en las diagonales para que no lleguen a aflojarse” (Intuición y Razonamiento en el Diseño Estructural, Daniel Moisset de Espanés) (ver figuras 13 a, b y c)



Figuras 13 a, b y c

El mecanismo resistente a cargas horizontales en la dirección **X**, se analizará según los mismos criterios, aprovechando los mecanismos existentes para cargas verticales (figura 14).

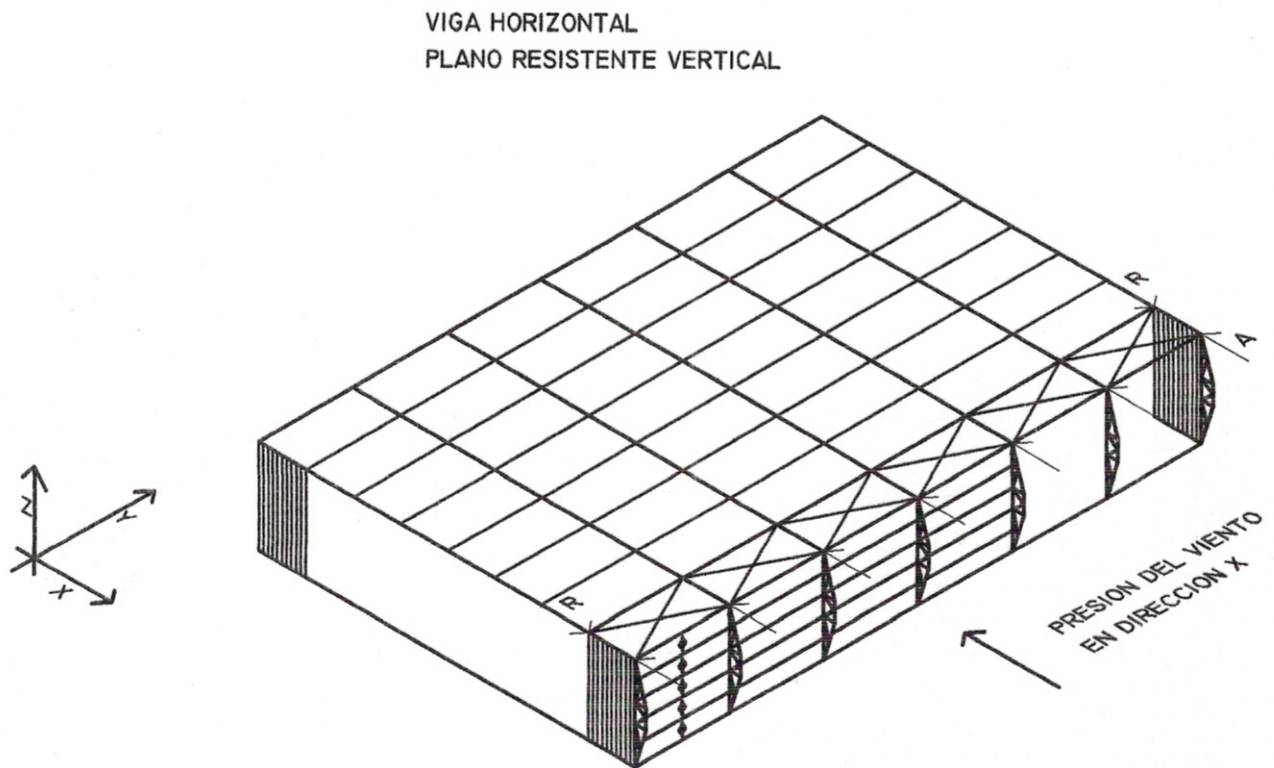


Figura 14. Mecanismo resistente para cargas de viento

La **viga reticulada plana horizontal** salva ahora una luz libre de 60m, con apoyos en los **planos resistentes verticales** que pueden diseñarse de manera similar a los de las fachadas en la otra dirección, pero con diferentes dimensiones en función de la modulación y de las solicitaciones. Para elegir la altura de la viga reticulada horizontal es necesario contemplar la magnitud de las cargas y la luz que cubre, para evitar deformaciones excesivas en elementos de cubierta.

El **plano de cubierta** puede conformarse como **plano resistente horizontal**, mediante el agregado de diagonales, completando los mecanismos resistentes para cualquier dirección y sentido en que puedan considerarse las cargas horizontales (ver variantes en figura 15).

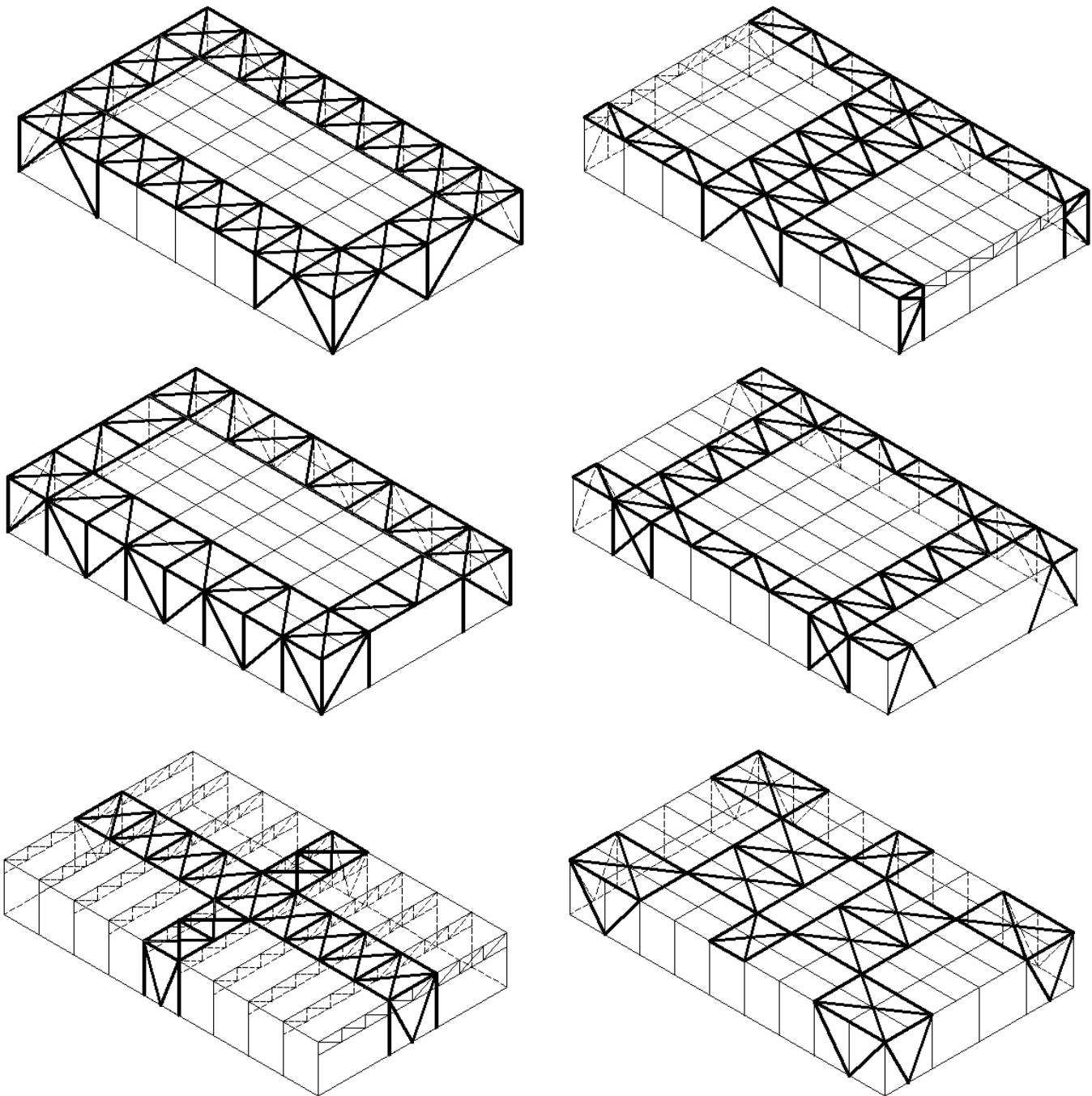
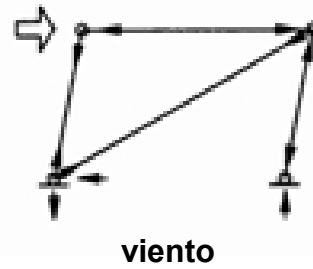
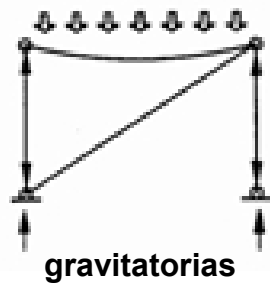


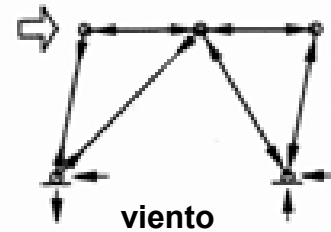
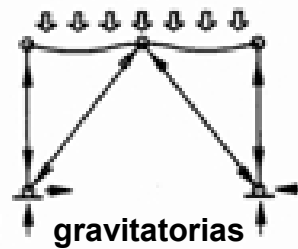
Figura 15. Arriostramiento plano de cubierta.

Los **planos resistentes verticales** materializados por la triangulación de sus elementos, pueden adoptar distintas configuraciones.

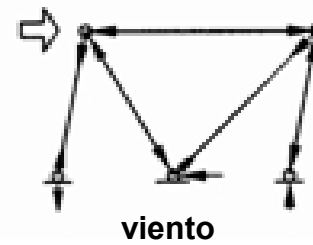
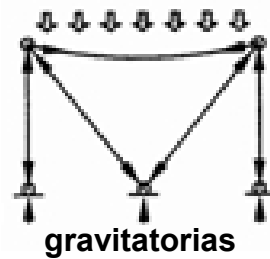
Estas podrán ser consideradas en función de otras condicionantes de proyecto, como localización de puertas y ventanas (ver figuras 16 a, b, c y d)



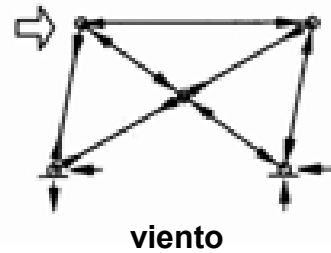
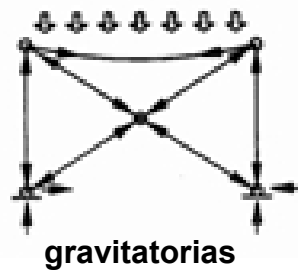
16 a. Simple diagonal



16 b. Forma de A



16 c. Forma de V



16 d. Forma de X

Bibliografía:

- **MOISSET, D. (1999).** Intuición y Razonamiento en el Diseño Estructural, Córdoba, Argentina. Editorial Ingreso.
- **TORROJA, E.** Razón y ser de los tipos estructurales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. España.
- **GOMEZ, J. L. (2001).** Estructuras en Arquitectura, Córdoba, Argentina. Editorial: Imprenta Ingreso.
- **SALVADORI, M. (1986).** Estructuras para Arquitectos, Madrid, España. Kliczkowski Publisher.
- **CATEDRA DE ESTRUCTURAS IV (1988).** Apuntes de Cátedra.