

ÍNDICE

	Página
1 CONCEPTOS BÁSICOS	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.1.1 CONCEPTO DE ESTRUCTURA	1
1.1.2 EL CÁLCULO EN EL PROCESO GENERAL DE DISEÑO	2
1.1.3 TIPOLOGÍA Y CLASIFICACIONES	5
1.2 PRINCIPIOS BÁSICOS	6
1.2.1 PEQUEÑOS DESPLAZAMIENTOS	6
1.2.2 COMPORTAMIENTO LINEAL	7
1.2.3 SUPERPOSICIÓN.....	9
1.3 RELACIONES FUNDAMENTALES	10
1.3.1 EQUILIBRIO	10
1.3.1.1 EQUILIBRIO INTERNO	10
1.3.1.2 EQUILIBRIO EN EL CONTORNO	12
1.3.1.3 EQUILIBRIO EXTERNO	12
1.3.2 COMPATIBILIDAD	13
1.3.3 LEY DE COMPORTAMIENTO	14
1.4 CONDICIONES DE CONTORNO	21
1.5 DETERMINACIÓN E INDETERMINACIÓN ESTÁTICA.....	22
1.6 INDETERMINACIÓN CINEMÁTICA. GRADOS DE LIBERTAD.....	26
1.7 MÉTODOS DE CALCULO DE ESTRUCTURAS	28
1.7.1 MÉTODO DE COMPATIBILIDAD	28
1.7.2 MÉTODO DE EQUILIBRIO	31
1.8 COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS	35
2 EL PRINCIPIO DE LOS TRABAJOS VIRTUALES Y TEOREMAS DE LA ENERGÍA.	37
2.1 INTRODUCCIÓN	37

2.2	PROBLEMA DE VALOR EN EL CONTORNO. PLANTEAMIENTO DIFERENCIAL	38
2.3	TRABAJO, ENERGÍA DE DEFORMACIÓN Y SUS COMPLEMENTARIOS.....	48
2.4	FORMULACIÓN INTEGRAL DEL PROBLEMA DE VALOR EN EL CONTORNO	60
2.4.1	PRINCIPIO DE LOS TRABAJOS VIRTUALES	60
2.4.2	FORMULACIÓN DÉBIL DEL PROBLEMA DE VALOR EN EL CONTORNO	62
2.5	APLICACIONES DEL PRINCIPIO DE LOS TRABAJOS VIRTUALES (P.T.V.)....	74
2.5.1	APLICACIÓN DEL P.T.V. EN ESTRUCTURAS DE NUDOS ARTICULADOS.	74
2.5.1.1	APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE LOS DESPLAZAMIENTOS VIRTUALES (PDV) EN ESTRUCTURAS DE NUDOS ARTICULADOS.....	75
2.5.1.2	APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE LAS FUERZAS VIRTUALES (PFV) EN ESTRUCTURAS DE NUDOS ARTICULADOS	77
2.5.2	APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE LOS TRABAJOS VIRTUALES EN ESTRUCTURAS DE BARRAS EN GENERAL	81
2.5.2.1	APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE LOS DESPLAZAMIENTOS VIRTUALES (PDV) EN ESTRUCTURAS DE NUDOS RÍGIDOS	82
2.5.2.2	APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE LAS FUERZAS VIRTUALES (PFV) EN ESTRUCTURAS DE NUDOS RÍGIDOS.....	84
2.6	TEOREMAS ENERGÉTICOS	86
2.6.1	TEOREMAS DE MAXWELL Y BETTI	86
2.6.2	TEOREMA DE CASTIGLIANO (2ª PARTE) (1879)	88
2.6.3	TEOREMA DEL MÍNIMO POTENCIAL TOTAL	91
2.6.4	TEOREMA DE CASTIGLIANO (1ª PARTE)	94
3	CÁLCULO DE SISTEMAS ISOSTÁTICOS.....	97
3.1	CONCEPTOS BÁSICOS DE ESTRUCTURAS ISOSTÁTICAS DE NUDOS ARTICULADOS.....	97
3.2	MÉTODOS DE RESOLUCIÓN.....	102

CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

3.2.1	MÉTODO DE LOS NUDOS.....	103
3.2.2	MÉTODO GRÁFICO DE MAXWELL-CREMONA.	111
3.2.3	MÉTODO DE LAS SECCIONES.	114
3.2.4	ESTRUCTURAS COMPLEJAS. MÉTODO DE HENNEBERG.	118
3.2.5	MÉTODO DE LAS ESTRUCTURAS SECUNDARIAS.....	123
3.3	CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS.....	128
3.3.1	DIAGRAMA DE WILLIOT.....	128
3.3.2	PRINCIPIO DE LOS TRABAJOS VIRTUALES.	132
3.4	ESTRUCTURAS ISOSTÁTICAS DE NUDOS RÍGIDOS.....	137
4	MÉTODO DE COMPATIBILIDAD	141
4.1	INTRODUCCIÓN	141
4.2	LIBERACIÓN DE VÍNCULOS. ELECCIÓN DE LAS INCÓGNITAS.....	143
4.2.1	CASO DE HIPERESTATICIDAD EXTERNA CON ISOSTATICIDAD INTERNA	143
4.2.2	CASO DE HIPERESTATICIDAD INTERNA CON ISOSTATICIDAD EXTERNA	144
4.3	P.T.V. PRINCIPIO DE LOS TRABAJOS VIRTUALES	145
4.3.1	HIPERESTATICIDAD EXTERNA CON ISOSTATICIDAD INTERNA.....	146
4.3.2	HIPERESTATICIDAD INTERNA CON ISOSTATICIDAD EXTERNA.....	149
4.4	CÁLCULO DE MOVIMIENTOS.....	153
5	MÉTODO DE EQUILIBRIO.....	163
5.1	GRADOS DE LIBERTAD.....	163
5.2	MÉTODO DIRECTO DE LA RIGIDEZ	164
5.3	FORMULACIÓN MATRICIAL DEL MÉTODO DIRECTO DE LA RIGIDEZ.....	169
5.4	RELACIONES DE COMPORTAMIENTO DE LA BARRA PRISMÁTICA	172
5.4.1	BARRA BIEMPOTRADA.....	172
5.4.2	BARRA EMPOTRADA-ARTICULADA.....	188
5.4.3	BARRA ARTICULADA-EMPOTRADA.....	190
5.4.4	BARRA ARTICULADA-ARTICULADA	192

5.5	MATRICES DE RIGIDEZ ELEMENTALES EN COORDENADAS LOCALES Y GLOBALES.	192
5.6	SISTEMATIZACIÓN DEL MÉTODO MATRICIAL	197
5.7	CONDICIONES DE CONTORNO ESPECIALES.....	209
5.7.1	APOYOS INCLINADOS.....	210
5.7.2	APOYOS ELÁSTICOS.....	219
5.8	ACCIONES EN LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.....	223
5.9	REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE GRADOS DE LIBERTAD.	266
5.9.1	HIPÓTESIS DE BARRAS INEXTENSIBLES.....	266
5.9.2	SIMETRÍAS.....	270
5.9.2.1	CONSIDERACIÓN DE LA SIMETRÍA EN ESTRUCTURAS PLANAS.....	271
5.9.2.2	SIMETRÍA AXIAL.....	289
6	INESTABILIDAD	303
6.1	INTRODUCCIÓN A LA INESTABILIDAD	303
6.1.1	GRANDES DEFORMACIONES.....	304
6.1.2	GRANDES DESPLAZAMIENTOS.....	306
6.1.3	NO-LINEALIDAD GEOMÉTRICA.	310
6.2	MÉTODOS DE ANÁLISIS.	311
6.2.1	PLANTEAMIENTOS EN BIFURCACIÓN.	312
6.2.2	GENERALIZACIÓN DE LOS PLANTEAMIENTOS EN BIFURCACIÓN. .	321
6.2.3	PLANTEAMIENTOS EN AMPLIFICACIÓN.....	326
6.2.4	ANÁLISIS DE PÓRTICOS	328
6.2.4.1	MULTIPLICADORES DE CARGA	329
6.2.4.2	PANDEO GLOBAL Y LOCAL.....	329
6.2.4.3	PÓRTICOS IDEALES Y PÓRTICOS REALES	331
6.2.4.4	IMPERFECCIONES GLOBALES Y LOCALES	331
6.2.4.5	COMPROBACIÓN DE PÓRTICOS	331
7	CÁLCULO PLÁSTICO DE ESTRUCTURAS DE BARRAS.....	333

CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

7.1	INTRODUCCIÓN	333
7.2	COMPORTAMIENTO DE LA SECCIÓN.....	335
7.2.1	HIPÓTESIS	335
7.2.2	COMPORTAMIENTO DE LA SECCIÓN SOMETIDA A TRACCIÓN O COMPRESIÓN SIMPLES.....	336
7.2.3	COMPORTAMIENTO DE LA SECCIÓN SOMETIDA A FLEXIÓN PURA.....	336
7.2.4	COMPORTAMIENTO DE LA SECCIÓN SOMETIDA A FLEXIÓN SIMPLE.	341
7.2.5	COMPORTAMIENTO DE LA SECCIÓN SOMETIDA A FLEXIÓN COMPUESTA.	346
7.3	MÉTODOS PASO A PASO PARA EL CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE BARRAS.	348
7.3.1	ESTRUCTURAS DE NUDOS ARTICULADOS	348
7.3.2	ESTRUCTURAS DE NUDOS RÍGIDOS.....	351
7.4	MÉTODOS ESTÁTICO Y CINEMÁTICO.	359
7.4.1	MÉTODO ESTÁTICO	359
7.4.2	MÉTODO CINEMÁTICO.....	362
7.5	TEOREMAS BÁSICOS.....	363
7.5.1	TEOREMA ESTÁTICO O DE MÍNIMO.	364
7.5.1.1	DEMOSTRACIÓN	364
7.5.2	TEOREMA CINEMÁTICO O DE MÁXIMO.	365
7.5.2.1	DEMOSTRACIÓN	365
7.5.3	TEOREMA DE UNICIDAD.....	366
7.5.4	MÉTODO DE COMBINACIÓN DE MECANISMOS.....	367
7.6	CÁLCULO DE MOVIMIENTOS.....	370
7.6.1	CÁLCULO DE MOVIMIENTOS Y ANÁLISIS DE LA ZONA PLASTIFICADA	370
7.6.2	MÉTODOS APROXIMADOS PARA EL CÁLCULO DE MOVIMIENTOS.....	374
8	BIBLIOGRAFÍA	381

1 CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 CONCEPTO DE ESTRUCTURA

La idea de Estructura está relacionada con términos como trama, forma, complejo y otros análogos, lo que pone de manifiesto, ya desde el comienzo, la idea de conjunto de elementos interrelacionados. Con un criterio de generalidad, pero dentro del contexto del Ingeniería Mecánica y Civil, se puede definir una estructura como un conjunto de elementos organizados y distribuidos de forma adecuada para cumplir la finalidad de resistir un sistema determinado de solicitaciones.

De esta definición y para aclarar conceptos, se pueden subrayar algunos aspectos especialmente interesantes. Así la estructura es un todo en el que sus partes están interrelacionadas, debiéndose hablar de elementos enlazados y de función o finalidad, más que de partes y adición.

En la definición dada también se incide en el punto de vista resistente, es decir, en la capacidad para el mantenimiento de su forma ante la acción de una serie de solicitaciones. Se entiende que se mantiene la forma siempre que las deformaciones producidas se encuentren dentro de

márgenes aceptables que permitan satisfacer los requerimientos funcionales para los que esté concebida. Por tanto, la función resistente (estados límite último) y el control de desplazamientos (estados límite de servicio) son los aspectos que caracterizan a los sólidos que se van a tratar en la Teoría de Estructuras.

Otra idea importante que se encuentra latente al hablar de elementos distribuidos adecuadamente es el interés por determinar la mejor solución, entre las diversas que admita el problema planteado, para cumplir la finalidad para la que la estructura ha sido prevista.

Todo lo expuesto conlleva la comprensión del mecanismo resistente de la construcción, lo que conduce a que se pueda elaborar un modelo matemático que permita su cálculo. En la concepción clásica, se asimilan las distintas partes de la estructura a una serie de elementos que constituyen los modelos más habituales del comportamiento de un sólido, como son las barras, las placas y las láminas, y esta simplificación permite, tal y como se ha indicado, abordar su cálculo. No obstante, esta idea clásica está en parte cambiando. El desarrollo actual de los métodos numéricos y la capacidad, velocidad, etc., de los ordenadores, hace que se puedan resolver de forma aproximada las ecuaciones de la mecánica de medios continuos y, por tanto, que no sea necesario recurrir a la simplificación que supone la idealización con los elementos estructurales clásicos.

Este cambio de concepción permite abordar la comprobación de elementos para los que el planteamiento clásico no proporciona una aproximación suficiente, pero siempre es preciso elaborar un modelo matemático que suponga una idealización más o menos compleja del problema planteado y, por tanto, es necesario tener criterios claros sobre su comportamiento estructural.

1.1.2 EL CÁLCULO EN EL PROCESO GENERAL DE DISEÑO

El proceso a seguir para la realización de una estructura, concebida para cubrir una serie de necesidades funcionales, puede esquematizarse en las tres fases clásicas de diseño, cálculo o análisis y construcción. Aunque no existe un método que asegure de forma automática la elección de la solución óptima, del manejo hábil y minucioso de los conceptos incluidos en las tres fases, del equilibrio en las relaciones existentes entre las mismas y de su coordinación dependerá el que se obtenga la solución estructural más adecuada al problema planteado.

Es de todo experto conocido que soluciones que desde un punto de vista resistente son idóneas, no son aceptables por sus dificultades constructivas o coste. La concepción de las estructuras con un enfoque global nos lleva a su comprensión moderna como sistemas.

Sin pretender englobar en el esquema de unos pocos párrafos todas las ideas que se pueden desprender del proceso a seguir para la realización de una estructura, que si no pretencioso cuando menos resulta ingenuo, a continuación, se comentan algunos conceptos que se han considerado de interés para clarificar y ordenar su contenido.

- Diseño

Por diseño se puede entender la concepción de la solución estructural que ha de cumplir con una función establecida, lo que supone la determinación del tipo estructural más adecuado, fijando la distribución, forma y dimensiones de los elementos que la componen, así como los materiales con que será construida.

En primer lugar, hay que concretar claramente las condiciones funcionales que definen el problema, lo que implica establecer una prioridad en las necesidades planteadas, detectar y ponderar posibles contradicciones y determinar cuidadosamente condiciones no explícitas en el enunciado del mismo. En el capítulo de cargas, por ejemplo, es de gran importancia en esta fase tener en cuenta todos los tipos posibles de solicitaciones a que pueda estar sometida la estructura.

También hay que establecer todas aquellas consideraciones adicionales de índole económica, estética, legal, etc., que afecten al problema. La sencillez en el proceso de ejecución y el análisis de los medios auxiliares disponibles para el mismo, así como, el estudio de los materiales que se pueden encontrar con mayor facilidad (en el caso de no estar condicionados por exigencias funcionales concretas) son factores que deben tenerse muy en cuenta a lo largo de esta fase del proyecto.

La actividad fundamental en esta fase es la preparación de todos los sistemas estructurales posibles, lo que exige conocimiento y experiencia por parte del proyectista sobre el comportamiento de los materiales, así como una comprensión clara de los mecanismos resistentes de cada uno de los tipos estructurales, dentro de una concepción global de la estructura en su entorno y las relaciones con el mismo.

La posterior revisión crítica de las soluciones encontradas, frente a los condicionantes y relaciones anteriormente expuestas, condicionará la elección de la solución/es que será/n comprobada/s a partir de su predimensionamiento.

- Cálculo o Análisis

En esta fase se trata de comprobar que la estructura puede desempeñar las funciones para las que ha sido diseñada, lo que supone la determinación de esfuerzos, deformaciones y movimientos que se producen en sus elementos al actuar el sistema de cargas a que está sometida y compararlos con los límites establecidos.

De esta idea inicial se desprende que los resultados obtenidos en el cálculo pueden conducir, y siempre tras un proceso de reflexión y crítica, a la modificación del predimensionamiento, o, en algún caso, a la revisión del propio diseño, repitiéndose el proceso hasta alcanzar la solución más adecuada.

El primer paso en el análisis de una estructura, íntimamente ligado también a la fase de diseño, es la modelización de la misma, conforme a la solución estructural prevista, generándose todo aquello que resulta necesario para poder realizar el cálculo.

Las acciones, ya estudiadas con detalle en la fase anterior, deben en este momento ser analizadas para que puedan definirse de forma manejable durante el cálculo, teniendo en cuenta las características del modelo estructural elegido y las simplificaciones introducidas, así como el tipo de cálculo que se va a efectuar.

Por otra parte, el carácter diverso de las acciones hace que el grado de incertidumbre asociado a cada una sea diferente. Así, las cargas muertas (peso propio de la estructura, peso de elementos no estructurales...) son relativamente fijas y permanentes, mientras que las sobrecargas (viento, nieve...) pueden variar en el tiempo y espacio, y otras como por ejemplo las explosiones o impactos, se consideran accidentales. Todo ello conduce a que sea necesario analizar cuidadosamente las hipótesis simples de carga, cuáles deben ser sus combinaciones y los coeficientes de seguridad que en función del riesgo, probabilidad y daño deben afectar a las distintas acciones.

Además, es preciso fijar las hipótesis básicas relativas al comportamiento del material elegido, ponderar todos aquellos supuestos inherentes a los fundamentos teóricos de los posibles métodos de cálculo, analizando su aplicabilidad al caso concreto que se está estudiando, así como definir el criterio de fallo.

Una vez realizados todos los pasos anteriores, sólo queda por determinar si la estructura diseñada, que está representada por un modelo matemático adecuado y sometida a la acción de unas cargas establecidas, llega a superar alguno de los límites especificados.

El análisis consistirá, por tanto, en la comprobación de si la estructura alcanza o no alguno de los límites fijados en rotura, deformación, equilibrio, estabilidad, etc., lo que supone la elección de una metodología de cálculo apropiada en función de las bases establecidas, que podrá ser analítica, numérica o experimental, y una inspección cuidadosa de los resultados, que nos permita la extrapolación de lo obtenido al comportamiento real de la estructura.

Los resultados obtenidos del análisis pueden conducir, como ya se ha indicado, a una modificación del diseño, bien porque la función resistente no se cumpla, o bien porque de alguna manera se haya puesto de manifiesto que el diseño no era el adecuado. Este ciclo se recorrerá hasta determinar el diseño óptimo, en cuyo caso finalizará el proceso y se podrá proceder a la realización de la estructura.

- Construcción

Esta última fase comprende aspectos fundamentales para la consecución del objetivo final planteado. Así, la elaboración del programa de obra, plan de trabajo, proyecto de seguridad (si es necesario), diseño de las instalaciones y previsión de la maquinaria y medios auxiliares

necesarios, la definición de todos los detalles que conformarán los planos de montaje, adquisición y acopio de materiales, replanteo, ejecución con los controles de calidad especificados, etc., resultan imprescindibles para la realización de la estructura.

1.1.3 TIPOLOGÍA Y CLASIFICACIONES

Una estructura es un sistema que trabaja conjuntamente pero que se suele apreciar como formada por un conjunto de elementos interconectados entre sí. Por tanto, una primera clasificación que se puede establecer para las estructuras es la que se realiza en función de los elementos que la forman. Así, las estructuras pueden estar formadas por:

- **Elementos lineales**, en los que una dimensión predomina sobre las otras (vigas, cables...), pudiendo éstos ser rectos o curvos.
- **Elementos superficiales**, en los que una dimensión es mucho menor que las otras dos (placas, láminas...) y en los que también cabe la posibilidad de que sean planos o curvos y, en este último caso, con sencilla o doble curvatura.
- **Elementos tridimensionales**, que son aquellos en los que las tres dimensiones son del mismo orden de magnitud (zapatas, bancadas...).

El cálculo de una estructura no se realiza sobre la estructura real sino sobre un modelo matemático de la misma y los resultados obtenidos pueden variar mucho dependiendo de las hipótesis realizadas. Es por tanto imprescindible que se haga una elección de las propiedades del modelo que representan adecuadamente la respuesta real de la estructura. Teniendo esto presente y, ciñéndonos a las estructuras formadas por elementos lineales que son a las que se dedicará más espacio en este texto, otra clasificación habitual, es la siguiente:

- **Estructura de celosía**, que es aquella en la que los elementos se unen en nudos que no pueden transmitir momentos. Las acciones y reacciones¹ son únicamente fuerzas en los nudos.
- **Estructuras de nudos rígidos** que son las que no cumplen las anteriores condiciones.

Además, estas estructuras podrán ser planas, cuando los nudos se encuentran en un plano y las cargas actúan en él, o espaciales si hay nudos fuera de un plano o cargas que producen movimientos de nudos o elementos fuera del plano.

¹ Las acciones (que también es fundamental idealizar adecuadamente) que actúan sobre la estructura suelen ser fuerzas o momentos en puntos de la misma o fuerzas distribuidas (por unidad de longitud o superficie) sobre los elementos y que se suelen denominar cargas, mientras que las fuerzas y momentos que se aplican a través de las restricciones de los nudos se las denomina reacciones.

Si se atiende a su forma de trabajo, y siempre pensando en su comportamiento ideal, las estructuras se suelen clasificar en:

- **Estructuras que trabajan considerando exclusivamente esfuerzos axiales.** Estructuras en las que la tensión en sus elementos es uniforme en toda sección transversal. Como ejemplos se pueden citar los cables (en los que toda su sección transversal está sometida a tracción, arcos (las secciones transversales están a compresión, aunque debido a su rigidez a flexión suelen tener también esfuerzos de flexión), celosías (con barras trabajando a tracción o compresión exclusivamente si se considera un comportamiento ideal de los nudos articulados que las unen).
- **Estructuras que trabajan considerando además la flexión.** Estructuras en las que la tensión varía a lo largo de la sección transversal como es el caso de las vigas (la carga perpendicular a la directriz se equilibra mediante esfuerzos cortantes y momentos flectores), placas (en las que por su configuración bidimensional además aparecen momentos torsores a las secciones), etc.

También atendiendo a su forma de trabajo se suele realizar una clasificación en función de la rigidez de los elementos:

- **Estructuras formadas por elementos rígidos,** en las que no se producen cambios de forma apreciables bajo la acción de las cargas. Son ejemplos de este tipo de estructuras las formadas por vigas, pilares, los arcos, placas, etc.
- **Estructuras formadas por elementos flexibles,** con una forma determinada en una condición de carga que cambia drásticamente cuando se modifica la naturaleza de la carga. Son ejemplos de este tipo de estructuras los cables y membranas.

Sin duda, asociado a estas clasificaciones se debe hacer referencia a todas aquellas que se basan en el tipo de material de construcción (estructuras metálicas, de hormigón armado, de madera...).

1.2 PRINCIPIOS BÁSICOS

1.2.1 PEQUEÑOS DESPLAZAMIENTOS

En este curso sólo se van a tratar aquellas estructuras en las que los desplazamientos son suficientemente pequeños como para considerar que su geometría no cambia como consecuencia de la aplicación de las cargas. Es decir, los desplazamientos son tan pequeños que no modifican las relaciones de equilibrio ni los esfuerzos y movimientos provocados por las cargas (linealidad estática).

EJEMPLO 1.1

Para calcular el momento en A, se considera que el elemento permanece recto, por lo que éste es:

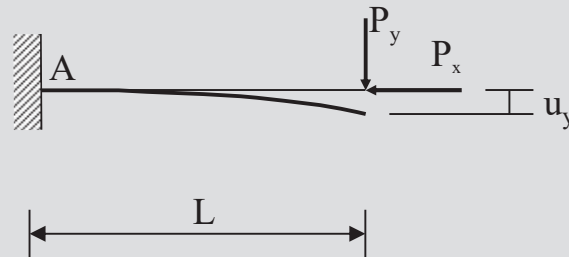


Figura a)

$$M_A = P_y L$$

Cuando en realidad al considerar la deflexión del elemento, éste debería ser:

$$M_A = P_y L + P_x u_y$$

considerándose despreciable, por tanto, el segundo sumando en relación con el primero.

Si el efecto de los desplazamientos influye de forma importante sobre las relaciones y esfuerzos de equilibrio, será necesario tenerlos en cuenta, pasando a lo que se conoce por teoría de segundo orden.

1.2.2 COMPORTAMIENTO LINEAL

Los materiales se deforman bajo carga. La relación entre las componentes de la tensión y de la deformación, que fue establecida experimentalmente, es conocida como Ley de Hooke y constituye la hipótesis básica de la Teoría de la Elasticidad.

Se entiende por comportamiento elástico aquel que cuando se retira la carga aplicada a la estructura, ésta vuelve a su posición inicial siguiendo la misma línea fuerza-desplazamiento del proceso de carga.