

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIGUETAS
DE CONCRETO PRETENSADO PARA
LA CONSTRUCCION DE LOSAS SEMI-PREFABRICADAS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
POR

PEDRO CESAR AUGUSTO ROSITO GODOY

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, 26 DE ENERO DE 1.996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

08

T(3624)

C-4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

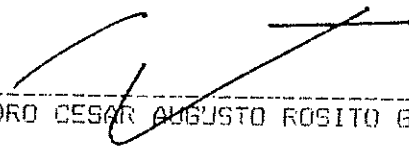
Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos De Guatemala, presento a su consideración el trabajo de TESIS titulado:

DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIGUETAS
DE CONCRETO PRETENSADO PARA
LA CONSTRUCCION DE LOSAS SEMI-PREFABRICADAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de

INGENIERIA CIVIL

con fecha 7 de Agosto de 1,995



PEDRO CESAR AUGUSTO ROSITO GOY

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO : ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
VOCAL 1o. : ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL 2o. : ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORIZANO
VOCAL 3o. : ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL 4o. : Br. FERNANDO WALDEMAR DE LEON CONTRERAS
VOCAL 5o. : ING. PEDRO IGNACIO ESCALANTE PASTOR
SECRETARIO : ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO : ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
EXAMINADOR : ING. MARIO RENE DE LEON
EXAMINADOR : ING. EDGAR DE LEON MALDONADO
EXAMINADOR : ING. ELVIA MIRIAM RUBALLOS SAMAYOA DE ROSAL
SECRETARIO : ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

César A. Rosito R.

INGENIERO CIVIL COLEGIADO
No. 777

OFICINA: 8a. Calle 0-77, Zona 1
TELEFONOS: 29659 - 25155 - 82481
Guatemala, C. A.

Guatemala, 11 de octubre de 1995

Ingeniero
Ricardo A. Ibarra M.
Jefe del Departamento de Estructuras
Facultad de Ingenieria
Escuela de Ingenieria Civil

Estimado Ing. Ibarra:

Por este medio tengo el gusto de informarle que he revisado el trabajo de tesis "DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIGUETAS DE CONCRETO PRETENSADO PARA LA CONSTRUCCION DE LOSAS SEMIPREFABRICADAS", del estudiante de Ingenieria Civil, Pedro César Augusto Rosito Godoy.-

De la revisión y análisis de este trabajo de tesis, he considerado que será un aporte importante a la Ingenieria Nacional, ya que contribuirá a un mejor conocimiento de la técnica tratada de uso generalizado en nuestro medio.

En base a lo anterior apruebo dicho trabajo de tesis.

Atentamente



Ing. César Augusto Rosito Rosada
ASESOR

César A. Rosito R.
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 777



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria. zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, noviembre 14 de 1995

Ingeniero
Jack Douglas Ibarra,
Director de la Escuela
de Ingeniería Civil,
Facultad de Ingeniería,
U S A C.

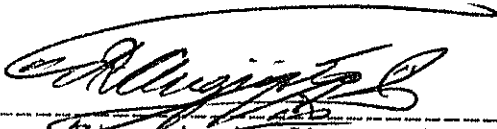
Señor Director

Por medio de la presente informo a usted, que he revisado el trabajo de tesis titulado DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIGUETAS DE CONCRETO PRETENSADO PARA LA CONSTRUCCION DE LOSAS SEMIPREFABRICADAS, elaborado por el estudiante universitario Pedro César Rosito Godoy, y asesorado por el Ing. César Augusto Rosito Rosada.

Habiendo determinado que dicho trabajo cumple con lo establecido, y que será de mucha utilidad para estudiantes y profesionales de la ingeniería civil, el suscrito le da su aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,



Ing. Ricardo A. Ibarra M.
Jefe del Departamento de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. César Augusto Rosito Rosada y del Jefe del Departamento de Estructuras Ing. Ricardo Augusto Ibarra M., sobre el trabajo de tesis del estudiante Pedro César Augusto Rosito Godoy, titulado DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIGUETAS DE CONCRETO PRETENSADO PARA LA CONSTRUCCION DE LOSAS SEMIPREFABRICADAS, da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, febrero de 1,996.

JDIS/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIGUETAS DE CONCRETO PRETENSADO PARA LA CONSTRUCCION DE LOSAS SEMIPREFABRICADAS, del estudiante Pedro César Augusto Rosito Godoy, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck
DECANO



Guatemala, febrero de 1,996

/hhdeb.

AGRADECIMIENTO

AL ASESOR: ING. CESAR AUGUSTO ROSITO ROSADA

Por la ayuda y tiempo brindados en el desarrollo de este trabajo de tesis.

AL SEÑOR: CARLOS EDUARDO ROSALES A.

Por su desinteresada colaboración en la elaboración de este trabajo.

AL DIBUJANTE: LUIS FERNANDO GIL

Por su valiosa colaboración en la terminación de este trabajo.

AL PERSONAL DE LA EMPRESA PRESFORZADOS TECNICOS, S.A., POR SU CONFIANZA Y APOYO.

ACTO QUE DEDICO

SIN NECESIDAD DE MENCIONAR NOMBRES

DEDICO ESTE TRABAJO DE TESIS A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE UNA
FORMA U OTRA, EN LOS MOMENTOS MAS DIFICILES DE MI VIDA, SIEMPRE
ESTUVIERON DISPUESTOS A EXTENDERME SU MANO.

I N D I C E:

	Pag.
INTRODUCCION	1
JUSTIFICACION	2
OBJETIVOS	3
CAPITULO I	4
RESEÑA HISTORICA DEL CONCRETO PREESFORZADO	
1.1 Desarrollo del Preesfuerzo en General	4
1.2 Desarrollo del Preesfuerzo en Guatemala	11
CAPITULO II	13
PRINCIPIOS GENERAL DEL CONCRETO PREESFORZADO	
2.1 Que es Concreto Preesforzado	13
2.2 Comportamiento del Concreto Preesforzado	13
CAPITULO III	17
CLASIFICACION Y TIPOS DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO PREESFORZADO	
3.1 Estructuras Preesforzadas Interior y Exteriormente	17
3.2 Preesfuerzo Lineal o Circular	18
3.3 Pretensado y Postensado	19
3.4 Cables Anclados en los Extremos y No Anclados en los Extremos	19
3.5 Cables Adheridos y No Adheridos	20
3.6 Prefabricado, Fundido en el Lugar y Construcción Mixta	20
3.7 Preesforzado Completo o Parcial	21
CAPITULO IV	23
DEFINICION DE VIGUETA PRETENSADA Y SISTEMA CONSTRUCTIVO	
4.1 Que es una Vigueta Pretensada	23
4.2 Aplicación de la Vigueta Pretensada en la Construcción de losas.	24

	Pág.
CAPITULO V	25
DISEÑO Y CALCULO ESTRUCTURAL DE LA VIGUETA PRETENSADA	
5.1 Etapas de Carga en Concreto Preesforzado en General	25
5.1.1 Etapa Inicial	
A. Antes del Preesfuerzo	
B. Durante el Preesfuerzo	
C. En la Transferencia del Preesfuerzo	
5.2 Etapa Intermedia	27
5.3 Etapa Final	27
5.3.1 Carga de Trabajo	
5.3.2 Carga de Agrietamiento	
5.3.3 Carga de Ruptura	
5.4 Materiales	28
5.5 Proceso de Diseño y Cálculo de una Vigueta Pretensada (Ejemplo)	29
CAPITULO VI	55
METODO DE FABRICACION DE LA VIGUETA PRETENSADA	
6.1 Instalaciones y Equipo necesario para la fabricación de viguetas pretensadas	55
6.2 Selección de Materiales e Insumos	58
6.3 Proceso de Fabricación	60
CAPITULO VII	66
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA VIGUETA PRETENSADA	
7.1 Ventajas de la Vigueta Pretensada como vigueta en sí	66
7.2 Ventajas del sistema constructivo de losas semi-prefabricadas a base de viguetas pretensadas	67
7.3 Desventajas generales	67
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFIA	73

INDICE DE
GRAFICAS, FIGURAS Y TABLAS

	Pagina
-Esquema del Freesfuerzo aplicado en barriles.	5
-Esquema de vigas afectadas por preesfuerzo y cargas exteriores.	15
-Esquema de vigueta pretensada.	23-A
-Esquema de la sección de vigueta analizada en el ejemplo.	30
-Esquema de la sección de la vigueta analizada en el ejemplo con el area transformada de acero a concreto para obtención del centroide.	33
-Tabla para obtención del centroide de la vigueta a sección simple.	33
-Esquema de la posición del centroide de la sección simple de la vigueta.	34
-Diagrama de esfuerzos producidos por el preesfuerzo sobre la vigueta a sección simple.	37
-Esquema de la vigueta afectada por el corte.	38
-Esquema del joist afectado por el corte.	39
-Diagrama de momentos de la vigueta apuntalada.	40
-Diagrama de esfuerzos sobre la vigueta al fundir en obra.	44-A
-Esquema del joist a chequeo por corte.	45
-Esquema de la sección compuesta de la vigueta analizada en el ejemplo para obtención del centroide.	46
-Tabla para obtención del centroide de la sección compuesta de la vigueta.	46
-Diagrama de esfuerzos aplicados sobre la sección compuesta por peso propio.	49-A

	Página
-Diagrama del estado final de esfuerzos por flexión aplicados sobre la sección compuesta.	52-A
-Tabla de resultados finales del ejemplo.	54
-Esquema de una planta para producción de vigueta pretensada.	55-A
-Plano de montaje de una losa de vigueta pretensada.	60-A
-Esquema de la sección longitudinal de una losa de vigueta pretensada.	61
-Tabla de armado para un banco de pretensado.	62
-Esquema de fijación de un joist a los alambres pretensados.	63

GLOSARIO

AGREGADO PARA EL CONCRETO:

Se le llama así a los componentes sólidos del concreto, siendo la arena y el pedrín básicamente.

ANCLAJE:

Acción de sujetar algo en un sitio donde se detiene. Pieza de acero especial que sujeta los tendones de preesfuerzo.

ARCO COMPENSADO:

Es la estructura en arco que trabaja a compresión en todas sus secciones.

AREA TRANSVERSAL:

Es la superficie de la estructura que es perpendicular a la línea de aplicación de la fuerza de preesfuerzo.

COLAPSO:

Se interpreta en este caso como una falla brusca de una estructura.

COMPRESION:

En este caso se le llama así al esfuerzo a que una estructura es sometida por fuerzas que actúan contra ella misma.

CONTRAFUERTE:

Machón saliente en la cortina de carga de un muro, para fortalecerlo.

Saliente de un muro de concreto donde se puede aplicar la carga horizontal de preesfuerzo.

CONCRETO:

Material empleado en construcción, formado de una mezcla de arena y pedrín con sustancias aglomerantes, generalmente cemento, en presencia de agua en cantidad adecuada.

CONCRETO PREESFORZADO:

También llamado concreto precomprimido, basado en el principio de crear en el material tensiones internas permanentes, de compresión, antes de someterlo a la acción de las cargas exteriores.

CARGA MUERTA:

Se le llama así a las cargas que soporta una estructura que son de naturaleza permanente y no cambian de lugar.

CARGA VIVA:

Se llama así a las cargas que soporta una estructura que son momentáneas y que pueden cambiar de lugar dentro de la estructura.

ESCURRIMIENTO PLASTICO:

Se llama así a las deformaciones que sufre una estructura a largo plazo, causada por esfuerzos de compresión y tensión.

ESFUERZO:

Es la relación de dividir la fuerza que actúa sobre una superficie y el área de dicha superficie. Se expresa en kilogramo sobre centímetro cuadrado.

ESFUERZO DE CORTE:

Es la componente de la fuerza de corte que actúa en dirección paralela a la superficie considerada.

FUNDICION:

Se llama así a la acción de verter el concreto fresco dentro del molde que conforma la estructura.

FRAGUADO:

Es el proceso de endurecimiento del concreto dentro del molde.

FRICCION:

Se le llama así a la fuerza que se opone por adherencia al movimiento o a las fuerzas actuantes.

IN SITU:

Del latín, en el lugar.

JOIST:

Palabra del idioma inglés que identifica a una viga de alma abierta.

VIGA:

Elemento estructural horizontal prismático apoyado en sus extremos y diseñado para soportar cargas.

VIGUETA:

Elemento estructural horizontal semiprefabricado conformado por una pastilla de concreto y una estructura de acero dúctil tipo joist.

SIMBOLOGIA

Según el Orden en que aparecen.

SIMBOLO	DESCRIPCION
$f's$	Esfuerzo de resistencia máxima del acero de preesfuerzo especificada.-
f_{si}	Esfuerzo a la transferencia del acero de preesfuerzo.
F_t	Fuerza de transferencia.
f^-	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión.
f^+	Esfuerzo en la fibra extrema en tensión.
f	Esfuerzo.
f_{ci}	Esfuerzo máximo de compresión del concreto que puede soportar durante la transferencia.
$f'c$	Esfuerzo de ruptura a compresión del concreto a 28 días según diseño de mezcla.
n	Factor de equivalencia.
E_s	Módulo de elasticidad del acero.
E_c	Módulo de elasticidad del concreto.
A	Area.
F_i	Fuerza inicial.
f_{ci}	Esfuerzo de compresión inicial.
F_u	Fuerza útil.
c	Distancia de la Fibra Inferior al centroide.
I_c	Momento de inercia centroidal.
e	Excentricidad de la fuerza de compresión producida por el preesfuerzo.
P	Carga aplicada.
f_{top}	Esfuerzo en la fibra superior.

SIMBOLOGIA

DESCRIPCION

f bot	Esfuerzo en la fibra inferior.
V	Fuerza de corte.
w	Carga distribuida por unidad de longitud.
L	Longitud.
FV	Fuerza de corte aplicada sobre la diagonal del joist.
As	Area de Acero.
fx	Esfuerzo a tensión del acero dúctil al límite de fluencia.
M	Momento.
F	Fuerza.
Δ_{max}	Deflexión máxima.
Δ	Deflexión.
C.V.	Carga viva.
S.C.T.	Sobrecarga total de fundición en obra.
AV	Area de la varilla de acero.
p.p.	Deflexión por peso propio.
s.c.	Deflexión por sobrecarga.
V p.p.	Fuerza de corte por peso propio.
V s.c.	Fuerza de corte por sobrecarga.

INTRODUCCION

La construcción en concreto preesforzado se ha desarrollado en el mundo, a tal grado, que pide urgentemente por parte de los ingenieros una comprensión general de sus principios y sus métodos de cálculo.

Esta tesis trata esencialmente sobre el cálculo y diseño de viguetas de concreto pretensado, pues éstas son un elemento prefabricado comunmente usado en nuestro medio en el campo de la construcción, como tambien, trata de explicar qué es y qué tipos de técnicas de preesfuerzo existen, para que el lector pueda comprender el comportamiento estructural de un elemento preesforzado.

JUSTIFICACION

Este trabajo de tesis pretende dar mayor información útil y específica sobre el análisis y diseño estructural de viguetas de concreto pretensado, debido a que con este tipo de prefabricado se logran cubrir claros largos, con espesores de losa pequeños, lo que reduce el peso propio de las estructuras y el uso de concreto de fundición en obra, esto por ende ayuda a reducir los costos en la construcción. Actualmente no existe un tratado sobre este tipo de elemento prefabricado utilizando concreto pretensado, y la información bibliográfica existente sobre concreto pretensado no está enfocada a este tipo de elementos.

OBJETIVOS

Proporcionar información que sirva de consulta, a constructores, estudiantes de ingeniería civil y personas particulares, sobre características y cualidades estructurales de la vigueta pretensada.

Informar al lector las ventajas que el concreto pretensado brinda a la construcción en la utilización de prefabricados livianos.

Que el lector comprenda y conozca el comportamiento estructural del concreto preesforzado.

Que el lector conozca las técnicas de preesforzar concreto existentes en el mundo, y comprenda porque y cuando se utilizan.

Que el lector se de cuenta de que el concreto preesforzado se puede utilizar en construcción mixta, con las técnicas tradicionales.

RESEÑA HISTORICA DEL CONCRETO PREESFORZADO

1.1 DESARROLLO DEL PREESFUERZO EN GENERAL

Entre los siglos XII y XV, el profundo sentido del equilibrio de las estructuras y el conocimiento completo de las propiedades de la piedra, permitieron a los constructores elevar catedrales y palacios, obras maestras de la arquitectura de todos los tiempos, cuya altiva osadía continúa desafiando las leyes de gravedad.

A partir del siglo XV, a la piedra, material resistente pero frágil viene a asociarse progresivamente el acero dúctil, material capaz de soportar esfuerzos de tensión. El acero utilizado al principio como cadena indispensable en las paredes elevadas, pasa a emplearse en las vigas de arcos y en los frontones del siglo XVII.

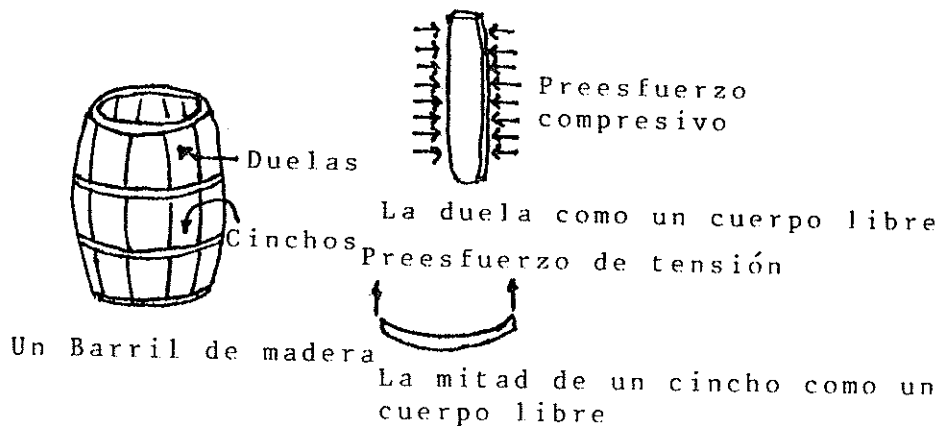
Esta simbiosis costosa y de posibilidades limitadas conoció un desarrollo extraordinario en el siglo XIX, cuando la piedra en estado líquido, envolviendo las armaduras, pudo moldearse, ofreciendo así mayores posibilidades de utilización. El concreto armado nació así seis siglos después de que los constructores hubieron agotado todos los recursos estructurales del más noble de los materiales: la piedra.

A principios de nuestro siglo, el concreto armado había conquistado ya el favor incondicional de los constructores. Sin embargo el crecimiento explosivo de la industria, de las comunicaciones y de los transportes, el exigir más y mayores

estructuras y construcciones más rápidas y a menores costos, pusieron en evidencia las limitaciones técnicas y económicas y las carencias de este nuevo material.

De 1920 a 1945, en el seno de una Europa agitada, un descendiente de estos constructores, después de llevar a su auge la técnica del concreto armado construyendo puentes en arco con claros de 96 m. (Villeneuve), de 131 m. (Vauvray), de 186 m. (Plougastel), medita, estudia, experimenta, inventa y realiza una técnica que va a revolucionar el arte de la construcción. Eugene Freyssinet transforma el concreto en un material homogéneo y elástico con nuevas e inesperadas propiedades y abre así perspectivas cuyas dimensiones son todavía desconocidas. La idea era sencilla para un artesano que sentía la materia con sus dedos y que con sus propias manos sellaba juntas y alisaba revestimientos. La idea era evidente y se llamó preesfuerzo de pre (antes) y esfuerzo, o sea, la aplicación previa de un esfuerzo.

No obstante los principios básicos del preesforzado se aplicaron a la construcción hace quizá centurias, cuando se enrollaban cables o cinchos metálicos alrededor de duelas de madera para formar barriles.



Al apretarse los cinchos, quedaban preesfuerzos de tensión que a su vez originaban preesfuerzos de compresión entre las duelas, capacitándolas de este modo para resistir la tensión de los cinchos producida por la presión del líquido. En otras palabras, ambos, los cinchos y las duelas, estaban preesforzados antes de quedar sujetos a cualesquiera cargas de servicio.

Sin embargo, el mismo principio no se aplicó al concreto sino hasta 1896, cuando P.H. Jackson, ingeniero de San Francisco California, obtuvo las patentes para sujetar con tirantes de varilla de acero, piedras artificiales y arcos de concreto, que se utilizaron como losas de piso. Alrededor de 1888, C.E.W. Doehring, de Alemania, aseguró independientemente una patente para concreto reforzado con metal que tenía esfuerzos de tensión aplicados antes de que se cargara la losa. Estas aplicaciones se basaron en la concepción, de que el concreto aunque fuerte para la compresión, resultaba débil en tensión, y preesforzando el acero contra el concreto lo pondría bajo esfuerzos de compresión que podrían utilizarse para equilibrar cualquier esfuerzo de tensión debido a las cargas de servicio.

Estos primeros métodos patentados no tuvieron éxito porque los bajos preesfuerzos producidos entonces en el acero, se perdían pronto como resultado de la contracción y del escurrimiento plástico del concreto.

Puesto que la contracción y el escurrimiento eventuales, inducen a menudo magnitudes comparables de

acortamiento en el concreto, este alargamiento unitario inicial del acero podría quedar enteramente perdido con el transcurso del tiempo, esto sin mencionar un posible escurrimiento en el acero mismo. Cuando mucho solo un poco de presfuerzo podría ser y en estas circunstancias el método no puede competir económicamente con el refuerzo convencional del concreto.

En 1908, C.H Steiner de los Estados Unidos de Norte América, sugirió la posibilidad de reajustar las varillas de refuerzo, después de que tuviera lugar alguna contracción y escurrimiento en el concreto, a fin de recuperar algo de la pérdida. En 1925, R.E. Dill, de Nebraska, ensayó barras de acero de gran resistencia, pintadas para impedir su adherencia con el concreto. Después de que el concreto había fraguado, las varillas de acero se tensaron y anclaron con tuercas al concreto. Pero estos métodos no se aplicaron hasta un grado apreciable, principalmente por razones económicas.

El desarrollo actual de concreto preesforzado se debe a Eugene Freyssinet, de Francia, quien en 1928, principió a usar alambres de acero de gran resistencia para preesforzar. Tales alambres con una resistencia a la ruptura tan elevada como 18,000 kg/cm² y un límite elástico de cerca de 12,650 kg/cm².

Aunque Freyssinet ensayó también el proyecto para pretensar donde el acero se adhería al concreto sin anclajes en los extremos, la aplicación práctica de este método fue primeramente hecha por E. Hoyer, de Alemania. El sistema

Hoyer consiste en alambres alargados entre dos contrafuertes separados entre sí varios cientos de metros, colocando tableros entre las unidades, para fundir el concreto y cortar los alambres una vez fraguado el concreto. Este método facilita la fundición de varias unidades entre los dos contrafuertes, y es lo que actualmente se conoce como concreto pretensado.

La aplicación en gran escala del concreto preesforzado no fue posible hasta que se proyectaron métodos económicos y seguros para el tensado y los anclajes de los extremos. En 1939, Freyssinet proyectó cuñas cónicas para los anclajes de los extremos y gatos de doble acción que tensan los alambres y empujan los conos machos dentro de los conos hembras para el anclaje. En 1940, el profesor G. Magnel, de Bélgica, desarrolló el sistema Magnel, en que dos alambres se alargan simultáneamente y se anclan con una simple cuña de metal en cada extremo. En esa misma época, el concreto preesforzado principió a adquirir importancia, aunque no llegó a progresar hasta casi 1945. Quizá la escasez de acero en Europa durante la guerra le había dado algún impulso, puesto que para el concreto preesforzado se necesita mucho menos acero que para el concreto reforzado. Pero también debe tenerse en cuenta que requirió tiempo el probar y mejorar la utilidad, economía y seguridad del concreto preesforzado así como para informar y poner al corriente a los ingenieros y constructores sobre un nuevo método de cálculo y construcción. En 1943, Freyssinet patenta y comercializa su sistema de preesfuerzo con anclajes de concreto, sistema

aún utilizado actualmente.

Un examen hecho en Alemania demostró que durante los años de 1949 a 1953, aproximadamente 500 puentes de concreto que se construyeron, 350 fueron preesforzados y sólo 150 reforzados.

En los Estados Unidos de América, el concreto preesforzado siguió un curso diferente en su desarrollo. En vez de presforzado lineal, nombre dado a las vigas y losas de concreto preesforzado, tomó la delantera el preesforzado circular aplicado especialmente a tanques de almacenamiento.

A mediados de 1951, se estimó que habían sido construidos en Europa, cerca de 175 puentes y 50 edificios incorporando el concreto preesforzado. En esa misma época no se podían encontrar más de 10 estructuras semejantes en Estados Unidos de América. Un año más tarde, una estadística llevada a cabo por la Asociación de Concreto Portland, demostró que cuando menos 100 estructuras de este tipo se habían terminado o estaban en construcción, de las cuales dos tercios fueron puentes y un tercio edificios. Desde entonces hasta hoy ha sido imposible el registro de todas las estructuras preesforzadas en Estados Unidos. Pero en 1953, el número se estimó entre 300 y 500.

Los Estados Unidos de América, no tienen el monopolio de esta clase de construcción en América. Una estadística del concreto preesforzado, llevada a cabo en los países de la América Latina, indicó que su empleo crece rápidamente. En Brasil se habían construido puentes de concreto

preesforzado, incluyendo algunos de vigas continuas. Argentina, tomó la delantera en la producción de unidades preesforzadas. En Venezuela, se habían construido puentes en arco de grandes luces incorporando concreto preesforzado. En Cuba, se completaron en 1953-1955 varios puentes de vigas continuas, hasta de 91.44 m. de longitud de claro.

Aparte del campo de los tanques, puentes y edificios, ocasionalmente se ha usado el concreto preesforzado en presas, anclando en la cimentación las varillas de acero, o bien usando gatos contra la presa misma.

En el concreto preesforzado, el acero se prealarga tanto como para evitar un largamiento excesivo bajo la carga de servicio, mientras que el concreto es precomprimido para impedir el agrietamiento bajo los esfuerzos de tensión.

Así se obtiene una combinación ideal de los dos materiales. La conveniencia básica del concreto preesforzado es casi evidente por sí misma, pero su aplicación amplia dependerá del desarrollo de nuevos métodos de cálculo y ejecución que realzarán su economía en relación con tipos de estructuras más convencionales.

En la actualidad el concreto preesforzado se ha desarrollado a gran escala debido principalmente al mejoramiento de los materiales usados en los anclajes y en los aceros, así como al gran avance que existe en los métodos de cálculo, consecuencia del extraordinario desarrollo de los sistemas de computación.

1.2 DESARROLLO DEL PREESFUERZO EN GUATEMALA

Como ya se indicó anteriormente, el preesfuerzo se inició como un sistema en Europa y Estados Unidos durante la década de 1940, comenzando a desarrollarse también en algunos países de Latino América, como México y Brasil durante la década de 1950 y es en este período, en que, en Guatemala nace la inquietud por este sistema en los ingenieros estructurales que se dedicaban al diseño de puentes. La primera obra que se construye en Guatemala en concreto preesforzado es el paso a desnivel conocido como "El Trebol" bajo la dirección del ingeniero Mauricio Castillo C.-

Durante la década de 1960, se comienza a desarrollar paulatinamente el preesfuerzo, iniciándose la comercialización de elementos prefabricados pretensados como viguetas, vigas y losas. A mediados de este período, el ingeniero Enrique Godoy S. construye el Fuente Mayuelas, siendo la segunda obra más importante en esa época que se desarrolla en nuestro país.-

Fue hasta el año de 1973 con la construcción del Puente Ing. Martín Prado Velez "El Incienso", que el preesfuerzo alcanzó en Guatemala un desarrollo más formal y se construyeron varias obras utilizando tanto técnicas de pretensado y postensado en edificios, bodegas y puentes. De esta época a la actualidad las técnicas del preesfuerzo han mejorado sustancialmente, tanto en método de cálculo, como en calidad de nuevos materiales y en Guatemala su uso

se ha difundido extensamente en la construcción de puentes y en elementos prefabricados para viviendas y edificios.-

PRINCIPIOS GENERALES DEL CONCRETO PREESFORZADO

2.1 QUE ES CONCRETO PREESFORZADO

Una de las mejores definiciones del concreto preesforzado es la del "Comité de Concreto Preesforzado del Instituto Americano de Concreto" (ACI):

"Concreto preesforzado, es aquel, en el cuál, se han introducido esfuerzos internos de tal magnitud y distribución, que los esfuerzos resultantes de las cargas externas dadas se equilibran hasta un grado deseado. En los miembros de concreto reforzado el preesfuerzo se introduce generalmente dando tensión al acero de refuerzo."

Puede añadirse que el concreto preesforzado, en el sentido más amplio del vocablo, también puede incluir casos en donde los esfuerzos resultantes de las deformaciones internas se equilibran hasta cierto grado, como en la compensación del arco.-

2.2 COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PREESFORZADO

Si se analiza para empezar, el comportamiento de una viga de concreto no armado, sobre dos apoyos, solicitada en su centro por una carga de intensidad creciente.

Bajo el peso propio y la sobrecarga, la parte inferior de la viga se tensiona y la parte superior se comprime. Como el concreto es un material que resiste a la tensión, con un pequeño valor de sobrecarga, la zona central se agrieta y la viga se rompe rápidamente. En el momento de

la ruptura por tensión se había llegado apenas a un treceavo de la resistencia a la compresión en la parte superior de la viga.

El hecho qde que la falta de resistencia a la tensión del concreto sea responsable de ruptura prematura de la pieza, explica el porque los ingenieros, hace más de un siglo y medio, imaginaran compensar esa falta de resistencia ahogando acero en el concreto para que ese acero tomase el esfuerzo de tensión.

Ahora si se considera la misma viga pero con barras de acero ahogadas en la parte inferior. Con el aumento de la sobrecarga, el concreto de la zona inferior va de nuevo a llegar al límite de su resistencia a la tensión, pero ahora ese alargamiento y aún el mismo agrietamiento no ponen en peligro la estabilidad de la viga, ya que las barras absorben dicha tensión.

Suponiendo que la sobrecarga que actúa sobre la viga de concreto supere a la de diseño, las grietas se abren todavía más y la viga adquiere una flecha visible. Estas grietas y esa flecha no desaparecerán ni con la supresión completa de la sobrecarga, y en consecuencia por todo lo antes dicho el concreto armado no es un material elástico.-

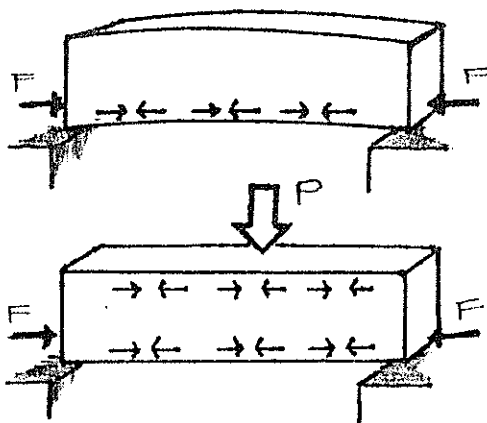
Para garantizar la duración de la viga habrá que limitar el agrietamiento, o sea, el alargamiento del refuerzo, la única forma sería limitanto el esfuerzo de tensión en el acero.

La utilización de aceros y concretos de alta

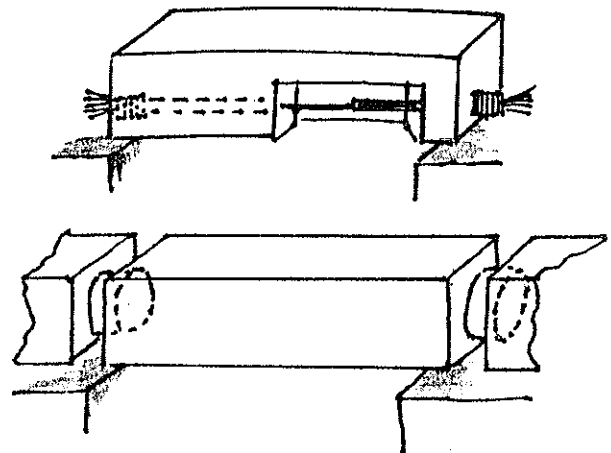
resistencia no aportan ninguna ventaja al concreto armado, ya que la resistencia del concreto a la compresión no rige en la mayor parte de los casos.

Ante la imposibilidad de utilizar dentro de los límites económicos, los materiales actualmente a disposición del constructor, el concreto armado está destinado a quedar como un material de segunda categoría, cuando la evolución de los procedimientos y las condiciones del mercado de la construcción faciliten su suplantación definitiva por nuevas técnicas.

Si se considera ahora una viga de concreto sin ningún armado y se aplican dos fuerzas exteriores idénticas y constantes, esas fuerzas comprimen la parte inferior y tensionan la parte superior de la viga. Es posible siempre escoger la intensidad de las fuerzas y su posición, para la que la tensión arriba y la compresión abajo queden entre los límites admisibles, sobre todo teniendo en cuenta que al aplicar las fuerzas, el peso propio empieza a actuar.-



Fuerzas exteriores actuando sobre la viga



Aplicación práctica de las fuerzas exteriores

La sobrecarga creciente, crearía compresiones arriba y tensiones abajo, que combinadas con los esfuerzos existentes darán compresiones arriba y abajo en los casos corrientes, evitándose de este modo tensiones en el concreto, que desde luego no se agrieta

Gracias a las dos fuerzas exteriores, el concreto resiste ahora solo, sin ningún refuerzo, a la sobrecarga. Las fuerzas exteriores, o sea el presfuerzo, transformaron el concreto no armado en un resistente material homogéneo. Si la sobrecarga aumentara excepcionalmente, el concreto se agrietaría, pero al bajar la intensidad de la sobrecarga a su valor normal, las grietas se cerrarían de nuevo y la viga tomaría exactamente el estado anterior bajo la acción de las dos fuerzas exteriores. Por lo tanto el concreto presforzado es un material elástico.

Las fuerzas exteriores consideradas anteriormente pueden lograrse de diversas formas: con aros precalentados, con muchas manos de albañiles, con gatos hidráulicos, pero la solución práctica e industrial es la utilización de tendones especiales para presfuerzo.

CLASIFICACION Y TIPOS DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO PREESFORZADO

Las estructuras de concreto preesforzado pueden clasificarse de diversos modos, que dependen de sus características de cálculo y de construcción. Se discutirán conforme a la clasificación que sigue.

3.1 ESTRUCTURAS PREESFORZADAS INTERIOR Y EXTERIORMENTE

Normalmente todas las estructuras de concreto preesforzado se calculan y construyen para aplicar las fuerzas de preesfuerzo interiormente en la estructura, o sea, dentro de la masa de concreto que las conforman. Esto se logra colocando los cables o tendones de acero dentro de ductos, previamente colocados en las armaduras de acero de refuerzo según sea el caso.-

El preesfuerzo también es posible aplicarlo exteriormente mediante gatos hidráulicos apoyados en sus extremos contra las bases de sustentación, como en el caso del arco compensado, o colocando los gatos hidráulicos en puntos estratégicos que induzcan esfuerzos que compensen los propios y de servicio de las estructuras, esto es muy complicado y prácticamente no es utilizable ya que el escurrimiento plástico y la contracción en el concreto pueden en algunos casos eliminar completamente las deformaciones artificiales que hemos inducido en él.-

La técnica actual de aplicación del preesfuerzo exterior, es mediante cables colocados en la parte externa de la estructura, los cuales para acomodarse a su

trayectoria se intersectan con desviadores del concreto adosados a esta y se anclan en sus extremos mediante bloques de concreto que contienen los anclajes y que tambien se construyen externamente a la estructura.

Actualmente en estructuras de concreto preesforzado de gran magnitud, como es el caso de los puentes de grandes luces, construidos por el método de construcción de tirantes o de dovelas fundidas en doble voladizo, se ha implementado el uso combinado de ambas técnicas con lo cual se evita que aparezcan deformaciones indeseables a largo plazo.-

Para la reparación de estructuras en general, actualmente se ha desarrollado a gran escala el sistema de preesfuerzo externo que ha dado magnificos resultados debido a que permite su colocación en los puntos más adecuados y tambien se puede efectuar la aplicación de las fuerzas en diferentes etapas.

3.2 PREESFUERZO LINEAL O CIRCULAR

El preesfuerzo circular es un vocablo aplicado a estructuras circulares preesforzadas, como tanques redondos, silos y tubos, en los cuales los cables del preesfuerzo se enrollan en círculos.

Se diferencia del preesfuerzo circular, el preesfuerzo lineal, el cual a menudo, se emplea para incluir todas las demás estructuras, como vigas y losas. Los cables de preesfuerzo en estructuras linealmente preesforzadas, no son rectos necesariamente; pueden ser, inclinados o curvos, pero no se colocan alrededor y en círculos como en el

pero no se colocan alrededor y en círculos como en el preesfuerzo circular.

3.3 PRETENSADO Y POSTENSADO

El término pretensado se usa para describir cualquier método de preesfuerzo en el cual los cables se tensan previamente a fundir el concreto. Es evidente que los cables deben anclarse temporalmente contra algún contrafuerte o en la misma plataforma de fabricación cuando se tensan y los esfuerzos se transmiten al concreto una vez fraguado. Este procedimiento se usa en laboratorios y plantas de fabricación donde existen plataformas o contrafuertes permanentes para el tensado; también se aplica en el campo donde pueden construirse contrafuertes o plataformas que se justifiquen económicamente. En contraste con el pretensado, el postensado es un método de preesfuerzo en el cual se tensan los cables, después de que el concreto de la estructura que se construye ha fraguado, así, el preesfuerzo se proporciona contra el concreto de la estructura ya endurecido, y los cables se anclan contra él inmediatamente después de tensados.

3.4 CABLES ANCLADOS EN LOS EXTREMOS Y NO ANCLADOS EN LOS EXTREMOS

Ya tensados, se anclan los cables en sus extremos por medio de dispositivos mecánicos para transmitir el preesfuerzo al concreto. Tal miembro se llama "anclado en los extremos."

En el pretensado, los cables transmiten generalmente su preesfuerzo al concreto simplemente por fricción. La efectividad de tal transmisión de esfuerzos está limitada a cables y alambres de diámetro pequeño. Actualmente, han evolucionado los anclajes para pretensar y de este modo se facilita el uso de cables de diámetros más grandes que permiten transmitir el preesfuerzo más efectivamente al concreto.-

3.5 CABLES ADHERIDOS Y NO ADHERIDOS

Los cables adheridos son aquellos que se adhieren al concreto circundante en toda su longitud. Los cables no anclados en sus extremos necesariamente son adheridos; los cables anclados en sus extremos pueden ser adheridos o no adheridos al concreto. En general, la adherencia de los cables postensados se logra mediante la inyección de lechadas de cemento dentro del ducto. Si los cables no son adheridos deben protegerse contra la corrosión mediante el galvanizado, el engrasado o por cualquier otro medio. Algunas veces los cables adheridos, se dejan a propósito sin adherir en ciertas porciones de su longitud por razones de cálculo de los esfuerzos que provocan.-

3.6 PREFABRICADO FUNDIDO EN EL LUGAR O IN SITU, CONSTRUCCION MIXTA

El prefabricado incluye la colocación del concreto lejos de su posición final, fundiéndose los miembros en plantas permanentes o en lugares cerca del sitio de la estructura erigida en la localización final. El

preesforzado. Si por el contrario, se desarrollaran en el miembro esfuerzos de tensión bajo la acción de carga de trabajo, entonces se denomina preesforzado parcialmente.

Para el preesfuerzo parcial, se colocan frecuentemente varillas adicionales de acero dúctil para reforzar la porción sujeta a la tensión. En la práctica, frecuentemente es difícil clasificar una estructura como parcial o totalmente preesforzada, puesto que mucho depende la magnitud de las cargas de trabajo empleadas en el cálculo.

Por ejemplo, los puentes se calculan siempre para preesfuerzo completo, aunque realmente están sujetos a esfuerzos de tensión durante el paso de vehículos pesados.

Por otra parte, las vigas de techo diseñadas para preesfuerzo que puede provocar sobrecarga, puede que jamás queden sujetas a esfuerzos de tensión debido a las cargas vivas consideradas.-

DIFINICION DE VIGUETA PRETENSADA Y SISTEMA CONSTRUCTIVO

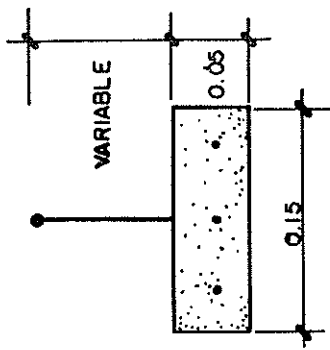
4.1 QUE ES UNA VIGUETA PRETENSADA

Una vigueta pretensada es un elemento mixto o semiprefabricado, que en lugar de utilizar acero de refuerzo para absorber los esfuerzos de tensión en el concreto, utiliza acero de preesfuerzo pretensado.

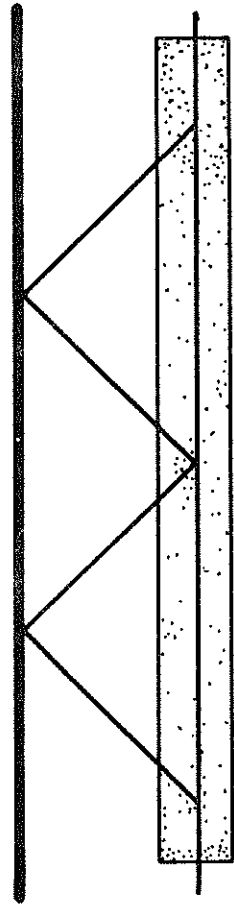
Se utiliza comunmente para la construcción de losas de techos y entrepisos para diversos usos y se dice que es semiprefabricada pues en planta se fabrica una viga que tiene las propiedades y características para poder autosoportarse, transportarse y maniobrarse, pero que tiene que terminar de construirse en obra para poder soportar las cargas finales a las que será sometida.

En las viguetas se utiliza concreto de alta resistencia, con capacidad de soportar fuerzas de ruptura a compresión superiores a las 5000 lbs/pulg.2 y acero de preesfuerzo de 250,000 lbs/pulg.2, el uso de este tipo de materiales es obligado en la fabricación de elementos pretensados. Los otros materiales que intervienen en su fabricación para absorber los esfuerzos de cortante y tensiones secundarias son de uso dúctil.-

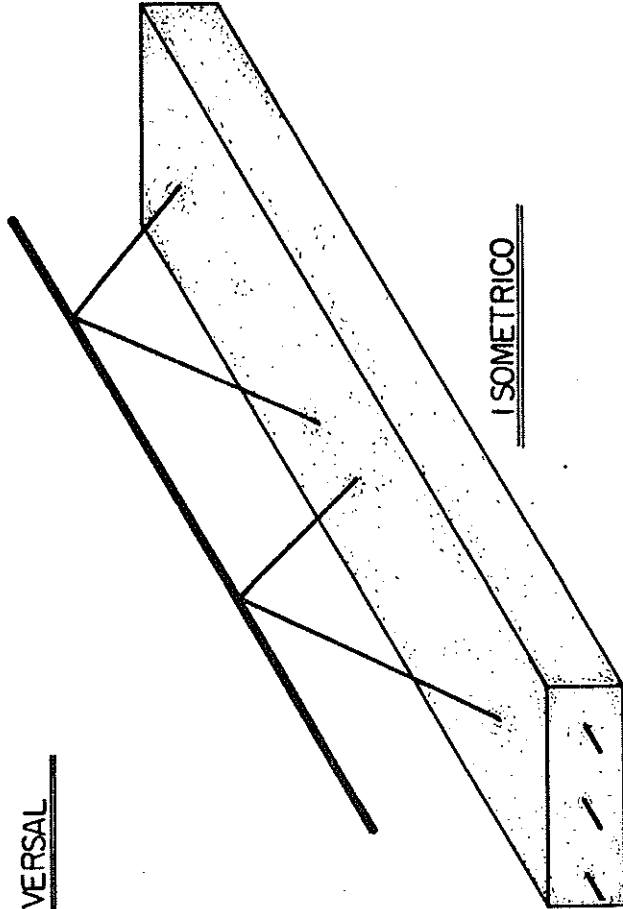
ESQUEMAS DE VIGUETA PREEFORZADA



CORTE TRANSVERSAL



CORTE LONGITUDINAL



ISOMETRICO

4.2 APLICACION DE LA VIGUETA PRETENSADA EN LA CONSTRUCCION DE LOSAS

El uso de losas construidas con elementos prefabricados, le brinda al constructor una serie de ventajas que inciden en los factores que afectan directamente al proceso constructivo; pero la técnica del preesfuerzo permite aumentar en forma radical las ventajas ya conocidas de la prefabricación, agregándole a las mismas, otras que son inherentes a esta técnica específica:

Control riguroso, tanto en la calidad de los materiales como de los procesos de producción industrial, pues por la naturaleza del preesfuerzo, se necesita un acero de alta resistencia, grado 250, pues si no es así, a la hora del tensado, falla. Se necesita obtener un concreto de 5000 lbs/plg.², pues de no ser así a la hora de la transmisión del preesfuerzo falla. Permite salvar luces mayores y lograr mayor capacidad de carga para claros dados, pudiendo controlar efectivamente las deflexiones indeseables de los elementos, pues la técnica permite diseñar controlando los esfuerzos, de acuerdo a las características particulares de cada estructura; esto implica una reducción en el entarimado y apuntalamiento provisional que se utiliza como obra falsa, pues se logran colocar los puntales a mayor separación y las tarimas de losa son prácticamente eliminadas.-

DISEÑO Y CALCULO ESTRUCTURAL DE LA VIGUETA PRETENSADA

5.1 ETAPAS DE CARGA EN CONCRETO PREESFORZADO EN GENERAL

5.1.1. ETAPA INICIAL

En la etapa inicial, el miembro o la estructura está bajo la acción del preesfuerzo, pero no está sujeto a ninguna carga exterior sobrepuesta. Esta etapa se puede subdividir todavía en los siguientes períodos, algunos de los cuales pueden eliminarse en ciertos cálculos, por no ser importante en determinadas circunstancias.

A. ANTES DEL PREESFUERZO

Esta es la etapa en que se funde el concreto en sus moldes, y hay que considerar que antes de que el concreto se preesfuerece es muy débil para soportar cargas, por lo que debe impedirse que ceda el molde que lo contiene durante su fraguado. En la vigueta el molde está bien sujeto a la pista, pues se trata de una producción industrial. Debe preverse que pueda ocurrir la contracción del concreto. Con frecuencia esto es de consecuencias negativas, porque las grietas de contracción disminuirán o anularán la capacidad del concreto para soportar esfuerzos de tensión. Para controlar la contracción es necesario mantener un control riguroso en el curado del concreto.

B. DURANTE EL PREESFUERZO

Esta es la etapa donde se aplica la fuerza de tensado a los cables o alambres de preesfuerzo, siendo esta una prueba crítica para la resistencia de acero empleado, ya que los esfuerzos máximos a que se sujetan los cables durante su vida, ocurren en este período. Puede suceder ocasionalmente que un alambre individual se rompa durante el preesfuerzo por errores en la aplicación de la carga o por defectos de fabricación. En el caso particular de la vigueta pretensada, los cables son tensados al 80% de la resistencia última del acero, antes de fundir el concreto. En el concreto pretensado esta etapa es anterior a la etapa A.

C. EN LA TRANSFERENCIA DEL PREESFUERZO

Para los miembros pretensados, la transferencia del preesfuerzo ocurre en una operación y en un corto período de tiempo, por lo que es importante que el concreto haya obtenido para esta etapa el 80% del f'_c de diseño como mínimo. En el momento de la transferencia del preesfuerzo no existe carga exterior sobre el miembro, excepto su peso propio. Por lo anterior se deduce que el preesfuerzo inicial, aún cuando no puede evitarse que sufra una pequeña pérdida, impone una seria condición sobre el concreto y con frecuencia controla el cálculo del miembro.

5.2 ETAPA INTERMEDIA.

Esta corresponde al transporte y montaje del elemento y únicamente sucede en elementos prefabricados cuando se transportan a su sitio y se montan en posición. Es sumamente importante asegurarse de que los miembros se soporten y se manejen en forma adecuada todas las veces que el caso lo requiera.

En el caso particular de la vigueta que es un elemento semi-prefabricado, o sea que se termina de fundir en obra, es sumamente importante el manejarlo de la forma en que fue diseñado, para no dañarlo.

5.3 ETAPA FINAL

Es la etapa en la que se aplican a la estructura las cargas reales de trabajo. En el caso particular de la vigueta por ser un elemento semi-prefabricado, tiene una etapa final de trabajo como vigueta en si, que es durante la fundición y también tiene una etapa final de trabajo como sistema de losa, por lo cual hay que diseñar el elemento para ambos propósitos.

5.3.1 CARGA DE TRABAJO

El cálculo de la carga de trabajo es una comprobación de los esfuerzos y deformaciones excesivas. No es necesariamente una garantía de resistencia suficiente para soportar sobrecargas.

5.3.2 CARGAS DE AGRIETAMIENTO

El agrietamiento de un miembro de concreto preesforzado significa un cambio repentino en los esfuerzos cortantes y de adherencia. Algunas veces es una medida de la resistencia a la fatiga.

5.3.3 CARGA DE RUPTURA

Las estructuras diseñadas sobre la base de esfuerzos de trabajo, pueden carecer de suficiente margen para las sobrecargas. En general, se define la resistencia de ruptura como la carga máxima que puede soportar una estructura antes del colapso. Sin embargo, algunas partes de la estructura pueden ceder permanentemente antes de que se llegue a la carga de ruptura. El concreto preesforzado se diseña siempre con esfuerzos de trabajo debiéndose chequear que los esfuerzos nunca sobrepasan las especificaciones requeridas.

5.4 MATERIALES

Antes de entrar a ejemplificar el proceso de cálculo y diseño de una vigueta pretensada, es necesario definir los materiales que se usaran en su fabricación, siendo éstos:

- Joist de acero dúctil grado 40.
- Acero de preesfuerzo grado 250 k. (250,000 lbs/pulg.2)
- Concreto $f'c = 5,000$ lbs/pulg.2 (350 kg/cm²)
- Dimensiones de la pastilla de concreto, 5cm. X 15cm.

Estos materiales marcarán los parámetros que limitarán la capacidad del elemento a diseñar.

5.5 PROCESO DE DISEÑO Y CALCULO DE UNA VIGUETA FRETENSADA, EJEMPLO.

Se diseña una vigueta para cubrir una luz de 8 mts. por lo que se usó un peralte de losa de 25 cms. y se determinará que sobrecarga será capaz de soportar:

1º Comenzar calculando la fuerza que los alambres de pretensado transmiten a la vigueta para ver si resiste la transmisión del preesfuerzo.

A) Los alambres tienen un esfuerzo a la ruptura ($f's$) = 160 kg./mm². y 5 mm. de diametro; se tensarán al 80% según manda el código ACI Sección 18.5, para obtener la fuerza inicial (f_i)

$$f's = 160 \text{ kg./mm}^2$$

$$f_{si} = 160 \times 0.80 = 128 \text{ kg./mm}^2.$$

B) Una vez obtenido el esfuerzo f_{si} por alambre, se decide el número de alambres que se usará, en este caso seran 5 alambres, obteniendo la fuerza de transferencia.

F_t = Fuerza de transferencia.

$$F_t = 128 \text{ kg/mm}^2 \times \text{Area (mm}^2\text{.)}$$

$$\text{Area del Alambre} = 19.60 \text{ mm}^2.$$

$$F_t = 128 \times 19.60 = 2,508.80 \text{ kg. por alambre.}$$

$$F_t = 2,508.80 \text{ kg. por alambre.}$$

$$F_t \text{ Total} = 2,508.80 \times 5 = 12,544.00 \text{ Kg.}$$

C) Una vez obtenida la fuerza de transferencia, será necesario encontrar el área de la sección que se trabajará, pues no se puede esforzar más de lo que

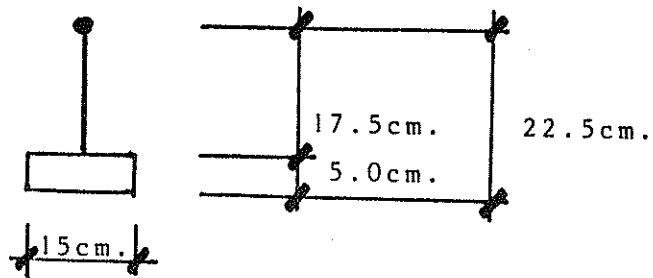
permite el Código ACI en su sección 18.4, siendo las especificaciones:

$$f_- = \text{Esfuerzo en la fibra Extrema en compresión} \\ = 0.45 \times f'_c$$

$$f_+ = \text{Esfuerzo en la fibra Extrema en tensión en la} \\ \text{zona de tensión precomprimida} = 1.6 \sqrt{f'_c}$$

$$f_{ci} = \text{Esfuerzo máximo de compresión del concreto} \\ \text{durante la transferencia según Código ACI} = \\ 0.60 \times f'_c$$

SECCION DE LA VIGUETA



Se tiene que obtener el área transversal de la viga para lo que se transformará el acero del cordón superior a su equivalente en concreto, por medio de un factor de conversión (n).

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2.$$

Para obtener el "Ec" se utilizará lo que manda el Código ACI 318 Sección 8.5

$$E_c = 15,000 \sqrt{f'c}$$

$$E_c = 15,000 \sqrt{350} = 280,624.30 \text{ kg/cm}^2.$$

Entonces,

$$n = \frac{2.1 \times 10^6}{280,624.30}$$

$$n = 7.48$$

Se integra el Area Total

$$A_{\text{Total}} = A_{\text{Pastilla}} + A_{\text{Transformada}}$$

$$A_{\text{Total}} = (5 \times 15) + (1.27 \times 7.48)$$

$$A_{\text{Total}} = 84.50 \text{ cm}^2.$$

A continuación se chequea el esfuerzo de transferencia a que la Sección Total será sometida por la fuerza de 5 alambres de preesfuerzo.-

Fi = Fuerza de Transferencia o fuerza inicial.

$$F_i = 5 \times 2,508.80$$

$$F_i = 12,544.00 \text{ kg.}$$

fi = Esfuerzo de compresión inicial en la transferencia.

$$f_i = \frac{12,544.00 \text{ kg.}}{84.50 \text{ cm}^2.}$$

$$f_i = 148.45 \text{ kg/cm}^2.$$

Según el Código ACI:

$$f_{ci} \text{ permisible} = 0.60 (350)$$

$$f_{ci} \text{ permisible} = 210.00 \text{ kgs/cm}^2.$$

Comparando esfuerzos:

$$f_i < f_{ci}$$

$$148.45 \text{ kg/cm}^2. < 210.00 \text{ kgs/cm}^2$$

El f_i está dentro de los límites permisibles y por lo tanto se puede aplicar esta cantidad de preesfuerzo a la pastilla de la vigueta, pues la sección resiste la fuerza de transferencia aplicada.

29 Como ya se sabe que la vigueta resiste la transmisión del preesfuerzo, se pasa a diseñar dicho elemento como vigueta individual, para que se auto soporte simplemente apoyada.

A. Se tiene que obtener la fuerza útil (F_u) de preesfuerzo.

$$F_u = F_i - \text{Perdidas}$$

Las pérdidas de preesfuerzo serán estimadas según el código AASHTO en 32 kg/mm^2 . (ver referencias)

Entonces:

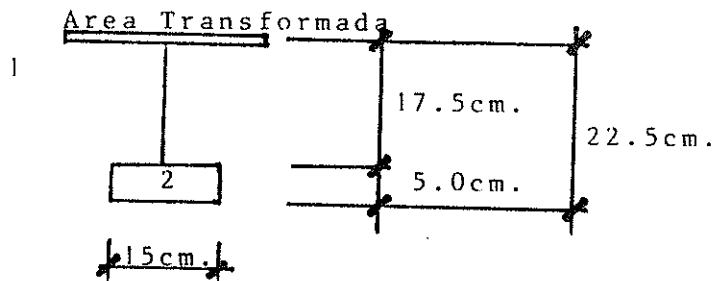
$$F_u = 2,508.80 - 32 \times 19.60$$

$$F_u = 1,881.60 \text{ kg.}$$

$$Fu_{\text{Total}} = 5 \times 1,881.60 \text{ kg.}$$

$$Fu_{\text{Total}} = 9,408.00 \text{ kg.}$$

B) Se tiene que obtener las propiedades geométricas de la sección simple, que son el centroide y la inercia.



OBTENCION DEL CENTROIDE

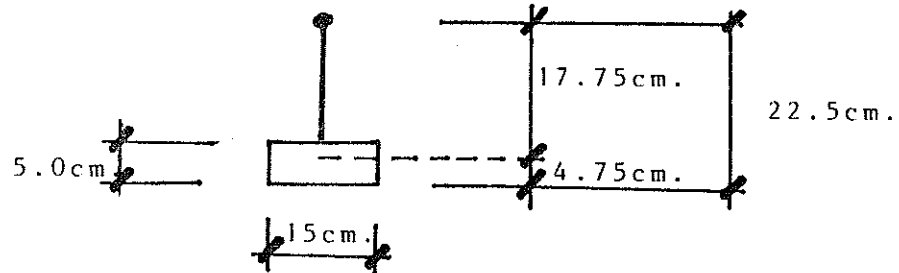
FIG.	AREA (cm ²)	BRAZO (cm)	MOMENTO
1	75.00	2.50	187.50
2	9.50	22.50	213.75
	84.50		401.25

$$C = \frac{\Sigma \text{ MOMENTOS}}{\Sigma \text{ AREAS}}$$

$$C = \frac{401.25}{84.50}$$

$$C = 4.75 \text{ cms.}$$

El centroide queda ubicado como lo indica la siguiente figura:



Se calcula la inercia centroidal por el teorema de los ejes paralelos.

$$I_c = \frac{1}{12} (15) (5)^3 + 75 (2.25)^2 + 9.5 (17.75)^2$$

$$I_c = 156.25 + 379.69 + 2,993.09$$

$$I_c = 3,529.03 \text{ cms}^4$$

C) Con las propiedades de la sección y la fuerza útil se está en el momento de poder obtener el estado de esfuerzos en la fibra superior e inferior debido al preesfuerzo.

Se asumirá la siguiente convención de signos:

(-) Compresión

(+) Tensión

Para los esfuerzos del preesfuerzo la fórmula es:

$$f = - \frac{P}{A} \pm \frac{Pec}{I}$$

La fórmula anterior se basa en la superposición de esfuerzos producidos por la compresión pura y excentricidad de la fuerza de compresión del preesfuerzo, según la teoría elástica, donde:

$\frac{P}{A}$: Es la fuerza por unidad de área que soporta un material y se denomina esfuerzo, "P" es la carga aplicada y "A" es el área de la sección transversal perpendicular a la carga aplicada.

$\frac{Pec}{I}$ Esta fórmula se obtiene de la fórmula de los esfuerzos producidos por Flexión: $f = \frac{MC}{I}$, la cual se deduce de la deformaciones elásticas junto con la Ley de Hooke, determinando la forma de la distribución de esfuerzos, y mediante las condiciones de equilibrio se establece la relación entre los esfuerzos y las cargas; en este caso el momento flector "M" es el que produce la fuerza de compresión "P" actuando con un brazo de palanca "e" que es la excentricidad, o sea la distancia del eje neutro de la

sección al punto de aplicación de la fuerza,

o sea: $M = P e$

Según lo anterior:

$$f = \frac{M C}{I} \text{ donde } M = P e$$

y substituyendo se obtiene:

$$f = \frac{P e c}{I}$$

Según este criterio se calculan los esfuerzos del presfuerzo en la vigueta:

f_{top} = Esfuerzo en la fibra superior

$$f_{\text{top}} = - \frac{P}{A} + \frac{P e c}{I}$$

$$F_u = 9,408.00 \text{ kg.}$$

$$A = 84.50 \text{ cm}^2.$$

$$I = 3,529.03 \text{ cm}^4.$$

$$e = 2.25 \text{ cm}.$$

$$c = 17.75 \text{ cm}.$$

$$f_{\text{top}} = \frac{9,408.00}{84.50} + \frac{9,408.00 \times 2.25 \times 17.75}{3,529.03}$$

$$f_{\text{top}} = - 111.34 + 106.46$$

$$f_{\text{top}} = -4.88 \text{ kg/cm}^2.$$

f_{bot} = Esfuerzo en la fibra inferior

$$f_{\text{bot}} = -\frac{P}{A} - \frac{Pec}{I}$$

$$F_u = 9,408.00 \text{ kg.}$$

$$A = 84.50 \text{ cm}^2.$$

$$I = 3,529.03 \text{ cm}^4.$$

$$e = 2.25 \text{ cms.}$$

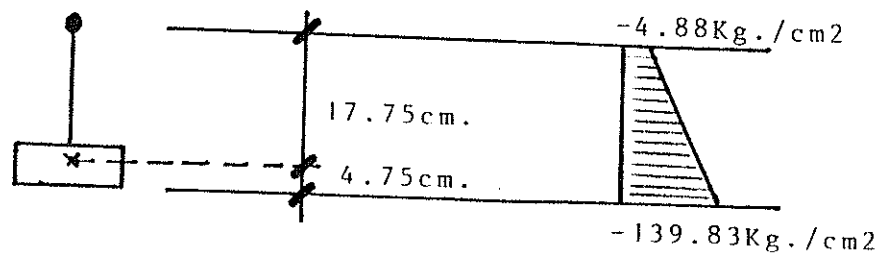
$$c = 4.75 \text{ cms.}$$

$$f_{\text{bot}} = -\frac{9,408.00}{84.50} - \frac{9,408.00 \times 2.25 \times 4.75}{3,529.03}$$

$$f_{\text{bot}} = -111.34 - 28.49$$

$$f_{\text{bot}} = -139.83 \text{ kg/cm}^2.$$

Diagrama de Esfuerzos de la vigueta simple, bajo la influencia del preesfuerzo.



Los esfuerzos a los cuales la vigueta se encuentra sometida son menores al 45% de $f'c$.

- D) Seguidamente se tendrá que diseñar la diagonal del joist para que la vigueta se autosoporte simplemente apoyada.

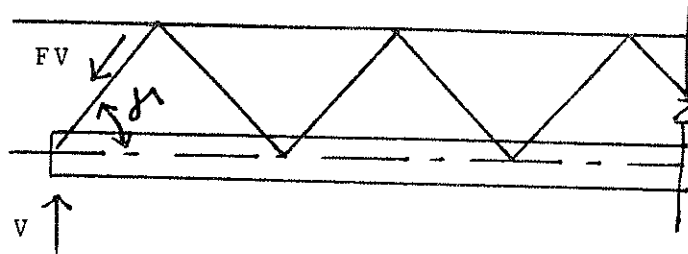
Calculando el corte máximo por peso propio.

El corte sera:

$$V = \frac{w l}{2}$$

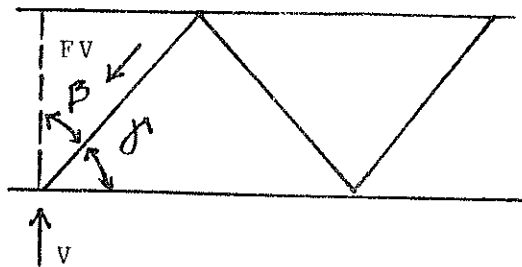
$$V = \frac{(20/100) (800)}{2} = 80 \text{ kg.}$$

El caso es el siguiente:



El ángulo que se propone utilizar es 49° , pues con la utilización de este ángulo se reduce la longitud " λ " (ver figura) y con esto se mejora la resistencia a la carga crítica por esbeltez, según la Ley de Euler, pues el cordón superior queda sometido a esfuerzos de compresión y esto ayuda a controlar su pandeo.

$$\text{Si } \delta = 49^\circ, \beta = 41^\circ$$



$$Fv \cos 41^\circ = V$$

$$Fv = \frac{V}{\cos 41^\circ}$$

$$Fv = \frac{80 \text{ kg.}}{\cos 41^\circ} = 106.00 \text{ kg.}$$

Si se utiliza hierro de 1/4" para la diagonal del joist se obtendrá una fuerza máxima de resistencia a la ruptura de:

$$F = A_s \times F_y$$

$$F = 0.31 \times 2,810 = 871.10 \text{ kg.}$$

Como:

$$106.00 \text{ kg} < 871.10 \text{ kg.}$$

El hierro de 1/4" a ese ángulo de doblado para el joist, trabaja muy bien.

E) Chequear la deflexión de la vigueta simple, simplemente apoyada, que ocasiona el presfuerzo (contraflecha).

CALCULANDO LA CONTRAFLECHA

$M = P_e =$ Momento del preesfuerzo

$$M = 9,408.00 \times 2.25$$

$$M = 21,168.00 \text{ kg-cm.}$$

En un elemento simplemente apoyado:

$$\Delta_{\max} = \frac{5 w l^4}{384 E I} = \frac{5 l^2}{48 E I} \times \frac{w l^2}{8}$$

$$M = \frac{w l^2}{8}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{5 M l^2}{48 E I}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{5 \times 21,168.00 \times (800)^2}{48 \times 280,624.30 \times 3,529.03}$$

$$\Delta_{\max} = 1.42 \text{ cms.}$$

CALCULANDO LA FLECHA

$$\Delta_{\max} = \frac{5 w l^4}{384 E I}$$

$$w = 0.20 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{5 \times 0.20 \times (800)^4}{384 \times 280,624.30 \times 3,529.03}$$

$$\Delta_{\text{max}} = 1.08 \text{ cms.}$$

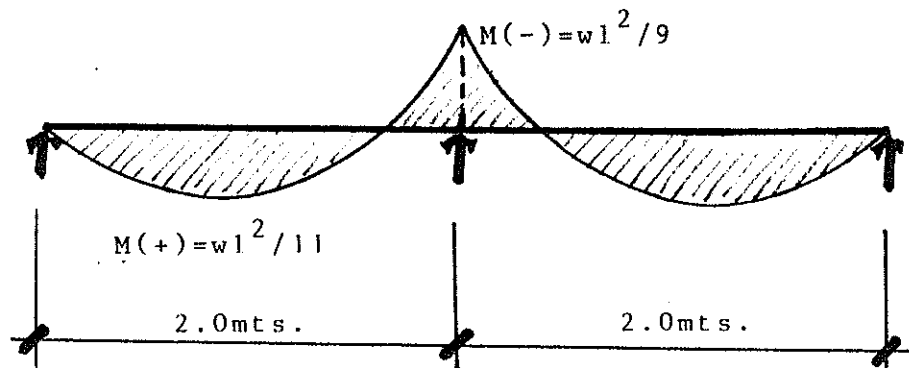
OBTENIENDO LA FLECHA REAL

$$\Delta = 1.42 - 1.08$$

$$\Delta = 0.34 \text{ cms.}$$

39 Es el momento de chequear como funciona la vigueta apuntalada, para lo cual se propondrán los puntales a cada 2 mts. de separación.

El estado de momentos es el siguiente:



Integrando las cargas a las cuales la vigueta será sometida durante el proceso de fundición en obra.

CARGA MUERTA

Peso de bovedilla	$\frac{11.36 \text{ kg.}}{0.20 \text{ mts.}}$	=	56.80 kg/mt.
-------------------------	---	---	--------------

PESO DE FUNDICION

Losa	$0.05 \times 0.60 \times 2,400 =$	72.00 kg/mt.
Complemento nervio =	$0.11 \times 0.15 \times 2,400 =$	39.60 kg/mt.
		<hr/>
		111.60 kg/mt.
Peso Propio	=	20 kg/mt.

RESUMEN:

Bovedilla	=	56.80 kg/mt.
Fundición	=	111.60 kg/mt.
Peso Propio	=	20.00 kg/mt.
		<hr/>
TOTAL		188.40 kg/mt.

CARGA VIVA DE TRABAJO EN OBRA (Trabajadores y equipo)

$$C.V. = 100 \text{ kg./mt}^2$$

$$C.V. = 100 \times 0.60$$

$$C.V. = 60 \text{ kg/mt.}$$

SOBRECARGA TOTAL DE FUNDICION EN OBRA

$$S.C.T = C.M. + C.V.$$

$$S.C.T. = 188.40 + 60.00$$

$$S.C.T. = 248.40 \text{ kg/mt.}$$

DEL ESTADO DE MOMENTOS PAG.# 41

$$M_{(+)} = \frac{2.48 (200)^2}{11} = 9,018.18 \text{ kg-cm.}$$

$$M_{(-)} = \frac{2.48 (200)^2}{9} = 11,022.22 \text{ kg-cm}$$

A continuación se obtiene los esfuerzos en la fibra superior e inferior.

NEGATIVO (En primer apoyo interior)

$$f = \pm \frac{Mc}{I}$$

$$f = + \frac{11,022.22 \times 17.75}{3,529.03}$$

$$f = + 55.43 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f = - \frac{11,022.22 \times 4.75}{3,529.03}$$

$$f = - 14.84 \text{ kg/cm}^2.$$

POSITIVO (Al centro del primer claro extremo)

$$f = \pm \frac{Mc}{I}$$

$$f = - \frac{9,018.18 \times 17.75}{3,529.03}$$

$$f = - 45.36 \text{ kg/cm}^2.$$

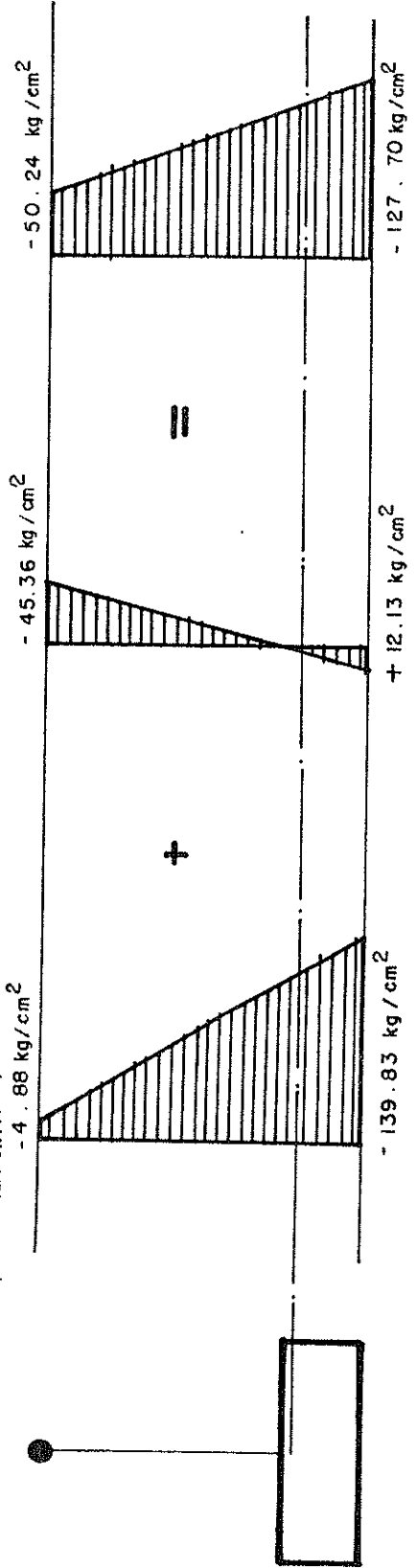
$$f = + \frac{9,018.18 \times 4.75}{3,529.03}$$

$$f = + 12.13 \text{ kg/cm}^2.$$

b

Chequeando los esfuerzos contra los del preesfuerzo se obtiene el siguiente resultado:
(ver pagina siguiente)

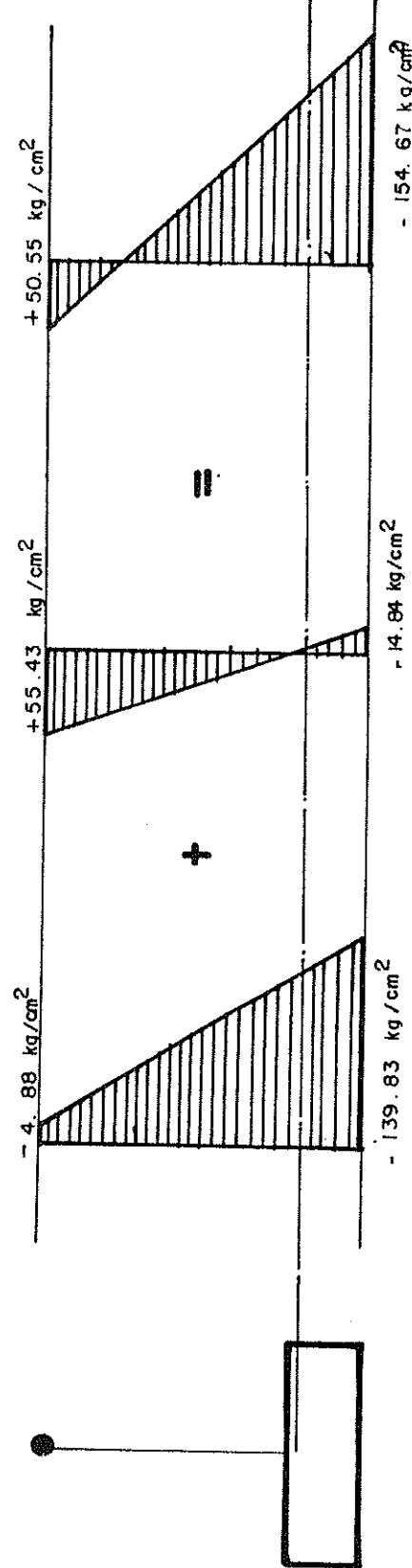
POSITIVO: (Al centro del primer claro extremo)



PREESFUERZO

SOBRECARGA AL FUNDIR

NEGATIVO: (En primer apoyo interior)

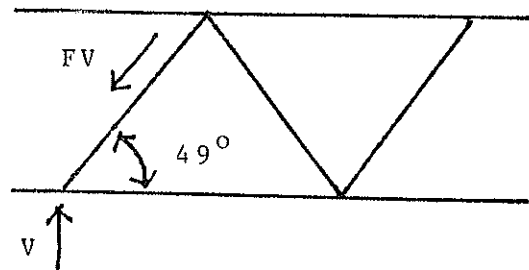


PREESFUERZO

SOBRECARGA AL FUNDIR

- Los esfuerzos negativo y positivo a que el concreto será sometido son menores al 45% del $f'c$, lo cual está dentro de las especificaciones.
- El cordon superior será esforzado a 50 kg/cm². tanto a tensión como a compresión, y su f_y es igual a 2,810 kg/cm². lo cual indica que soporta perfectamente bien los esfuerzos de trabajo.-

CHEQUEO DE CORTE



$$V = \frac{wl}{2} = \frac{2.48 \text{ kg-cm.} \times 200}{2}$$

$$V = 248 \text{ kg.}$$

$$FV = \frac{248}{\cos 41^\circ}$$

$$FV = 328.61 \text{ kg.}$$

Determinar el área de la varilla requerida para soportar esta fuerza con el valor de F_y del acero.

$$AV = \frac{328.61 \text{ kg}}{2,810 \text{ kg/cm}^2}$$

$$AV = 0.12 \text{ cm}^2.$$

$$AV \text{ Hierro } 1/4" = 0.31 \text{ cm}^2.$$

$$0.31 \text{ cm}^2. > 0.12 \text{ cm}^2.$$

Chequea el hierro de 1/4".

4° Ya que la vigueta se soporta asi misma, y soporta la carga de trabajo en obra se tiene que chequear su funcionamiento a sección mixta.

A) Determinando la inercia de la sección compuesta transformado el concreto de 210 kgs/cm². con un factor $n = 0.776$

OBTENIENDO EL CENTROIDE

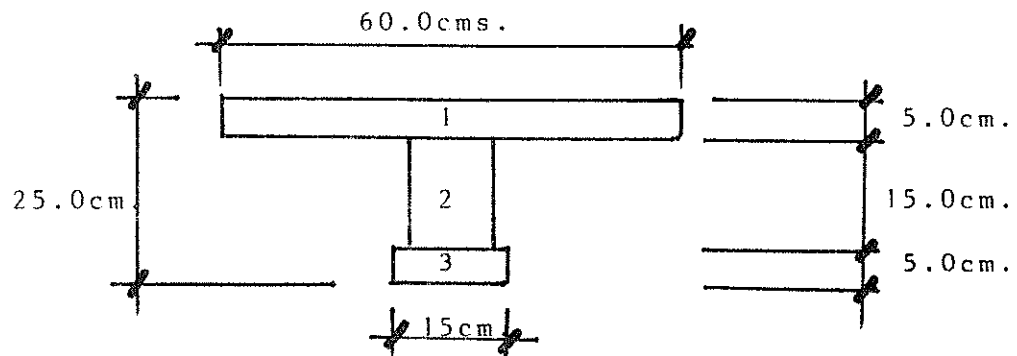


FIG.	AREA (CM2)	BRAZO (CM.)	MOMENTO
1	232.80	22.50	5,238.00
2	128.04	12.50	1,600.50
3	75.00	2.50	187.50
	435.84		7,026.00

$$C = \frac{7,026.00}{435.84}$$

$$C = 16.12 \text{ cms.}$$

OBTENIENDO LA INERCIA POR EL TEOREMA DE LOS EJES PARALELOS.

$$I_c = \frac{1}{12} (15) (5)^3 + 75 (13.62)^2 + \frac{1}{12} (8.54) (15)^3$$

$$+ 128.04 (3.62)^2 + \frac{1}{12} (46.56) (5)^3 +$$

$$+ 232.80 (6.38)^2$$

$$I_c = 156.25 + 13912.83 + 2401.88 + 1677.89 + 485$$

$$+ 9,475.98$$

$$I_c = 28,110.00 \text{ cm}^4.$$

B) Obtener el momento que actuará sobre cada vigueta por el peso propio en si de la losa y el nervio que conforma la sección compuesta endurecida.

Como la vigueta compuesta tiene restricción al giro, se considerará semi-empotrada y esto justifica que se use un momento de la siguiente magnitud como promedio:

$$M = \frac{wl^2}{10}$$

- Momento por peso propio de la vigueta simple

$$M = \frac{(20/100) (800)^2}{10}$$

$$M = 12,800 \text{ Kg-cm.}$$

- Momento por carga de peso propio conformado por la fundición y bovedilla.

w de la carga se toma de la pagina # 42

$$w = 188.40 - 20$$

$$w = 168.40 \text{ Kg/mt.}$$

Entonces

$$M = \frac{(168.40/100) (800)^2}{10}$$

$$M = 107,776.00 \text{ Kg-cm.}$$

- Obteniendo los esfuerzos máximos por flexión.

$$f = \frac{Mc}{I}$$

VIGUETA SIMPLE

$$f_t = - \frac{12,800 (17.75)}{3,529.03}$$

$$f_t = - 64.38 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$f_b = + \frac{12,800 (4.75)}{3,529.03}$$

$$f_b = + 17.23 \text{ Kg/cm}^2.$$

SECCION COMPUESTA

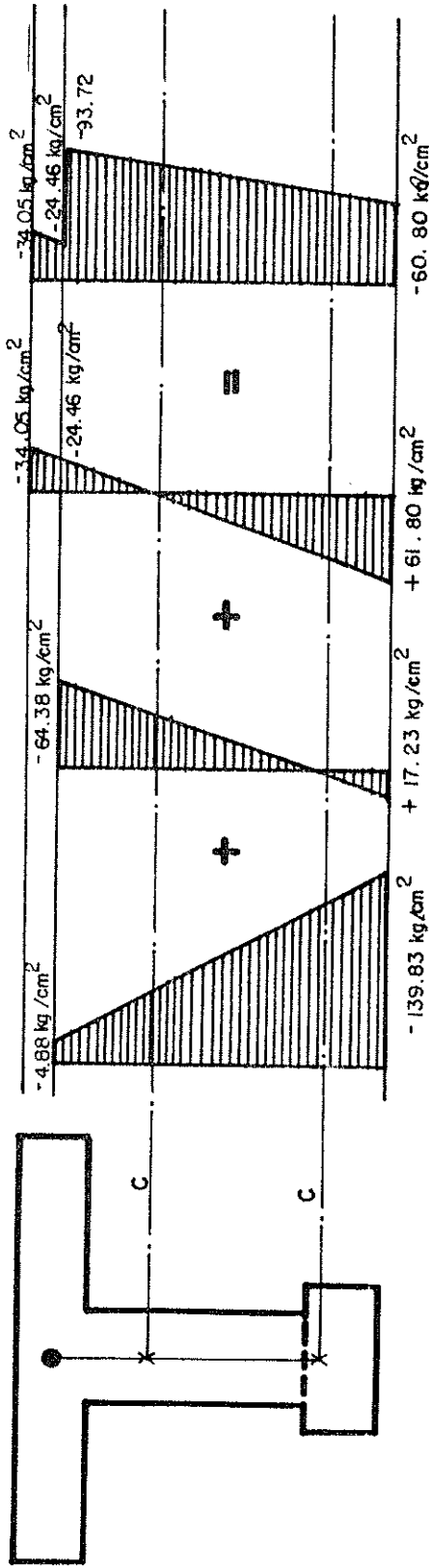
$$f_t = - \frac{107,776.00 (8.88)}{28,110.00}$$

$$f_t = - 34.05 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$f_b = + \frac{107,776.00 (16.12)}{28,110.00}$$

$$f_b = + 61.80 \text{ Kg/cm}^2.$$

C) Se hace el diagrama de los estados de esfuerzos por peso propio de la Sección compuesta y lo obtenido en la Sección simple para obtener la pauta de lo que se tiene de esfuerzo disponible para utilizarlo en carga viva y muerta sobreimpuesta.



S. C.

S. C.

S. S.

S. S.

DISPONIBLE

LOSA + NERVIO

PESO PROPIO

SOLO PREESFUERZO

D) A continuación se analiza la máxima carga que soporta a deflexión, pues con una luz de 8 mts., la deflexión puede ser crítica y podría ser la limitante de carga.

SIMPLEMENTE APOYADO:

$$\Delta_{\max} = \frac{5 l^2}{48 EI} \times \frac{w l^2}{8}$$

Como nuestro momento es para semi-empotrado se asumirá como una aproximación con vigueta semi-empotrada.

$$\Delta_{\max} = \frac{5 w l^4}{480 EI}$$

$$w = 168.40 \text{ Kg/mt.}$$

$$E = 15,000 \sqrt{350}$$

$$E = 280,624.31 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$I = 28,110.00 \text{ Kg/cm}^4.$$

$$\Delta_{p.p.} = \frac{(5) (1.684) (800)^4}{(480) (280,624.31) (28,110.00)}$$

$$\Delta_{p.p.} = 0.91 \text{ cm.}$$

Comparando esta deflexión con la encontrada en la pagina # 41

$$= 0.91 - 0.34$$

p.p.

$$\Delta_{p.p.} = 0.57 \text{ cms por debajo de la horizontal.}$$

Esta deflexión de 0.57 cms. sería la deflexión que quedaría después de endurecido el concreto y después de retirar los parales de apuntalamiento provisional y podría ser eliminada si se eleva el apoyo provisional en la misma magnitud antes de fundir la losa en obra.-

$$\Delta_{\text{max. permisible}} \text{ sera } L/480$$

$$\Delta_{\text{max. permisible}} = \frac{800}{480}$$

$$\Delta_{\text{max. permisible}} = 1.66 \text{ cms.}$$

Entonces el margen que se dispone para sobrecarga es:

$$\Delta_{s.c.} = 1.66 - 0.57$$

$$\Delta_{s.c.} = 1.09 \text{ cm.}$$

$$w = \frac{4(480)(EI)}{5(1)}$$

$$w_{s.c.} = \frac{1.09(480)(280,624.31)(28,110.00)}{5(800)}$$

$$w_{s.c.} = 2.02 \text{ Kg/cm.}$$

$$w_{s.c.} = 202 \text{ Kg/mt.}$$

$$w = 335.87 \text{ kg/mt}^2.$$

s.c.

E) Ahora se calcula la máxima capacidad de resistencia a flexión que tiene la sección compuesta.

El remanente de esfuerzo que se puede utilizar es:

$$f = -60.80 \text{ Kg/cm}^2. \text{ (inferior)}$$

$$f = \frac{Mc}{I} \quad M = \frac{fI}{C}$$

$$M = \frac{60.80 (28,110.00)}{16.12}$$

$$M = 106,022.83 \text{ Kg-cm.}$$

$$M = \frac{wl^2}{10} \quad w = \frac{10 M}{l^2}$$

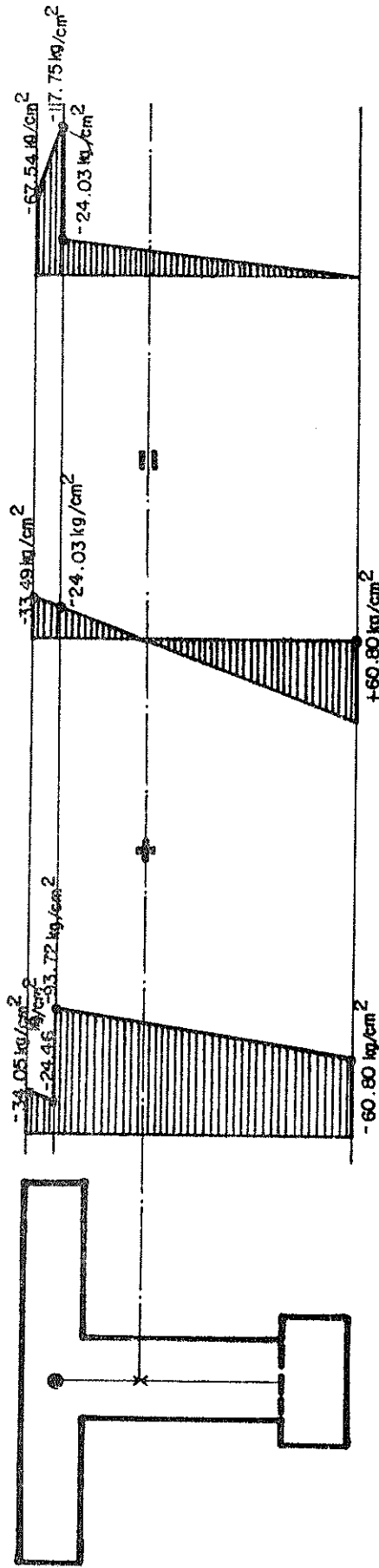
$$w = \frac{10 (106,022.83)}{(800)^2}$$

$$w = 1.66 \text{ Kg/cm.}$$

$$w = 166.00 \text{ Kg/mt.} \quad w = 276.00 \text{ Kg/mt}^2.$$

Ver estado de esfuerzo en la página siguiente:

ESTADO FINAL DE ESFUERZO POR FLEXION



Estado de esfuerzos disponibles

Estado de esfuerzos por sobrecarga

Resultado de esfuerzo al utilizar toda la capacidad de sobrecarga disponible

$$f_{\text{SUPERIOR}} = - \frac{106,022.83(8.88)}{28,110.00} = - 33.49$$

$$f_{\text{INFERIOR}} = + \frac{106,022.83(16.12)}{28,110.00} = + 60.80$$

NOTA: El esfuerzo de compresión de 117.75 kg/cm² en la fibra superior de la sección simple, es absorbido por el cordón superior del joist, en el exeso sobre 94.50 kg/cm² especificado.

F) Chequear la resistencia al corte de la sección compuesta.

- Tomaremos la siguiente fórmula

$$V = \emptyset \times 0.53 \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

Se hará trabajar el concreto a corte

$$\emptyset = 0.85$$

$$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$b = 1 \text{ cms.}$$

$$d = 25 \text{ cms.}$$

$$V = 0.85 \times 0.53 \times \sqrt{350} \times 11 \times 25 \times 0.776$$

$$V = 1,798.55 \text{ Kg.}$$

Corte actuante por peso propio.

$$V_{p.p} = \frac{w l}{2} \quad (w = 188.40 \text{ Kg/mt. de pag. \# 41})$$

$$V_{p.p} = \frac{(188.40/100)(800)}{2}$$

$$V_{p.p} = 753.60 \text{ Kg.}$$

Remanente de capacidad a corte que se dispone.

$$V_{s.c} = 1,798.55 - 753.60$$

$$V_{s.c} = 1,044.95 \text{ Kg.}$$

$$\text{Como: } V = \frac{w l}{2}$$

Despejando

$$w = \frac{2V}{l}$$

$$w = \frac{2 (1,044.95)}{800}$$

$$w = 2.61 \text{ Kg/m.} = 261 \text{ Kg/mt.}$$

$$w_{s.c} = \frac{261}{0.60} = 435 \text{ Kg/mt}^2.$$

$$w_{s.c} = 435.00 \text{ Kg./mt}^2.$$

RESUMEN

Vigueta 8 mt. luz libre

Peralte de losa 25 cms.

RESISTENCIA MAXIMA DE SOBRECARGA

FLEXION	CORTE	DEFLEXION
276.00 Kg/mt ² .	435.00 Kg/mt ² .	336.00 Kg/mt ²

Como se puede observar manda la FLEXION, pudiéndose utilizar una sobrecarga máxima de 276.00 Kgs./mt².

METODO DE FABRICACION DE LA VIGUETA PRETENSADA

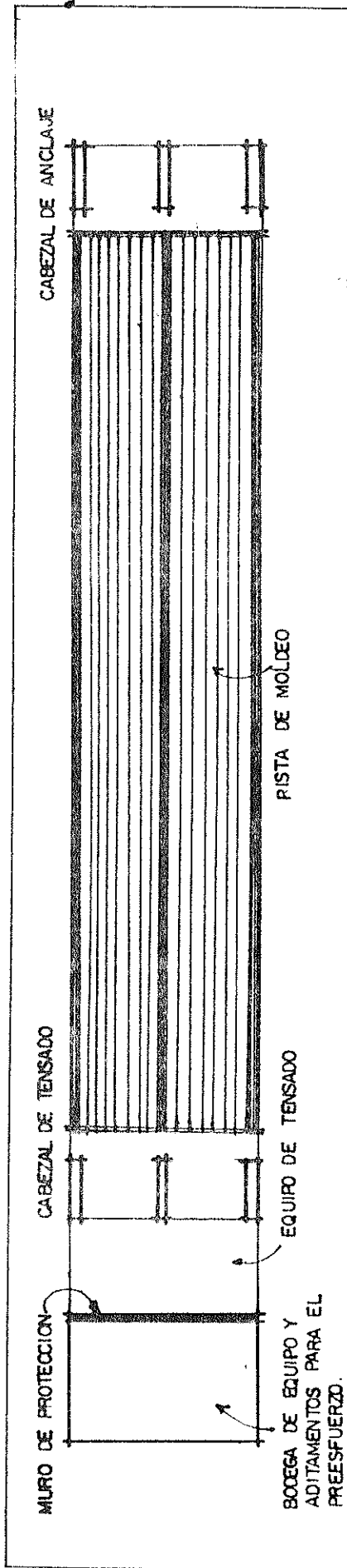
6.1 INSTALACIONES Y EQUIPO NECESARIO PARA LA FABRICACION DE VIGUETAS PRETENSADAS

Antes de decidir dónde se debe de instalar una fábrica de viguetas, se debe estudiar a que distancia quedarán los bancos para el suministro de los materiales, el suministro de electricidad, medios de comunicación y distancias a los centros de consumo del producto.

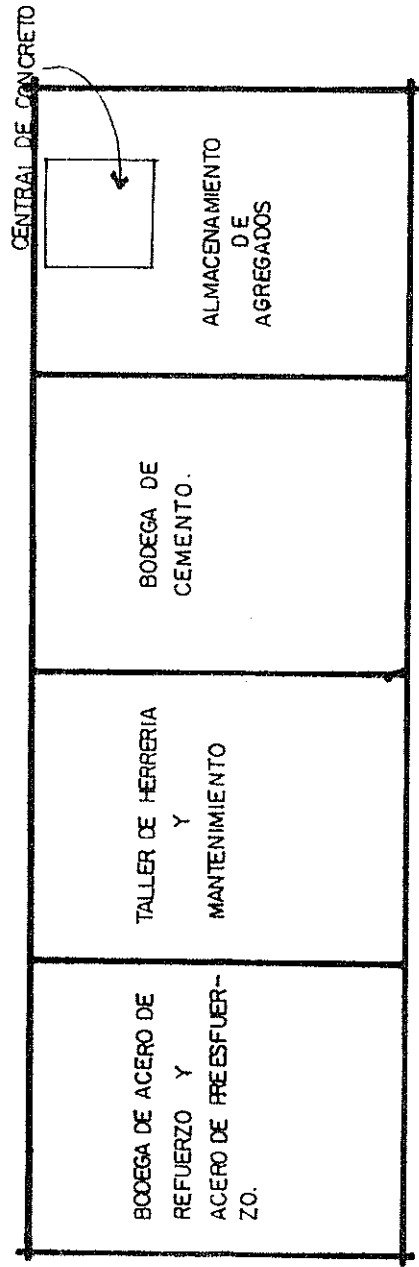
En la figura adjunta se muestra un plano esquemático de una planta para la fabricación de viguetas pretensadas.

En el esquema pueden diferenciarse las partes más importantes como, almacenamiento de materiales o bodegas, taller de herrería y mantenimiento, mezclado, instalaciones de tensado, plataformas de moldeo y patio para el almacenamiento del producto terminado.

Los agregados para la producción de concreto se deben almacenar cerca de la mezcladora para evitar el transporte de largas distancias, con esto se logra un mejor aprovechamiento de la mano de obra. El taller debe estar ubicado cerca de la bodega de acero de refuerzo para facilitar el transporte de la materia prima al área de procesamiento donde se transforma en joist de refuerzo, los joist terminados deben quedar almacenados cerca del banco de pretensado para que sea fácil su transporte a la hora de realizar el armado. La bodega de equipo y aditamentos de preesfuerzo es recomendable que se localice cerca del



PATIO DE ALMACENAMIENTO



PLANO ESQUEMATICO

PLANTA DE FABRICACION DE VIGETAS

cabecal de tensado para un control más eficiente de los equipos y herramientas que son bastante onerosos, menudos y delicados.

Las instalaciones de tensado o banco de pretensado consisten en lo siguiente:

1) **Cabecal de tensado.**

Esta es la parte del banco donde son tensados y anclados los cables de preesfuerzo.

2) **Pista o plataforma.**

Esta es una pista, de preferencia más larga de 50 metros. donde están montados los moldes en los que la vigueta es formada, dentro de estos moldes es colocado el joist que es fabricado en el taller, sujetándolo a los aceros de preesfuerzo.

3) **Cabecal de anclaje.**

Esta es la parte posterior del banco, donde quedan anclados los alambres o cables de preesfuerzo en su terminal pasiva.-

Los patios para el almacenamiento de producto terminado, deben ser amplios y de preferencia deben estar cercanos al área de fabricación, con el objetivo de evitar el acarreo muy largo de las viguetas.

Algo que hay que recalcar, es que las viguetas una vez fabricadas no pasen mucho tiempo almacenadas, se despachen en pocos días, ya que generalmente se producen contra

pedido.-

El proceso básico de fabricación se puede resumir en tres operaciones fundamentales: trabajos de taller de herrería, aplicación de preesfuerzo y producción de concreto.

1) Trabajos de taller de herrería:

En éste se fabrican los joist de refuerzo, para lo cual se utiliza una dobladora a que puede ser mecánica o manual para lograr moldear el alma del joist, se necesita una pulidora de metal con discos para corte y pulido, un equipo de soldadura eléctrica y equipo de corte de oxi-acetileno.-

2) Aplicación de preesfuerzo:

Para esto se utiliza comunmente una bomba hidráulica que acciona un gato hidráulico de acción simple para el tensado de los cables. Para mantener los cables o alambres de preesfuerzo tensados y anclados a los cabezales del banco se utilizan anclajes especiales con cuffas metálicas.

3) Producción de concreto:

Para esto se necesita una concretora que puede ser de gasolina ó eléctrica, de una capacidad adecuada a la producción, balanza para dosificar los agregados, equipos para la dosificación y manipuleo de los materiales y un equipo de laboratorio completo para la medición de los asentamientos (sloomp) y la fabricación

de cilindros de concreto para el control de calidad.-

6.2 SELECCION DE MATERIALES E INSUMOS

Los materiales empleados en la fabricación de la vigueta pretensada son los siguientes:

ACERO DE PREESFUERZO: debe ser un acero de alta resistencia con un alto contenido de carbono, este contenido de carbono le brinda al acero la cualidad de no poseer límite plástico, o sea que éste se puede estirar hasta la ruptura y luego regresar a sus propiedades iniciales, sin conservar deformaciones permanentes. El acero de preesfuerzo se presenta en alambre liso muescado o indentado de 3mm a 7mm. de diámetro, grado 250K, o como torón entorchado de 1/4" a 1/2" de diámetro, grado 270K.-

ACERO DE REFUERZO: Este es el acero que se utiliza para fabricar el joist, se usa el acero corrugado de 3/8" y 1/2" de diámetro grado 40 o grado 60 y el acero liso de 1/4" de diámetro grado 40.-

AGREGADOS PARA EL CONCRETO:

Agregado fino, éste debe cumplir con todos los requerimientos ASTM, y se recomienda usar arena de mina, pues garantiza por su origen, el no estar contaminada con materia orgánica.

Agregado grueso, éste debe cumplir con todos los requerimientos ASTM, el diámetro ideal de la piedra a utilizar oscila entre 3/8" y 1/2".

CEMENTO: El cemento comúnmente usado es el portland tipo 1, pues reúne todas las características para lograr un concreto

de alta resistencia a un precio razonable. También se pueden usar cementos especiales si hay disponibilidad en el mercado.

ADITIVOS PARA EL CONCRETO: El concreto que se debe de fabricar es de alta resistencia, debe alcanzar una resistencia mínima a la compresión de 5,000 lbs/pulg². a los 28 días según ASTM, esto no es difícil, ni mucho menos imposible, pero en nuestro caso, es necesario que la resistencia del concreto se obtenga en un plazo más corto de tiempo, por lo que se hace necesaria la utilización de un aditivo acelerante o curado acelerado por vapor. Es importante y básico en la selección del acelerante a utilizar, que éste no contenga cloruros, pues éstos corroen el acero de preesfuerzo. Haciendo una buena proporción de mezcla con una baja relación agua-cemento (recomendable 0.45) y utilizando acelerantes, se puede obtener un 80% del f'c en un periodo máximo de 96 horas.

Para lograr el curado del concreto se pueden utilizar aditivos químicos que son rociados sobre la superficie del concreto recién fundido, estos aditivos lo que hacen es crear una película sobre el concreto que impide la pérdida brusca de la humedad de la mezcla. Al ser utilizados este tipo de aditivos es importante que éstos no estén hechos a base de parafinas, pues éstas dañan la adherencia del concreto existente de la vigueta con el concreto fresco que se coloca en obra. También se puede usar curado acelerado con vapor saturado húmedo.

Para lograr un desencofrado fácil y que no desportille el producto terminado, es necesario utilizar un aditivo desencofrante, que es aplicado sobre el molde antes de fundir, éste puede ser cualquiera que no afecte la apariencia ni textura del producto terminado.

6.3 PROCESO DE FABRICACION

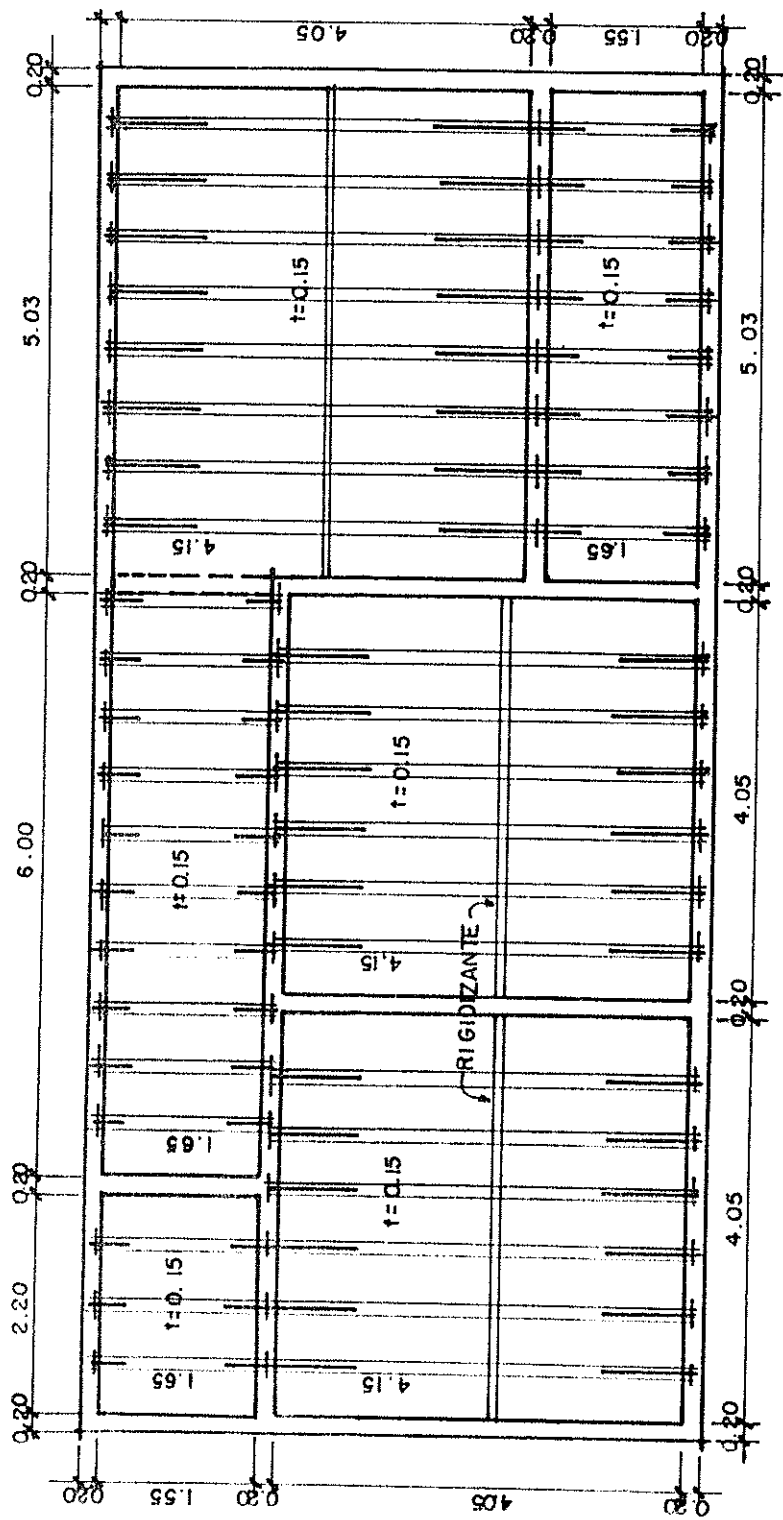
Dentro de la planificación del proceso de producción de la vigueta pretensada se realizan las actividades que se describen a continuación.

Es importante hacer ver que no existe un patron establecido, ya que el orden y traslape de actividades en la producción, depende de la naturaleza de los pedidos que estén, en proceso, pues la producción de vigueta es generalmente por pedido y no en serie para acumular inventario.

Se comenzará describiendo el proceso, suponiendo que se tiene un pedido de cierto número de viguetas de diversas medidas, según se indica en el plano adjunto y suponiendo que se posee tres moldes de 45 metros de longitud.

Se procederá a planificar la fabricación del producto contenido en el plano indicado:

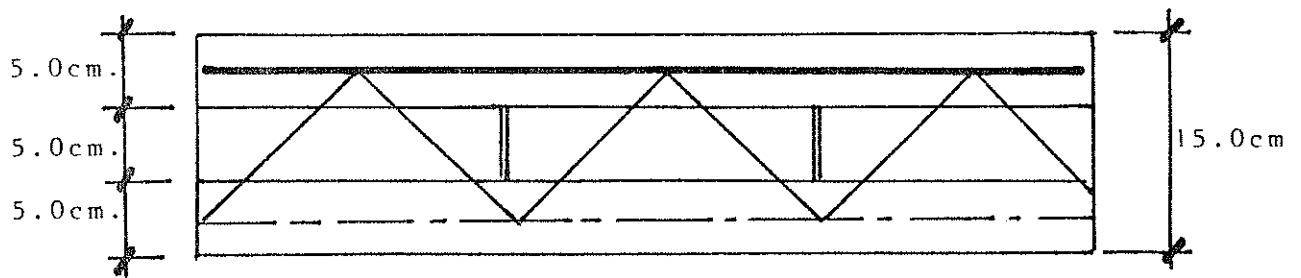
- 10) Se ordena la producción de 20 joist de 4.15 metros y 21 joist de 1.65 metros con el cordón indicado, y de la dimensión adecuada para el peralte de la losa, que en este caso es de 0.15 metros.



LOSA DE ENTREPISO: escala: 1/75

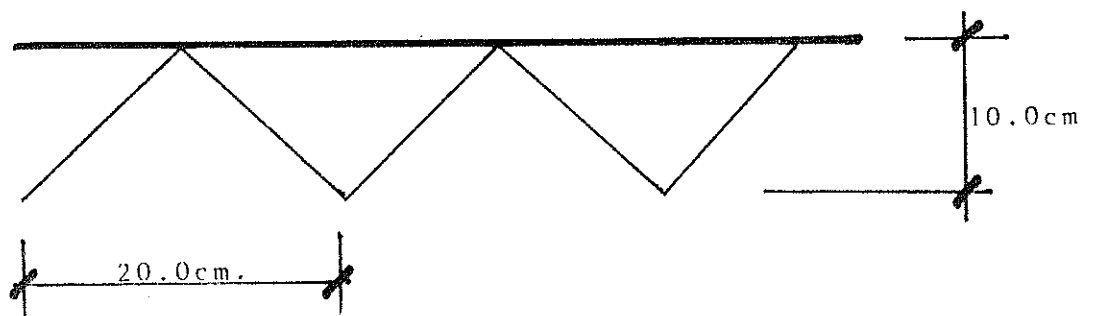
PLANILLA DE VIGUETAS

- 20 VIGUETAS DE 4.15 mts. CON 3 ALAMBRES DE PREESFUERZO CORDÓN SUPERIOR # 3
- 21 VIGUETAS DE 1.65 mts. CON 2 ALAMBRES DE PREESFUERZO CORDÓN SUPERIOR # 3



SECCION LONGITUDINAL
DE LOSA.-

El joist queda de las medidas siguientes:



Para fabricar joist, se dobla el hierro # 2 según las medidas indicadas y se corta el hierro # 3 según la longitud de la vigueta, pues ésta rige la longitud del joist; una vez hecho esto se une el cordón superior al alma mediante el uso de soldadura eléctrica.

- 29) Se procede a la limpieza de los moldes y la aplicación del desencofrante, éste se aplica sobre toda la superficie del molde que estará en contacto con el concreto a fundir. El aditivo se aplica al molde con una brocha o mediante el uso de una herramienta

similar.

39) Se procede a preparar el armado de los bancos de preesfuerzo, para esto se tiene que pensar como armar los joist con la cantidad de preesfuerzo requerido dentro de los moldes, según la longitud de bancos de que se dispone, debiéndose considerar cuántos joist caben en cada línea de molde, tratando de acomodar justos los que se especifiquen con la misma cantidad de preesfuerzo, dejándose usualmente 10 cms. de separación entre viguetas.

Según los lineamientos anteriores la propuesta de armado del banco sería la siguiente:

Disponibles 3 moldes de 45.00 metros.

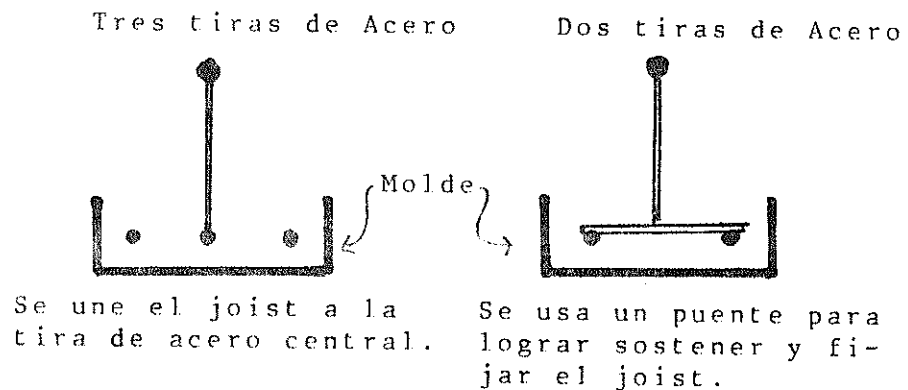
MOLDE # 1	3 ALAMBRES DE PRESF.	LONGITUD OCUPADA
	10 VIGUETAS de 4.35 metros	44.50 metros
MOLDE # 2	3 ALAMBRES DE PRESF.	LONGITUD OCUPADA
	10 VIGUETAS de 4.35 metros	44.50 metros
MOLDE # 3	2 ALAMBRES DE PRESF.	LONGITUD OCUPADA
	21 VIGUETAS de 1.65 metros	36.75 metros

En el sobrante del molde #3 se pueden incluir viguetas de otro pedido para evitar desperdicio del acero.-

Una vez definida la forma de armado de los bancos se procede al corte del acero de preesfuerzo, el cual se suministra en rollos. En este caso la longitud de corte sería de 45 metros, más 2 metros para preveer el tensado y anclaje del acero en los cabezales, quedando

la longitud de corte total de 47 metros, necesitándose 8 tiras de acero. Las tiras de acero se colocan y alinean según el armado de cada molde; una vez hecho esto se tensan a la presión y elongación adecuada, según el diseño de la vigueta, y se dejan ancladas en los cabezales.

- 49) Con los joist fabricados, el molde listo y las tiras de acero tensadas y ancladas en los cabezales se procede al armado del joist según la forma anteriormente propuesta en el molde.



Una vez colocados y fijados todos los joist dentro de los moldes mediante el uso de alambre de amarre, se aseguran de tal forma que no se muevan al momento de fundir.

- 50) El proceso de producción está en el punto en que se inicia la fundición de concreto, para esto se prepara la concretera y se comienza a verter en ella, de forma adecuada los componentes de la mezcla, previamente pesados en una balanza. El aditivo acelerante se mezcla con el agua, y de esta forma se aplica y mezcla

uniformemente con toda la bachada.

Una vez terminada la bachada se vierte de la mezcladora en carretillas de mano para ser transportada al lugar donde se está fundiendo la vigueta, midiéndose en cada caso con el cono de Abrahams el asentamiento del concreto, el cual no debe de ser mayor a 1.5 pulgadas.

Para llevar el control de la resistencia del concreto se recomienda hacer seis cilindros durante la fundición: dos de una bachada inicial, dos de una bachada media y dos de una bachada final, con el propósito de romperlos en pares y obtener tres resistencias promedio al cuarto día y con estos datos tomar la decisión de destensar, si la resistencia promedio da el 80% del $f'c$ del diseño de la mezcla.

69) Una vez obtenida la resistencia mínima necesaria para destensar, se procede cortando las tiras de acero de preesfuerzo en la parte posible más cercana al centro del molde, luego se cortan todas las tiras de acero que están entre viguetas y al terminar se tendrán todas las viguetas independientes, ya con el preesfuerzo aplicado, listas para ser desencofradas.

70) Se procede en seguida a desencofrar, o sea a sacar la vigueta del molde, proceso que no debe de ser complicado pues se ha utilizado aditivo desencofrante. Las viguetas una vez desencofradas son inmediatamente colocadas en los patios de estiba, clasificadas según sus longitudes y capacidad de carga, quedando listas

para ser despachadas y enviadas a obra en el momento
que sean requeridas.-

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA VIGUETA PRETENSADA

7.1 VENTAJAS DE LA VIGUETA PRETENSADA COMO VIGUETA EN SI

La vigueta pretensada es un elemento liviano, que permite ser maniobrado en planta, transportado y colocado en obra, con gran facilidad.

La vigueta pretensada requiere de un proceso de producción muy estricto, pues es necesario obtener un concreto de alta resistencia a un corto plazo, sin lo cual sería imposible transferirle el preesfuerzo al momento del destensado, lo que le da al elemento terminado una calidad excelente al utilizarse.

Como la técnica del preesfuerzo permite diseñar controlando los esfuerzos por etapas, de acuerdo a las características particulares de cada estructura, el apuntalamiento previo a la fundición en obra se logra hacer a distancias mayores que en viguetas tradicionales.

Como la vigueta pretensada es un elemento preesforzado excéntricamente, queda contraflechado, y esta contraflecha le brinda ventaja de poder controlar, más eficientemente, las deflexiones indeseables en las losas, que se dan en las diferentes etapas de su fabricación.-

7.2 VENTAJAS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE LOSAS SEMIPREFABRICADAS A BASES DE VIGUETAS PRETENSADAS

Además de las grandes ventajas que las losas de viguetas y bovedillas proporcionan al constructor en la actualidad, tales como: rapidez de construcción, reducción de costos de mano de obra, facilidad de instalación sin uso de equipos especiales y economía en madera y materiales, existen ventajas adicionales que el preesfuerzo le brinda a este sistema, a saber:

Se logra cubrir claros mayores, capaces de soportar sobrecargas más elevadas, con espesores de losa menores que con el sistema tradicional, lo que redunda en un ahorro sustancial en el refuerzo de la estructura principal que soporta la losa, pues por ser esta última más liviana, el peso propio de toda la estructura se reduce considerablemente.

Por lo anteriormente dicho sobre la reducción de peralte de la losa, se obtiene un ahorro sustancial en el volumen de concreto utilizado en obra.

7.3 DESVENTAJAS GENERALES

Las losas de vigueta pretensada ofrecen una gran calidad estructural, capacidad de soportar sobrecargas elevadas y un comportamiento excelente a las deflexiones, pero a pesar de esto, la contraflecha cuando las luces son grandes no siempre se pierde, y esto puede dificultar en algunos casos la aplicación de los acabados finales de las

losas.

Se debe tomar en cuenta que el concreto de la vigueta y la mezcla de las bovedillas son de características diferentes, y por lo tanto, tienen un módulo de elasticidad distinto, lo cual, en algunos casos, puede provocar fisuras aparentes en los acabados de las losas, las que a pesar de no ser estructurales, son muy desagradables.-

Para el transporte y manejo de las viguetas y bovedillas se requiere mucho cuidado y un conocimiento adecuado del sistema propuesto.

CONCLUSIONES

- Al analizar el ejemplo se puede notar que la vigueta pretensada es un elemento estructuralmente eficiente, que se auto-soporta solo sin ningún problema aún para luces largas.
- De los resultados finales del ejemplo, se puede concluir en que el sistema de losas semi-prefabricadas a base de vigueta pretensada y bovedilla es eficiente para cubrir claros largos hasta de 8 mts. de luz libre y poder soportar sobrecargas para entrepiso residencial controlando que la sobrecarga de piso más acabados no exceda de 75 Kg/mt². Esto se puede lograr utilizando alfombra o piso de vinil. Para luces menores el comportamiento es sustancialmente mejor.
- Al analizar los resultados finales del ejemplo se nota lo importante que es realizar los análisis de flexión, corte y deflexión a los elementos estructurales, pues el comportamiento a cada tipo de esfuerzos es diferente y depende de la luz a cubrir.
- Del proceso de fabricación de la vigueta pretensada se concluye que el elemento requiere de un estricto control de calidad, principalmente en lo que se refiere a la producción del concreto, pues a temprana edad se requiere obtener una elevada resistencia a la compresión. También el acero al tensarse es esforzado

a los máximos esfuerzos de su vida y esto es una prueba importante de su calidad, pues si tiene algún defecto de fábrica, es en este momento en el que se manifiesta al producirse su falla.-

- El concreto preesforzado es más eficiente estructuralmente que el concreto reforzado, pues permite diseñar controlando los esfuerzos internos de la estructura, y con esto se logran cubrir claros más largos con espesores de losa menores.-

- Como lo indica el ejemplo numérico, la vigueta pretensada soporta para el trabajo en obra un apuntalamiento a cada 2 metros, lo que hace una reducción notable del uso de madera en comparación con una losa convencional.

- Una observación importante es que entre menos paraleles se utilicen, más rápido se puede realizar el paraleado y por ende la fabricación de la losa, ya que se elimina casi completamente el entarimado de ésta.-

- La contraflecha de fabricación que lleva la vigueta a la obra, puede ser mantenida o aumentada levantando los apoyos provisionales que la soportan y lográndose con esto eliminar la flecha final calculada.-

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que cuando se utilice vigueta para la construcción de losas se analicen las tablas del fabricante, pues el comportamiento a flexión, corte y deflexión no es similar y si es determinante para conocer la capacidad de sobrecarga que se puede usar en el diseño.-
- Se recomienda tener prudencia en la utilización de vigueta pretensada del tipo que se ejemplificó para cubrir claros mayores a los 8 metros, pues el cordón superior puede sufrir situaciones adversas que desmerecen el producto.-
- Se recomienda, durante la utilización de la vigueta en obra, chequear el correcto apuntalamiento con que fue diseñada, en este caso 2 metros, pues un apuntalamiento a mayor distancia puede provocar fallas indeseables de corte y deflexión, así como un apuntalamiento débil puede provocar asentamientos diferenciales, que pueden ocasionar la falla prematura de las viguetas.
- Tener cuidado con el transporte y manejo de la vigueta en obra, pues ésta debe ser tratada según fue diseñada, y cualquier esfuerzo diferente puede causar fallas prematuras, por lo que se recomienda que sea cargada de sus extremos y aperchada simplemente en

estos.-

- Se recomienda el no golpear las puntas de la vigueta, pues esto puede ocasionar pérdidas en el preesfuerzo mayores a las calculadas.-

- Se recomienda pedir asesoría al fabricante cuando se requiera realizar algún corte de vigueta en obra, para acomodarlas a luces menores por cambios no previstos.

- Es importante la utilización de nervios rigidizantes para lograr una adecuada distribución de cargas y uniformidad de deflexiones según especificaciones del fabricante.-

- Es de suma importancia tomar en consideración los momentos negativos en los apoyos que se causan por las diferentes condiciones de apoyo en las losas, ya que el refuerzo que se debe adicionar para absorber los esfuerzos que provocan dichos momentos, es convencional, y su cuantía se calcula siguiendo el mismo criterio que para el cálculo de losas nervuradas convencionales en un sentido.-

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

BIBLIOGRAFIA

- 1.- T.Y. LIN
EL CALCULO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO PREESFORZADO,
Traducción al Español de Rafael Portugal Ehlers,
Compañía Editorial Continental, S.A., Mexico D.F.
1962.
- 2.- FERDINAND L. SINGER/ANDREW PYTEL
RESISTENCIA DE MATERIALES, Traducción al Español del
Ing. Raimundo Gaspar Torrent/Dr. Ing. Angel Gutierrez
Vásquez, Editorial Harla, Mexico D.F. 1982.
- 3.- MIGUEL PAYA
EL HORMIGON PRETENSADO, Ediciones CEAC S.A., Barcelona
España 1969.

REFERENCIAS

- 1.- R.C. HIBBELER
MECANICA PARA INGENIEROS ESTADICA, Traducción al
Español por Ing. Luis Ordoñez Reyna, Compañía Editorial
Continental S.A., Mexico D.F. 1990
- 2.- FREDERICK S. MERRITT.
MANUAL DEL INGENIERO CIVIL, Editorial McGraw-Hill,
Mexico D.F. 1990
- 3.- MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION, Sixth Edition 1967
- 4.- REGLAMENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE CONCRETO REFORZADO
Y COMENTARIOS (ACI 318-83)
- 5.- FREYSSINET INTERNATIONAL EL PRETENSADO, Ref. F.I. 2003
E. 1.1/1.2/06.79
- 6.- FREYSSINET INTERNATIONAL GUIA DE LOS PROCEDIMIENTOS DEL
HORMIGON PRETENSADO, Editorial Urigüen Duchao, S.A.
Espartero, 22-24 - Bilbao, España
- 7.- STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGES, 14TH.
Edition 1989, Adopted by THE AMERICAN ASSOCIATION OF
STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, INC.
(ASSHTO-89).

