

# Cálculo versus diseño (\*)

Waclaw P. Zalewski (\*\*)

(\*) Este ensayo forma parte del libro del autor: *Hacia la interpretación fenomenológica de las estructuras en educación y en la práctica*, Mit, en prensa.

(\*\*) Profesor del IDEC-FAU-UCV y del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT).

Cuando se amplía el tema de la necesidad de desarrollar la capacidad de síntesis de los elementos que definen el comportamiento de los sub-sistemas, a la formación de los conocimientos estructurales del Ingeniero o Arquitecto, se detecta que el actual proceso de aprendizaje de las estructuras les ha hecho indiferentes ante el tipo de demanda antes mencionada, haciendo caso omiso de lo que es de primera importancia para los proyectistas.

Lo que falta en la enseñanza de las estructuras son los estudios fenomenológicos que permiten sintetizar los conocimientos del comportamiento estructural y que además también faciliten la exposición de los mecanismos de transmisión de fuerzas a través de las estructuras.

Es una lástima que este enfoque de estudios se encuentre fuera de la corriente del interés intelectual y profesional del establecimiento estructural.

No hay duda que esta situación no es ventajosa ni para nuestros edificios, ni para el desarrollo de tendencias racionales en la construcción industrializada, ni tampoco para el adelanto del arte y la práctica del diseño estructural.

Los trabajos e ideas (contrarias a las tendencias y prejuicios analíticos que dominan) de los maestros del diseño estructural deben ser tratados como una excepción del curso general descrito.

Los volúmenes de cálculos estructurales se hacen cada vez más gruesos mientras el interés en el diseño propio de las estructuras se disminuye.

A veces se llama diseño estructural al trabajo limitado a la determinación de esfuerzos, de espesores de planchas de acero o de secciones de armaduras en concreto, o a las actividades similares. Se olvida que el diseño estructural es un proceso creativo orientado hacia la exploración y la búsqueda de las formas estructurales que cumplan en la manera adecuada con los criterios básicos del proyecto.

Frecuentemente se olvida que la tarea principal del diseñador estructural es solucionar los problemas que surgen durante el transcurso de todo el período de diseño y de realización de la obra, incluyendo en esta tarea la aprehensión conceptual inicial de la parte técnica, la elaboración del método de su implementación y la justificación por la simulación matemática o experimental de la lógica del proyecto desde el punto de vista de seguridad, funcionamiento, economía, etc.

Los cálculos estructurales que deben representar la simulación analítica de comportamiento estructural del edificio cumplen la función de apoyar la determinación de dimensiones y resistencias de los componentes y en la determinación del grado necesario de seguridad y durabilidad.

Pero los más gruesos cálculos de nada sirven cuando el proyecto de la estructura es incorrecto o cuando sus resultados no están incorporados en la obra. Sin despojar a los cálculos de su importancia hay que verlos solamente como la disciplina auxiliar al proceso del diseño.

El nombre "el calculista" se refiere entonces a un especialista en el análisis estructural, pero no es equivalente a la denominación "proyectista estructural". Una mirada por la literatura existente en el campo de la ingeniería estructural es suficiente para darse cuenta del enorme énfasis sobre los aspectos de análisis. Innumerables trabajos están dedicados a los detalles y a veces sutilezas de los métodos matemáticos aplicables al proceso de determinación de los esfuerzos y las deformaciones en las condiciones particulares.

Todo eso crea la impresión de que el tratamiento fenomenológico de la teoría, como también de diseño y evaluación de estructuras, es superficial y no tiene base científica, por ser libre de una dependencia absoluta de los atavíos matemáticos.

El énfasis excesivo puesto sobre los aspectos computacionales de diseño estructural ha causado un distanciamiento y la pérdida del lenguaje común entre arquitectos e ingenieros. Cuando la enseñanza estructural de ambos, no está desarrollando una habilidad y costumbre espontánea de percibir y prever (con poco o ningún cálculo) las relaciones entre la forma de estructura y su funcionamiento, puede producirse durante el proceso de diseño la siguiente situación hipotética:

El arquitecto solo determina la forma de la estructura, a base de sus propios criterios, sobretodo visuales, mientras que el ingeniero está satisfecho -si su educación estructural le hizo creer que cálculo es diseño- con la ejecución de análisis de la estructura que tiene forma ya predeterminada. La actitud del ingeniero en esta hipótesis lo convertiría en una especie de "Contabilista Estructural".

Pero independientemente de si la situación descrita es teórica o real, o de quien sea, arquitecto, ingeniero o escultor, el originador del concepto básico estructural, el proyecto basado sobre este concepto debe ser racional, para que el edificio resulte económico, funcional, seguro y agradable. Para alcanzar este objetivo, otro tipo de habilidad y experiencia se hace esencial, diferentes de aquéllos basados en la convicción de que las fórmulas y ecuaciones simulan suficientemente la realidad física y que una manipulación ágil de ellas representa la "quinta-esencia" del trabajo del diseño de una edificación.

No se debe tampoco olvidar que la inmersión excesiva en el análisis puede enturbiar la claridad del proceso creativo del diseño.

### La visualización del comportamiento estructural

El desarrollo de la percepción de la naturaleza de propiedades mecánicas y resistentes de las estructuras resulta de la observación directa o indirecta de cómo las estructuras reaccionan a las fuerzas en ciertos casos típicos.

Las conclusiones sacadas de observaciones o contemplaciones sobre la manera de transmisión de las fuerzas a través de las estructuras conducen a la noción del flujo de las fuerzas internas. El concepto del flujo de fuerzas es análogo (aunque no es idéntico) al flujo de fluidos o gases, con todas las ventajas de la fácil percepción de estos fenómenos, y por eso enriquece enormemente el modo de ver el funcionamiento de los sistemas resistentes.

Una vez conocidos los principios de este funcionamiento, uno puede asumir una postura activa, tratando de manejar el recorrido del flujo de fuerzas internas por las manipulaciones con la geometría de estructura y con su material.

Esta actividad ya constituye una parte del diseño si se le incorpora en el proceso del diseño del edificio y se le somete a los requerimientos y restricciones del proyecto.

Aunque la noción del flujo de fuerzas es de carácter figurativo, el utilizarla para sintetizar y describir en forma simple pero precisa (lo que es esencial en el trabajo interno de las estructuras) los aspectos geométricos y físicos del flujo de fuerzas, tiene una base firme en las características bien definidas y mensurables de la mecánica, tales como esfuerzos principales y sus trayectorias.

Con la ayuda de la noción del flujo de fuerzas se puede hablar de la canalización de fuerzas, dirigiéndolas conforme a ciertas ideas previas del comportamiento deseable.

También se puede observar que un buen diseño estructural está relacionado al tráfico organizado y racional

de fuerzas, obligadas (por decisiones del proyectista) a seguir las trayectorias determinadas por él.

Por ejemplo, las conexiones entre las partes de la estructura se pueden ver como las puertas o exclusas en los canales que conducen las fuerzas. El aumento de la velocidad del flujo que pasa por la angostura de una puerta corresponde en la analogía estructural a la concentración de esfuerzos en juntas.

El flujo de fuerzas como una representación del estado de fuerzas internas puede ser contemplado visual o verbalmente, lo que abre nuevas posibilidades para la percepción de los fenómenos estructurales, los cuales son a menudo difíciles de entender con el uso del lenguaje matemático solamente.

Las figuras 1-4 presentan ciertos casos de la aplicación del conocimiento del recorrido de fuerzas en una viga, en la creación (por Morsch) del modelo de trabajo de viga construida de concreto armado. El modelo toma en cuenta el hecho de que el concreto es poco resistente en tracción, lo que resulta en su agrietamiento perpendicular a la dirección del flujo de fuerzas de tracción. Como en el concreto armado la manera de reaccionar a cargas varía con su agrietamiento, eso afecta también al flujo de fuerzas internas. Las figuras 5-6 representan, por ejemplo, la imagen del trabajo de una viga bajo cargas próximas a las últimas cuando la armadura inferior está bien anclada en los soportes. Se nota fácilmente la similitud al trabajo del arco.

Las figuras 7-12 presentan los casos análogos del mecanismo resistente de las ménsulas.

Las figuras 13-15 explican lo básico que se refiere a los flujos de fuerzas en las paredes que trabajan como vigas.

El mecanismo de la repartición de fuerzas internas causadas por carga local aplicada al borde de elemento es visualizado en la figura 16, mientras las figuras 17 y 18

sirven como una aclaración de la diferencia entre el comportamiento de concreto normal (fig. 17) con agregados duros que atraen el flujo de fuerzas y comportamientos de concreto liviano (fig. 18) con huecos que obviamente están evadidos por las líneas de fuerzas.

Un ejemplo muy simple de una intervención en la canalización del flujo de fuerzas internas es presentado por las figuras 19 y 20. En un edificio de hotel construido en concreto monolítico, los muros longitudinales internos del corredor central trabajan como vigas altas, cubriendo espacios libres en la planta baja. El traslado de ciertas puertas en estos muros obligó al flujo de fuerzas a seguir la trayectoria (flechas) funicular, arqueada, mecánicamente muy eficiente, dentro del muro perforado por una multitud de aberturas que normalmente crean los obstáculos para los flujos de fuerzas internas.

#### Efectos estructurales de la industrialización

La visualización del estado de fuerzas por su flujo es muy útil en la investigación de estructuras construidas por métodos industriales.

A menudo los procesos industriales de producción causan discontinuidades temporales o permanentes en la transmisión de fuerzas, lo que obliga a la estructura o a sus componentes a trabajar en distintas maneras durante las diferentes etapas de construcción y después como obra terminada.

Cuando una construcción es prefabricada o del tipo mixto, sus componentes antes de estar sometidos a las acciones que resultan de la posición de estos componentes en la estructura del edificio en servicio, pasan por varios casos de carga, que resultan no solamente de las situaciones previstas, dictadas por los procesos tecnológicos, sino también sufren varios sacudimientos, los cuales son prácticamente inevitables.

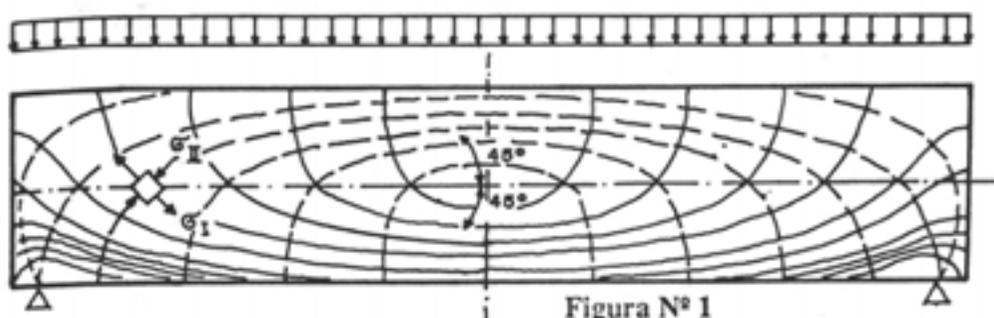


Figura N° 1

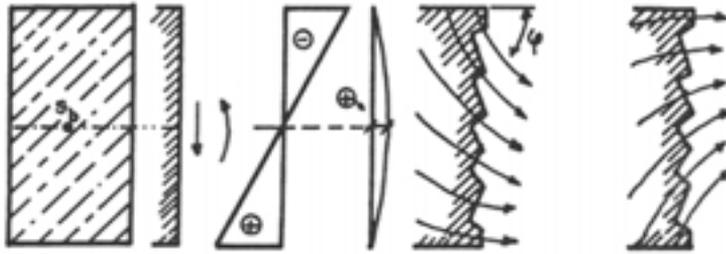


Figura N° 2

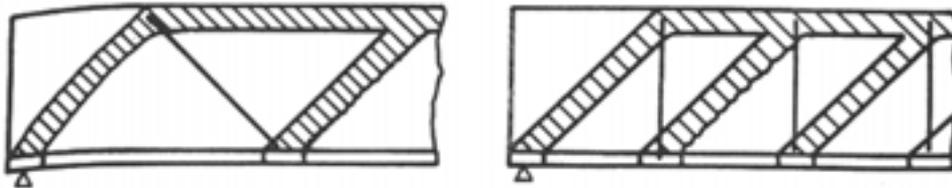


Figura N° 3

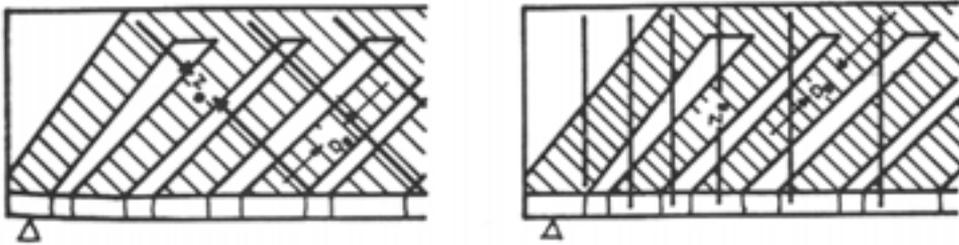


Figura N° 4

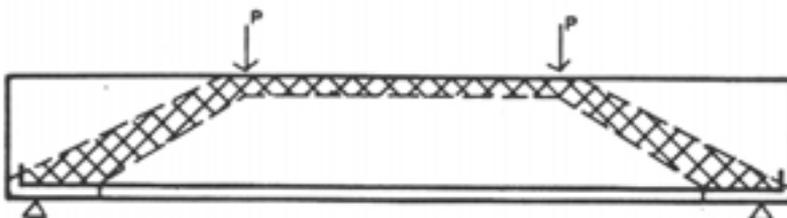


Figura N° 5

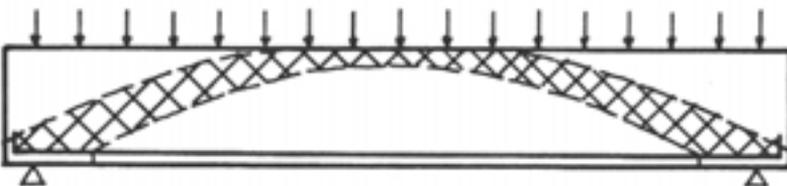
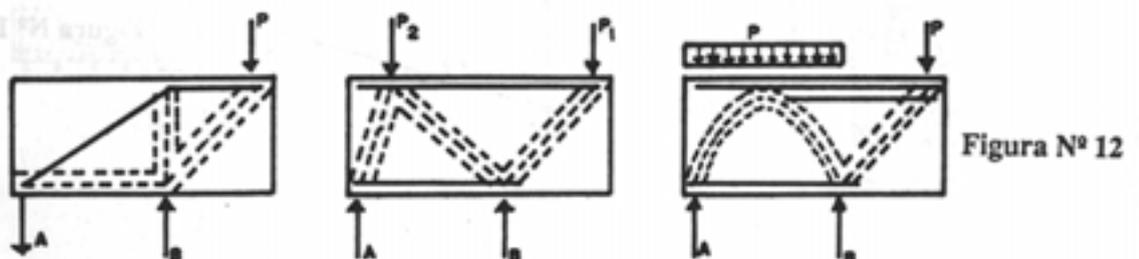
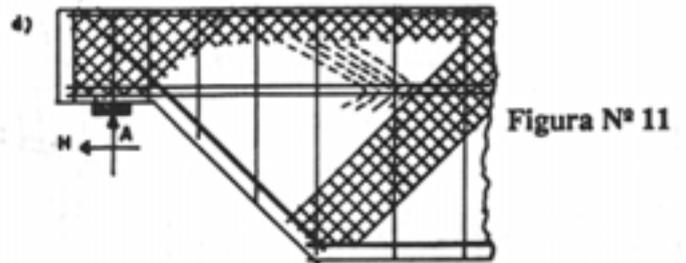
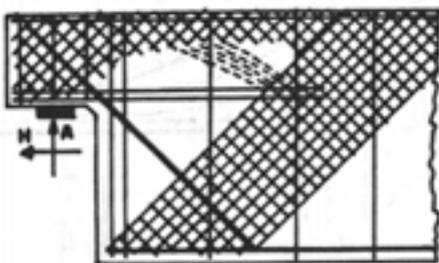
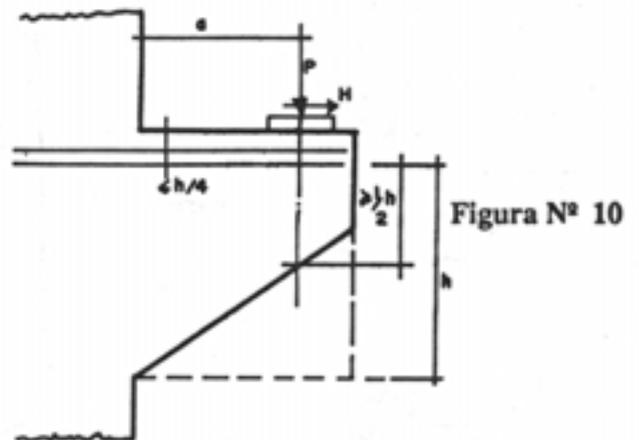
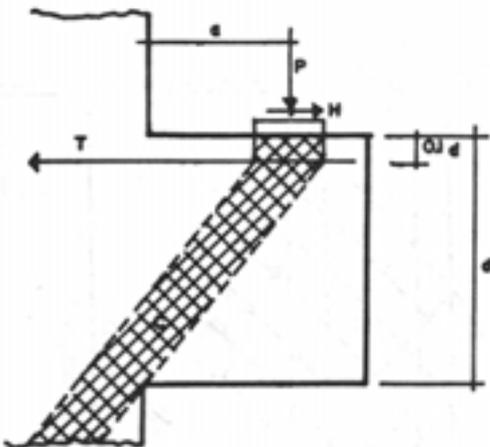
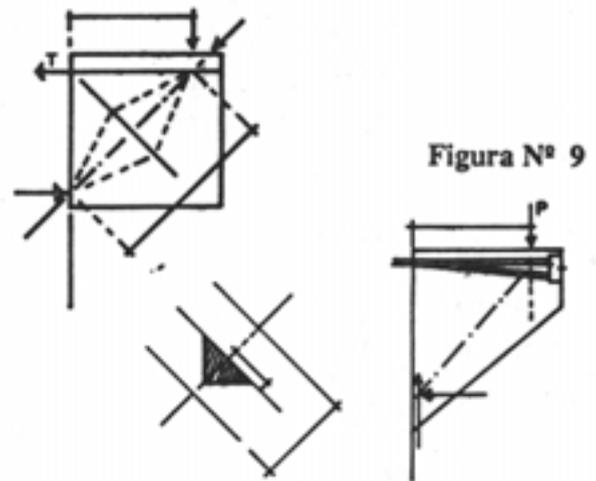
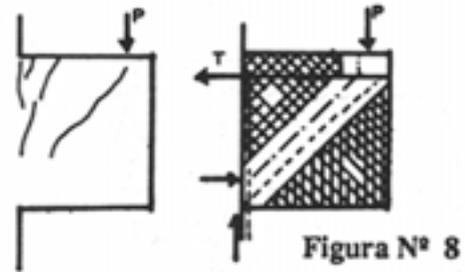
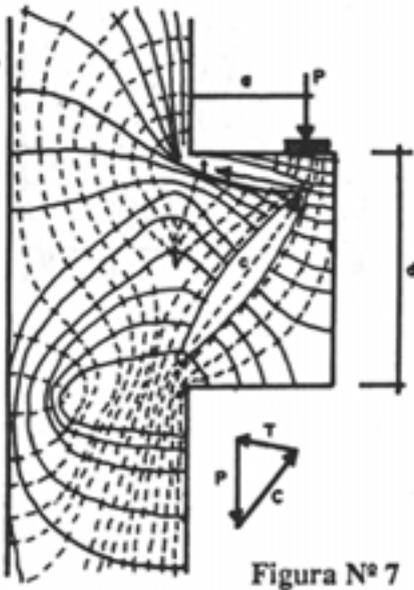


Figura N° 6



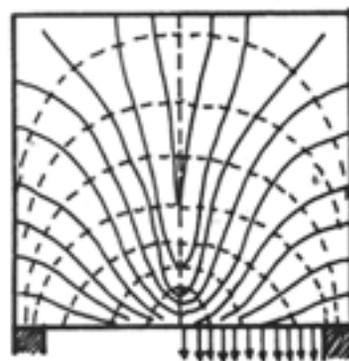
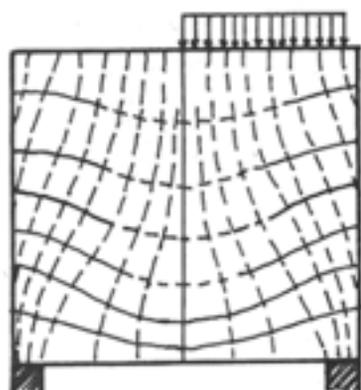


Figura N° 13

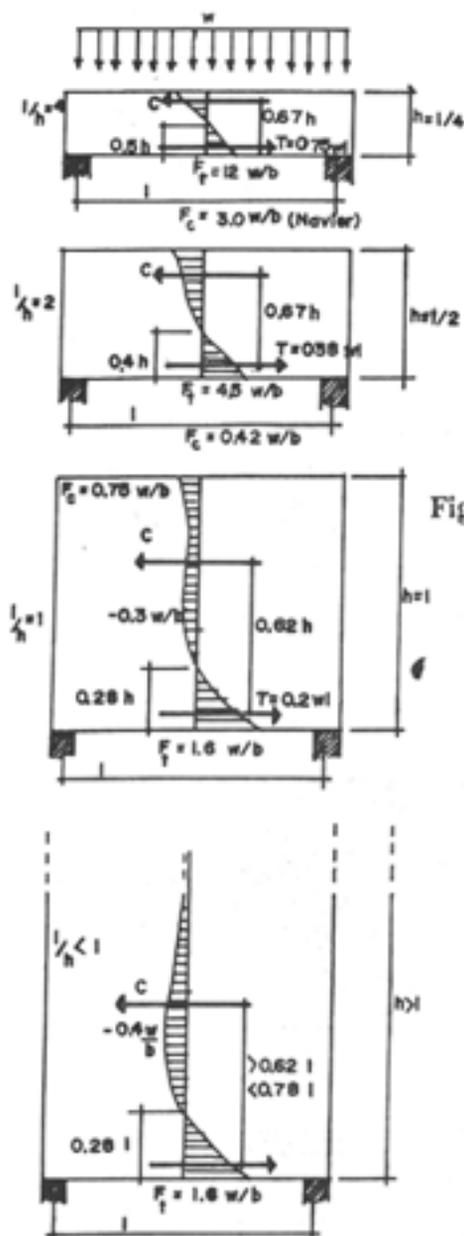


Figura N° 14

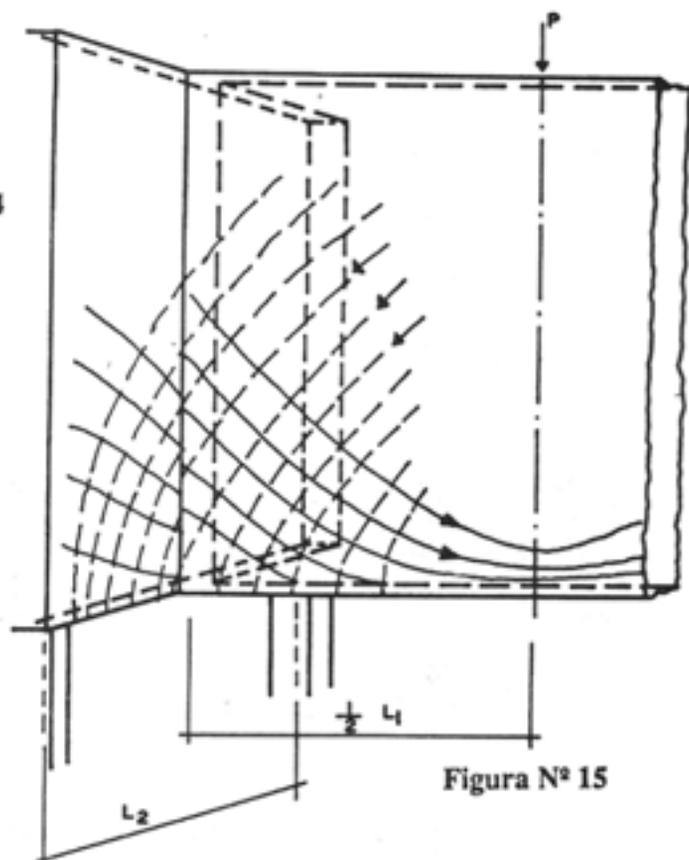


Figura N° 15

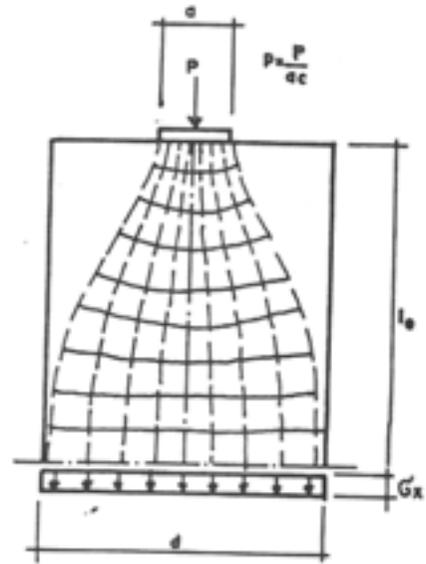
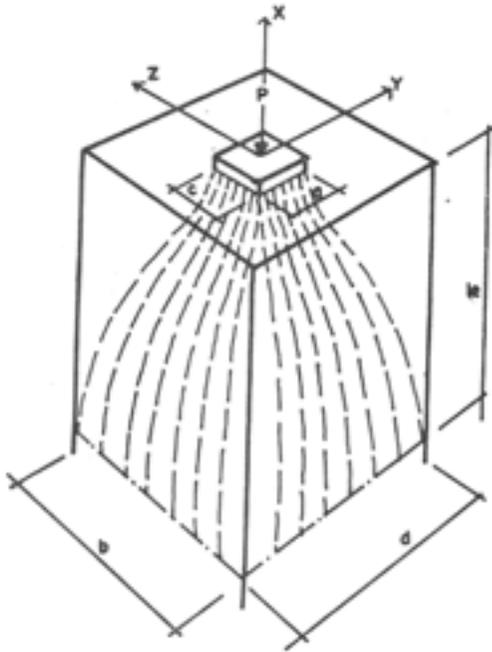


Figura N° 16

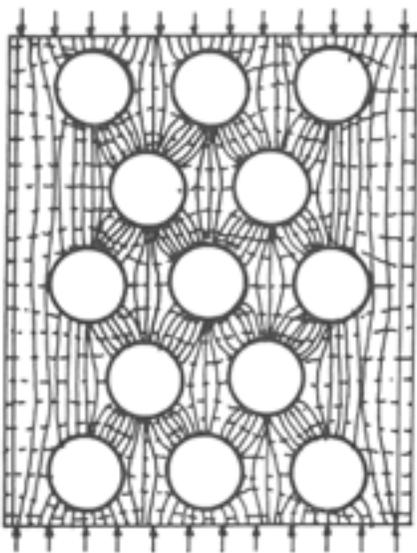


Figura N° 17

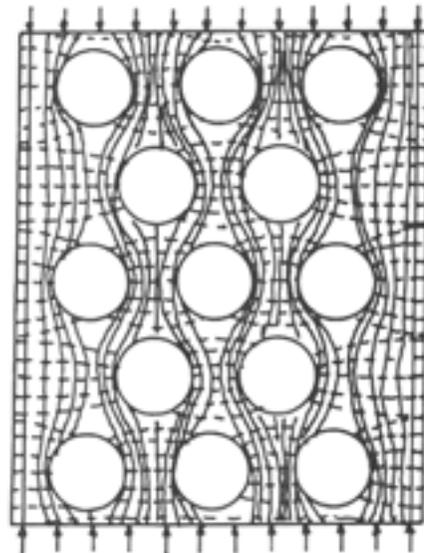


Figura N° 18

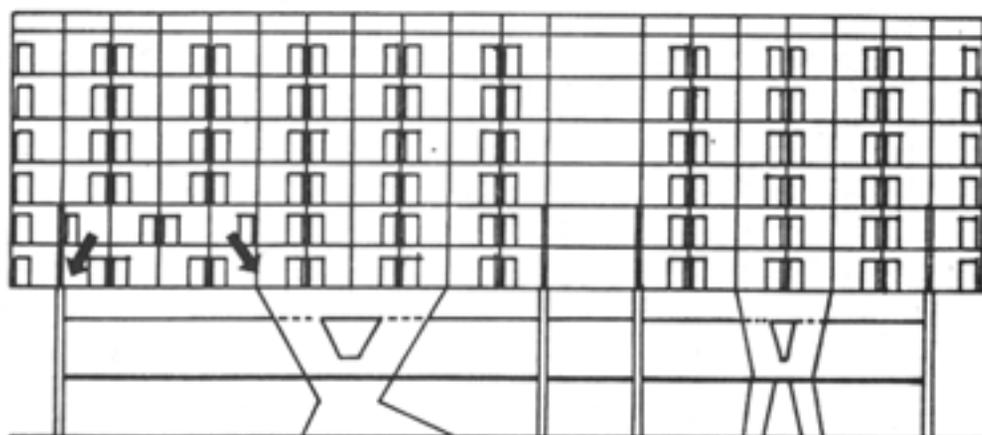


Figura N° 19

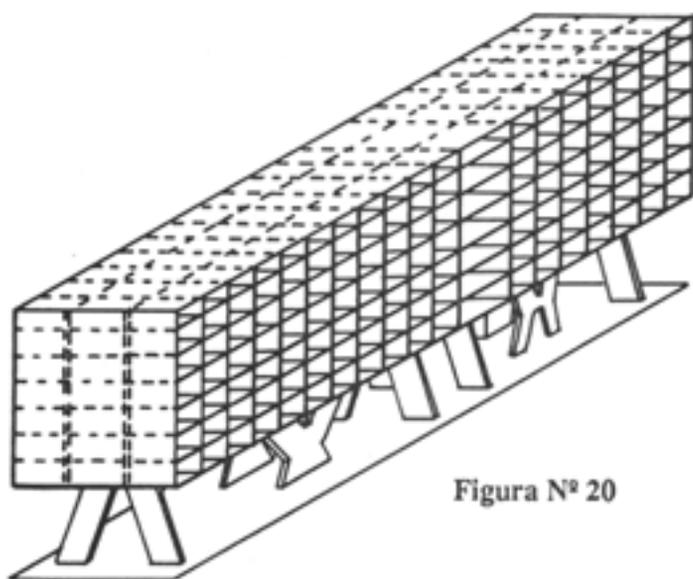


Figura N° 20