1

INTRODUCCIÓN

1.1 MECÁNICA

La ciencia de la *mecánica* se ocupa de las acciones que ejercen las fuerzas en los cuerpos materiales. En su mayor parte, el diseño que se hace en ingeniería se basa en aplicaciones de dicha ciencia. *Estática* es la rama de la mecánica que se ocupa de las fuerzas en equilibrio o de los cuerpos que se mantienen inmóviles por efecto de las fuerzas que actúan sobre ellos. *Dinámica* es la rama de la mecánica que se ocupa de los cuerpos en movimiento o de las fuerzas que intervienen, con relaciones dependientes del tiempo.

1.2 RESISTENCIA DE MATERIALES

Cuando actúan fuerzas en un cuerpo material, ocurren dos cosas. Primero, se desarrollan en el interior del cuerpo fuerzas internas que resisten los efectos de las fuerzas externas. Estas fuerzas internas producen *esfuerzos* en el material de que está hecho el cuerpo. Y segundo, las fuerzas externas producen *deformaciones* o cambios en la forma del cuerpo.

La *resistencia de materiales*, o mecánica de los materiales, es el estudio de las propiedades de los cuerpos materiales que les permiten resistir las acciones de fuerzas externas, de los esfuerzos que se desarrollan dentro de los cuerpos y de las deformaciones que ocasionan las fuerzas externas.

1.3 MECÁNICA ESTRUCTURAL

En arquitectura y en ingeniería civil, se da a menudo la designación general de *mecánica estructural* a los temas relacionados de la estática y la resistencia de materiales, en vista de que constituyen la base del diseño estructural.

Un ingeniero o un arquitecto tiene al frente dos tipos de problemas distintos, el *diseño* y la *investigación*. Los problemas de diseño son aquellos en los que han de determinarse el material, la forma y el tamaño de un cuerpo, para que pueda resistir en forma económica las fuerzas externas. Los problemas de investigación ofrecen como datos la clase de material y su tamaño y forma, así como las cargas que ha de resistir el cuerpo. El arquitecto o el ingeniero calcula las magnitudes de las fuerzas internas resistentes (esfuerzos) que se desarrollan en el cuerpo, para poder determinar si el tamaño del miembro es o no suficientemente grande.

1.4 UNIDADES DE MEDIDA

Al estar en preparación la edición de este libro, la industria de la construcción se encuentra todavía en Estados Unidos en un estado de transición, con cierta confusión respecto al uso de las unidades del sistema inglés (pies, libras, etc.) y el de las unidades del nuevo sistema de base métrica, a las que se les conoce como unidades SI (por Systeme International). Aunque parece inevitable el cambio completo a las unidades SI, hoy aún se resisten a dicho cambio los proveedores de materiales y productos para la construcción en los EEUU. Como consecuencia, el *AISC Manual* y la mayoría de los reglamentos de constucción y otras publicaciones de consulta que se utilizan extensamente, están todavía en las unidades antiguas. (Al antiguo sistema se le llama ahora con más propiedad sistema de Estados Unidos porque Inglaterra tampoco lo utiliza ya.) Aunque da lugar a cierto grado de incomodidad en el trabajo, se ha optado por presentar los datos y cálculos en este libro en ambas unidades, hasta donde ha sido práctico hacerlo. Se ha seguido la técnica de efectuar la operación en unidades de Estados Unidos, y poner en seguida el resultado equivalente en unidades SI, encerrado entre corchetes, para fines de separación e identificación.

En la tabla 1.1 se anotan en lista las unidades nomales de medición en el sistema de Estados Unidos, con las abreviaturas que se emplean en este libro, y una descripción del tipo de utilización que se les da en el trabajo estructural. En forma semejante, en la tabla 1.2 se presentan las unidades correspondientes en el sistema SI. Los factores de conversión para pasar de un sistema al otro, se dan en la tabla 1.3.

Para una parte del trabajo de este libro no son significativas las unidades de medición. Lo que se requiere en tales casos es hallar simplemente una respuesta numérica. La visión conceptual del problema, la manipulación de los procesos matemáticos para la solución y la cuantificación de la respuesta, no están relacionados con unidades específicas, sino sólo con sus valores relativos. En tales

situaciones, se ha optado por no presentar el trabajo en las dos clases de unidades, con objeto de proporcionar al lector una ilustración menos confusa. Aunque puede considerarse aceptable este procedimiento para los ejercicios de enseñanza de este libro, se aconseja, en general, al diseñador estructural, que desarrolle el hábito de indicar siempre las unidades para toda respuesta numérica que obtenga en los cálculos estructurales.

Tabla 1.1 Unidades de medida: Sistema de Estados Unidos

Nombre de la unidad	Abreviatura	Uso
Longitud		
Pie	pie	Dimensiones grandes, planos de edificios, claros de vigas
Pulgada	pulg	Dimensiones pequeñas, tamaño de secciones transversales de miembros
Área		
Pies cuadrados	$pies^2$	Áreas grandes
Pulgadas cuadradas	$pulg^2$	Áreas pequeñas, propiedades de las secciones transversales
Volumen		
Pies cúbicos	$pies^3$	Volúmenes grandes, cantidades de materiales
Pulgadas cúbicas	$pulg^3$	Volúmenes pequeños
Fuerza, Masa		
Libra	lb	Peso específico, fuerza, carga
Kilolibra	klb	1 000 libras
Libras por pie	lb/pie	Carga lineal (como la que obra sobre una viga)
Kilolibra por pie	klb/pie	Carga lineal (como la que obra sobre una viga)
Libras por pie cuadrado	lb/pie^2	Carga distribuida sobre una superficie
Kilolibras por pie cuadrado	klb/pie^2	Carga distribuida sobre una superficie
Libras por pie cúbico	lb/pie^3	Densidad relativa, peso
Momento		
Libra-pies	lb-pies	Momento flexionante o de rotación
Libra-pulgadas	lb-pulg	Momento flexionante o de rotación
Kilolibras-pies	klb-pies	Momento flexionante o de rotación
Kilolibras-pulgadas	klb-pulg	Momento flexionante o de rotación
Esfuerzo		
Libras por pie cuadrado	lb/pie^2	Presión del suelo
Libras por pulgada cuadrada	$lb/pulg^2$	Esfuerzos en estructuras
Kips por pie cuadrado	klb/pie^2	Presión del suelo
Kips por pulgada cuadrada	$klb/pulg^2$	Esfuerzos en estructuras
Temperatura		
Grados Fahrenheit	°F	Temperatura

3

ACCIONES DE LAS FUERZAS

3.1 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE

Una manera conveniente de determinar las fuerzas desconocidas que actúan en un cuerpo, o los esfuerzos internos desconocidos que se desarrollan en una estructura, es construir un *diagrama de cuerpo libre*. Dicho diagrama puede trazarse para una estructura completa o para una parte de la misma. El procedimiento común consiste en imaginar que se ha cortado una parte de la estructura y se ha separado de las partes adyacentes, para llevarla a una posición libre en el espacio. Este objeto aislado se conoce como un *cuerpo libre*. Los problemas con que estamos trabajando tratan con fuerzas en equilibrio. Por tanto, las fuerzas se representan como vectores (en forma gráfica), y el polígono de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo libre debe cerrar; este hecho nos permite determinar las fuerzas desconocidas.

Considérese la figura 3.1*a*, que representa dos miembros empotrados en un muro; ambos forman un ángulo de 30° y el miembro superior es horizontal. Sobre el punto en que se encuentran los dos miembros, se coloca un bloque de piedra que pesa 200 lb. La figura 3.1*b* es un diagrama que ilustra el bloque como cuerpo libre, y las tres fuerzas son la fuerza vertical de 200 lb (el peso del bloque), la fuerza desconocida que actúa a lo largo del miembro horizontal, y la fuerza, también desconocida, que actúa en el miembro inclinado. El sistema de identificación de fuerzas que se explicó en la sección 2.14 se aplica en la figura 3.1*c*; en consecuencia, las fuerzas que actúan sobre el cuerpo libre son *AB* (la fuerza de la gravedad) y las fuerzas desconocidas *BC* y *CA*, aunque las direcciones de las flechas no se han determinado

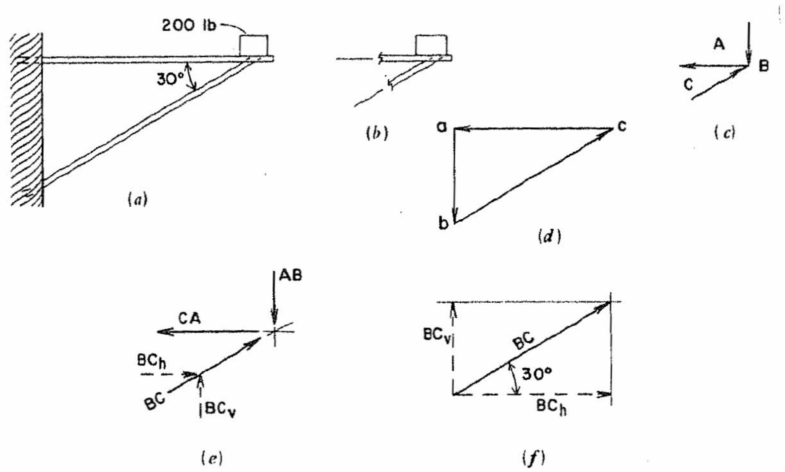

Figura 3.1

todavía en las dos últimas. Debe observarse que los esfuerzos desconocidos que actúan en los miembros del marco, se convierten en *fuerzas externas* respecto al cuerpo libre. Con referencia a la figura 4.3, se puede observar que los tres diagramas aislados de las juntas sirven, en esencia, como diagramas de cuerpo libre.

Para determinar las fuerzas que actúan en los miembros del marco, sólo se necesita construir el polígono de las fuerzas concurrentes. Se comienza por trazar el vector (fuerza) *ab*, una fuerza vertical descendente de 200 lb, como se ilustra en la figura 3.1*d*. Se puede usar cualquier escala conveniente de tantas libras por cada pulgada. La siguiente fuerza en orden es *BC*; por lo tanto, pasando por el punto *b* se traza una línea paralela a la fuerza *BC*. El punto *c* está en algún punto de esta línea. La siguiente es la fuerza *CA*; por tanto, se traza una línea que pase por el punto *a* y sea paralela a la fuerza *CA*. El punto *c* está sobre esta línea, y por lo tanto está en el punto de intersección con la línea previamente trazada por *b* paralela a *BC*. La figura 3.1*d* es, entonces, el polígono de fuerzas para las tres fuerzas que actúan sobre el bloque. Midiendo a escala las longitudes de las líneas en el polígono de fuerzas, se encuentra que $BC = 400$ lb, y $CA = 346$ lb. Esta es una *solución gráfica*, y para tales soluciones, la exactitud que se obtiene al determinar las fuerzas depende de la exactitud que se haya tenido al trazar el diagrama. La exactitud extrema no es ni necesaria ni deseable, y las soluciones gráficas son, en general, suficientemente exactas para los fines de la práctica.

El problema anterior se presta, por supuesto, para una solución matemática. En seguida se presenta un ejemplo de solución de esta naturaleza. Considérese el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas, que se ilustra en la figura 3.1*e*. En este diagrama están representadas las tres fuerzas que aparecen en la figura 3.1*c*, pero también se muestran las componentes de la fuerza *BC* en términos de una resolución en efectos vertical y horizontal. Como se ilustra en la figura 3.1*f*, estas componentes

pueden reemplazar a la fuerza *BC* completamente, y suelen usarse para representarla en un diagrama de cuerpo libre. Se demuestra el propósito de esto en el análisis siguiente.

En el diagrama de cuerpo libre de este ejemplo, las fuerzas están constituidas como un sistema de fuerzas concéntricas, coplanares. (Véase la sección 2.4.) Para tal sistema, las condiciones algebraicas para equilibrio estático se establecen como sigue:

$$\Sigma F_H = 0, \quad \Sigma F_V = 0$$

Esto quiere decir que la suma de las componentes horizontales de todas las fuerzas es cero, y que la suma de las componentes verticales de todas las fuerzas también es cero. Con referencia a la figura 3.1*e*, se aplican ahora estas condiciones, más las características geométricas conocidas de los vectores fuerza (es decir, sus direcciones) al problema del ejemplo, como sigue:

$$\Sigma F_H = 0 = CA + BC_H$$

$$\Sigma F_V = 0 = AB + BC_V$$

Para poner lo anterior en forma algebraica, se tiene que adoptar una convención de signos (+ y −) para los vectores fuerza, como sigue:

$$+ = \uparrow, \text{ y } - = \downarrow$$

$$+ = \rightarrow, \text{ y } - = \leftarrow$$

Luego se utiliza, usando primero la ecuación de equilibrio que contiene solamente una incógnita,

$$\Sigma F_V = 0 = -200 + BC_V, \quad BC_V = +200 \text{ o bien, } 200 \uparrow$$

Entonces, por las características geométricas de BC:

$$BC_V = BC\,(\text{sen } 30°) = BC\,(0.50)$$

Por lo tanto,

$$BC_V = 200 = BC\,(0.50), \qquad BC = 400 \text{ lb de compresión}$$

Nótese que el sentido de *BC*, al estar a compresión, es evidente por el signo de BC_V y por la inspección del diagrama de cuerpo libre (figura 3.1*e*).

Luego se aplica la otra ecuación de equilibrio para hallar la fuerza desconocida *CA*.

$$\begin{aligned} \Sigma F_H &= 0 = CA + BC_H \\ &= CA + (BC \times \cos 30^\circ) \\ &= CA = 0.866BC \\ &= CA + 346 \end{aligned}$$

En consecuencia,

$$CA = -346 \text{ o bien, } 346 \leftarrow$$

Nuevamente, se ve que esto indica tensión en el miembro del marco, por observación del diagrama de cuerpo libre.

3.2 MIEMBROS SUJETOS A DOS FUERZAS

Cuando un miembro en equilibrio está bajo la acción de fuerzas en sólo *dos puntos*, se le conoce como *miembro sujeto a dos fuerzas.* La resultante de todas las fuerzas que actúan en uno de los puntos debe ser igual, de dirección opuesta y tener la misma línea de acción que la resultante de las fuerzas que actúan en el otro punto. En un miembro sujeto a dos fuerzas, el esfuerzo puede ser de tensión o de compresión. Un poste vertical con una carga en su extremo superior es un ejemplo. Si se ignora el peso del poste, la carga aplicada en la parte superior (debido a la gravedad) es igual, en magnitud, a la reacción ascendente que actúa en la base del poste; su dirección es opuesta y es colineal. El esfuerzo dentro del poste es *axial.*

En la figura 3.1*a*, cada uno de los dos miembros del marco es un miembro sujeto a dos fuerzas. Considérese, por ejemplo, el miembro horizontal. Las fuerzas que actúan en el extremo derecho son la carga vertical de 200 lb y la fuerza de compresión ejercida por el miembro inferior del marco. En la figura 3.1*d* se ve que la *resultante* de estas dos fuerzas es *ac*. La fuerza *ac* es horizontal, y la reacción del muro (la otra fuerza que actúa en este miembro) también es horizontal, igual en magnitud a *ac* y colineal.

Una armadura de techo es una estructura reticular en la que se ensamblan los miembros para formar triángulos. Al determinar las fuerzas que obran en los miembros de la armadura, se acostumbra ignorar sus propios pesos, ya que son pequeños en comparación con las cargas. De modo semejante, se supone que los miembros no están empotrados en sus extremos; en teoría, se les considera unidos por pernos de articulación o pasadores. Con estas suposiciones, los miembros de una armadura son miembros sujetos a dos fuerzas, y resisten tanto fuerzas de compresión como de tensión.

3.3 FRICCIÓN O ROZAMIENTO

Cuando actúan fuerzas en objetos, en forma tal que tiendan a hacer que un objeto se deslice sobre la superficie de otro, se desarrolla a menudo una resistencia al

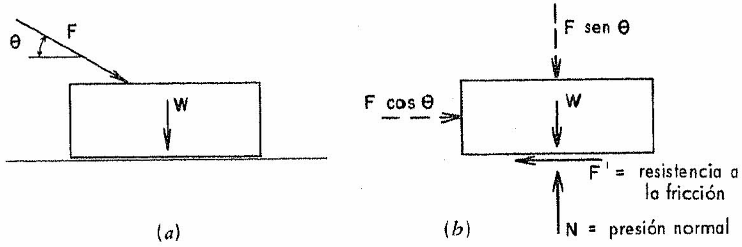

Figura 3.2 Fricción por deslizamiento.

movimiento de deslizamiento en la cara de contacto entre los dos objetos. A esta resistencia se le llama *fricción* o *rozamiento*, y constituye una clase especial de fuerza.

Para el objeto que se ilustra en la figura 3.2*a*, en el que actúa su propio peso y la fuerza inclinada *F*, se puede observar que el movimiento que es inminente es el deslizamiento del bloque hacia la derecha, sobre la superficie del plano. La fuerza que tiende a causar este movimiento es la componente de *F* que es paralela al plano. La componente de *F* que es vertical, trabaja con el peso del bloque para presionar a éste contra el plano. A la suma del peso más la componente vertical de *F* (F sen Θ) se le llama presión sobre el plano, o fuerza normal (perpendicular) al plano.

En la figura 3.2*b* se ilustra un diagrama de cuerpo libre del bloque. Para que el bloque esté en equilibrio se tienen que generar dos componentes de resistencia. Para el equilibrio en una dirección normal al plano, se requiere la fuerza reactiva *N*, cuya magnitud es igual a $W + F$ sen Θ. Para que haya equilibrio en la dirección horizontal, a lo largo de la superficie del plano, tiene que haber resistencia a la fricción de magnitud igual a F cos Θ.

La situación que se acaba de describir puede resultar en una de tres posibilidades, como sigue:

1. El bloque no se mueve porque la resistencia potencial a la fricción es más que adecuada, es decir,

$$F' > F \cos \Theta$$

2. El bloque se mueve porque la fricción no es de magnitud suficiente, es decir,

$$F' < F \cos \Theta$$

3. El bloque está a punto de moverse, porque la fricción potencial es exactamente igual a la fuerza que tiende a inducir su deslizamiento; es decir,

$$F' = F \cos \Theta$$