

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NOROESTE DE BUENOS AIRES
UNNOBA

LABORATORIO de ENSAYO de MATERIALES y ESTRUCTURAS
LEMEJ

Las ESTRUCTURAS y los MATERIALES Su insoslayable interacción

Luis Lima
Profesor Emérito

Lima, Luis Julián

Las estructuras y los materiales su insoslayable interacción / Luis Julián Lima. - 1a ed
ilustrada. - La Plata : Luis Julián Lima, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-88-6848-6

1. Ingeniería de la Construcción. I. Título.

CDD 620.11

“Marco Polo le describía al emperador Kublai Kan, un puente en arco piedra por piedra y este le dijo: —no me interesan las piedras, solo me interesa la curva que define el arco—; a lo que Marco Polo respondió: —sin piedras no hay arco—”
Ítalo Calvino: “Las ciudades invisibles”.

1. Las Estructuras Resistentes¹ son **cuerpos materiales** capaces de trasladar cargas entre distintos lugares del espacio. Esta capacidad de mover cargas desde sus puntos de aplicación a otros diferentes a ellos y hacerlo sin sufrir daños, es lo que da sustento al calificativo “resistentes”

Paralelamente, todas las Estructuras Resistentes se deforman al ser cargadas sin ningún tipo de excepción. Dentro de ello, estas pueden ser, “poco deformables”, como los pórticos, o “muy deformables”, como los cables. En el caso de los primeros, las deformaciones que sufren no inciden en la determinación de las sollicitaciones producidas por las cargas que las originan, las otras, por el contrario, deben deformarse para lograr el equilibrio. Dado que la forma de encarar su dimensionamiento es diferente en ambos casos, y que las primeras —las poco deformables— son mucho más versátiles para resolver los problemas que se presentan en la vida real, por lo que nos ocuparemos ahora solo de ellas.

La característica más saliente de las Estructuras Resistentes poco deformables consiste en que los citados traslados de cargas en el espacio lo realizan sin sufrir alteraciones significativas en su forma, es decir, en su tipología estructural. Que las deformaciones de la estructura cargada “no sean significativas” significa que, como dijimos, ellas no inciden en los resultados de su determinación teórica, o sea, en la determinación teórica de las deformaciones que sufre la estructura al ser cargada. A estos procesos de cálculo se los denomina “de primer orden”². Para comenzar a entender adecuadamente el “trabajo” que realiza una estructura bajo carga, encararemos en primer término el cálculo de primer orden para después generalizarlo.

La aplicación sobre una Estructura Resistente de una carga externa —que supondremos constante a fin de no complicar inútilmente el análisis, pero que no es necesario que lo sea— cuyo punto de aplicación debe trasladarse de $A(x,y,z)$ a $B(x,y,z)$ pone en juego la capacidad resistente de una parte de la estructura o

¹ Es necesario hacer esta aclaración pues, a partir de la corriente de pensamiento conocida como “Estructuralismo”, existen estructuras en la gran mayoría de las ciencias, tanto “duras” como “blandas”.

² Si las deformaciones producidas por las cargas actuantes afectan las sollicitaciones que estas producen en una estructura, el cálculo se conoce como “de segundo orden”.

de su totalidad. Estas zonas de la estructura afectadas por la aplicación de la carga, pueden imaginarse como “el camino” que esta recorre para pasar de A a B. En qué forma incide la aplicación de una carga externa en cada uno de los puntos de la estructura, viene expresada por los “diagramas de sollicitación” de esfuerzos normales (N), momentos flectores (M), esfuerzos cortantes (V) y momentos torsores (T).

2. Un *cuerpo material* consiste en una cierta cantidad de materia contenida en una superficie tridimensional cerrada.

La figura geométrica aporta al cuerpo material sus *propiedades geométricas*, es decir, la forma en que la materia que lo compone se distribuye en el espacio. En general, por los motivos que se verán más adelante, interesan fundamentalmente las propiedades de las secciones obtenidas al cortar el cuerpo con un plano perpendicular a una determinada curva, las que quedan representadas por el área en (cm²), el momento estático o de primer orden en (cm³) y el momento de inercia o de segundo orden en (cm⁴).

La materia aporta al cuerpo material sus *propiedades físicas*, en el presente caso principalmente su oposición a que la distancia entre sus moléculas sea alterada. En forma genérica se puede aceptar que la fuerza que hay que ejercer para modificar las distancias entre las moléculas de un cuerpo en reposo, sea para juntarlas (compresión) o para separarlas (tracción), está expresada por diagramas como el de (fig. 1).

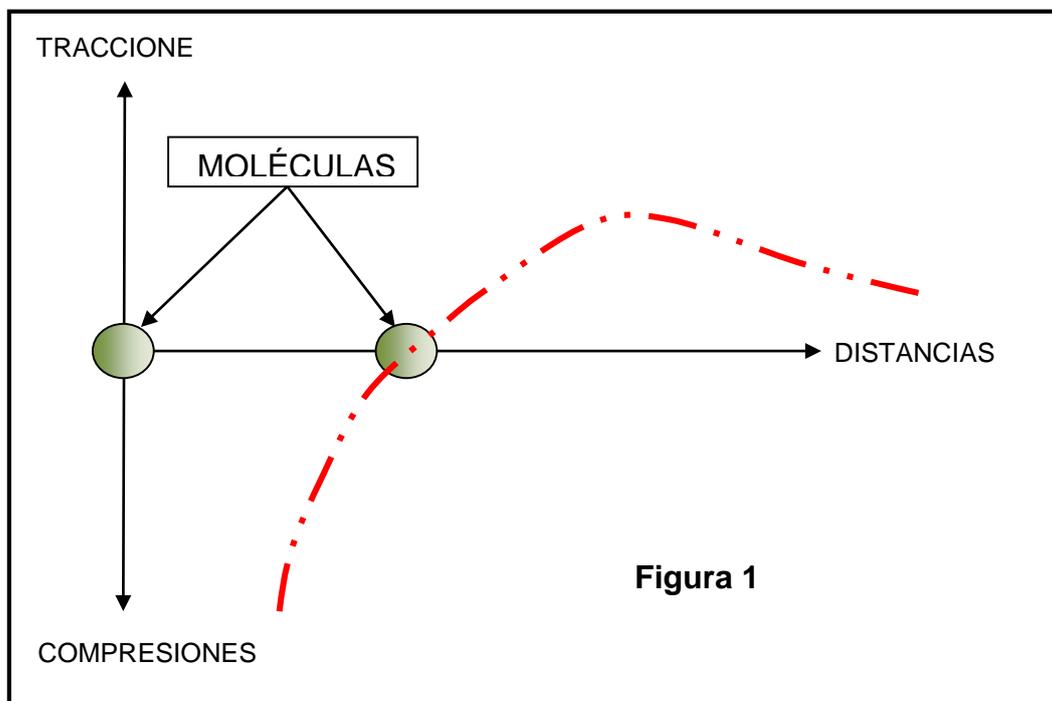


Figura 1

El conjunto de ambos tipos de propiedades, las geométricas y las físicas, dan origen en los cuerpos materiales a sus *propiedades mecánicas*, que son las que determinan su capacidad resistente.

Se llega así a una conclusión importante: La materia³ no posee propiedades mecánicas, lo que implica que los materiales, sean cuales sean, no aportan resistencia estructural, solo lo hacen los *cuerpos materiales* que son entes muy distintos de los *materiales*. Podríamos decir que los materiales solo tienen resistencia “en potencia”, la que solo se pone de manifiesto cuando se los incorpora a una forma geométrica. Según sea esta va a ser la resistencia que se obtenga la cual, por razones que escapan al marco del presente texto, siempre va a ser bastante menor que la que surge de diagramas como el de (fig. 1).

3. Cuando una estructura es cargada se deforma. Esto constituye un dato de la realidad⁴.

Esta deformación del cuerpo material cargado significa que, como consecuencia de ella, muchas de las distancias entre sus moléculas se han alterado. Para que esto ocurra se deben aplicar esfuerzos externos, a los que el cuerpo reaccionó con otros internos iguales y contrarios, que son la consecuencia de la variación de las distancias entre sus moléculas. Esta igualdad entre esfuerzos internos y externos es una condición elemental de equilibrio y, además, una condición de existencia del cuerpo material, pues cuando este equilibrio no se alcanza el cuerpo rompe⁵.

Existe una relación biunívoca y solo una, entre el sistema de cargas que se aplica al cuerpo material y el conjunto de las deformaciones que este sufre. En otras palabras, cada sistema de cargas⁶ que se haga actuar sobre el cuerpo, produce en este un bien determinado estado de deformación. Esto también es una comprobación experimental. Luego, para una dada estructura debe haber una única relación que vincule ambos términos: [(sistema de cargas aplicado)—(estado de deformación producido)]. La existencia de esta relación biunívoca única entre cargas y deformaciones, es la que posibilita la existencia de un proceso de cálculo que las vincule. En estas condiciones podríamos decir que los materiales solo tienen resistencia y deformaciones “en potencia”, las que solo se ponen de manifiesto cuando se los incorpora a una forma geométrica espacial: Según sea esta van a ser la resistencia y la deformabilidad que se obtengan.

Para estar en condiciones de encarar el estudio de un problema físico como el que ahora nos ocupa —el proyecto de una estructura resistente—, la relación entre cargas y deformaciones debe poder expresarse matemáticamente, para lo

³ La materia es el conjunto de todos los materiales, los que constituyen casos específicos de materia con propiedades bien determinadas.

⁴ Es decir, un hecho experimental que puede repetirse cuantas veces se desee y que siempre conducirá a los mismos resultados.

⁵ Conviene aclarar la interpretación que se da en los Cursos de Estructuras al calificativo “roto” (o “rotura”): que un cuerpo resistente esté “roto” solo significa que no puede cumplir más su función resistente, sin necesidad de que esté dividido en diversos trozos.

⁶ Un “Sistema de Cargas” debe tener información suficiente como para poder definirlo sin ambigüedades: número y tipo de las cargas que lo componen, sus ubicaciones en el espacio y sus magnitudes. Incluso, si este es el caso, debe indicar la forma de variación de todas estas propiedades en función del tiempo o de la variable que sea.

cual hay que encontrar un modelo matemático que represente al problema físico con aproximación suficiente.

La construcción de estos modelos matemáticos se encara a través de las ciencias conocidas como *Resistencias de (los cuerpos) Materiales*. Teorías de tipo hipotético-deductivas⁷ cuyas hipótesis básicas representan las propiedades mecánicas comunes a un cierto conjunto de cuerpos materiales —no de todos, como se supuso en algún momento—, que es a los que la teoría busca interpretar. Cada **Resistencia de (los cuerpos) Materiales** en particular, tendrá entre sus hipótesis básicas una que se refiera a la relación entre cargas y deformaciones que sea aplicable a los diversos cuerpos materiales cuyo estudio incluye.

4. La forma de resistir de los cuerpos construidos con un determinado material, es analizada por su correspondiente Resistencia de los Cuerpos Materiales⁸ específica, que estudia sus cualidades resistentes. Estas ciencias sirven, en todos los casos, para determinar las trayectorias de fuerza internas de tracción y compresión⁹, que recorren el cuerpo material en estudio, mediante las cuales estos cuerpos materiales realizan el traslado de la fuerza conocida (P) desde su punto de aplicación (A) a otro punto (B) preestablecido.

Cada uno de los conjuntos de cuerpos materiales con propiedades resistentes similares, da origen a una Resistencia de los Cuerpos Materiales específica. A su vez, cada una de estas Resistencias de los Cuerpos Materiales¹⁰ se apoya en un conjunto particular de hipótesis básicas que describen, con precisión suficiente, los escenarios y contextos adecuados para analizar las propiedades mecánicas de todos y cada uno de los cuerpos cuyo comportamiento mecánico interpreta.

Este conjunto de hipótesis básicas, completo¹¹ y no redundante¹² que luego, de ser necesario, en determinados casos se complementa con supuestos específicos adicionales. Dicho conjunto de hipótesis básicas es el que permite definir en cada caso las trazas de las trayectorias internas de fuerzas o, lo que es equivalente, los diagramas de sollicitación que el sistema de carga aplicado produce en el conjunto de la estructura que se analiza. En general, estas hipótesis básicas se reducen a cuatro (4), cuyos objetivos y significado estructural se analizan seguidamente:

Hipótesis 1: Define las condiciones en las que las posibles trayectorias internas de fuerzas de un cuerpo material pueden desarrollarse.

⁷ Como la Geometría Euclidiana.

⁸ Conocida erróneamente como Resistencia de Materiales, pues como vimos, los materiales en sí no poseen resistencia, los que efectivamente resisten son los cuerpos con ellos construidos.

⁹ Que también suelen denominadas isostáticas.

¹⁰ El plural indica que, como terminamos de explicar, existen varias Resistencias de los Cuerpos Materiales: Teoría de la Elasticidad, Cálculo Plástico de Estructuras, Mecánica de Suelos, Mecánica de Rocas, Teoría del Hormigón Armado, etc.

¹¹ A partir de ellas se pueden deducir todos los comportamientos posibles de los Cuerpos Materiales que representan.

¹² Lo que implica que ninguna de estas hipótesis se puede obtener como consecuencia de las restantes.

La expresión más común de esta hipótesis, la que utiliza la Resistencia de Materiales clásica, es la de “*cuerpo continuo*”, lo que implica que las trazas de las trayectorias internas pueden ubicarse en cualquier lugar del cuerpo. Expresada como lo hemos hecho y pese al uso generalizado que se le da, esta hipótesis resulta por lo menos ambigua. Ello se debe a que, en la realidad, existen más de un concepto de “continuidad”, que el enunciado anterior no distingue. En el ámbito estructura, la hipótesis no se refiere a la continuidad física del cuerpo material —es decir, un cuerpo sin cortaduras ni superposiciones—, como muchas veces se cree, sino a la de las líneas internas de fuerza que lo recorren y a la forma en que se las determina, en otras palabras, al modelo matemático que se emplee para ello. Una estructura, considerada como realidad en sí misma, debe posibilitar la transmisión de cargas mediante líneas de fuerza internas contenidas en su masa. Dentro de esta continuidad en la transmisión de cargas, puede haber regiones donde se deban aplicar diferentes criterios para definir sus trazas. Ello implica la necesidad de recurrir a diversos modelos matemáticos particulares en cada una de ellas, lo que representa una cierta discontinuidad matemática en el análisis estructural. Dentro de las trayectorias globales de cargas que recorren la estructura, estas discontinuidades matemáticas representan las uniones entre elementos estructurales continuos¹³.

En consecuencia, hay que tener muy en claro la diferencia entre: a) *continuidad física* (o geométrica); b) *continuidad mecánica* o continuidad en las trayectorias de carga internas; y c) *continuidad matemática*, que es la continuidad en el empleo de un modelo matemático para definir las trazas de estas trayectorias internas.

Luego, la Hipótesis 1 se debe expresar de la siguiente forma, en las Resistencias de los Cuerpos Materiales específicas que lo requieran:

“Los cuerpos materiales son mecánicamente continuos”

Lo que implica que donde se alteran los condicionamientos geométricos impuestas al trazado de las líneas de fuerza internas, allí se tiene una discontinuidad matemática. En general estas zonas suelen constituir el vínculo entre los elementos estructurales que llegan a ella.

Si aplicamos esta idea a una pila de ladrillos de caras lisas sometida a compresión, el cuerpo está constituido por un conjunto de elementos discretos sin ninguna vinculación entre sí, por lo que podríamos decir que se trata de “un cuerpo físicamente discontinuo”. Pero las líneas internas de fuerzas de compresión no se ven afectadas por estas “discontinuidades físicas” por lo que, para la Resistencia de los Cuerpos Materiales que busque interpretar las características mecánicas de la pila de ladrillos comprimidos, esta constituye “*un cuerpo continuo*”, mecánica y matemáticamente continuo (fig. 2a).

Una situación estructural diferente a la mencionada, común en estructuras metálicas, la constituyen las uniones roblonadas. La diferencia está en que en el caso de la pila de ladrillos las líneas internas de fuerza de compresión tienen la traza que las condiciones de equilibrio imponen, sin ningún efecto de las discontinuidades, mientras que en las uniones roblonadas estas líneas

¹³ Hay que prestar atención cuando se emplean programas de cálculo computacional, pues no todos tienen en cuenta estas discontinuidades matemáticas.

prácticamente solo pueden pasar por los roblones, lo que impone unas condiciones de borde que condicionan su trazado, lo que obliga a considerar los dos elementos estructurales unidos por los roblones, como dos cuerpos materiales distintos, ambos continuos, vinculados por un tercer elemento estructural, la unión roblonada, con condiciones estructurales propias —modelo matemático propio— que sirve de nexo resistente entre los dos cuerpos que vincula. Luego, la unión roblonada no significa una discontinuidad en las líneas de fuerza internas, pero sí una discontinuidad en la forma en que se define su trazado.

Hipótesis 2: Indica las ubicaciones preferenciales de las trayectorias de fuerzas internas que el cuerpo impone.

La Resistencia de Materiales clásica¹⁴ expresa esta hipótesis asumiendo que “los cuerpos materiales son homogéneos”¹⁵. Esta aseveración requiere algunas aclaraciones:

- a) La homogeneidad no es una propiedad intrínseca de los materiales —ni, consecuentemente, de los cuerpos con ellos contruidos— sino del nivel de observación en que se los analice, pues a nivel molecular ningún material es homogéneo. En la construcción de máquinas, con niveles de observación del orden del centímetro (cm), muchos materiales, como es el caso de los aceros, pueden suponerse homogéneos pues este supuesto no altera los resultados que se obtengan. Al nivel de observación de las estructuras resistentes, con magnitudes del orden de los diez centímetros (10 cm), hasta el hormigón puede considerarse homogéneo.
- b) Hay materiales, como es en general el caso de los compuestos —por ejemplo el hormigón armado—, que son heterogéneos en cualquier nivel de observación en el que se los analice. Más aún, no pueden existir en los niveles de observación en que no son heterogéneos¹⁶.

Esta Hipótesis 2 tiene, en la práctica, al menos dos posibles enunciados, totalmente distintos entre sí, según la Resistencia Específica de los Cuerpos materiales que interprete el material con el que se haya construido el cuerpo de que se trate:

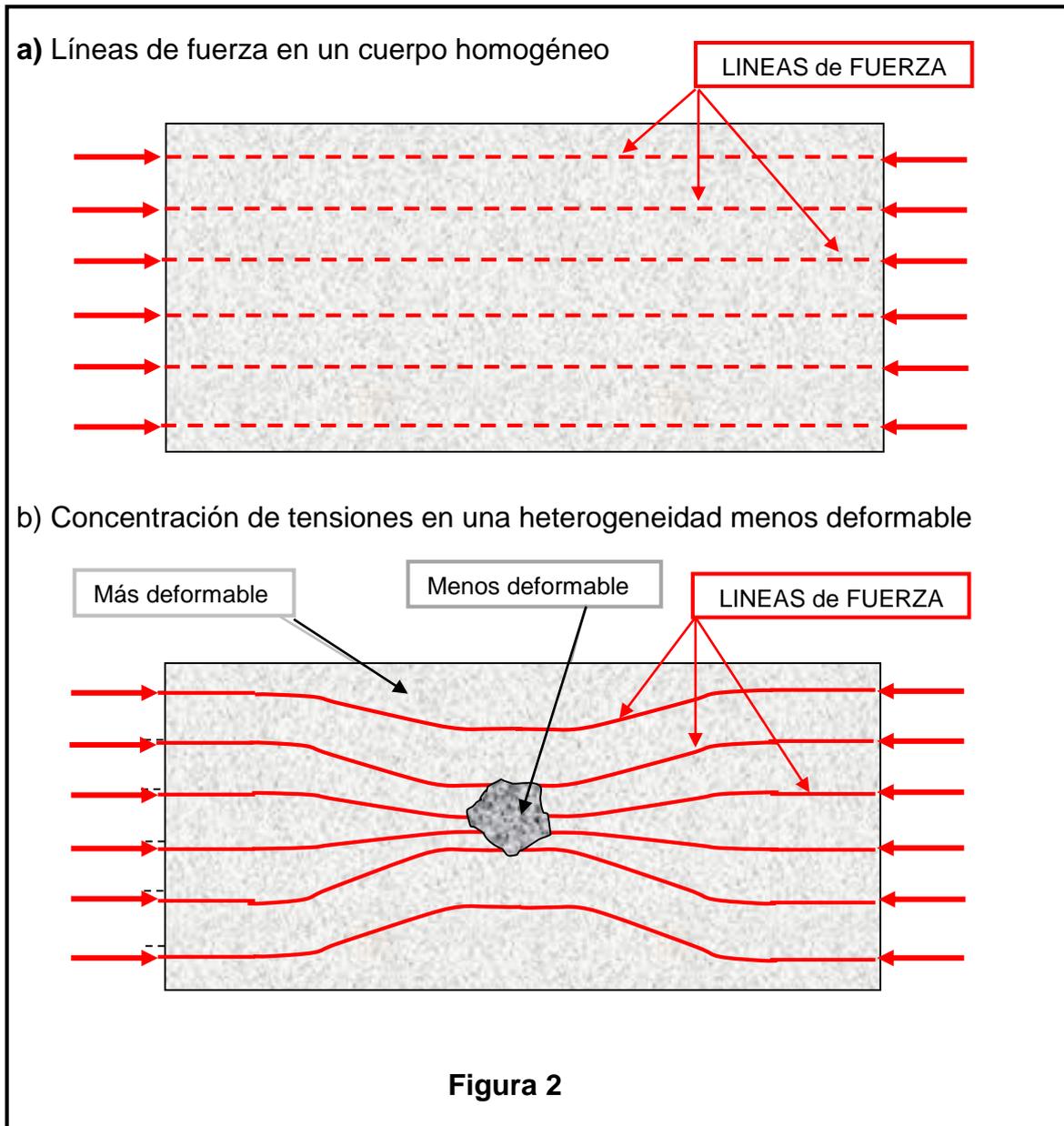
Versión 2.1: *Los cuerpos materiales son homogéneos.* Cosa que ocurre con los de acero, otros metales, cerámicos y polímeros. En este caso las líneas de fuerza internas van a seguir las trayectorias que impongan en cada circunstancia las condiciones de equilibrio de este.

¹⁴ Se denomina así a la Resistencia de Materiales que interpreta los cuerpos materiales continuos, homogéneos, isotropos y, fundamentalmente, linealmente elásticos.

¹⁵ Desde el punto de vista mecánico, esta homogeneidad implica que el cuerpo, en todos sus puntos, posee las mismas propiedades.

¹⁶ La Resistencia de Materiales clásica estudia los cuerpos de hormigón armado emplean “criterios de homogeneización”, los que conducen a sinsentidos como que los cuerpos cargados modifican el área de sus secciones transversales con la variación de la carga aplicada.

Versión 2.2: **Los cuerpos materiales son heterogéneos**¹⁷. Es el caso de los cuerpos fabricados con dos o más materiales distintos, firmemente vinculados entre sí.



Consideremos, a título de ejemplo, como son las líneas de fuerza internas en un cuerpo homogéneo de sección constante sometido a compresión pura (fig. 2a), y como se alteran estas si, en su interior, aparece una zona menos deformable (fig. 2b).

Como se desprende de lo dicho, la continuidad estructural —su materialización en uno u otro sentido— es un problema de proyecto, emergente de una decisión razonada del Proyectista, y que no debe olvidarse se ha adoptado si se quieren

¹⁷ Las propiedades mecánicas varían en el interior del cuerpo.

evitar problemas posteriores, por ejemplo, al decidir el empleo de programas de cálculo por computadora¹⁸.

Hipótesis 3: Indica, en todos los puntos de un cuerpo material, cuáles son las direcciones más aptas para el desarrollo de las familias de trayectorias internas de tracción y de compresión en función del tipo de carga aplicado.

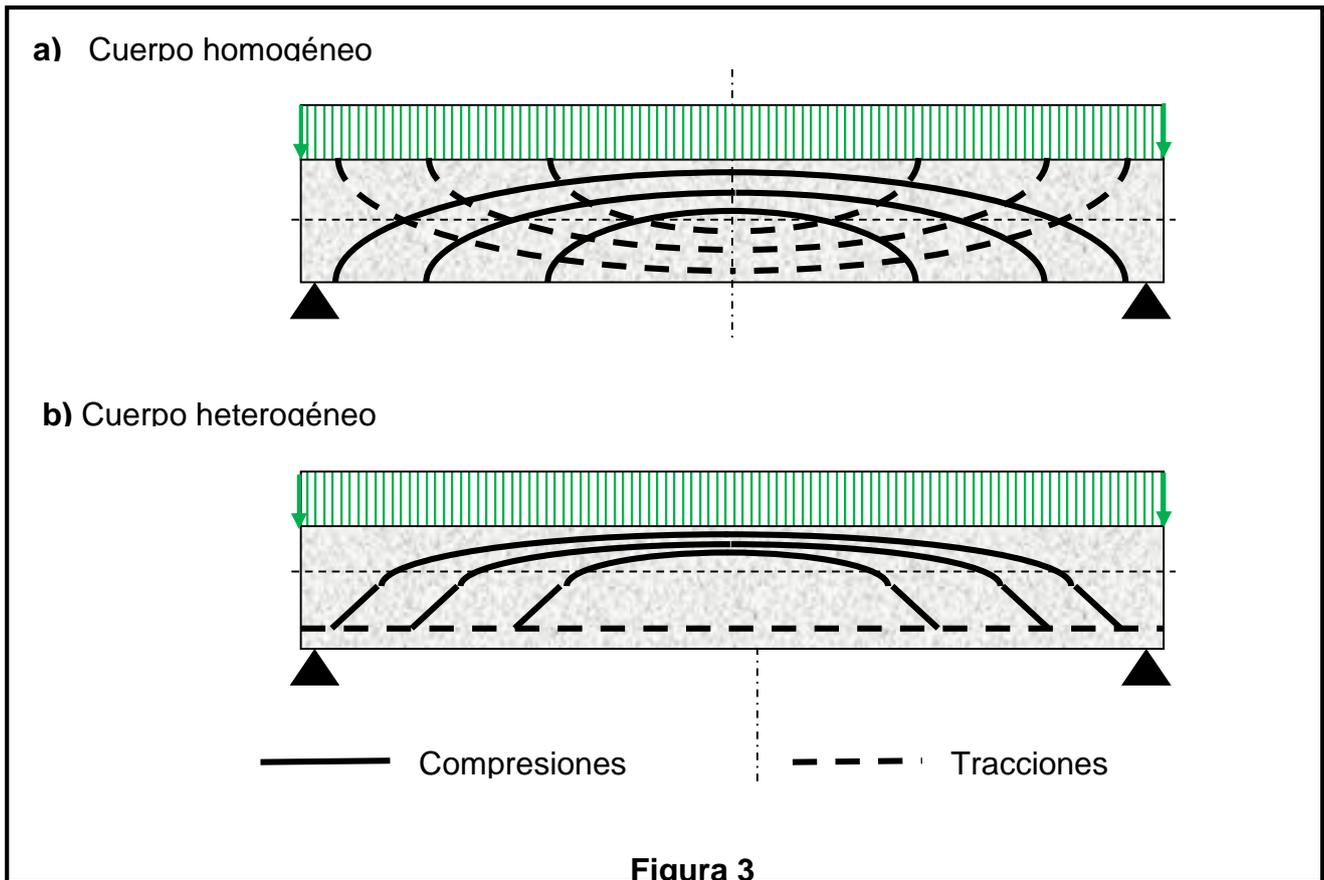
Si no existen direcciones preferenciales, se dice que el cuerpo es *isótropo*—con iguales propiedades mecánicas en todas las direcciones pasantes por cada uno de sus puntos internos— como ocurre, por ejemplo, con los cuerpos de acero en los cuales las trayectorias de las líneas de fuerza internas surgen directamente de las condiciones de equilibrio del sistema [cuerpo-cargas actuantes]. Caso contrario, se dice que el cuerpo es *anisótropo*. Los ejemplos más comunes de cuerpos anisótropos son, por un lado, los cuerpos fabricados directamente a partir de materiales naturales, como es el caso de las maderas¹⁹ y, por otro, los cuerpos materiales compuestos construidos exprofeso en cada caso, como el hormigón armado. En ambas situaciones existen elementos materiales interno que orientan y conducen las líneas de fuerza, en general las de tracción: las fibras en los cuerpos de madera y las armaduras en los de hormigón armado, las que tienden a canalizarse siguiendo el trazado de las fibras, en el primer caso, y de las armaduras²⁰ en el segundo. En los dos casos los elementos internos resistentes a tracción definen el trazado de las líneas internas de tracción, con lo que la traza de las de compresión deben amoldarse a esta situación a fin de mantener el equilibrio interno. En la (fig. 3) se comparan las isostáticas de dos cuerpo geoméricamente iguales y sometidos al mismo estado de cargas, uno fabricado con un material homogéneo y otro con uno heterogéneo²¹.

¹⁸ Las hipótesis de comportamiento estructural que fundamenten estos programas, deben coincidir con las adoptadas por el Proyectista al proyectar su estructura.

¹⁹ A condición de que las piezas de madera hayan sido cortadas del tronco de forma que esto ocurra (orientar las fibras en la dirección de las tracciones principales)

²⁰ La distribución de las armaduras en un cuerpo de hormigón armado, se decide de forma que lo dicho ocurra.

²¹ Como material heterogéneo se ha representado un elemento de hormigón, sin resistencia en las áreas traccionadas. El caso de las maderas es distinto, pues en toda la zona estirada hay fibras que resisten tracciones.



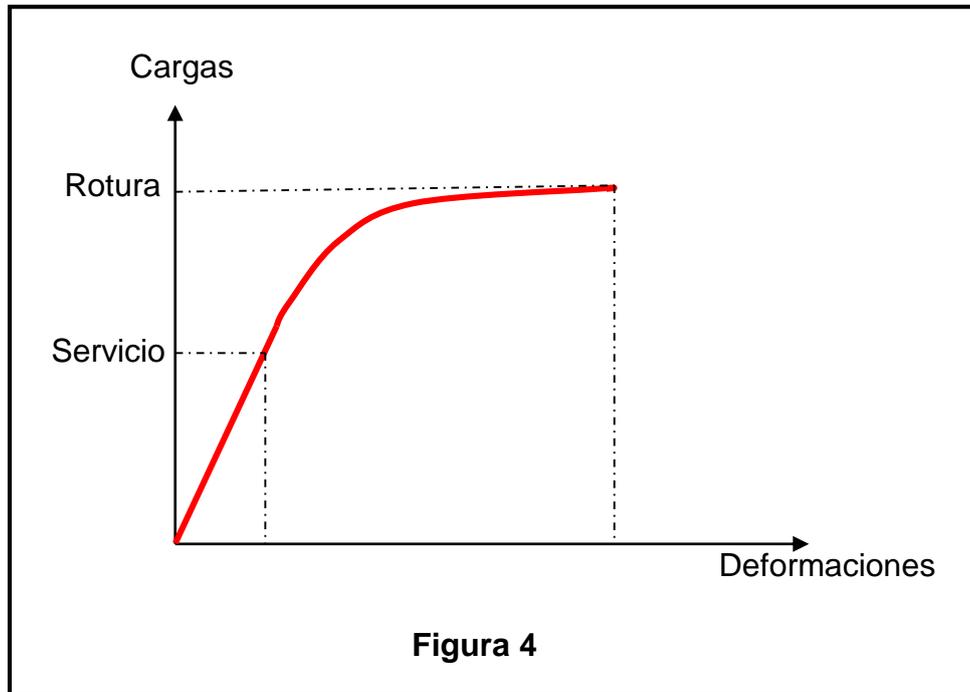
Hipótesis 4: Mediante ella se establecen las bases teóricas, obtenidas a partir de datos experimentales, conducentes a determinar las relaciones entre cargas y deformaciones de los cuerpos materiales encuadrado en las distintas Resistencias de los Cuerpos Materiales específica.

Poner en práctica esta hipótesis no constituye un problema menor pues en general, cada cuerpo, de cada material que se lo fabrique, va a tener una relación específica entre cada una de las cargas que se le apliquen y las deformaciones que por causa de ello sufra.

Frente a los innumerables cuerpos materiales que es posible construir —variando material y geometría— y a los variados sistemas de cargas que sobre ellos pueden actuar, no resulta realista pretender tener un registro de las curvas [cargas-deformaciones] correspondientes a todos ellos. En consecuencia se ha optado por una solución relativamente sencilla que, en las aplicaciones prácticas, la experiencia y la experimentación han demostrado que resulta satisfactoria: ella consiste en definir la “curva [cargas-deformaciones] de un determinado material”²², ensayando cuerpos tipo con él construidos a los que se denomina *probetas estandarizadas*. Estas *probetas estandarizadas* poseen una forma

²² Esta constituye una convención generalizadamente aceptada pese a que, como vimos, los materiales en sí no resisten, los que lo hacen son los cuerpos materiales.

geométrica normalizada²³ y se las ensaya sometiénolas a un tipo de carga y mediante un procedimiento también normalizados. Esto garantiza que los resultados que se obtengan sean de valor universal. En la práctica, cada material suele tener más de una probeta normalizada, pero normalmente se los identifica con una de ellas, la que resulte más representativa, y cuyo ensayo resulte más fácil de realizar: la de tracción para los aceros; la de compresión para los hormigones y la de flexión para las maderas.



Resuelto así el problema se tiene, para cada material apto para fabricar con él cuerpos resistentes, una “curva básica” [cargas-deformaciones] que orienta al Proyectista en la interpretación de su comportamiento bajo carga (fig. 4). Luego, las curvas correspondientes a otros tipos geométricos de cuerpos del mismo material, y a otros sistemas de cargas, se relacionan experimentalmente con la curva básica.

Encaminado de este modo el problema de cómo enunciar y de cómo aplicar la 4ª Hipótesis, ha llegado el momento de analizarla en su significado estructural teniendo en cuenta, al hacerlo, que su valor epistemológico es diferente al de las tres (3) restantes. En efecto, las tres (3) primeras Hipótesis Básicas establecen los condicionamientos que el cuerpo material de que se trata impone a las posibles trazas de sus líneas de fuerza internas “de forma que el sistema esté en equilibrio”. Esta 4ª Hipótesis Básica indica las condiciones necesarias para que este equilibrio exista. Podríamos decir que las tres (3) primeras se utilizan principalmente durante el proceso de proyecto, mientras que esta 4ª tiene que ver con el cálculo de lo que se ha proyectado, es decir, con la verificación de que la estructura proyectada satisface las condiciones de borde inicialmente

²³ Es decir, definida hasta en sus más mínimos detalles en un documento de uso general denominado “Norma”.

impuestas. Esta importancia radical de la presente Hipótesis Básica, justifica que dediquemos a su análisis un poco más de espacio que a las otras tres (3).

Para comenzar diremos que estas curvas [cargas-deformaciones], obtenidas experimentalmente ensayando probetas normalizadas²⁴, son las que nos **van a permitir establecer las condiciones para que las deformaciones que sufre un cuerpo material cualquiera al ser cargado, sean las necesarias y suficiente como para producir reacciones internas en el material que resulten iguales y contrarias a las acciones que se originan, en cada caso, con la aplicación de las cargas externas.** Esta situación de equilibrio del cuerpo es a la que nos hemos referido reiteradamente en los párrafos anteriores.

Son esencialmente estas relaciones entre cargas y deformaciones las que van a estar en el origen a los modelos matemáticos del hecho físico que constituye una estructura resistente. En consecuencia, dichas relaciones deben tratar de dar satisfacción a dos requerimientos antagónicos: a) ser suficientemente representativas de los hechos experimentales a los que interpretan, simplificándolos, para que la representación sea aceptable; b) ser suficientemente sencillas como para que los modelos matemáticos a los que dan origen sean operativamente simples, y den forma a ecuaciones cuya resolución no sea demasiado compleja.

La más simple de estas relaciones [cargas-deformaciones] es aquella en la que las deformaciones son proporcionales a las cargas en todo momento (fig. 5a) y que se conoce como *lineal-elástica* pues no produce deformaciones remanentes en ningún caso. Además es operativamente la más sencilla, pues es la única que permite superponer soluciones²⁵. Su limitación consiste en que solo puede representar, en forma suficientemente aproximada, el funcionamiento de estructuras de acero o similares y, además, solo cuando actúan cargas de servicio. De modo menos aproximado, pero en general aceptable, se puede extender su aplicación a estructuras de hormigón armado y de madera. En cambio no sirve, bajo ninguna circunstancia, para determinar cargas de rotura en un cuerpo material pues, en la construcción de estructuras, en ningún caso es aceptable un comportamiento lineal-elástico hasta rotura (entre otros, por problemas de seguridad estructural). En la enorme mayoría de los casos prácticos, y los cuerpos de acero son un muy buen ejemplo, llegada la carga a un cierto valor, conocido como *límite elástico*, el cuerpo comienza a deformarse bajo carga constante, se ha llegado a la etapa de comportamiento plástico. En estas condiciones el diagrama [cargas-deformaciones] resulta bilineal (fig. 5b) y se conoce como *elásto-plástico*²⁶. En él las etapas elástica y plástica son sucesivas y, a partir de diagramas de este tipo, pueden determinarse, con aproximación suficiente, las cargas de rotura de las estructuras de acero o similar material, lo que conduce a la determinación de su seguridad.

²⁴ Que, por otra parte, las resistencias que establecen tienen poco que ver con lo indicado en (fig. 1) a nivel molecular, pues los materiales que constituyen los cuerpos materiales presentan en su masa fallas, discontinuidades y otros tipos de defectos que disminuyen notablemente los valores de la resistencia que se obtienen a nivel molecular.

²⁵ Lo que implica que el efecto total sobre una estructura de la acción de un conjunto de cargas externas, es igual a la suma de los efectos de cada una de las cargas actuando aisladamente.

²⁶ Los comportamientos elástico y plástico actúan en serie (uno después que el otro).

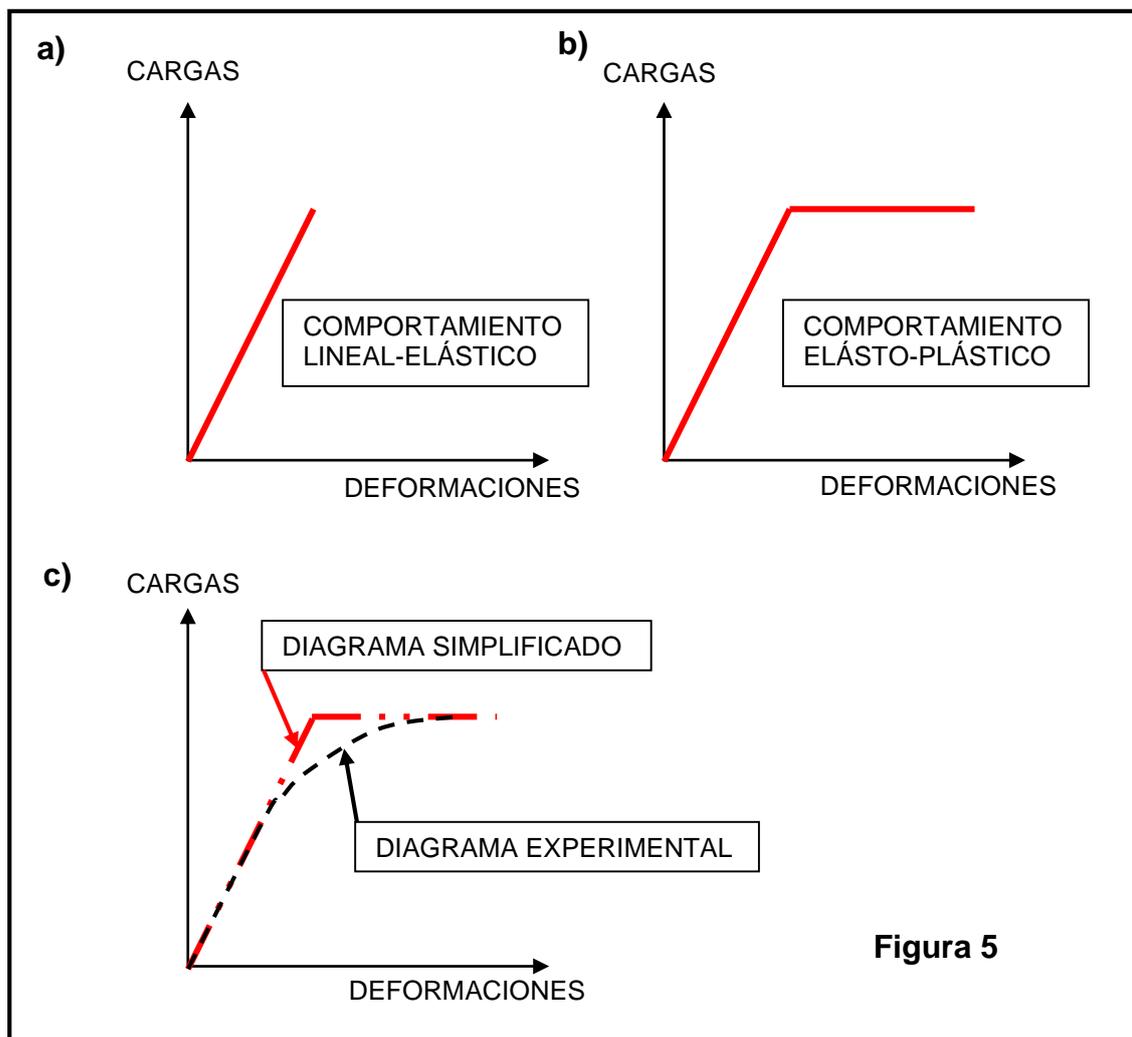


Figura 5

Existe finalmente un tipo de relación [cargas-deformaciones], en el que los comportamientos elástico y plástico actúan en paralelo, es decir en simultáneo, lo que implica que toda deformación, por pequeña que sea, no se anula al retirar la carga actuante, por lo que queda una deformación remanente (fig. 5c). Es el caso del hormigón armado bajo determinadas circunstancias en determinadas circunstancias²⁷. Dado que operar con diagramas como estos últimos es sumamente engorroso, en la enorme mayoría de los problemas prácticos, cuando estos casos se presentan, para calcular las cargas últimas es suficiente operar con un “diagrama bilineal equivalente”, es decir elasto-plástico, del tipo del de (fig. 5.b). Para estudiar comportamientos en servicio, como sería el caso de los estados de fisuración en hormigón armado, puede ser necesario, en ciertos casos, utilizar una aproximación trilineal.

²⁷ Por ejemplo primera carga.

5. Conclusiones

En general, el Análisis Estructural solo requiere de la Ciencia de Materiales los datos necesarios y suficientes como para fundamentar las cuatro (4) Hipótesis Básicas en cada una de las diferentes Resistencias Específicas de los Cuerpos Materiales.