

# Estudio de la fórmula principal para el cálculo de vigas compuestas metálicas

POR

CARLOS G. LOPEZ

## I.—*El Acero como Material para Construcciones*

El empleo de acero en construcciones de Ingeniería Civil, data desde fines del siglo XIX, cuando reemplazó permanentemente a los hierros fundido y forjado que habían sido usados con exclusión muchos años antes. Desde ese entonces su utilización ha incrementado enormemente, hasta que en la actualidad podemos observar una variedad de construcciones, en las cuales el material básico es el acero.

La preferencia por este material es muy justificada, desde luego que las posibilidades para su aplicación son ilimitadas: es tan adaptable a las construcciones más pequeñas como a las monumentales; así como puede emplearse en la forma de vigas simples de una sola pieza, en puentes de pequeña luz o en pisos de edificios, puede también ser utilizado en la forma de piezas de combinación complicada, ya sea en puentes fijos de grandes luces, en puentes móviles de intrincado mecanismo y aún en armazones gigantescas para edificios de gran altura.

Aparte de la construcción de puentes para caminos y ferrocarriles, es muy probable que, en países como el Ecuador que están situados dentro de zonas sujetas a la influencia de movimientos sísmicos, se emplee el acero extensamente en el futuro para la construcción de edificios públicos y particulares, ya sea en la forma de armazones o como material de combinación con otros menos elásticos. Al menos la adopción de construcciones

de esa naturaleza, estaría de acuerdo con el dictamen que ha sido expuesto abiertamente, para zonas similares, por todos los ingenieros eminentes que han visitado las ciudades del Japón y Santa Bárbara en California, a raíz de los terremotos allí acontecidos no hace mucho tiempo. A continuación puede mencionarse muy apropiadamente, tres conclusiones deducidas por el Profesor Arthur C. Alvarez de la Universidad de California, quién por la cercanía al sitio del suceso, pudo observar los efectos del terremoto en la ciudad de Santa Bárbara, inmediatamente después de haber ocurrido. El señor Alvarez escribe así en parte: . . . . "Me parece casi innecesario mencionar que los adobes secados en el sol, no deben ser considerados como materiales de construcción, en zonas donde los movimientos sísmicos son de reconocida ocurrencia" . . . . "Los edificios con paredes de ladrillo, piedra labrada y bloques de cemento fracasaron casi totalmente. En muchos casos la mala calidad del mortero de cal empleado, agravó la destrucción". . . . . "Una armazón de acero con sus miembros bien remachados, constituye la mejor fortaleza para un edificio; en verdad una armazón de esta clase no ha fracasado nunca en un terremoto. Las paredes dentro de esta armazón deben ser preferiblemente de concreto armado, antes que de ladrillo o bloques huecos de arcilla".

Pudiera argüirse que el acero es un material caro y que como su duración es tal vez menor que la correspondiente a la mampostería, su empleo en la construcción de edificios resultaría, de una manera general, costoso y antieconómico. Este razonamiento tendría peso al tratarse de lugares de reconocida inmunidad a los movimientos terráqueos, pero es evidente que no es aplicable a aquéllos donde las manifestaciones sísmicas son de común ocurrencia. Como no es posible precisar la época cuando un desastre de esa naturaleza puede ocurrir, el peligro de destrucción es siempre inminente y en consecuencia el costo verdadero de una construcción, es susceptible de variación al considerarlo en términos de su estabilidad. bajo la influencia de fuerzas repentinas y que generalmente han sido imprevistas o menospreciadas. Por otra parte, en la actualidad, mejor que antes, puede apreciarse los esfuerzos que hacen los fabricantes de acero para mejorar el producto con el fin de impartirle mayor resistencia y duración, sin alterar su precio, o aún disminuyéndole. El empleo reciente de los hornos eléctricos, de control automático y absoluta precisión, es el eslabón más grande en la extensa cadena de progreso en la industria del acero.

## II.—Uso de las Vigas Compuestas

Las piezas de acero producidas por la industria, tienen una gran variedad de formas, adaptobles a cualquier requisito en las construcciones de ingeniería. Las dimensiones correspondientes, las tolerancias admisibles, tanto en su composición química como en sus propiedades físicas, y las resistencias garantizadas para ellas, son catalogadas en manuales, que tienen el carácter de guías para el empleo práctico y económico del acero.

Entre las piezas de combinación se clasifican las vigas conocidas con el nombre de "compuestas" o de "alma llena", las cuales son formadas por planchas verticales altas, de pequeño espesor, en combinación con escuadras remachadas horizontalmente en sus extremos superior e inferior. Cuando la resistencia con esa disposición de las partes es insuficiente, se añaden otras planchas y escuadras de menores dimensiones que las primeras, las cuales se colocan horizontal y verticalmente, según lo requiera la seguridad de la construcción.

Estas vigas son las más apropiadas para luces que varían entre los trece y treinta y ocho metros, para luces menores deben emplearse las vigas de una sola pieza y para los vacíos que exceden del límite máximo indicado, son más convenientes las vigas de celosía, llamadas también "armaduras".

Las vigas compuestas se distinguen especialmente, por el trabajo relativamente reducido de ensamble para colocarlas en el sitio de una construcción, disminuyéndose ese trabajo en proporción a la cercanía a una línea ferroviaria. Otra superioridad inherente en esta clase de vigas es su rigidez, de allí que son preferidas especialmente en los puentes para ferrocarriles, donde las cargas son esencialmente pesadas y sujetas a grandes fluctuaciones de un día para otro. Muchos casos se han visto en los ferrocarriles norteamericanos, cuando la construcción de la subestructura ha sido fácil y segura, de emplear varios tramos de vigas compuestas, en vez de uno o algunos con otra clase de superestructura.

De lo que antecede puede deducirse la importancia que reviste el empleo de las vigas compuestas, en construcciones con luces tan usuales como las que están comprendidas dentro de los límites mencionados; por consiguiente, es necesario que el ingeniero al calcular una estructura metálica de ese tipo, utilice las fórmulas más apropiadas y convenientes, según los requisitos especiales de cada problema. El objeto de la presente discusión es el indicar principalmente la variedad de fórmulas en uso,

explicando someramente las partes importantes en el desarrollo de aquella que debiera ser la más usada y luego recomendando la que debiera preferirse, según las condiciones y restricciones aplicables a cada una de dichas fórmulas.

### III.—Fórmulas generales para el cálculo de las vigas

El procedimiento general para el cálculo de una viga simple es: primero, determinar la forma y dimensiones de la sección transversal, de un material dado capaz de resistir con seguridad el momento flector producido por las cargas aplicadas y que generalmente es el más crítico; después justificar la bondad de las dimensiones encontradas, calculando su capacidad de trabajo en oposición al esfuerzo cortante, el que aunque generalmente produce un efecto menor que el momento flector, sin embargo pueden presentarse casos de no ser así, especialmente tratándose de vigas para luces pequeñas. Las fórmulas generales para el cálculo de vigas de cualquier material y forma de sección son:

$$f = \frac{My}{I} \quad (1) \quad v = \frac{VQ}{bI} \quad (2)$$

los símbolos en las cuales tienen el siguiente significado:

$f$  = esfuerzo flector unitario en la sección de la viga considerada.

$M$  = momento de flexión máximo producido por las cargas aplicadas.

$y$  = distancia desde el eje neutro principal de la sección, hasta la fibra más apartada

$I$  = momento de inercia con respecto al eje neutro mencionado.

$v$  = esfuerzo cortante unitario vertical u horizontal en la sección considerada.

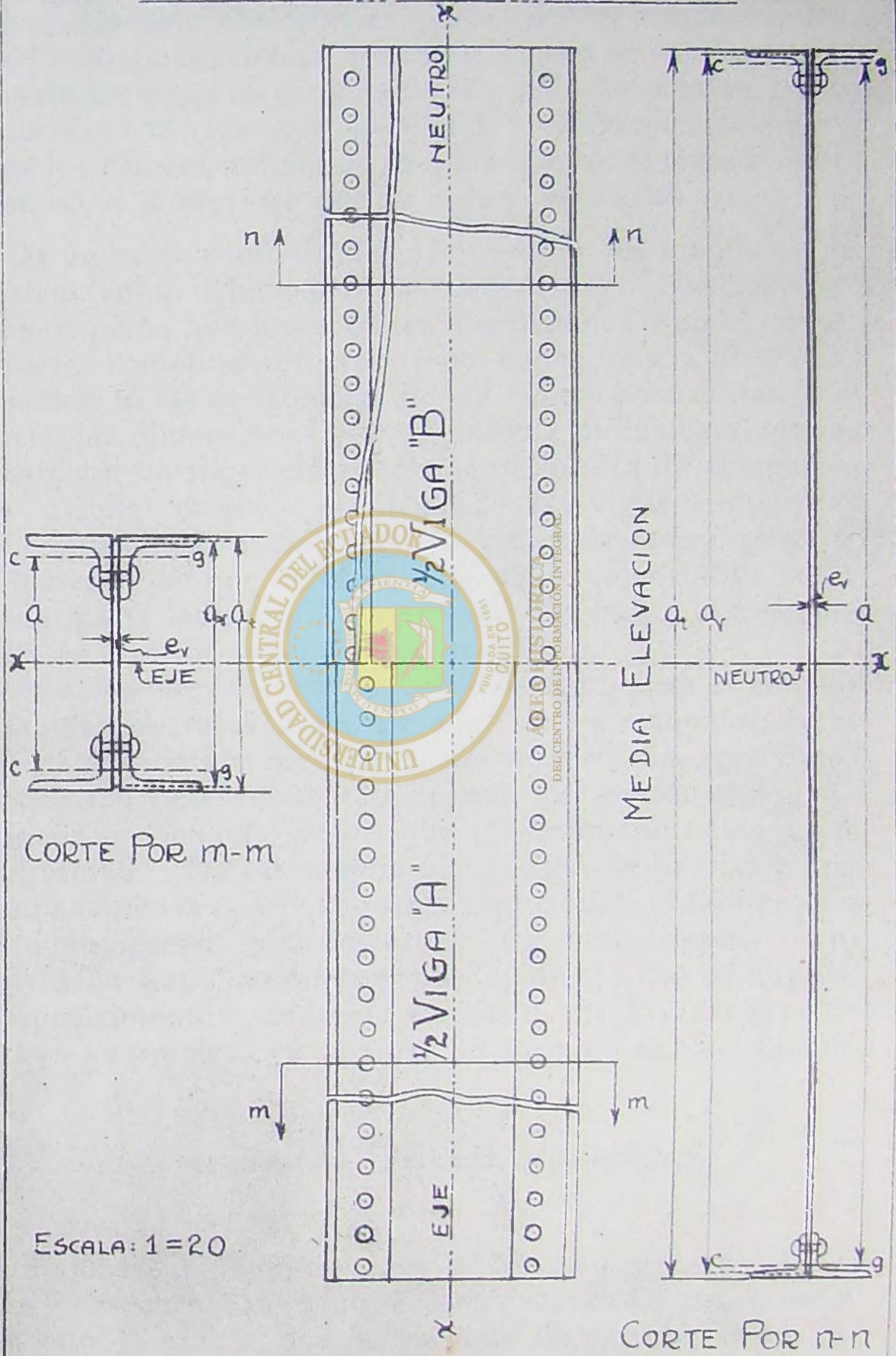
$V$  = esfuerzo cortante máximo producido por las cargas aplicadas:

$Q$  = momento estático en cualquier punto de la sección, tomado con respecto a su eje neutro principal, y de esa parte inmediatamente superior o inferior a un eje que, pasando por el punto considerado, sea paralelo al neutro.

$b$  = dimensión en la base de la viga.

$I$  = mismo significado que en la fórmula (1).

# COMPARACION DE DOS VIGAS COMPUESTAS



Estas dos fórmulas aunque de fácil aplicación para vigas de sección rectangular, resultan inconvenientes en el caso de vigas metálicas de una sola pieza, aún para los perfiles más conocidos, y son demasiado laboriosos para el cálculo de las vigas de combinación como las compuestas. Las dificultades para las vigas de una sola pieza son obviadas en parte, por el empleo de los manuales de casas manufactureras, en los cuales se catalogan las resistencias de las vigas en función de sus módulos, siendo necesario para obtener la viga más apropiada y económica, solamente comparar los valores allí dados, con los que se obtienen debido a los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas.

Para las vigas de combinación, la ayuda de los manuales es menos efectiva, como debe esperarse, desde luego que toda variación, por pequeña que fuere, en las dimensiones o en el número de las partes componentes, trae como consecuencia alteraciones apreciables en las resistencias de las vigas constituídas. En consecuencia, las dimensiones y el número de piezas catalogadas tienen el carácter de sugerencias solamente, nunca de soluciones definitivas. Luego después, el cálculo de las vigas compuestas difiere del empleado para las vigas de una sola pieza, pero de cualquier material, en que la fórmula del esfuerzo cortante se la utiliza como parte integrante y necesaria, no como una simple justificación de otra fórmula más importante.

Debido a los inconvenientes anotados, tanto para el empleo de las fórmulas generales como para el de los manuales, en la práctica se ha obtado por recurrir al uso de fórmulas aproximadas, que permitan determinar rápidamente la sección resistente de la viga, con un pequeño error que generalmente está en el lado de seguridad. De tal manera que la falta de precisión matemática, se compensa con la seguridad adicional obtenida para la sección a emplearse. Sin embargo, la fórmula exacta no es siempre olvidada, hay ocasiones en las cuales su uso es imprescindible, especialmente cuando los requisitos de las cargas exigen secciones anormales, ya sea en su forma o en sus dimensiones.

#### IV. -Desarrollo de la Fórmula Aproximada

Para emplear inteligentemente la fórmula aproximada, es importante y necesario que el ingeniero conozca las transformaciones que sufre la exacta, que es su base de partida, hasta llegar a la forma sencilla que permite, como se ha dicho ya, el que sea aplicada rápida y fácilmente.

Para el desarrollo de la fórmula eproximada, consideremos las vigas "A" y "B", las cuales están formadas, como se observará en el diagrama adjunto, por cuatro escuadras remachadas a la plancha vertical o vástago. Además a la viga "A" se le supondrá ser la más baja y a la viga "B" la más alta permitidas en la práctica, según la relación fundamental entre la altura de la viga y la luz a salvar, que generalmente varía entre:  $a_v = \frac{1}{6}$  y  $a_v = \frac{1}{12}$ , en las cuales los términos empleados tienen el siguiente significado:

$a_v$  = altura del vástago de la viga compuesta.

$l$  = la luz para la cual se calcula la viga. Además, las resistencias las consideramos aproximadamente iguales, lo cual equivale a que el espesor del vástago en la viga "A" así como las dimensiones de sus escuadras, serán mayores que las correspondientes en la viga "B". Las otras letras indicadas en el diagrama significan así:

$a_t$  = altura total de la viga.

$a$  = distancia entre los centros de gravedad de las bases, llamada también altura efectiva de la viga.

$e_v$  = espesor del vástago.

La fórmula general (1) al ser aplicada en la práctica, tiene la siguiente forma:

$$s = \frac{Mc}{J} \quad (3)$$

en la cual

$s$  = el trabajo unitario a la flexión para el material empleado en la viga.

$c$  = generalmente la mitad de la altura total.

$I$  y  $M$  = los mismos significados que en la fórmula (1).

Transponiendo términos se tiene que

$$\frac{M}{s} = \frac{I}{c};$$

el miembro izquierdo en esta igualdad representa el valor correspondiente al módulo necesario en la sección, debido a las cargas aplicadas y el derecho es el valor del módulo resistente en la sección asumida o adoptada.

Al aplicar la última igualdad a las vigas compuestas, salta a la vista que el término más difícil de encontrar será  $I$ , los demás o son dados o se los puede determinar fácilmente. La ecuación para hallar  $I$  es:

$$I = 2 I_{cg} + 2 A_t (a/2)^2 + I_v \quad (4),$$

en la cual

$I$  = momento de inercia de la viga compuesta con respecto al eje neutro principal  $x - x$ .

$2I_{cg}$  = momento de inercia de las bases con respecto a sus propios centros de gravedad, que pasan por el eje  $c-g$ .

$A_t$  = área total de cada base.

$a$  = definición dada arriba.

$I_v$  = momento de inercia del vástago con respecto al eje neutro principal  $x-x$ .

El valor de  $2I_{cg}$  para una escuadra cualquiera, se lo puede encontrar por medio de una fórmula bastante laboriosa, en la cual entran necesariamente términos que definen sus lados, pero que, por otra parte, al ser introducidos en la ecuación (4), complicarían la expresión para ésta y como consecuencia también la correspondiente a la fórmula que se trata de derivar. Por consiguiente, en la fórmula aproximada se prescinde del término  $2I_{cg}$ , ya que también hay dos razones más que justifican dicha omisión; éstas son: primera, al no considerar el valor de  $2I_{cg}$  es evidente que se gana en seguridad, debido a la disminución en el valor correspondiente de  $I$ ; segunda, el valor de dicho término, en comparación con los valores correspondientes a  $2A_t (a/2)^2$  y  $I_v$ , es tan pequeño, que aún en el caso de emplearse las escuadras más grandes recomendadas en la práctica, de las dimensiones  $203 \times 203 \times 29$  mm., el valor de  $2I_{cg}$  viene a ser solamente 1,25% del valor del primero y 5% del valor del segundo término de comparación. Además, estos porcentajes disminuirán notablemente si la altura de la viga considerada hubiera sido mayor de 1,20 m., que es la dimensión empleada, con el objeto de que la comparación de valores presente el caso más desfavorable.

(Concluirá)