

CAPITULO 4

RELACIONES $M-\phi$ COMO HERRAMIENTA EN LA EVALUACIÓN Y DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

4.1 Evaluación y diseño sísmico de estructuras de concreto reforzado

Para el diseño sísmico de estructuras, se cuenta con normas en las cuales su principal objetivo es que estas no colapsen después o durante un sismo severo, de tal forma que se deben evaluar teniendo en mente su funcionalidad y operación después de un sismo ya sea de poca o gran intensidad. En la actualidad la mayoría de los reglamentos de construcción aceptan que las estructuras sufran daño cuando son sometidas a una demanda sísmica, (La demanda sísmica es aquella acción que ejerce un sismo sobre la estructura), por ello es necesario estimar de forma adecuada su comportamiento, en el intervalo no lineal.

La evaluación de estructuras sometidas a acciones sísmicas ha sido objeto de un gran número de investigaciones, en años recientes se han desarrollado metodologías para definir el comportamiento “real” de una estructura.

4.2 Diagramas Momento-curvatura en la evaluación y diseño sísmico de estructuras de concreto reforzado

La relación momento-curvatura $M-\varphi$ es utilizada para calcular la rigidez y la ductilidad de curvatura en las secciones de concreto reforzado, Rodríguez *et al.* (2005).

Por tal motivo cuando se realiza el diseño sísmico de una estructura, a manera de evaluar si su comportamiento ante la demanda de diseño será satisfactoria, es necesario conocer la relación momento-curvatura $M-\varphi$, mediante las cuales será posible conocer la capacidad de ductilidad de curvatura μ_φ , la máxima capacidad a flexión y las rigideces inicial y de posfluencia de las secciones y comparar estos valores con los que serán demandados, Aguiar, (1996).

4.2.1 Ductilidad de curvatura μ_φ

La ductilidad de curvatura μ_φ , relaciona a la curvatura última φ_u , con la curvatura de fluencia φ_y , también denominada comúnmente como la capacidad de ductilidad de una sección, esta definición es muy utilizada en la Ingeniería sísmica, Blume *et al.* (1961).

Con la finalidad de que una estructura sea capaz de disipar la mayor cantidad de energía posible ante un sismo de gran intensidad, en el diseño sísmico se desea una ductilidad de curvatura, μ_φ lo más grande posible.

Para un elemento estructural, la ductilidad de curvatura, calculada de un diagrama momento-curvatura, es:

$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_u}{\varphi_y}$$

donde:

φ_u y φ_y son las curvaturas última y la de fluencia, en la sección considerada.

La ductilidad de un elemento estructural se puede definir como su aptitud de desarrollar deformación progresiva bajo carga constante o ligeramente creciente, sin presentar disminución alguna en su resistencia. La ductilidad corresponde a un comportamiento inelástico del material que implica la fluencia del mismo, por lo que es necesario distinguir entre la ductilidad que tiene el material y la que tiene la sección del elemento, Hernández, (2009).

La ductilidad de curvatura de una sección se ve modificada de la siguiente manera:

- La ductilidad disminuye si aumenta el acero a tensión, A_s .
- La ductilidad aumenta si se incrementa el acero a compresión, A'_s .
- La ductilidad disminuye al aumentar el esfuerzo de fluencia del acero, f_y .
- A mayor resistencia del concreto mayor ductilidad.
- A mayor deformación mayor curvatura.
- El confinamiento aumenta la ductilidad.
- La ductilidad se reduce conforme se incrementa la carga axial.

4.2.2 Otras aplicaciones de la relación momento-curvatura

Las principales aplicaciones de la relación momento curvatura $M-\varphi$ se encuentran orientadas al diseño sísmico, pero también es comúnmente utilizada para calcular la rigidez de un elemento que está trabajando en el rango no lineal. Es decir una vez que se tiene la relación momento-curvatura de una sección, se puede encontrar la rigidez a la flexión EI , para las diferentes condiciones a las que puede estar sujeto el elemento estructural, es decir se puede obtener la rigidez en las diferentes ramas del diagrama $M-\varphi$, Hernández, (2009).

Así el diagrama $M-\varphi$ se puede considerar como una envolvente del diagrama histerético, sin embargo el diagrama momento-curvatura $M-\varphi$ presenta al obtenerlo menor dificultad, comparado con el histerético. Por lo que ya se mencionó, este es utilizado para conocer la rigidez de un elemento en cualquiera

de las ramas del diagrama $M-\phi$, también es requerido para definir la no linealidad del material, tema que no será tratado en este trabajo de tesis, Aguiar, (2009).

4.3 Ejemplos de diagramas Momento-curvatura

Con el objeto de ilustrar el cálculo de los principales puntos del diagrama momento-curvatura $M-\phi$ se trabaja con diferentes modelos de concreto confinado propuestos por: Hognestad (1951), Park modificado (1982) y Mander *et al.* (1988), así mismo se resuelve el ejemplo de una viga de sección rectangular.

Para la elaboración de los diagramas momento-curvatura se utilizó el programa Response 2000, (Bents *et al.*, 2000), los resultados obtenidos se presentan en la fig. 2.14.

Ejemplo Numérico 1:

Calcular el diagrama momento-curvatura para la sección mostrada en la fig. 2.12, las características de la sección se describen en la tabla 2.2. Utilizar las relaciones esfuerzo-deformación del concreto, propuestos por Hognestad (1951), Park *et al.* (1982) y Mander *et al.* (1988). La curva esfuerzo-deformación del acero se muestra en la fig. 2.13, (ASTM A7 06 Grade 60, 1980).

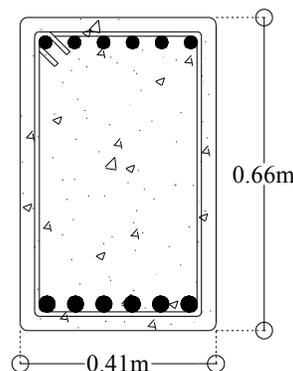


Fig. 2.12 Viga de concreto reforzado (Ejemplo 1).

Base " b "	Peralte " h "	Lecho inferior		Lecho superior		sep. E#3	f_y	E_s	f'_c	E_c
		No de varillas	As (m ²)	No de varillas	As (m ²)					
(m)	(m)					(m)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
0.41	0.66	10	0.00508	8	0.00315	0.10	459.2	199859.53	27.6	27792.8

Tabla 2.2 Características de la viga mostrada en la fig. 2.12

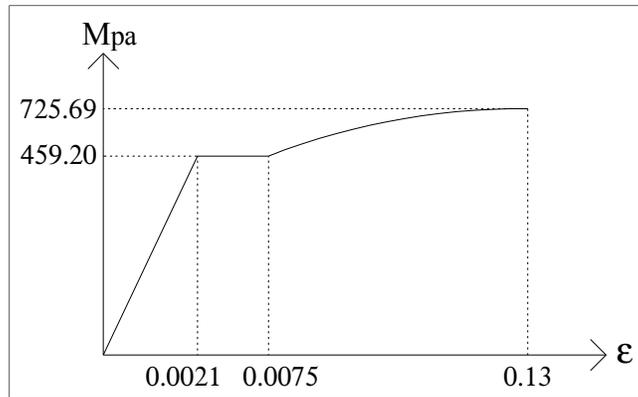


Fig. 2.13 Relación esfuerzo-deformación del acero a tensión (Ejemplo 1), (ASTM A7 06 Grade 60, 1980).

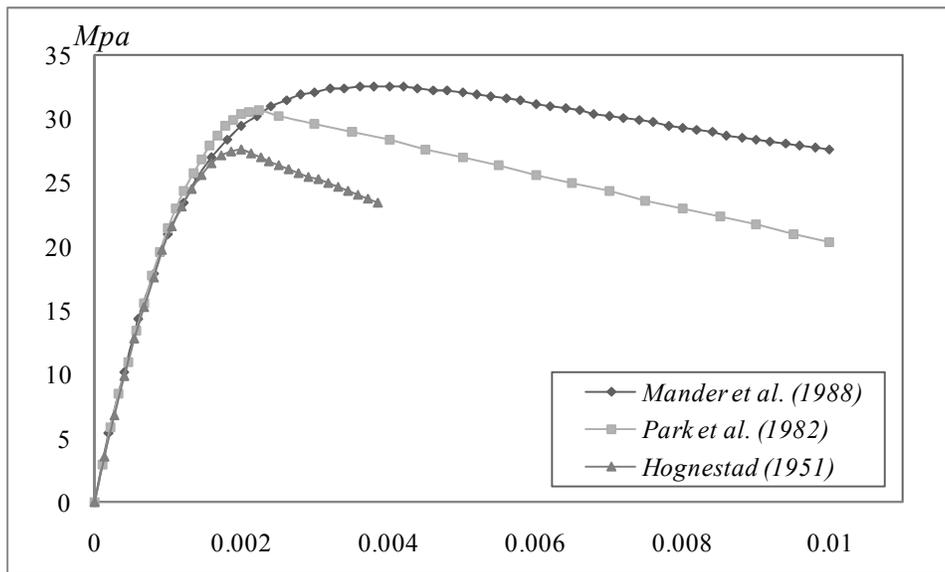


Fig. 2.14 Curvas esfuerzo-deformación del concreto (Ejemplo 1).

Resultados obtenidos de la figura 2.14:

En la fig. 2.14 se muestran las curvas esfuerzo-deformación del concreto obtenidas para la sección en estudio (fig. 2.12), en la cual se observa que la forma de la rama “elástica” es similar para los tres casos, sin embargo, el modelo propuesto por Mander et al. (1988) presenta una mayor resistencia a compresión, f'_c y una deformación unitaria asociada mayor que en los otros dos modelos.

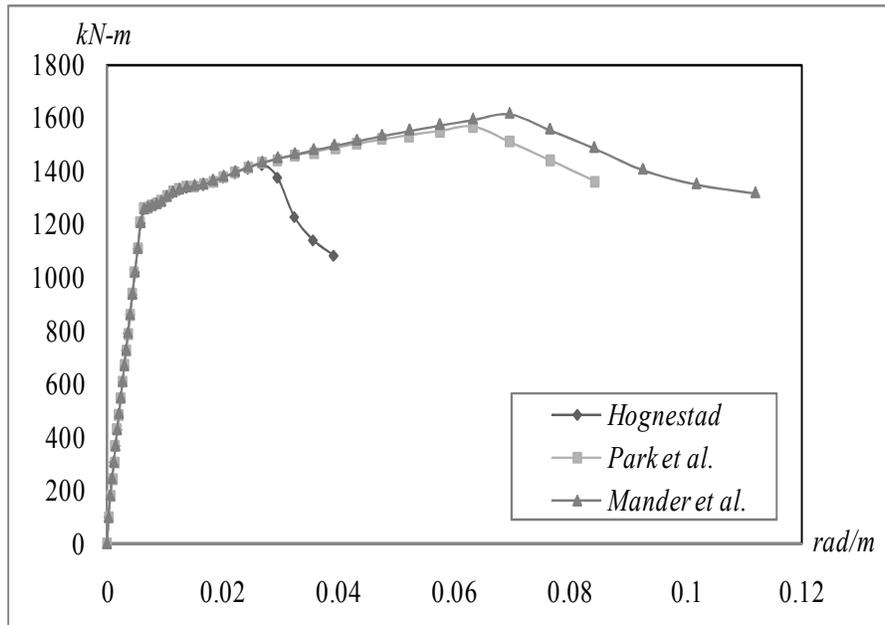


Fig. 2.15 Diagramas momento-curvatura (Ejemplo 1).

Resultados obtenidos de la figura 2.15:

En la fig. 2.15 se muestran los diagramas momento-curvatura para la sección en estudio (fig. 2.12). El momento de fluencia obtenido por todos los modelos es similar, al igual que la pendiente de posfluencia. La diferencia entre un diagrama y otro radica cuando se presenta la zona de ablandamiento, se le considera zona de ablandamiento, aquella rama en la cual se tiene una pendiente negativa después de que se ha alcanzado la resistencia máxima en la sección. En el modelo propuesto por Mander et al, (1988) la zona de ablandamiento se presenta a una deformación unitaria mayor que la de los otros 2 modelos evaluados.