



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



28  
19

# "ESTRUCTURAS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

JULIO BADILLO MONROY

MEXICO, D. F.

1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

|  | Page. |
|--|-------|
| I .- INTRODUCCION                        | 1     |
| II.- ESTRUCTURAS DE CONCRETO             | 5     |
| III.- ESTRUCTURAS DE CONCRETO PREFORZADO | 25    |
| IV.- ESTRUCTURAS METALICAS               | 53    |
| V .- ESTRUCTURAS DE MADERA               | 80    |
| VI.- MUROS DE CARGA                      | 93    |
| VII.- ESTRUCTURAS MIXTAS                 | 99    |
| VIII CONCLUSIONES                        | 109   |

## I.- INTRODUCCION

Una de las ramas principales de la Ingeniería Civil es la Ingeniería Estructural, cuya finalidad es el diseño y la construcción de estructuras.

Una estructura puede concebirse como un sistema, es decir, como un conjunto de partes o componentes que se combinan en una forma ordenada para cumplir una función dada. La función - puede ser: salvar un claro, como en los puentes; encerrar un espacio, como en los distintos tipos de edificios; o contener un empuje, como en los muros de retención, tanques o silos. La estructura debe cumplir la función a la que está destinada, - con un grado de seguridad razonable y de manera que en las condiciones normales de servicio tenga un comportamiento adecuado. Además, debe tenerse en cuenta otros requisitos, tales como mantener el costo dentro de límites económicos y satisfacer determinadas exigencias estéticas.

En el desempeño de la función a la que está destinada, la estructura estará sujeta a una serie de acciones o cargas que debe ser capaz de soportar. La función esencial de un puente, por ejemplo, es salvar un claro, facilitando el paso de vehículos sobre un obstáculo.

- (1) Por "Condiciones de Servicio o de Trabajo" se entiende las condiciones de carga que se supone serán las existentes durante el uso normal de una estructura.

Para realizar esta función la estructura deberá ser capaz de resistir no solamente el peso de los vehículos sino también su peso propio, así como los efectos de acciones tales como el viento, los sismos y el empuje del agua. Consideraciones semejantes se pueden hacer a propósito de un edificio, una presa o cualquier otra estructura.

Son elementos estructurales típicos el tensor, que transmite cargas de tensión; la viga, que transmite cargas transversales a su eje; la losa, que distribuye cargas que actúan transversalmente al plano formado por sus dimensiones mayores, y el muro, que resiste cargas verticales al mismo tiempo que cargas horizontales que pueden actuar tanto en su plano como normales a él. Estos elementos a veces se presentan aislados, pero generalmente forman parte de estructuras más complejas.

Al diseñar una estructura para que cumpla una determinada función, el proyectista se ve confrontado con todo un conjunto de problemas. ¿Qué forma estructural será la más adecuada? ¿Un arco? ¿Un marco rígido? ¿Una estructura colgante? ¿Qué material es el más apropiado? . Elegida una forma estructural deberán cuantificarse las acciones que se supone actuarán sobre ella. Después será necesario escoger las dimensiones de las diversas componentes de la estructura de manera que ésta pueda cumplir su función con una probabilidad razonable de que no quede fuera de servicio durante su vida útil por rotura o por alguna otra causa, como, por ejemplo, la deformación excesiva,

todos estos problemas deberán resolverse dentro de ciertas limitaciones económicas y estéticas.

La elección de una forma estructural dada, implica la elección del material con que se piense realizar la estructura. Al hacer esta elección, el proyectista debe tener en cuenta las características de la mano de obra y el equipo disponible, así como también el procedimiento de construcción más adecuado para el caso. Después de elegir provisionalmente una estructuración, se le idealiza para estudiar los efectos de las solicitaciones a las que puede estar sometida.

Esta idealización es necesaria, porque el problema real -- siempre es más complejo que lo que es práctico analizar.

La fase final del diseño consiste en comunicar los resultados del proceso descrito a las personas que van a ejecutar la obra. La comunicación de los datos necesarios para la realización del diseño se hace mediante planos y especificaciones. Este aspecto final no debe descuidarse, puesto que el disponer de planos claros y sencillos, y de especificaciones concretas, evita errores y confusiones a los constructores.

Para mayor sencillez, en las consideraciones anteriores se han tratado los sistemas estructurales como sistemas independientes. De hecho toda estructura no es sino un subsistema de algún sistema más complejo: un edificio, un complejo industrial, un sistema hidráulico, de caminos o de comunicación urbana. -

En un edificio, por ejemplo, pueden distinguirse varios subsistemas, además del estructural: las instalaciones eléctricas, las de plomería y el aire acondicionado, los elevadores, y los acabados arquitectónicos, la ventanería, etc.

Según el enfoque de sistemas, en el diseño del sistema total debe tenerse en cuenta la interacción entre todos los subsistemas. De esta manera, en el diseño del subsistema estructural deben considerarse no solamente los aspectos de eficiencia estructural, sino también la relación de la estructura con los demás subsistemas. Por ejemplo, puede ser necesario prever pasos para instalaciones que impliquen mayor consumo de materiales que el estrictamente necesario desde el punto de vista estructural.

Por otra parte, los enfoques globales o de conjunto, implícitos en la concepción de los edificios como sistemas, pueden conducir a soluciones de gran eficiencia en las que los componentes estructurales del sistema se diseñan de manera que realicen otras funciones, además de las estrictamente estructurales. Así un muro de carga puede ser también un elemento arquitectónico de fachada y servir de elemento rigidizante.

En un edificio, por ejemplo, pueden distinguirse varios subsistemas, además del estructural: las instalaciones eléctricas, las de plomería y el aire acondicionado, los elevadores, y los acabados arquitectónicos, la ventanería, etc.

Según el enfoque de sistemas, en el diseño del sistema total debe tenerse en cuenta la interacción entre todos los subsistemas. De esta manera, en el diseño del subsistema estructural deben considerarse no solamente los aspectos de eficiencia estructural, sino también la relación de la estructura con los demás subsistemas. Por ejemplo, puede ser necesario prever pasos para instalaciones que impliquen mayor consumo de materiales que el estrictamente necesario desde el punto de vista estructural.

Por otra parte, los enfoques globales o de conjunto, implícitos en la concepción de los edificios como sistemas, pueden conducir a soluciones de gran eficiencia en las que los componentes estructurales del sistema se diseñan de manera que realicen otras funciones, además de las estrictamente estructurales. Así un muro de carga puede ser también un elemento arquitectónico de fachada y servir de elemento rigidizante.

## II.- ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Las estructuras de concreto reforzado poseen ciertas características que se derivan de los procedimientos constructivos utilizados en su fabricación y que los distinguen de las estructuras de otros materiales.

El concreto se fabrica en estado plástico, lo que obliga a utilizar moldes que lo soporten mientras adquiere resistencia - suficiente para que la estructura sea autosoportante. Esta característica exige ciertas restricciones, pero al mismo tiempo aporta algunas ventajas. Por ejemplo, una de éstas es su "moldeabilidad", propiedad que brinda al proyectista gran libertad en la elección de formas, y gracias a esto es posible construir estructuras tales como los cascarones, que con cualquier otro material serían muy difíciles de obtener.

Otra característica importante es la facilidad con que puede lograrse la continuidad en la estructura, con todas las ventajas que ésto supone. Existen dos procedimientos principales para construir estructuras de concreto. Cuando los elementos estructurales se forman en su posición definitiva, se dice que la estructura ha sido colocada "in situ" o colocada en su lugar. Si se fabrican en un lugar distinto al de su posición definitiva en la estructura, el procedimiento recibe el nombre de prefabricación.

Para el primer procedimiento es necesaria una secuencia de

terminada de operaciones, ya que para iniciar cada etapa es necesario esperar a que se haya concluido la anterior. Por ejemplo, no puede procederse a la construcción de un nivel en un edificio hasta que el nivel inferior haya adquirido la resistencia adecuada. Además, es necesario a menudo construir obras falsas muy elaboradas y transportar el concreto fresco de lugar de fabricación a su posición definitiva, operaciones que influyen decisivamente en el costo.

Con el segundo procedimiento se economiza tanto en la obra falsa como en el transporte del concreto fresco y se pueden realizar simultáneamente varias etapas de construcción. Sin embargo, este procedimiento presenta el inconveniente del costo adicional de montaje y transporte de los elementos prefabricados y, además, el problema de desarrollar conexiones efectivas entre los elementos.

Para elegir cual de estas dos alternativas es la mejor se tomarán en cuenta las ventajas económicas, constructivas y técnicas que pueden obtenerse en cada caso.

#### Características generales del concreto y del acero.

El concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, agregados y agua. El cemento y el agua forman una pasta que rodea a los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos o adicivantes, que mejoran o modifican algunas propiedades del concre

to.

El concreto simple, sin refuerzo, es resistente a la compresión, pero es débil en tensión, lo que limita su aplicabilidad como material estructural. Para resistir tensiones, es necesario el empleo de acero de refuerzo, generalmente en forma de barras, colocando en las zonas donde se prevé que se desarrollarán tensiones bajo las solicitaciones de servicio. El acero restringe el desarrollo de las grietas originadas por la poca resistencia a la tensión del concreto.

El uso del refuerzo no está restringido a la finalidad anterior. También se emplea en zonas de compresión para aumentar la resistencia del elemento reforzado, para reducir las deformaciones debidas a cargas de larga duración y para proporcionar confinamiento lateral al concreto, lo que indirectamente aumenta su resistencia a la compresión.

La combinación de concreto simple con refuerzo constituye lo que se llama concreto reforzado..

Para dimensionar estructuras de concreto reforzado es necesario utilizar métodos que permitan combinar el concreto simple y el acero, de tal manera que se aprovechen en forma racional y económica las características especiales de cada uno de ellos.

Para conocer el comportamiento del concreto simple es necesario determinar las curvas esfuerzo-deformación correspondientes a los distintos tipos de acciones a que puede estar sujeto.-

En el caso más general será necesario analizar todas las combinaciones de acciones a que puede estar sujeto un elemento. Hasta la fecha, sólo se han establecido las relaciones esfuerzo-deformación para las combinaciones más comunes. Así, se han hecho estudios sobre el comportamiento del concreto sujeto a estados uniaxiales de compresión y tensión, a estados biaxiales de compresión y tensión, y a estados triaxiales de compresión.

#### Curvas esfuerzo-Deformación

Las curvas esfuerzo-deformación se obtienen del ensaye de prismas sujetos a carga axial repartida uniformemente en la sección transversal mediante una placa rígida. Los valores del Esfuerzo resultan de dividir la carga total aplicada  $P$ , entre el área de la sección transversal del prisma,  $A$ , y representan valores promedio obtenidos bajo la hipótesis de que la distribución de deformaciones es uniforme y de que las características esfuerzo-deformación del concreto son constantes en toda la masa. El valor de la deformación unitaria,  $\epsilon_c$ , es la relación entre el acortamiento total,  $a$ , y la longitud de medición,  $l$ .

Puesto que el concreto es un material heterogéneo, lo anterior es una idealización del fenómeno. Según la distribución de la pasta y del agregado en la masa, los esfuerzos, considerados como la carga soportada en un área diferencial, variarán en cada sección. Sin embargo, esta variación no es significativa desde el punto de vista del diseño estructural.

#### Curva Típica Bajo carga de corta duración

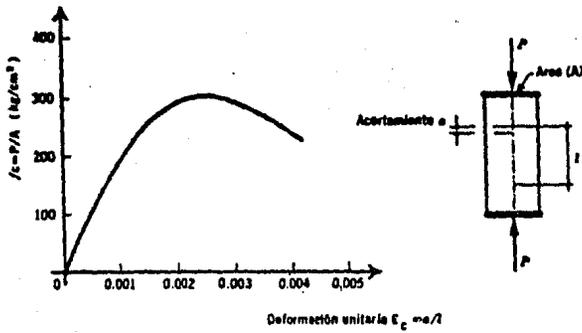


Figura 2.1 Curva esfuerzo-deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración

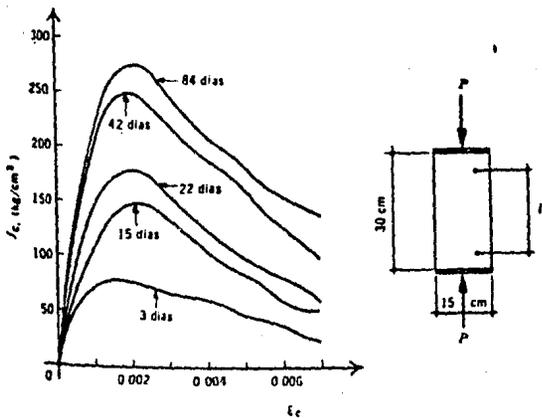


Figura 2.2 Efecto de la edad al ensayar en la resistencia

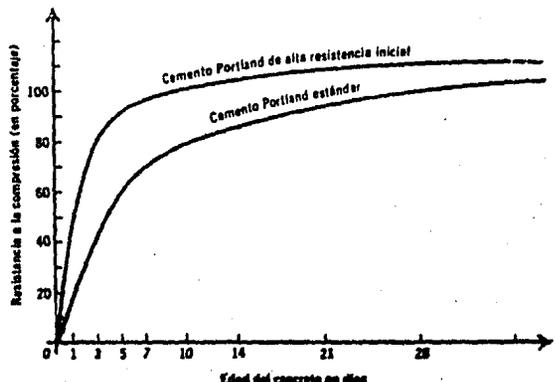


Figura 2.3 Variación de la resistencia con la edad

La curva que se presenta en la figura (2.1) corresponde a un ensaye efectuado en un tiempo relativamente corto, del orden de unos cuantos minutos desde la iniciación hasta el colapso. Se puede apreciar que el concreto no es un material elástico y que la parte inicial de estas curvas no es nunca rigurosamente recta. Sin embargo, sin cometerse un gran error puede considerarse una porción recta hasta aproximadamente el 40 por ciento de la carga máxima. Se observa, además, que la curva llega a un máximo y después tiene una rama descendente. El colapso se produce comunmente a una carga menor que la máxima.

En el ensaye de prismas o cilindros de concreto simple, la carga máxima se alcanza a una deformación unitaria del orden de 0.002. El colapso del prisma, que corresponde al extremo de la rama descendente, se presenta en ensayos de corta duración a deformaciones que varían entre 0.003 y 0.007, según las condiciones del espécimen y de la máquina de ensaye.

#### EFFECTO DE LA EDAD

Debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el concreto aumenta su capacidad de carga con la edad. Este proceso de hidratación puede ser más o menos efectivo, según sean las condiciones de intercambio de agua con el ambiente, después del curado. Por lo tanto, el aumento de capacidad de carga del concreto depende de las condiciones de curado a través del tiempo.

La figura (2.2) muestra curvas esfuerzo-deformación de cilindros de 15 x 30 cm., fabricados de un mismo concreto y ensayados-

a distintas edades. Todos los cilindros fueron curados en las mismas condiciones hasta el día del ensayo. Las curvas se obtuvieron aplicando incrementos de deformación constantes. Se determinan así ramas descendentes más extendidas que las obtenidas comúnmente bajo incrementos constantes de carga. Se puede observar que la deformación unitaria para la carga máxima, es del orden de 0.0015 a 0.0020.

El aumento de resistencia con la edad depende también del tipo de cemento, sobre todo a edades tempranas. La figura - - (2.3) muestra el aumento de resistencia con la edad para cilindros de 15 x 30 cm., hechos con cemento normal (tipo I), y de alta resistencia inicial (tipo III), que son los dos tipos más empleados en estructuras de concreto reforzado. Después de los primeros tres meses, el aumento en resistencia es relativamente pequeño.

#### EFFECTOS DEL TIEMPO EN EL CONCRETO ENDURECIDO

Cuando se aplica una carga a un espécimen de concreto, éste adquiere una deformación inicial. Si la carga permanece aplicada, la deformación aumenta con el tiempo, aún cuando no se incrementa la carga. Las deformaciones que ocurren con el tiempo en el concreto se deben esencialmente a dos causas: contracción y flujo plástico..

La figura (2.4) muestra una curva típica deformación-tiempo de un espécimen de concreto bajo carga constante. La forma de la curva y las magnitudes relativas son aproximadamente las

mismas, sea la acción de flexión, compresión, tensión o torsión. En el eje vertical se muestra la deformación y en el horizontal, el tiempo, ambas variables en escala aritmética.

Se puede ver que al aplicar la carga en un tiempo relativamente pequeño, el concreto sufre una deformación inicial, que para efectos prácticos se puede considerar como instantánea. Si se mantiene la carga, el concreto sigue deformándose, con una velocidad de deformación grande al principio, que disminuye gradualmente con el tiempo. Aunque para efectos prácticos puede considerarse que la curva tiende a ser asintótica respecto a una horizontal, se ha comprobado que la deformación sigue aumentando aún después de muchos años. Sin embargo, aproximadamente el 90 % de la deformación total ocurre durante el primer año de aplicación de la carga.

Si en cierto momento se descarga el espécimen, se produce una recuperación instantánea, seguida de una recuperación lenta. La recuperación nunca es total; siempre quedará una deformación permanente.

En la figura 2.4 la curva de trazo continuo representa las deformaciones de un espécimen sujeto a una carga constante, la cual es retirada después de cierto tiempo. La línea de trazo interrumpido representa las deformaciones que produce el tiempo en un espécimen sin carga. Las ordenadas de esta curva son las deformaciones debidas a construcción.

Para efectos de diseño estructural no basta con conocer las deformaciones iniciales o instantáneas; en muchos casos interesa

aún más estimar la magnitud de la deformación total, incluyendo los efectos del tiempo. En vigas sujetas a carga constante se han observado deflexiones totales de dos a cinco veces mayores que las medidas inmediatamente después de aplicada la carga.

### Contracción.

Las deformaciones por contracción se deben esencialmente a cambios en el contenido de agua del concreto a lo largo del tiempo. El agua de la mezcla se va evaporando e hidrata al cemento. Esto produce cambios volumétricos en la estructura interna del concreto, que a su vez producen deformaciones.

Los factores que más afectan son la cantidad original de agua en la mezcla y las condiciones ambientales especialmente a edades tempranas. Como generalmente un concreto de alta resistencia tiene menos que el segundo. Asimismo, un concreto en ambiente húmedo se contraerá menos que en ambiente seco.

Para la misma relación agua/cemento, la construcción varía con la cantidad de pasta por unidad de volumen. Una mezcla rica en pasta (cemento más agua) se contraerá más que otra pobre. La contracción tiende a producir esfuerzos debidos a las restricciones al libre desplazamiento del elemento que existen en general en la realidad. Si el concreto pudiera encogerse libremente, la contracción no produciría ni esfuerzos ni grietas.

Si el curado inicial del concreto se hace muy cuidadosamente, disminuirá el efecto de la contracción. Se puede estimar que

las deformaciones unitarias debidas a contracción varían entre - 0.0002 y 0.001 . Normalmente, la mayor parte de la deformación - por contracción ocurre en los primeros meses.

#### Flujo plástico.

El flujo plástico es un fenómeno relacionado con la aplicación de una carga. Se trata esencialmente de un fenómeno de deformación bajo carga continua, debido a un reacomodo interno de las partículas que ocurre al mismo tiempo que la hidratación del cemento.

Las deformaciones por flujo plástico son proporcionales al nivel de cargas, hasta niveles del orden del 50% de la resistencia. Para niveles mayores la relación ya no es proporcional.

Como el flujo plástico se debe en gran parte a deformaciones de la pasta de cemento, la cantidad de ésta por unidad de volumen es una variable importante.

Otros factores que afectan a las deformaciones por flujo - plástico son las propiedades de los materiales constituyentes - del concreto, las proporciones de la mezcla y la humedad ambiente.

Es importante mencionar que, como el flujo plástico aumenta con el nivel de carga, este fenómeno tiende a aliviar las zonas de máximo esfuerzo y, por lo tanto, a uniformizar los esfuerzos en el elemento.

#### Fatiga.

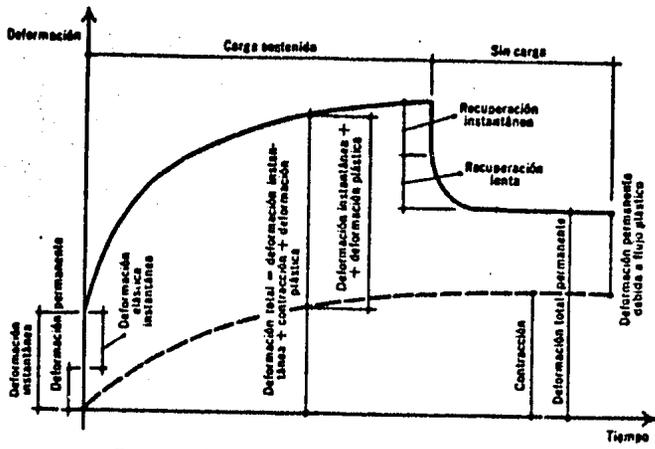


Figura 2.4 Curva típica deformación-tiempo, bajo condiciones ambientales constantes

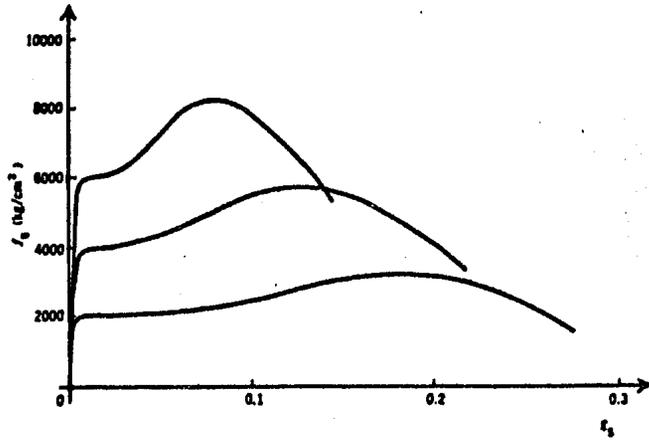


Figura 2.5 Curvas esfuerzo-deformación de aceros laminados en caliente para varillas de refuerzo de fabricación europea

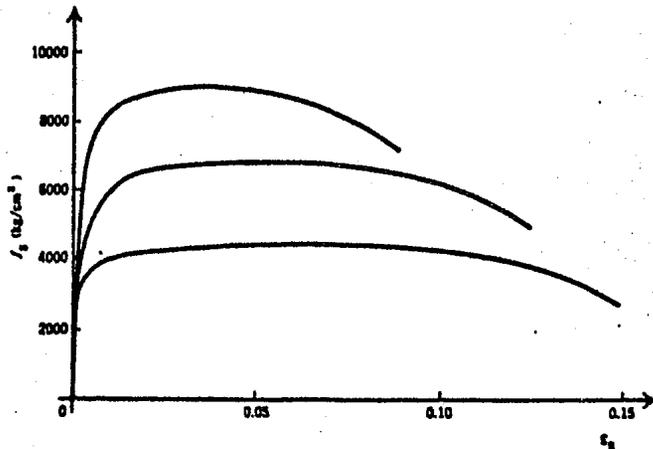


Figura 2.6 Curvas esfuerzo-deformación de acero trabajado en frío para varillas de refuerzo de fabricación europea

Diámetros, pesos, áreas y perímetros  
de varillas

| Varilla<br>Núm. | Diámetro<br>Fig | mm   | Peso<br>kg/m | Área<br>cm <sup>2</sup> | Perímetro<br>cm |
|-----------------|-----------------|------|--------------|-------------------------|-----------------|
| 2               | 1/4             | 6.3  | 0.248        | 0.32                    | 1.99            |
| 2.5             | 5/16            | 7.9  | 0.384        | 0.49                    | 2.48            |
| 3               | 3/8             | 9.5  | 0.566        | 0.71                    | 2.98            |
| 4               | 1/2             | 12.7 | 0.994        | 1.27                    | 3.99            |
| 5               | 5/8             | 15.9 | 1.552        | 1.98                    | 5.00            |
| 6               | 3/4             | 19.0 | 2.235        | 2.85                    | 6.00            |
| 7               | 7/8             | 21.2 | 3.042        | 3.88                    | 6.97            |
| 8               | 1               | 25.4 | 3.973        | 5.07                    | 7.98            |
| 9               | 1 1/8           | 28.6 | 5.033        | 6.42                    | 8.99            |
| 10              | 1 1/4           | 31.8 | 6.225        | 7.94                    | 9.99            |
| 12              | 1 1/2           | 38.1 | 8.938        | 11.40                   | 11.97           |

FIGURA 2-7

Cuando un elemento falla, después de un número muy grande de repeticiones de carga, se dice que ha fallado en fatiga. Este tipo de sollicitaciones tiene importancia práctica, ya que elementos como vigas de puente, durmientes de ferrocarril o cimentaciones de maquinaria están sujetos a muchas repeticiones de carga. Cuando a un elemento de concreto se le aplican compresiones del orden de la mitad de su resistencia estática, falla después de aproximadamente diez millones de repeticiones de carga. Se ha encontrado también que si la carga se aplica intercalando períodos de reposo, el número de ciclos necesario para producir la falla aumenta considerablemente.

#### Algunas características de los aceros de refuerzo.

El acero para reforzar concreto se utiliza en distintas formas. La más común es la barra o varilla que se fabrica tanto de acero laminado en caliente como de acero trabajado en frío. En las figuras 2.5 y 2.6 se muestran curvas de ambos tipos de acero.

Los diámetros usuales de las varillas producidas en México varían de  $1/4''$  a  $1 1/2''$ . Todas las varillas, con excepción del alambón de  $1/4''$ , tienen corrugaciones en la superficie, para mejorar su adherencia al concreto. La figura 2.7 proporciona datos sobre las características principales de varillas de refuerzo, así como la nomenclatura usada para identificarlas.

Generalmente el tipo de acero se caracteriza por el límite o esfuerzo de fluencia. Este límite se aprecia claramente en las curvas esfuerzo-deformación de varillas laminadas en caliente, -

como se ve en la figura 2.5. El acero trabajado en frío no tiene un límite de fluencia bien definido. En este caso, el límite de fluencia suele definirse trazando una paralela a la parte recta de la curva esfuerzo-deformación desde un valor de la deformación unitaria de 0.002; la intersección de esta paralela con la curva define el límite de fluencia.

#### Dimensionamiento.

Uno de los aspectos fundamentales del diseño de una estructura es el dimensionamiento de los diversos elementos que la integran.

El dimensionamiento de piezas de concreto reforzado se define como la determinación de sus propiedades geométricas y de la cantidad y posición del acero de refuerzo.

En el diseño práctico de elementos de concreto reforzado es usual seguir las recomendaciones de algún Reglamento de Construcciones. Algunos de los más comúnmente usados en México son el Reglamento del Distrito Federal, el del American Concrete Institute y el de la Comisión Federal de Electricidad.

#### Observaciones generales sobre el dimensionamiento.

Dada la cantidad de variables que intervienen no es posible establecer un conjunto de reglas rígidas para dimensionar. Sin embargo, existen unos cuantos principios generales que conviene respetar.

Fundamentalmente, debe buscarse la sencillez constructiva y la uniformidad, y deben evitarse las discontinuidades tanto en las dimensiones del elemento de concreto como en la distribución del refuerzo del mismo. Los cambios bruscos de sección no suelen ser convenientes por otra parte la sencillez constructiva conduce a tiempos de ejecución menores y costos de mano de obra inferiores.

Una manera de lograr sencillez y rapidez constructiva es estandarizando secciones en el mayor grado posible, no solamente en las estructuras prefabricadas, donde esto es obvio, sino también en las estructuras coladas en el lugar y como es natural, conviene que los elementos estructurales tengan formas geométricas sencillas.

También es aconsejable la estandarización de los detalles de refuerzo, de manera que pueda reducirse a un mínimo el número de barras de características distintas, esta estandarización facilita las labores de habilitado y de colocación, al mismo tiempo que al detallar el refuerzo debe buscarse siempre que los elementos resulten de comportamiento dúctil.

Una de las ventajas del concreto reforzado como material estructural radica en la facilidad con que puede variarse la resistencia de los elementos a lo largo de su eje longitudinales, con el fin de ajustar dicha resistencia a la magnitud de las acciones internas. Por ejemplo, en una viga libremente apoyada, sujeta a carga uniforme distribuida, el momento flexionante es máximo en el centro del claro y muy pequeño cerca de los apoyos. Por lo tanto, se requiere mayor resistencia a flexión en el centro del

claro que en otras secciones de la viga.

Esto puede lograrse disminuyendo el número de varillas del refuerzo de flexión cerca de los apoyos y además al cortar las varillas longitudinales, se disminuye el peso total del acero de refuerzo, lo cual redunda en economía de materiales.

El corte de varillas y, en general, todas las recomendaciones relativas a colocación de varillas, formación de ganchos en los extremos, formación y colocación de estribos, y otros aspectos similares, pueden denominarse detallado del refuerzo. El detallado del refuerzo tiene importancia no únicamente para lograr economía en la cantidad de refuerzo, sino también para conseguir estructuras de comportamiento adecuado.

Existen ciertos criterios para establecer normas generales sobre detallado del refuerzo. Con base en estos criterios, se han detallado recomendaciones específicas que se incluyen en los reglamentos de construcción. Más importante que el conocimiento completo de todas las recomendaciones de un reglamento es tener en cuenta los criterios generales para lograr estructuras de comportamiento adecuado.

Algunos de estos criterios son los siguientes:

- a) Los armados deben ser sencillos.
- b) No debe haber congestión del refuerzo.- Si la cantidad de acero es excesiva y no se dejan separaciones suficientes entre las varillas, se dificulta el colado del concreto y la estructura puede debilitarse debido a la formación de huecos.

c) El refuerzo debe tener recubrimientos adecuados.

El recubrimiento protege al acero de dos agentes: la erosión y el fuego. La magnitud del recubrimiento debe fijarse, por lo tanto, según la importancia de estos agentes agresivos. Debe preverse siempre un recubrimiento suficientemente grande, a pesar de que el ancho de grietas es mayor mientras mayor sea el recubrimiento.

d) Las varillas deben estar ancladas.

Debe vigilarse que siempre existan longitudes de anclaje suficientes para desarrollar el esfuerzo de fluencia.

e) Las estructuras deben tener un comportamiento dúctil.

Esto se logra limitando los porcentajes de refuerzo de flexión y cuidando los detalles de anclaje de varillas y del refuerzo transversal por cortante.

#### Proporcionamiento de las Mezclas de Concreto.

El proporcionamiento de una mezcla para concreto involucra la determinación de las proporciones adecuadas de cemento, agregados y agua, además de cualquier otro elemento adicionado para producir un concreto que tenga las propiedades deseadas.

El agregado fino y el grueso constituyen del orden del 75 - al 80 por ciento de la masa y se unen entre sí para formar un cuerpo sólido por la solidificación de la pasta hecha con cemento y agua. El agua sirve para dos fines. Causa la hidratación del cemento en una masa sólida, y le da al concreto fresco la suficiente plasticidad para permitir su adaptación a cualquier forma

decada.

Si se utiliza una cantidad excesiva de agua se diluye la pasta y se debilita el concreto. Si se utiliza una cantidad mínima de cemento, no habrá la suficiente pasta para unir entre sí todas las partículas del agregado, y la resistencia del concreto resultará afectada. Por lo tanto, es obvio que la correcta cantidad de agua en la elaboración del concreto debe ser la mínima necesaria para darle al concreto la suficiente plasticidad.

Un concreto económico que posea las propiedades requeridas, puede producirse utilizando los tamaños más grandes de agregado grueso y la menor cantidad de agua. Los grandes trozos de agregado ya están unidos por la naturaleza y no requieren de cemento para este fin. Si el contenido de agua se mantiene bajo, la resistencia de la pasta de cemento será alta y podrá producirse un concreto fuerte con menos cemento.

Manejo y transporte del concreto. El método que se utilizará en el manejo y transporte del concreto debe seleccionarse para realizar varios fines, incluyendo:

- 1.- Economía.
- 2.- Evitar la segregación.
- 3.- Colocación final antes de que el concreto llegue a su fraguado inicial.

El concreto puede manejarse y transportarse con carretillas; cucharones manejados con grúas, torres de levantamiento o cables; ductos; transportadores de banda; camiones de mezclado en tránsito o de volteo bombas y tuberías. Cada método que tiene sus ventajas y desventajas, es adecuado para emplearse en ciertas condiciones.

Para reducir la segregación, el concreto debe fluir verticalmente hacia abajo cuando se descarga en los moldes o de una unidad de equipo a otro.

Colocación del concreto. Si el concreto se cuela sobre tierra, la tierra debe estar lo suficientemente húmeda para evitar que le robe el agua al concreto. Si el colado se hace sobre o cercano a un concreto ya fraguado, debe limpiarse concienzudamente la superficie del concreto viejo, preferiblemente con aire a alta presión y con su chorro de agua y cepillos de alambre. La superficie debe estar mojada, pero no se permitira la existencia de charcos de agua.

Inmediatamente después de haber colado el concreto, debe compactarse a mano o con un vibrador mecánico para eliminar vacíos.

La principal ventaja del vibrador es que permite la utilización de un concreto más seco. Entre las ventajas de vibrar el concreto están las siguientes:

- 1.- La reducción en el agua permite una reducción en el cemento y en el agregado fino ya que se necesita una menor cantidad de pasta de cemento.
- 2.- El menor contenido de agua reduce el enjutamiento y los vacíos.
- 3.- El concreto más seco reduce el costo de terminación de la superficie.
- 4.- La vibración mecánica puede reemplazar a ocho obreros que hagan el vibrado a mano.
- 5.- El menor contenido de agua aumenta la resistencia del concreto.

6.- La mezcla más seca permite la remoción de la cimbra con mayor rapidez, lo cual puede reducir el costo de la cimbra.

Para que el concreto obtenga su máxima resistencia y otras propiedades deseables, debe curarse con una humedad adecuada y a una temperatura favorable. El no tener estas condiciones puede dar como resultado un concreto de calidad inferior.

El curado debe evitar la pérdida de la humedad inicial, o reemplazar la humedad evaporada.

El concreto debe colocarse a una temperatura no menor de 40 °F ni mayor de 80 °F. Una temperatura inferior reducirá la resistencia última. Cuando el concreto se cuele en lugares fríos, por lo general será necesario precalentar el agua, los agregados, o ambos, a fin de que la temperatura inicial asegure un pronto fraguado y aumento en la resistencia. El precalentamiento del agua es el método más efectivo para proporcionar la temperatura requerida.

Cuando el concreto se cuele en climas cálidos, puede ser necesario preenfriar el concreto, esto se puede lograr de una forma fácil si se agregan cubos de hielo a el agua que se utilizara para la mezcla.

### III.- ESTRUCTURAS DE CONCRETO PRESFORZADO .

Aunque la primera proposición para aplicar el presforzado al concreto se hizo desde 1886 en los Estados Unidos, no fue sino hasta los años treinta que, como resultado de los estudios del ingeniero francés Eugene Freyssinet, el concreto presforzado llegó a ser una realidad práctica.

El presforzado puede definirse en términos generales como el precargado de una estructura, antes de la aplicación de las cargas de diseño requeridas, hecho en forma tal que mejore su comportamiento general.

Aunque los principios y las técnicas del presforzado se han aplicado a estructuras de muchos tipos y materiales la aplicación más común ha tenido lugar en el diseño del concreto estructural. En esencia, el concreto es un material que trabaja a compresión. Su resistencia a la tensión es mucho más baja que a la compresión por eso al diseñar se le deja fuera de consideración. Por tanto, el presforzado del concreto implica naturalmente la aplicación de una carga compresiva, previa a la aplicación de las cargas, en forma tal que se reduzcan o eliminen los esfuerzos de tensión que de otra forma ocurrirían.

Sin embargo, a medida que se ha desarrollado el conocimiento de esta forma de construcción, se ha visto claramente que esta concepción es innecesariamente restrictiva, y en la práctica actual de diseño se permite que haya esfuerzos de tensión en el concreto, y hasta cierto agrietamiento limitado. Haciendo variar la magnitud del presfuerzo compresivo puede limitarse al grado -

deseado el número y el ancho de las grietas, igualmente puede controlarse la deflexión del miembro.

Pero no es sólo por las condiciones de servicio mejoradas que el presforzado ha alcanzado importancia. Por el control del agrietamiento y la deflexión bajo las cargas de servicio, el presforzado hace posible emplear el económico y eficaz refuerzo de acero de alta resistencia a la tensión, y concreto de alta resistencia. En vigas presforzadas, el alto esfuerzo en el acero no va acompañado por grietas anchas en el concreto, porque se aplica al acero gran parte del esfuerzo antes de ser anclado al concreto, y antes de que se aplique la carga al miembro.

La deflexión de las vigas ordinarias de concreto armado está ligada también directamente a los esfuerzos. Si se permitieran esfuerzos muy grandes, las deformaciones acompañantes, también grandes, que ocurrirían en el concreto y en el acero, producirían inevitablemente grandes rotaciones de las secciones transversales a lo largo del miembro, las cuales se traducirían directamente a grandes deflexiones. Predeformando el refuerzo de alta resistencia a la tensión de las vigas presforzadas, se evitan las grandes rotaciones y deflexiones que ocurrirían en otras condiciones.

En consecuencia, no es sólo por la mejoría del comportamiento bajo la carga de servicio, por el control del agrietamiento y de la deflexión, por lo que el concreto presforzado es conveniente, sino también porque permite la utilización de materiales eficientes de alta resistencia. Pueden usarse miembros de menores dimensiones y más ligeros. Se reduce la relación de la carga muerta a la carga viva, se aumentan los claros y se amplía consi-

derablemente la gama de aplicaciones posibles del concreto estructural.

Se pueden ilustrar muchas características importantes del - presforzado por medio de un ejemplo simple. Considérese primero la viga simple de concreto sin refuerzo que aparece en la figura 3.1 a . Esta soporta una sola carga concentrada en el centro de su claro. (Se despreciará aquí el peso propio del miembro). Conforme la carga  $W$  se aplica gradualmente, se inducen esfuerzos - longitudinales de flexión.

Suponiendo que se esfuerza el concreto solamente dentro de su intervalo elástico la distribución de los esfuerzos de flexión a la mitad del claro será lineal, como se ilustra.

A una carga relativamente baja, el esfuerzo de tensión que se origina en el concreto en la parte inferior del miembro alcanzará el valor de la resistencia del material a la tensión,  $f_r$ , y se formará una grieta. Como no existe restricción alguna contra la extensión de la grieta hacia arriba, el miembro fallará totalmente y se derrumbará sin aumentar más la carga.

Considérese ahora una viga idéntica, en esencia, como la de la figura 3.1b, en la cual se introduce una fuerza axial longitudinal  $P$  antes de aplicar un esfuerzo compresivo axial uniforme  $f_c = P/A_c$ , siendo  $A_c$  el área de la sección transversal del concreto. Es claro que la fuerza quede ajustarse en cuanto a magnitud, de manera que, al aplicar la carga transversal  $Q$ , la suposición de esfuerzos debidos a  $P$  y  $Q$  dé como resultado un esfuerzo de tensión cero en la parte inferior de la viga como se ilustra.

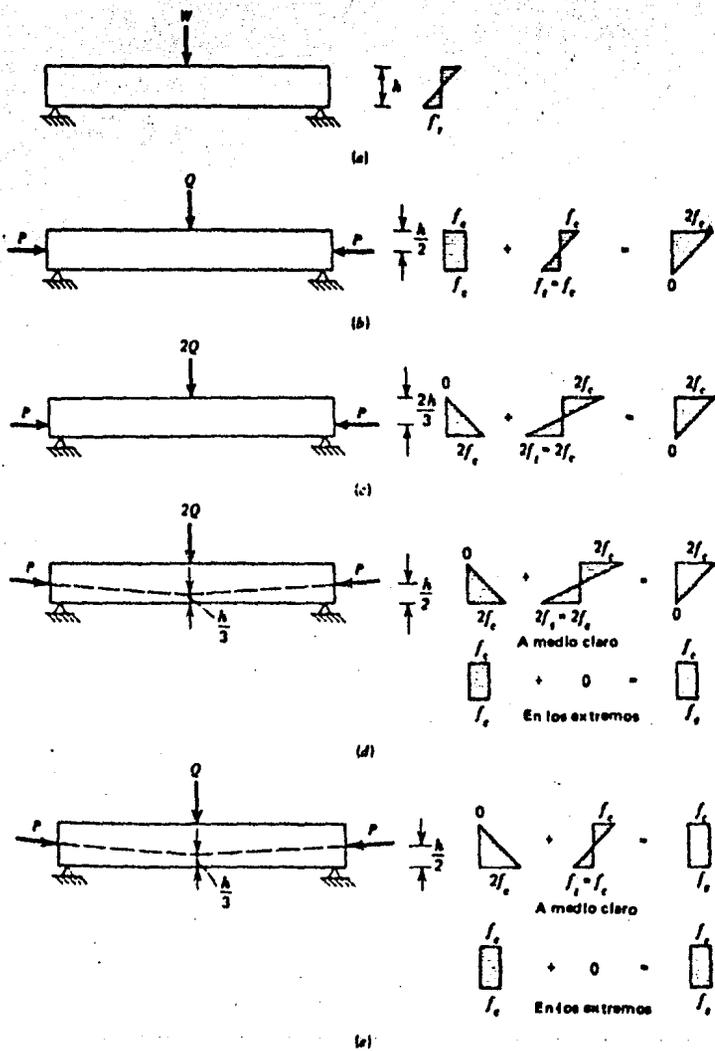


Figura 3.1 Esquemas alternativos para presforzar una viga rectangular de concreto. a) Viga de concreto simple. b) Viga presforzada axialmente. c) Viga presforzada excéntrica. d) Viga presforzada con excentricidad variable. e) Etapa de carga balanceada para viga con excentricidad variable.

El esfuerzo de tensión que obre en el concreto puede eliminarse de esta manera, o reducirse a una cantidad especificada.

Pero sería más lógico aplicar la fuerza presforzante cerca de la parte inferior de la viga, para compensar con mayor eficiencia la tensión inducida por la carga.

Por ejemplo, una posible especificación de diseño podría ser introducir la compresión máxima en la parte inferior del miembro sin ocasionar tensión en la parte superior, al actuar solamente la fuerza presforzante. Se puede demostrar fácilmente que, para una viga de sección transversal rectangular, el punto de aplicación correspondiente de la fuerza está en el punto inferior del tercio medio del peralte de la sección. La carga  $P$ , con el mismo valor que antes, pero aplicada con excentricidad  $e = h/6$  respecto al centroide del concreto, producirá una distribución de esfuerzo compresivo longitudinal que varía desde cero en el borde superior hasta un valor máximo de  $2fc = (P/Ac) + (Pec_2/Ic)$ , en el inferior, siendo  $fc$  el esfuerzo en el concreto en el centroide de la sección,  $C_2$  la distancia del centroide del concreto a la cara inferior del concreto e  $Ic$  el momento de inercia de la sección transversal como se muestra en la figura 3.1c. El esfuerzo en la parte inferior será exactamente igual al doble del valor producido antes por el presforzado axial.

Consecuentemente, la carga transversal puede ser ahora del doble que antes, o sea,  $2q$ , y no dar origen a esfuerzos de tensión.

Al describir el efecto del presforzado en el ejemplo ante -

rior, se implicó que la viga respondía en una forma elástica lineal, y que era válido el principio de la superposición. Esto requiere que la viga permanezca sin agrietamientos, y que tanto el concreto como el acero se esfuerce solamente dentro de sus intervalos elásticos. Este puede ser el caso hasta aproximadamente el nivel de la carga de servicio, es decir, el peso propio real del miembro más las cargas superpuestas de las que pueda esperarse razonablemente que actúen durante la vida del miembro. Pero si las cargas sufrieran un incremento ulterior, los esfuerzos de tensión resultantes rebasarían linealmente la resistencia del concreto a la tensión, y se formarían grietas. Estas no ocasionarían la falla gracias a la presencia del acero, y las cargas generalmente pueden aumentarse bastante más allá de la carga de agrietamiento sin ocasionar problemas.

#### Modalidades del presfuerzo.

Tomando en cuenta si la etapa de colado es antes o después del tensado de los tendones de presfuerzo y además es la anulación de los esfuerzos de tensión es total o parcial se tienen las siguientes modalidades del presfuerzo.

##### 1.- Elementos pretensados.

Son elementos prefabricados en los cuales los tendones se tensan antes de colocar el concreto, estos elementos casi siempre son isostáticos con cables de trayectoria recta, en los que la acción del presfuerzo es interna o sea que el anclaje es por adherencia.

Adicionalmente, estos elementos pueden ser total o parcialmente pretensados.

## 2.- Elementos Postensados.

Son elementos prefabricados o colados en la obra, isostáticos o hiperestáticos, cuyos tendones de presfuerzo casi siempre son de trayectoria curva. En este tipo de elementos los cables se tensan después de colar el concreto, en ellos la acción del presfuerzo es externa, es decir, los tendones de presfuerzo se anclan mecánicamente.

Estos elementos también pueden ser total o parcialmente postensados.

## 3.- Elementos pretensados - Postensados.

Son elementos prefabricados en los cuales el tensado de unos tendones se realiza antes del colado del concreto y otros después. Además pueden ser pretensados-postensados total o parcialmente.

Los elementos parcialmente presforzados son aquellos en los que se utiliza acero de refuerzo presforzado y no presforzado, cuya combinación permite proveer una adecuada resistencia a la flexión.

Bajo cierto nivel de cargas de servicio los elementos parcialmente presforzados se agrietan, por lo que es necesario colocar acero de refuerzo ordinario en la zona de tensión a fin de -

restringir las grietas y con ello la excesiva corrosión del acero.

Este tipo de elementos son más esbeltos y más ligeros que los de concreto reforzado, pudiéndose con ello librar claros más grandes y además soportar cargas de mayor magnitud.

La mayoría de los elementos parcialmente presforzados son pretensados y rara vez son pretensados-postensados pues en este caso se tienen costos adicionales muy altos.

Por medio del presfuerzo parcial se pueden diseñar elementos cuyo comportamiento mejorara en algunos aspectos a el de los elementos totalmente presforzados, sin embargo, en zonas con medio ambiente extremadamente agresivo su uso no es conveniente, por lo que en estas condiciones son aventajados por los totalmente presforzados.

#### Ductilidad.

Los resultados de pruebas llevadas a cabo son elementos parcialmente presforzados, demuestran que estos elementos son más dúctiles que los elementos totalmente presforzados, lo cual se debe a la inclusión de varillas de refuerzo ordinario, sin embargo, no es recomendable diseñar miembros sobre reforzados o con poca cantidad de acero ya que estos elementos presentan fallas de tipo frágil.

#### Materiales.

Aunque las características generales de los materiales son bien conocidas por los estudiantes de ingeniería Estructural y los ingenieros en la práctica, algunas propiedades especiales son de gran importancia en el diseño de concreto presforzado. En realidad, fue la no consideración de algunas de estas propiedades especiales la que provocó la falta de éxito en los primeros esfuerzos en concreto presforzado. Por ejemplo, fue solo hasta después que Freyssinet estableció la importancia de la dependencia del tiempo de la contracción y el escurrimiento plástico del concreto que se pudieron construir con éxito estructuras de concreto presforzado.

El uso de acero de muy alta resistencia para el presfuerzo es necesario por razones físicas básicas. Las propiedades mecánicas de este acero tal como lo revelan las curvas de esfuerzo-deformación, son algo diferentes de aquellas del acero convencional usado para el refuerzo del concreto. Adicionalmente a su alta resistencia, se debe tomar en cuenta las diferencias de ductibilidad, carencia de un punto de fluencia bien definido, y otras características de gran importancia técnica.

El concreto empleado en miembros presforzados es normalmente de resistencia más alta que el de las estructuras no presforzadas.

La razón para el fracaso de la mayoría de los primeros intentos en concreto presforzado, fue la falla de emplear aceros con inadecuado nivel de esfuerzo-deformación. Los cambios de longitud, función del tiempo, ocasionados por la contracción y

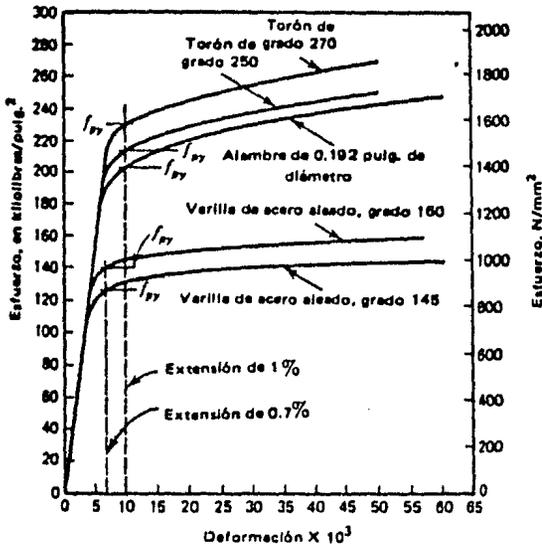
el escurrimiento plástico del concreto, fueron de tal magnitud que eliminaron el presfuerzo en el acero.

Existen tres formas comunes en las cuales se emplea el acero como tendones en concreto presforzado: alambres redondos-estirados en frío, cable trenzado y varillas de un acero de aleación. Los alambres y los cables trenzados tienen una resistencia a la tensión de más o menos 250,000 Lb/pulg<sup>2</sup> (1720 N/mm<sup>2</sup>) en tanto que la resistencia de las varillas de aleación está entre los 145,000 Lb/pulg<sup>2</sup> y 160,000 Lb/pulg<sup>2</sup> (1,000 N/mm<sup>2</sup> y 1,100 N/mm<sup>2</sup>) dependiendo del grado.

Resulta instructivo comparar en términos generales, las curvas de esfuerzo-deformación a tensión de varillas de refuerzo ordinarias con las de aceros típicos para el presfuerzo, tal como se hace en la figura 3.2. Las diferencias más notables son el mucho más elevado límite elástico proporcional y la resistencia disponible en alambres redondos y en varillas de aleación usados como presfuerzos, y la substancialmente más baja ductibilidad.

El acero de presfuerzo no presenta un esfuerzo de fluencia bien definido. El límite proporcional para alambres redondos- (y para cables hechos con tales alambres) está alrededor de las 200 kilolibras/pulg<sup>2</sup>, o sea 5 veces el punto de fluencia de las varillas del grado 40.

El esfuerzo de falla para el alambre que se muestra es de 250 kilolibras/pulg<sup>2</sup>, casi cuatro veces que el de las varillas



Para los alambres  $E_p \approx 29,000$  kilolibras/pulg.<sup>2</sup>  
 Para los torones  $E_p \approx 27,000$  kilolibras/pulg.<sup>2</sup>  
 Para las varillas  $E_p \approx 27,000$  kilolibras/pulg.<sup>2</sup>

Curvas de esfuerzo-deformación típicas para aceros de presfuerzo.

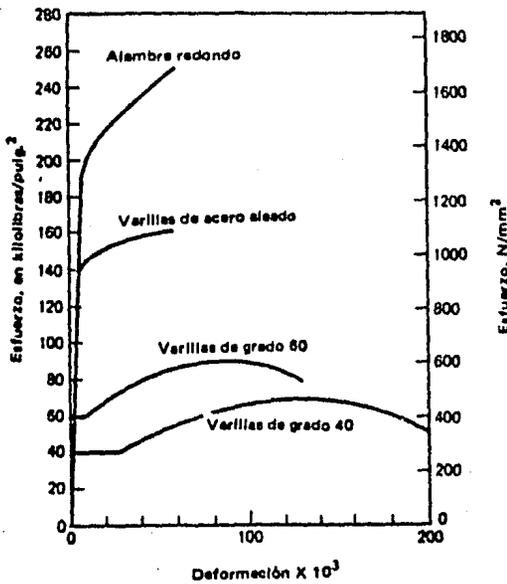


Figura 3.2 Curvas comparativas de esfuerzo-deformación para acero de refuerzo y acero de presfuerzo.

de grado 40, pero la deformación en la falla es solamente la tercera parte. Las varillas de aleación tienen características similares a aquellas de los alambres redondos o de los cables trenzados, pero sus límites proporcionales y resistencias son 30 a - 40 por ciento menores.

La ductilidad, medida como la deformación total en el momento de falla, es significativamente menor para los grados mayores.

#### Relajamiento del Acero.

Cuando el acero del presfuerzo se le esfuerza hasta los niveles que son usuales durante el tensado inicial y al actuar las cargas de servicio, se presente una propiedad que se conoce como relajamiento. El relajamiento se define como la pérdida de esfuerzo en un material esforzado mantenido con longitud constante. (El mismo fenómeno básico se conoce con el nombre de escurrimiento plástico cuando se define en términos de un cambio de longitud de un material que está sujeto a esfuerzo constante.)

El relajamiento no es un fenómeno que ocurra en un período de tiempo corto. De la evidencia que se tiene disponible resulta que continúa casi indefinidamente, aunque a una velocidad decreciente.

#### Tipos de concreto.

Por muchas razones el concreto que se usa en la construcción

presforzada se caracteriza por una mayor resistencia que aquel - que se emplea en el concreto reforzado ordinario. Se le somete a fuerzas más altas, y por lo tanto un aumento en su calidad generalmente conduce a resultados más económicos. El uso de concreto de alta resistencia permite la reducción de las dimensiones de la sección de los miembros a un mínimo. Se logran ahorros significativos en carga muerta, y grandes claros resultan técnica y económicamente posibles. Las objetables deflexiones y el agrietamiento, que de otra manera estarían asociados con el empleo de miembros esbeltos sujetos a elevados esfuerzos, pueden controlarse con facilidad mediante el presfuerzo.

Existen otras ventajas. El concreto de alta resistencia tiene un módulo de elasticidad más alto que el concreto de baja resistencia, de tal manera que se reduce cualquier pérdida de la fuerza pretensora debida al acortamiento elástico del concreto. Las pérdidas por escurrimiento plástico que son aproximadamente proporcionales a las pérdidas elásticas, son también menores. Los elevados esfuerzos de aplastamiento que existen en las inmediaciones de los anclajes de los tendones de miembros postensados se pueden tomar más fácilmente, y se pueden reducir el tamaño y el costo de los dispositivos de anclaje. En el caso de los elementos pretensados, una mayor adherencia resulta en una reducción de la longitud de desarrollo requerida para transmitir la fuerza pretensora de los cables de concreto. Finalmente, un concreto de alta resistencia a la compresión, tiene también una mayor resistencia a la tensión, de tal manera que se disminuye la formación de grietas debidas a la flexión y a la tensión diagonal.

### Perdida parcial de la fuerza de presforzado

Las pérdidas en la fuerza pretensora se pueden agrupar en 2 categorías: aquellas que ocurren inmediatamente durante la construcción del miembro, y aquellas que ocurren a través de un extenso período de tiempo. La fuerza de presfuerzo del gato  $P_j$ , — puede reducirse inmediatamente debido a las pérdidas por fricción, deslizamiento del anclaje, y el acortamiento elástico del concreto comprimido. La fuerza pretensora después de ocurridas estas — pérdidas se ha denominado fuerza pretensora inicial  $P_1$ . A medida en que transcurre el tiempo, la fuerza se reduce más gradualmente, primero rápidamente y luego más lentamente, debido a los cambios de longitud provenientes de la contracción y el flujo — plástico del concreto y debido al relajamiento del acero altamente esforzado.

Después de un período de muchos meses, o aún años, los cambios posteriores en los esfuerzos llegan a ser insignificantes, y se alcanza una fuerza pretensora casi constante. Esta se define como la fuerza pretensora efectiva  $P_0$ .

La fuerza en el gato  $P_j$ , será la mayor de todas las fuerzas que actuarán en el tendón de acero durante la vida normal del — miembro, y la operación del tensado puede considerarse como una prueba sobre el compartimiento del tendón.

Para los miembros pretensados,  $P_j$  nunca actúa en el concreto, sino únicamente en los anclajes permanentes de la cama del — colado. La tensión se reduce a lo largo de la longitud del cable por la fricción que ocurre en los puntos de cambio de dirección

del cable y en las cimbras extremas de la viga. Adicionalmente, la fuerza en el acero se reduce, inmediatamente después de la transferencia, por el acortamiento elástico del concreto.

Para miembros postensados, la fuerza del gato se aplica realmente en el concreto durante el tensado, pero sólo existe con su valor total en el extremo del miembro donde se realiza el tensado. Inmediatamente después de la transferencia, la fuerza postensora se reduce por el deslizamiento del anclaje.

Son de interés primario la fuerza pretensora inicial  $P_1$ , inmediatamente después de la transferencia, y la fuerza pretensora efectiva  $P_e$ , después de ocurridas todas las pérdidas, éstas se relacionan mediante la ecuación:

$$P_e = RP_1$$

Todas las pérdidas dependientes del tiempo, específicamente aquellas debidas al flujo plástico, a la contracción, y al relajamiento, todos los cuales afectan tanto a los miembros pretensados como a los postensados, se incluyen en el coeficiente R.

La estimación de las pérdidas se puede efectuar en varios niveles diferentes. Para la mayoría de los casos, en el diseño práctico, no se necesita un cálculo detallado de las pérdidas. Es posible adoptar cantidades globales razonablemente precisas para las pérdidas del presfuerzo. Tales expresiones se encuentran incluidas en los comentarios del código ACI, en la Especificación Provisional AASHTO para puentes y en otros documentos.

Para los casos en que se requiera mayor precisión, es necesario estimar las pérdidas por separado tomando en consideración

las condiciones especiales de la geometría del miembro, las propiedades de los materiales, y los métodos constructivos que se apliquen.

### Construcción Precolada.

En varias décadas pasadas, en Europa y en los Estados Unidos se ha ocurrido el desarrollo del concreto presforzado en ramas absolutamente diferentes. En Europa, en donde la relación entre el costo por mano de obra y el costo por materiales ha sido relativamente bajo, la realización de novedosos proyectos, únicos en su clase, ha sido económicamente factible. Se usaron sofisticadas técnicas de diseño y construcción para lograr el máximo ahorro en materiales. En los Estados Unidos, en donde por contrastes — con frecuencia la demanda de mano de obra especializada sobrepasa a la oferta, las condiciones económicas fueron de tal naturaleza que se vio más favorecida la estandarización de la construcción, substituyendo la mano de obra en situ por la producción en planta de partes precoladas.

Aunque la mano de obra ya no es escasa, actualmente se emplea más a menudo el concreto precolado cuyas ventajas se establecen claramente. Debido a la producción masiva, se requiere de menos cantidad de mano de obra local no especializada, la cual es más barata que la especializada de la construcción móvil.

El concreto de gran calidad y alta resistencia es más fácil de obtener. Las formas complicadas de las secciones transversales se vuelven económicamente factibles con el empleo repetitivo de cimbras metálicas o de fibra de vidrio. La obra puede transcurrir con mayor independencia del clima y de las estaciones. La -

duración de la construcción in situ se reduce debido a la prefabricación de las partes, lo cual es una consideración de importancia en lugares congestionados.

Se han desarrollado muchos tipos de miembros precolados, y se han dedicado muchos esfuerzos para diseñar las conexiones de los miembros precolados, de forma tal que se cumplan los requerimientos estructurales y se simplifiquen los procedimientos de construcción al grado máximo. Por razones de economía, siempre que sea posible se usan miembros y conexiones estándar.

#### Miembros precolados para edificios.

Se han desarrollado para edificios algunas formas más o menos estándar de unidades precoladas. Aun cuando a la fecha no se encuentran completamente estandarizadas, se encuentran ampliamente disponibles con pequeñas variaciones locales. Al mismo tiempo, el procedimiento del precolado es lo suficientemente adaptable como para que se puedan producir económicamente las formas especiales, siempre que el número de repeticiones de cada unidad sea suficientemente grande. Esto es particularmente importante por ejemplo, para los paneles de muros exteriores, para los cuales se necesita una gran variedad de tratamientos arquitectónicos.

#### A.- Unidades para pisos y techos.

Tal vez la más común de las formas estándar para edificios sea el tablero de piso o cubierta en doble T la doble T, es altamente funcional, ya que no solamente cumple con los requisitos estructurales, sino que también proporciona una útil superficie

plana. Con frecuencia se emplea una losa superior de acabado de 2 pulg., colocada in situ sobre el patín superior para proporcionar una superficie de acabado suave. La acción compuesta resultante aumenta tanto la rigidez como la resistencia.

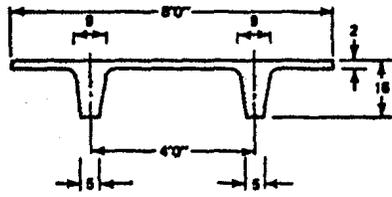
También son ampliamente usadas para pisos y cubiertos los varios tipos de losas de corazón hueco.

La sección de T simple se emplea con frecuencia para claros más largos y cargas más pesadas en edificios tales como edificios de estacionamientos, auditorios, gimnacios, y comedores.

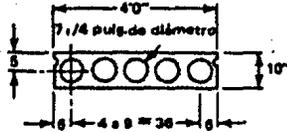
Cuando el concreto se cuela contra cimbras de acero liso o fibra de vidrio, tal como generalmente es el caso para los miembros de los tipos que se acaban de describir, y cuando se cuida el proporcionamiento de la mezcla y el vibrado después de su colocación, el miembro resultante tiene una superficie que es muy lisa y durá. Con frecuencia esta se deja expuesta en la estructura terminada sin ningún otro acabado adicional que no sea pintura.

#### B.-- Vigas y Trabes.

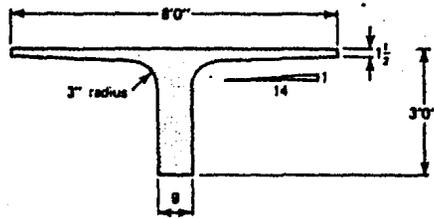
Se han producido vigas y trabes de muchas formas para los miembros estructurales principales en los edificios de concreto presforzado precolado. Las formas y dimensiones de estos miembros no son estándar como lo fue para las unidades de tablero. La geometría de la sección transversal está dictaminada no solamente por los requerimientos de carga y claro, sino a menudo por la necesidad de proporcionar un largero o ménsula continua para el apoyo extremo de las unidades de tablero precoladas, formando



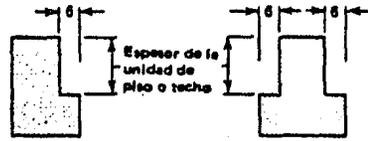
(a)



(b)



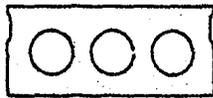
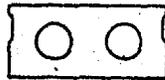
(c)



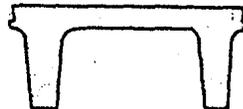
(d)

(e)

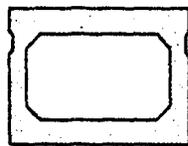
Secciones estándar típicas. (a) Doble T. (b) Tablón de corazón hueco. (c) T simple. (d) Sección L. (e) T invertida.



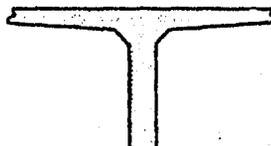
(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURA 3-3 Secciones precoladas para puentes de claros cortos, a) losas huecas, b) Sección canal, c) Viga cajón, d) T simple.

un entarimado a 90 grados. En las figuras se pueden ver secciones transversales L y T invertidas típicas.

#### C.- Columnas.

Las columnas así como las vigas y trabes de piso son a menudo precoladas. pueden ser presforzados pero con más frecuencia son reforzadas convencionalmente, aun cuando el resto de la obra sea presforzada. Las secciones transversales rectangulares son las más comunes, pero se han empleado formas poco usuales para propósitos especiales. Las columnas son precoladas en posición horizontal simplificando grandemente los trabajos de cimbrado.

#### D.- Paneles de muro de fachada.

Se han empleado muchos tipos de paneles de muro para encerrar edificios de uno o más pisos. Estos pueden servir solamente como revestimiento, pero a menudo los muros tienen capacidad portante, y brindan apoyo vertical a los pisos y cubiertas. Adicionalmente, prestando cuidadosa atención a los detalles pueden proporcionar resistencia efectiva a las fuerzas laterales de los edificios.

También se usan paneles de muros planos, estos pueden tener varios tratamientos superficiales incluyendo la exposición del agregado y las superficies con cierto patrón.

#### Detalles de Conexión

Por naturaleza, las estructuras de concreto coladas in situ tienden a ser monolíticas y continuas. Las conexiones, en el sen

tido de que tengan que unir dos piezas separadas, ocurren raramente en este tipo de construcción. Por otro lado, las estructuras precoladas se asemejan a la construcción en el acero en el sentido de que la estructura final consiste en el ensamble de un gran número de metros prefabricados que se conectan unos con otros en el lugar de la obra.

Para las estructuras de concreto precolado, las conexiones se pueden detallar de tal forma que transmitan únicamente las fuerzas de gravedad, o las fuerzas de gravedad y horizontales o los momentos que provocan estas fuerzas. En el último caso, se obtiene una estructura continua similar a la construcción colada in situ, y a las conexiones necesarias para lograr tal continuidad mediante el empleo apropiado de dispositivos metálicos especiales, refuerzo de continuidad y concreto para transmitir los esfuerzos de tracción, compresión y cortante, a veces se les denomina conexiones duras. Al contrario, las conexiones que transmiten reacción en una sola dirección, análogas a los pedestales de oscilación o a los rodillos en las estructuras de acero, pero que permiten una cantidad limitada de movimiento para librar otras fuerzas, tales como las componentes horizontales de la reacción, son conocidos como conexiones blandas.

En muchas conexiones precoladas se usan las placas de asiento, enclavadas adecuadamente dentro de los miembros conectados para asegurar la distribución y uniformidad razonable de las presiones de apoyo. Si estas placas de asiento son de acero y las placas de los miembros que se conectan son unidas con soldadura, el resultado es una conexión dura en sentido de que por lo menos se transmiten las fuerzas horizontales así como las verticales. Por

otro lado, son comunes los detalles de apoyo que permiten la liberación de fuerzas horizontales, tales como los cojines de tetráfluoretileno (TFE), los cuales eliminan la fricción en los apoyos de una manera efectiva.

Las estructuras de concreto precolado se encuentran sujetas a cambios dimensionales provenientes del flujo plástico y de la y de la contracción, adicionalmente a los debidos a la temperatura, mientras que las estructuras de acero sólo presentan variaciones dimensionales producidas por la temperatura. En los inicios del desarrollo de la construcción precolada existió la tendencia al uso extensivo de conexiones blandas con el objeto de permitir la ocurrencia de estos cambios dimensionales sin causar fuerzas de restricción más recientes con conexiones suaves indican que las estructuras resultantes tienden a tener insuficiente resistencia a las fuerzas laterales, tales como a las sísmicas. Por esa razón la tendencia actual es hacia el uso de las conexiones duras con un alto grado de continuidad. En las conexiones de esta clase, se deben adoptar precauciones para resistir a las fuerzas de restricción causadas por los cambios volumétricos. En el código ACI se encuentran unas cuantas recomendaciones específicas relativas al diseño de las conexiones de miembros precolados, debido a que este tipo de construcción es considerada como algo especial.

#### Aplicaciones.

Yves Guyon observó hace muchos años que probablemente no exista problema estructural para el cual el presfuerzo pueda no brindarle una solución. Las diversas aplicaciones del concreto presforzado descritas recientemente en la literatura técnica y

en la prensa en general confirman la veracidad de esta observación.

Los miembros y estructuras que se describirán en las páginas siguientes sirven para ilustrar la variedad de circunstancias del diseño en las cuales se puede emplear ventajosamente el concreto presforzado. Debido a las limitaciones de espacio, se describirán aplicaciones específicas en los términos más generales.

#### A.- Puentes.

El concreto presforzado ha demostrado ser técnicamente ventajoso, económicamente competitivo, y estaticamente superior para puentes, desde las estructuras de claros muy cortos que emplean componentes precolados estándar, hasta las traveses atirantadas con cables y las traveses de sección cajón continuas con longitudes de claros cercanas a los 1000 pies. Casi todos los puentes de concreto, aún los de claros relativamente cortos, son ahora presforzados.

Los claros de puentes de hasta de 100 pies a menudo consisten de unidades precoladas tales como las mostradas en sección transversal en la figura 3.3. Estas unidades ofrecen un bajo costo inicial, un mantenimiento mínimo y una construcción rápida y fácil. Dichas traveses son por lo general pretensadas. Las unidades se colocan una a lado de la otra y por lo general se pretensan lateralmente. Para claros en carreteras, se puede aplicar directamente una carpeta asfáltica de rodadura en la parte superior del concreto precolado. En algunos casos se proporciona una losa colada in situ para lograr la acción compuesta.

No se pueden usar traveses precoladas para claros mucho mayores que 120 pies debido a los problemas de la transportación y creación de unidades grandes y pesadas. Por otro lado, existe una tendencia definida al empleo de claros más largos en puentes.

Para vías urbanas elevadas, los grandes claros facilitan el acceso y minimizan la obstrucción de las actividades por debajo. El interés de la protección del ambiente ha conducido a la selección de grandes claros en los viaductos continuos. En los cruces de ríos, los pilares intermedios pueden ser imposibles debido a los requerimientos de espacio libre para la navegación.

#### B.- Cascarones y losas plegadas.

En una estructura de cascarón bien diseñada, las cargas son en su mayor parte resistidas por fuerzas de membrana que actúan en el plano tangencial a la superficie del cascarón en cualquier punto. Los esfuerzos principales de tensión, en dondequiera que existan, son propensos a causar agrietamiento en la cáscara de concreto, y pueden afectar adversamente su comportamiento. Una concepción obvia es cancelar estos esfuerzos de tensión mediante el presfuerzo.

Las ventajas del Presfuerzo de cascarones son importantes. Al evitar el agrietamiento bajo el estado de cargas de servicio, el cascarón satisface más íntimamente la suposición que generalmente se hace en el análisis acerca del hecho de que la estructura no está agrietada y es elástica. Con el presfuerzo las deflexiones se pueden minimizar dando como resultado el evitamiento -

de los esfuerzos secundarios. El acero requerido se coloca más convenientemente en la forma de tendones de alta tensión que de varillas de refuerzo ordinario. Las áreas de acero no solamente son menores, y por lo tanto de más fácil acomodo dentro del por lo general pequeño espesor del cascarón, sino que es posible usar el refuerzo corrido sin empalmes traslapados, los cuales son con frecuencia fuentes de problemas cuando se emplean varillas de refuerzo grueso.

#### C.- Armaduras y Marcos especiales.

El concreto presforzado no ha sido empleado a menudo para estructuras tipo armadura, pero se han producido unos cuantos diseños sorprendentemente exitosos.

#### D.- Torres para reservorios de agua.

Los tanques elevados para reservorios de agua son una atracción principal en los horizontes de las colectividades grandes y pequeñas muy frecuentemente se diseñan basándose únicamente en las condiciones de servicio y económicas. Además de desempeñar su función, una torre para agua bien diseñada puede ser un atractivo estético para cualquier región.

#### E.- Recipientes de contención nuclear.

El desarrollo de la energía nuclear para la generación de energía eléctrica ha dado como resultado la aparición de nuevas aplicaciones para el concreto presforzado.

Se emplean dos tipos de estructuras de concreto presforzado postensado para reactores. En el primer tipo, todo el circuito de presión que abraza al reactor y calienta a los intercambiadores se coloca dentro de un recipiente reactor de concreto presforzado, siempre dentro de paredes de concreto masivo, sujetas a compresión triaxial mediante el postensado. El segundo tipo de la estructura para el reactor es un recipiente contenedor, diseñado para proteger el ambiente del escape radiactivo en el caso de un accidente en la planta.

#### F.- Pavimentos.

El creciente aumento del volumen del tráfico y el peso de las losas de los pavimentos de concreto ambos en carreteras y en aeropuertos demandan mejoras en el diseño y en la construcción de pavimentos. Los pavimentos convencionales se diseñan basándose en el bajo módulo de ruptura del concreto; de esta manera no puede utilizarse la alta resistencia a la compresión del material. Cuando se incluye el acero, se intenta controlar y distribuir el agrietamiento en el concreto, pero no eliminarlo. Por otro lado, la experiencia indica que el deterioro del pavimento usualmente empieza en las grietas y en las juntas transversales

En los pavimentos de concreto presforzado longitudinal, — fluctuación de esfuerzos debida al peso de las cargas de rueda permanece en el rango de compresión. Se elimina el agrietamiento y las juntas transversales son disminuidas en número o eliminadas completamente, dando como resultado una mayor vida del pavimento. Adicionalmente, los costos se pueden reducir disminuyendo el espesor de la losa.

### G.- Estructuras marinas.

El concreto presforzado ha encontrado frecuente aplicación en los años recientes en estructuras marinas de todos los tipos. Estas van desde las rutinarias construcciones de diques marítimos hasta los barcos tanques de concreto presforzado.

Al comparar la construcción en concreto presforzado para la instalación con un diseño alternativo en acero, se notaron las siguientes ventajas:

- a) Costo inicial de construcción más bajo.
- b) Características de durabilidad superiores en el ambiente del agua marina.
- c) Comportamiento dúctil al ser severamente sobrecargadas.
- d) Exenta de daños bajo cargas de fatiga.
- e) Excelentes propiedades bajo temperaturas extremadamente bajas.
- f) Comportamiento superior a la exposición al fuego.
- g) Facilidad de reparar los daños producidos en choques.
- h) No se requiere el secado en dique seco en intervalos regulares para inspección, reparación y mantenimientos. - Aunque las anteriores aplicaciones del presfuerzo se pueden considerar las más importantes, existen menos importantes también son utilizadas con frecuencia como son:
  - Pilotes
  - Anclajes para roca y suelo
  - Durmientes de ferrocarril
  - Postes de servicio
  - Torres y mastiles

Una de las características exclusivas del diseño del con-

creto presforzado es la libertad de poder escoger las proporciones de la sección transversal y las dimensiones en forma tal de acomodarse a los requisitos especiales de la obra en cuestión.

El diseñador de acero se encuentra limitado a escoger un número disponible de secciones transversales, por lo general simétricas

En el diseño en madera, casi sin excepción se emplean las secciones rectangulares. Pero en el caso del concreto presforzado, no solamente puede cambiarse el peralte del miembro, sino también variarse el espesor del alma y los anchos y espesor de los patines, independientemente, con el objeto de lograr una viga que tenga las proporciones casi ideales para un caso dado.

#### IV.- ESTRUCTURAS METALICAS

Los avances de la metalurgia y la fabricación de aceros de altas resistencias que se descubrieron durante el período de 1940 a 1950, pronto encontraron su aplicación en los aceros para el diseño de puentes y edificios. Los ingenieros habían estado en busca de aceros más resistentes que pudiesen soportar mayores cargas, con pesos reducidos. Al principio, estos aceros de alta resistencia se usaron únicamente en aplicaciones especiales en puentes y edificios, porque no habían sido incorporados a las especificaciones de diseño en esa época; los funcionarios de construcción y las oficinas de caminos extendían permisos especiales para usarlos. Conforme se iban acumulando experiencias y a medida que más diseñadores solicitaban el uso de estos aceros más resistentes, se fueron incorporando a las especificaciones para puentes y edificios.

El Instituto Americano de la Construcción de Acero (AISC) incluyó varios de los aceros de alta resistencia y baja aleación en las especificaciones adoptadas en noviembre de 1961 y revisadas en abril de 1963. La adopción de estas especificaciones por las agencias municipales, estatales y federales en los Estados Unidos, permitió el uso, en aquel país, de los aceros de alta resistencia, como parte normal del procedimiento de diseño. La Asociación Americana de Funcionarios de carreteras estatales (AASHO) también incorporó estos aceros a sus especificaciones para puentes.

Los aceros incluidos en las especificaciones anteriores han sido codificados por la Sociedad Americana para Ensayes y Materiales (ASTM), y se les ha dado una designación estándar. Aunque existen muchos tipos de aceros disponibles para usarse en el diseño estructural, hay algunos que no se han incluido en las especificaciones, ya que son considerados propiedad de la compañía que los produce.

#### Propiedades Mecánicas.

Las propiedades mecánicas dependen, principalmente, de la composición química, los procesos de laminado y el tratamiento térmico de los aceros; otros factores que pueden afectar estas propiedades son las técnicas empleadas en las pruebas, tales como la rapidez de carga de la muestra, las condiciones y geometría de la muestra, etc. Estos factores pueden producir una apreciable variedad de resultados para un mismo tipo de acero.

El espécimen de prueba usual es una muestra sometida a tensión, y se supone que para todos los fines prácticos el comportamiento a compresión es similar al comportamiento a tensión. Dado que es más sencillo llevar a cabo la prueba de tensión, la mayoría de las propiedades mecánicas se toman del diagrama esfuerzo-deformación a tensión.

Un diagrama típico esfuerzo-deformación de un acero estructural al carbono (figuras 4.1 y 4.2) se caracteriza por la existencia de una zona inicial en la que esfuerzos y deformaciones están relacionados entre sí linealmente, seguida por la llamada región plástica, donde tienen lugar deformaciones considerables.

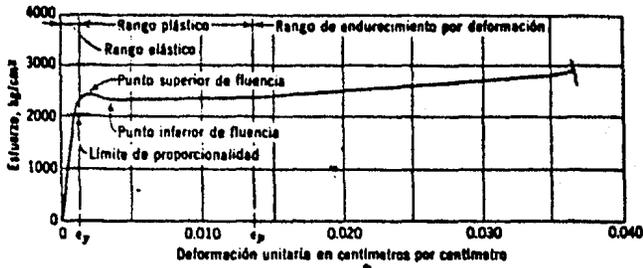
sin incremento apreciable de esfuerzos, y termina en una región de endurecimiento por deformación, en la cual un incremento de deformación es nuevamente acompañado por un incremento de esfuerzo.

La deformación unitaria plástica  $\epsilon_p$  que precede al endurecimiento por deformación es de diez a veinte veces mayor que la deformación unitaria correspondiente a la iniciación del flujo-plástico,  $\epsilon_y$ , y por lo tanto, un miembro que desarrolle esta deformación plástica sufrirá grandes deformaciones.

La fluencia inicial no es necesariamente una indicación de falla, por el contrario, la capacidad de fluir localmente es una característica valiosa de los elementos estructurales de acero.

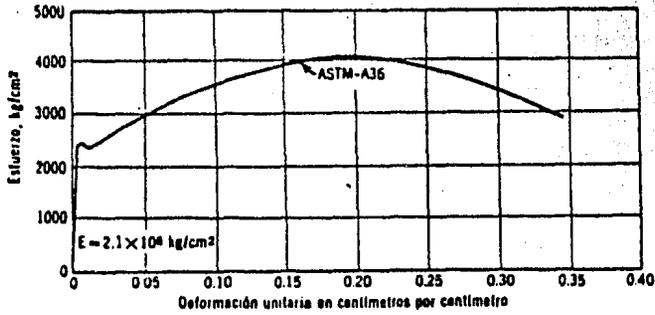
Cuando el flujo plástico se extiende sobre una porción grande del miembro, esto es, cuando ya no puede considerarse local, la deformación se incrementa rápidamente y ocurre la falla en forma de una deformación excesiva, o bien, de un colapso total de la estructura.

En la figura 4.2 se indica una porción del diagrama esfuerzo-deformación, hasta el punto en que se inicia el endurecimiento por deformación, la cual es aplicable para todos los aceros de construcción que tienen un punto de fluencia definido. Los aceros al carbono tratados y templados y los aceros de aleación, no exhiben un punto de fluencia bien definido como se indica en la figura 4.3.



Curva parcial esfuerzo-deformación para acero A36.

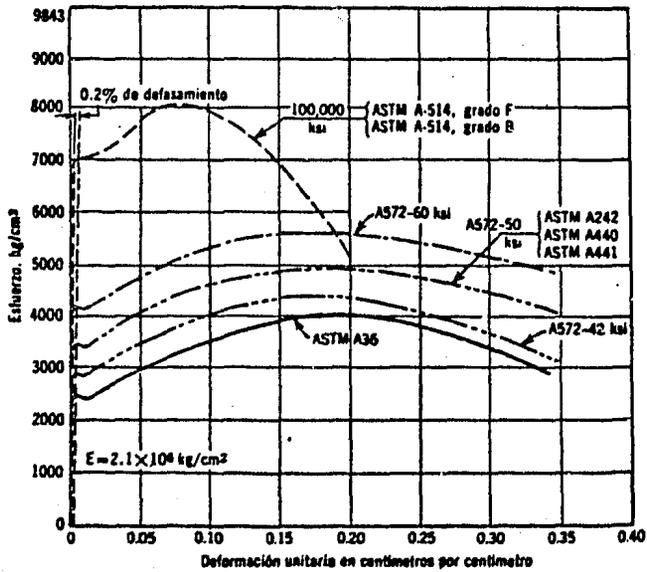
FIGURA 4-1



Curva esfuerzo-deformación para los valores mínimos especificados del

A36.

FIGURA 4-2



Curvas esfuerzo-deformación para valores mínimos especificados.

FIGURA 4-3

### Efectos de la temperatura en las propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los aceros a altas temperaturas se han investigado, principalmente tomando como base un servicio continuo a temperaturas altas, tal como el que experimentan los equipos de procesos químicos y las turbinas, por lo tanto, hay disponible una gran cantidad de información para este tipo de aplicaciones de los aceros. Se han llevado a cabo también investigaciones sobre las propiedades mecánicas de los aceros estructurales sometidos a exposiciones rápidas a temperaturas elevadas y se están haciendo investigaciones para determinar el comportamiento de los aceros de alta resistencia bajo condiciones de temperaturas elevadas de corta duración.

El módulo de elasticidad del acero estructural disminuye conforme aumenta la temperatura, hasta una temperatura de  $485^{\circ}\text{C}$ , dicha reducción es aproximadamente lineal e igual a  $45,700 \text{ kg/cm}^2$  por cada  $40^{\circ}\text{C}$ , mientras que arriba de los  $485^{\circ}\text{C}$  disminuye en una relación mucho mayor.

La relación de Poisson del acero se mantiene esencialmente constante para temperaturas hasta de  $600^{\circ}\text{C}$ .

Aunque el flujo plástico (un cambio de dimensión bajo carga constante) del acero a temperaturas normales es generalmente despreciable, a temperaturas elevadas y bajo cargas sostenidas las deformaciones por fluencia plástica son ya significativas y no pueden seguirse ignorando.

Es un hecho reconocido que la información sobre las propiedades del acero sometido a temperaturas elevadas de corta duración no pueden aplicarse directamente para determinar la clasificación de resistencia al fuego de un conjunto formado por columnas, vigas y traveses.

El comportamiento de los miembros de un edificio bajo condiciones de exposición al fuego se valúa usualmente sobre la base de su comportamiento especificadas en las Normas ASTM E-119.

#### Aceros Estructurales.

Con objeto de comprender las variaciones en las propiedades mecánicas de los diversos aceros estructurales disponibles en la actualidad, se les puede agrupar por tipos y resistencias, para facilitar su estudio. Estos grupos son:

- aceros estructurales al carbono.
- aceros de alta resistencia y bajo aleación.
- aceros al carbono tratados y templados.
- aceros de aleación para construcción.

Aceros estructurales al carbono. Estos aceros dependen de la cantidad de carbono usado para desarrollar su resistencia, a través de un rango amplio de espesores. El primer tipo de esta categoría, el A7, fue por muchos años el principal acero empleado para la construcción de puentes y edificios, aunque se desarrolló principalmente para usarse en construcciones remachadas y atornilladas, también se usó en edificios soldados en los que las cargas podían considerarse estáticas o no dinámicas. Los diseñadores de puentes prefirieron un acero más estrictamente controlado en cuan

to al contenido de carbono, y la industria metalúrgica desarrolló un tipo de acero, designado A 373, con características mejoradas de soldabilidad.

En 1960 la industria del acero anunció un acero al carbono-mejorado, el ASTM A36, con un punto de fluencia más elevado y un contenido de carbono adecuado para propósitos de soldadura. Desde el advenimiento de este tipo de acero, los A7 y A373 fueron anulados por la ASTM y, por lo tanto, ya no se especifican en el diseño de estructuras.

Aceros de Alta resistencia y baja aleación. Este grupo de aceros incluye varios niveles de resistencia y también aceros cuyas composiciones químicas se varían para adaptarse a los diferentes requisitos de construcción. La resistencia deseada se obtiene por medio de elementos de aleación.

Así, según el caso, puede existir una necesidad específica de un acero para construcción remachada, atornillada o para construcción soldada, o para mayor resistencia a la corrosión y que tenga, al mismo tiempo, características de soldabilidad adecuadas.

El punto de fluencia de estos aceros varía de acuerdo con los diferentes espesores del material.

De los tipos ASTM, se recomienda el A440 como acero económico para construcción remachada y atornillada. El A441 se recomienda para construcción soldada y el tipo A242 se considera generalmente como un acero cuya resistencia a la corrosión, bajo condi--

ciones atmosféricas, es igual o mayor del doble que la del acero estructural al carbono.

Aceros al carbono tratados y templados. Se ha introducido un nuevo tipo de acero estructural, desarrollado para cubrir los requisitos de resistencia comprendidos entre los 3515 y los 7030 Kg/cm<sup>2</sup>. Algunos de estos aceros son propiedad de empresas fundidoras y a la fecha no se les ha asignado una clasificación en la ASTM. Se pueden obtener de condición normalizada o templados y tratados, y su resistencia depende de la cantidad de carbono, a través de un proceso de templado y tratamiento térmico. Su resistencia mínima de fluencia, medida por efecto de su alargamiento bajo carga, es de 5625 Kg/cm<sup>2</sup> y su resistencia mínima a tensión es de 7030 Kg/cm<sup>2</sup>, para placas con espesores hasta de 3/4 de pulgada, inclusive.

Aceros de aleación tratados y templados. Estos aceros requieren, además del carbono, de varios elementos de aleación y de tratamiento térmicos para obtener sus elevadas resistencias de fluencia y de tensión. De manera similar a los aceros de alta resistencia y baja aleación, estos aceros tienen diferentes niveles de resistencia para diferentes espesores.

Los aceros de aleación templados y tratados son soldables y tienen una resistencia a la corrosión atmosférica equivalente al doble de la del acero estructural al carbono, también se usan, con ligeras modificaciones en su composición química, en condiciones que requieran resistencia a la abrasión por impacto. Pue

den conseguirse en placas, perfiles laminados y barras, y el ingeniero debe averiguar en cuales de estas formas planea usarlo - en sus diseños y determinar la disponibilidad de cada una de ellas en los niveles de resistencia que requiere.

Otros tipos de aceros. Existen literalmente miles de aceros diferentes que se producen todos los días para servir a las muchas y variadas necesidades especiales de las industrias de manufactura y de construcción, muchos de estos aceros no son adecuados para propósitos de construcción, ya sea por el alto costo - del material y de la fabricación, porque no tienen la suficiente ductilidad o porque carecen de tenacidad adecuada. Se han desarrollado algunos aceros para aplicaciones específicas, tales como el HY-80 para cascos de submarinos, proyectiles y equipo espacial, o aplicaciones en ferrocarriles, etc.

Aceros de calibre delgado. La adopción de las especificaciones AISI para el Diseño de Miembros Estructurales de Lámina - Delgada Formados en Frío, introdujo otro grupo de aceros en el diseño de estructuras. Estos aceros se presentan en láminas y - tiras de calidad estructural y son definidos, en general, por - las especificaciones estándar de la ASTM.

Los aceros específicos son: Láminas de Acero al carbono de - calidad estructural laminadas en plano, ASTM A245, tiras de Acero al carbono de calidad Estructural laminadas en caliente, ASTM A303, láminas y tiras de Acero de Alta Resistencia y Baja Alea- - ción laminadas en frío, ASTM A374, láminas y tiras de Acero de -

Alta resistencia y Baja Aleación laminadas en caliente, ASTM A375, y láminas de Acero de Calidad Estructural recubiertas de Zinc - - (Galvanizadas), en Rollos y de Longitudes Recortadas, ASTM A446.

Estos aceros de calibre delgado tienen puntos de fluencia mínimos que varían de 1,760 a 3,515 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Alambres y Cables.** Los alambres y cables están siendo usados para aplicaciones estructurales en edificios, como soportes de pisos y techos suspendidos. Los cables se definen como miembros - - flexibles a tensión, consistentes de uno o más grupo de alambres, torones o cuerdas. Un torón es un arreglo de alambres colocados helicoidalmente alrededor de un alambre central para obtener una sección simétrica, y un cable es un conjunto de torones colocados también helicoidalmente alrededor de un núcleo formado, a su vez, ya sea por un torón, por otro cable de alambres, o por un cable - de fibras. Los cables de alambres con núcleo de fibra se emplean casi totalmente para propósitos de izaje, los torones y cables - - con núcleos de torones o núcleos independientes de cable de alambres son los que se usan para aplicaciones estructurales.

Un alambre se define como una extensión simple y continua de metal, obtenida por estirado en frío a partir de varillas de acero de alto contenido de carbono laminadas en caliente y cuya composición química es estrictamente controlada. Aunque pueden usar se varios tipos de acero, el más común para aplicaciones estructu- - rales es el alambre galvanizado para puentes, el cual también se- usa para hacer torones y cables para puentes.

### **Materiales fundidos.**

Existen ocasiones en que hay que diseñar accesorios o estructuras especiales, como bases o soportes de maquinaria, y partes - que no pueden hacerse por otros métodos, por lo que resulta necesario proyectarlas como piezas fundidas. Existen para este propósito dos tipos de acero:

- a) Fundiciones de Acero al Carbono de Resistencia Baja y Mediana para Aplicaciones Generales, ASTM A27, Grado 65 - 35.
- b) Fundiciones de Acero de Alta Resistencia para Propósitos Estructurales, ASTM A148 Grado 80 - 50.

### **Piezas Forjadas.**

Existen algunos componentes estructurales, tales como dispositivos de expansión para pisos de puentes, asientos y mecedoras para vigas y traveses de puentes, y otras piezas compactas fuertemente cargadas, que pueden hacerse por medio de un proceso de forjado. La elección del tipo de forja depende del esfuerzo de diseño y del servicio impuesto.

### **Aceros para remaches.**

Existen tres especificaciones ASTM que cubren los aceros para remaches: Aceros Estructurales para Remaches A141, Acero Estructural de Alta Resistencia para Remaches A195 y Acero Estructural de Aleación de Alta Resistencia para Remaches A502.

### Aceros para Tornillos.

Existen cuatro tipos de aceros para tornillos que se usan con propósitos estructurales, designados por la ASTM como: tornillos de Acero de Alta Resistencia para Juntas Estructurales A325; tornillos y vástagos con tuercas adecuadas de Acero de Aleación templado y tratado A354 Grado BC. Especificación para sujetadores de Acero al Bajo Carbono, Roscados Interna y Externamente, A307 y tornillos de acero de Aleación templado y tratado para Juntas Estructurales de Acero, A490.

Las propiedades de resistencia de estos aceros son iguales o mayores que las del tipo de acero estructural para el cual se recomiendan.

### Fractura frágil y fatiga.

En el diseño de puentes y edificios, el término "falla" se interpreta como la presencia de "deformaciones y deflexiones excesivas"; la falla total, o colapso general, debe cuidarse siempre. También es deseable que las estructuras de los edificios tengan siempre la suficiente reserva de resistencia para que los ocupantes puedan evacuarlos con seguridad en casos de emergencia. Cuando se trata de puentes, y las deformaciones excesivas se hacen visibles, son un aviso para cerrarlos al tránsito.

Por tanto, los puentes, edificios, barcos y otras estructuras utilizadas por la gente son diseñados para lo que pudiera definir-

se como falla dúctil o plástica, ya que los tipos de falla repentinas o abruptas son totalmente indeseables. Sin embargo, bajo ciertas circunstancias llega a presentarse este tipo de falla repentinas, las que han sido atribuidas, ya sea a fractura frágil o a fatiga.

El comportamiento frágil y las fracturas de tipo quebradizo--son originados por altos esfuerzos de tensión, elevados porcentajes de carbono, aplicación rápida de las cargas y presencia de muescas. Una falla quebradiza tiene una apariencia cristalina por el hecho de que cada cristal tiende a fracturarse en un solo plano. En cambio, una fractura por cortante tiene una apariencia fibrosa en virtud del deslizamiento de cada una de las superficies fracturadas --sobre la obra.

Se le designa con el nombre de "fatiga" al fenómeno consistente en la falla o ruptura del metal bajo un esfuerzo considerablemente menor que su resistencia a la tensión o a la fluencia, cuando está sujeto a cargas cíclicas o repetidas.

Conexiones.

Tipos de sujetadores.

Remaches. Se llama remache a una pieza de sección transversal circular de acero dúctil forjado en el sitio para unir entre sí varias piezas de acero. El remache se fabrica con una cabeza especial, que se denomina cabeza manufacturada, y se instala mediante una pistola remachadora la cual forma otra cabeza, durante la--

instalación. El proceso completo se le da el nombre de remachado. El remachado es esencialmente un proceso de forja, que se ha desarrollado partiendo de un proceso de martillado a mano hasta llegar al método actual de colocación a máquina.

Los remaches se describen según la manera y el lugar donde se colocan. Por ejemplo, la mayoría de los remaches que se usan en trabajos de acéró estructural se colocan en caliente, ya sea en el taller o en el campo, por lo que se conocen como remaches de campo o de taller colocados en caliente.

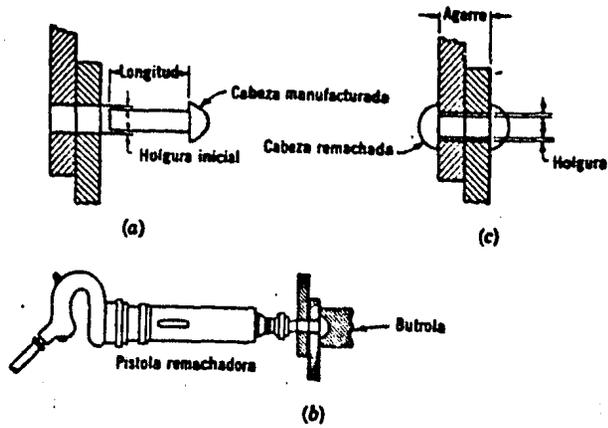
Los remaches se calientan mediante un horno o fragua de carbón o de gas, o bien con un calentador eléctrico, ya calientes se insertan en los agujeros punzonados o barrenados de las piezas de acero que se van a conectar, y la pistola remachadora forma la cabeza mientras se ejerce presión en el lado opuesto para mantener el remache en su sitio. Como el remache caliente está en el estado plástico, cuando se coloca usualmente se expande bajo la presión del martillo y llena totalmente el agujero; después, al enfriarse, tiende a encogerse, tanto longitudinal como diametralmente. La tendencia del remache a encogerse en longitud es cortada en gran parte por las placas, de esta manera se produce tensión en el vástago del remache y compresión entre las placas. Esta acción de compresión se denomina "acción de apriete" y origina una resistencia por fricción contra el deslizamiento de las placas. La disminución en el diámetro del remache se debe en parte al encogimiento a medida que se enfría y en parte al efecto de Poisson del material en tensión longitudinal. De este modo, los remaches hincados en caliente pueden quedar de un tamaño menor que el del-

agujero, aunque en muchos casos el encogimiento es imperceptible

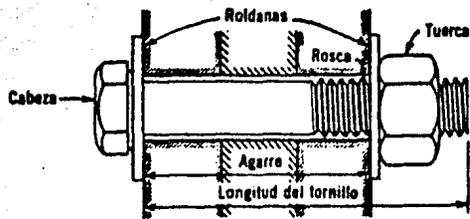
Los remaches colocados en frío se instalan a temperatura ambiente y requieren de grandes presiones para formar la cabeza y completar el proceso. El proceso de hincado en frío puede aplicarse de manera más conveniente a remaches de tamaños pequeños, entre 1/2 y 7/8 de pulgada de diámetro. Aunque el hincado en frío aumenta la resistencia del remache y elimina la necesidad de calentado, el proceso se ve limitado por el equipo necesario y la inconveniencia de usarlo en el campo.

**Tornillos.** Un tornillo, es un pasador de metal con una cabeza formada en un extremo y el vástago roscado en el otro, para recibir una tuerca. Los tornillos se usan para unir entre sí piezas de metal, insertándolos a través de agujeros hechos en dichas piezas y apretando la tuerca en el extremo roscado. Los tornillos estructurales pueden clasificarse de acuerdo con las siguientes características: tipo de vástago -sin acabar o maquinado, material y resistencia- acero estructural ordinario o de alta resistencia, forma de la cabeza y de la tuerca -cuadrada o hexagonal, normal o pesada, paso y tipo de la rosca- estándar, gruesa o fina.

Bajo la cabeza del tornillo y bajo la tuerca se usan comúnmente rondanas de acero. Con el objeto de distribuir la presión de apriete en el miembro atornillado y para evitar que la parte roscada del tornillo se apoye directamente sobre las piezas conectadas.



Pasos esenciales en el remachado.



Conjunto de un tornillo.

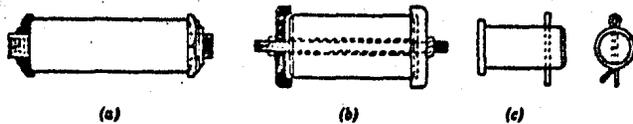


Fig. 5-4 Tipos de pasadores; (a) con tuercas remetidas, (b) con tapas y perno, y (c) con chaveta.

**Pasadores.** Algunas veces se usa un solo pasador cilíndrico de acero para conectar miembros que deben tener una rotación relativa entre uno y otro. Se supone que el pasador gira libremente en la conexión, por tanto, no es deseable la acción de apriete debida a la tensión inicial. Como se emplea un solo pasador en una conexión que de otro modo requería varios tornillos o remaches, su tamaño es generalmente mayor que el de los tornillos o remaches mencionados.

Los pasadores para propósitos estructurales se hacen de acero estructural al carbono, forjado y maquinado a dimensiones exactas.

El tipo más común de pasador tiene extremos roscados y dos tuercas remetidas, atornilladas en los extremos para mantenerlo en su sitio. Para pasadores mayores de 10 pulgadas de diámetro, es preferible usar un perno largo que pase a través de él y de unas tapas remetidas, fijándolos de esta manera entre sí. Esto elimina el uso de grandes tuercas de cierre. Para pasadores más pequeños, que llevan cargas ligeras, puede forjarse una cabeza en un extremo e insertarse una chaveta en el otro, o bien pueden usarse dos chavetas, una en cada extremo.

**Conexiones soldadas.** La soldadura es el proceso de conectar piezas de metal entre sí por medio de la aplicación de calor, ya sea con o sin presión. Esta definición se aplica a una gran variedad de procesos, que varían desde las soldaduras simples por

calentamiento y fusión de metales blandos, hasta las soldaduras bajo el agua.

El tipo de soldadura más común en trabajos de acero estructural es la soldadura por fusión que es un método para conectar piezas por medio de metal fundido. Se sujeta un alambre o varilla especial a un calor intenso en su extremo, el cual se funde y deposita el metal fundido en el punto donde se desea efectuar la conexión. El metal base también se funde localmente y se une con el metal depositado formando una conexión soldada.

En trabajos de acero estructural se usa casi exclusivamente la soldadura de arco metálico. Para estructuras especiales, tales como estructuras a base de lámina de acero, puede usarse la soldadura de resistencia, la de gas y la soldadura por calentamiento y fusión de metales blandos, pueden usarse para partes especiales y para accesorios que requieran soldaduras pequeñas.

#### Proceso de soldadura

##### Soldadura a presión:

Soldadura de forja

Soldadura Thermit a presión

Soldadura de resistencia (corriente alterna)

Soldadura de resistencia (corriente continua) - soldaduras de costura y de punto.

## Soldadura de fusión (sin presión)

Soldadura de arco metálico (corriente alterna y continua)

-con protección, sin protección, sumergida, manual y -  
automática.

Soldadura de arco de carbono -con y sin protección.

Soldadura de arco en gas inerte.

Soldadura de arco en hidrógeno atómico.

Soldadura de gas (aire u oxiacetileno).

Soldadura Thermit.

## Soldadura por calentamiento y fusión de metales blandos.

De fusión eléctrica.

De fusión al horno.

De fusión con gas.

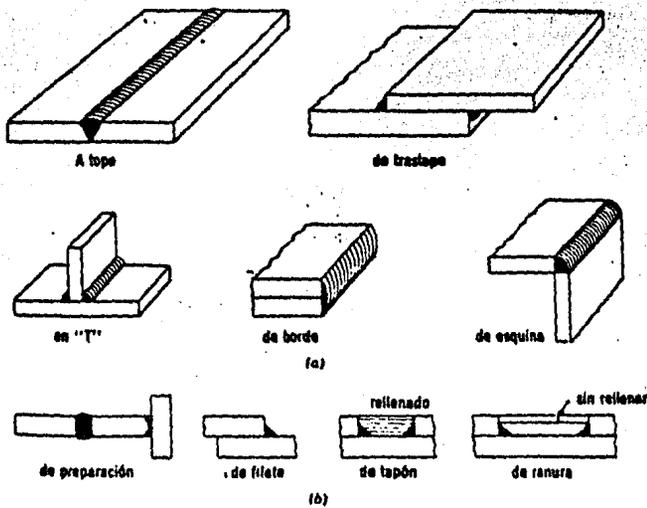
Por inmersión.

## Tipos de Conexiones Soldadas.

Existen cinco tipos básicos de juntas soldadas: a tope, de -  
traslape, en "T", de borde y de esquina, así como cuatro tipos básic  
cos de soldaduras: de preparación, de filete, de tapón y de ranura,  
como se muestra en la figura 4.4.

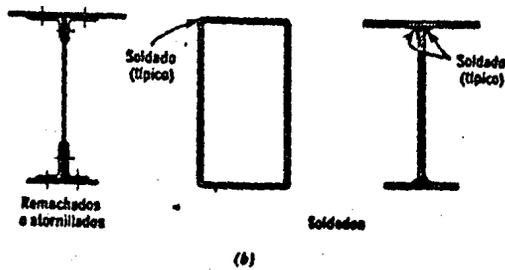
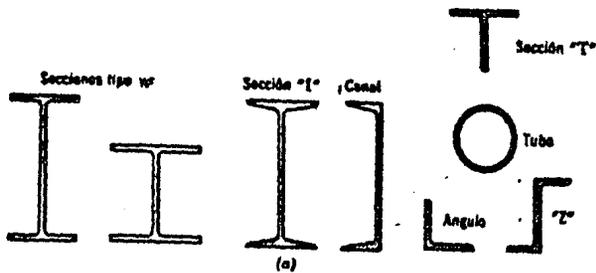
## Miembros Estructurales y Conexiones.

Una estructura reticular convencional está compuesta de miem-  
bros unidos entre sí por medio de conexiones. Un miembro puede -



Conexiones soldadas: (a) tipos de juntas, (b) tipos de soldaduras.

FIGURA 4-4



Secciones típicas de acero: (a) perfiles laminados y (b) miembros armados.

FIGURA 4-5

ser un perfil laminado estándar o bien estar formado por varios perfiles unidos por soldadura, remaches o tornillos. figura 4.5.

Los miembros pueden transmitir cuatro tipos fundamentales de cargas y se les clasifica de acuerdo con ellos, figura 4.6.

- a) Tensores, los cuales transmiten cargas de tensión.
- b) Columnas, que transmiten cargas de compresión.
- c) Trabes o vigas, que transmiten cargas transversales.
- d) Ejes o flechas, que transmiten cargas de torsión.

En la práctica es raro que un miembro transmita cargas de un solo tipo, aun en el caso de un miembro horizontal o diagonal sometido a tensión y conectado por medio de pasadores, éste se ve sujeto a una pequeña flexión, debido a su propio peso. Por consiguiente, la mayoría de los miembros transmiten una combinación de flexión, torsión y tensión o compresión axial.

Precuentemente, cuando los miembros están sometidos a la acción de cargas combinadas, una de ellas es más importante y gobierna el diseño, por tanto, los elementos estructurales pueden dosificarse y estudiarse, de acuerdo con sus cargas predominantes.

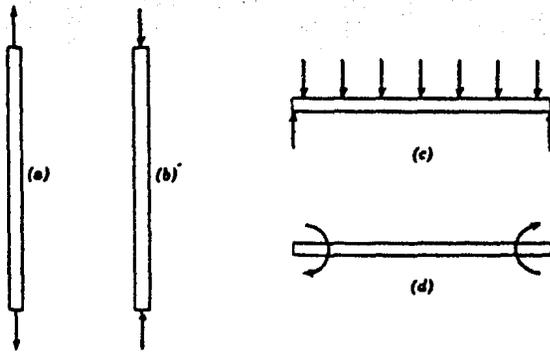
La construcción de estructuras de acero implica la intervención de propietarios, diseñadores, fabricantes y constructores. En primer término, diseñadores y propietarios deben llegar a un acuerdo en cuanto a los requisitos generales del proyecto, basados en ellos, los diseñadores preparan planos y espe

cificaciones que describen el proyecto en detalle. Estos planos y especificaciones sirven a fabricantes y constructores para -- construir la estructura, en este proceso, las especificaciones -- juegan un papel importante ya que definen normas de calidad aceptables para los materiales y la mano de obra, tanto en fabrica-- ción como en montaje.

#### Fabricación.

Los conceptos a considerar en la fabricación son los siguientes:

- a) Exactitud y tolerancias en las dimensiones de las piezas. Si éstas son excesivamente rigurosas, el costo aumentará necesariamente.
- b) Rigidez de miembros grandes. Debido al gran tamaño de -- los miembros, no es posible conservarlos exactamente rec-- tos, las desviaciones con respecto a su forma teórica -- pueden conservarse dentro de ciertos límites que no a-- fectarán su utilidad estructural.
- c) Métodos para el enderezado del material y de los miembros fabricados. El método común es usar una prensa que tra-- baje a temperatura ambiente, lo cual se define como "en-- derezado en frío", la aplicación de calor en un área redu-- cida de la pieza, por medio de un soplete de oxígeno, es un método menos usado. Ambos métodos originan esfuerzos residuales en el miembro enderezado.



Tipos de miembros: (a) tirante, (b) columna, (c) viga, (d) eje de torsión.

FIGURA 4-6.

## Montaje.

La etapa siguiente a la fabricación es el transporte de las partes estructurales y ensambles al lugar de la obra, por medio de camiones, góndolas de ferrocarril o barcazas. Al llegar son descargadas y almacenadas, o bien colocadas directamente en su posición definitiva, por medio de gatos, malacates o rodillos, ajustándolos a sus soportes o a las partes adyacentes de la estructura, por último se fijan permanentemente en su lugar.

Las consideraciones más importantes al llevar a cabo estas operaciones es la seguridad de los trabajadores y de los materiales, así como la economía y la rapidez de montaje.

Los métodos usados en el montaje de estructuras de acero varían según el tipo y tamaño de la estructura, las condiciones del lugar, disponibilidad de equipo y la preferencia del montador.

Montaje de edificios de varios pisos. Generalmente estos edificios se montan en tramos de 2 pisos cada uno. Después de terminada la cimentación se levantan las columnas, se colocan sobre las placas de base y se atornillan en su lugar, es costumbre contraventear lateralmente las columnas durante el montaje hasta que se completa la estructura. Una vez instaladas las columnas se izan las vigas y traveses para ajustarlas a éstas y se atornillan provisionalmente. Tan pronto como se colocan en su lugar -

las traveses de toda una planta, se plomean las columnas, se nivelan las traveses, y se conectan permanentemente las partes entre sí por medio de remaches, tornillos o soldadura según sea el caso,- Cuando se completa un tramo se comienza el siguiente, repitiendo la secuencia del primero. Los edificios de 30 a 60 m de altura se pueden montar usando gruas montadas sobre camión, pero para edificios de mayor altura se necesitan plumas o gruas especiales, las cuales son izadas al nivel superior de cada marco terminado a medida que progresa la construcción del edificio.

Montaje de edificios industriales. Los edificios industriales de uno o dos pisos se montan generalmente con gruas. Se ensambla y conecta cada nave según se va moviendo la grua a lo largo del edificio.

Montaje de puentes de armadura. Un procedimiento común para el montaje de este tipo de puentes es ensamblar la armadura en el lugar, usando una obra falsa por debajo de ella y erigiéndola miembro por miembro. Se colocan primero las cuerdas inferiores a las que se fija a continuación el sistema de piso, y se continúa después con los miembros del alma, cuerda superior y contra venteo. A veces resulta más económico el uso de una armadura auxiliar ligera que puede colocarse en posición en cada uno de los claros mediante barcazas en vez de construir obras falsas para todos ellos. Otra alternativa es ensamblar cada claro de armadura en tierra y llevarlo en barcazas a su posición final para montarla.

Montaje en voladizo para puentes. Para claros largos de puentes en arco o con voladizos a menudo resulta económico montarlo en voladizo, partiendo de las orillas o de las rampas de acercamiento. Se construye el puente desde los soportes hacia afuera, miembro por miembro. La omisión de la obra falsa sobre desfiladeros profundos o corrientes de agua produce grandes ahorros, aunque a veces se tenga que reforzar los miembros del puente para soportar los esfuerzos de montaje.

#### Protección Contra el Fuego.

Las estructuras metálicas de los edificios deben protegerse contra los riesgos de incendios, aunque usualmente se clasifican como incombustibles y proporcionan una seguridad razonable en ciertos tipos de edificios.

Los objetivos de esta protección contra el fuego son: permitir la evacuación rápida y segura de los ocupantes durante el incendio, contribuir a la seguridad de los bomberos que lo combaten y a la de las propiedades adyacentes, evitar la propagación del fuego, y reducir al mínimo las pérdidas económicas de las propiedades afectadas por éste.

La resistencia del acero al fuego puede aumentarse mediante la aplicación de revestimientos protectores como concreto, yeso, vermiculita, roceaduras de asbesto y pinturas especiales.

Las especificaciones establecen el número de horas de protec-

ción al fuego (clasificación al fuego) que se requieren para las diferentes partes de la estructura, tales como pisos, trabes, vigas, columnas, divisiones, etc.

#### Protección contra la Corrosión.

Los factores más importantes para determinar la resistencia a la corrosión incluyen el ambiente físico y químico en que se encuentra el material, la composición de dicho material, y la defensa o protección que tiene contra el contacto con los elementos dañinos del medio ambiente.

Aunque un espesor mayor puede aumentar en cierto grado la durabilidad de una estructura de acero en presencia de la corrosión, los únicos medios efectivos de evitarla son el uso de elementos de aleación tales como: cromo o cobre y/o pintura de plomo, romato o aluminio, o bien el uso de revestimientos especiales tales como Cinc o asfalto.

Cuando los miembros de acero no estén expuestos a los efectos alternados de humedecimiento y secado y a cambios extremos de temperatura, una capa delgada de pintura aplicada adecuadamente es suficiente para asegurar una durabilidad excelente.

## V.- ESTRUCTURAS DE MADERA.

Consideraciones generales sobre la madera como material de construcción.

La madera fue el primer material de que dispuso el hombre con resistencias comparables a la tensión y a la compresión.

Son muchas las características de la madera que la hacen atractiva como material de construcción. Es relativamente fácil de trabajar con herramientas sencillas, y esto permite una gran diversidad de secciones y formas. Su variada textura natural tiene cualidades decorativas muy apreciadas. Puede ser pintada fácilmente. Su durabilidad en condiciones adecuadas, es considerable, aunque no tan notable como la de los materiales pétreos.

Como desventajas pueden mencionarse las siguientes. Aunque en su estado natural la madera se presenta en formas prismáticas rectas, que se prestan a la fácil elaboración de elementos estructurales como vigas y columnas, sus escuadrías y longitudes son limitadas.

En ciertos ambientes su durabilidad deja que desear. Es susceptible a los ataques de algunos hongos e insectos. Sufre cambios volumétricos con las variaciones de humedad. Sus propiedades resistentes son muy variables. Su resistencia a los incendios es inferior a la del concreto aunque comparable a la del acero, sino superior. Su deformabilidad es mayor que la de otros materiales. Las cargas de larga duración producen deformaciones

permanentes.

### Composición, desarrollo y estructura de la madera.

Un árbol está integrado por raíz, tronco, ramas y hojas. - La madera, como se denomina al material orgánico de que esencialmente están formados los árboles, está constituida por un conjunto de células huecas de forma tubular, comúnmente llamadas "fibras".

Las células en su mayoría, están orientadas en dirección paralela al árbol. Además de las células radiales por la forma en que están orientadas. Así, en forma esquemática puede uno imaginarse la madera como un haz de células tubulares, orientadas en dirección paralela al eje del árbol, con otros haces radiales de tubos más pequeños, orientados en dirección perpendicular al haz longitudinal.

Desde el punto de vista de su composición química, la madera está constituida principalmente por carbono (50 por ciento), hidrógeno (6 por ciento), y oxígeno (43 por ciento). Los porcentajes dados son valores promedio. Estos elementos forman dos compuestos básicos: la celulosa, en una proporción de 50 a 60 por ciento, y la lignina, en una proporción de 20 a 35 por ciento. Además existen otros carbohidratos y algunas sustancias minerales.

La celulosa, que tiene una estructura cristalina, forma el esqueleto de las paredes de las fibras de la madera. Los cristales de celulosa están ligados entre sí por la lignina, sustan-

cia amorfa de composición muy compleja a base de combinaciones de carbohidratos, que rigidizan la estructura interna de las — fibras y actúa como cementante uniéndolas entre sí.

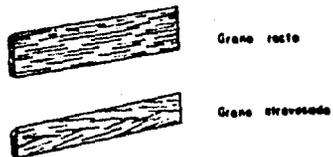
Parte de las células que van formando el tronco de un árbol permanecen activas durante cierto tiempo, participando en el proceso vital. Estas células vivas se encuentran en la región del tronco denominada albura. A medida que el árbol va creciendo las células de la parte interior de la albura se van volviendo inactivas y se convierten en duramen o madera de corazón, cuya función es exclusivamente la de proporcionar soporte estructural al árbol. Desde el punto de vista de resistencia, la albura y el duramen son parecidos. Sin embargo la madera del duramen es más duradera que la de la albura porque es menos susceptible a los agentes que provocan la putrefacción.

En la literatura sobre madera se encuentra con frecuencia la expresión grano de la madera, se usa con acepciones diversas. Así, por ejemplo, se habla de madera de grano fino o cerrado, o de grano grueso, según la separación de los anillos de crecimiento. También se utiliza para describir la orientación de las fibras respecto a los lados de una pieza, distinguiéndose entre — madera de grano recto o de grano atravesado. figura 5.1

Propiedades mecánicas.

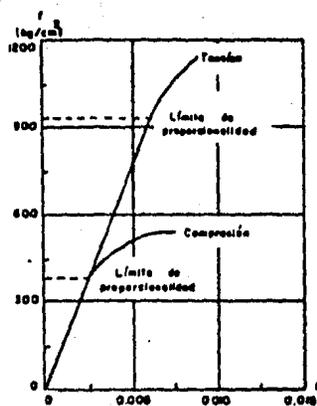
Consideraciones generales.

La estructura peculiar de la madera, descrita en la sección



Grano de la madera

FIGURA 5-1



Curvas típicas esfuerzo-deformación en tensión compresión paralela o las fibras obtenidas de ensayos de probetas pequeñas "limpias"

FIGURA 5-2

anterior, explica su naturaleza heterogénea y anisótropa. En efecto, sus características físicas varían de un punto a otro y sus características resistentes varían según la dirección considerada. La madera puede idealizarse como un material ortotrópico en el que se distinguen tres direcciones mecánicas o estructurales, perpendiculares entre sí, que coinciden con las direcciones longitudinal, radial y tangencial del árbol. Por lo tanto, con rigor sería necesario considerar tres juegos de propiedades mecánicas, una por cada eje. Sin embargo, las propiedades en los sentidos tangencial y radial no difieren significativamente de manera que para los efectos prácticos del diseño de estructuras de madera basta distinguir entre propiedades paralelas al grana o la fibra y propiedades perpendiculares al grano.

Las relaciones esfuerzo-deformación de la madera son muy variables según la especie, la forma en que se hace el ensayo, el tipo de acción a que está sujeta, las características de crecimiento y otros factores. En general, cualquiera que sea el tipo de esfuerzo, la forma de las gráficas esfuerzo-deformación son semejantes a la que se muestra cualitativamente en la figura 5.2. La primera parte de la gráfica es prácticamente recta de manera que puede suponerse proporcionalidad directa entre esfuerzos y deformaciones, como en un material elástico ideal. A partir del límite de proporcionalidad, que suele corresponder a un esfuerzo relativamente alto, las relaciones esfuerzo-deformación dejan de ser lineales.

Factores que influyen en el comportamiento mecánico de la madera.

La resistencia y el comportamiento de la madera bajo diver

Las acciones mecánicas es muy variable. A continuación se analizan los principales factores que afectan las propiedades resistentes de la madera.

**Densidad.**- Uno de los factores que más influyen en la resistencia de la madera es su densidad o peso volumétrico. Por ello a veces se toma la densidad como un índice confiable de la resistencia.

**Contenido de humedad.**- El contenido de humedad se define como el peso del agua expresado como un porcentaje del peso de la madera seca en horno. En el árbol vivo puede llegar a ser del orden de 200 % .

La condición en que toda el agua libre ha sido eliminada - mientras que las paredes de las células aun están saturadas se llama punto de saturación de las fibras. El contenido de humedad correspondiente a esta condición varía entre 25% y 30%. Para contenidos de humedad superiores al del punto de saturación, la resistencia permanece constante. Sin embargo cuando por medio del secado se reduce el contenido de humedad a un nivel inferior al correspondiente al punto de saturación de las fibras la mayoría de las propiedades resistentes de la madera mejoran. Esto se debe principalmente a dos causas:

- 1) El fortalecimiento de la estructura.
- 2) El incremento en la cantidad de materia por unidad de volumen debido a la contracción originada por el secado.

Para efectos de elección de esfuerzos permisibles suele dis

tinguirse entre madera "seca" y madera "húmeda".

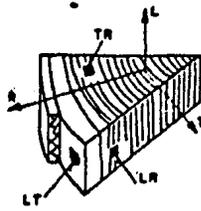
**Inclinación del grano.**- La resistencia disminuye cuanto mayor es la inclinación del grano con respecto a la dirección longitudinal de la pieza.

**Nudos.**- Los nudos tienen su origen en la formación de las ramas en el tronco del árbol vivo. Disminuyen la resistencia - porque producen discontinuidades en unas fibras y alteran la -- orientación de otras.

**Rajaduras.**- Son separaciones longitudinales entre las fi - bras. Pueden ser de diversos tipos. Las más importantes son las rajaduras anulares que siguen la curvatura de los anillos de -- crecimiento y se originan en el árbol vivo, y las rajaduras ra - diales, perpendiculares a los anillos de crecimiento, que son - producidas por defectos de secado consistentes en una elimina - ción demasiado rápida de la humedad. Las rajaduras afectan de - manera particular la resistencia a esfuerzos rasantes. Son espe - cialmente perjudiciales cuando se presentan en la zona de es -- fuerzos cortantes máximos de vigas y en los detalles de cone -- xión de los extremos de elementos sujetos a tensión.

**Temperatura.**- La resistencia de la madera disminuye en forma aproximadamente lineal al aumentar la temperatura. No es re - comendable que la madera se encuentre en condiciones de servicio a temperaturas superiores a unos 50 C puesto que estas tempera - turas pueden ocasionar daños permanentes.

**Duración de la carga.**- La resistencia de la madera disminu



Eje longitudinal (L). Paralelo al eje del árbol.  
 Eje tangencial (T). Perpendicular al eje longitudinal y tangencial a las anillas de crecimiento.  
 Eje radial (R). Perpendicular a los ejes longitudinal y tangencial

Principales direcciones mecánicas de la madera



Rejadera radial



Rejadera anular

Rejaderas de madera



Discontinuidades y alteraciones en la orientación de las fibras producidas por un nudo.

ye considerablemente con la duración de la carga. Cuanto mayor es la duración de la aplicación de una carga, menor será el valor que debe alcanzar la carga para producir la falla. Bajo carga sostenida la deformación de la madera sigue aumentando durante cierto tiempo hasta que se estabiliza o se rompe la pieza.

#### Maderas Mexicanas.

Las maderas mexicanas son de una gran variedad. Pueden dividirse en tres grandes grupos:

- 1) Las coníferas.- como el oyamel y el pino, que son las más comunmente usadas en obras civiles, como especialmente para obras falsas y cimbras.
- 2) Las maderas de árboles de hoja caduca.- como la encina y el roble, más pesadas que resistentes que la mayoría de las coníferas y,
- 3) Especies tropicales.- De gran resistencia y dureza, muy apreciadas para ebanistería y acabados aparentes.

Las escuadrias más comunes son las siguientes:

#### Sección

Vigas 4" x 8" , 3" x 6"

Tablones más de 2" de espesor

Tabla o duela menos de 2" de espesor

Polines 4" x 4"

En algunas obras civiles, como en las estructuras para puentes provisionales o para muelles marítimos se utilizan escuadrias mayores que las dadas anteriormente. En ocasiones, sobre todo pa

re elementos verticales, los troncos se emplean en su forma natural, sin aserrar.

Las longitudes usuales varían según la escuadría. Los polines, por ejemplo, suelen tener de tres a cinco metros, mientras que las vigas pueden tener longitudes mayores.

Usos estructurales de la madera.

Armaduras.

La figura 5.3 muestra los tipos de armaduras de mayor empleo en la construcción.

Por lo general se construye totalmente de madera con la excepción del metal usado en los pernos y llaves que forman las uniones y empalmes.

Las cuerdas superior e inferior y los miembros diagonales en tensión se componen, por lo general, de dos o más miembros debidamente espaciados, mientras que los montantes, en compresión, son de una sola pieza maciza.

Tableros y puentes de madera.

Los puentes de madera pueden dividirse en dos clases generales, a saber.

Puentes sobre caballetes o puentes de armaduras. Un puente sobre caballetes generalmente consiste de varios caballetes, y en su forma más simple se forma por pilotes que a la vez sirven de cimiento y columna. Sin embargo, en muchos puentes de caballete se colocan primero los pilotes y se rematan con una cabeza de concreto a nivel del suelo, sobre esta cimentación de pilotes

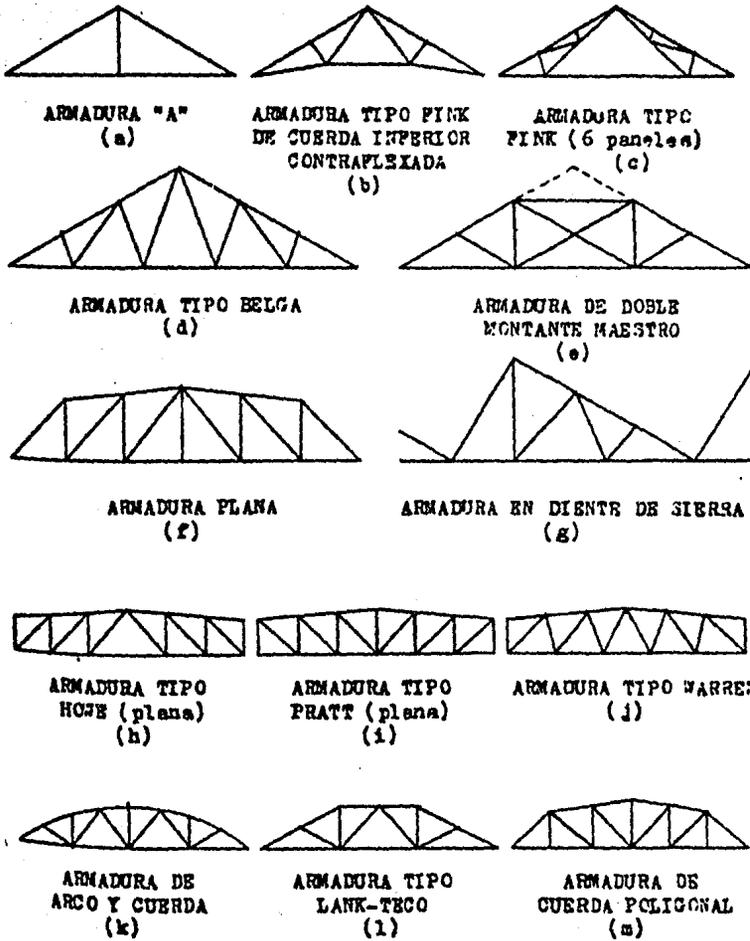


FIGURA 5-3

tes se construyen los caballetes, debidamente contraventeados.

En uno o en otro tipo de puente, la madera debe ser tratada a presión con algunas sustancias protectoras aprobadas, de acuerdo con la práctica actual y para las condiciones de intemperie a que estará sujeta la estructura. Además, las partes de las piezas ya tratadas, que hubiesen quedado expuestas por cortes en el campo, deben recibir un tratamiento de protección adecuado para hacerlas tan duraderas como al resto de la estructura. Los pilotes que se cortan, generalmente se protegen con varias manos de creosota caliente y brea, y un remate de lámina galvanizada.

Los tableros de los puentes generalmente están contruidos por un sistema de vigas, con un piso formado por tablonos o madera laminada, o bien con una composición de madera-concreto, colocada en forma continua. Esta última forma, que combina la capacidad de la madera para resistir tracciones, y del concreto para resistir esfuerzos de compresión, ha tenido gran éxito.

Cimbras de madera.- Las cimbras son necesarias para moldear todos los elementos de concreto; su uso es momentáneo, se ocupan únicamente mientras el concreto adquiere la resistencia adecuada para autosustentarse.

#### Aplicaciones especiales de la madera.

La madera tiene inconvenientes que imponen ciertas limitaciones a su utilidad como material estructural: fundamentalmente su naturaleza anisótropa y falta de uniformidad de sus propiedades resistentes. Para obviar estos inconvenientes y abrir nuevos

campos de aplicación de la madera, la técnica moderna ha buscado nuevas formas de utilizarla. Dos realizaciones relativamente recientes son el triplay y la madera laminada y encolada.

#### Triplay.

El triplay o madera contrachapada, se obtiene cortando madera ablandada por maceración en capas delgadas que luego se unen a presión con aglutinantes. Al combinar las capas que forman el triplay de manera que la orientación de las fibras de las diversas capas sean normales entre sí, se obtiene un material prácticamente isótropo en el plano, es decir, con características análogas en las direcciones longitudinal y transversal.

#### Madera laminada y encolada.

Los elementos laminados están formados por tablas encoladas, con sus fibras en la misma dirección. Para obtener piezas de dimensiones importantes las tablas de cada capa se pueden unir a tope. Como la cola utilizada en las juntas es por lo menos tan fuerte como la madera misma, el comportamiento de piezas laminadas es semejante al de piezas macizas.

## VI.- MUROS DE CARGA.

Las propiedades mecánicas de la mampostería son más variables y difíciles de predecir que las de otros materiales estructurales. Esto es debido al poco control que se tiene sobre las propiedades de los materiales componentes y sobre los procedimientos de construcción empleados.

Propiedades de los materiales componentes.

### Los Morteros.

Los morteros son mezclas plásticas aglomerantes, que resultan de combinar arena y agua con un material cementante que puede ser cemento, cal, yeso, o una mezcla de estos materiales.

Las principales propiedades de los morteros son su resistencia a la compresión y tensión, adherencia con la piedra, módulo de elasticidad, trabajabilidad, rapidez de fraguado, e impermeabilidad. Otra característica importante es su retención de agua, es decir, su capacidad para evitar que la pieza por unir absorba el agua necesaria para el fraguado del mortero. El índice de resistencia más generalmente aceptado, es la resistencia a compresión obtenida en un cubo de cinco cm. de lado.

Los morteros de yeso tienen resistencias muy bajas, fraguado muy rápido y sólo se usan en modalidades constructivas especiales. Los morteros que contienen más de un material cementante se conocen como morteros bastardos o mixtos. Son ampliamente usados los morteros con cemento y cal, ya que reúnen las ventajas de los dos materiales dando lugar a mezclas de buena resistencia y trabajabilidad. También se usan cementantes premezclados, como los llamados cementos de albañilería que contienen cemento, cal y aditivos plastificadores. Otro mortero mixto es la mezcla de cal, arena y arcilla usada para pegar adobes.

La variabilidad en las resistencias que se obtiene para un proporcionamiento dado es considerable debido a que la dosificación se hace por volumen y sin controlar la calidad de agua.

Las propiedades naturales.

Las unidades de piedra se utilizan sin labrar o labradas.

En México suelen distinguirse los siguientes tipos de mampostería de acuerdo con la forma en que ha sido labrada la piedra (fig. 6.1).

- a) Mampostería de primera. La piedra se labra en paralelepípedos regulares con su cara expuesta en forma rectangular. Las unidades de piedra de este tipo reciben el nombre de sillares.
- b) Mampostería de segunda. La piedra se labra en paralelepípedos de forma variable siguiendo la configuración natural con que llega de la cantera.
- c) Mampostería de tercera. La piedra se utiliza en la forma irregular con que llega de la cantera, aunque procurando que la cara expuesta sea aproximadamente plana.

La forma de la curva carga-deformación es variable según el tipo de piedra; en general el comportamiento no es lineal.

Las piedras artificiales.

Existe una gran variedad de piedras artificiales que se utilizan en la construcción. Estas difieren entre sí tanto por la materia prima utilizada, como por las características geométricas de las piezas y por los procedimientos de fabricación empleados.

Las materias primas más comunes son el barro, el concreto, con agregados normales o ligeros, y la arena con cal. Los proce-

dimientos de construcción son muy variables: desde los artesanales, como el cocido en horno para los tabiques comunes, hasta -- los muy industrializados (vibrocompactación, para los bloques de concreto, y extrusión, para el bloque hueco de barro). La forma -- es prismática pero con distintas relaciones entre las dimensiones. Las piezas pueden ser macizas o con huecos verticales u horizontales.

El adobe es un material de gran importancia en el medio rural. Se trata de un tabique de barro sin cocer, mezclado con fibras de distintos tipos ( estiércol, paja, hojas, etc.) y secados al aire libre.

El tabique de suelo cemento es un material que se ha empezado a desarrollar recientemente y que parece de interés por su bajo costo. Se fabrica mezclando suelos de ciertas características con cemento portland.

Propiedades mecánicas del conjunto piedra-mortero.

Las propiedades mecánicas de la mampostería pueden deducirse ya sea del estudio de los materiales componentes, piedra y mortero, o del ensaye directo de probetas compuestas. La primera -- forma es evidentemente menos precisa debido al gran número de variables que intervienen en el problema y a la dificultad de tomar en cuenta la interacción entre los dos materiales.

La variabilidad que más importantemente influye en la resistencia de la mampostería es la resistencia o compresión axial de las piezas individuales.

La resistencia del mortero es significativa sólo cuando es--

ta es muy inferior a la de la piedra.

Cuando la succión de la piedra es muy alta se extrae del mortero, reduciéndose su resistencia y adherencia, así como la resistencia del conjunto piedra-mortero. Por esto es conveniente saturar las piedras que tengan mucha succión, como el tabique recocido, antes de colocarse.

Otras variables que afectan a la resistencia son la fluidez del mortero ( morteros poco fluidos no pueden colocarse en capas de espesor uniforme, lo que da origen concentraciones de esfuerzos) el espesor de la junta, el aparejo y la calidad de la mano de obra.

Relación esfuerzo - deformación. La relación esfuerzo - deformación registrada en ensayos de pilas sujetas a compresión tienen una pendiente aproximadamente constante hasta la falla; sólo para piezas y morteros de muy baja resistencia la curva tiende a ser parabólica. La rigidez del conjunto es generalmente menor que las de las piezas y la del mortero consideradas independientemente.

La figura 6.2 muestra curvas típicas obtenidas de los ensayos.

Las mamposterías de piedras naturales junto con la madera, fueron los primeros materiales usados en la construcción de elementos a compresión. Muchas han sido las columnas de mampostería que se han construido, debido a los grandes esfuerzos de compresión que pueden resistir. Su uso se ha restringido por el alto costo de obtención y elaboración de estos materiales, así como la poca resistencia a la tensión que puede soportar.

El diafragma o muro, es un caso particular de columnas a las que muchas veces sustituye con ventaja. Los materiales más usados son concreto armado, tabique y block hueco de distintas medidas.

El tipo de solicitaciones más frecuente en un muro, en la carga vertical uniformemente repartida, siempre es conveniente que las cargas verticales, se repartan sobre el muro por medio de una trabe rígida, para evitar concentraciones de esfuerzos y agrietamientos.

En un muro sometido a fuerzas laterales, se presentan líneas de tensión diagonal con una inclinación de 45° aproximadamente. El muro fallará al formarse grietas inclinadas que siguen las direcciones de tensión máxima. Una vez que aparecen las primeras grietas, la capacidad resistente del muro disminuye de manera importante.

El comportamiento del muro ante fuerza lateral se manejará si se limita o confina por medio de marcos de acero o de concreto que impiden la falla por tensión diagonal, en la zona cercana a las esquinas.

En la actualidad este tipo de construcción, debido a su economía es utilizado en edificios de habitación de poca altura en los que los muros utilizados como divisiones interiores, también se aprovechan como elementos de carga. Se supone que estos muros no se van a destruir posteriormente, ya que forman parte integral de la estructura. En este tipo de construcción los muros suelen ser de tabique, confinados en una estructura de dadas y castillos. Su espesor puede alcanzar valores prácticos, máximos de 28 cm. Ocasionalmente se requiere la presencia de una columna aislada que ayude a trasladar las cargas.

Al aumentar la altura de los edificios, el grueso de los muros también aumenta lo que origina una pérdida de área útil cada vez más grande. Por este motivo se suprimen algunos de los muros generalmente interiores, sustituyéndolos por columnas.

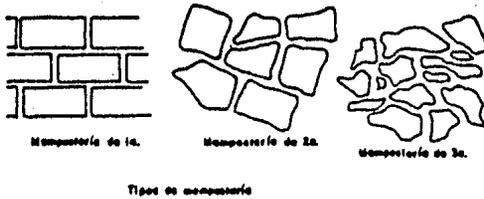
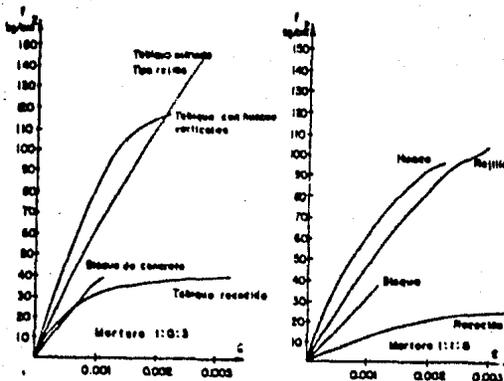


FIGURA 6-1



Curvas típicas esfuerzo-deformación para mampostería

FIGURA 6-2

## VII.- ESTRUCTURAS MIXTAS.

### Combinación de acero y madera.

#### Vigas armadas.

Debido a que las vigas de acero estructural se consiguen con facilidad en la mayor parte de las regiones del país, las vigas armadas (o atirantadas) de madera se usan poco. Los cuatro tipos usuales se muestran en la figura 7.1. En los tipos ilustrados en la figura 7.1 a y 7.1c, los miembros a tensión situados debajo de la viga son varillas de acero o de hierro dulce. Las torna puntas, o miembros verticales, son usualmente de madera.

En los tipos mostrados en las figuras 7.1 b y 7.1 d en los que los miembros están colocados encima de la viga, los miembros están a tensión y pueden emplearse varillas.

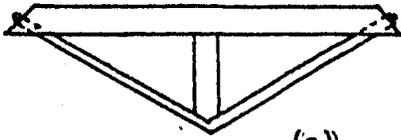
#### Vigas compuestas de triplay.

Pueden diseñarse vigas estructurales compuestas y encoladas con la forma de vigas de cajón, de vigas en I o de doble I, como se muestra en las figuras 7.1h, i y j. En estas vigas el miembro del alma es de triplay, los patines pueden ser piezas sólidas o laminadas.

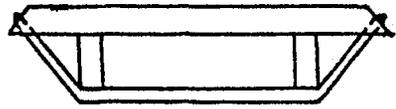
#### Vigas con elementos metálicos.

Las vigas compuestas con elementos metálicos se construyen sujetando entre sí vigas de madera con secciones de acero, unas

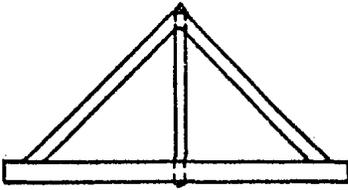
FIGURA NO. 7-1



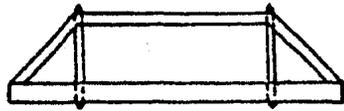
(a)



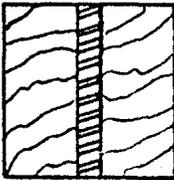
(c)



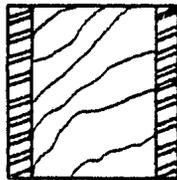
(b)



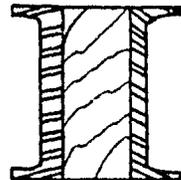
(d)



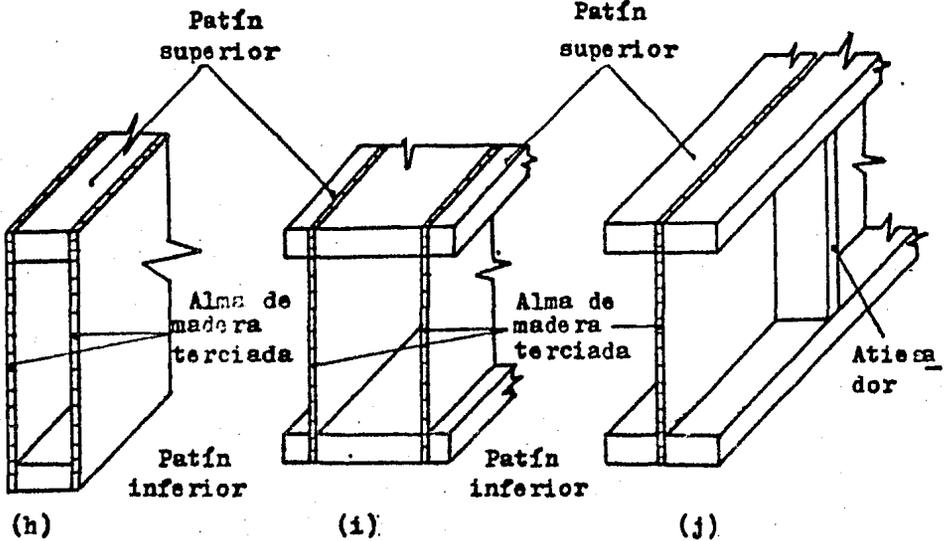
(e)



(f)



(g)



Viga de cajón

Viga de doble I

Viga I

al lado de otras. Aunque fueron comunes en el pasado, su uso se ha eliminado por la aparición de las vigas de acero estructural.

### Combinación de acero y de concreto.

En las estructuras mixtas, normalmente se combina el acero con el concreto, ya sea para protección del acero o como complemento para el servicio de la estructura.

Como protección del acero estructural el caso más común es el revestimiento de concreto de los miembros de acero tales como columnas, traveses, vigas, nervaduras, etc., para evitar la corrosión y la acción del fuego en caso de incendio.

#### I.- Columnas de acero estructural y concreto.

a) Columnas recubiertas solo para protección contra incendio.

Para temperaturas arriba de 1000 C es recomendable una protección que dure más de 2 horas. En caso de edificios altos (6 pisos o más), se recomienda una protección que dure 4 horas. El espesor del recubrimiento generalmente es de 10 a 15 cm. dependiendo del ancho y espesor de los patines o lados del perfil estructural según sea el caso.

El armado mínimo del recubrimiento, no necesariamente deberá resistir las altas temperaturas ya que lo importante es preservar el acero estructural. (figura 7.2).

b) Columnas recubiertas como elementos de refuerzo.

Normalmente se usa este tipo de columnas compuestas de ace

FIGURA NO. 7-2

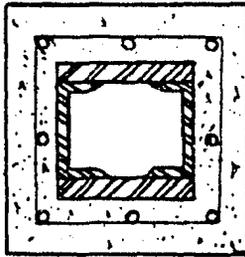
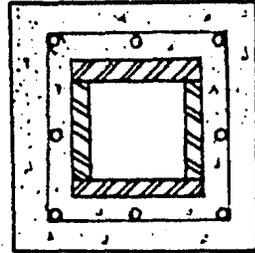
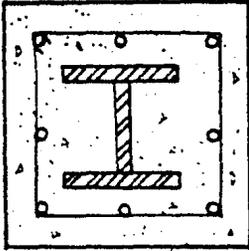


FIGURA NO. 7-3

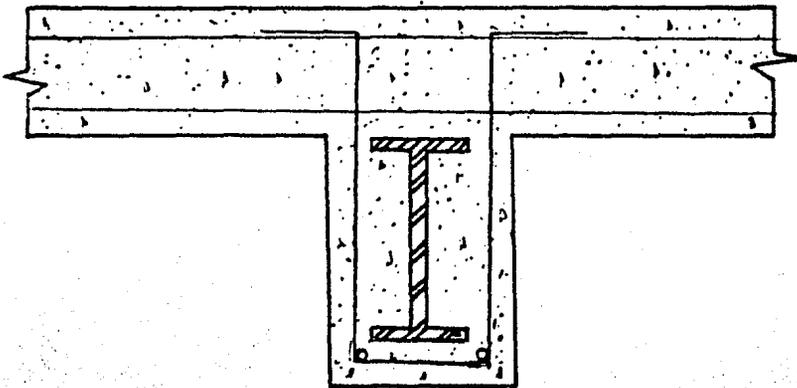


FIGURA NO. 7-4

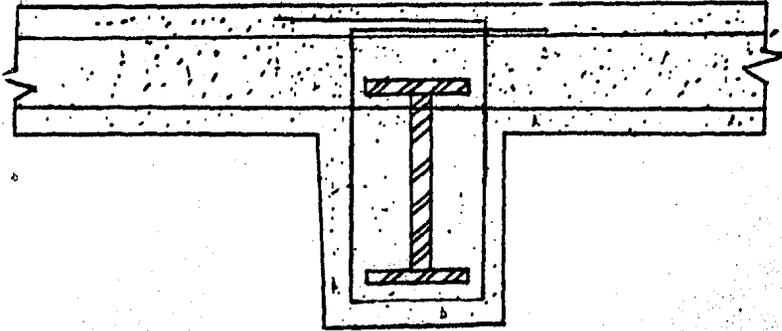
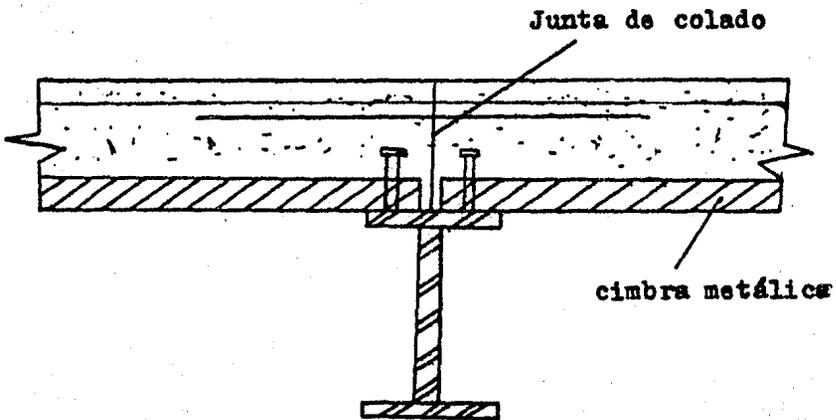


FIGURA NO. 7-5



ro y concreto en casos de remodelamiento donde existe una sobrecarga en las columnas originalmente de acero, también se emplean cuando se requiere rigidizar las columnas o bien en estructuras de concreto donde se desea reducir la sección de las columnas.

La interacción entre el concreto y el acero se logra por medio de un dispositivo mecánico llamado conector de cortante.

Los conectores de cortante pueden ser en la forma de canales, vástagos salientes o espirales y sirven para transmitir el cortante longitudinal del concreto al acero, así como también - para evitar que el concreto se despegue del perfil.

c) Columnas rellenas de concreto.

Estas columnas son menos comunes en edificios. Este relleno puede ser de concreto simple o reforzado.

## 2.- Trabes, Vigas y Nervaduras.

a) Trabes recubiertas sólo por protección.

Los recubrimientos y armados requeridos, serán los mismos que se indicaron para el caso de columnas (fig. 7.3).

b) Trabes recubiertas para soportar las cargas conjuntamente con el acero.

Se presentan dos casos de este tipo de elementos compuestos. El primer caso ocurre cuando en una estructura de concreto, se requiere reducir el peralte de las vigas o nervaduras, y el segundo caso cuando en una estructura existente, se necesita incrementar la rigidez o capacidad de carga de las vigas de acero. En el primer caso, conviene que la viga de acero quede dentro de la loza para minimizar el peralte total y eliminar la necesidad de los conectores por cortante. Figura 7.4

En el segundo caso, los espesores y armados mínimos del re cubrimiento se determinan con el mismo criterio que en el caso de columnas.

### 3.- Losas de concreto sobre elementos de acero estructural.

Como complemento de las estructuras y para su servicio, las soluciones más comunes, se encuentran en losas de piso, escaleras y muros.

#### a) Losas sobre traveses, vigas y nervaduras de acero.

Este caso es muy común y frecuente en los edificios, don de se tengan entrepisos y techos de concreto sobre es tructuras de acero.

#### b) Losas sobre lámina acanalada.

Existen en el mercado productos de lámina acanalada ex nofesas para cimbrado, y en el caso de estructuras de - acero, bastará fijar la lámina con algunos puntos de sol dadura, solo para evitar su deslizamiento durante el co lado del concreto. Figura 7.5

### 4.- Escaleras de acero estructural y concreto.

#### a) Alfardas de acero estructural y escalones de concreto.

En las plantas industriales son muy comunes las esca leras de acero estructural con escalones de regillas. Sin embargo aunque en menor escala, se utilizan frecuente - mente escaleras de alfardas de acero estructural y esca lones de concreto, que son más económicas que las regi llas.

Los escalones de concreto pueden ser de dos tipos: de concreto precolado simplemente reforzado y con marco de acero. En muchos edificios públicos y aún particulares, se llegan a ver este tipo de escaleras.

#### 5.- Muros de concreto con estructuras de acero.

##### a) Como elementos de rigidez.

Se encuentran generalmente en el perímetro del edificio, donde pueden suministrar mayor rigidez al edificio, contra movimientos laterales causados por la acción de sismos o empuje de viento.

##### b) Muros como elementos estéticos.

Generalmente cuando los muros operan como elementos estéticos únicamente, éstos se hacen en piezas precoladas que posteriormente se fijan a la estructura. - Esto permite obtener un mejor acabado de la superficie, ya sea lisa o con grabado, e incluso si se desea, un agregado expuesto.

#### 6.- Ménsulas de acero estructural en columnas de concreto.

Se presentan normalmente en aquellos casos en que se soporta un equipo ligero (tuberías transportadoras, etc.) que se fija con mayor facilidad y rapidez en el programa de construcción.

#### 7.- Rejillas de piso.

Como cubiertas de drenaje.

Es el caso más común en pisos de concreto, donde se requieren drenes abiertos, pero que a la vez, se pueda transitar sobre

ellos.

### 8.- Estructuras mixtas.

Las estructuras mixtas se encuentran cada vez con mayor frecuencia. como ejemplos se citan las estructuras de elementos verticales de concreto y techo de acero estructural. Sistemas de piso o entrepisos de concreto reforzado con columnas de acero, torres de concreto (como elementos rigidizantes de un edificio) con estructuras de acero, etc.

#### a) Cimentación de concreto y estructura de acero.

Aceptando a los cimientos como elementos estructurales, se puede decir que este tipo de estructura mixta es la más común en los edificios cuya superestructura es de acero (con cimentación de concreto).

En estas estructuras existen dos formas de desplantar las columnas de acero: la primera consiste en desplantar directamente sobre el concreto, y la segunda en dejar un espacio que se rellena posteriormente al montaje, con mortero de cemento y aditivo controlador de contracciones de fraguado.

El primer sistema requiere una buena supervisión de la fabricación de las columnas de acero y acabado de la superficie de la cimentación, de manera que se haciente adecuadamente la columna y quede la placa base totalmente en contacto con el concreto.

La ventaja que se obtiene en este caso es la rapidez de montaje de las columnas.

El segundo sistema es el más común y permite tolerancias en la fabricación de las columnas y de sus cimentaciones.

b) Estructuras de concreto con techo de acero estructural. Es frecuente este tipo de estructura mixta en almacenes y bodegas.

c) Estructuras con columnas de acero y entrepisos de concreto presforzado o reforzado.

Es un sistema poco conocido en México pero visto con mucha frecuencia en E.E.U.U. Es el sistema conocido como "Lift-slab" o losas levantadas.

El sistema "Lift-slab" consiste en erigir las columnas y colar todos los pisos en el suelo. Posteriormente se levantan y fijan en su lugar. Desde luego el problema crítico se presenta en las conexiones de la losa con las columnas.

Sin embargo, este problema se ha resuelto combinando a la estructuración una torre de rigidez, donde se localizan normalmente los servicios, escaleras y elevadores del edificio.

En el caso de edificios con columnas de acero y entrepisos de concreto soportados por trabes presforzadas, el presfuerzo se conecta a las columnas, de manera que se forme un marco resistente a las cargas.

El problema que tiene este sistema es el de los momentos generados en las columnas debido al presfuerzo.

### VIII.- CONCLUSIONES

Evidentemente uno de los aspectos fundamentales del diseño es el conocimiento de las solicitaciones que actúan sobre las estructuras. Si este conocimiento es inadecuado resultan inútiles los refinamientos que pueden lograrse en el análisis y dimensionamiento.

Por otra parte en el proceso de estructuración, se escoge el material más adecuado para construir la estructura y se deberá disponer de los materiales o elementos estructurales de tal manera que se obtenga una solución óptima dentro de las fronteras fijadas al problema.

Algunos de los factores que intervienen en la determinación de la estructura más adecuada son:

- a) Proyecto arquitectónico. Este a su vez está regido entre otros factores.- Por la funcionalidad de la construcción. En el proyecto arquitectónico se fijarán dimensiones generales mínimas, alturas o desniveles, distribuciones de los elementos, etc. que deberán tener como finalidad un funcionamiento óptimo de la construcción.
- b) Solicitaciones. Las solicitaciones dependen fundamentalmente del destino de la construcción de la zona geográfica en la que está localizada la estructura, etc. -

El tipo, magnitud y distribución de las solicitaciones definirán, en muchos casos, los materiales, la distribución de elementos y la forma estructural.

- c) Economía. Teniendo en cuenta todos los factores que intervienen en el proyecto estructural, habrá que optimizar la solución. Considerando los distintos materiales estructurales, posibles dimensiones de los claros, plazo de ejecución, etc. y estableciendo las consecuencias de una posible falla, se podrá obtener una solución óptima.
- d) Solución constructiva. La solución estructural por adoptar, tendrá que ser fácilmente realizable dentro de las limitaciones propias que existan para la obtención de materiales, disponibilidad de maquinaria y obra de mano, velocidad de ejecución, etc. Muchos son los proyectos que a pesar de cumplir con las condiciones de los puntos anteriores, no han podido realizarse o simplemente lo han encarecido por no haber tomado en cuenta el proceso constructivo.

Como ejemplo podríamos citar el siguiente caso, en una estructura para edificio, las columnas y vigas pueden dimensionarse de tal manera que se obtengan secciones mínimas para resistir las solicitaciones impuestas. Esta solución puede suponer innumerables secciones de los elementos estructurales en un mínimo piso de la estructura. De este modo; aunque se eco-

nomice en materiales, se encarece el proyecto por concepto de mano de obra y de cimbra en general.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO.  
Autores varios  
Editorial Limusa, S.A. 1982.
- 2.- METODOS, PLANEAMIENTO Y EQUIPO DE CONSTRUCCION  
R.L. Peurifoy  
Editorial Diana, S.A. 1973.
- 3.- DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO PREFORZADO.  
Arthur H. Nilson.  
Editorial Limusa, S. A. 1982.
- 4.- PRESFUERZO PARCIAL  
Trabajo Escrito en Opción a Tesis del  
Ing. David Gallegos Casillas.
- 5.- DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO.  
Boris Bresler, T. Y. Lin y John B. Scalzi  
Editorial Limusa, S.A. 1978.
- 6.- DISEÑO MODERNO DE ESTRUCTURAS DE MADERA  
Hansen I. C. Hoeard  
Cía. Edit. Continental, 1957.
- 7.- APUNTES DE DISEÑO ESTRUCTURAL  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
- 8.- APUNTES DE MECANICA DE MATERIALES (primer curso)  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.