

2956



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**“DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS
PRESFORZADOS EMPLEANDO DOS
CRITERIOS DIFERENTES”**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

FRANCISCO FREYRE GONZALEZ

FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1989



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 está 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

I. INTRODUCCION	Pag.
1.1 Criterios de Diseño por Momento Flexionante.	6
1.2 Objetivos de la Tesis.	11
1.3 Organización de la Tesis.	11
II. CRITERIO DE DISEÑO POR ESFUERZOS FERMISIBLES	
II.1 Secciones Simples.	
A) Definición.	13
B) Procedimiento.	13
C) Ejemplo.	39
II.2 Secciones Compuestas.	
A) Definición.	52
B) Procedimiento.	52
C) Ejemplo.	85
III. CRITERIO DE DISEÑO POR RESISTENCIA	
III.1 Secciones Simples.	
A) Procedimiento.	80
B) Ejemplo.	93
III.2 Secciones Compuestas.	
A) Procedimiento.	106
B) Ejemplo.	122
IV. CONCLUSIONES	
IV.1 Conclusiones.	145

I INTRODUCCION

- 1.1 Criterios de Diseño por Momento Flexionante.**
- 1.2 Objetivos de la Tesis.**
- 1.3 Organización de la Tesis.**

1.1 Criterios de Diseño por Momento Flexionante.

El pretensado puede definirse en terminos generales como el precargado de una estructura, implicando la aplicacion de una carga compresiva, previa a la aplicacion de las cargas anticipadas de diseño, en forma tal que se reduzcan o eliminen los esfuerzos de tension así como que mejore su comportamiento general (deflexiones, agrietamiento y vibraciones).

El concepto original de concreto pretensado consistio en introducir en vigas suficiente precompresion axial para que se eliminaran en el miembro cargado todos los posibles esfuerzos de tension que obraran en el concreto. Sin embargo, a medida que se ha desarrollado el conocimiento de esta forma de construccion, se ha visto que esta concepcion es innecesariamente restrictiva, y en la practica actual de diseño se permite que existan esfuerzos de tension en el concreto, y hasta cierto agrietamiento limitado. Haciendo variar la magnitud del presfuerzo compresivo puede limitarse al grado deseado el numero y el ancho de esas grietas, e igualmente puede controlarse la deflexion del miembro.

No solo por la mejoría del comportamiento bajo la carga de servicio, por el control del agrietamiento y la deflexion, es por lo que el concreto pretensado es conveniente, sino también porque permite la utilizacion de materiales eficientes de alta resistencia. Pueden usarse miembros de menores dimensiones y además más ligeros. Se reduce la relacion de la carga muerta a la carga viva, se aumentan los claros y se amplia considerablemente la gama de aplicaciones posibles del concreto estructural.

La magnitud de la fuerza del presfuerzo en un miembro de concreto no es constante, sino que toma diferentes valores durante la vida del elemento. Algunos de los cambios son instantáneos o casi instantáneos, otros dependen del tiempo, y otros más suceden en funcion de la carga superpuesta. Deben considerarse todos estos cambios en el diseño.

Con excepcion de las condiciones que prevalecen bajo sobrecarga severa, la mayor fuerza que actúa ocurre durante la operacion de los gatos (P_0). Para un miembro postensado, esta fuerza se aplica como una reaccion directamente sobre el miembro de concreto, mientras que con el pretensado, la fuerza del gato reacciona contra anclajes externos y no actúa sobre el concreto en absoluto.

Como consecuencia de todas las pérdidas instantáneas, incluyendo las debidas al deslizamiento en el anclaje, el acortamiento elastico y la fricción, la fuerza aplicada por el gato P_0 , se reduce a un valor menor P .

Con el paso del tiempo, se reduce aún más el esfuerzo en el acero. Los cambios que ocasionan esta reducción ocurren más bien con rapidez al principio, pero el régimen de cambio del esfuerzo pronto decrece. Se aproxima a un nivel de esfuerzo casi constante, pero solo después de muchos meses, o hasta de varios años.

El resultado de todos los efectos dependientes del tiempo, incluyendo la contracción del concreto y su escurrimiento plástico, así como el relajamiento del acero, es que la fuerza inicial del prefuerzo P , se reduce gradualmente a lo que se conoce como la fuerza efectiva de pretensado, P_e .

La suma de todas las pérdidas, inmediatas y dependientes del tiempo puede ser del orden del 20 al 25% de la fuerza original aplicada por el gato. Todas las pérdidas tienen que tomarse en consideración en el diseño del concreto pretensado.

Resulta útil resumir el comportamiento de una viga de concreto pretensado en función de su curva carga - deformación.

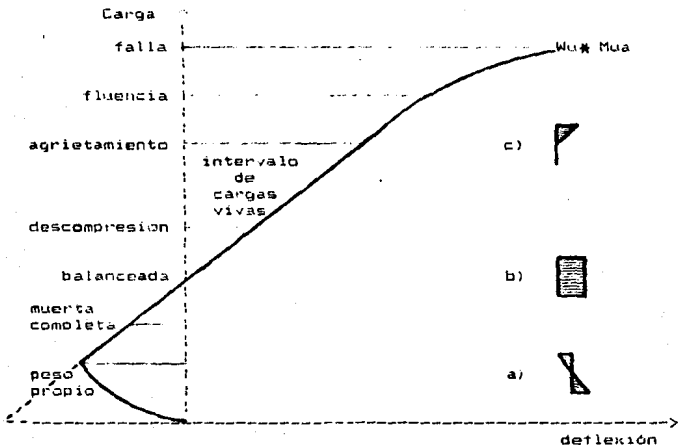


Fig. 1.1 Curva Carga - Deformación para una Viga Pretensada.

Cuando se aplica la fuerza de presfuerzo inicial, existirá de inmediato un combeo hacia arriba, debido al momento de flexión asociado con la excentricidad del presfuerzo. Estando la viga apoyada en sus extremos, su peso propio comienza a ser efectivo inmediatamente, superponiendo una componente hacia abajo de la deflexión en contra del combeo hacia arriba producido por el presfuerzo. A este se le conoce como estado descargado, actuando en el solo el presfuerzo inicial y el peso propio.

Suponiendo, que todas las pérdidas ocurren al mismo tiempo, de tal forma que la deflexión neta al comienzo sea la debida a la combinación de la fuerza pretensora efectiva F_e y el peso propio W_o . En este estado la distribución de esfuerzos de flexión en el concreto en el centro del claro es generalmente tal como se muestra en la figura a), variando linealmente desde un valor bajo de esfuerzo de tensión en la cara superior de la viga hasta un máximo de compresión en la parte inferior.

Cuando se agrega la carga muerta sobrepuesta, la deflexión se incrementa en el sentido positivo hacia abajo. En este estado, a menudo la deflexión neta es hacia arriba, pero no siempre es así.

Con la adición de una parte de la carga viva, se puede alcanzar un estado de carga balanceada tal que la carga equivalente hacia arriba proveniente del presfuerzo es exactamente igual a las cargas exteriores hacia abajo. El resultado es un esfuerzo de compresión uniforme en el miembro. Mientras que en la figura b) se indica una deflexión nula, esto necesariamente se obtiene, debido a que la distribución uniforme de esfuerzos de compresión puede derivarse de la superposición de las cargas de larga duración, las cuales producen deflexiones por escurrimiento plástico, y las cargas vivas de corta duración que no las producen.

Con una posterior adición de carga viva se alcanza el estado de descompresión, en el cual el esfuerzo en el concreto en la cara inferior de la viga es cero. La respuesta de la viga es lineal en, y algo más allá de este estado hasta que se alcanza, en donde los esfuerzos de tensión en el concreto igualan al módulo de ruptura.

El rango usual de las cargas de servicio cae entre el estado de descompresión y el estado parcial de agrietamiento, tal como se indica en la figura 1.1. Hasta este punto, el método de diseño correspondiente es el Esfuerzos Permisibles, ya que solo es válido dentro del rango elástico de la viga.

El agrietamiento inicia la respuesta no lineal (rango inelástico), aunque por lo general, tanto el concreto como el acero permanecen dentro del rango elástico hasta bastante más allá de la carga de agrietamiento.

Eventualmente, a medida que las cargas se siguen incrementando, comenzará a fluir el acero o el concreto alcanzará su deformación de aplastamiento, a lo que se le denomina el estado de sobrecarga. Cerca de la falla la respuesta de la viga es muy inelástica. La distribución del esfuerzo en el concreto en el miembro agrietado, cuando la falla es inminente, es aproximadamente tal como se muestra en la figura c).

Cualquiera de los estados de carga que se describieron puede servir como un punto de partida para el dimensionamiento del miembro de concreto. Cualquier estado de carga proporciona la base inicial, debiéndose revisar el miembro para los otros estados significativos, en forma tal de asegurar que será satisfactorio para todos los rangos.

De acuerdo con la práctica usual, las dimensiones de los miembros se escogen generalmente en forma tal de mantener los esfuerzos en el concreto dentro de los límites especificados, a medida en que el miembro pasa del estado descargado hacia el estado de cargas de servicio. Cuando el miembro está descargado, y solamente actúan la fuerza pretensora inicial y el peso propio, los límites del esfuerzo en el concreto se relacionan con la resistencia que tiene el concreto al tiempo de la transferencia. Bajo las cargas de servicio, esto es, con la fuerza pretensora efectiva P_e y las cargas viva y muerta actuando, los límites del esfuerzo en el concreto generalmente no son los mismos que para el estado descargado. En forma adicional, ellos se relacionan con la resistencia especificada total de diseño del concreto.

Diseño por Flexión Basado en Esfuerzos Permisibles.

En la práctica actual, las dimensiones del concreto y la fuerza pretensora para las vigas se escogen en forma tal de no exceder los límites de esfuerzos especificados a medida en que la viga pasa del estado descargado al estado de servicio. Tanto el concreto como el acero se pueden considerar elásticos en este rango. Después de que se han seleccionado tentativamente las dimensiones del miembro sobre estas bases, si fuera necesario se deberían revisar las deflexiones bajo los estados de carga de interés y la resistencia última del miembro.

Esto es razonable, considerando que uno de los objetivos más importantes del pretuerzo es mejorar el comportamiento bajo cargas de servicio. Más aún, es el criterio del comportamiento bajo cargas de servicio el que determina la magnitud de la fuerza pretensora a usarse, aunque los requisitos de resistencia pueden determinar el área total de acero a tensión.

Muchos diseñadores adoptan un procedimiento de aproximaciones sucesivas. Se supone una sección transversal, una fuerza pretensora y un perfil del cable determinados. Después se revisa el miembro de tanteo para asegurar que los esfuerzos están dentro de los límites permisibles, que las deflexiones son satisfactorias y que se dispone de la resistencia requerida. Sin embargo, se puede seguir un procedimiento más sistemático, basado en la aproximación de los esfuerzos, tan cerca como sea posible, de los esfuerzos límite, bajo los estados de carga que controlan el diseño.

Diseño por Flexión Basado en la Resistencia.

La característica más importante de una estructura es su resistencia, la cual establece el grado de su seguridad incorporado en su diseño. Para el concreto reforzado, por lo general, solo se consideran las vigas sobreforzadas, para las cuales el acero se encuentra a su punto de fluencia en la falla. Con la fuerza de tensión así conocida, el área en compresión de la sección transversal se halla fácilmente mediante la suma de fuerzas horizontales. Conociendo el centroide del área de compresión, el brazo del par se halla y se puede escribir una ecuación explícita para el momento resistente último. Esta ecuación puede recordarse con la finalidad de hallar directamente las dimensiones requeridas para el concreto y el área de acero.

Para el concreto preforzado, por otra parte, el esfuerzo en el acero en la falla por flexión se encuentra en un valor f_{sp} que es por lo general menor que la resistencia a tensión f_{sr} . Puede ser mayor o menor que el esfuerzo nominal de fluencia f_p . El área de concreto en compresión, la cual es una función del esfuerzo en el acero al momento de la falla, no puede establecerse fácilmente al principio del proceso de diseño, de tal manera que el brazo del par interno entre las resultantes de compresión y tensión es desconocido.

Sin embargo, para los casos prácticos, se puede hallar una sección de concreto tentativa mediante la suposición de que el esfuerzo en el tendón a la falla es 0.9 veces la resistencia última f_{sr} . Se encontrará que un refinamiento será necesario solamente en los casos en que existe un porcentaje de acero inusualmente grande.

Sólo al final el diseño se revisa para que tenga condiciones satisfactorias de servicio, haciéndose referencia específica al acortamiento y deflexión para el nivel de cargas de servicio.

1.2 Objetivos de la Tesis.

El objetivo de esta tesis es mostrar y comparar los diferentes métodos de diseño que existen para elementos reforzados, enfocándose principalmente al Diseño por Esfuerzos Permisibles y al Diseño por Resistencia, que son los más utilizados en la práctica profesional.

En ambos criterios de diseño se abordarán las Secciones Simples y las Secciones Compuestas, así como ejemplos de cada una de estas.

En el diseño por Esfuerzos Permisibles, que es el utilizado por el ACDF-87, se hará énfasis en los requerimientos y especificaciones que pide éste.

En el diseño por Resistencia, se mostrará un nuevo método para optimizar el diseño de elementos reforzados.

Se hará una evaluación de los métodos expuestos, para obtener conclusiones y así poder determinar qué método es el más conveniente.

1.3 Organización de la Tesis.

En el primer capítulo se dan lineamientos generales relativos al refuerzo, así como las bases y criterios globales del diseño de este tipo de elementos, se dan consideraciones referentes a las pérdidas de esfuerzo y cuáles son sus causas y repercusiones en el comportamiento del elemento.

Este capítulo, sirva como base para sustentar y lograr un mayor entendimiento de lo expuesto en los capítulos siguientes, ya que contiene consideraciones que deben tomarse en cuenta en cualquier método de diseño que se utilice.

En los capítulos dos y tres, se tratarán los métodos de diseño que son más utilizados (uno en cada capítulo); se explicará en que criterios se basan, en que consisten, se abordarán las secciones simples y las secciones compuestas. Para su mejor comprensión, se concluyen con un ejemplo de cada tipo de sección para aclarar cualquier duda que pudiera surgir. Estos ejemplos se irán explicando conforme se vayan desarrollando.

Para finalizar, en el capítulo cuatro se dará una conclusión basándose en lo expuesto, con lo cual se obtendrá un balance de ambos criterios de diseño explicando el porqué se utiliza cada uno de ellos, así como sus ventajas y desventajas.

**II CRITERIO DE DISEÑO
POR ESFUERZOS PERMISIBLES**

II.1 Secciones Simples.

- A) Definición.
- B) Procedimiento.
- C) Ejemplo.

II.2 Secciones Compuestas.

- A) Definición.
- B) Procedimiento.
- C) Ejemplo.

II.1 Secciones Simples.

A) Definición.

Sección Simple es una sección que se cuele o fabrica en una sola etapa con un mismo tipo de concreto ($f'_{c} = 250 \text{ kg/cm}^2$).

B) Procedimiento.

En primer lugar se determinan las características geométricas de la sección. Si se trata de secciones tipo, es conveniente consultar el catálogo del ANIPAC (Asociación Nacional de Industriales del Fresquezo y la Prefabricación, Asociación Civil); en caso contrario esas características se obtendrán conforme a los requerimientos de la Estructura.

En seguida se procederá a obtener los diagramas de elementos mecánicos del elemento; debido a que este atravesará por diferentes etapas de carga se deberá, previamente, elegir la condición que se revisará.

Las etapas de carga que se presentan en el elemento son:

- 1a. Etapa. Cuando el elemento se encuentra en la mesa de tensado.
Acciones: $F_o = n F_o$, $P_o e$
Materiales: $f'_{c} = 0.8 f'_{c}$, F_o
Condiciones de fronteras: Viga totalmente apoyada.
- 2a. Etapa. El izado del elemento de la mesa de tensado al lugar en el cual se almacenará.
Acciones: W_{pp} , F_o , $P_o e$
Materiales: f'_{c} , F_o
Condiciones de fronteras: Viga en doble voladizo.
- 3a. Etapa. Durante el almacenamiento (entonga).
Acciones: W_{pp} , F_o , $P_o e$
Materiales: f'_{c} , F_o
Condiciones de fronteras: Viga simplemente apoyada.
- 4a. Etapa. El elemento es montado en sus apoyos definitivos.
Acciones: W_{pp} , F_o , $P_o e$
Materiales: f'_{c} , F_o
Condiciones de fronteras: Viga simplemente apoyada.

- 5a. Etapa. Cuando al elemento se le aplica totalmente la carga muerta.
 Acciones: W_{pp} , W_{cm} , F_0 , $F_0 e$
 Materiales: $f'c_1$, F_0
 Condiciones de frontera: Viga simplemente apoyada.
- 6a. Etapa. En el elemento actúa la carga muerta + la carga viva.
 Acciones: W_{pp} , W_{cm} , W_{cv} , P , F_0
 Materiales: $f'c$, F_0
 Condiciones de frontera: Viga simplemente apoyada.

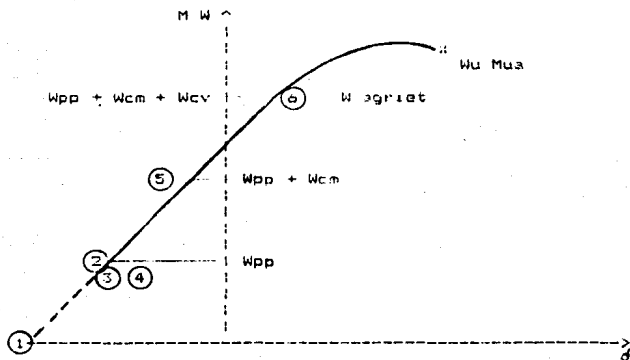


Fig. II.1 Etapas de Carga de una Viga Pretensada.

Las etapas críticas son:

- 4a. Etapa. En posición definitiva, únicamente con peso propio.
- 6a. Etapa. Cuando todas las cargas actúan en la viga.
- 2a. Etapa. En el izado del elemento.

Con base en lo anterior, sólo se obtendrán los diagramas de elementos mecánicos en las etapas críticas, y se revisarán las secciones críticas en cada una de esas etapas.

Para revisar las secciones críticas, se obtendrán los esfuerzos que actúan en la fibra superior y en la fibra inferior de la sección, y se compararán con los permisibles que da el reglamento (RCDF-87).

Esfuerzos Permisibles (RCDF-87)

para Elementos Totalmente Prefabricados.

A. Esfuerzos Permisibles en el Concreto.

- Inmediatamente después de la transferencia y antes de las pérdidas por contracción y flujo plástico.

- Compresión $f_{pci} = 0.50 f'_{ci}$
- Tensión $f_{pti} = \sqrt{f'_{ci}}$
(Sin refuerzo en la zona de tensión).

Si f_a no $\leq f_{pti}$ se suministrará refuerzo para resistir la fuerza total de tensión.

f'_{ci} = resistencia a compresión del concreto en la transferencia.

$f'_{ci} = 0.8 f'_c$.

- Bajo cargas de servicio.

- Compresión $f_{pc} = 0.45 f'_c$
- Tensión $f_{ps} = 1.8 \sqrt{f'_c}$
 $f_{pt} = 3.2 \sqrt{f'_c}$ (asegura comportamiento adecuado)

Si $f_a > 3.2 \sqrt{f'_c}$ colocar acero de refuerzo ordinario de acuerdo a ip.

En ambientes corrosivos, obligar que:

$f_a = 0$
tensión

B. Esfuerzos Permisibles en el Acero de Presfuerzo.

- Debido a la fuerza aplicada por el gato $f_p = 0.8 f_{sr}$
- Inmediatamente despues de la transferencia $f_p = 0.7 f_{sr}$

C. Esfuerzos Permisibles en el Acero de Refuerzo.

$$f_p = 0.5 f_y$$

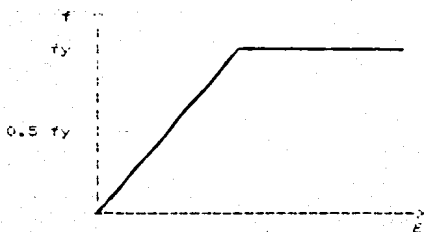
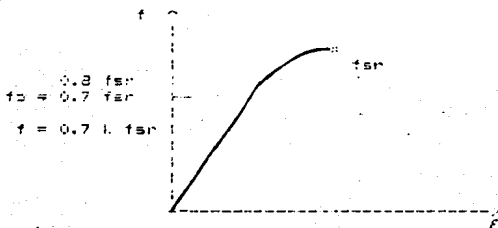


Fig. 11.2 Curvas Esfuerzo - Deformación del Acero de Presfuerzo y del Acero de Refuerzo.

Revisión de Etapas Críticas.

- En el entonque, solo actúa el peso propio (Inmediatamente después de la transferencia).

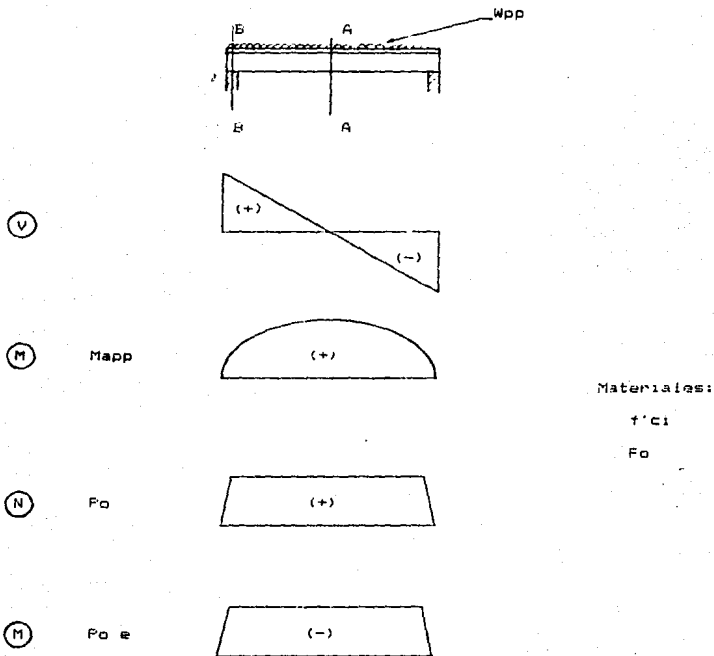
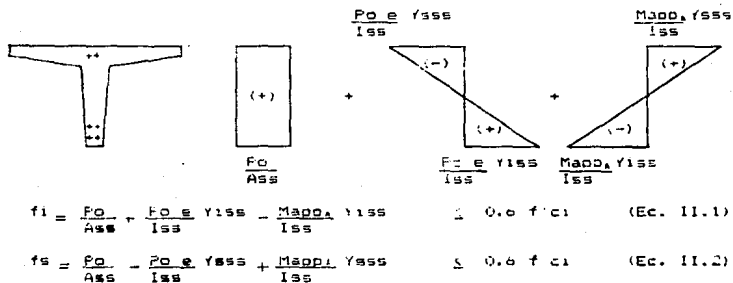
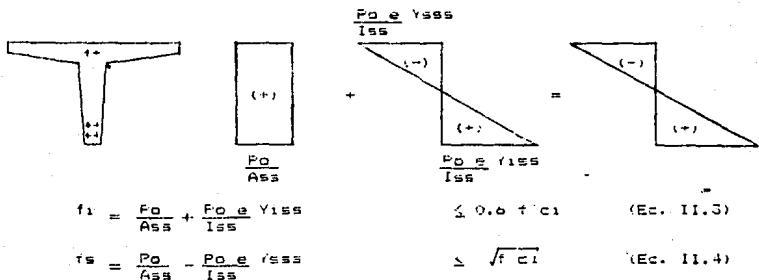


Fig. II.3 Elementos Mecánicos del Elemento Actuando Únicamente el Peso Propio.

Seccion A - A



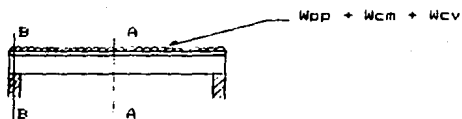
Seccion B - B



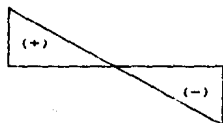
Esta seccion B - B es la que nos define la cantidad de refuerzo requerido por el elemento, por lo que es de estas la más crítica.

Se considera que en la viga se presentan las siguientes condiciones: Feralte Constante, Seccion Constante y Refuerzo Constante; las cuales son muy importantes, ya que de no presentarse alguna de esas condiciones, las ecuaciones planteadas no son validas.

- Todas las cargas se presentan en la viga (Cargas de Servicio).

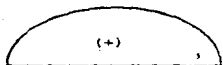


(V)



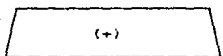
(M)

Mat



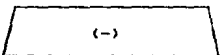
(N)

P



(M)

P e



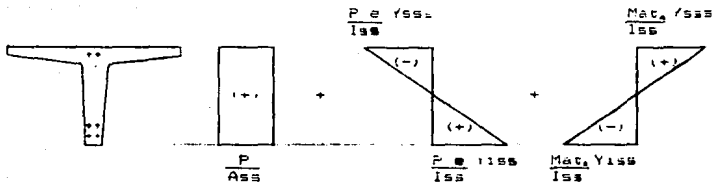
Materialas:

$f'c$

P

Fig. 11.4 Elementos Mecánicos del Elemento, Actuando las Cargas de Servicio.

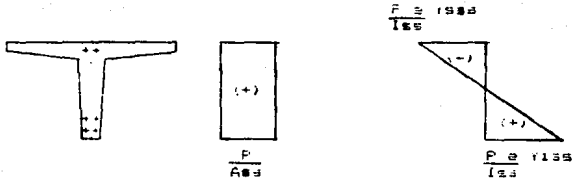
Seccion A - A



$$f_1 = \frac{F}{A_{ss}} + \frac{P e y_{ss}}{I_{ss}} - \frac{Mat_c y_{ss}}{I_{ss}} \leq 1.6 \sqrt{f_c} \quad (\text{Ec. II.5})$$

$$f_2 = \frac{F}{A_{ss}} - \frac{P e y_{ss}}{I_{ss}} + \frac{Mat_c y_{ss}}{I_{ss}} \leq 0.45 f_c \quad (\text{Ec. II.6})$$

Seccion B - B



$$f_1 = \frac{F}{A_{ss}} + \frac{F e y_{ss}}{I_{ss}} \leq 0.45 f_c \quad (\text{Ec. II.7})$$

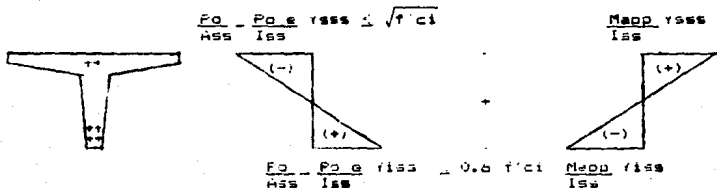
$$f_2 = \frac{F}{A_{ss}} - \frac{P e y_{ss}}{I_{ss}} \leq 1.6 \sqrt{f_c} \quad (\text{Ec. II.8})$$

La seccion mas critica es la que se encuentra al centro del claro, o sea, la seccion A - A, ya que ahi se encuentra el momento mayor.

Capacidad del Presfuerzo de una Sección Transversal.

Capacidad.- Es la máxima cantidad de presfuerzo que se puede dar a una sección transversal para que no sobrepase los esfuerzos permisibles.

Como se vio anteriormente, la capacidad está definida en la sección B - B cuando actúa únicamente el peso propio en el elemento.



Donde:

$$P_o = \frac{P}{k}$$

Entonces:

$$P = k P_o \quad (\text{Ec. II.9})$$

Donde:

P = Presfuerzo Efectivo.
 P_o = Presfuerzo Inicial.

Sustituyendo la ecuación II.9, en la ecuación II.4:

$$\frac{P_o}{A_{ss}} - \frac{P_o \cdot e}{I_{ss}} = \sqrt{f'c_i}$$

$$\frac{P}{k A_{ss}} - \frac{P \cdot e}{k I_{ss}} = \sqrt{f'c_i}$$

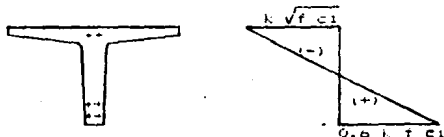
$$\frac{P}{A_{ss}} - \frac{P \cdot e}{I_{ss}} = k \sqrt{f'c_i} \quad (\text{Ec. II.10})$$

De la misma manera, de ecuación II.9 en ecuación II.3:

$$\frac{P_o}{A_{ss}} + \frac{P_o \cdot e}{I_{ss}} = 0.6 f'c_i$$

$$\frac{P}{k A_{ss}} + \frac{P e}{k I_{ss}} = C_o f c_i$$

$$\frac{P}{A_{ss}} + \frac{P e}{I_{ss}} = C_o f c_i \quad (\text{Ec. II.11})$$



Siempre y cuando se cumplan:

- Sección Constante.
- Presfuerzo Constante.
- Peralte Constante.

Si suponemos que el presfuerzo no es constante:

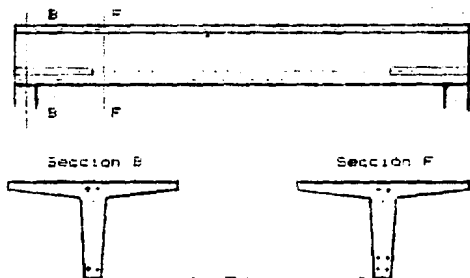
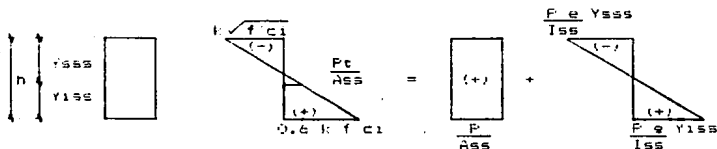


Fig. II.3 Método de "engrasar" torones.

Como se observa, en la sección B únicamente se consideran 4 torones a diferencia de la sección F en la cual si se consideran los 6 torones existentes. A este método se le conoce como "engrasar" torones, con el cual se logra disminuir los esfuerzos en los extremos del elemento, cuando estos exceder a los permisibles en dicha sección.

Determinación de la Fuerza de Presfuerzo según su Capacidad.

Con ayuda de lo obtenido en las ecuaciones 11.10 y 11.11:



Por triángulos semejantes:

$$\frac{0.6 k f'ci + k \sqrt{f'ci}}{h} = \frac{\frac{P}{A_{ss}} + k \sqrt{f'ci}}{y_{ss}}$$

Despejando P_t :

$$P_t = A_{ss} \left[\frac{y_{ss} (0.6 k f'ci + k \sqrt{f'ci})}{h} - k \sqrt{f'ci} \right] \quad (\text{Ec. 11.12})$$

Número de Tendones.

Es necesario definir el tipo de tendón que se utilizará, así como sus características; para ello es conveniente auxiliarse de la tabla 11.1 o del catálogo del ANIPFAC.

TIPO	DIAMETRO (mm)	AREA (cm ²)	PESO (kg/ml)	f _{cr} (kg/cm ²)
Alambre	7	0.38485	0.302	18 900 *
	5	0.19243	0.153	18 900 *
	2	0.031416	0.024	22 000
tendón	7.94 (5/16")	0.372	0.295	18 900 *
	9.52 (3/8")	0.516	0.408	18 900 *
	12.70 (1/2")	0.929	0.735	18 900 *

* Disponibles en 270 K y en 250 K.

Tabla 11.1 Características de los Tendones.

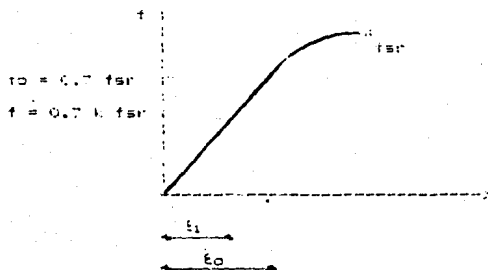
Como:

$$F = Q_s \cdot 0.7 \text{ fsr} \quad (\text{Ec. 11.13})$$

$$F_0 = Q_s \cdot 0.7 \text{ fsr} \quad (\text{Ec. 11.14})$$

Entonces:

$$N = \frac{P_t}{F} \quad (\text{Ec. 11.15})$$



Determinación de la Esfuerzabilidad Técnica.

Se obtiene con la ayuda de la ecuación 11.11, f_1 a que es en esa zona en donde se concentra la mayor cantidad de presfuerzo de la sección.

$$f_1 = \frac{P_t}{A_{ss}} + \frac{P_t \cdot e_t}{I_{ss}} = 0.6 \cdot k \cdot f_{cs}$$

Despejando:

$$e_t = \frac{I_{ss}}{P_t / (155)} \left(0.6 \cdot k \cdot f_{cs} - \frac{P_t}{A_{ss}} \right) \quad (\text{Ec. 11.16})$$

Recubrimientos.

Los recubrimientos necesarios están dados en la siguiente tabla:

CONDICION	ELEMENTO	RECURRIMIENTO (cm)
Concreto colado en contacto y permanentemente expuesto al suelo.	Cualquier tipo de Elemento Estructural	7.5
Concreto expuesto a la acción del clima.	Losas, muros y nervaduras.	2.5
	Otros elementos Estructurales	4.0
Concreto no expuesto a la acción del clima	Losas, muros y nervaduras.	2.0
	Refuerzo principal.	4.0
	Estribos espirales.	2.5
	Cascarones, placas delgadas, barras del # 5, alambres de diámetro nominal de 1.5 cm o menor.	1.0
	Otro tipo de refuerzo	db + 2.0

Tabla 11.2 Recubrimientos Libres (RCDP - 87).

Separación de Tendones.

Se debe cumplir que:

Alambres $S1 \geq 4 \phi$ alambre

Torones $S1 \geq 3 \phi$ torón

$$r_t = r_1 + \phi/2$$

$$S_t = S_1 + \phi$$

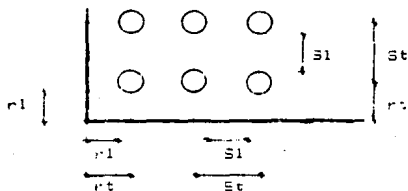
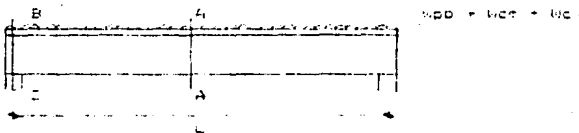
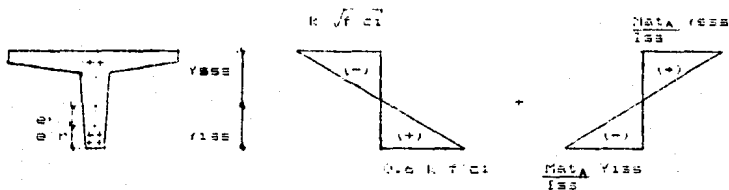


Fig. II.6 Colocación de Tendones.

Revisión de la Sección B = B en Condiciones de Servicio.



$$M_{app} = W_{tot} \cdot l_{oc}$$



$$f_s = -k \sqrt{f' c_i} = \frac{Mat. \text{ yess}}{Iss} \leq 0.45 f_c \quad (\text{Ec. II.17})$$

$$f_i = 0.6 k f' c_i = \frac{Mat. \text{ riss}}{Iss} \leq 1.6 \sqrt{f' c} \quad (\text{Ec. II.18})$$

Al comparar los esfuerzos actuantes (f_a), contra los esfuerzos permisibles (f_p); podemos tener alguna de las siguientes opciones:

1a. Opción

$$f_a > f_p$$

La sección es escasa, y habra que aumentarla.

2a. Opción

$$f_a \text{ ligeramente } > f_p$$

La sección se mantiene.

Se aumenta el diagrama de presfuerzo, pero se engrasan los tendones en la sección B.

Se coloca acero de refuerzo ordinario en la zona central (al centro del claro).

3a. Opción

$$f_a < f_p$$

Se reduce la sección transversal.

4a. Opción

$$f_a \text{ ligeramente } > f_p$$

Se mantiene la sección.

Se reduce el presfuerzo.

5a. Opción

$$f_a = f_p$$

Se mantiene la sección.

Cuando estemos en alguno de los casos anteriores, se toman las medidas indicadas en cada uno de ellos.

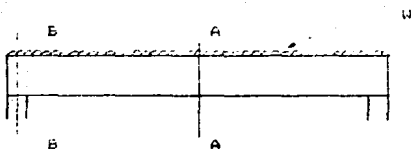
Para la colocación de los tendones, se ubicarán aproximadamente el 80 % en la parte inferior de la sección (debiendo ser pares), y el 20 % restante en la parte superior.

Obtención de la Excentricidad Real.

Finalmente, en base al acomodado final y con auxilio de los momentos estáticos se obtiene la excentricidad e .

$$e = f_{iss} - e' \quad (\text{Ec. II.19})$$

Revisión por Resistencia.



La única sección que se revisa por resistencia será la A-A (al centro del claro).

Se debe cumplir que:

$$M_{ur} \geq M_{ua}$$

en el cual:

$$M_{ua} = F.C. M_{ut}$$

La obtención de M_{ur} es a partir de un modelo matemático, el cual está basado en 7 hipótesis simplificadoras, en el equilibrio interno.

Las hipótesis simplificadoras son las siguientes:

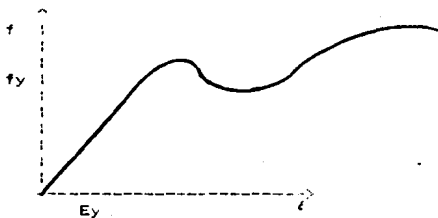
- 1) Las secciones planas antes de la deformación (debido a las cargas) permanecen planas antes y después de ella.
- 2) Existe adherencia entre el concreto y el acero de tal manera que la deformación unitaria del acero es igual a la del concreto adyacente (es válida para acero de pretensado y acero de refuerzo).

$$\epsilon_{\text{concreto}} = \epsilon_{\text{acero}}$$

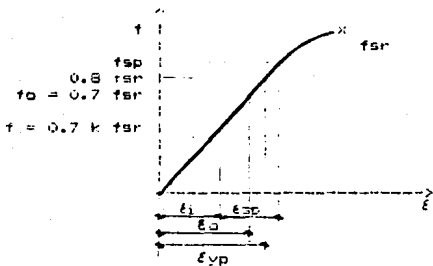
- 3) El concreto no resiste esfuerzos de tensión.
- 4) La deformación unitaria del concreto en compresión, cuando se alcanza la resistencia de la sección es 0.003.

$$\epsilon_c = 0.003$$

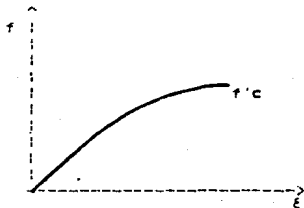
- 5) Se conoce el comportamiento del acero de refuerzo ordinario.



- 6) Se conoce el comportamiento del acero de presfuerzo.



- 7) Se conoce el comportamiento del concreto simple.



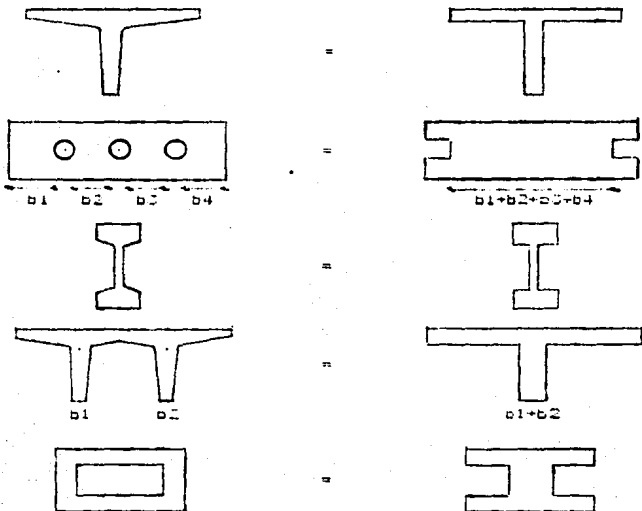
Para la obtención de Mu, las secciones simples se clasifican en la siguiente forma:

- Secciones Geométricamente Rectangulares.
 - * La sección trabaja como rectangular.
- Secciones Geométricamente "T".
 - * La sección trabaja como rectangular.
 - * La sección trabaja como "T".

a - t
a - t

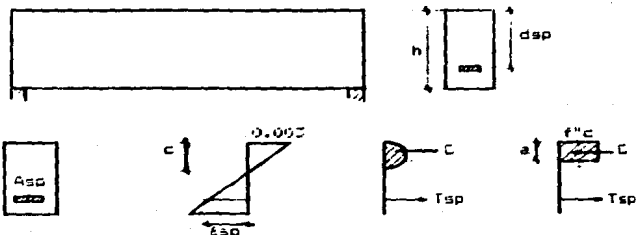
En el caso de otros tipos de elementos que no sean rectangulares, ni secciones "T"; se utilizan las secciones equivalentes para la obtención de la resistencia.

Las secciones más comunes son:



Así como en las anteriores secciones, cualquier tipo de elemento se puede transformar a una sección equivalente de tal manera que se pueda trabajar siempre con una sección "T".

Vigas de Sección Rectangular.



Donde:

- h = Peralte total de la viga.
- dsp = Peralte efectivo.
- c = Profundidad del eje neutro.
- Asp = Área del acero de pretuerzo (# tendones x Qsp)
- fsp = Deformación unitaria en los tendones en tensión debida a la flexión de la viga cuando llega a su resistencia.
- a = Profundidad del bloque de esfuerzos equivalentes.
a = 0.8 c

Obteniendo momentos con respecto a C:

$$M_{ur} = F.R. [Tsp (dsp - a/2)] \quad (Ec. 11.20)$$

$$F.R. = 0.90$$

Como:

$$C = Tsp$$

Entonces, también:

$$M_{ur} = F.R. [C (dsp - a/2)] \quad (Ec. 11.21)$$

En las cuales:

$$C = a b f'c \quad (Ec. 11.22)$$

$$Tsp = Asp fsp \quad (Ec. 11.23)$$

fsp = Esfuerzo en el acero de pretuerzo, cuando el elemento llega a su resistencia.

Para la obtención de f_{sp} , existen diversos métodos:

- Por compatibilidad de deformaciones.
- Método ACI-77 (aproximado).
- Método del RCDP-87.

En este caso solo se verá el utilizado por el RCDP-87, ya que en él se basa este tesis.

Método del RCDP-87.

En elementos total o parcialmente prestrozdados, el esfuerzo en el acero de prestuerzo f_{sp} , cuando se alcanza la resistencia, deberá valorarse a partir del equilibrio y de las hipótesis generales. Sin embargo, si se cumple que:

$$\begin{aligned} f'c &\geq 350 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{y} \\ fse &\leq 0.5 fsp \end{aligned}$$

el esfuerzo f_{sp} puede calcularse como:

$$f_{sp} = fse \left(1 + 0.5 \left(P_p / fse / f'c \right) \right) \quad (\text{Ec. 11.24})$$

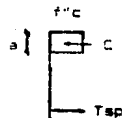
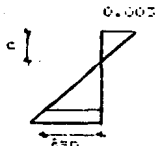
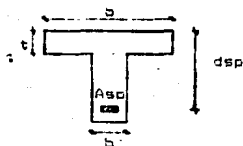
Donde:

$$P_p = \frac{A_{sp}}{b \cdot dsp} \quad (\text{Ec. 11.25})$$

Vigas de sección Geométricamente " T ".

- Se supone que la sección geométricamente " T ", trabaja como rectangular.

Se supone que $a < t$



$$C = a \cdot b \cdot f'c$$

$$T_{sp} = A_{sp} \cdot f_{sp}$$

Como:

$$C = T_{sp}$$

$$a b f''c = A_{sp} f_{sp}$$

$$a = \frac{A_{sp} f_{sp}}{b f''c}$$

Entonces:

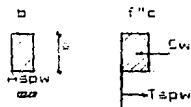
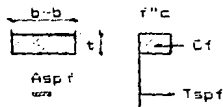
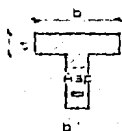
$$\text{Si } a < t$$

$$\text{Mur} = F.R. [A_{sp} f_{sp} (d_{sp} - a, 2)]$$

Que es la misma ecuación a la obtenida cuando la seccion es geomericamente rectangular (Ec. 11.20 o Ec. 11.21).

- La seccion geomericamente " T ", trabaja como " T ".

En este caso $a > t$



En el patin:

$$b* = b - b'$$

$$C_f = t b* f''c$$

$$T_{spf} = A_{spf} f_{sp}$$

$$C_f = T_{spf}$$

$$t b* f''c = A_{spf} f_{sp}$$

$$A_{spf} = \frac{t b* f''c}{f_{sp}}$$

(Ec. 11.26)

En el alma:

$$C_w = a b' f''c$$

$$T_{spw} = A_{spw} f_{sp}$$

$$C_w = T_{spw}$$

$$a b' f''c = A_{spw} f_{sp}$$

$$a = \frac{A_{spw} f_{sp}}{b' f''c}$$

(Ec. 11.27)

Como:

$$A_{sp} = A_{spf} + A_{spw}$$

$$A_{spw} = A_{sp} - A_{spf}$$

(Ec. 11.28)

Asimismo:

$$C = C_f + C_w \quad (\text{Ec. 11.29})$$

y

$$T_{sp} = T_{spf} + T_{spw} \quad (\text{Ec. 11.30})$$

Finalmente:

$$M_{ur} = F.R. [C_f (d_{sp} - t/2) + C_w (d_{sp} - a)] \quad (\text{Ec. 11.31})$$

$$M_{ur} = F.R. [T_{spf} (d_{sp} - t/2) + T_{spw} (d_{sp} - a/2)] \quad (\text{Ec. 11.32})$$

Revisión por Tipo de Falla.

El ACDF-87 requiere que en los elementos de concreto pretensado, la falla potencial sea dúctil; por lo que es necesario hacer la siguiente revisión:

Para hacerlo en forma sistemática, se recomienda seguir los siguientes pasos:

1.- Una vez obtenido " a ":

$$c = a/0.8$$

2.- Como:

$$\epsilon_{sp} = 0.003 (d_{sp} - c) / c$$

3.- Obteniendo:

$$\epsilon_i = 0.7 k f_{sr} / E_{sp}$$

4.- Suponiendo $\epsilon_{yp} = 0.01$

$$\frac{\epsilon_{yp}}{0.75} = \frac{0.01}{0.75} = 0.013$$

5.- Sumando:

$$\epsilon_i + \epsilon_{sp}$$

(rigurosamente se debería sumar una deformación ϵ_{des} , producida en la descarga del elemento, pero como es de menor magnitud, se la despreciará en esta revisión).

6.- Comparando:

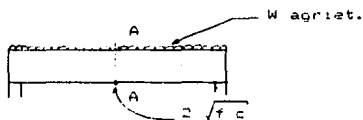
Si $\epsilon_i + \epsilon_{sp} \geq 0.013$ La falla potencial es dúctil y cumple con el reglamento.

Si $\epsilon_i + \epsilon_{sp} < 0.013$ La falla potencial es frágil y se revisará nuevamente la sección.

Revisión por Acero Mínimo.

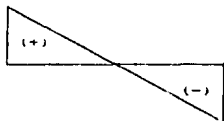
El acero a tensión, preforsado y sin preforsar, en secciones con prefuerzo total, será por lo menos el necesario para que el momento resistente de la sección sea igual a 1.2 veces su momento de agrietamiento.

$$M_{ur} \geq 1.2 M_{agriet.}$$

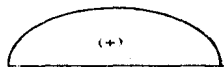


$2\sqrt{f'c}$ = Módulo de rotura del concreto.

(N)

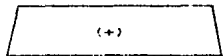


(M)



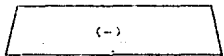
(il)

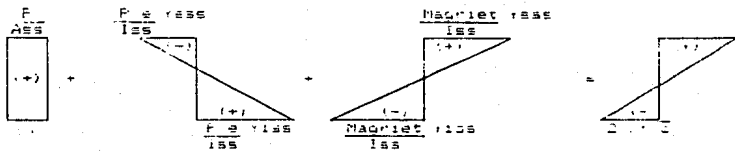
P



(M)

P e





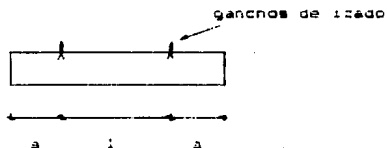
$$f_1 = \frac{P}{Ass} + \frac{P \cdot a \cdot r_{iss}}{Iss} - \frac{P \cdot a \cdot r_{iss}}{Iss} = -2 \sqrt{f'c}$$

$$M_{agriet} = \frac{\left(2 \sqrt{f'c} + \frac{P}{Ass} + \frac{P \cdot a \cdot r_{iss}}{Iss} \right) Iss}{r_{iss}} \quad (\text{Ec. 11.33})$$

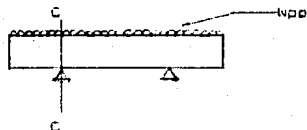
Revisión por Izado de Elementos Fretados.

Como se vio en el inicio de este capítulo, una de las etapas críticas del elemento es cuando es izado, ya sea para transportarlo de la mesa de tendido al lugar en donde será almacenado o al momento de colocarlo en su posición definitiva.

En esta etapa sólo actúa el peso propio, entonces:



Se puede idealizar como:



Sus diagramas de elementos mecánicos son:

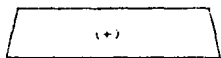
(M)



$$\frac{W_{pp} a^2}{2} = M_{appc}$$

(N)

Po



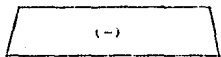
$$f'ci = 0.8 f'c$$

Po

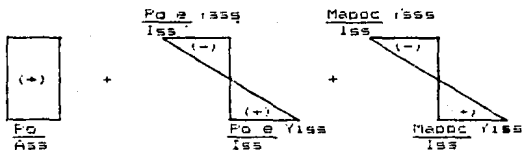
Wpp

(M)

Po e



Unicamente se revisará la sección C - C (momento máximo)



Se debe revisar que:

$$f_s = \frac{P_o}{A_{ss}} - \frac{P_o e Y_{sss}}{I_{ss}} - \frac{M_{appc} Y_{sss}}{I_{ss}} \leq \sqrt{f'ci} \quad (\text{Ec. II.34})$$

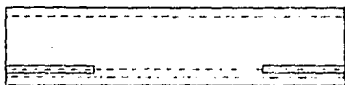
$$f_t = \frac{P_o}{A_{ss}} + \frac{P_o e Y_{sss}}{I_{ss}} + \frac{M_{appc} Y_{sss}}{I_{ss}} \leq 0.6 f'ci \quad (\text{Ec. II.35})$$

En el caso de que no se cumplan las desigualdades anteriores, las posibles alternativas son:

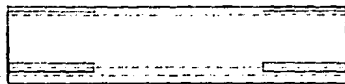
1.- Colocar acero de refuerzo adicional.



2.- Engrasar los tendones de pretuerzo.



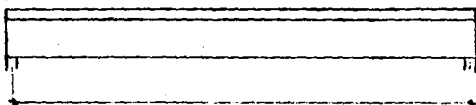
3.- Engrasar el acero de pretuerzo y colocar acero de refuerzo.



C) Ejemplo.

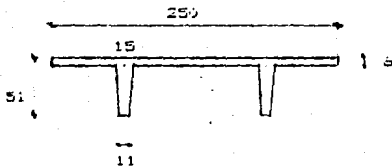
Diseñar la cubierta (sistema de piso) de un edificio de oficinas utilizando vigas "IT", cuyos datos son los siguientes:

$$\begin{aligned}w_{scm} &= 154 \text{ Kg/m}^2 \\w_{cv} &= 250 \text{ Kg/m}^2 \\f_c &= 350 \text{ Kg/cm}^2 \\f_{sr} &= 18\,900 \text{ Kg/cm}^2 \\f_y &= 4\,200 \text{ Kg/cm}^2 \\L &= 11 \text{ m} \\T_{oron} &= 0.12''\end{aligned}$$



$$L = 11 \text{ m}$$

Secciones



a) Características Geométricas.

Ya que se trata de una sección tipo, las características se obtendrán del catálogo del ANIPFAC.

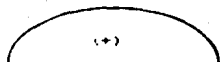
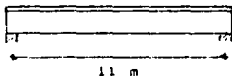
$$\begin{aligned}A_{ss} &= 2\,670 \text{ cm}^2 \\I_{ss} &= 589\,987 \text{ cm}^4 \\Y_{ss} &= 37.3 \text{ cm} \\Y_{sss} &= 13.7 \text{ cm}\end{aligned}$$

b) Analisis de Cargas.

$$\begin{aligned} w_{pp} &= & &= 841 \\ w_{cm} &= 154 (2.5) &= 385 \\ \text{Reglamento} &= 20 (2.5) &= 50 \\ w_{cv} &= 250 (2.5) &= 625 \end{aligned}$$

$$W = 1701 \text{ kg/m}$$

c. Elementos Mecanicos.

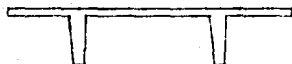


$$Mat_a = \frac{Wt l^2}{8} = \frac{1701 (11)^2}{8} = 25728 \text{ Kg-m}$$

$$Mat_b = 0$$

d. Determinación de los Esfuerzos Actuantes en la Sección A.

Se obtendrán con todas las cargas actuando, o sea, en condiciones de servicio.



$$f_1 = \frac{Mat_a}{I_{ss}} \cdot y_{1ss} = \frac{25728 (100) (27.3)}{569987} = 122.26 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_2 = \frac{Mat_a}{I_{ss}} \cdot y_{2ss} = \frac{25728 (100) (13.7)}{569987} = 59.74 \text{ Kg/cm}^2$$

b) Esfuerzos Permisibles.

Concreto

- Inmediatamente despues de la transferencia.
 $f'c_i = 0.8 f'c = 0.8 (280) = 224 \text{ kg/cm}^2$

Compresión

$$f_p = 0.6 f'c_i = 0.6 (224) = 134.4 \text{ kg/cm}^2$$

Tensión

$$f_p = \sqrt{f'c_i} = \sqrt{224} = 14.97 \text{ kg/cm}^2$$

- En condiciones de servicio.

Compresión

$$f_p = 0.45 f'c = 0.45 (350) = 157.5 \text{ kg/cm}^2$$

Tensión

$$f_p = 1.6 \sqrt{f'c} = 1.6 \sqrt{350} = 29.93 \text{ kg/cm}^2$$

Acero de prestuerzo

$$f_o = 0.7 f_{ar} = 0.7 (18\ 900) = 13\ 230 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = k f_o = 0.6 (13\ 230) = 7\ 938 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_o = Q_{sp} f_o = 0.929 (13\ 230) = 12\ 291 \text{ kg}$$

$$F = Q_{sp} f = 0.929 (7\ 938) = 7\ 403 \text{ kg}$$

Acero de refuerzo

$$f_p = 0.5 f_y = 0.5 (4\ 200) = 2\ 100 \text{ kg/cm}^2$$

f) Capacidad del Prestuerzo.

$$k \sqrt{f'c_i}$$

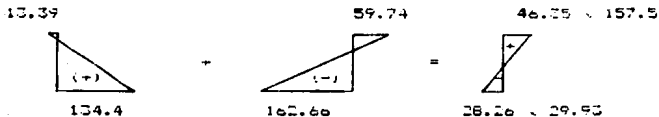


$$0.6 k \sqrt{f'c_i}$$

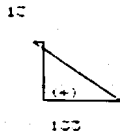
$$0.6 k \sqrt{f'c_i} = 0.6 (0.6) (280) = 100.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$k \sqrt{f'c_i} = 0.8 \sqrt{280} = 13.39 \text{ kg/cm}^2$$

g) Analisis de la Capacidad del Prestuerzo y de los Esfuerzos en Condiciones de Servicio.



Como los esfuerzos actuantes son menores que los permisibles, se acepta la seccion y se reduce ligeramente el diagrama de prestuerzo.



h) Determinación de la Fuerza de Prestuerzo Teórica.

$$P_t = A_{ps} \left[\sigma_{ps} \left(\frac{f_{ps} + f_{p1}}{n} \right) - f_{pa} \right]$$

$$P_t = 2.670 \left[13.7 \left(\frac{13 + 133}{51} \right) - 10 \right] = 70.006 \text{ Kg.}$$

i) Número de Tendones.

$$N = \frac{P_t}{F} = \frac{70.006}{9.833} = 7.12$$

Se proponen 8 tendones.

j) Prestuerzo Real.

$$F_r = N F = 8 (9.833) = 78.664 \text{ Kg.}$$

k) Obtencion de e_t .

$$e_t = \frac{f_{as}}{F_t \gamma_{as}} \left(f_{p1} - \frac{F_t}{A_{as}} \right)$$
$$e_t = \frac{589 \ 987}{70 \ 005 (37.3)} \left(133 - \frac{70 \ 006}{2 \ 670} \right) = 24.13 \text{ cm}$$

l) Colocacion de los Tendones.

$$s_1 = 3 \emptyset = 3 (1.27) = 3.81 \text{ cm} \quad \Rightarrow 4 \text{ cm}$$

$$s_t = s_1 + \emptyset = 3.81 + 1.27 = 5.08 \text{ cm} \quad \Rightarrow 5 \text{ cm}$$

$$r_1 = 2 \text{ cm} \quad \Rightarrow 2 \text{ cm}$$

$$r_t = r_1 + \emptyset/2 = 2 + 1.27/2 = 2.63 \text{ cm} \quad \Rightarrow 3 \text{ cm}$$

$$90 \% N = 0.8 (8) = 6.4 \quad \Rightarrow 6$$

$$20 \% N = 0.2 (8) = 1.6 \quad \Rightarrow 2$$

m) Obtencion de e_r .

$$e_t = \gamma_{as} - e_t$$

$$e_r = 37.3 - 24.13 = 13.17 \text{ cm}$$

Para obtener " r "

$$2 (3) + 1 (8) = 3r$$

$$r = \frac{5 + 8}{3} = 4.67 \text{ cm}$$

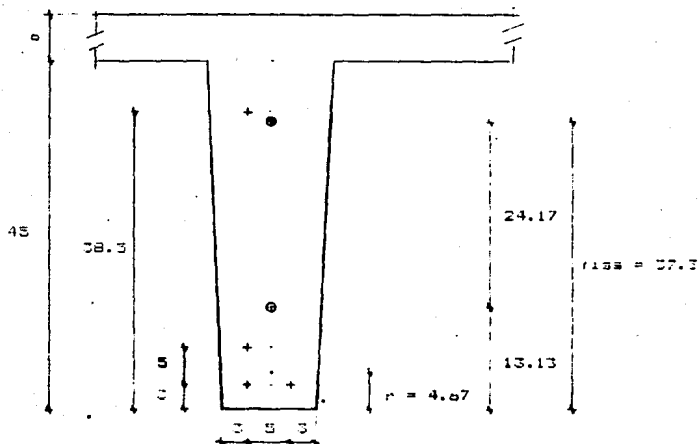
Por momentos estaticos:

$$2 (3) + 1 (8) + 1 y = 4 (13.17)$$

$$y = 4 (13.17) - 2 (3) - 1 (8) = 36.68 \text{ cm} \quad \Rightarrow 38.5 \text{ cm}$$

$$e_r = \frac{2 (3) + 1 (8) + 1 (38.5)}{4} = 13.13 \text{ cm}$$

$$e_r = \gamma_{as} - e_r = 37.3 - 13.13 = 24.17 \text{ cm}$$



n) Revisión por Esfuerzos Permisibles.

- Inmediatamente después de la transferencia de los esfuerzos (en los apoyos).

Sección B - B.

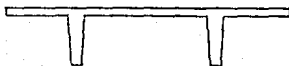
$$F_c = N F_c = 2 (12 291) = 96 328 \text{ kg.}$$

$$f_{1B} = \frac{F_c}{A_{ss}} + \frac{F_c e r}{I_{xx}} = \frac{96 328}{2 670} + \frac{96 328 (24.17)}{589 987} (37.3)$$

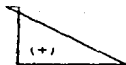
$$= 137.08 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{2B} = \frac{F_c}{A_{ss}} - \frac{F_c e r}{I_{xx}} = \frac{96 328}{2 670} - \frac{96 328 (24.17)}{589 987} (13.7)$$

$$= - 18.38 \text{ kg/cm}^2$$



$$18.36 > 16.73$$



$$187.08 > 168$$

La sección no se acepta.

- En condiciones de servicio (al centro del claro).

Sección A - A

$$P = N F = 8 (9 833) = 78 664 \text{ kg.}$$

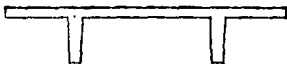
$$f_a = \frac{P}{A_{fs}} + \frac{P \cdot e_r \cdot Y_{ass}}{I_{ss}} - \frac{M_{at} \cdot Y_{ass}}{I_{ss}}$$

$$\frac{78 664}{2 670} + \frac{78 664 (24.17)}{589 987} (37.3) - 162.66 = 12.99 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = \frac{P}{A_{ss}} - \frac{P \cdot e_r \cdot Y_{ass}}{I_{ss}} + \frac{M_{at} \cdot Y_{ass}}{I_{ss}}$$

$$\frac{78 664}{2 670} - \frac{78 664 (24.17)}{589 987} (13.7) + 59.74 = 45.05 \text{ Kg/cm}^2$$

$$45.05 < 157.6$$



$$12.99 < 29.93$$

La sección es correcta.

Para la sección B - B, en la cual $f_a > f_p$ existen algunas posibles soluciones, una de ellas es la de engrasar torones.

- Engrasar los tendones en la parte extrema (tendones inferiores).

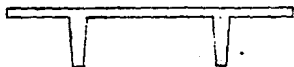
Se calcularon los esfuerzos con 6 tendones. engrasándose 2 tendones.

$$P_0 = N P_0 = 6 (12 291) = 73 746 \text{ Kg}$$

$$e_r = i_{ass} - e_r = 27.3 - 14.83 = 12.47 \text{ cm}$$

$$f_{sB} = \frac{P_0}{A_{ss}} + \frac{P_0 \cdot e_r \cdot Y_{ass}}{I_{ss}} = \frac{73 746}{2 670} + \frac{73 746 (12.47) (27.3)}{589 487} \\ = 102.38 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{sB} = \frac{P_0}{A_{ss}} - \frac{P_0 \cdot e_r \cdot Y_{ass}}{I_{ss}} = \frac{73 746}{2 670} - \frac{73 746 (12.47) (13.7)}{589 487} \\ = - 10.86 \text{ Kg/cm}^2$$



$$10.86 \times 12.73$$



$$102.38 \times 168$$

La sección es correcta.

Se acepta por esfuerzos permisibles.

n) Revisión por Resistencia.

Se revisará la sección H - H.

- Obtención de M_{ua} .

$$M_{ua} = F.C. M_a = 1.4 (25 728) = 36 019 \text{ Kg-m}$$

- Obtención de M_{ur} .

- * Obtención de f_{sp} .

$$f_c = 350 \text{ Kg/cm}^2 \\ f_s = 13 330 \text{ Kg/cm}^2$$

$$0.5 f_{sr} = 0.5 (18\ 900) = 9\ 450 \text{ Kg/cm}^2$$

Como se cumplen ambas condiciones, entonces:

$$F_p = \frac{A_{sp}}{b \cdot d_{sp}} = \frac{8 (0.929)}{250 (37.87)} = 0.000795$$

$$f'c = 0.8 f_c = 0.8 (250) = 200 \text{ kg/cm}^2 > 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f''c = \left(1.05 - \frac{f'c}{1\ 250}\right) f'c = \left(1.05 - \frac{200}{1\ 250}\right) 200 = 231.28 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{sp} = f_{sr} [1 - 0.5 (F_p f_{sr} / f''c)]$$

$$f_{sp} = 18\ 900 [1 - 0.5 (0.000795 (18\ 900) / 231.28)]$$

$$f_{sp} = 18\ 293.79 \text{ Kg/cm}^2$$

Suponiendo que la sección trabaje como rectangular:

$$a = \frac{A_{sp} f_{sp}}{b f''c} = \frac{7.402 (18\ 293.79)}{250 (231.28)} = 2.35 \text{ cm}$$

$$a = 2.35 \text{ cm} < t = 6 \text{ cm}$$

La sección trabaja como rectangular.

Entonces:

$$M_u = F.R. [A_{sp} f_{sp} (d_{sp} - a/2)]$$

$$M_u = 0.9 [7.402 (18\ 293.79) (37.87 - 2.35 / 2)]$$

$$M_u = 4\ 490\ 129 \text{ kg-cm} > M_{ua} = 3\ 601\ 900 \text{ kg-cm}$$

∴ La sección se acepta por resistencia.

o) Revisión de la Falla Potencial.

Como "a" se obtuvo en el inciso anterior:

$$c = a / 0.8 = 2.35 / 0.8 = 2.94 \text{ cm}$$

$$\epsilon_{sp} = \frac{0.003 (d_{sp} - c)}{c} = \frac{0.003 (37.87 - 2.94)}{2.94} = 0.00564$$

$$\epsilon_1 = \frac{0.75 f_{sr}}{\epsilon_{sp}} = \frac{0.75 (0.8) (18\ 900)}{0.00564} = 0.00557$$

$$\frac{\epsilon_{yp}}{0.75} = \frac{0.01}{0.75} = 0.013$$

$$\epsilon_1 + \epsilon_{sp} = 0.00557 + 0.03564 = 0.04121$$

$$\epsilon_1 + \epsilon_{sp} = 0.04121 > \frac{\epsilon_{yp}}{0.75} = 0.013$$

∴ La falla potencial es dúctil y cumple con el reglamento.

p) Revisión por Acero Mínimo.

Se debe cumplir:

$$M_{ur} = 1.2 M_{agriet}$$

$$M_{ur} = 44.901 \text{ kg-cm} = 44.901 \text{ Ton-m}$$

$$M_{agriet} = \frac{\sqrt{12} \sqrt{f_c} + \frac{P}{A_{ss}} + \frac{P_e}{I_{ss}}}{Y_{1ss}} I_{ss}$$

$$M_{agriet} = \frac{\sqrt{12} \sqrt{350} + \frac{75 \cdot 864}{2 \cdot 270} + \frac{78 \cdot 864 (24.17) (37.3)}{369 \cdot 987}}{37.3} I_{ss}$$

$$M_{agriet} = 2 \cdot 959 \cdot 153 \text{ kg-cm} = 29.59 \text{ Ton-m}$$

$$1.2 M_{agriet} = 1.2 (29.59) = 35.51 \text{ Ton-m}$$

Se concluye que:

$$M_{ur} = 44.901 \text{ Ton-m} > 1.2 M_{agriet} = 35.51 \text{ Ton-m}$$

∴ Cumple con el acero mínimo.

q) Revisión por Izado.

Para realizar esta revisión, se supondrán los ganchos de izado colocados a 1.5 m de cada extremo, entonces el momento en la sección C - C es:

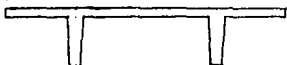
$$M_{app} = \frac{W_{pp} e^2}{2} = \frac{341 (1.5)^2}{2} = 721.13 \text{ kg-m}$$

$$\gamma_s = \frac{P_0}{A_{ss}} - \frac{P_0 e}{I_{ss}} \gamma_{ssa} - \frac{M_{apoc} \gamma_{sas}}{I_{ss}}$$

$$\frac{73\ 746}{2\ 570} - \frac{73\ 746 (22.47)}{589\ 987} (13.7) - \frac{72\ 113 (13.7)}{589\ 987} = - 12.53 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{P_0}{A_{ss}} + \frac{P_0 e}{I_{ss}} \gamma_{ssa} + \frac{M_{apoc} \gamma_{sas}}{I_{ss}}$$

$$\frac{73\ 746}{2\ 570} + \frac{73\ 746 (22.47)}{589\ 987} (37.3) + \frac{72\ 113 (37.3)}{589\ 987} = 136.94 \text{ Kg/cm}^2$$



12.53 136.94



136.94 12.53

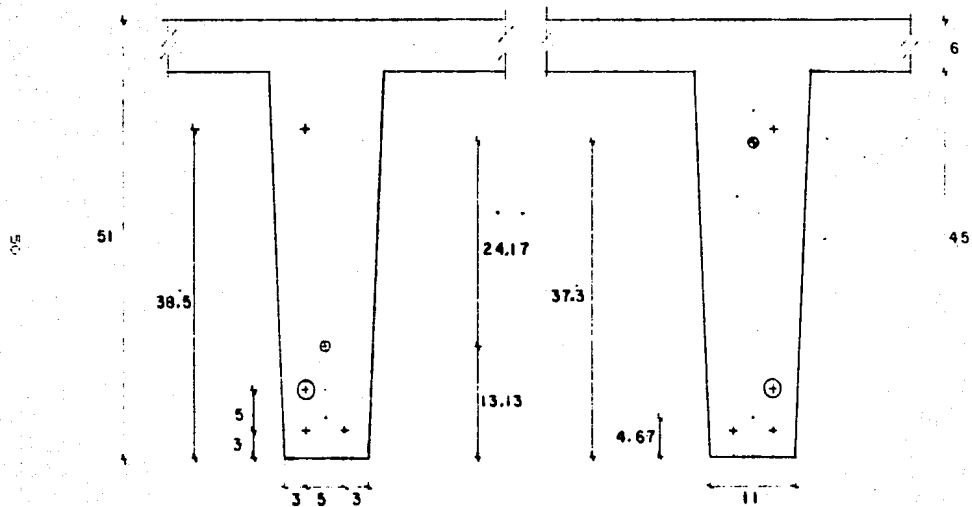
Como la seccion es aceptable, no es necesario hacer ningun tipo de refuerzo adicional.

∴ El elemento se acepta por izado.

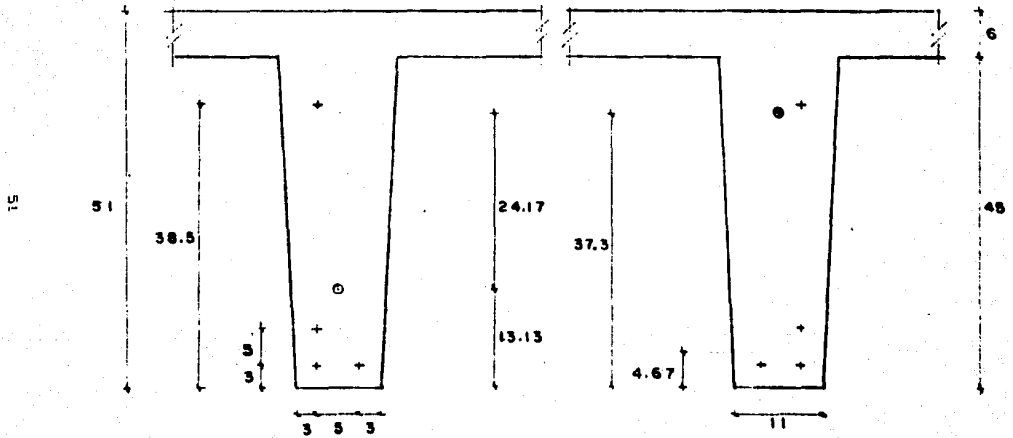
Con esta revision se concluye el diseño por flexión del elemento, por lo que se resume que la seccion es aceptable ya que cumple con todas las disposiciones del reglamento.

Faltan algunos diseños, tales como el diseño por cortante, el diseño de los extremos; pero estos salen del alcance y objetivos de esta tesis.

SECCION B



SECCION A

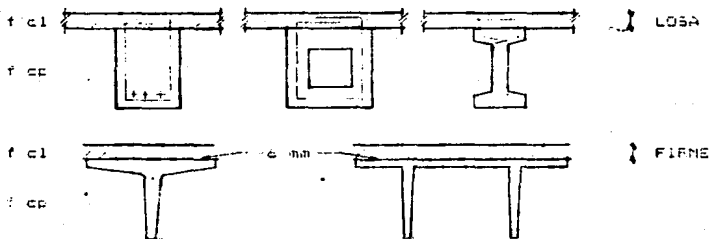


II.2 Secciones Compuestas.

A) Definición.

Sección Compuesta es la formada por la combinación de un elemento prefabricado, de concreto colado en el lugar; es decir, que se fabrica en dos o más etapas, tienen 2 o más tipos de concreto. Además de que las partes integrantes deben estar interconectadas de manera que actúen como una unidad.

Sección Compuesta = Sección Simple + $\left\{ \begin{array}{l} \text{firme} \\ \text{losa} \end{array} \right.$



Los requisitos que debe cumplir la sección compuesta son:

- * Al momento del colado del firme o de la losa, la superficie de contacto de la parte prefabricada debe estar limpia, libre de polvo y húmeda al menos 24 hrs. antes del colado y debe presentar una rugosidad de al menos 6 mm de profundidad.
- * Debe tener los conectores requeridos, con el anclaje adecuado en ambos lados, ld. (revisión por rasante).

B) Procedimiento.

Como se trata de la combinación de concreto colado en el lugar, y de un elemento prefabricado; este último se escoge, al igual que en sección simple, del catálogo del ANIFPAC.

Asimismo, se determinan la calidad de los materiales para cada etapa.

Concreto

$$f_{cp} = \begin{cases} 250 \text{ kg/cm}^2 \\ 400 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

elemento prefabricado

$$f_{cl} = f_{cl} = 250 \text{ kg/cm}^2$$

firmes o losa

Acero de Refuerzo

$$f_{er} = \begin{cases} 270 \text{ K} \\ 250 \text{ K} \end{cases}$$

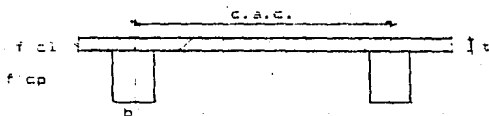
Acero de Refuerzo

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

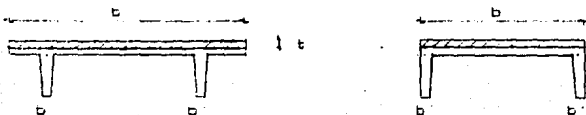
Para la obtención de las características geométricas, es necesario definir primero el ancho "b"; el cual está dado por:

$$b = \begin{cases} 1.5 t + b \\ \text{C.a.c.} \\ 1/4 \end{cases}$$

debiéndose tomar el menor de esos valores.

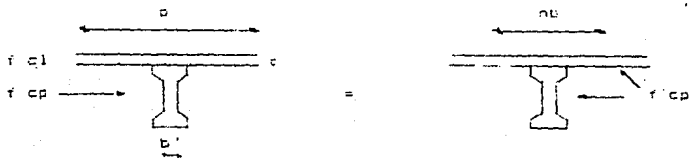


Para otro tipo de secciones:



Cuando el ancho del alma "b" sea variable, se tomará el ancho promedio.

Como casi siempre en seccion compuesta los concretos f_{cl} y f_{cp} son diferentes, entonces, el valor de "n" se reduce a un valor "nb", seccion transformada, en el que:



$$n = \frac{E_{cl}}{E_{cp}} \quad (\text{Ec. II.3a})$$

Si ambos concretos son clase I:

$$n = \frac{14\,000 \sqrt{f_{cl}}}{14\,000 / f_{cp}} = 1$$

Para obtener en forma sistemática las características geométricas de la seccion compuesta, nos podemos auxiliar de la siguiente tabla:

ELEMENTO	A	y	Ay	d	d ²	Ad ²	I
Seccion Simpla	A _{ss}	y _{ss}					I _{ss}
losa o firma	nb t	$n + \frac{t}{2}$					$\frac{1}{12} nb t^3$
	hec		ΣAy			ΣAd^2	ΣI

de la cual:

$$Y_{isc} = \frac{\sum Ay}{Asc} \quad (\text{Ec. 11.37})$$

$$y_{ssc} = h + t - y_{isc} \quad (\text{Ec. 11.38})$$

$$I_{sc} = \sum Ad^2 + \sum I \quad (\text{Ec. 11.39})$$

$$Asc = A_{ss} + n_b t \quad (\text{Ec. 11.40})$$

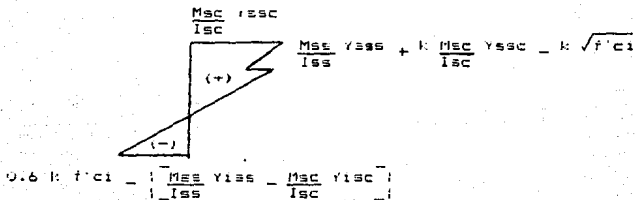
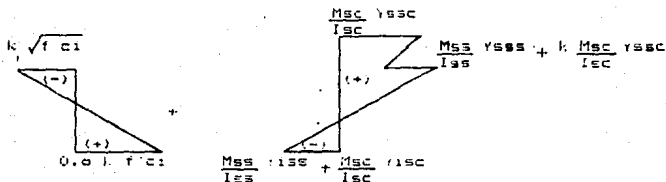
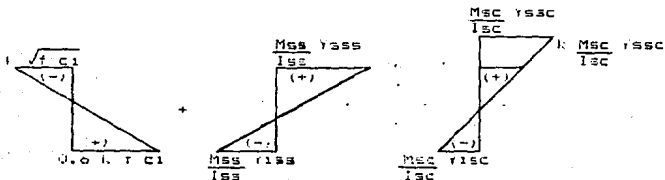
Al igual que en seccion simple: en seccion compuesta se analizarán las etapas de carga por las que atraviesa el elemento.

- 1a. Etapa El elemento se encuentra en la mesa de tensado.
 Acciones: P_o , $P_o e$
 Materiales: $f'ci = 0.9 f'c$, P_o
 Condiciones de Fronteras: Viga totalmente apoyada.
- 2a. Etapa El elemento es izado de la mesa de tensado al lugar de almacenamiento.
 Acciones: W_{pp} , P_o , $P_o e$
 Materiales: $f'ci = 0.8 f'c$, P_o
 Condiciones de Fronteras: Viga en doble voladizo.
- 3a. Etapa Durante el almacenamiento.
 Acciones: W_{pp} , P_o , $P_o e$
 Materiales: $f'ci$, P_o
 Condiciones de Fronteras: Viga simplemente apoyada.
- 4a. Etapa Izado para su transportación a la obra.
 (Igual que en la 2a. etapa).
- 5a. Etapa Izado para su colocación en la obra.
 (Igual que en la 2a. etapa).
- 6a. Etapa Colocado en sus apoyos definitivos.
 Acciones: W_{pp} , P_o , $P_o e$
 Materiales: $f'ci$, P_o
 Condiciones de Fronteras: Viga simplemente apoyada.

En la anterior gráfica, se observa que las primeras etapas son iguales a las de la sección simple, por lo que la etapa de modo se repetirá en la misma forma a como se hizo en sección simple.

A partir de la 7a. etapa el elemento empieza a trabajar como una sección compuesta y se debe tener en cuenta, en el diseño, que las características geométricas deben ser las correspondientes a las de este tipo de sección.

Análisis de la Sección Crítica A.



$$f_{s1} = \frac{M_{sc}}{I_{sc}} \leq 0.45 f_c \quad (\text{Ec. 11.41})$$

$$f_{s2} = \frac{M_{ss}}{I_{ss}} + k \frac{M_{sc}}{I_{sc}} \leq 0.45 f_c \quad (\text{Ec. 11.42})$$

$$f_{s3} = 0.6 k f_c \leq \left[\frac{M_{ss}}{I_{ss}} + \frac{M_{sc}}{I_{sc}} \right] \leq 1.0 \sqrt{f_c} \quad (\text{Ec. 11.43})$$

Con lo anterior se revisa que los esfuerzos actuantes no sobrepasen a los permisibles. El número y colocación de los tendones se realiza como se vio en sección simple, ya que los tendones se encuentran en el elemento prefabricado.

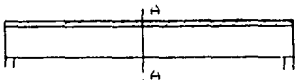
Asimismo, se realizan las revisiones por resistencia, por tipo de falla, por acero mínimo y la revisión por izado que es la misma a la realizada en sección simple; ya que en esta etapa el elemento aun no trabaja como sección compuesta.

Revisión por Resistencia de Secciones Compuestas.

Se debe verificar que:

$$M_{ur} \leq M_{ua}$$

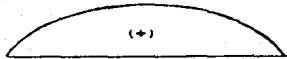
Primera mente se obtienen los diagramas de momento flexionante:



Mass
A



Masc
A



Entonces:

$$M_{ua} = F.C. \left[\frac{M_{mass}}{A} + \frac{M_{Masc}}{A} \right]$$

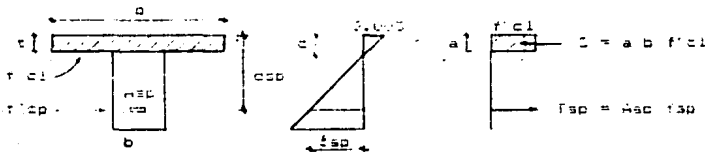
La obtención de Mur depende del tipo de sección transversal, y de la sección que trabaje (rectangular o como "T").

Vigas de sección Rectangular.

Se pueden encontrar dos casos:

- Cuando la sección trabaja como rectangular $a \leq t$
- Cuando la sección trabaja como "T" $a > t$

Caso 1. La sección trabaja como rectangular $a \leq t$.



$$C = fsp$$

$$a \cdot b \cdot f'cl = Asc \cdot fsp$$

Del reglamento RUDF-87:

$$fsp = fsr [1 - 0.5 (Pp fsr / f'cl)]$$

donde:

$$Pp = \frac{Asc}{b \cdot d}$$

entonces:

$$a = \frac{Asc \cdot fsp}{b \cdot f'cl}$$

Si $a \leq t$, entonces la sección trabaja como rectangular, y:

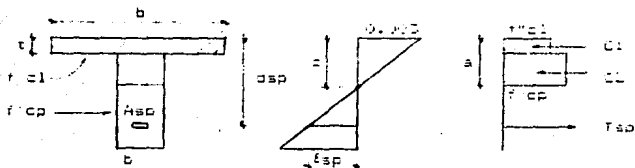
$$Mur = F.R. [Asc \cdot fsp (d - a / 2)]$$

Que es la misma ecuación a la obtenida en 11.20, pero con la diferencia de que al concreto utilizado para obtener "a" debe ser f'cl.

Después de obtenido Mur, este se compara contra Muu:

- Si $Mua > Mur$ se tiene que aumentar la sección.
- $Mua \leq Mur$ la sección es aceptada.

CASO 2. La sección trabaja como "T" (a > tf).



$$\begin{aligned} C1 &= t \cdot b \cdot f''cl \\ C2 &= (a - t) \cdot b \cdot f''cp \\ T_{ap} &= A_{sp} \cdot f_{cp} \end{aligned} \quad (\text{Ec. II.44})$$

$$\begin{aligned} T_{ap} &= C1 + C2 \\ A_{sp} \cdot f_{cp} &= t \cdot b \cdot f''cl + (a - t) \cdot b \cdot f''cp \end{aligned}$$

$$f_{cp} = f_{cp} \left[1 - 0.5 \cdot \left(\frac{f_{cp}}{f''cprom} \right) \right] \quad (\text{Ec. II.45})$$

$$f_{cp} = \frac{f''cprom}{2}$$

$$f''cprom = \frac{f''cl + f''cp}{2} \quad (\text{Ec. II.46})$$

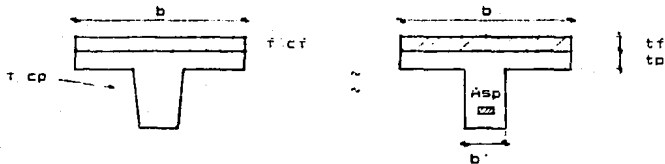
$$a = \frac{A_{sp} \cdot f_{cp} - t \cdot b \cdot f''cl}{f''cp} + t \quad (\text{Ec. II.47})$$

$$M_{ur} = F.R. : \left[C1 \left(d_{sp} - \frac{t}{2} \right) + C2 \left(d_{sp} - t - \frac{a-t}{2} \right) \right] \quad (\text{Ec. II.48})$$

VIGAS DE SECCION "T".

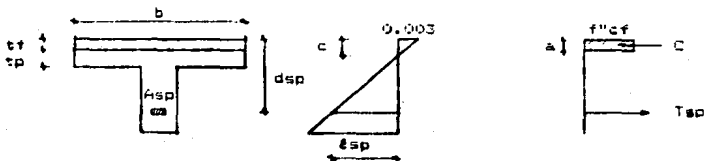
Podemos encontrar tres casos:

- Trabaja únicamente el firme. (a < tf)
- Trabaja el firme y el patin de la "T" (tf < a < tf+tp)
- Trabaja el firme, el patin y el alma de la "T" (a > tf+tp)



En casos como el anterior (al igual que en seccion simple) se toma una seccion equivalente, y para obtener el ancho " b' " se hace un promedio de los anchos del alma.

CASO 1. Sección en la que trabaja solo el firme (a ≤ tf).



$$C = a b' f''cf$$

$$Tsp = Asp fsp$$

$$C = Tsp$$

$$a b' f''cf = Asp fsp$$

despejando:

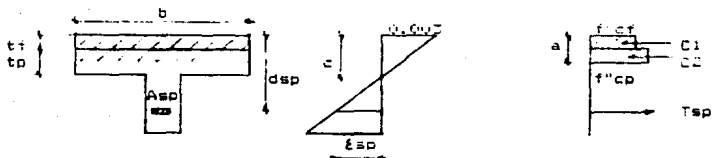
$$a = \frac{Asp fsp}{b' f''cf}$$

Si $a \leq tf$, entonces:

$$M_u = F.R. [Asp fsp (dsp - a / 2)]$$

Esta ecuación es igual a la obtenida para vigas de sección rectangular que trabajan como rectangulares.

CASO 2. Sección en la que trabaja el firme y el patín de la "T" ($tf > a \geq tf + tp$).



$$C1 = tf \cdot b \cdot f'c_f \quad (\text{Ec. II.49})$$

$$C2 = (a - tf) \cdot b \cdot f'c_p \quad (\text{Ec. II.50})$$

$$Tsp = Asp \cdot fsp$$

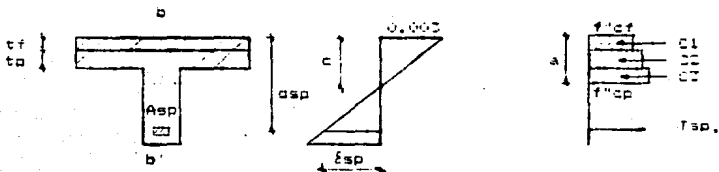
$$Tsp = C1 + C2$$

$$Asp \cdot fsp = tf \cdot b \cdot f'c_f + (a - tf) \cdot b \cdot f'c_p$$

$$a = \frac{Asp \cdot fsp - tf \cdot b \cdot f'c_f}{b \cdot f'c_p} + tf \quad (\text{Ec. II.51})$$

$$M_u = F.R. \left[C1 \left(dsp - \frac{tf}{2} \right) + C2 \left(dsp - tf - \frac{a - tf}{2} \right) \right] \quad (\text{Ec. II.52})$$

CASO 3. Sección en la que trabajan el firme, el patín y el alma de la "T" ($a > tf + tp$).



$$C1 = tf \cdot b \cdot f'c_f \quad (\text{Ec. II.53})$$

$$C2 = tp \cdot b \cdot f'c_p \quad (\text{Ec. II.54})$$

$$C3 = [a - (tf + tp)] \cdot b \cdot f'c_p \quad (\text{Ec. II.55})$$

$$Tsp = Asp \cdot fsp$$

$$I_{sp} = C1 + C2 + C3$$

$$Asp f_{sp} = t_f b f'_{cf} + t_p b f'_{cp} + [a - (t_f + t_p)] b f'_{co}$$

despejando " a " :

$$a = \frac{Asp f_{sp} - t_f b f'_{cf} - t_p b f'_{cp}}{b f'_{co}} + (t_f + t_p) \quad (\text{Ec. II.53})$$

entonces:

$$M_{ur} = F.R. \left[C1 \left(d_{sp} - \frac{t_f}{2} \right) + C2 \left(d_{sp} - t_f - \frac{t_p}{2} \right) + C3 \left(d_{sp} - t_f - t_p - \frac{a - t_f - t_p}{2} \right) \right] \quad (\text{Ec. II.54})$$

Debe tenerse cuidado al utilizar cualquiera de las formulas obtenidas para revisar por resistencia, en el tipo de seccion de que se trate, y tambien del área de la seccion que está trabajando: en el ancho " b " o " b' " y además el tipo de concreto utilizado en dicha seccion.

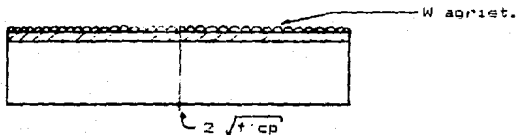
Las revisiones por tipo de falla y por izado, se realizan en la misma forma a como se obtuvo para secciones simples, por lo que ya no se detallará en esta seccion.

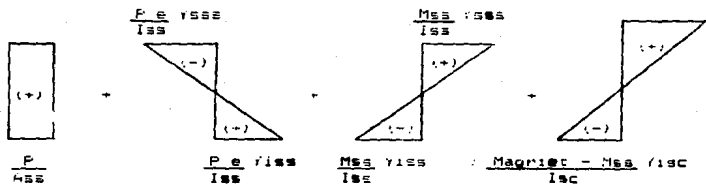
Revisión por Acero Mínimo.

Se debe verificar que:

$$M_{ur} \geq 1.3 M_{agriet.}$$

El momento M_{ur} obtenido anteriormente, no debe ser mayor que un valor especificado por el reglamento RCD-87.





$$f_1 = \frac{P}{Ass} + \frac{P e y_{iss}}{Iss} - \frac{M_{ss} y_{iss}}{Iss} - \frac{(M_{agriet} - M_{ss}) y_{isc}}{Isc} = - 2 \sqrt{f_{cp}}$$

despejando Magriet:

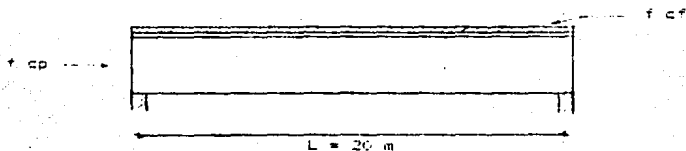
$$M_{agriet} = \frac{(2 \sqrt{f_{cp}} + \frac{P}{Ass} + \frac{P e y_{iss}}{Iss} - \frac{M_{ss} y_{iss}}{Iss}) Isc}{y_{isc}} + M_{ss} \quad (Ec. 11.57)$$

Con esta revision se termina el diseño por esfuerzos permisibles para seccion compuesta. Existen otros metodos para diseñar seccion compuesta, tales como el metodo tradicional o el metodo con apuntalamiento; pero solo difieren en la obtencion de los esfuerzos iniciales y el resto es semejante al expuesto, por lo que no se detallara mas, ya que escapa a los objetivos de esta tesis.

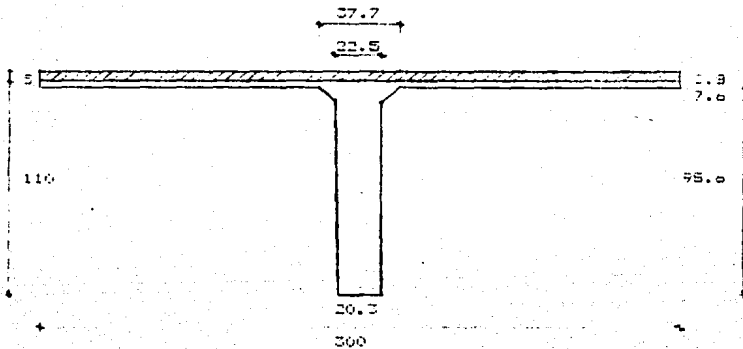
C) Ejemplo.

Diseñar el paso peatonal sobre una avenida principal, cuya sección transversal es una viga "T" de sección compuesta y sus datos son los siguientes:

$W_{scm} = 100 \text{ Kg/m}^2$
 $W_{cv} = 350 \text{ Kg/m}^2$
 $f'_{cf} = 250 \text{ Kg/cm}^2$
 $f'_{cp} = 350 \text{ Kg/cm}^2$
 $f_{sr} = 18\,900 \text{ Kg/cm}^2$
 $f_y = 4\,200 \text{ Kg/cm}^2$
 $L = 20 \text{ m}$
 Tornos = $\varnothing 1/2"$



Sección:



a) Características Geométricas.

Como se trata de una sección tipo, no es necesario recurrir a la tabla para obtener dichas características. Estas se obtienen del catálogo del HERRERA.

Sección Compuesta

$$\begin{aligned} A_{sc} &= 6\ 119\ \text{cm}^2 \\ I_{sc} &= 6\ 009\ 752\ \text{cm}^4 \\ Y_{sc} &= 87.5\ \text{cm} \\ r_{sc} &= 27.5\ \text{cm} \\ W_{sc} &= 1\ 524\ \text{kg/m} \end{aligned}$$

Sección Simple

$$\begin{aligned} A_{ss} &= 4\ 851\ \text{cm}^2 \\ I_{ss} &= 5\ 310\ 562\ \text{cm}^4 \\ Y_{ss} &= 81.0\ \text{cm} \\ r_{ss} &= 29.0\ \text{cm} \\ W_{ss} &= 1\ 124\ \text{kg/m} \end{aligned}$$

b) Análisis de Cargas.

Sección Simple.

$$W_{ss} = 1\ 524\ \text{kg/m}$$

$$Mass_A = \frac{W \cdot l^2}{8} = \frac{1\ 524 (20)^2}{8} = 76\ 200\ \text{kg} \cdot \text{m}$$

Sección Compuesta.

$$\begin{aligned} W_{scm} &= 100 (2) = 200 \\ W_{ssv} &= 350 (2) = 700 \\ \hline &1\ 050\ \text{kg/m} \end{aligned}$$

$$Mass_A = \frac{W \cdot l^2}{8} = \frac{1\ 050 (20)^2}{8} = 52\ 500\ \text{kg} \cdot \text{m}$$

c) Esfuerzos Actuantes.

Sección Simple.

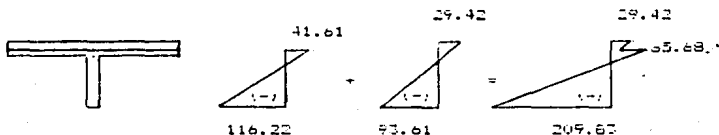
$$f_i = - \frac{Mass_A \cdot Y_{ss}}{I_{ss}} = - \frac{76\ 200 (100) (81)}{5\ 310\ 562} = - 116.22\ \text{kg/cm}^2$$

$$f_s = \frac{Mass_A \cdot Y_{ss}}{I_{ss}} = \frac{76\ 200 (100) (29)}{5\ 310\ 562} = 41.61\ \text{kg/cm}^2$$

Sección Compuesta.

$$f_1 = \frac{M_{sca} \gamma_{sca}}{I_{sc}} = \frac{27.500 (100) (87.5)}{5.309.752} = 93.61 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_2 = \frac{M_{sca} \gamma_{sca}}{I_{sc}} = \frac{27.500 (100) (27.5)}{5.309.752} = 29.42 \text{ kg/cm}^2$$



$$\frac{29.42}{\gamma_{sca}} = \frac{f}{\gamma_{sca} - 5}$$

$$f = \frac{\gamma_{sca} - 5 (29.42)}{\gamma_{sca}} = \frac{(27.5 - 5) (29.42)}{27.5} = 24.07 \text{ kg/cm}^2$$

d) Esfuerzos Permisibles.

Concreto

- Inmediatamente después de la transferencia.
 $f'_{c1} = 0.8 f'_c = 0.8 (350) = 280 \text{ kg/cm}^2$

Compresión

$$f_p = 0.8 f'_{c1} = 0.8 (280) = 168 \text{ kg/cm}^2$$

Tensión

$$f_p = \sqrt{f'_{c1}} = \sqrt{280} = 16.73 \text{ kg/cm}^2$$

- En condiciones de servicio.

Compresión

$$f_p = 0.45 f'_c = 0.45 (350) = 157.5 \text{ kg/cm}^2$$

Tensión

$$f_p = 1.6 f'_c = 1.6 (350) = 29.83 \text{ kg/cm}^2$$

Acero de pretuerzo

$$f_o = 0.7 f_{er} = 0.7 (18.900) = 13.230 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = k f_o = 0.8 (13.230) = 10.584 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_o = A_{sd} f_o = 0.429 (10\ 200) = 4\ 291\ \text{kg}$$

$$F = A_{sd} f = 0.928 (10\ 524) = 9\ 802\ \text{kg}$$

Acero de refuerzo

$$f_y = 0.5 f_y = 0.5 (4\ 200) = 2\ 100\ \text{kg/cm}^2$$

e) Capacidad del Presfuerzo en la Sección Simple.

$$f_1 = 0.6 k f' c_1 = 0.6 (0.8) (280) = 134.4\ \text{kg/cm}^2$$

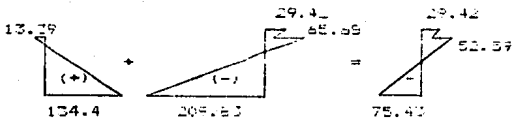
$$f_s = k \sqrt{f' c_1} = 0.3 \sqrt{280} = 13.39\ \text{kg/cm}^2$$

13.39



134.4

f) Analisis de la Sección A.

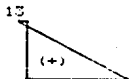


$$f_{s1} = 29.42 < 157.5$$

$$f_{s2} = 52.59 < 157.5$$

$$f_1 = 75.43 < 210.0$$

Los esfuerzos inferiores sobrepasan a los permisibles, por lo que es necesario aumentar el diagrama de presfuerzo y mantener la sección.



150

$$f_1 = 180 - 209.83 = - 29.83 < - 29.42$$

g) Determinación de la Fuerza de Presfuerzo Teórica.

$$P_t = A_{ss} \left[\gamma_{ss} \left(\frac{f_{ps} + f_{p1}}{n} \right) - f_{ps} \right]$$

$$P_t = 4.851 \left[29 \left(\frac{13 + 180}{110} \right) - 13 \right] = 183.765 \text{ kg}$$

h) Número de Tendones.

$$n = \frac{P_t}{F} = \frac{183.765}{9.833} = 18.7 \text{ tendones}$$

Se proporcionan 19 tendones.

i) Presfuerzo Real.

$$P_r = 19 (9.833) = 186.827 \text{ kg}$$

j) Excentricidad Teórica.

$$e_t = \frac{I_{ss}}{P_t \gamma_{ss}} \left(f_{p1} - \frac{P_t}{A_{ss}} \right)$$

$$e_t = \frac{5.310.565}{183.765 (81)} \left(180 - \frac{183.765}{4.851} \right) = 80.70 \text{ cm}$$

k) Colocación de los Tendones.

$S_1 = 0.0 = 3 (1.27) = 3.81 \text{ cm}$	==>	4 cm
$S_t = S_1 + 0 = 3.81 + 1.27 = 5.08 \text{ cm}$	==>	5 cm
$r_1 = 2.5 \text{ cm}$	==>	2.5 cm
$r_t = r_1 + 0.2 = 2.5 + 1.27/2 = 3.14 \text{ cm}$	==>	3.5 cm
$80 \% N = 0.8 (19) = 15.2$	==>	15
$20 \% N = 0.2 (19) = 3.8$	==>	4

1) Obtencion de e_t .

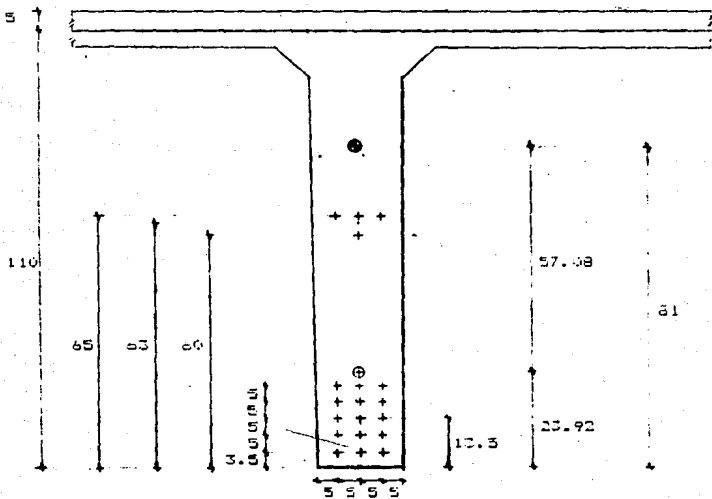
$$e_t = r_{155} - e_r$$

$$e_t = 81 - 50.7 = 30.3 \text{ cm}$$

Obteniendo r "

$$3(0.5) + 3(8.5) + 3(13.5) + 3(18.5) + 3(23.5) = 15 r$$

$$r = \frac{3(0.5 + 8.5 + 13.5 + 18.5 + 23.5)}{15} = 12.5 \text{ cm}$$



Por momentos estaticos:

$$3 (3.5 + 8.5 + 13.5 + 18.5 + 23.5) + 4y = 15 (30.3)$$

$$y = \frac{15 (30.3) - 3 (3.5 + 8.5 + 13.5 + 18.5 + 23.5)}{4} = 63 \text{ cm}$$

$$e' r = \frac{3 (3.5 + 8.5 + 13.5 + 18.5 + 23.5) + 4 (63)}{19} = 23.92 \text{ cm}$$

$$e r = y_{\text{ass}} - e' r = 81 - 23.92 = 57.08 \text{ cm}$$

m) Revisión por Esfuerzos Permisibles.

Esfuerzos debidos al pretuerzo.

- Inmediatamente despues de la transferencia (seccion B)

$$P_0 = N P_0 = 19 (12.291) = 233.529 \text{ kg}$$

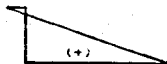
$$f_1 = \frac{P_0}{A_{\text{ass}}} + \frac{P_0 e' r}{I_{\text{ass}}}$$

$$= \frac{233.529}{4.851} + \frac{233.529 (57.08)}{5.310.562} = 251.46 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_2 = \frac{P_0}{A_{\text{ass}}} - \frac{P_0 e r}{I_{\text{ass}}}$$

$$= \frac{233.529}{4.851} - \frac{233.529 (57.08)}{5.310.562} = - 24.65 \text{ kg/cm}^2$$

$$24.65 > 16.73$$



$$251.46 > 168$$

La seccion no se acepta,
es necesario engrasar.

- En condiciones de servicio . Sección A 7 .

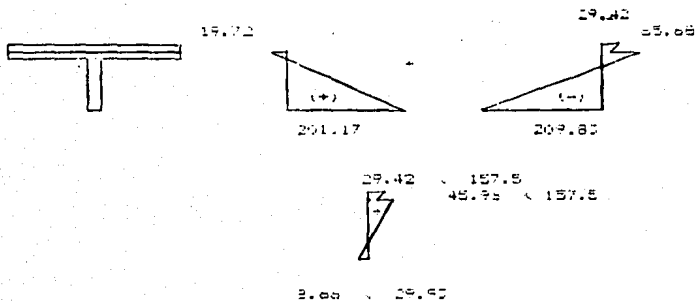
$$F = N F = 19 (9 211) = 185 217 \text{ kg}$$

$$f_1 = \frac{F}{A_{as}} + \frac{F \cdot e_r \cdot y_{ass}}{I_{as}}$$

$$= \frac{185 217}{4 951} + \frac{185 217 (57.48) (21)}{2 310 562} = 201.17 \text{ kg./cm}^2$$

$$f_2 = \frac{F}{A_{as}} - \frac{F \cdot e_r \cdot y_{ass}}{I_{as}}$$

$$= \frac{185 217}{4 951} - \frac{185 217 (57.48) (21)}{2 310 562} = 17.72 \text{ kg./cm}^2$$



La sección se acepta.

Para la sección B se propone engrasar torones en la parte inferior, para reducir los esfuerzos.

Engrasando 3 torones extremos en la parte inferior.

$$e_r = \frac{3 (3.5 + 8.5 + 13.5) + 4 (6.3)}{13} = 25.27 \text{ cm}$$

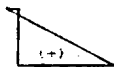
$$e_r = y_{ass} - e_r = 81 - 25.27 = 55.73 \text{ cm}$$

$$F_0 = N F_0 = 13 (12 291) = 159 783 \text{ kg}$$

$$f_1 = \frac{P_o}{A_{ss}} + \frac{P_o \cdot e_r}{I_{ss}} \\ = \frac{159.797}{4.851} + \frac{159.793 \cdot (55.73)}{5.310.562} \quad (81) = 108.76 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = \frac{P_o}{A_{ss}} - \frac{P_o \cdot e_r}{I_{ss}} \\ = \frac{159.797}{4.851} - \frac{159.793 \cdot (55.73)}{5.310.562} \quad (29) = -13.09 \text{ kg/cm}^2$$

15.09 16.73



108.76 = 108

La seccion es correcta.

n) Revision por Resistencia.

Se revisara la seccion A - A.

- Obtencion de M_{ua} .

$$M_{ua} = F.C. [M_{ua1} + M_{ua2}] \\ = 1.4 (75.200 + 67.500) = 201.180 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

- Obtencion de M_{ur} .

+ Obtencion de f_{sp} .

$$f_c = 150 \text{ kg/cm}^2 \\ 0.5 f_{sr} = 0.5 (18.900) = 9.450 \text{ kg/cm}^2 \\ f_o = 13.330 \text{ kg/cm}^2 > 0.5 f_{sr}$$

Como se cumplen ambas condiciones:

$$d_{sp} = h - r = 115 - 13.5 = 101.5 \text{ cm}$$

$$f_p = \frac{M_{sp}}{b \cdot d_{sp}} = \frac{19.10.929}{300 (101.5)} = 0.0058$$

$$f'c1 = 0.8 f'c = 0.8 (350) = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c1 = (1.05 - f'c / 1250) f'c \\ = (1.05 - 280 / 1250) (350) = 231.20 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'cp = f'cr \left[1 - 0.5 \rho \frac{f'cr}{f'c1} \right]$$

$$f'cp = 18,900 \left[1 - 0.5 (0.00058) \frac{18,900}{231.20} \right] = 18,452 \text{ kg/cm}^2$$

Suponiendo que trabaja como rectangular:

$$a = \frac{Asp f'cp}{b f'c1} = \frac{19 (0.0029) (18,452)}{300 (231.20)} = 4.67 \text{ cm}$$

$$a = 4.67 \text{ cm} < \eta t = 5 \text{ cm} \\ \therefore \text{trabaja como rectangular.}$$

entonces:

$$M_u = F.R. [Asp f'cp (dsp - a / 2)]$$

$$M_u = 0.9 [17.651 (18,452) (101.5 - 4.67 / 2)]$$

$$M_u = 29,154,771 \text{ kg} - \text{cm} = 29,650 \text{ kg} - \text{m}$$

$$M_u = 29,650 \text{ kg} - \text{m} > M_{ua} = 201,180 \text{ kg} - \text{m}$$

\therefore La seccion se acepta por resistencia.

b) Revisión de la Falla Potencial.

Con "a" obtenida en el inciso anterior:

$$c = \frac{a}{0.8} = \frac{4.67}{0.8} = 5.84 \text{ cm}$$

$$\xi_{cp} = \frac{0.002 (dsp - c)}{c} = \frac{0.002 (101.5 - 5.84)}{5.84} = 0.04896$$

$$\xi_1 = \frac{0.7 k f'cr}{Esp} = \frac{0.7 (0.8) (18,900)}{1,900,000} = 0.00557$$

$$\frac{\xi_{cp}}{0.75} = \frac{0.01}{0.75} = 0.013$$

$$\xi_{ad} + \xi_1 = \frac{\xi_0}{0.75}$$

$$0.04896 + 0.00557 = 0.013$$

$$0.05453 < 0.013$$

∴ La falla potencial es ductil

07. Revisión por Acero Mínimo.

Se debe cumplir que:

$$M_{ur} \leq 1.2 M_{agriet}$$

$$M_{ur} = 290.830 \text{ Kg} - \text{cm} = 290.83 \text{ Ton} - \text{m}$$

$$M_{agriet} = \frac{1.2 \sqrt{f'_{cd}} + \frac{0.85 f_y A_s}{M_{agriet}} + \frac{0.85 f_y A_s}{M_{agriet}} + \frac{M_{agriet}}{M_{agriet}} + \frac{M_{agriet}}{M_{agriet}}}{1.25} + M_{agriet}$$

$$= \frac{1.2 \sqrt{750} + \frac{186.827}{4.851} + \frac{186.827}{2.110.562} + (81)}{1.25} + 7.820.000$$

$$= \frac{10.300.000 + 100.000 + 81}{9.310.562} = 109.751 + 7.820.000$$

$$M_{agriet} = 16.443.553 \text{ Kg} - \text{cm} = 164.44 \text{ Ton} - \text{m}$$

$$1.2 M_{agriet} = 1.2 (164.44) = 197.32 \text{ Ton} - \text{m}$$

$$M_{ur} = 290.83 \text{ Ton} - \text{m} > 1.2 M_{agriet} = 197.32 \text{ Ton} - \text{m}$$

∴ La sección cumple con el acero mínimo.

08. Revisión por Izado.

Se suponen ganchos de izado a 1.5 m de cada extremo, con lo cual, el momento en la sección C - C es:

$$M_{apcc} = \frac{W_{pp} a^2}{2} = \frac{1.164 (1.5)^2}{2} = 1.307 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$M_{apcc} = 130.950 \text{ Kg} - \text{cm}$$

Como se han agotado 3 tornos, se revisará únicamente con los 13 restantes.

$$f_1 = \frac{P_0}{A_{ss}} + \frac{P_0 \cdot e \cdot Y_{ass}}{I_{ss}} + \frac{M_{acc} \cdot Y_{ss}}{I_{ss}}$$

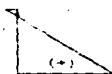
$$\frac{159.785}{4.851} + \frac{159.785 \cdot 55.75 \cdot (91)}{5.011.502} + \frac{100.200 \cdot (10)}{5.011.502} = 170.71 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_2 = \frac{P_0}{A_{ss}} + \frac{P_0 \cdot e \cdot Y_{ass}}{I_{ss}} + \frac{M_{acc} \cdot Y_{ss}}{I_{ss}}$$

$$\frac{159.785}{4.851} + \frac{159.785 \cdot 55.75 \cdot (91)}{5.011.502} + \frac{100.200 \cdot (10)}{5.011.502} = 170.71 \text{ kg/cm}^2$$



15.40 15.75

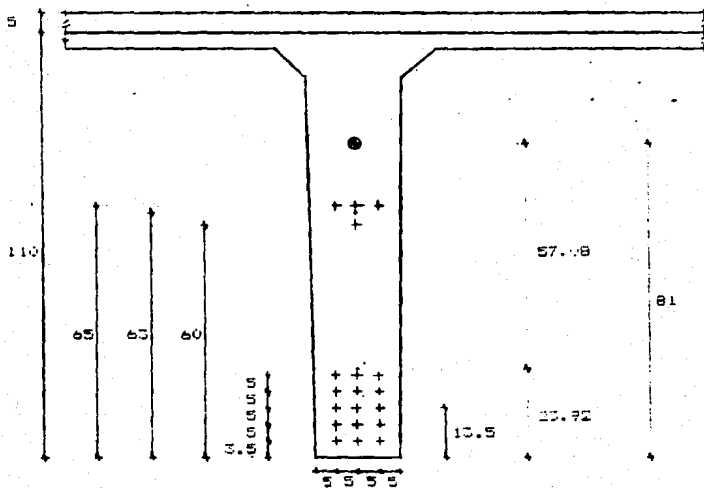


$$170.71 = 158$$

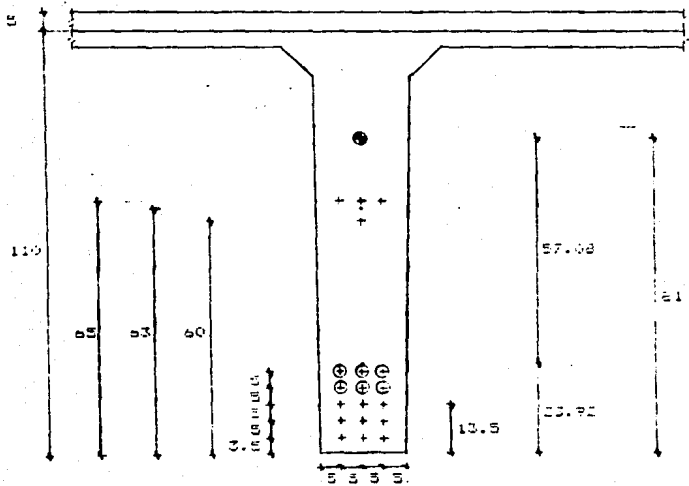
∴ La sección es correcta.

Con esta revisión se concluye el diseño por flexión de la sección compuesta, concluyéndose que la sección propuesta es aceptable, ya que cumple con las disposiciones del RCDP-87.

SECCION A



S E C T I O N E



ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

I I I C R I T E R I O D E D I S E N O
 P O R R E S I S T E N C I A

III.1 Secciones Simples.

A) Procedimiento.

B) Ejemplo.

III.2 Secciones Compuestas.

A) Procedimiento.

B) Ejemplo.

II.1 Secciones Simples.

A) Procedimiento.

El criterio de diseño por resistencia se basa principalmente en el tipo de falla del elemento.

Este tipo de falla debe ser de tipo dúctil, por lo que de acuerdo al capítulo anterior, se debe cumplir que:

$$\epsilon_1 + \epsilon_{sp} = \frac{\epsilon_{10}}{0.75}$$

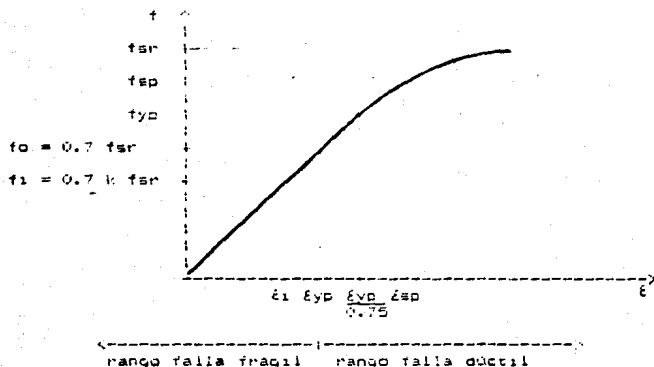


Fig. III.1 Rangos de falla en una gráfica Esfuerzo - Deformación

Para secciones simples, los conceptos expuestos en el diseño por esfuerzos permisibles, siguen siendo válidos; debido a lo cual se presentan las mismas etapas de carga, ya que estas son independientes al método de diseño que se este empleando.

Primeramente, se elige la sección transversal y se obtienen sus características geométricas del catálogo del ANIFAC.

ra que el tipo de falla nos rige este método de diseño. La cantidad máxima de acero de pretensado que podemos dar a la sección este restringido para que la falla sea dúctil. Esta área de acero (Eso) se encuentra a base de tanteos.

Tomando como base a la sección transversal que se tenga y a las cargas actuantes, se supondrá una distancia dsp, la cual nos llevará a realizar un primer tanteo. El número de tanteos será menor, mientras mejor sea la aproximación al valor real de dsp en el primer tanteo. Aquí juega un papel muy importante la experiencia del diseñador para realizar un menor número de tanteos.

Para que la falla sea dúctil, se debe cumplir:

$$\epsilon_1 + \epsilon_{sp} \leq \frac{\epsilon_{vp}}{0.75}$$

Haciendo $\epsilon_{vp} = 0.01$ e igualando, tenemos:

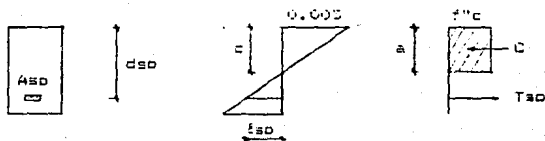
$$\epsilon_1 + \epsilon_{sp} = \frac{0.01}{0.75}$$

$$\epsilon_{sp} = 0.013 - \epsilon_1 \quad (\text{Ec. III.1})$$

donde:

$$\epsilon_1 = \frac{0.7 k f_r}{Eso} \quad (\text{Ec. III.2})$$

Conociendo el valor de ϵ_{sp} , entonces:



Por triángulos semejantes:

$$\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_{sp}}{d_{sp} - c}$$

$$0.003 (d_{sp} - c) = c \epsilon_{sp}$$

$$0.003 d_{sp} - 0.003 c = c \epsilon_{sp}$$

$$c \text{ fsp} + 0.000 c = 0.000 \text{ asp}$$

$$(\text{fsp} + 0.001) c = 0.000 \text{ asp}$$

$$c = \frac{0.000 \text{ asp}}{0.000 + \text{fsp}} \quad \text{Ec. III.3}$$

con el cual:

$$a = 0.9 c$$

Asimismo:

$$C = a b f''_{cp}$$

$$T_{sp} = \text{Asp fsp}$$

También:

$$\text{fsp} = \text{fcr} (1 - 0.5 (P_p \text{fcr} / f''_{cp}))$$

conde:

$$P_p = \frac{\text{Asp}}{b \text{ dsp}}$$

Sustituyendo ambas en fsp:

$$T_{sp} = \text{Asp fcr} \left(1 - 0.5 \frac{\text{Asp}}{b \text{ dsp}} \frac{\text{fcr}}{f''_{cp}} \right) \quad \text{(Ec. III.4)}$$

En esta ecuación, tenemos el área de acero (Asp) en forma implícita, desarrollando para dejarla en forma explícita:

$$T_{sp} = \text{Asp fcr} - \frac{\text{Asp}}{2 b \text{ dsp}} \frac{\text{fcr}}{f''_{cp}} \text{Asp fcr}$$

$$T_{sp} = \text{Asp fcr} - \frac{(\text{Asp})^2}{2 b \text{ dsp}} \frac{(\text{fcr})^2}{f''_{cp}}$$

Reordenando en la forma $ax^2 + bx + c = 0$:

$$-\frac{(\text{fcr})^2}{2 b \text{ dsp} f''_{cp}} (\text{Asp})^2 + \text{fcr} (\text{Asp}) - T_{sp} = 0$$

$$\frac{(\text{fcr})^2}{2 b \text{ dsp} f''_{cp}} (\text{Asp})^2 - \text{fcr} (\text{Asp}) + T_{sp} = 0$$

de la ecuación general de 2o. grado:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

donde:

$$a = \frac{(f_{sr})^2}{2 b \text{ dsg } f''cp}$$

$$b = -f_{sr}$$

$$c = Tsp$$

entonces:

$$\begin{aligned} x_{1,2} &= \frac{f_{sr} \pm \sqrt{(f_{sr})^2 - 4 \left(\frac{(f_{sr})^2}{2 b \text{ dsg } f''cp} \right) Tsp}}{2 \left(\frac{(f_{sr})^2}{2 b \text{ dsg } f''cp} \right)} \\ &= \frac{f_{sr} \pm \sqrt{(f_{sr})^2 - \frac{2 (f_{sr})^2 Tsp}{b \text{ dsg } f''cp}}}{\frac{(f_{sr})^2}{b \text{ dsg } f''cp}} \end{aligned}$$

como:

$$c = Tsp$$

y

$$c = a b f''cp$$

sustituyendo:

$$x_{1,2} = \frac{f_{sr} \pm \sqrt{(f_{sr})^2 - \frac{2 (f_{sr})^2 a b f''cp}{b \text{ dsg } f''cp}}}{\frac{(f_{sr})^2}{b \text{ dsg } f''cp}}$$

$$\text{Asp}_{1,2} = \frac{f_{sr} + \sqrt{(f_{sr})^2 - \frac{2}{b d_p} f_{cp} a}}{b d_p f_{cp}}$$

Factorizando:

$$\begin{aligned} \text{Asp}_{1,2} &= \frac{f_{sr} + \sqrt{(f_{sr})^2 \left(1 - \frac{2a}{b d_p}\right)}}{b d_p f_{cp}} \\ &= \frac{f_{sr}}{b d_p f_{cp}} + \frac{\sqrt{(f_{sr})^2 \left(1 - \frac{2a}{b d_p}\right)}}{b d_p f_{cp}} \end{aligned}$$

Sacando a $(f_{sr})^2$ del radical:

$$\text{Asp}_{1,2} = \frac{b d_p f_{cp}}{f_{sr}} + \frac{f_{sr} \sqrt{1 - \frac{2a}{b d_p}}}{b d_p f_{cp}}$$

Reduciendo:

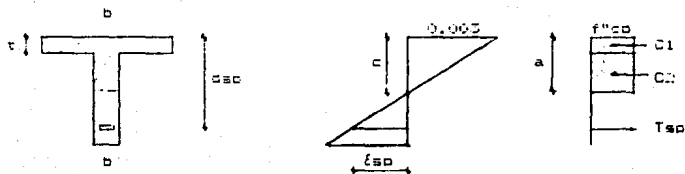
$$\begin{aligned} &= \frac{b d_p f_{cp}}{f_{sr}} + \frac{b d_p f_{cp}}{f_{sr}} \sqrt{1 - \frac{2a}{b d_p}} \\ &= \frac{b d_p f_{cp}}{f_{sr}} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2a}{b d_p}}\right) \end{aligned}$$

Finalmente, volviendo a factorizar:

$$\text{Asp}_{1,2} = \frac{(b d_p f_{cp})}{f_{sr}} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2a}{b d_p}}\right) \quad (\text{Ec. III.5})$$

La ecuación anterior, es válida cuando se trate de secciones transversales rectangulares y secciones geométricamente T que trabajen como rectangulares. Se deben cumplir: sección constante, peralte constante y prestuerzo también constante.

Secciones Geométricamente " T ". que trabajan como " T ".



De la figura:

$$C1 = t b f'_{cb}$$

$$C2 = (a - t) b f'_{cb}$$

$$C = C1 + C2$$

Como:

$$T_{sp} = C$$

Entonces:

$$T_{sp} = C1 + C2$$

$$T_{sp} = t b f'_{cb} + (a - t) b f'_{cb} \quad (\text{Ec. III.6})$$

Asimismo:

$$T_{sp} = A_{sp} f_{sp} \quad a)$$

$$f_{sp} = f_{sr} \left[1 - 0.5 \left(P_o f_{sr} / f'_{cb} \right) \right] \quad b)$$

Donde:

$$P_o = \frac{A_{sp}}{b d_{so}}$$

Sustituyendo b) en a):

$$T_{sp} = A_{sp} f_{sr} \left[1 - 0.5 \frac{A_{sp}}{b d_{so}} \frac{f_{sr}}{f'_{cb}} \right]$$

$$T_{sp} = A_{sp} f_{sr} \left[1 - \frac{A_{sp}}{2 b d_{so}} \frac{f_{sr}}{f'_{cb}} \right]$$

Reordenando en la forma $ax^2 + bx + c = 0$:

$$\frac{(f_{sr})^2}{2 b \text{ dsp } f''cp} (Asp)^2 - f_{sr} (Asp) + T_{sp} =$$

Donde:

$$a = \frac{(f_{sr})^2}{2 b \text{ dsp } f''cp}$$

$$b = - f_{sr}$$

$$c = T_{sp}$$

Sustituyendo en la ecuación general de lo. grado:

$$\begin{aligned} \text{Asp}_{1,2} &= \frac{f_{sr} \pm \sqrt{(f_{sr})^2 - 4 \left[\frac{(f_{sr})^2}{2 b \text{ dsp } f''cp} \right] T_{sp}}}{2 \left[\frac{(f_{sr})^2}{2 b \text{ dsp } f''cp} \right]} \\ &= \frac{f_{sr} \pm \sqrt{(f_{sr})^2 - \frac{2 (f_{sr})^2 T_{sp}}{b \text{ dsp } f''cp}}}{\frac{(f_{sr})^2}{b \text{ dsp } f''cp}} \end{aligned}$$

Factorizando el radicando:

$$= \frac{f_{sr} \pm \sqrt{(f_{sr})^2 \left[1 - \frac{2 T_{sp}}{b \text{ dsp } f''cp} \right]}}{\frac{(f_{sr})^2}{b \text{ dsp } f''cp}}$$

Sacando a f_{sr} del radical:

$$= \frac{f_{sr} \pm f_{sr} \sqrt{1 - \frac{2 T_{sp}}{b \text{ dsp } f''cp}}}{\frac{(f_{sr})^2}{b \text{ dsp } f''cp}}$$

$$Asp_{1.2} = \frac{b \cdot dsp \cdot f'cc}{fcr} + \frac{b \cdot dsp \cdot f'cc}{fcr} \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Tso}{b \cdot dsp \cdot f'cc}}$$

Finalmente, factorizando:

$$Asp_{1.2} = \frac{1.2 \cdot b \cdot dsp \cdot f'cc}{fcr} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Tso}{b \cdot dsp \cdot f'cc}} \right) \quad \text{Ec. III.7}$$

Con el área de acero (Asp) obtenida con la ecuación III.5 o III.7, según sea el caso, se obtiene el número de torones requerido por la sección. Dicha área de ninguna manera excederá el valor obtenido de Asp.

Los torones se ubicarán en la sección, obteniéndose el valor del dsp, el cual se comparará con el dsp supuesto; de no ser iguales, se procederá a realizar un nuevo tanteo con el nuevo dsp que casará a ser el dsp supuesto. El proceso se vuelve iterativo hasta que el dsp supuesto sea igual al dsp obt.

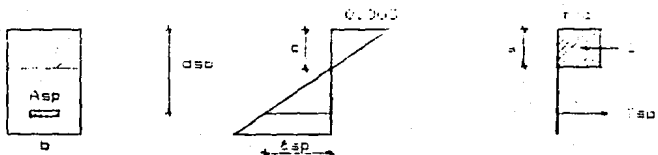
Como el número de torones obtenido de esta manera, es el límite para que el elemento tenga una falla dúctil; es decir que el momento resistente Mur es de la sección, excede en mucho al momento actuante (Mur). En base a esto podemos elegir entre dos opciones:

- Elegir otro miembro de menores dimensiones, para que el Mur sea aproximadamente igual al Muu.
- Reducir el número de torones, para optimizar el presupuesto.

Se presenta a continuación un nuevo método para encontrar el número de torones necesarios para que un elemento resista sus cargas actuantes; optimizando sus propiedades, así como el acero de pretensado.

Metodo Directo.

Seccion Rectangular.



$$C = a \cdot b \cdot f'c$$

$$T_{sp} = A_{sp} \cdot f_{sp}$$

Como:

$$C = T_{sp}$$

$$a \cdot b \cdot f'c = A_{sp} \cdot f_{sp}$$

Despejando "a":

$$a = \frac{A_{sp} \cdot f_{sp}}{b \cdot f'c} \quad \text{(Ec. III.8)}$$

$$M_u = F_{u,c} (A_{sp} \cdot f_{sp} + dsp - a / 2) \quad \text{(Ec. III.9)}$$

Por otro lado:

$$f_{sp} = f_{sr} \left[1 - 0.5 \frac{A_{sp}}{b \cdot dsp} \frac{f_{sr}}{f'c} \right] \quad \text{(Ec. III.10)}$$

Si suponemos que:

$$f_{sp} = 0.9 \cdot f_{sr} \quad \text{(Ec. III.11)}$$

Sustituyendo III.11 en III.10, y despejando dsp:

$$0.9 \cdot f_{sr} = f_{sr} \left[1 - 0.5 \frac{A_{sp}}{b \cdot dsp} \frac{f_{sr}}{f'c} \right]$$

$$1 - \frac{0.9 \cdot f_{sr}}{f_{sr}} = \frac{A_{sp}}{2 \cdot b \cdot dsp} \frac{f_{sr}}{f'c}$$

$$0.1 = \frac{A_{sp}}{2} \frac{f_{sr}}{b d_{sp} f'c}$$

$$d_{sp} = \frac{A_{sp} f_{sr}}{0.2 b f'c} \quad (\text{Ec. III.12})$$

Sustituyendo III.2, III.11 y III.12 en III.9:

$$\begin{aligned} \text{MUR} &= \text{F.R.} \left[\frac{A_{sp} (0.7 f_{sr})}{2} \left(\frac{A_{sp} f_{sr}}{0.2 b f'c} - \frac{(0.7) A_{sp} f_{sr}}{2 b f'c} \right) \right] \\ &= \text{F.R.} \left[\frac{4.5 (A_{sp})^2 (f_{sr})^2}{b f'c} - \frac{0.495 (A_{sp})^2 (f_{sr})^2}{b f'c} \right] \\ &= \text{F.R.} \left[\frac{4.005 (A_{sp})^2 (f_{sr})^2}{b f'c} \right] \end{aligned}$$

Sustituyendo M_{ua} por M_{ur} :

$$\frac{M_{ua}}{\text{F.R.}} = \frac{4.005 (A_{sp})^2 (f_{sr})^2}{b f'c}$$

Despejando A_{sp} :

$$A_{sp} = \sqrt{\frac{M_{ua} (b) (f'c)}{4.005 \text{ F.R.} (f_{sr})^2}} \quad (\text{Ec. III.13})$$

Con esta ecuación, podemos obtener el área de acero (A_{sp}) necesaria para que la sección tenga una resistencia adecuada al actuar el momento último.

El área de acero obtenida no es la definitiva (pero sí muy aproximada a la real), ya que se partió de suponer un f_{sp} . Por tal motivo es necesario comprobar que el f_{sp} supuesto, es igual al f_{sp} real; por lo que hay que obtener ese f_{sp} :

$$f_{sp} = f_{sr} \left[1 - 0.5 \frac{A_{sp} f_{sr}}{b d_{sp} f'c} \right]$$

Para esta ecuación, se tiene que obtener el " d_{sp} " correspondiente con el área de acero obtenida en el primer tanteo.

Una vez obtenido el nuevo f_{sp} , se sustituye en la ecuación III.8, obteniéndose el valor de " a ".

Por otra parte, partiendo de la ecuación III.9, haciendo que $M_{ur} = M_{ua}$:

$$M_{ua} = F.R. [Asp fsp (dsp - a)] \quad (3)$$

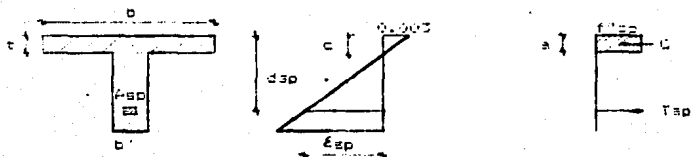
despejando Asp :

$$Asp = \frac{M_{ua}}{F.R. fsp (dsp - a)} \quad \text{ec. III.14.}$$

Sustituyendo los valores obtenidos en III.14, se obtiene una nueva Asp. Se comparan los valores de Asp, si estos son iguales el proceso termina; en caso contrario, el proceso se vuelve iterativo hasta encontrar el valor correcto de Asp.

Sección Geométrica

CASO 1. La sección trabaja como rectangular (a < t).



$$C = a b f' c$$

$$T_{sp} = Asp f_{sp}$$

El planteamiento es similar al de la sección rectangular, por lo que:

$$Asp = \sqrt{\frac{M_{ua} (a b f' c)}{4.095 F.R. (fsp)}}$$

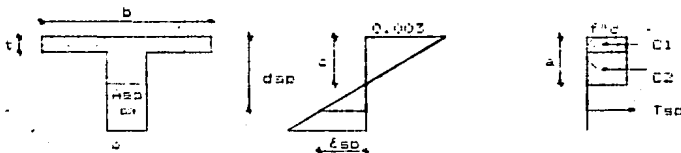
$$fsp = f_{sp} \left[1 - 0.5 \frac{Asp f_{sp}}{b dsp f' c} \right]$$

$$A = \frac{M_{sp} T_{sp}}{b f c}$$

$$A_{sp} = \frac{M_u}{F.R. f_{sp} (d_{sp} - a)} \quad (1)$$

Si en la primera iteración se obtiene un valor de A_{sp} que hace que el valor de "a" sea mayor que "t", entonces la sección se tendría que revisar como sección "T" y las ecuaciones obtenidas ya no serían válidas.

CASO 2. La sección trabaja como "T" ($a > t$).



En el patín:

$$C_f = t b f'_c$$

$$f_{sp} T_{sp} = A_{sp} f_{sp}$$

$$C_f = f_{sp} T_{sp}$$

$$t b f'_c = A_{sp} f_{sp}$$

$$A_{sp} = \frac{t b f'_c}{f_{sp}} \quad (Ec. III.15)$$

En el alma:

$$C_w = a b_w f'_c$$

$$f_{sp} T_{sp} = A_{sp} f_{sp}$$

$$C_w = f_{sp} T_{sp}$$

$$a b_w f'_c = A_{sp} f_{sp}$$

$$a = \frac{A_{sp} f_{sp}}{b_w f'_c} \quad (Ec. III.16)$$

$$A_{sp} = A_{sp} + A_{spw}$$

$$A_{spw} = A_{sp} - A_{sp} \quad (Ec. III.17)$$

Si la sección trabaja como "T", entonces, con el área de acero obtenida en la primera iteración (suponiendo que trabaja como rectangular), se obtiene el valor de f_{sp} :

$$f_{sp} = f_y \left[1 - 0.5 \frac{A_{sp}}{b d_{sp}} \frac{f_y}{f'_c} \right] \quad (Ec. III.18)$$

el valor de "d_{sp}" se obtiene colocando el A_{sp} del iter. tanteo en la sección.

Con el valor de f_{sp} , se obtiene A_{sp} de la ecuación III.15:

Con la ayuda de la ecuación III.15, se obtiene el valor de "a".
De la ecuación III.15:

$$\begin{aligned} M_{ur} &= F.R. [f_{sp} (d_{sp} - \tau/2) + (f_{sp} - f_{sc}) (d_{sc} - a)] \\ &= F.R. [f_{sp} (d_{sp} - \tau/2) + (f_{sp} - f_{sc}) (f_{sp} - f_{sc}) (d_{sp} - a)] \\ \frac{M_{ur}}{F.R.} &= f_{sp} (d_{sp} - \frac{\tau}{2}) + (f_{sp} - f_{sc}) (d_{sp} - \frac{a}{2}) \end{aligned}$$

Haciendo $M_{ur} = M_{ua}$, y despejando f_{sp} :

$$f_{sp} = \frac{\frac{M_{ua}}{F.R.} - f_{sc} (d_{sp} - \frac{\tau}{2})}{d_{sp} (d_{sp} - \frac{a}{2})} + f_{sc} \quad (\text{Eq. III.17})$$

Al igual que en sección rectangular, el proceso es iterativo hasta que los valores de f_{sp} sean iguales.

Con el área de acero (A_{sp}) obtenida con las ecuaciones III.14 o III.17, según sea el caso, se obtiene el número de torones requerido por la sección para resistir el momento actuante.

En este método de diseño, el 100 % de los torones se colocan en la parte inferior de la sección.

Teniendo el número de torones necesarios, así como su acomodación en la sección, se procederá entonces a su revisión.

Las revisiones necesarias en este método de diseño, son las mismas a las realizadas en el método de diseño por esfuerzos permisibles, o sea:

- Revisión por Esfuerzos permisibles.
- Revisión por resistencia.
- Revisión por tipo de falla.
- Revisión por Acero Mínimo.
- Revisión por Izado.

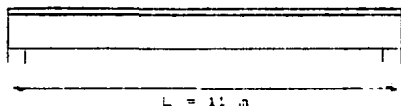
Estas revisiones se realizan en la misma forma a como se efectuaron en el diseño por esfuerzos permisibles, vistos en el capítulo anterior.

Con estas revisiones se concluye el diseño por flexión del elemento, restándole el diseño por cortante el cual queda fuera del alcance y objetivos de esta tesis.

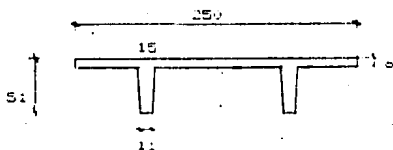
b) Ejemplo.

Disenar la cubierta (sistemas de piso) de un edificio de oficinas utilizando vigas "IT", cuyos datos son los siguientes:

$W_{scm} = 154 \text{ kg/m}^2$
 $W_{cv} = 250 \text{ kg/m}^2$
 $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$
 $f_{sr} = 18\,900 \text{ kg/cm}^2$
 $f_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$
 $L = 11 \text{ m}$
Toron = 3 1.2"



Sección:



a) Características Geométricas.

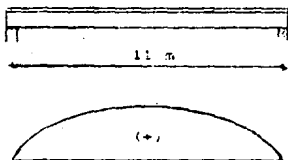
Estas características se cotarán del catálogo del ANIFAC.

$A_{ss} = 1\,670 \text{ cm}^2$
 $I_{ss} = 589\,787 \text{ cm}^4$
 $Y_{ss} = 37.3 \text{ cm}$
 $y_{ss} = 13.7 \text{ cm}$

b) Analisis de Cargas.

$$\begin{aligned}
 W_{sp} &= & &= 641 \\
 W_{cm} &= 154 (2.5) &= 385 \\
 \text{Reglamento} &= 30 (2.5) &= 50 \\
 W_{ov} &= 250 (2.5) &= 625 \\
 & & \text{-----} \\
 W &= 1701 \text{ kg/m} \\
 & & t
 \end{aligned}$$

c) Elementos Mecanicos.



$$\text{Mat}_A = \frac{Wt^3}{8} = \frac{1701 (11)^3}{8} = 25728 \text{ kg-m}$$

$$\text{Mat}_B = 0$$

d) Obtencion de Resp.

Suponiendo que la seccion trabaja como rectangular y haciendo $f_{sc} = 0.9 f_c$, podemos aplicar la ecuacion III.13. Para ello tenemos primero que obtener:

$$M_{ua} = 1.4 \text{ Mat}_A = 1.4 (25728) = 36019.20 \text{ kg-cm}$$

y ademas:

$$f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{sc} = 0.9 f_c = 0.9 (350) = 315 \text{ kg/cm}^2 > 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = \left(1.05 - \frac{f_{sc}}{1.250}\right) f_c = \left(1.05 - \frac{315}{1.250}\right) 350 = 271.25 \text{ kg/cm}^2$$

Sustituyendo en III.13:

$$Asp = \sqrt{\frac{M_{ca} (b) (f'_{cc})}{4.095 F.R. (f_{sr})}}$$

$$\sqrt{\frac{3.601.920 (250) (231.28)}{4.095 (0.9) (18.900)}} = 12.58 \text{ cm}^2$$

Se toman 14 torones, cuya $A_s = 13.01 \text{ cm}^2$

Ubicandolos en la seccion, obtenemos:

$$r = 9.43 \text{ cm}$$

Entonces:

$$dsp = n - r = 51 - 9.43 = 41.57 \text{ cm}$$

Sustituyendo en la ecuacion III.10:

$$fsp = f_{sr} \left[1 - 0.5 \frac{Asp}{a} \frac{f_{sr}}{f'_{cc}} \right]$$

$$= 18.900 \left[1 - 0.5 \frac{13.01 (18.900)}{250 (41.57) (231.28)} \right] = 17.933 \text{ kg/cm}^2$$

Obteniendo " a " :

$$a = \frac{Asp \cdot fsp}{b \cdot f'_{cc}} = \frac{13.01 (17.933)}{250 (231.28)} = 4.04 \text{ cm} \approx 5 \text{ cm}$$

∴ trabaja como rectangular.

Como trabaja como rectangular, se calculara con la ecuacion III.14 para obtener el nuevo Asp :

$$Asp = \frac{M_{ca}}{F.R. \cdot fsp \left(dsp - a/2 \right)}$$

$$\frac{3.601.920}{0.9 (17.933) (41.57 - 4.04 / 2)} = 5.57 \text{ cm}^2$$

Se toman 6 torones cuya $Asp = 5.57 \text{ cm}^2$ y se procedera a realizar una nueva iteracion.

Ubicandolos en la seccion, obtenemos:

$$r = 4.67 \text{ cm}$$

$$dsp = h - r = 51 - 4.67 = 46.33 \text{ cm}$$

$$fsp = fsp \left[\frac{1}{1} - 0.5 \frac{Asp}{o \cdot dsp} \frac{fsc}{f'c} \right]$$

$$= 18 \ 900 \left[\frac{1}{1} - 0.5 \frac{5.57 (18 \ 900)}{250 (46.33) (231.29)} \right] = 16 \ 529 \text{ kg/cm}^2$$

$$s = \frac{Asp \cdot fsp}{o \cdot f'c} = \frac{5.57 (16 \ 529)}{250 (231.29)} = 1.78 \text{ cm} < s \text{ cm}$$

∴ trabaja como rectangular.

$$Asp = \frac{Que}{F.R. \cdot fsp \cdot dsp} = 0.927$$

$$\frac{1.841 \ 500}{0.9 (18 \ 529) (46.33 - 1.78 \cdot 2)} = 4.75 \text{ cm}^2$$

Transformando el área obtenida a torones cuya área unitaria para Ø 1.2" es $Asp = 0.425 \text{ cm}^2$, obtenemos:

$$5.11 \text{ torones} \approx 5 \text{ torones}$$

se toman 5 torones, cuya $Asp = 5.57 \text{ cm}^2$ (se debe obtener un valor par en el número de torones). Como se obtuvo el mismo número de torones que en el tanteo anterior, entonces se termina el proceso iterativo.

a) Colocacion de los Tensiones.

$$S1 = S + \emptyset = 3 (1.27) = 3.81 \text{ cm} \approx 4 \text{ cm}$$

$$S2 = S1 + \emptyset = 3.81 + 1.27 = 5.08 \text{ cm} \approx 5 \text{ cm}$$

$$r1 = 2 \text{ cm}$$

$$r2 = r1 + \emptyset/2 = 2 + 1.27/2 = 2.63 \text{ cm} \approx 3 \text{ cm}$$

Obteniendo el centroide del acero de presfuerzo:

$$2 (3) + 1 (5) = 3 \cdot r$$

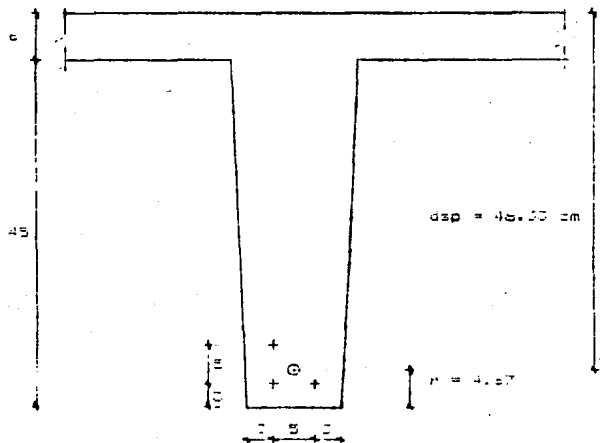
$$r = \frac{6 + 5}{3} = 4.67 \text{ cm}$$

entonces:

$$dsp = h - r = 51 - 4.67 = 46.33 \text{ cm}$$

f) Obtencion de e_r .

$$e_r = Y_{iss} - r = 37.3 - 4.67 = 32.63 \text{ cm}$$



g) Revisión por esfuerzos permisibles.

Concreto

- Inmediatamente después de la transferencia.

$$f'_{ci} = 0.9 f'_c = 0.8 (250) = 230 \text{ Kg/cm}^2$$

Compresión

$$f_b = 0.6 f'_{ci} = 0.6 (230) = 138 \text{ Kg/cm}^2$$

Tensión

$$f_b = \sqrt{f'_{ci}} = \sqrt{230} = 15.17 \text{ Kg/cm}^2$$

- En condiciones de servicio

Compresión

$$r_p = 0.45 \cdot f'c = 0.45 (3500) = 157.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Tensión

$$f_p = 1.6 \sqrt{f'c} = 1.6 \sqrt{3500} = 28.90 \text{ Kg/cm}^2$$

Acero de Prestuerzo.

$$r_o = 0.7 \cdot r_{sr} = 0.7 (18 \cdot 900) = 11 \cdot 230 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f = 0.8 \cdot f_o = 0.8 (11 \cdot 230) = 9 \cdot 584 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_o = Q_{sd} \cdot f_o = 0.927 (11 \cdot 230) = 10 \cdot 291 \text{ Kg}$$

$$F = Q_{sp} \cdot f = 0.929 (9 \cdot 584) = 8 \cdot 870 \text{ Kg}$$

REVISION

- Inmediatamente después de la transferencia de las estancias (en los apoyos) Sección E - E.

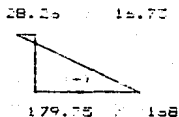
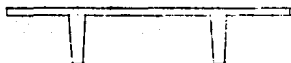
$$F_o = 0, F_o = 0 (10 \cdot 291) = 0 \cdot 291 \text{ Kg}$$

$$f_i = \frac{F_o}{A_{ps}} + \frac{F_o \cdot e}{I_{ps}}$$

$$= \frac{0 \cdot 291}{2 \cdot 670} + \frac{0 \cdot 291 (22.50)}{587 \cdot 987} = 179.75 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_s = \frac{F_o}{A_{ps}} - \frac{F_o \cdot e}{I_{ps}}$$

$$= \frac{0 \cdot 291}{2 \cdot 670} - \frac{0 \cdot 291 (22.50)}{587 \cdot 987} = -28.25 \text{ Kg/cm}^2$$



La sección no es aceptada.
Es necesario engrasar.

- En condiciones de servicio (al centro del claro)
 Sección A - A

$$P = N F = 5 (9 833) = 58 998 \text{ Kg}$$

$$f_1 = \frac{P}{A_{ss}} + \frac{P \text{ en viga}}{I_{ss}} - \frac{Mata \text{ viga}}{I_{ss}}$$

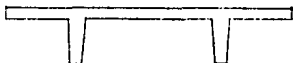
$$= \frac{58 998}{2 670} + \frac{58 998 (32.63) (37.3)}{589 987} - \frac{25 728 (100) (37.3)}{589 987}$$

$$= - 18.85 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_s = \frac{P}{A_{ss}} - \frac{P \text{ en viga}}{I_{ss}} + \frac{Mata \text{ viga}}{I_{ss}}$$

$$= \frac{58 998}{2 670} - \frac{58 998 (32.63) (37.3)}{589 987} + \frac{25 728 (100) (37.3)}{589 987}$$

$$= 37.14 \text{ Kg/cm}^2$$



$$37.14 < 157.8$$



$$16.85 < 19.90$$

La sección es correcta.

- Engrase de los tendones en la sección B - B
 Engrasando 2 tendones en la parte interior.

$$P_0 = N F_0 = 4 (12 291) = 49 164 \text{ Kg}$$

$$e_1 = 1187 - e = 37.0 - 0 = 114.3 \text{ cm}$$

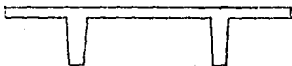
$$f_1 = \frac{P_0}{A_{ss}} + \frac{P_0 \text{ en viga}}{I_{ss}}$$

$$= \frac{49 164}{2 670} + \frac{49 164 (34.3) (37.3)}{589 987} = 125.03 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_s = \frac{P_0}{A_{ss}} - \frac{P_0 \text{ en viga}}{I_{ss}}$$

$$= \frac{49 164}{2 670} - \frac{49 164 (34.3) (37.3)}{589 987} = - 20.74 \text{ Kg/cm}^2$$

20.74 = 15.72



125.00 15.72

En la fibra superior

fa fa
ligeramente

Se propone colocar varillas de acero ordinario, cerca de los extremos.

20.74



125.00

$$F_t = \frac{20.74 \cdot 250}{2}$$

Por triángulos semejantes:

$$\frac{20.74 + 125.00}{51} = \frac{20.74}{y}$$

$$y = \frac{20.74 \cdot 51}{145.74} = 7.26 \text{ cm}$$

Sustituyendo:

$$F_t = \frac{20.74 \cdot 250 \cdot 7.26}{2} = 18.822 \text{ kg}$$

$$A_s = \frac{F_t}{f_p} = \frac{F_t}{0.5 F_y} = \frac{18.822}{2 \cdot 100} = 9.96 \text{ cm}^2$$

Se propone colocar 7 varillas de 12

$$7 \text{ Vs } \# 4 \Rightarrow A_s = 9.96 \text{ cm}^2$$

h) Revisión por Resistencia.

Se revisará la sección A - A

- Obtención de M_{ua}

$$M_{ua} = F.C. Mat_A = 1.4 (2\ 572\ 300) = 3\ 601\ 220 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

- Obtención de M_{ur}

$$M_{ur} = F.R. [Asp \ fsp (dsp - a / 2)]$$

$$M_{ur} = 0.9 (5.57 (18\ 529) (45.33 - 1.78 / 2))$$

$$M_{ur} = 4\ 220\ 270 \text{ Kg} \cdot \text{cm} = 4.20 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Como:

$$M_{ur} = 4.20 \text{ Ton} \cdot \text{m} \quad ; \quad M_{ua} = 36.02 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

∴ La sección se acepta por resistencia.

i) Revisión de la Falla Potencial.

Con el valor de " a " obtenido :

$$c = a / 1.8 = 1.78 / 1.8 = 1.10 \text{ cm}$$

$$\epsilon_{sp} = \frac{0.002 (dsp - c)}{c} = \frac{0.002 (45.33 - 1.10)}{1.10} = 0.00933$$

$$\epsilon_1 = \frac{0.7 (f_{sp})}{Esp} = \frac{0.7 (0.8) (18\ 900)}{1\ 900\ 000} = 0.00557$$

$$\epsilon_1 + \epsilon_{sp} = 0.00557 + 0.00933 = 0.0149$$

Entonces:

$$\epsilon_1 + \epsilon_{sp} = 0.0149 > \frac{\epsilon_{yb}}{0.75} = 0.013$$

∴ Se comprueba que la falla es dúctil.

1) Revisión por Acero Mínimo.

Se debe cumplir que:

$$N_{ur} \geq 1.2 \text{ Magniet.}$$

Del inciso b)

$$N_{ur} = 42.20 \text{ Ton} - m$$

Suponiendo el Magniet:

$$\text{Magniet} = \frac{\left(2 \sqrt{f_c} + \frac{P}{A_{ss}} - \frac{c \cdot \sigma_r \cdot \gamma_{ss}}{\gamma_{ss}} \right) I_{sa}}{\gamma_{ss}}$$

$$= \frac{2 \sqrt{200} + \frac{58.946}{2.270} - \frac{58.946 (11.63) (17.7)}{589.987}}{1.15} = 2.808.446 \text{ kg} - m$$

$$1.2 \text{ Magniet} = 1.2 \times 2.808.446 \text{ kg} - m = 3.370.135 \text{ kg} - m$$

$$1.2 \text{ Magniet} = 1.2 \times 28.08 \text{ Ton} - m = 33.70 \text{ Ton} - m$$

Entonces:

$$N_{ur} = 42.20 \text{ Ton} - m$$

$$1.2 \text{ Magniet} = 33.70 \text{ Ton} - m$$

∴ Cumple con el acero mínimo.

2) Revisión por Izado.

Suponiendo que los ganchos de izado están colocados a 1.5 m de cada extremo, el momento en esa sección es:

$$M_{app} = \frac{w p o \cdot a^2}{2} = \frac{210 \cdot (1.5)^2}{2} = 236.25 \text{ kg} - m$$

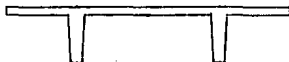
$$M_{app} = 236.25 \text{ kg} - m$$

$$f_s = \frac{P_o}{A_{ss}} = \frac{P_o \cdot \sigma_r \cdot \gamma_{ss}}{I_{sa}} = \frac{M_{app} \cdot \gamma_{ss}}{I_{sa}}$$

$$\frac{49.164}{2.270} = \frac{49.164 (11.63) (17.7)}{589.987} = \frac{236.25 (11.63)}{589.987} = 22.41 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_1 = \frac{F_0}{A_{ss}} - \frac{C_0 \text{ en } y_{iss}}{I_{ss}} + \frac{M_{apoc} \text{ en } y_{iss}}{I_{ss}}$$

$$\frac{49.184}{2 \cdot 270} = \frac{49.184 (22.7)}{589.987} (37.0) + \frac{72.115 (37.0)}{589.987} = 129.57 \text{ kg/cm}^2$$



$$22.41 \quad 12.73$$



$$129.57 \text{ kg/cm}^2$$

En la fibra superior:

$$f_a \quad f_p$$

ligeramente

Se colocaran varillas de acero ordinario en los extremos.

$$F_t = \frac{22.41 (250) y'}{2}$$

Por triángulos semejantes:

$$\frac{22.41}{51} = \frac{129.57}{y'}$$

$$y' = \frac{51 (129.57)}{129.57} = 7.62 \text{ cm}$$

Sustituyendo en F_t :

$$F_t = \frac{22.41 (250) (7.62)}{2} = 21.045 \text{ kg}$$

Entonces:

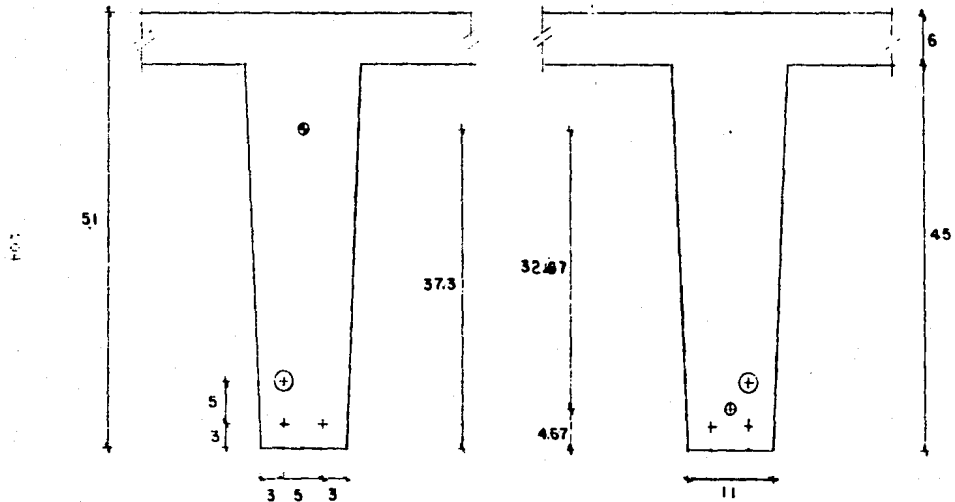
$$A_s = \frac{F_t}{f_0} = \frac{21.045}{0.5 F_y} = \frac{21.045}{2.100} = 10.02 \text{ cm}^2$$

Se colocaran 8 Vu # 4 ==> $A_s = 10.16 \text{ cm}^2$

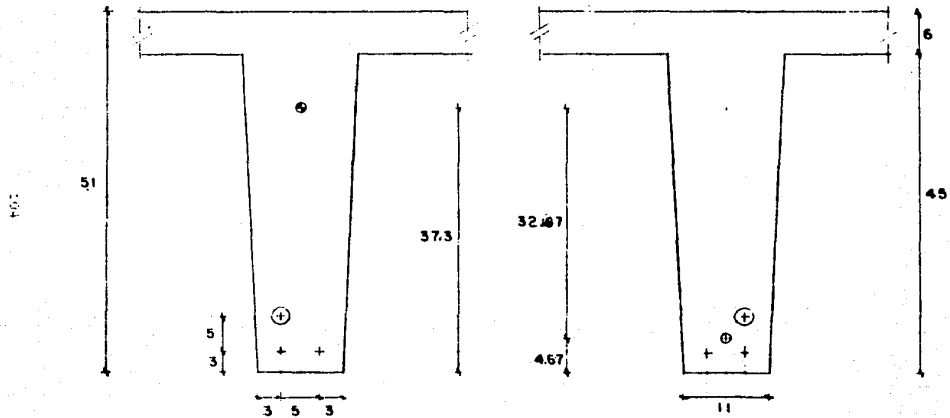
Como este valor es mayor que el obtenido en la revisión por esfuerzos permisibles, predomina, y se colocaran 8 Vu # 4 con lo cual cumple en ambas revisiones.

Con esta revisión se concluye el diseño por flexión de la sección simple, concluyéndose que la sección es aceptable y cumple con las disposiciones del RCDF-87.

SECCION B

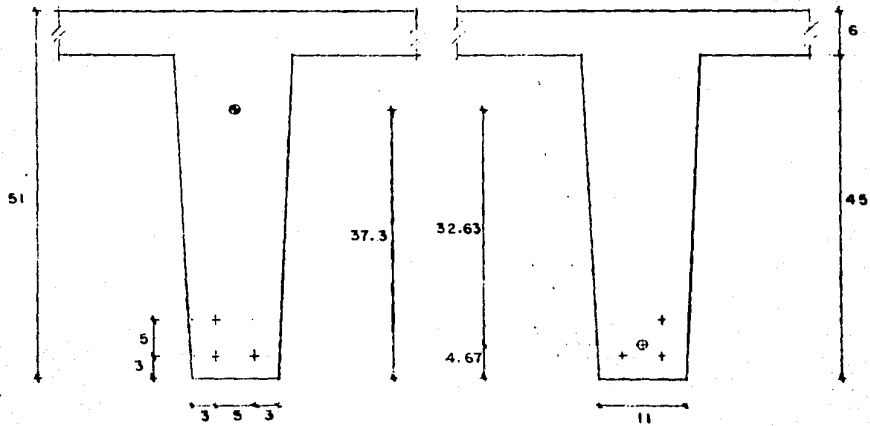


SECCION B



SECTION A

105



11.2 Secciones Compuestas.

A) Procedimiento.

El diseño de este tipo de secciones es similar al que se realiza en el Diseño por Esfuerzos Permisibles.

Primera mente se escoge el elemento, si se trata de una sección tipo, esta se elige del catálogo del ANIPFAC, determinándose también la calidad de los materiales.

Concreto

$$f_{cp} \begin{cases} 350 \text{ kg/cm}^2 \\ 400 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

Elemento
Prefabricado

$$f_{ct} , f_{ct1} = 250 \text{ kg/cm}^2$$

tirre o losa

Aceros de Prefuerzo

$$f_{sr} \begin{cases} 270 \text{ K} \\ 350 \text{ K} \end{cases}$$

Aceros de Refuerzo

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Se procede, entonces, a la obtención de las características geométricas, si es posible del catálogo del ANIPFAC, o en caso contrario con ayuda de la tabla lista en sección compuesta por esfuerzos permisibles.

Al igual que en sección simple, el área de acero (A_{so}) se obtiene a base de tanteos. Se supone una distancia d_{so} , con la cual se obtienen las distancias "c" y "a", basándose en que el tipo de falla debe de ser ductil.

$$\epsilon_{sp} + \epsilon_1 \geq \frac{\epsilon_{yc}}{0.75}$$

$$\epsilon_1 = \frac{0.7 K f_{sr}}{E_{sp}}$$

$$\epsilon_{sp} = 0.010 - \epsilon_1$$

Por triángulos semejantes, se obtiene:

$$c = \frac{0.003 \text{ dsp}}{0.003 + \ell_{sp}}$$

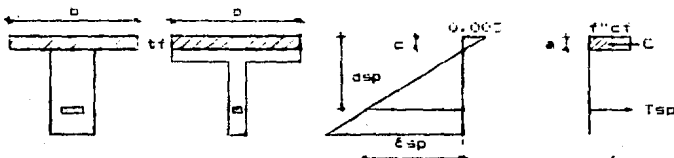
con el cual:

$$a = 0.8 c$$

Obtenido de esta manera el valor de " a ", se pueden presentar algunos casos:

- Secciones que trabajan como rectangulares ($a \leq t_f$)
- Secciones que trabajan como rectangulares ($t_f < a \leq t_f + t_p$)
- Secciones que trabajan como " T " ($a > t_f + t_p$)

Secciones que trabajan como rectangulares ($a \leq t_f$).



$$C = a b f''_{ct}$$

(Ec. III.20)

$$T_{sp} = A_{sp} f_{sp}$$

Donde:

$$f_{sp} = f_{sr} \left[1 - 0.5 F_p f_{sr} / f''_{ct} \right] \quad (\text{Ec. III.21})$$

$$F_p = \frac{A_{sp}}{b \text{ dsp}}$$

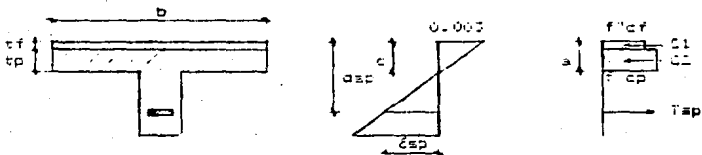
Sustituyendo en T_{sp} :

$$T_{sp} = A_{sp} f_{sr} \left[1 - 0.5 \frac{A_{sp}}{b \text{ dsp}} \frac{f_{sr}}{f''_{ct}} \right]$$

Si siguiendo un procedimiento analogo al utilizado para obtener la ecuacion III.5, tenemos entonces:

$$Asp_{1,2} = \frac{(b \cdot dsp \cdot f'c_f) \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot a}{dsp}} \right)}{f_s r} \quad (\text{Ec. III.22})$$

Secciones que trabajan como rectangulares ($tf \cdot a \leq tf + tp$)



$$C1 = tf \cdot b \cdot f'c_f$$

$$C2 = (a - tf) \cdot b \cdot f'c_p$$

Entonces:

$$\begin{aligned} Tsp &= C1 + C2 \\ &= tf \cdot b \cdot f'c_f + (a - tf) \cdot b \cdot f'c_p \quad (\text{Ec. III.23}) \end{aligned}$$

Tambien:

$$Tsp = Asp \cdot f_s r$$

Sustituyendo:

$$Tsp = Asp \cdot f_s r \left[1 - 0.5 \cdot \rho_p \cdot \frac{f_s r}{f'c_{prom}} \right] \quad (\text{Ec. III.24})$$

Donde:

$$\rho_p = \frac{Asp}{b \cdot dsp}$$

$$f'c_{prom} = \frac{f'c_f + f'c_p}{2} \quad (\text{Ec. III.25})$$

Desarrollando:

$$Tsp = Asp \cdot f_{sr} - \frac{Asp}{2} \frac{f_{sr}}{b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}}$$

Reordenando terminos:

$$\frac{(f_{sr})^2}{2 \cdot b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}} (Asp)^2 - f_{sr} (Asp) + Tsp$$

Con la ecuacion de 2o. grado:

$$1.2 \quad Asp = \frac{f_{sr}}{2} \pm \sqrt{\frac{(f_{sr})^2}{4} - \frac{(f_{sr})^2}{2 \cdot b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}} Tsp}$$

$$= \frac{f_{sr}}{2} \pm \sqrt{\frac{(f_{sr})^2}{4} - \frac{2 \cdot (f_{sr})^2 Tsp}{b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}}}$$

$$= \frac{(f_{sr})^2}{b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}}$$

Factorizando el radicando:

$$= \frac{f_{sr}}{2} \pm \sqrt{\frac{(f_{sr})^2}{4} \left(1 - \frac{2 Tsp}{b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}} \right)}$$

$$= \frac{(f_{sr})^2}{b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}}$$

Sacando a (f_{sr}) del radical:

$$= \frac{f_{sr}}{2} \pm f_{sr} \sqrt{1 - \frac{2 Tsp}{b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}}}$$

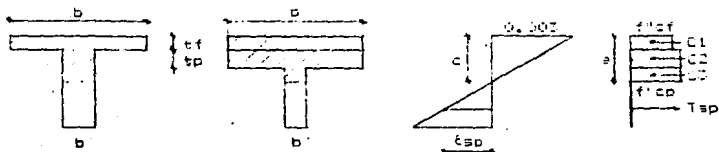
$$= \frac{(f_{sr})^2}{b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}}$$

$$= \frac{b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}}{f_{sr}} \pm b \cdot dsp \cdot f''_{cprom} \sqrt{1 - \frac{2 Tsp}{b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}}}$$

Finalmente, factorizando:

$$1.2 \quad Asp = \frac{b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}}{f_{sr}} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 Tsp}{b \cdot dsp \cdot f''_{cprom}}} \right) \quad (\text{Ec. III.26})$$

Secciones que trabajan como "T" (a > tf + tp)



$$C1 = tr \cdot b \cdot f'_{cf}$$

$$C2 = tp \cdot b \cdot f'_{cp}$$

$$C3 = C \cdot a - (tr + tp) \cdot b \cdot f'_{cp}$$

$$C = C1 + C2 + C3$$

Como :

$$Tsp = C$$

Entonces:

$$Tsp = tr \cdot b \cdot f'_{cf} + tp \cdot b \cdot f'_{cp} + C \cdot a - (tr + tp) \cdot b \cdot f'_{cp} \quad (\text{Ec. III.27})$$

Reemplazando:

$$Tsp = A_{sp} \cdot f_{sp}$$

$$f_{sp} = \frac{f_{sp}}{1} \left[1 - 0.5 \cdot Pd \cdot \frac{tr}{f'_{conprot}} \right]$$

Donde:

$$Pd = \frac{A_{sp}}{b \cdot d_{sp}}$$

y

$$f'_{conprot} = \frac{f'_{cf} + f'_{cp}}{2}$$

Sustituyendo:

$$Tsp = Asp \left[\frac{fcr}{1} - 1 \right] - 0.5 \frac{Asp}{b \cdot dsp} \frac{fcr}{f'cpróm}$$

$$Tsp = Asp \left[\frac{fcr}{2} - \frac{Asp}{2 \cdot b \cdot dsp} \frac{fcr}{f'cpróm} \right] - Asp \left[\frac{fcr}{2} - 1 \right]$$

Reordenando:

$$\frac{(fcr)^2}{2 \cdot b \cdot dsp \cdot f'cpróm} (Asp)^2 - fcr (Asp) + Tsp = 0$$

Con la ecuación general de 2o. grado:

$$-Asp = \frac{fcr + \sqrt{(fcr)^2 - 4 \left[\frac{(fcr)^2}{2 \cdot b \cdot dsp \cdot f'cpróm} \right] Tsp}}{2 \left[\frac{(fcr)^2}{2 \cdot b \cdot dsp \cdot f'cpróm} \right]}$$

Reduciendo:

$$Asp = \frac{fcr + \sqrt{(fcr)^2 - \frac{2 \cdot (fcr) \cdot Tsp}{b \cdot dsp \cdot f'cpróm}}}{\frac{(fcr)}{b \cdot dsp \cdot f'cpróm}}$$

Factorizando el radicando:

$$Asp = \frac{fcr + \sqrt{(fcr)^2 \left[1 - \frac{2 \cdot Tsp}{b \cdot dsp \cdot f'cpróm} \right]}}{\frac{(fcr)}{b \cdot dsp \cdot f'cpróm}}$$

Sacando a (fcr) del radical:

$$= \frac{fcr + fcr \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Tsp}{b \cdot dsp \cdot f'cpróm}}}{\frac{(fcr)}{b \cdot dsp \cdot f'cpróm}}$$

$$= \frac{b \cdot dsp \cdot f'cpróm + b \cdot dsp \cdot f'cpróm \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Tsp}{b \cdot dsp \cdot f'cpróm}}}{fcr}$$

Factorizando:

$$1.2 \quad \frac{b d s p f' c p r o m}{f s r} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 T s p}{b d s p f' c p r o m}} \right)$$

Ec. III.267

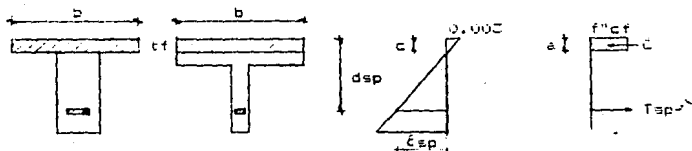
Esta última ecuación puede ser usada cuando se trate de secciones rectangulares (sección compuesta), que trabajen como "T", o sea que $a > t_f$. También se puede utilizar cuando se trate de secciones "T" que trabajen como "I", o sea cuando $a > t_f + t_p$.

El valor de T_{sp} dependerá del tipo de sección con la que se este trabajando, teniendo en cuenta que en la sección "T" está trabajando el patín, el cual no existirá si se trate de una sección rectangular.

En sección compuesta es muy importante tener en cuenta el tipo de sección con la que se este trabajando, ya sea rectangular o sección "T", para no tener equivocaciones al tomar el valor " b " o " b' ". También es importante destacar que en este tipo de sección se trabaja con dos tipos de concreto, por lo que hay que tener cuidado al aplicar las ecuaciones obtenidas.

Método Directo.

Secciones que trabajan como rectangulares ($a < t_f$).



$$C = a b f''cf$$

$$Tsp = Asp fsp$$

Como:

$$Tsp = C$$

$$Asp fsp = a b f''cf$$

despejando " a ":

$$a = \frac{Asp fsp}{b f''cf} \quad (\text{Ec. III.29})$$

$$M_u = F.R. (Asp fsp (dsp - a / 2))$$

Donde:

$$fsp = fsr \left[1 - 0.5 \frac{Asp fsr}{b dsp f''cf} \right] \quad (\text{Ec. III.30})$$

Suponiendo para un primer tanteo:

$$fsp = 0.9 fsr$$

Sustituyendo en la ecuación III.30, y despejando " dsp ":

$$0.9 fsr = fsr \left[1 - 0.5 \frac{Asp fsr}{b dsp f''cf} \right]$$

$$1 - \frac{0.9 fsr}{fsr} = \frac{Asp fsr}{2 b dsp f''cf}$$

$$0.1 = \frac{Asp \cdot f_{sr}}{2 \cdot b \cdot d_{sp} \cdot f''c_f}$$

$$d_{sp} = \frac{Asp \cdot f_{sr}}{0.2 \cdot b \cdot f''c_f} \quad (\text{Ec. III.21})$$

Sustituyendo en la ecuación de Mur:

$$Mur = F.R. \left[\frac{Asp (0.9 f_{sr})}{0.2 b f''c_f} - \frac{Asp (0.9 f_{sr})}{2 b f''c_f} \right]$$

$$= F.R. \left[\frac{4.5 (Asp)^2 (f_{sr})^2}{b f''c_f} - \frac{0.405 (Asp)^2 (f_{sr})^2}{b f''c_f} \right]$$

$$= F.R. \left[\frac{4.095 (Asp)^2 (f_{sr})^2}{b f''c_f} \right]$$

Haciendo Mur = Mua:

$$Mua = F.R. \left[\frac{4.095 (Asp)^2 (f_{sr})^2}{b f''c_f} \right]$$

Despejando Asp:

$$(Asp) = \frac{Mua (b) (f''c_f)}{F.R. (4.095) (f_{sr})^2}$$

$$Asp = \sqrt{\frac{Mua (b) (f''c_f)}{4.095 F.R. (f_{sr})^2}} \quad (\text{Ec. III.22})$$

Con esta ecuación se obtiene el área de acero (Asp) aproximada, necesaria para que la sección tenga una resistencia aceptable al actuar el momento último.

Ya que se partió de un fsp supuesto, es necesario obtener su valor real, entonces, con el área de acero obtenida y transformada a torones, se colocan estos en la sección y se obtiene su dsp correspondiente.

Con estos valores se obtiene el nuevo fsp, con:

$$f_{sp} = f_{sr} \left[1 - 0.5 \frac{Asp \cdot f_{sr}}{b \cdot d_{sp} \cdot f''c_f} \right]$$

Sustituyendo los nuevos valores en la ecuación III.20, se obtiene el valor de "a" y se verifica que a < tf. En caso de tratarse de una sección "T" se debe verificar que esta trabaje como rectangular.

Ahora, de la ecuación de M_{ur} , se despeja A_{sp} :

$$M_{ur} = F.R. \left[A_{sp} f_{sp} \left(d_{sp} - \frac{a}{2} \right) \right]$$

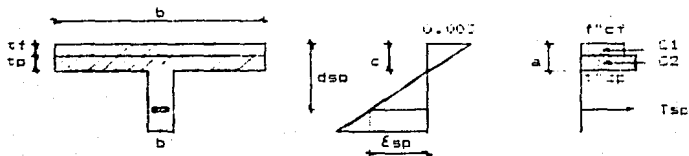
$$A_{sp} = \frac{M_{ur}}{F.R. f_{sp} \left(d_{sp} - \frac{a}{2} \right)}$$

Iguando M_{ur} con M_{ua} :

$$A_{sp} = \frac{M_{ua}}{F.R. f_{sp} \left(d_{sp} - \frac{a}{2} \right)} \quad (\text{Ec. III.33})$$

Con la ecuación III.33 se obtiene una nueva A_{sp} , la cual se comparará con la A_{sp} anterior: en caso de ser diferentes, el proceso se repetirá hasta que ambas A_{sp} sean iguales.

Secciones que trabajan como rectangulares ($t_f < a < t_f + t_o$):



$$C1 = t_f b f''_{cf}$$

$$C2 = (a - t_f) b f''_{cp}$$

$$T_{so} = A_{sp} f_{sp}$$

$$T_{eo} = 0$$

$$A_{sp} f_{sp} = t_f b f''_{cf} + (a - t_f) b f''_{cp} \quad (\text{Ec. III.34})$$

despejando "a":

$$a = \frac{A_{sp} f_{sp} - t_f b f''_{cf}}{b f''_{cp}} + t_f \quad (\text{Ec. III.35})$$

$$f_{sp} = f_{sr} \left[1 - 0.5 \frac{A_{sp}}{a d_{sp}} \frac{f_{sr}}{f''_{cprom}} \right] \quad (\text{Ec. III.36})$$

Donde:

$$f^{\text{comprom}} = \frac{f^{\text{cf}} + f^{\text{fsp}}}{2}$$

Como

$$\text{Mur} = \text{F.R.} \left[C_1 \left(\text{dsp} - \frac{\text{tf}}{2} \right) - C_2 \left(\text{dsp} - \text{tf} - \frac{a - \text{tf}}{2} \right) \right] \quad (\text{Ec. III.37})$$

De la ecuación III.34:

$$C_1 + C_2 = \text{fsp}$$

$$C_2 = \text{fsp} - C_1$$

$$C_2 = \text{Asp fsp} - C_1 \quad (\text{Ec. III.38})$$

Sustituyendo en la ecuación III.37, y despejando Asp:

$$\text{Mur} = \text{F.R.} \left[C_1 \left(\text{dsp} - \frac{\text{tf}}{2} \right) - (\text{Asp fsp} - C_1) \left(\text{dsp} - \text{tf} - \frac{a - \text{tf}}{2} \right) \right]$$

$$\frac{\text{Mur}}{\text{F.R.}} - C_1 \left(\text{dsp} - \frac{\text{tf}}{2} \right) = (\text{Asp fsp} - C_1) \left(\text{dsp} - \text{tf} - \frac{a - \text{tf}}{2} \right)$$

$$\text{Asp fsp} = \frac{\frac{\text{Mur}}{\text{F.R.}} - C_1 \left(\text{dsp} - \frac{\text{tf}}{2} \right)}{\text{dsp} - \text{tf} - \frac{a - \text{tf}}{2}} + C_1$$

Haciendo Mur = Mus:

$$\text{Asp} = \left[\frac{\frac{\text{Mus}}{\text{F.R.}} - C_1 \left(\text{dsp} - \frac{\text{tf}}{2} \right)}{\text{dsp} - \text{tf} - \frac{a - \text{tf}}{2}} + C_1 \right] \div \text{fsp} \quad (\text{Ec. III.39})$$

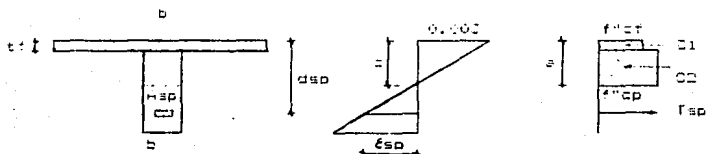
Si $\text{tf} > a > \text{tf} + \text{tp}$, entonces con ayuda del Asp obtenido en la ecuación III.32, se sustituye este en la ecuación III.38 para obtener el fsp correspondiente. Con este valor se calcula nuevamente "a" de la ecuación III.35 y se verifica si "a" cae dentro del rango de este tipo de secciones.

Con los valores de "a" y de "fsp" obtenidos, se sustituyen en la ecuación III.39 y se calcula el nuevo valor de Asp; en caso de ser igual al inicial se concluye el proceso, de lo contrario se volverá a repetir el cálculo con el nuevo Asp obtenido.

El proceso es iterativo hasta que ambos valores de Asp sean iguales.

Los valores de Asp obtenidos, siempre se transformaran a toneladas antes de realizar el siguiente cálculo.

Secciones rectangulares que trabajan como "T" (a > tf):



$$C1 = tf \cdot b \cdot f''ct$$

$$C2 = (a - tf) \cdot b \cdot f''cp$$

$$Tsp = Asp \cdot fsp$$

$$Tsp = C1 + C2$$

$$Asp \cdot fsp = tf \cdot b \cdot f''ct + (a - tf) \cdot b \cdot f''cp \quad (\text{Ec. III.40})$$

despejando "a":

$$a = \frac{Asp \cdot fsp - tf \cdot b \cdot f''ct}{b \cdot f''cp} + tf \quad (\text{Ec. III.41})$$

y

$$fsp = fsr \left[1 - 0.5 \frac{Asp}{a \cdot dsp} \frac{fsp}{f''cprom} \right]$$

Donde:

$$f''cprom = \frac{f''ct + f''cp}{2}$$

Como:

$$M_{ur} = F.R. \left[C1 \left(d_{sp} - \frac{t_f}{2} \right) + C2 \left(d_{sp} - t_f - \frac{a - t_f}{2} \right) \right] \quad \text{(Ec. III.42)}$$

De la ecuación III.40:

$$C1 + C2 = f_{sp}$$

$$C2 = f_{sp} - C1$$

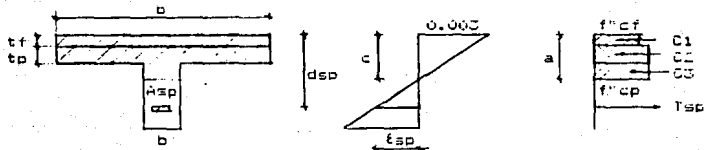
$$C2 = A_{sp} f_{sp} - C1$$

Siguiendo un procedimiento similar al utilizado para obtener la ecuación III.37:

$$A_{sp} = \frac{\frac{M_{ur}}{F.R.} - C1 \left(d_{sp} - \frac{t_f}{2} \right)}{d_{sp} - t_f - \frac{a - t_f}{2}} + C1 \div f_{sp} \quad \text{(Ec. III.43)}$$

Si se trata de una sección rectangular que trabaja como una " T ", entonces, con el A_{sp} obtenida de la ecuación III.32 se obtiene el valor de f_{sp} , calculando previamente el valor del d_{sp} correspondiente. Con este valor se sustituye en la ecuación III.41 y se verifica que $a > t_f$, procediendo a calcular el nuevo valor de A_{sp} con la ecuación III.43; y se compara con el valor de A_{sp} anterior. Si estos valores son iguales, el proceso se termina de lo contrario el proceso se vuelve a repetir hasta que ambos A_{sp} sean iguales. Las A_{sp} obtenidas, siempre se transformaran a torones para realizar el siguiente calculo.

Secciones " T " que trabajan como " T " ($a > t_f + t_b$)



$$C1 = t_f b' f'' c_f$$

$$C2 = t_p b' f'' c_p$$

$$C3 = [a - (t_f + t_p)] b' f'' c_p$$

$$Tsp = Asp fsp$$

Como:

$$C = C1 + C2 + C3$$

y

$$Tsp = C$$

$$Asp fsp = t_f b' f'' c_f + t_p b' f'' c_p + [a - (t_f + t_p)] b' f'' c_p \quad (\text{Ec. III.44})$$

despejando 'a':

$$a = \frac{Asp fsp - t_f b' f'' c_f - t_p b' f'' c_p}{b' f'' c_p} + (t_f + t_p) \quad (\text{Ec. III.45})$$

y

$$fsp = fsp \left[1 - 0.5 \frac{fsp - tsp}{b dsp f'' c_{prom}} \right]$$

Donde:

$$f'' c_{prom} = \frac{f'' c_p + f'' c_f}{2}$$

Como:

$$\begin{aligned} Mur = F.R. & \left[C1 \left(dsp - \frac{t_f}{2} \right) + C2 \left(dsp - t_f - \frac{t_p}{2} \right) \right. \\ & \left. + C3 \left(dsp - t_f - t_p - \frac{a - t_f - t_p}{2} \right) \right] \quad (\text{Ec. III.46}) \end{aligned}$$

De la ecuacion III.44:

$$Tsp = C1 + C2 + C3$$

$$C3 = Tsp - C1 - C2$$

$$C3 = Asp fsp - C1 - C2 \quad (\text{Ec. III.47})$$

Sustituyendo en III.4a y despejando hsp:

$$\text{Mur} = \text{F.R.} \left[C1 \left(\text{dsp} - \frac{\text{tf}}{2} \right) + C2 \left(\text{dsp} - \text{tf} - \frac{\text{tp}}{2} \right) + (\text{Asp fsp} - C1 - C2) \left(\text{dsp} - \text{tf} - \text{tp} - \frac{a - \text{tf} - \text{tp}}{2} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} (\text{Asp fsp} - C1 - C2) \left(\text{dsp} - \text{tf} - \text{tp} - \frac{a - \text{tf} - \text{tp}}{2} \right) \\ = \frac{\text{Mur}}{\text{F.R.}} - C1 \left(\text{dsp} - \frac{\text{tf}}{2} \right) - C2 \left(\text{dsp} - \text{tf} - \frac{\text{tp}}{2} \right) \end{aligned}$$

$$\text{Asp fsp} - C1 - C2 = \frac{\frac{\text{Mur}}{\text{F.R.}} - C1 \left(\text{dsp} - \frac{\text{tf}}{2} \right) - C2 \left(\text{dsp} - \text{tf} - \frac{\text{tp}}{2} \right)}{\text{dsp} - \text{tf} - \text{tp} - \frac{a - \text{tf} - \text{tp}}{2}}$$

$$\text{Asp} = \left[\frac{\frac{\text{Mur}}{\text{F.R.}} - C1 \left(\text{dsp} - \frac{\text{tf}}{2} \right) - C2 \left(\text{dsp} - \text{tf} - \frac{\text{tp}}{2} \right)}{\text{dsp} - \text{tf} - \text{tp} - \frac{a - \text{tf} - \text{tp}}{2}} + C1 + C2 \right] \div \text{fsp}$$

Haciendo $\text{Mur} = \text{Mus}$:

$$\text{Asp} = \left[\frac{\frac{\text{Mus}}{\text{F.R.}} - C1 \left(\text{dsp} - \frac{\text{tf}}{2} \right) - C2 \left(\text{dsp} - \text{tf} - \frac{\text{tp}}{2} \right)}{\text{dsp} - \text{tf} - \text{tp} - \frac{a - \text{tf} - \text{tp}}{2}} + C1 + C2 \right] \div \text{fsp}$$

(Ec. III.4b)

Si la sección " T " trabaja como " T ", con el área de acero obtenida en la ecuación III.32 y convertida a torques, se calcula el valor de fsp correspondiente. Este valor se sustituye en la ecuación III.4b y se verifica que $a > \text{tp} + \text{tf}$. Con estos valores se obtiene el nuevo valor de Asp en la ecuación III.4a.

Si los valores de Asp son iguales, el proceso termina; en caso contrario se volverá a realizar este proceso hasta que ambos hsp sean iguales.

Con el área de acero (A_{sp}) obtenida con las ecuaciones III.33, III.39, III.47 o III.48, según el tipo de sección con la que se este trabajando: se transformará a torones, y el área obtenida de esta manera no deberá exceder al valor obtenido de A_{sp}.

Los torones se colocaran en la sección y se obtendrá su distancia dsp. Una vez obtenido el número de torones necesarios, así como su ubicación en la sección, se procederá entonces a su revisión.

Las revisiones que se harán, son las mismas a las realizadas en sección compuesta por esfuerzos permisibles, vistas en el capítulo anterior, o sea:

- Revisión por Esfuerzos Permisibles.
- Revisión por Resistencia.
- Revisión por tipo de Falla.
- Revisión por Acero Mínimo.
- Revisión por Izado.

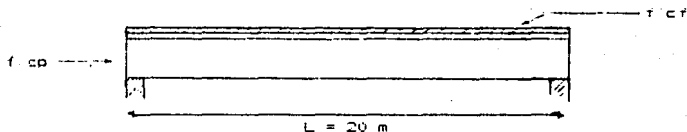
Estas revisiones se realizan en la misma manera a como se vio en el capítulo anterior.

Con las revisiones anteriores, se concluye el diseño por flexión de las secciones compuestas por el método de Resistencia.

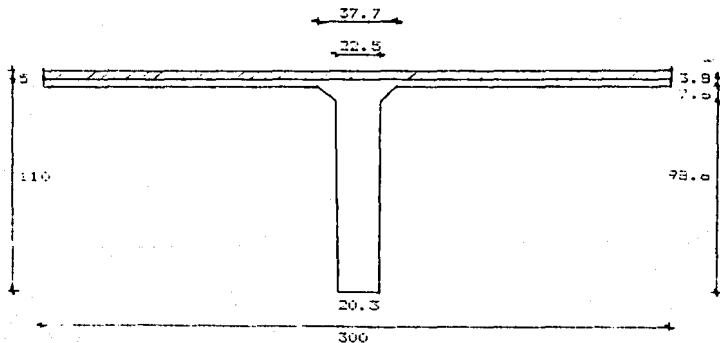
B) Ejemplo.

Diseñar el paso peatonal sobre una avenida principal, cuya sección transversal es una viga "T" de sección compuesta y sus datos son los siguientes:

$w_{scm} = 100 \text{ kg/m}^2$
 $w_{cv} = 350 \text{ kg/m}^2$
 $f'_{cf} = 250 \text{ kg/cm}^2$
 $f'_{cp} = 350 \text{ kg/cm}^2$
 $f_{sr} = 18\,500 \text{ kg/cm}^2$
 $f_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$
 $L = 20 \text{ m}$
Torón = 0.1.2"



Sección:



a) Características Geométricas

Se obtienen directamente del catálogo del ANIFFAC.

Sección Compuesta

Asc =	6 119 cm ²
Isc =	6 309 752 cm ⁴
Yisc =	87.5 cm
Yssc =	27.5 cm
Wpp =	1 524 Kg/m

Sección Simple

Ass =	4 851 cm ²
Iss =	5 310 562 cm ⁴
Yiss =	81.0 cm
Ysss =	29.0 cm
Wpp =	1 164 Kg/m

b) Analisis de Cargas.

Sección Simple

$$Wss = 1 524 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Mass}_A = \frac{W I^2}{8} = \frac{1 524 (20)^2}{8} = 75 200 \text{ Kg} - \text{m}$$

Sección Compuesta

$$Wscm = 100 (2) = 200$$

$$Wcv = 350 (3) = 1 050$$

$$1 350 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Mass}_A = \frac{W I^2}{8} = \frac{1 350 (20)^2}{8} = 67 500 \text{ Kg} - \text{m}$$

c) Obtencion de Asp.

Suponiendo que la sección trabaja como rectangular y haciendo que $f_{sp} = 0.9 f_{ar}$, podemos aplicar la ecuación III.32:

Calculando M_{ua} :

$$M_{ua} = F.C. \left(\text{Mass}_A + \text{Masc}_A \right)$$

$$M_{ua} = 1.4 (76\,200 + 67\,500) = 201\,180 \text{ Kg} - \text{cm}$$

$$M_{ua} = 20\,118\,000 \text{ Kg} - \text{cm}$$

y además:

$$f'_{cp} = 350 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{*cp} = 0.8 f'_{cp} = 0.8 (350) = 280 \text{ Kg/cm}^2 > 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} f''_{cp} &= \left(1.05 - \frac{f_{*cp}}{1\,250} \right) f_{*cp} \\ &= \left(1.05 - \frac{280}{1\,250} \right) 280 = 231.28 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

también:

$$f'_{cf} = 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{*cf} = 0.8 f'_{cf} = 0.8 (250) = 200 \text{ Kg/cm}^2 < 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f''_{cf} = 0.85 f_{*cf} = 0.85 (200) = 170 \text{ Kg/cm}^2$$

Sustituyendo en la ecuación III.32:

$$\begin{aligned} A_{sp} &= \sqrt{\frac{M_{ua} (b) (f''_{cf})}{4.095 F.R. (t_{sr})^2}} \\ &= \sqrt{\frac{20\,118\,000 (200) (170)}{4.095 (0.9) (18\,900)^2}} = 27.92 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Se toman 30 torones, cuya $A_{sp} = 27.87 \text{ cm}^2$

Ubicándolos en la sección, podemos obtener "r":

$$\begin{aligned} 3 (3.5 + 8.5 + 13.5 + 18.5 + 23.5 + 28.5 + 33.5 + 38.5 + 43.5 \\ + 48.5) = 30 r \\ r = \frac{3 (250)}{30} = 25 \text{ cm} \end{aligned}$$

Obteniendo dsp:

$$dsp = h - r = 115 - 25 = 89 \text{ cm}$$

Sustituyendo en la ecuación III.30 para obtener fsp:

$$f_{sp} = f_{sr} \left[1 - 0.5 \frac{A_{sp} f_{sr}}{b d_{sp} f'c_f} \right]$$
$$= 18\,900 \left[1 - 0.5 \frac{27.87}{300 (89)} \frac{18\,900}{170} \right] = 17\,803 \text{ kg/cm}^2$$

Obteniendo "a":

$$a = \frac{A_{sp} f_{sp}}{b f'c_f} = \frac{27.87 (17\,803)}{300 (170)} = 9.73 \text{ cm}$$

Sustituyendo en la ecuación III.33:

$$A_{sp} = \frac{M_{ua}}{F.R. f_{sp} (d_{sp} - a / 2)}$$
$$= \frac{50\,118\,000}{0.9 (17\,803) (89 - 9.73 / 2)} = 14.86 \text{ cm}^2$$

Se toman 16 tonones, cuya $A_{sp} = 14.86 \text{ cm}^2$.

Obteniendo "r":

$$3 (3.5 + 8.5 + 13.5 + 18.5 + 23.5) + 1 (28.5) = 16 r$$
$$r = \frac{3 (3.5 + 8.5 + 13.5 + 18.5 + 23.5) + 28.5}{16} = 14.44 \text{ cm}$$

$$d_{sp} = h - r = 115 - 14.44 = 100.56 \text{ cm}$$

$$f_{sp} = 18\,900 \left[1 - 0.5 \frac{14.86}{300 (100.56)} \frac{18\,900}{170} \right] = 16\,382 \text{ kg/cm}^2$$

$$a = \frac{A_{sp} f_{sp}}{b f'c_f} = \frac{14.86 (16\,382)}{300 (170)} = 5.36 \text{ cm}$$

Como:

$$t_f = 5 < a = 5.36 < t_f + t_b = 8.3$$

La sección trabaja como rectangular.

Entonces de la ecuación III.39:

$$C_1 = t_f b f'c_f = 5 (300) (170) = 255\,000 \text{ kg}$$

$$\text{Asp} = \frac{\left[\frac{M_{ua}}{F.R.} - C1 \left(\frac{dsp - tf}{2} \right) \right]}{\frac{dsp - tf - \frac{a - tf}{2}}{2}} + C1 \quad \div \quad fsp$$

$$\text{Asp} = \frac{\left[\frac{20\,118\,000}{0.9} - 255\,000 \left(\frac{100.56 - 5}{2} \right) \right]}{\frac{100.56 - 5 - \frac{5.36 - 5}{2}}{2}} + 255\,000 \quad \div \quad 18\,382$$

$$\text{Asp} = 12.36 \text{ cm} \quad \implies \quad 13 \text{ torones} \quad \text{Asp} = 12.08 \text{ cm}$$

Se procede a realizar una nueva iteración:

$$r = \frac{2 \left(3.3 + 8.5 + 12.5 + 13.5 \right) + 1 \left(-3.3 \right)}{13} = 11.96 \text{ cm}$$

$$dsp = h - r = 115 - 11.96 = 103.04 \text{ cm}$$

$$fsp = \frac{18\,900 \left(1 - 0.5 \frac{12.08}{300 (103.04)} \right) + \frac{18\,900}{170}}{1} = 18\,489 \text{ kg/cm}^2$$

$$a = \frac{\text{Asp} \cdot fsp - tf \cdot b \cdot f' \cdot cf}{b \cdot f' \cdot cf} + tf$$

$$a = \frac{12.08 (18\,489) - 5 (300) (170)}{300 (231.28)} + 5 = 4.54 \text{ cm}$$

Entonces:

$$a = 4.54 \text{ cm} \quad \< \quad tf = 5 \text{ cm}$$

trabaja como rectangular.

De la ecuación III.33:

$$\text{Asp} = \frac{20\,118\,000}{0.9 (18\,489) (103.04 - 4.54 \cdot 2)} = 12 \text{ cm}$$

Se toman 13 torones, cuya Asp = 12.12 cm

Como se obtuvieron el mismo número de torones que en el tanto anterior, entonces se termina el proceso iterativo y se procede entonces, a su ubicación en la sección.

d) Colocacion de lo Tencones.

$$S_1 = 3 \phi = 3 (1.27) = 3.81 \text{ cm} \quad \Rightarrow 4.0 \text{ cm}$$

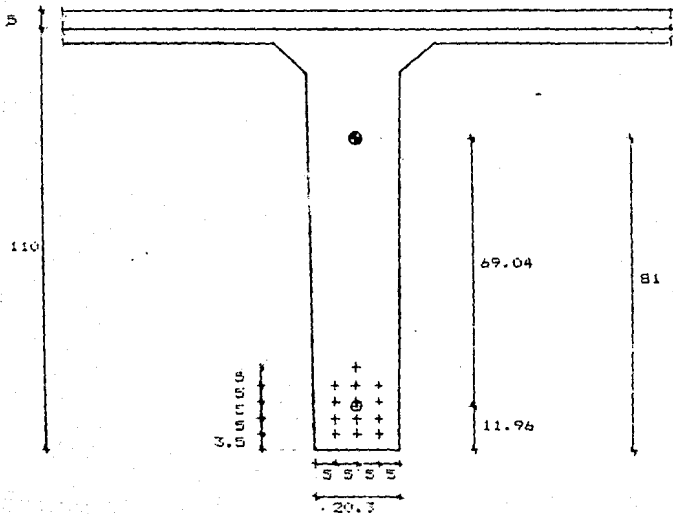
$$S_t = S_1 + \phi = 3.81 + 1.27 = 5.08 \text{ cm} \quad \Rightarrow 5.0 \text{ cm}$$

$$r_1 = 2.5 \text{ cm} \quad \Rightarrow 2.5 \text{ cm}$$

$$r_t = r_1 + \phi/2 = 2.5 + 1.27/2 = 3.14 \text{ cm} \quad \Rightarrow 3.5 \text{ cm}$$

e) Obtencion de e_r .

$$e_r = r_{iss} - r = 81 - 11.96 = 69.04 \text{ cm}$$



f) Revisión por Esfuerzos Permisibles.

Concreto

- Inmediatamente después de la transferencia.
 $f'c1 = 0.8 f'c = 0.8 (350) = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Compresión

$$f_p = 0.6 f'c1 = 0.6 (280) = 168 \text{ Kg/cm}^2$$

Tensión

$$f_p = \sqrt{f'c1} = \sqrt{280} = 16.73 \text{ Kg/cm}^2$$

- En condiciones de servicio.

Compresión

$$f_p = 0.45 f'c = 0.45 (350) = 157.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Tensión

$$f_p = 1.6 \sqrt{f'c} = 1.6 \sqrt{350} = 29.73 \text{ Kg/cm}^2$$

Acero de Prestuerzo

$$f_o = 0.7 f_{sr} = 0.7 (18\ 900) = 13\ 230 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f = k f_o = 0.8 (13\ 230) = 10\ 584 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_o = 0.929 f_o = 0.929 (13\ 230) = 12\ 291 \text{ Kg}$$

$$F = 0.929 f = 0.929 (10\ 584) = 9\ 833 \text{ Kg}$$

Acero de Refuerzo

$$f_p = 0.5 F_y = 0.5 (4\ 000) = 2\ 000 \text{ Kg/cm}^2$$

REVISIÓN

- Inmediatamente después de la transferencia de los esfuerzos.
 (en los apoyos / Sección B - B.

$$P_o = N F_o = 13 (12\ 291) = 159\ 783 \text{ Kg}$$

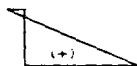
$$f_i = \frac{P_o}{A_{cs}} + \frac{P_o \text{ en Viss}}{I_{ss}}$$

$$= \frac{159\ 783}{4\ 851} + \frac{159\ 783 (2.04)}{5\ 310\ 562} (81) = 201.20 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_s = \frac{P_0}{A_{ss}} - \frac{P_0 \cdot e_r}{I_{ss}} \cdot y_{ss}$$

$$= \frac{159\,783}{4\,851} - \frac{159\,783 (69.04)}{5\,310\,562} (29) = -27.30 \text{ Kg/cm}^2$$

$$27.30 > 16.75$$



$$201.20 > 168$$

La seccion no se acepta.
Es necesario engrasar.

- En condiciones de Servicio (al centro del claro).
Seccion A - A.

$$P = N F = 13 (9\,833) = 127\,829 \text{ Kg}$$

Seccion Simple.

$$f_t = - \frac{M_{sca}}{I_{ss}} \cdot y_{ss} = - \frac{76\,200 (100)}{5\,310\,562} (81) = -116.22 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_s = \frac{M_{sca}}{I_{ss}} \cdot y_{ss} = \frac{76\,200 (100)}{5\,310\,562} (29) = 41.61 \text{ Kg/cm}^2$$

Seccion Compuesta.

$$f_t = - \frac{M_{sca}}{I_{sc}} \cdot y_{sc} = - \frac{67\,500 (100)}{6\,309\,752} (87.5) = -93.61 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_s = \frac{M_{sca}}{I_{sc}} \cdot y_{sc} = \frac{67\,500 (100)}{6\,309\,752} (27.5) = 29.42 \text{ Kg/cm}^2$$

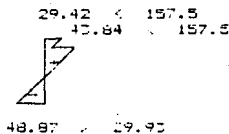
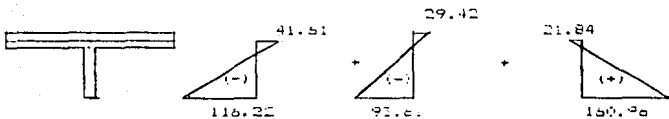
Producidas por el Prestuerzo.

$$f_i = \frac{P}{A_{ss}} + \frac{P \cdot e_r}{I_{ss}} \cdot y_{ss}$$

$$= \frac{127\,829}{4\,851} + \frac{127\,829 (69.04)}{5\,310\,562} (81) = 160.56 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_b = \frac{P}{A_{ss}} - \frac{P \cdot e_r}{I_{ss}} y_{ssc}$$

$$= \frac{127.829}{4.851} - \frac{127.829 \cdot 169.041}{5.310.802} (29) = -21.84 \text{ kg/cm}^2$$



$$\frac{29.42}{y_{ssc}} = \frac{f}{y_{ssc} - 5}$$

$$f = \frac{(y_{ssc} - 5)(29.42)}{y_{ssc}} = \frac{(27.5 - 5)(29.42)}{27.5} = 24.07 \text{ kg/cm}^2$$

- Engrase de los tendones en la sección 5 - B.
- Engrasando 3 torones.

$$r = \frac{3(3.5 + 8.5 + 17.5) + 1(13.5)}{10} = 9.5 \text{ cm}$$

$$e_r = y_{ssc} - r = 81 - 9.5 = 71.5 \text{ cm}$$

$$F_o = N F_o = 10 (12.291) = 122.910 \text{ Kg}$$

$$f_1 = \frac{F_o}{A_{ss}} + \frac{F_o \cdot e_r}{I_{ss}} y_{ssc}$$

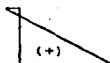
$$= \frac{122.910}{4.851} + \frac{122.910 (71.5)}{5.310.802} (81) = 159.29 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = \frac{P_o}{A_{ss}} - \frac{F_o \text{ en } Y_{ss}}{I_{ss}}$$

$$= \frac{122\,910}{4\,851} - \frac{122\,910 (71.5) (29)}{5\,310\,562} = -22.65 \text{ Kg/cm}^2$$



$$22.65 \quad 16.75$$

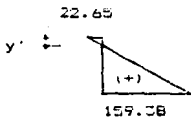


$$159.38 < 168$$

En la fibra superior:

$$f_a \text{ ligeramente } > f_p$$

Se propone colocar varillas de acero ordinario cerca de los extremos.



$$F_t = \frac{22.65 (300) y'}{2}$$

Por triángulos semejantes:

$$\frac{22.65 + 159.38}{110} = \frac{22.65}{y'}$$

$$y' = \frac{110 (22.65)}{182.03} = 13.69 \text{ cm}$$

$$F_t = \frac{22.65 (300) (13.69)}{2} = 46\,512 \text{ Kg}$$

$$A_s = \frac{F_t}{f_p} = \frac{46\,512}{2\,100} = 22.15 \text{ cm}^2$$

Se propone colocar 18 varillas de 1/2"
18 Vs # 4 ==> $A_s = 22.86 \text{ cm}^2$

g) Revisión por Resistencia.

- Obtención de M_{ua} .

$$M_{ua} = 20\,118\,000 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

- Obtención de M_{ur} .

Como:

$$a = 4.54 \text{ cm} \quad \text{tf} = 5 \text{ cm} \\ \text{trabaja como rectangular.}$$

$$f_{sp} = 18\,900 \left[1 - 0.5 \frac{12.08}{300 (103.04)} \frac{18\,900}{170} \right] = 18\,489.4 \text{ kg/cm}^2$$

Con el cual:

$$M_{ur} = F.R. \left[\frac{A_{sp} f_{sp}}{2} \left(d_{sp} - \frac{a}{2} \right) \right] \\ = 0.9 \left[\frac{12.08 (18\,489.4)}{2} \left(103.04 - \frac{4.54}{2} \right) \right]$$

$$M_{ur} = 20\,189\,584 \text{ Kg} \cdot \text{cm} = 201.89 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Entonces:

$$M_{ur} = 201.89 \text{ Ton} \cdot \text{m} > M_{ua} = 201.18 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

∴ La sección se acepta por resistencia.

h) Revisión de la Falla Potencial.

$$c = \frac{a}{0.6} = \frac{4.54}{0.6} = 5.68 \text{ cm}$$

$$\xi_{sp} = \frac{0.003 (d_{sp} - c)}{c} = \frac{0.003 (103.04 - 5.68)}{5.68} = 0.05142$$

$$\epsilon_1 = \frac{0.7 k f_{er}}{E_{sp}} = \frac{0.7 (0.8) (18\,900)}{1\,900\,000} = 0.00537$$

$$\frac{\xi_{sp}}{0.75} = \frac{0.01}{0.75} = 0.013$$

$$\epsilon_i + \epsilon_{sp} = 0.00557 + 0.05142 = 0.05699$$

$$\epsilon_i + \epsilon_{sp} = 0.05699 > \frac{\epsilon_{yp}}{0.75} = 0.017$$

∴ La falla potencial es dúctil.

1) Revisión por Acero Mínimo.

Se debe cumplir que:

$$\text{Mur} \geq 1.2 \text{ Magriet.}$$

Como:

$$\text{Mur} = 20\,189\,384 \text{ Kg} \cdot \text{cm} = 201.89 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Obteniendo Magriet:

$$\text{Magriet} = \left(2 \sqrt{f'_{cp}} + \frac{P}{A_{ss}} + \frac{P_{ar} + M_{ss}}{I_{ss}} - \frac{M_{ss} f_{iss}}{I_{ss}} \right) I_{sc} + M_{ss}$$

$$\left(2\sqrt{350} + \frac{127\,827}{4\,351} + \frac{127\,829 (69.04) (61)}{5\,310\,562} - \frac{7\,620\,000 (61)}{5\,310\,562} \right) 8\,752 + 309\,752$$

$$\text{Magriet} = 5\,924\,088 + M_{ss} = 5\,924\,088 + 7\,620\,000$$

$$\text{Magriet} = 13\,544\,088 \text{ Kg} \cdot \text{cm} = 135.44 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$1.2 \text{ Magriet} = 1.2 (135.44) = 162.53 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

Entonces:

$$\text{Mur} = 201.89 \text{ Ton} \cdot \text{m} > \text{Magriet} = 162.53 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

∴ La sección cumple con el acero mínimo.

j) Revisión por Izado.

Se suponen ganchos de izado a 1.5 m de cada extremo, entonces, el momento en la sección C - C, es:

$$M_{appc} = \frac{W_{pp} a^2}{2} = \frac{1\,164 (1.5)^2}{2} = 1\,309.5 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{appc} = 130\,950 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$f_1 = \frac{P_o}{A_{ss}} + \frac{P_o \cdot e_r \cdot y_{iss}}{I_{ss}} + \frac{M_{appc} \cdot y_{iss}}{I_{ss}}$$

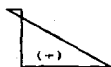
$$\frac{122\,910}{4\,951} + \frac{122\,910 (71.5)}{5\,310\,562} (81) + \frac{130\,950 (81)}{5\,310\,562} = 161.78 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_s = \frac{P_o}{A_{ss}} - \frac{P_o \cdot e_r \cdot y_{sss}}{I_{ss}} - \frac{M_{appc} \cdot y_{sss}}{I_{ss}}$$

$$\frac{122\,910}{4\,951} - \frac{122\,910 (71.5)}{5\,310\,562} (29) - \frac{130\,950 (29)}{5\,310\,562} = -23.37 \text{ Kg/cm}^2$$



$$23.37 \cdot 16.73$$



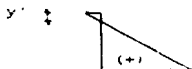
$$161.38 \cdot 168$$

En la fibra superior:

$$f_a \text{ ligeramente } > f_p$$

Se propone colocar varillas de acero ordinario cerca de los extremos:

$$23.37$$



$$161.38$$

$$F_t = \frac{23.37 (300) y'}{2}$$

$$\frac{161.38 + 23.37}{110} = \frac{23.37}{y}$$

$$y' = \frac{110 (23.37)}{184.75} = 13.91 \text{ cm}$$

$$F_t = \frac{23.37 (300) (13.91)}{2} = 48\,762 \text{ Kg}$$

$$A_s = \frac{F_t}{f_p} = \frac{48\,762}{2\,100} = 23.22 \text{ cm}^2$$

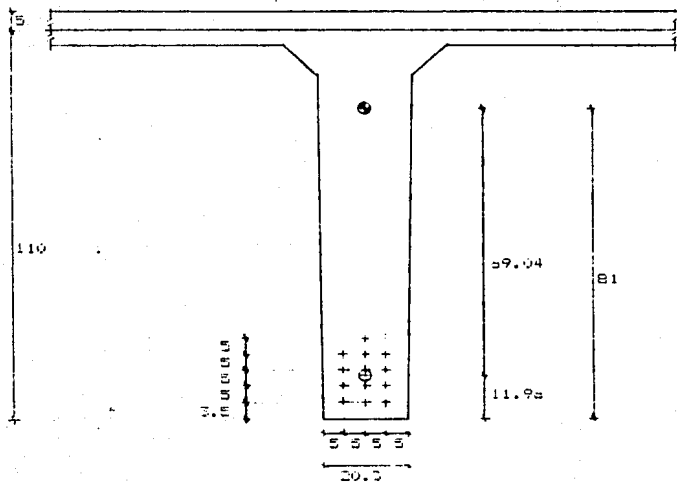
Se propone colocar 18 varillas de 1/2"

$$18 \text{ Vs } \# 4 \implies A_s = 22.36 \text{ cm}^2$$

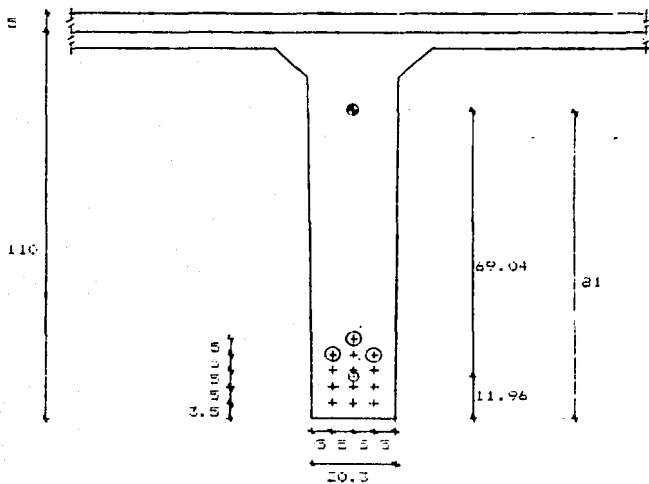
Esta area de acero obtenida es igual a la propuesta en la revision por esfuerzos permisibles, por lo que cumple en ambas revisiones.

Con esta revision se concluye el diseo por flexion de la seccion compuesta. Con base en lo anterior se afirma que la seccion propuesta es aceptable, ya que cumple con las disposiciones del RCDF-87.

SECCION A



SECCION B



Obtencion del acero maximo de la seccion.

Para asegurar que la falla sea ductil, se obtendra el número de tonos máximo que podemos colocar en las secciones de los ejemplos vistos.

- Acero Maximo para la viga " TT " (Seccion Simple).

Para empezar a iterar, primeramente supondremos un valor de dsp.

Suponiendo dsp = 30 cm

de la ecuacion III.2:

$$\epsilon_1 = \frac{0.7 k f_{sr}}{E_{sp}} = \frac{0.7 (0.8) (18\ 900)}{1\ 900\ 000} = 0.00557$$

sustituyendo en III.1:

$$\epsilon_{sp} = 0.013 - \epsilon_1 = 0.013 - 0.00557 = 0.00743$$

podemos obtener " c " de III.3:

$$c = \frac{0.003\ dsp}{0.003 + \epsilon_{sp}} = \frac{0.003 (30)}{0.003 + 0.00743} = 8.63\ cm$$

como:

$$a = 0.8\ c = 0.8 (8.63) = 6.90\ cm \quad \text{trabaja como " T "$$

obteniendo Tsp de la ecuacion III.27:

$$T_{sp} = t\ b\ f''_{cp} + (a - t)\ b\ f'_{cp} \\ = 8 (250) (231.28) + (6.90 - 8) (25) (231.28) = 346\ 920\ Kg$$

sustituyendo en la ecuacion III.7:

$$A_{sp} = \frac{(b\ dsp\ f''_{cp}) \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2\ T_{sp}}{b\ dsp\ f'_{cp}}} \right)}{f_{sr}} \\ = \frac{(250) (30) (231.28) \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 (346\ 920)}{(250) (30) (231.28)}} \right)}{18\ 900} \\ = 20.69\ cm^2 \quad \Rightarrow \quad 21.5\ tonos$$

Se colocaran sólo 22 torones en la sección (11 en cada alma de la " T ").

obtención de r:

$$r = \frac{2 (3 + 6 + 12 + 18 + 23) + 1 (28)}{11} = 14.36 \text{ cm}$$

$$dso = h - r = 51 - 14.36 = 36.64 \text{ cm} \neq 35 \text{ cm}$$

Se procederá a realizar una nueva iteración. Como el proceso se repite hasta que ambos dso sean iguales:

$$c = \frac{0.003 \text{ dso}}{0.003 + f_{so}} = \frac{0.003 (36.64)}{0.003 + 0.00743} = 10.54 \text{ cm}$$

$$a = 0.8 c = 0.8 (10.54) = 8.43 \text{ cm} > a \text{ cm}$$

trabaja como " T "

$$Tsp = a (250) (231.28) + (8.43 - a) (25) (231.28)$$

$$= 361 544 \text{ kg}$$

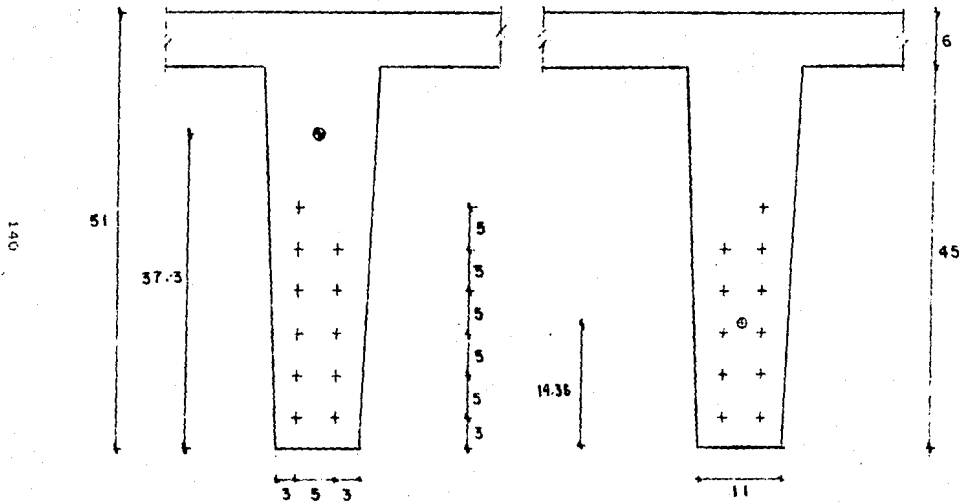
$$= \frac{250 (36.64) (231.28)}{12 300} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 (36) 544}{250 (36.64) (231.28)}} \right)$$

$$Asp = 21.12 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad 22.73 \text{ torones.}$$

Se toman 22 torones, que son los mismos que se obtuvieron en el tanteo anterior, por lo que se termina el proceso iterativo.

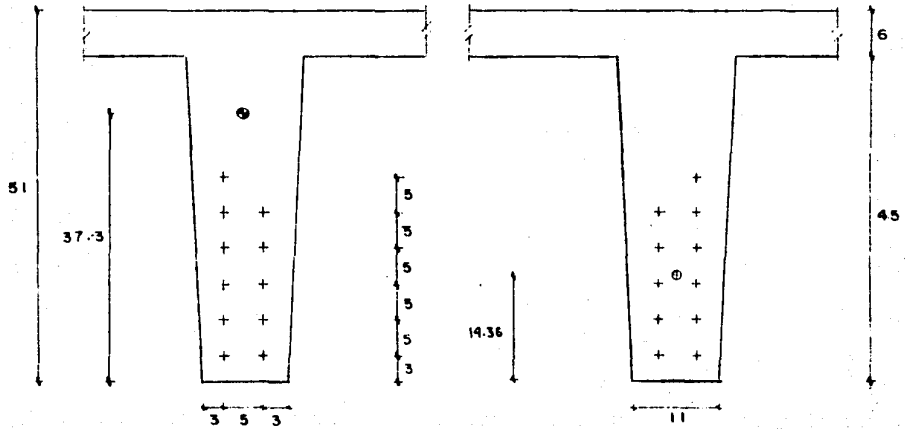
Finalmente, el número máximo de torones que podemos colocar en la sección para que su falla sea dúctil es de 22 torones.

ACERO MAXIMO



ACERO MAXIMO

140



- Acero Máximo para la viga " T " (Sección Compuesta).

Siguiendo un procedimiento similar al anterior.

Suponiendo $d_{sp} = 60$ cm

$$c = \frac{0.003 d_{sp}}{0.003 + f_{sp}} = \frac{0.003 (60)}{0.003 + 0.00743} = 17.26 \text{ cm}$$

$$a = 0.8 c = 0.8 (17.26) = 13.81 \text{ cm} > 8.8 \text{ cm}$$

trabaja como " T "

De la ecuación III.27:

$$\begin{aligned} T_{sp} &= t_f c f'c_f + t_b b f'c_p + [a - (t_f + t_b)] b' f'c_p \\ &= 5 (300) (170) + 3.8 (300) (231.28) \\ &\quad + (13.81 - 8.8) (21.4) (231.28) = 543 456 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sustituyendo en la ecuación III.28:

$$\begin{aligned} A_{sp} &= \frac{b d_{sp} f'c_{com} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 T_{sp}}{b d_{sp} f'c_{com}}} \right)}{f_{sr}} \\ &= \frac{300 (60) (200.64) \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 (543 456)}{300 (60) (200.64)}} \right)}{18 900} \\ A_{sp} &= 31.32 \quad \Rightarrow \quad 33.7 \text{ toneladas} \end{aligned}$$

Se toman 33 toneladas.

$$r = \frac{3 (3.5 + 8.5 + 17.5 + 18.5 + 23.5 + 28.5 + 33.5 + 38.5 + 47.5 + 48.5 + 53.5)}{33}$$

$$r = 29.5 \text{ cm}$$

$$d_{so} = h - r = 115 - 29.5 = 85.5 \text{ cm} \neq 60 \text{ cm}$$

Se procede a realizar una nueva iteración.

Como el proceso se repite hasta que ambos d_{sp} sean iguales, aquí solo se donará la última iteración.

Del último tanteo se obtiene $A_{so} = 32.31 \text{ cm}^2$, equivalente a 34.8 toneladas.

Se toman 14 torones.

$$C = 0.5 + 2.0 + 10.0 + 18.0 + 27.0 + 36.0 + 45.0 + 54.0 + 62.5$$

$$r = 29.05 \text{ cm}$$

$$\text{esp} = n - r = 110 - 29.05 = 80.95 \text{ cm}$$

$$c = \frac{2.000 (29.05)}{0.01040} = 29.03 \text{ cm}$$

$$s = 0.8 (29.03) = 19.70 \text{ cm} \quad 8.8 \text{ cm}$$

trabaja como "T"

$$\text{Esp} = 100.000 + 200 (29.03) + (19.70 - 8.8) (21.4) (101.28) = 971.508 \text{ kg}$$

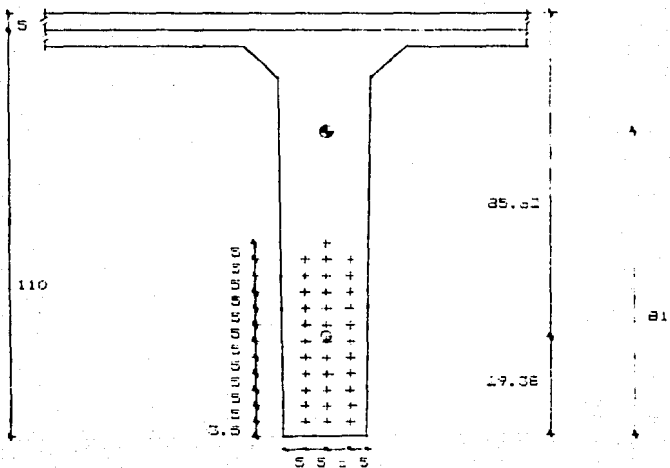
$$\text{Esp} = \frac{200 (29.03) (100.000)}{18.900} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{200 (29.03) (100.000)}{18.900 (100.000 + 200 (29.03))}} \right)$$

$$\text{Esp} = 32.10 \text{ cm} \quad \text{---} \quad 14.7 \text{ torones}$$

Se toman 14 torones, que son los mismos que se obtuvieron en el tanteo anterior, por lo que se termina el proceso iterativo.

Finalmente, el número máximo de torones que podemos colocar en la sección para que su falla sea ductil, es de 14 torones.

ACERO MAXIMO



IV CONCLUSIONES

IV.1 Conclusiones.

IV.1 Conclusiones.

En esta tesis se presentan los dos métodos de diseño más utilizados para elementos reforzados:

- El Método de Diseño por Esfuerzos Permisibles y
- El Método por Resistencia.

El método de diseño por Esfuerzos Permisibles es más conservador que el de Resistencia, ya que nos da una área de acero mayor.

En el diseño por el Método de Resistencia, se hicieron dos estudios: Uno para el obtener el área de acero (Asp) máxima, para que un elemento de dimensiones dadas tenga una falla dúctil, esto es, la máxima cantidad de acero de refuerzo que podemos colocar en esa sección. Con esta área de acero, obviamente obtendremos un momento resistente (Mur) mayor que el momento actuante (Mua), con lo cual podemos elegir entre dos opciones:

- Tomar una sección de menores dimensiones.
- Reducir el número de torones hasta que el Mur sea aproximadamente igual al Mua (esto se hace a base de tanteos).

Para evitar hacer varios tanteos, se hizo un segundo estudio para Diseñar por Resistencia. Se obtuvieron unas fórmulas para encontrar el Asp en forma aproximada, suponiendo un valor de fcb, y después procediendo a obtener el valor real de Asp, siendo este método rápidamente convergente.

Se deben realizar todas las revisiones indicadas, ya que si se omite cualquiera de ellas el elemento puede tener problemas. De estas revisiones una de las más importantes es la de esfuerzos permisibles, ya que es en ella en donde se encuentra la necesidad de engrasar los torones.

En el método por Resistencia es más frecuente la necesidad de engrasar, ya que al concentrar el acero de refuerzo en la parte inferior de la sección se tiene esfuerzos actuantes mayores que los permisibles, por lo que hay que recurrir al engrase para reducirlos, pues de otra manera se puede fracturar el elemento.

Como consecuencia de esto, aunque ya fuera de los objetivos de esta tesis, se debe poner especial atención a la revisión por deflexión; ya que el diagrama de momentos varía de acuerdo al engrase del elemento, y es necesario tener que revisar por secciones por un método apropiado (por ejemplo el método de Newmark).

En caso de no tener cuidado en esta revisión el elemento puede tener problemas de contraflechas muy grandes, llegando incluso a " tronarse ".

Con el metodo de Diseño por resistencia se logra, de acuerdo a los ejemplos expuestos, una reducción de acero, inmediatamente un 30 % del acero de presfuerzo con respecto al diseño por Esfuerzos Permisibles, lo cual se observa más claro en los resultados siguientes:

De acuerdo a los ejemplos expuestos, el numero de torones obtenido en cada uno de ellos fueron:

	Esfuerzos Permisibles	Resistencia	Acero Maximo
S. Simple	8	6	22
S. Compuesta	17	13	34

Se observa claramente la diferencia entre el acero obtenido con los metodos de diseño expuestos, y la ventaja que tiene el metodo de resistencia sobre el de esfuerzos permisibles, sin olvidar que falta la revisión por deflexiones.

BIBLIOGRAFIA.

- Arthur H. Nilson
Diseño de Estructuras de Concreto Presforzado.
Limusa, 1982.
- Catálogo de Productos ANIPPAC.
Camesa.
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.
Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal
México. 1987.
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y
Construcción de Estructuras de Concreto.
Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal.
México. 1987.
- Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.
Series del Instituto de Ingeniería, No. 401. U.N.A.M.
México, 1977.
- Oscar M. González Cuevas, Francisco Robles V.
Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado.
Limusa, 1985.
- Apuntes de Mecánica de Materiales II.
Departamento de Estructuras, DICTG.
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
- Apuntes de Clase de la Materia Presfuerzo y
Prefabricación.
Semestre 87-II.