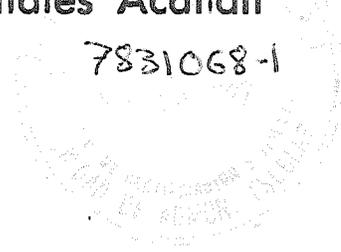


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán



Sistema de Losa Vigüeta y Bovedilla

Tesis Profesional

Que para obtener el título de :

Ingeniero Civil

Presenta :

SILVANO YAÑEZ CORDOVA

M+0628250

Acatlán, México

1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

CI/017/1987.

SR. SILVANO YAÑEZ CORDOVA
Alumno de la carrera de Ingeniería
Civil.
P r e s e n t e.

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 3 de octubre de 1985, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Sistema de Losa, Vigüeta y Bovedilla", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Análisis de la Problemática de Construcción de Vivienda en México.
- II.- Aspectos Técnicos.
- III.- Beneficios Costo-Tiempo.
- Conclusiones.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Jorge Ortiz Aguilar, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPañOL"
Acatlán, Edo. de Méx., a 26 de Agosto de 1987.


ING. HERMENEGILDO GARCOS BLANCO
Coordinador del Programa de Ingeniería

A MIS PADRES

*Esperanza y Silvano: Sería imposible
mencionar lo hecho por ustedes y más
aún el poder agradecerlo, sin embargo;
creo necesario hacer un reconocimiento
A QUIENES DEBO TODO.*

A MIS HERMANOS:

*Octavio, Teresita, Olivia, Nora,
Elvia y Marcela como ejemplo
de perseverancia y deseos de
superación.*

A MI UNIVERSIDAD, PROFESORES
Y COMPAÑEROS.

SINCERO AGRADECIMIENTO:

*AI ING JORGE ORTIZ AGUILAR
por la orientación y estímulo brindados
para la realización de esta tesis.*

AGRADECIMIENTO A:

*Ing. Jorge Ortíz Aguilar
Ing. Fernando Rivas Olivera
Ing. Jorge Uriarte García
Ing. Miguel A. Soto Ruiseñor
Ing. Leonardo Alvarez Leon
Que fungieron como sinodales en
el examen profesional.*

I N D I C E

TITULO: "Sistema de Losa Vigüeta y Bovedilla".	Pág.
Introducción	1
CAPITULO I: Análisis de la problemática de vivienda en México como justificación del sistema vigüeta y bovedilla.	
1.1 El problema de vivienda en México.	4
1.2 Magnitud del problema.	6
1.3 Problemas sociales consecuentes.	14
1.4 Los prefabricados ante esta problemática.	17
1.5 Posibilidades de la prefabricación en México.	20
1.5.1 Análisis acerca de lo que significa la prefabricación en la edificación.	20
1.5.2 La prefabricación congruente con el proceso de industrialización de cada país.	21
1.5.3 Situación de la prefabricación en México.	22

M-0028 250

1.5.4	Comparación de los sistemas tradicionales con los prefabricados (conceptos generales).	24
1.5.5	Industrialización de la vivienda.	28
CAPITULO II: Aspectos Técnicos.		
2.1	Introducción	32
2.2	Elementos que forman una losa del sistema vigueta y bovedilla.	33
2.3	Análisis estructural.	37
2.4	Detalles de conexión.	83
2.5	Proceso de fabricación.	106
2.5.1	Materiales.	106
2.5.2	Maquinaria y equipo.	119
2.5.3	Proceso de fabricación en serie.	125
2.5.4	Almacenamiento.	137

CAPITULO III: Beneficios costo-tiempo.	
3.1 Introducción.	139
3.2 Aspectos económicos.	142
3.2.1 Cuantificación de materiales.	143
3.2.2 Costo de construcción.	169
3.3 Comparación con los métodos de losa más usuales en la construcción de viviendas (costo-tiempo).	182
-Conclusiones	185
ANEXO I: Distribución de áreas de una planta para la prefabricación de viguetas y bovedillas.	191
-Bibliografía	

INTRODUCCION.

La población mundial ha crecido en este siglo a un ritmo muy superior que el que había tenido la humanidad anteriormente. Dentro de este crecimiento, el proceso de urbanización, es decir, el crecimiento de las poblaciones urbanas aumenta todavía más rápidamente.

El caso de México no solo no es la excepción, sino que acusa perfiles dramáticos en este aspecto. La demanda de vivienda y servicios urbanos consecuencia de dicho crecimiento, empeora cada día el problema que plantea la escasez de vivienda y servicios comunales diversos.

El crecimiento de las ciudades se ha acentuado enormemente. En un país como el nuestro, en el que existe un excedente importante de mano de obra sin los correspondientes medios de empleo, la atracción ejercida por las ciudades se suma a las limitaciones de las zonas rurales, por lo que el desarrollo industrial atrae a los sectores urbanos, más habitantes de los que ahí puedan absorberse

dentro de los límites de un sustento decoroso. La carencia de oportunidades que el medio rural presenta en terminos de empleo, vivienda y ventajas materiales, se suman a la aspiración que todo ser humano tiene de un experiencia social y humana más rica y una accesibilidad a los medios culturales.

El proceso de urbanización ha sido desde siempre un factor de progreso social, económico y cultural, por lo que reviste cada vez mayor importancia en nuestro país, que se encuentra en pleno desarrollo económico e industrial. Esta transformación plantea uno de los principales problemas de nuestra sociedad actual.

Es evidente que en los últimos años el bienestar social se ha elevado, aunque la oferta de vivienda con precios que esten al alcance de las familias de menores ingresos resulta más limitada. Sin embargo en nuestro país no existe aún ningún progreso notable hacia la solución de la crisis de la vivienda. El impresionante ritmo de migración interna y el crecimiento urbano se traduce en una dificultad cada vez mayor del ciudadano para sufragar los costos de su vivienda, los que aumentan constantemente. Debe por tan

to hacinarse en tugurios de las grandes urbes o en los barrios improvisados de los suburbios, ya que la proporción de vivienda y servicios urbanos que se siguen construyendo se hace a una escala proporcionalmente tan pequeña que no logra resultados significativos.

La vivienda y el desarrollo urbano son en términos generales, elementos en los que se manifiesta tanto el progreso económico como el social de un país.

CAPITULO I

1.1 EL PROBLEMA DE LA VIVIENDA EN MEXICO

Muchos son los problemas sociales que encara un país en desarrollo como México, pero ninguno concierne centralmente a la Industria de la Construcción como el problema de la vivienda, que al paso del tiempo adquiere mayores proporciones.

Las estadísticas del caso ciertamente no llaman al optimismo.

¿quién podría dejar de inquietarse ante las cifras que señalan que el déficit habitacional de México oscila entre los 5 y 6 millones de viviendas?.

El problema de la vivienda no es exclusivo, en efecto, de México; en mayor o menor medida se presenta en todos los países del mundo. Sin embargo, este déficit no corresponde enteramente al potencial económico de nuestro país.

No se puede desconocer que los esfuerzos institucionales en materia habitacional cada vez son más articulados y coherentes. Los intentos de planeación de los últimos años se han plasmado algunas veces, en aceptables objetivos programáticos. Sin embargo

-- y se debe decir con la mayor honestidad intelectual --, el común denominador no ha sido la planeación misma sino la insuficiencia.

Datos casi premonitorios que se basan en el saldo negativo de lo hasta ahora alcanzado, nos revelan la gravedad del problema de la vivienda a lo largo del país, con particular énfasis en la población económicamente activa asalariada y en aquella que carece de ingresos fijos, ésta es la que ofrece el imperdonable espectáculo social de la subsistencia infrahumana, precaria o marginal de las ciudades perdidas.

EL INFONAVIT comunica que las 900,000 solicitudes recibidas, confirman el grave déficit habitacional que existe en México (con capacidad de construcción del 10% de esta demanda). Además el crecimiento demográfico continúa, el encarecimiento de la vivienda en términos generales y la obtención prácticamente total en la que el sector privado se mantiene por lo que se refiere a la vivienda popular, han profundizado la marginación de grandes sectores de la población respecto del derecho que les asiste de contar con una vivienda digna, confortable y en condiciones salubres.

1.2 MAGNITUD DEL PROBLEMA

En nuestro país las masas urbanas y rurales siguen viviendo en condiciones de promiscuidad y falta de salubridad que empeora día a día debido a que el ritmo de crecimiento de la población ha superado en mucho a los crecimientos económicos y de industrialización.

El déficit habitacional consta de dos aspectos: Uno cuantitativo y otro cualitativo. En términos cuantitativos se refiere al número de viviendas disponibles para satisfacer las necesidades de una población concentrada en zonas urbanas, con un crecimiento demográfico ascendente, lo que imposibilita proporcionar un mínimo de espacio para el número de miembros de la familia. En términos cualitativos se refiere a las viviendas deficientes o deterioradas por los años, o por la escasa o nula calidad de los materiales usados en su construcción, por lo que no satisfacen las condiciones mínimas para considerarse adecuadas, tanto en zonas rurales como urbanas.

Estos criterios de condiciones mínimas están en relación con los materiales y su calidad, con el hacinamiento, con la seguridad del inmueble, con el equipamiento e infraestructura urbano, así co-

mo con la ubicación, el costo y el tipo de tenencia (en propiedad o en renta).

Existen un consenso general y un conjunto de "normas mínimas" a nivel nacional e internacional, que son utilizadas como criterios para determinar el déficit cualitativo de vivienda. (INFONAVIT-ONU)

Las viviendas en malas condiciones pueden catalogarse como: ruinosas, obsoletas, insalubres, inseguras, etc., al no satisfacer ciertos requisitos de "habitabilidad", constituyen el contingente de viviendas que deben reemplazarse o rehabilitarse en un determinado plazo. A estas necesidades por concepto de amortización del déficit, se deberán agregar las nuevas viviendas que habrán de cons-truirse para compensar la reposición de viviendas por obsolescencia y uso. Las viviendas que alcanzan anualmente un estado ruinoso que deben estar sujetas a renovación o definitivamente desechadas se estimaron entre 350,000 unidades de 10.48 millones de viviendas en 1976 que representa el 3.33% del total de viviendas en ese período.

Por lo que refiere a déficit cualitativo en materia de servi - cios, el 39% de las viviendas carecían de agua en 1970, para 1980

se redujo al 28.8%; el 61.5% no tenía drenaje en 1970 y en 1980 sólo el 50.8%; en cuanto a la electricidad el déficit era de 41.1% en 1970 y de 25.4% en 1980. (Ref. 1)

Según datos de los censos de población de 1980 se estimó la población en 72.3 millones de habitantes, lo que representa un incremento de 24 millones de habitantes más que en 1970, o más de 4 millones de familias.

Esto representa un requerimiento promedio de 1,200 unidades diarias. Para la presente década 1980-90 con una población cercana a los 100 millones, el incremento correspondiente a 5 millones de familias, requeriría aproximadamente 1,400 unidades diarias.

Para 1971 se estimó el déficit en 2.9 millones en la zona urbana y 1.8 millones en el área rural, dando un total de 4.7 millones de viviendas. En 1980 el déficit total era de 5.7 millones de viviendas y para 1990 se calcula en 6.4 millones. Para mantener constante el déficit entre 1980-1990 se requiere construir un número cada vez mayor de viviendas, según se indica a continuación:
(Ref. 1)

NUMERO MINIMO DE VIVIENDAS REQUERIDAS PARA MANTENER EL DEFICIT CONSTANTE 1980-1990									
Año	Población (miles)			Estim. baja (1)			Estim. alta (2)		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
1980	72300	38677	33623	402764	207725	195239	647942	334960	312982
*1990	86018	48943	37075	514937	293391	221546	823899	469425	354474
Total	158318	87620	70698	917701	501116	416785	1471841	804385	667456

*Estimación calculada.

FUENTE: cálculos elaborados con base en la siguiente fórmula:

$$I = \frac{Fo (Pr - Or) \times 100}{Sh}$$

Donde: I = número mínimo de viviendas requeridas; Fo = % de población que ocupa viviendas convencionales; Sh=tamaño medio de la familia; Pr = tasa de crecimiento de la población, y Or = reemplazo anual de viviendas.

- 1.- Estimación bajo el supuesto de que: $F_0 = 50\%$, $Sh = 5$; $Or = 2.5$ y $Pr = 3.5$ por lo que $I = 5.9$, esto es, 5.9 viviendas por mil habitantes.
- 2.- Estimación con los valores anteriores, excepto que $F_0 = 80\%$ por lo que $I = 9.5$, esto es, 9.5 viviendas por mil habitantes.

O si bien decidimos seguir la recomendaciones de las Naciones Unidas (O.N.U.), que recomienda construir 10 viviendas por cada mil habitantes, en 1976 se debería de construir un mínimo de 600,000 y en 1996 1.1 millones de viviendas anuales.

Es decir, si aceptamos los índices de la O.N.U., el problema es mayor que con las estadísticas anteriores. Según las proyecciones demográficas y el índice de la O.N.U., se deben construir al año de 1976 a 1996, 850,000 viviendas.

De las cifras anteriores se desprende que el problema habitacional se considera un problema urbano, por lo que la mayor parte de las instituciones gubernamentales tienen un programa de vivienda en las ciudades.

Sin embargo, existe una diferencia entre las áreas rural y urba-

na, el problema habitacional urbano radica en no disponer de una vivienda individual, ya sea en propiedad o en renta, lo que se traduce en un mayor hacinamiento, ya que el espacio habitable por miembro de la familia es mínimo.

En las ciudades es muy difícil y costoso comprar el terreno para construir una vivienda, por lo que las ciudades tienen cinturones de miseria, en donde los pobladores de escasos recursos han construido sus viviendas, la mayoría de las veces, sobre terrenos ejidales o en lotes irregulares (invasión y paracaidismo) o en terrenos sin infraestructura ni equipamiento, lo que agrava el problema de la vivienda en las áreas urbanas.

En relación a los aspectos de desarrollo urbano, la imposibilidad de satisfacer debidamente las necesidades, obedece a la insuficiencia de los recursos por una parte y al modo ineficiente en que se utilizan por la otra.

En las ciudades, el proceso de urbanización exige acciones de cuantiosa inversión, por ejemplo, para 1985 los 3 millones de nuevas familias urbanas implicarán una dotación de 64 m^3 de agua por

segundo (superior a la dotación total en el Valle de México de 1976): un afluente de 53 m³/seg. de aguas negras, un abastecimiento de 37 mil toneladas de comestibles diarios; un deshecho de 19 mil toneladas de basura al día; un suministro de 95 mil toneladas de combustible diarios, y un deshecho de 9 mil toneladas de partículas contaminantes a nuestra atmósfera diarios, todo esto sin contar con los déficits actuales.

Por el contrario, en el área rural, el problema fundamental son los materiales usados en la construcción de vivienda, ya que la mayoría de la veces son inadecuados o de mala calidad. A todo esto hay que agregar, que en México se acepta que los estándares de calidad de la vivienda sean menores en las áreas rurales, es decir, que las viviendas de esas zonas pueden construirse con materiales que se considerarían inadecuados en las áreas urbanas.

En las áreas rurales, es más fácil y barato comprar un terreno, el problema ahí, insistimos, reside en los materiales utilizados en la construcción de viviendas y en la escasez o mala infraestructura y equipamiento, debido, en parte, a la dispersión de la misma y, so-

bre todo, a lo costoso que resulta introducir los servicios indispensables. Por todo lo anterior, es necesario que las políticas de vivienda del sector público, sean enfocados de diferente forma para las áreas rurales y para las urbanas.

En la actualidad los programas habitacionales de las instituciones estatales no alcanzan a cubrir este déficit. De acuerdo al Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Vivienda, el INFONAVIT cuenta con una capacidad para construir 85,357 viviendas anuales, el FOVISSSTE con 14,481 viviendas, el FONHAPO con 70,519 viviendas, esto en total resulta 170,357 viviendas anuales, durante el período de 1984 a 1988. Esta cifra representa tan sólo el 37% del promedio anual requerido para mantener constante el déficit actual, de donde, se puede valorar que la participación de las empresas constructoras particulares es muy importante para ayudar a cubrir la demanda habitacional, por lo anterior, el impulso o incentivos que el gobierno mexicano les pueda ofrecer a las compañías particulares es fundamental.

1.3 PROBLEMAS SOCIALES CONSECUENTES

La vivienda sana y adecuada es el medio físico más apropiado para establecer y consolidar la familia; en ella se logra su óptimo desenvolvimiento y se proyecta una acción social fundamental en una comunidad organizada. En sentido contrario la ausencia de viviendas apropiadas es origen de múltiples problemas familiares y sociales que afectan la vida comunitaria, el progreso del medio social en que se vive y el del país en general.

La salud física y mental de millones de mexicanos que no cuentan con espacio vital para desarrollar una relación familiar decorosa, la carencia de servicios que provoca el abatimiento de las condiciones mínimas de higiene, el hacinamiento que causa tensión e irritación en quienes lo sufren a diario, son condiciones que crean el enraizamiento de una salud precaria hasta el desánimo laboral en grandes núcleos de la población, esto es, para poder desarrollar un nivel adecuado de productividad, el trabajador depende en gran parte de las condiciones de su vivienda en cuanto a loca-

lización, servicios urbanos, infraestructura, materiales con que está edificada etc., como ejemplo de lo anterior podemos mencionar algunos casos: No es posible pedirle a un trabajador un rendimiento normal si vive en Cd. Netzahualcoyotl - por ejemplo - y trabaja en Cuautitlán Izcalli, Edo. de México.

- El tiempo y esfuerzo de transportación, produce cansancio y elimina toda ansia y deseo de trabajo.

- Es necesario que la vivienda se localice cerca de las fuentes de trabajo.

Promiscuidad.- Como consecuencia lógica de esta escases de vivienda, se tienen que agrupar dos o más familias en muchos casos para aliviar esta carencia, lo que obliga a que en un sólo cuarto duerman de 5 a 10 personas, lo que fomenta la promiscuidad y degeneración de ciertas normas familiares que traen como consecuencia una degradación en la calidad de la sociedad.

Salud.- La carencia de los más elementales servicios, como

lo mencionamos anteriormente origina el enraizamiento en enfermedades gastrointestinales, primordialmente, así como la continua amenaza de algunas epidemias, pestes, etc.

1.4 LOS PREFABRICADOS ANTE ESTA PROBLEMATICA

La tecnología en el problema de la vivienda, entendida ésta como la preocupación de dar a la familia mexicana un hábitat humanizante, nos lleva a dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿La solución nos la ofrece la producción en serie o la participación directa de la familia mediante programas de autoconstrucción?.

La prefabricación de viviendas a nivel industrial, se hace necesaria a partir del objetivo de acelerar la ejecución de viviendas a corto plazo; de preferencia en las ciudades que requieren de procesos acelerados en la realización de las obras, en donde se disponga de mano de obra especializada. Pero la prefabricación deberá contemplar las condiciones ambientales de cada localidad.

Iniciada a fines de la Primera Guerra Mundial, la vivienda prefabricada dió sus primeros pasos en países como Alemania, Francia, Inglaterra y Estados Unidos y hoy en día ha alcanzado los niveles más altos de su historia; sin embargo, en México no ha logrado imponerse.

Acciones esporádicas y casi siempre de compañías particulares, indican que México aprovecha sólo un 50% de los avances obtenidos en el concierto internacional. Un estudio elaborado por el Instituto Batelle para el caso de México, sostiene que la prefabricación "no ha tenido éxito en este país". Batelle estudió las perspectivas de la vivienda prefabricada en países como Alemania, Japón, Inglaterra, Italia, Francia y Estados Unidos, pero demuestra que, en el caso de México se aprecia la falta de éxito.

Como consecuencia vemos que la necesidad de construcción de viviendas después de la Primera Guerra Mundial en estos países era prioritaria y de gran escala, pudiendo ser satisfecha en gran parte por el uso de prefabricado, comprobándose con ese ejemplo que los prefabricados son una buena opción para utilizarse en México ante la gran demanda de casas habitación existente.

Aquí vale la pena hacer una pequeña reflexión para dar respuesta a la otra parte de la pregunta inicial referente a la autoconstrucción, esta no es recomendable, ya que esto da motivo a que se eleve el grado de miseria y promiscuidad debido a que en esta al-

ternativa se le deja en total abandono en lo referente a apoyo económico y técnico necesario al autoconstructor, optando por esto a construir casas de una sola pieza y sin los requerimientos mínimos de calidad, seguridad, etc., lo que agrava los problemas anteriormente mencionados. Esto se puede evitar mejorando los procesos de planeación en la autoconstrucción.

1.5 POSIBILIDADES DE LA PREFABRICACION EN MEXICO

1.5.1 ANALISIS ACERCA DE LO QUE SIGNIFICA LA PREFABRICACION EN LA EDIFICACION.

Es necesario definir lo que es o puede ser la prefabricación porque, al respecto, se escuchan las más encontradas opiniones. ¿Pero se está hablando de lo mismo?. Hay muchos que critican injustamente a los ingenieros, arquitectos y en general a los constructores mexicanos por emplear procedimientos localistas, atrasados y faraónicos; que procuran convencernos de que nos modernicemos y que fincan las esperanzas del abaratamiento de la vivienda - por citar un ejemplo - en la prefabricación. Otros defienden los sistemas tradicionales, a los cuales les atribuyen ventajas tales como: el respeto al regionalismo, una mayor economía aún en las condiciones actuales, e inclusive una mayor generación de empleos.

El término "prefabricación", lo sabemos, significa fabricar previamente, pero no desconocemos que puede haber una gama de prefabricaciones, que van desde la utilización de elementos construc-

tivos hasta la prefabricación total, pasando por las secciones estructurales o las instalaciones prefabricadas para integrarse al todo de una edificación.

1.5.2 LA PREFABRICACION CONGRUENTE CON EL PROCESO DE INDUSTRIALIZACION DE CADA PAIS.

En el año de 1955 en la exposición de "la construcción en Paris" el tema especial de la exposición fue la vivienda. Por tal motivo, sobre todo, los países europeos presentaron diferentes soluciones y diversos sistemas prefabricados. Pero, a decir verdad, se observan solamente soluciones parciales consistentes en muros y/o entre pisos, paquetes de instalaciones o baños completos en plásticos, lo que entonces constituía una novedad. Sin embargo debe reconocerse que los países europeos, en general, presentaron en tonces, un grado de adelanto en la industrialización superior al actual en nuestro país. Se podría afirmar que quien se adelantó más en la prefabricación integral fueron los Estados Unidos especialmente con los "Mobile Homes", cuya prefabricación total se a-

cerca en perfección a la de los automóviles.

Lo anterior muestra que existe una gran relación entre el uso de prefabricados y el avance industrial de cada país, esto es lógico puesto que en los países desarrollados se cuenta con la infraestructura necesaria para la producción en serie de estos productos, pero como lo mencionaremos en el punto siguiente, en México, a pesar de que se cuenta con estos requisitos de infraestructura y capacidad técnica (en las ciudades), no se ha dado plenamente esta industrialización en la construcción.

1.5.3 SITUACION DE LA PREFABRICACION EN MEXICO.

En México, por ser un país en proceso de industrialización, todos los intentos por emplear sistemas de prefabricación son loables, pero, en general, se topan con un estado de cosas que en muchas ocasiones les impide establecerse y realizarse exitosamente. Algunos impedimentos son: la inercia de los constructores, con sus sistemas establecidos; la bondad de los materiales tradiciona-

les y locales, y lo relativamente barato de la mano de obra.

- La "inercia de los constructores" es explicable porque, por ejemplo, un constructor que cuenta con todos los elementos para realizar in situ las estructuras de concreto armado, como son la cimbra, el equipo y la maquinaria necesarios, el personal experimentado y los conocimientos de procedimientos y costos, no es fácil que acceda a comprar una estructura prefabricada. Se necesitan argumentos muy convincentes y el empleo del tiempo necesario para convencerlo.
- La "bondad de los materiales tradicionales y locales" es también una barrera para emplear la prefabricación. Se ha dicho, con razón, que en los lugares donde un muro de tabique común sea más eficaz y barato que un muro prefabricado de concreto, sin duda, el constructor optará por el de tabique común.
- Lo "relativamente barato de la mano de obra" aumenta la competividad de los sistemas tradicionales en relación con los sistemas prefabricados. Es obvio que los sistemas tradicionales emplean más mano de obra, aprovechando que ésta aún no incide tanto en

los costos. En cambio, en los sistemas prefabricados se gasta más en producción, transportación y montaje.

Desde el año de 1950 las obras de la Ciudad Universitaria marcaron una etapa importante para la construcción en México. Es interesante recordar la diversidad de sistemas constructivos que ahí se emplearon: se hicieron excavaciones y movimiento de tierras con la más moderna maquinaria pesada, pero, al mismo tiempo, también se emplearon indios "Tamemes" que cargaban el material excavado en los llamados "shundes". ¿Había razón para proceder así? ¿Denota eso, características especiales de nuestro país? Parece ser que económica y socialmente puede haber razones para, en ocasiones, no emplear los modernos sistemas constructivos, equipos, maquinarias y prefabricados.

1.5.4 COMPARACION DE LOS SISTEMAS TRADICIONALES CON LOS PREFABRICADOS.

Conviene comparar en diferentes aspectos la prefabricación con los procedimientos tradicionales para valorar las posibles ven

tajas o inconvenientes en el uso de uno u otro, según el caso.

Esos diferentes aspectos pueden ser: la producción en serie; la calidad; el carácter; la belleza; la rapidez; la economía y los intereses de la sociedad.

1.- PRODUCCION EN SERIE.

Este aspecto muchas veces está ligado con el uso de elementos modulares. Pero no es preciso su empleo para que exista la producción en serie, por ejemplo, la fabricación del tabique común de arcilla recocida no tiene que ver, en general, con el uso del módulo.

No es el empleo del módulo lo que importa, sobre todo, para abaratar, sino la producción en serie.

Es curioso que la fabricación de ventanas en México se le llamen "arquitectónicas" a las que tienen un diseño caprichoso y que se elaboran una o unas pocas de cada tipo, resultando mucho más costosas, como es natural, que las que se hacen con medidas tipo, en serie, produciéndose muchas de cada diseño. De esta manera se han convertido accesible y de uso común las ventanas de aluminio

para la vivienda de interés social, hecho que anteriormente se con
sideraba como un lujo.

2.- CALIDAD.

Puede lograrse tanto en la prefabricación como en los procedi
mientos tradicionales, pero indudablemente se puede obtener más fá
cil y uniformemente en la prefabricación.

La obra tradicional, sobre todo cuando es masiva, presenta un
más difícil control que la prefabricación.

3.- CARACTER.

En la realización de un diseño arquitectónico basado en la pre
fabricación, normalmente, se obtendrá un carácter más internacional
y empleando los sistemas tradicionales un carácter más nacional,
más regional.

4.- BELLEZA.

Indudablemente, ésta se puede lograr tanto con la prefabrica -
ción como con los procedimientos tradicionales. Incluso la mezcla
de los dos sistemas han dado por resultado realizaciones muy intere
santes y bellas, sobre todo en el concreto armado, contrastando e
le

mentos fabricados in situ, realizando correctamente cada técnica, como por ejemplo en el edificio del INFONAVIT, en la ciudad de México.

5.- RAPIDEZ.

Tal vez sea en este aspecto en el que los prefabricados aventajen más a los sistemas tradicionales.

Basta con medir el tiempo requerido para levantar un muro de block o tabique, el armado y colado de una losa con sistemas tradicionales, comparado con el uso de elementos prefabricados, podemos apreciar un considerable ahorro en tiempo. Lo que consecuentemente ayuda a reducir los costos finales de construcción.

6.- ECONOMIA.

La comparación de costos para realizar una construcción, entre la prefabricación y los procedimientos tradicionales, siempre debe hacerse minuciosamente. El resultado de esa comparación es fundamental para escoger el más conveniente. Al costo en sí deben agregarse los posibles ahorros en costos de capital, por la rapidez

obtenida, argumento justamente invocado por los prefabricadores.

7.- INTERESES DE LA SOCIEDAD.

La gente necesita vivienda y puede dársele vía prefabricación o vía procedimientos tradicionales. Cualquier sistema puede aceptarse si los resultados son buenos. Pero, en nuestro país, se ha comprobado que los sistemas tradicionales son más utilizados sobre todo porque emplean mayor cantidad de mano de obra. Ahora bien vía prefabricados se puede satisfacer esa necesidad en corto plazo.

1.5.5 INDUSTRIALIZACION DE LA VIVIENDA.

Para que la industrialización de la vivienda sea posible, es necesario basar los procesos (industriales) de producción masiva en la normalización de los diseños, materiales y componentes de la vivienda, garantizando así a los industriales la utilización de sus productos, de tal forma que sea una base segura a partir de la cual se mejore y aumente la calidad y cantidad de los mismos.

Entre los procesos básicos de industrialización de la vivienda, está la prefabricación de los elementos que la forman, ya que por llevarse a cabo en condiciones más controladas y eficientes que la construcción tradicional permite agilizar su producción, mejorar la calidad y abatir sus costos finales.

En México, hoy día, se ha eliminado el largo período laboral de cientos, miles de ingenieros, arquitectos, albañiles, artesanos, aunque su producción no ha logrado los avances que se supusieron en un principio.

Los beneficios de ésta tecnología parecen ser obvios; el tiempo y el costo. En el primer caso, la construcción de una casa habitación, por ejemplo, se hace en las tres cuartas partes del tiempo necesario para la edificación de una construcción con procedimientos tradicionales.

Siendo tan difícil de resolver el problema de la vivienda, es necesario redefinir estrategias. Tal vez hemos caído en el error de tratar de resolver dos cosas al mismo tiempo: el problema de

la vivienda y el del desempleo. Al respecto, se ha manejado la falacia de que no debe de recurrirse a procesos de industrialización de vivienda porque éstos generan desempleo, eliminando mano de obra. Este ha sido un argumento utilizado con frecuencia y constituye, repito, una falacia. Lo conveniente sería organizarnos quienes construimos vivienda en forma masiva para pensar en resolver el problema con base a la industrialización de elementos, en la prefabricación en alto grado que, además, generaría un gran volumen de empleos industriales y más estables. Esta sería una forma de atacar más a fondo el grave problema que México enfrenta en el terreno habitacional e industrial en general.

Dentro de todos los conceptos de obra para una vivienda los sistemas de piso representan unicamente un cierto porcentaje del costo total de una vivienda, que por si sólo puede resultar pequeño, pero si se trata de un volumen de obra considerable puede representar un monto importante, que puede reducirse utilizando el sistema de losa industrializada vigueta y bovedilla que es el

tema de esta tesis y que se analizará detalladamente en los capítulos siguientes, tratando de aportar una alternativa más para disminuir el déficit habitacional que tanto hemos hecho incapié.

CAPITULO II

2.1 INTRODUCCION

En este capítulo definiremos en forma detallada todos los aspectos técnicos que determinan las cualidades del sistema vigueta y bovedilla, como son: La descripción y uso de cada elemento que constituye el sistema, un procedimiento de cálculo para determinar la capacidad mecánica, los detalles de conexión que se utilizan en la construcción de casas habitación, así como la de las más importantes características de los materiales y equipos utilizados en la fabricación de los elementos.

2.2 ELEMENTOS QUE FORMAN UNA LOSA DEL SISTEMA VIGUETA Y BOVEDILLA

El sistema de losa vigueta y bovedilla está constituido básicamente por 4 elementos que aportan una función específica cada uno de ellos para integrar en forma conjunta todos los requerimientos de seguridad de una losa. Estos elementos son:

- Vigueta (de forma de te invertida "I")
- Bovedilla
- Malla electrosoldada
- Firme de concreto $f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$

VIGUETA

Este elemento es de forma de te invertida como lo muestra la figura, está fabricada de concreto preforzado. El concreto con una $f'c= 400 \text{ Kg/cm}^2$ y un agregado máximo de 1/2" (13 mm). El acero de refuerzo de éstas viguetas tiene un calibre del No. 2, pudiendo este variar, así como el número de varillas, dependiendo de los requisitos de carga.

Para claros mayores de los convencionales estas varillas se sustituyen por cordones de acero con un número variable de hilos.

Otra de las características de versatilidad de la vigueta además de la ya mencionada es la de aumentar sus dimensiones cuando se soliciten ambos requisitos, tanto de carga como de longitud de claro.

La separación de estas viguetas varía de acuerdo a la longitud de las bovedillas.

La principal función de estas viguetas es el de transmitir las cargas a los elementos estructurales como son vigas, cadenas, trabes o muros.

MALLA ELECTROSOLDADA

El armado complementario está formado por una malla electro-soldada que comercialmente se maneja con el nombre de malla 6-6/10-10 con una $f_y=5000 \text{ Kg/cm}^2$ y sus funciones básicas son las de complementar el acero de refuerzo de las viguetas en el lecho superior para absorber los momentos negativos (lecho superior) y el de integrar el trabajo de cada uno de los elementos del sistema vigueta-bovedilla.

BOVEDILLA

Es un tabicón hecho de arena y un cementante sometidos a una determinada presión de estabilidad. Como su nombre lo indica tiene la forma de una bóveda (arco). Las bovedillas empleadas en este sistema de piso deberán cumplir con los requisitos de calidad que sean aplicables según la Norma DGN C 26 "norma oficial de calidad para bloques" (1968) para los bloques clasificados como tipo C. Además, las bovedillas deberán ser capaces de soportar una carga concentrada de 100 Kg en un área de 5 x 5 cm aplicada en la zona más desfavorable.

Las bovedillas se considerarán como relleno y no tendrán ninguna función estructural.

FIRME CONCRETO ($f'c = 200 \text{ Kg./cm.}^2$)

Una vez colocadas y apoyadas perfectamente las viguetas y bovedillas así como el armado con la malla electrosoldada el sistema lleva un colado complementario de compresión, que hace trabajar la losa monolíticamente, reduciendo la vibración y las deformaciones.

Este firme lleva un peralte de 4 cm. de espesor para bovedillas con un espesor de 14 cm. y un peralte de 5 cm. cuando la bovedilla tiene un espesor de 25 o 30 cm.

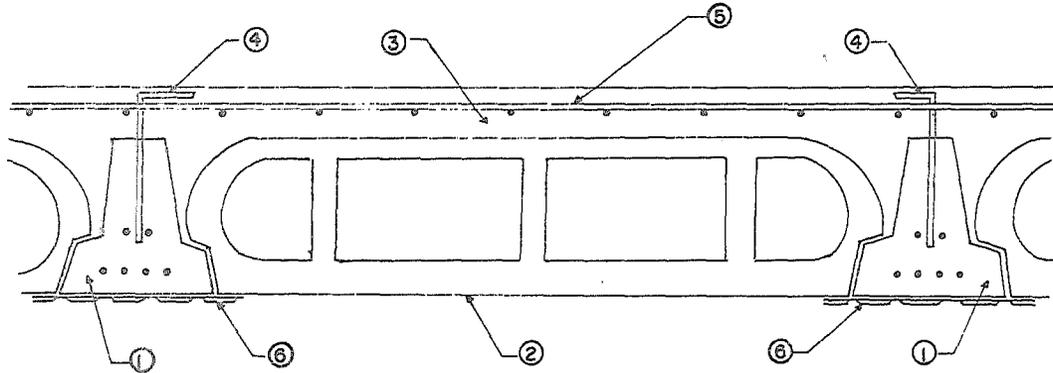
2.3 ANALISIS ESTRUCTURAL.

El diseño de sistemas de viguetas y bovedillas difiere del de secciones monolíticas principalmente en dos aspectos: se requiere estudiar cuidadosamente los efectos de las distintas etapas constructivas y garantizar el comportamiento del conjunto como una unidad mediante una liga adecuada entre los elementos prefabricados y el concreto colado en el lugar.

Se recomienda efectuar el dimensionamiento de acuerdo con los criterios relativos a los estados límites de falla y de servicio, siguiendo los procedimientos especificados por la propuesta del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Se entenderá por estados límites de falla los que se alcanzan cuando la capacidad de carga de la losa se haya agotado o cuando la losa, sin agotar su capacidad de carga, sufre daños irreversibles que afecten su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga. Para losas, los estados límites de falla serán flexión y cortante.

-- COMPOSICION DEL SISTEMA.



- 1.- Vigüeta ($f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$)
- 2.- Bovedilla
- 3.- Firme de compresión, colado en sitio $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$
- 4.- Conector
- 5.- Armado complementario (malla 6-6/10-10)
- 6.- Metal desplegado para aplanado

Dentro de este inciso determinaremos cual es el criterio de análisis para poder obtener su capacidad mecánica del sistema.

Las características de los materiales con que fueron elaborados estos elementos ya fueron mencionados en el inciso anterior.

- DATOS BASICOS DE LOS MATERIALES

f_y = esfuerzo especificado de fluencia en el acero de refuerzo.

Utilizado en las viguetas sin presfuerzo, consideraremos un valor de $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ por ser el valor más comercial.

f_{yp} = esfuerzo convencional de fluencia del acero de presfuerzo.

Utilizado en las viguetas presforzadas, con un valor convencional de $f_{yp} = 17,000 \text{ kg/cm}^2$.

f_y = es fuerza especificado de fluencia en el acero de refuerzo (malla electrosoldada).

El acero de refuerzo de la malla utilizada en el firme de compresión con un $f_y = 5,000 \text{ kg/cm}^2$.

$f'c$ = resistencia especificada del concreto a la compresión.

Tendremos dos tipos de concreto, uno utilizado en el firme de compresión con un $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ y otro, el concreto

presforzado utilizado en las viguetas con un $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$.

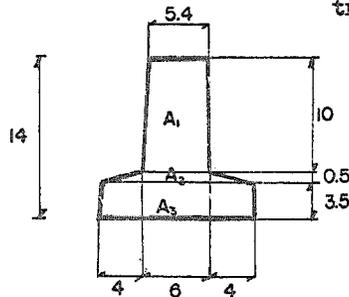
W_{pp} = peso propio de la bovedilla.

La bovedilla tiene un $W_{pp} = 14 \text{ kg/pza}$ y un ancho de 20 cm.

- PROPIEDADES GEOMETRICAS

Es conveniente mencionar que para el análisis estructural del sistema consideraremos 2 tipos de sección: simple y compuesta, cuyas características se mencionan a continuación:

a) SECCION SIMPLE.- Está comprendida exclusivamente por el área transversal de una vigueta.



Area:

$$A_1 = \left(\frac{5.4 + 6}{2} \right) 10 = 57 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \left(\frac{6 + 14}{2} \right) 0.5 = 5 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = 14 \times 3.5 = 49 \text{ cm}^2$$

$$A_T = 111 \text{ cm}^2$$

acot: cm.

- Cálculo del centroide.

$$\bar{Y} = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

en donde d = distancia del centroide de cada área a un eje x de referencia (cm).

A = área de cada sección (cm²).

\bar{Y} = centroide general de la sección (cm).

*refiriendolo al punto más alto tenemos:

$$\bar{Y}_s = \frac{57(5) + 5(10.25) + 49(12.25)}{57 + 5 + 49} = \frac{936.5}{111} = 8.4369 \approx 8.44 \text{ cm.}$$

*refiriendolo al punto más bajo tenemos:

$$\bar{Y}_i = \frac{57(9) + 5(3.75) + 49(1.75)}{57 + 5 + 49} = \frac{617.5}{111} = 5.563063 \approx 5.56 \text{ cm.}$$

- CALCULO DEL MOMENTO DE INERCIA (I):

* respecto al eje neutro (centroide).

$$I = \frac{bh^3}{12} + d^2A$$

en donde b = base de la sección (cm).

h = altura de la sección (cm).

d = distancia del centroide de la sección al centroide general (cm).

A = área de la sección (cm²).

I = momento de inercia (cm⁴).

Procediendo por partes, encontramos el "I" de cada sección y al final los sumamos abteniendo el total.

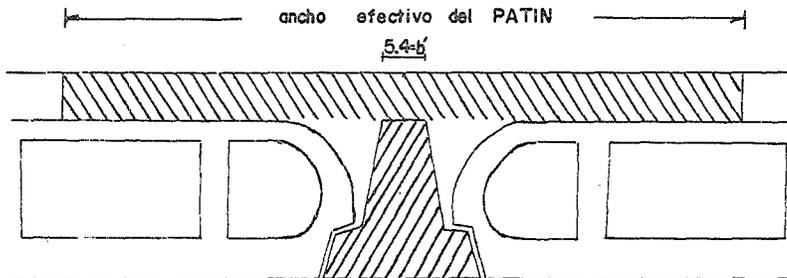
$$I_1 = \frac{5.7(10)^3}{12} + (3.44)^2(57) = 1,149.5152 \text{ cm}^4.$$

$$I_2 = \frac{10(0.5)^3}{12} + (1.81)^2(5) = 16.484666 \text{ cm}^4.$$

$$I_3 = \frac{14(3.5)^3}{12} + (3.81)^2(49) = 761.30973 \text{ cm}^4.$$

$$I_{\text{TOTAL}} = I_1 + I_2 + I_3 = 1927.3095 \text{ cm}^4.$$

b) SECCION COMPUESTA.- Esta sección está comprendida por el área de la sección transversal de una vigueta (sección simple) más un área determinada del firme de compresión.



SECCION COMPUESTA

Para poder determinar el área del firme de compresión que determine la sección compuesta, tenemos que obtener el ancho efectivo del patín, es decir el tramo de losa a cada lado del alma que forma parte del área de concreto sujeta a compresión. La determi-

nación precisa de este ancho es un problema complejo. En teoría de la elasticidad se han obtenido soluciones para vigas de materiales lineales. En el caso de vigas de concreto reforzado se suele determinar el ancho efectivo, mediante recomendaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal o del A.C.I.

Según el A.C.I.

$$b = 16t + b'$$

$$b = C \text{ a } C$$

$$b = L/4$$

en donde: t = peralte del firme de compresión.

$C \text{ a } C$ = distancia entre ejes de las viguetas.

L = longitud del claro.

b' = ancho del alma.

b = ancho efectivo del patín.

Según el R.C.D.F.

$$b_1 = \frac{L}{8} - \frac{b'}{2}$$

en donde: L = longitud del claro.

$$b_1 = L'/2$$

b' = ancho del alma.

$$b_1 = 8b'$$

L' = distancia al paño del alma
del miembro más cercano.

$$\therefore b = 2b_1 + b'$$

b = ancho efectivo del patín.

NOTA: Se especifica que el ancho efectivo es el menor de los tres valores obtenidos según sea el caso, de esta manera el ancho efectivo es aproximado.

Para poder obtener nuestros datos de la sección compuesta procediendo con el criterio del R.U.D.F. y además considerando una longitud de claro L = 3.50 m.

$$b_1 = \frac{350}{8} - \frac{5.4}{2} = 41.05 \text{ cm.}$$

$$b_1 = \frac{69.6}{2} = 34.8 \text{ cm.}$$

$$b_1 = 8(5.4) = 43.3 \text{ cm.}$$

$$\therefore b = 34.8(2) + 5.4 = 75 \text{ cm.}$$

De donde podemos observar que el menor valor es $b = 75$ cm., pero además debemos considerar que la sección compuesta esta formada por 2 elementos con diferente resistencia de concreto, por lo que encontraremos un factor de relación entre ambos concretos (q).

$$q = \sqrt{f'c_1/f'c_2}$$

en donde: $f'c_1$ = resistencia del concreto utilizado en el firme de compresión.

$f'c_2$ = resistencia del concreto utilizado en la vigueta.

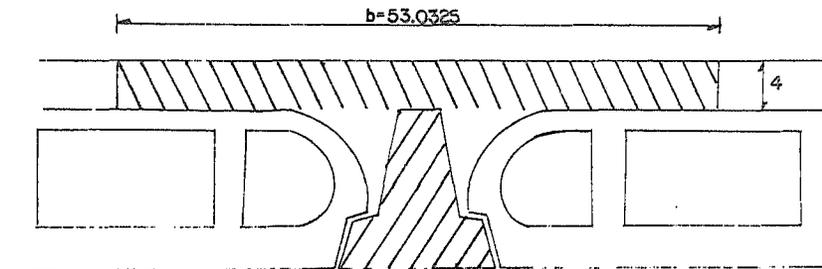
q = factor de reducción.

$$q = \sqrt{200/400} = .7071$$

De lo anterior podemos determinar ya el ancho efectivo del patín.

$$b_e = b q$$

$$b_e = 75.0(.7071) = 53.0325 \text{ cm.}$$



acot: cm.

SECCION COMPUESTA

Area de la sección compuesta.

$$A_1 = 53.0325(4) = 212.13 \text{ cm}^2.$$

$$A_2 = \underline{111 \text{ cm}^2}$$

$$A_T = 323.13 \text{ cm}^2.$$

Cálculo del centroide.

$$\bar{Y} = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2}{A_1 + A_2}$$

en donde: d = distancia del centroide de cada área a un eje x de referencia.
 A = área de cada sección.
 \bar{Y} = centroide general de la sección.

*refiriendolo al punto más alto tenemos:

$$Y_s = \frac{212.13(2) + 111(12.44)}{212.13 + 111} = \frac{1805.1}{323.13} = 5.5862965 \approx 5.59 \text{ cm.}$$

*refiriendolo al punto más bajo tenemos:

$$Y_i = \frac{212.13(16) + 111(5.56)}{212.13 + 111} = \frac{4011.24}{323.13} = 12.413703 \approx 12.41 \text{ cm.}$$

- CALCULO DEL MOMENTO DE INERCIA (I)

$$I = \frac{bh^3}{12} + d^2 A$$

en donde: b = base de la sección (cm).

h = altura de la sección (cm).

d = distancia del centroide de la sección al centroide ge

neral (cm).

A = área de la sección (cm²).

I = momento de inercia (cm⁴).

Procediendo por partes encontramos el "I" de cada sección y al final lo sumamos obteniendo el total.

$$I_1 = \frac{53.0325 (4)^3}{12} + (3.59)^2 (212.13) = 3016.7926 \text{ cm}^4.$$

$$I_2 = \frac{8.4666(14)^3}{12} + (6.85)^2 (111.0) = 7144.4266 \text{ cm}^4.$$

$$I_T = I_1 + I_2$$

$$I_T = 10,161.219 \text{ cm}^4.$$

- DETERMINACION DE LAS CARGAS ACTUANTES.

a) Por peso propio.

$$W_{pvig} = A \times \rho \text{ concreto}$$

$$W_{bov} = \frac{w_{pp}}{a}$$

$$W_{\text{firme}} = t \times b \times \rho_{\text{concreto}}$$

en donde: A = área de la sección simple (m^2).

ρ_{concreto} = densidad del concreto (kg/m^3).

w_{pp} = peso de 1 bovedilla (kg).

a = ancho de la bovedilla (m).

t = peralte del firme (m).

b = ancho efectivo del firme (m).

b) Por cargas de servicio.

Según el R.C.D.F. la carga viva que soportará una casa habitación está dada por la expresión.

$$W_{\text{c.v.}} = 120 + \frac{420}{\sqrt{A}} + W_a$$

en donde: A = área del tablero crítico (m^2).

W_a = carga instantánea ($90 \text{ kg}/\text{m}^2$).

$$W_{sec. comp.} = W_{c.v} \times b$$

en donde: $W_{c.v}$ = cargas vivas (Kg/m)

b = ancho efectivo del
firme (m)

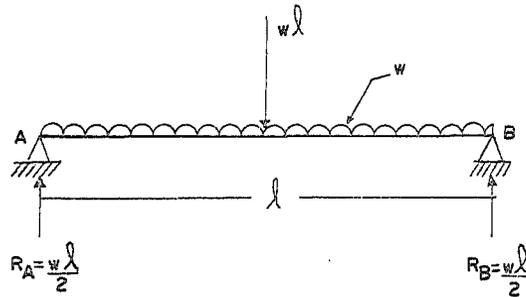
- DETERMINACION DE ESFUERZOS DEBIDOS A LAS CARGAS MUERTAS Y DE SER -
VICIO:

Con los valores y constantes calculados anteriormente podemos
determinar la capacidad mecánica del sistema.

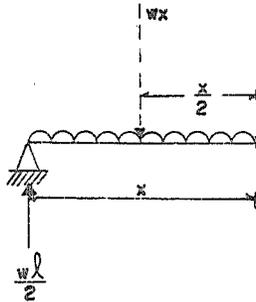
a) Cálculo de Momentos Actuantes.

* Consideraremos que las viguetas están apoyadas libremente, siendo
do este el apoyo más desfavorable.

D.C.L.



Analizando solo una parte de la viga tenemos:



De este diagrama se pueden obtener las ecuaciones de Cortante (V) y Momento (M).

$$V = \frac{w\lambda}{2} - wx$$

$$M = \frac{w\lambda}{2} (x) - wx \left(\frac{x}{2}\right)$$

$$\therefore M = \frac{w\lambda x}{2} - \frac{wx^2}{2}$$

Como podemos ver la ecuación obtenida del Momento flexionante describe una curva del segundo grado, por lo que si la derivamos, obtenemos la ecuación de su tangente

$$\frac{dM}{dx} = \frac{w\lambda}{2} - \frac{2wx}{2}$$

$$\tan = \frac{w\lambda}{2} - wx$$

Quando esta tangente tiene un valor de cero su posición es to-

talmente horizontal, lo que sería la pendiente en el punto más alto (máximo) de dicha curva, despejando el valor de "x" y sustituyendo en nuestra ecuación general de Momento, podemos obtener el valor del Momento Máximo en toda la longitud del claro.

$$\frac{w\lambda}{2} - wx = 0 \quad x = \frac{w\lambda}{2w}$$

$$\therefore x = \frac{\lambda}{2}$$

$$M = \frac{w\lambda}{2} \left(\frac{\lambda}{2}\right) - \frac{w}{2} \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2$$

$$M = \frac{w\lambda^2}{4} - \frac{w\lambda^2}{8}$$

$$M = \frac{2w\lambda^2}{8} - \frac{w\lambda^2}{8}$$

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

Con la expresión encontrada podemos obtener los Momentos provocados por las cargas actuantes.

$$M = \frac{W\lambda^2}{8}$$

$W_{pvigüeta}$
 W_{pp}
 W carga servicio en donde: M = Momento flexionante
 (kg-cm)
 W = Carga por cm lineal
 (kg/cm)
 λ = Longitud del claro
 (cm)

b) Cálculo de Esfuerzos Actuantes.

Partiendo de la fórmula de la Escuadría y con la ayuda de los Momentos flexionantes máximos tenemos:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{f_{m\acute{a}x} \text{ (tensi3n)}}{C_1} I$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{f_{m\acute{a}x} \text{ (compresi3n)}}{C_2} I$$

en donde: M = Momento máximo
 (Kg-cm)
 I = Momento de Inercia
 (cm⁴)

C_2 = Distancia de la fibra más alejada en compresión al eje neutro (cm).

C_1 = Distancia de la fibra más alejada en tensión al eje neutro (cm).

$f_{\text{máx}}$ = Esfuerzo máximo (Kg/cm^2).

Despejando el esfuerzo máximo (f) nos queda:

$$f = \frac{M}{I} C \quad \text{o bien} \quad f = \frac{M}{I} Y$$

con la expresión anterior podemos calcular el esfuerzo máximo a que estarán sujetas las secciones simple y compuesta tanto en tensión como en compresión.

$$f_t = \frac{M_{\text{máx}}}{I} Y_i \quad \text{Tensión}$$

$$f_c = \frac{M_{\text{máx}}}{I} Y_s \quad \text{Compresión}$$

Los momentos máximos que se considerarán son:

M_{ppvig} = Momento provocado por el peso propio de la vigueta.

M_{pp} = Momento provocado por $W_{vig} + W_{bev} + W_{firme}$

$M_{c.servicio}$ = Momento provocado por $W_{c.vxb}$

c) Cálculo de Esfuerzos Actuantes en el acero de presfuerzo.

Refiriendonos al inciso 2.5.1 en el que de acuerdo al R.C.D.F. se tendrán que hacer las siguientes consideraciones:

$$\text{Pérdidas instantaneas} + \text{Pérdidas diferidas} = 0.20 \text{ Presfuerzo Inicial.}$$

Además si consideramos un 75% de efectividad en el gato hidráulico que suministra el presfuerzo tenemos:

$$f_{inic} = f_{yp} \times 0.75 \quad \text{esfuerzo inicial}$$

$$E_{inic} = f_{inic} \times A_s \quad \text{Fuerza inicial}$$

$$f_{efec} = f_{inic} \times 0.8 \quad \text{esfuerzo efectivo}$$

$$F_{efec} = f_{efec} \times A_s \quad \text{Fuerza efectiva}$$

donde: A_s = área de acero de un tendón.

- Cálculo de Esfuerzos Permisibles en el concreto de elementos presforzados.

a) Esfuerzos inmediatamente después de la transferencia y antes que ocurran las pérdidas por contracción y flujo plástico. La transferencia tiene lugar cuando se cortan los tendones o se disipa

la presión en el gato, o, en postensado, cuando se anclan los tendones.

Compresión $0.6 f'ci$ $f'ci$ = Resistencia del concreto a compresión cuando ocurre la transferencia en el concreto presforzado $fci = 0.8f'c$.

Tensión:

Tensión en miembros sin refuerzo en la zona de tensión (R.C.D.F.)

$$\sqrt{f'ci}$$

o bien según el ACI: $0.8 \sqrt{f'ci}$

$1.6 \sqrt{f'ci}$ → en los extremos de los miembros simplemente apoyados.

* Cuando el esfuerzo de tensión calculado (esf. de tensión por peso propio) exceda de este valor, se suministrará refuerzo para que resista la fuerza total de tensión del concreto, valuada en la sección sin agrietar.

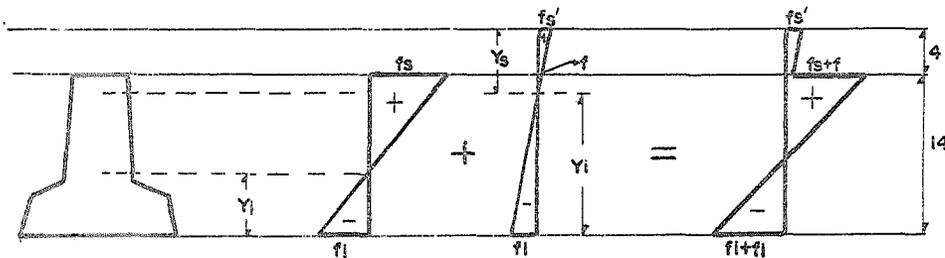
b) Después de las pérdidas y bajo carga muerta y viva de servicio.

Compresión $0.45 f'c$

Tensión $3.2 \sqrt{f'c} \rightarrow$ ACI

$2 \sqrt{f'c} \rightarrow$ R.C.D.F.

- Diagrama de Esfuerzos Actuales.



$$\frac{f}{Y_s - 4} = \frac{f_s'(\text{secc. compuesta})}{Y_s} \quad \therefore f = \frac{(Y_s - 4)f_s'(\text{secc. compuesta})}{Y_s}$$

- Determinación de la Capacidad de la Sección.

a) Al Máximo Presfuerzo

Se considera que el máximo presfuerzo se presenta en los extremos de los elementos, inmediatamente después de la transferencia y antes de que ocurran las pérdidas diferidas; no hay momento debido a cargas actuantes.

$$f_s = k \times 1.6 \sqrt{f'c_i}$$

$$f_i = k \times 0.6f'c_i$$

donde k = coef de pérdidas = 0.8

$$1.6 \sqrt{f'c_i} = f_s \text{ máx}$$

$$0.6f'c_i = f_i \text{ máx}$$

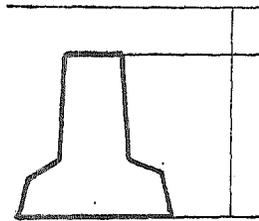
De donde si comparamos estos valores con los esfuerzos máximos de presfuerzo permisibles.

$$f_s \text{ máx} > f_s$$

$$f_i \text{ máx} > f_i$$

b) Cuando actúan todas las cargas.

En el centro del claro la sección crítica ocurre cuando actúan todas las cargas y después de que han ocurrido todas las pérdidas.



$$fs' = fs(\text{secc. compuesta})$$

$$fs = [fs(\text{secc. simple}) + f] - fs(\text{tensión real del presf.}).$$

$$fi = - [fi(\text{secc. simple}) + fi(\text{secc. compuesta}) + fi(\text{comp. real del presf.}).]$$

Si las comparamos con el esfuerzo máximo permisible de compresión después de las pérdidas vemos que este es mayor, teniendose que cumplir:

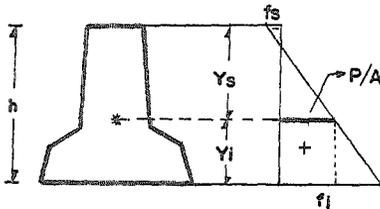
$$f_{\text{máx}}(\text{compresión}) > fs'$$

$$f_{\text{máx}}(\text{compresión}) > fs$$

$$f_{\text{máx}}(\text{compresión}) > fi$$

- Determinación del número de tendones.

Una vez conocidos los esfuerzos máximos en el presfuerzo podemos determinar la fuerza "P" que provoca dichos esfuerzos.



$$\frac{P/A + fs}{Y_s} = \frac{f_i + fs}{h}$$

despejando P

$$P = A \left[Y_s \left(\frac{f_i + fs}{h} \right) - fs \right]$$

La fuerza P anteriormente encontrada será suministrada por la Fefec del conjunto de los tendones. Por lo que el número de tendones se determina de la siguiente manera:

$$P = F_{efec}(n)$$

$$\therefore n = \frac{P}{F_{efec}} \quad \text{en donde: } n = \text{número de tendones.}$$

De nuestro último diagrama en el que

$$f_i = \frac{P}{A} + \frac{M}{I} y_i \quad \text{en donde: } \frac{M}{I} y_i = \frac{Pxe}{I} y_i$$

$$f_i = \frac{P}{A} + \frac{Pxe}{I} y_i$$

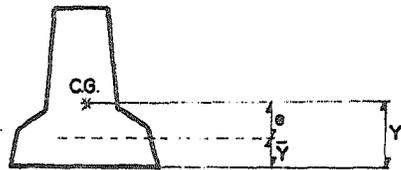
despejamos "e" que será la Excentricidad Teórica.

$$e = \frac{I}{Pxy_i} (f_i - P/A)$$

Por lo tanto el centroide teórico (\bar{Y}) de los tendones será igual a:

$$\bar{Y} = y_i - e$$

En el caso que resulte $e > y_i$ se procederá a proponer una cierta colocación de los tendones y por suma de momentos podemos encontrar el centroide y la excentricidad



- Determinación de Esfuerzo provocados por la colocación propuesta de los tendones.

Fuerza inicial $P_o = n x F_{inici}$ (Antes de las pérdidas).

Fuerza efectiva $P = n x F_{efec}$ (Después de las pérdidas).

a) Antes de las pérdidas.

Por lo que los esfuerzos a que estará sometida la sección an-

tes de las pérdidas.

$$f_s = \frac{P_o}{A} - \frac{P_{oxe}}{I} Y_s$$

$$f_i = \frac{P_o}{A} + \frac{P_{oxe}}{I} Y_i$$

En el caso de que estos valores obtenidos sean mayores que los valores permisibles (límites) se puede reducir el número de tendones y/o la excentricidad.

b) Después de las pérdidas.

$$f_s = \frac{P}{A} - \frac{P_{xe}}{I} Y_s$$

$$f_i = \frac{P}{A} + \frac{P_{xe}}{I} Y_i$$

- Revisión por esfuerzos permisibles.

a) Conocidos los esfuerzos actuantes provocados por las cargas de servicio y los esfuerzos provocados por el presfuerzo des -- pués de las pérdidas diferidas (Al centro del claro porque es crítico)

$f_s(\text{cargas actuantes}) - f_s(\text{presfuerzo}) < f(\text{permisibles de compresión después de las pérdidas})$

$f_i(\text{cargas actuantes}) + f_i(\text{presfuerzo}) < f(\text{permisibles de tensión después de las pérdidas}).$

b) En el extremo de la viga la etapa crítica es antes de las pérdidas diferidas.

$f_s(\text{presfuerzo antes de las pérdidas}) < f(\text{permisibles de tensión antes de las pérdidas}).$

$f_i(\text{presfuerzo antes de las pérdidas}) < f(\text{permisible en compresión antes de las pérdidas})$

c) Cuando actúa únicamente el peso propio, la sección crítica se presenta al centro del claro después de las pérdidas diferidas.

$f_s(\text{peso propio}) - f_s(\text{presf. después de las pérdidas}) < f(\text{permisible en compresión por el presf. después de las pérdidas}).$

Δ bov = flecha por peso de las bovedillas

Δ fir = flecha por peso del firme

Δ s.c = flecha por cargas actuantes en la sección compuesta.

$$\sum \Delta = \Delta_{\text{total}}$$

Por otra parte la contraflecha debida al presfuerzo está dada por la siguiente expresión:

$$\Delta(-) = \frac{P_{\text{ex}} l^2}{8xExI}$$

La flecha máxima permisible está dada por:

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{l}{500} + 0.5$$

La flecha que se produce cuando se retira la vigueta de la mesa de presfuerzo será:

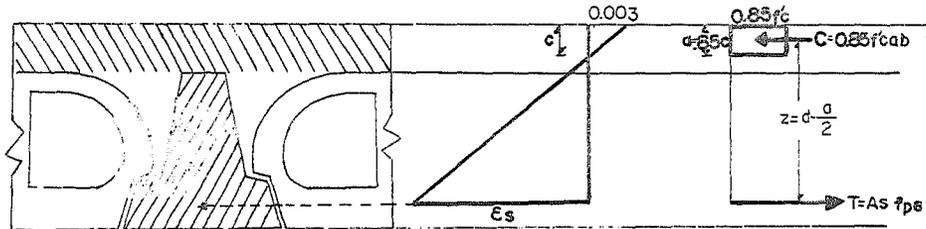
$$\Delta_{\text{pp}} + \Delta(-)_{\text{presf.}}$$

Y por último la flecha que se produce bajo la acción de todas las cargas es:

$$\Delta_{\text{total}} + \Delta(-)_{\text{presf.}} < \Delta_{\text{máx}} \text{ permisible.}$$

- Revisión por Resistencia.

Si analizamos el diagrama de esfuerzos unitarios de nuestra sección podemos obtener el esfuerzo en el acero de presfuerzo en el que se presenta la resistencia máxima del elemento (f_{ps}), es decir, cuando la viga falla.



La $\epsilon_c = 0.003$ se presenta cuando la viga agota su capacidad que está dada por el M_R (momento resistente). Producto de la fuerza de tensión por la distancia del centroide de aplicación al punto más alejado en compresión:

$$M_r = b d^2 f' c \omega (1 - 0.5 \omega)$$

$$T_d = b d^2 f' c \omega (1 - 0.5 \omega)$$

$$A_s f_{psd} = b d^2 f' c \omega (1 - 0.5 \omega)$$

en donde: f_{ps} = presfuerzo en el que se presenta la falla de la vi
ga.

$$\omega = \frac{p f_y}{f' c}$$

f_y = esfuerzo nominal del acero de presfuerzo.

$$p = \frac{A_s}{b d}$$

$$d = h - \bar{Y}$$

Por lo que la expresión anterior queda:

$$f_{ps} = f_y \left(1 - 0.5 \frac{A_s}{b d} \frac{f_y}{f' c} \right)$$

Por equilibrio tenemos que nuestro diagrama:

$$C = T$$

$$0.85 f' c a b = A_s f_{ps} \quad \text{si despejamos "a"}$$

$$a = \frac{A_s f_{ps}}{0.85 f' c b}$$

$a < t$ puesto que t es el espesor del firme que va a resistir los esfuerzos de compresión.

Por lo anterior el Momento Resistente (M_R) queda determinado por:

$$M_R = F_R(Tz)$$

en donde: F_R = factor de reducción = 0.9

según el R.C.D.F. para vigas con carga uniformemente repartida (habitación).

T = Asfps = Fuerza de tensión.

z = $(d - a/2)$ brazo de palanca.

Si relacionamos este M_R con los Momentos máximos que actúan por las cargas de servicio nos dará un factor de seguridad y que tendrá que ser mayor o igual al establecido por el R.C.D.F.

$$F.S. = \frac{M_R}{M_{secc.simple} + M_{secc.comp}}$$

$$F.S. > F_c$$

- DETERMINACION DEL TIPO DE FALLA

Basandonos en el diagrama de esfuerzos unitarios, podemos conocer ϵ_{ps} , que es la deformación que se presenta en los tendones de presfuerzo, debido a la flexión:

Por triángulos semejantes

$$\frac{0.003}{c} = \frac{ps}{d-c} \quad \text{por lo que} \quad \epsilon_{ps} = \frac{0.003(d-c)}{c}$$

Además, la deformación inicial del acero de presfuerzo debido al tensado es:

$$\epsilon_{inic} = \frac{f_{efec}}{E_y} \quad \text{en donde} \quad E_y = \text{módulo de elasticidad del acero } E_y = 2 \times 10^6$$

De donde la deformación total del acero de presfuerzo (ϵ_t) es:

$$\epsilon_t = \epsilon_{ps} + \epsilon_{inic}$$

Si hacemos la comparación con la deformación de fluencia del acero de presfuerzo $\epsilon_y = f_y/2 \times 10^6$ tenemos que:

$$\epsilon_t > \epsilon_y$$

Con lo que se asegura que el acero fluye y por lo tanto la fa

lla es dúctil; es decir, se producen deflexiones considerables antes del colapso final.

En este caso se dice que el elemento es subreforzado.

Para el caso contrario ($\xi_t < \xi_y$) se dice que la falla es frágil y el elemento esta sobreforzado.

- DIMENSIONAMIENTO Y REVISION POR CORTANTE

La fuerza cortante ocasionada por la carga de servicio provoca un tipo de falla frágil, por lo consiguiente considero que las secciones críticas que conviene revisar son:

- 1.- A un peralte efectivo (d) del apoyo, en donde se considera que actúa el cortante máximo.
- 2.- Al centro del claro, en donde ocurre el momento máximo y el cortante es nulo.
- 3.- A cada 50 cms. del centro del claro hacia los extremos.

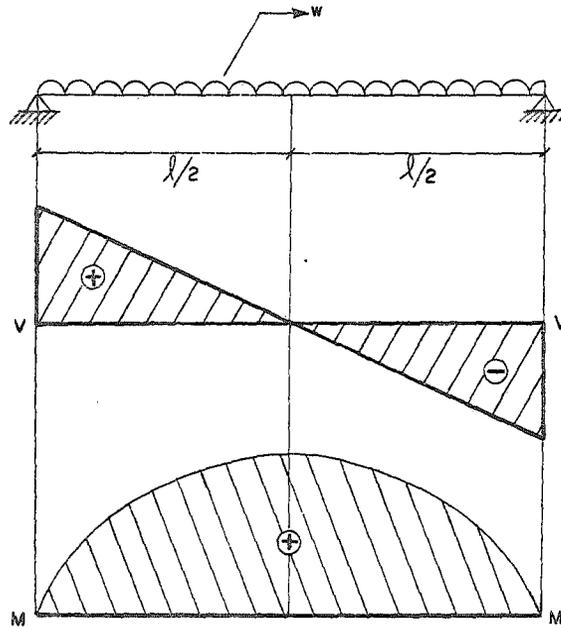


DIAGRAMA DE MOMENTOS Y CORTANTES.

a) De acuerdo a las ecuaciones de M y V anteriormente obtenidas tenemos:

$$V = \frac{w\lambda}{2} - wx$$

$$M = \frac{w\lambda x}{2} - \frac{wx^2}{2}$$

calcular para: $X_1 = d = 15\text{cm.}$

$$X_2 = \lambda/2$$

$$X_3 = \lambda/2 + 0.50\text{m.}$$

b) Revisión de secciones críticas.

Para $X = d = 15$; si se considera que el presfuerzo todavía actúa (para hacer que la fuerza cortante que toma el concreto - V_{cr} sea más desfavorable). Por lo consiguiente en esta sección se analizará como una viga sin presfuerzo.

En vigas con relación claro a peralte total, λ/h no menor que 5, la fuerza cortante que toma el concreto, V_{cr} , se calculará con el criterio siguiente:

$$\text{Si } p < 0.01 \quad V_{cr} = Frdb(0.2 + 30p) \sqrt{f^*c}$$

$$\text{Si } p \gg 0.01 \quad V_{cr} = 0.5Frbd \sqrt{f^*c}$$

Para secciones T, I o L, en las expresiones anteriores se usará el ancho del alma b' , en lugar de b . Si el patín está a compresión al producto $b'd$ puede sumarse las cantidades t^2 en vigas T e I, y $t^2/2$ en vigas L, siendo t el espesor del patín (espesor del firme); por lo que para nuestro caso nos queda las siguientes expresiones:

$$V_{cr} = Fr(b'd + t^2) (0.2 + 30p) \sqrt{f^*c}$$

$$V_{cr} = 0.5Fr(b'd + t^2) \sqrt{f^*c}$$

De acuerdo al valor obtenido de V para esta sección y multiplicado por el Factor de carga F_c obtendremos el valor cortante de diseño V_u .

$$V_u = VF_c \quad \text{en donde:} \quad F_c = 1.4$$

En este caso no se admitirá que:

$$V_u > 1.5 Fr \sqrt{f^*c} \quad bd.$$

Haciendo una comparación entre el V_{cr} (fuerza cortante que toma el concreto) con V_u (fuerza cortante de diseño que provoca la carga de servicio).

Si $V_{cr} > V_u$ La sección no requiere refuerzo transversal. (por especificación debe de llevar estribos).

Si $V_{cr} < V_u$ En este caso la sección requiere de estribos que tomen el cortante faltante.

El espaciamiento, s , de los estribos se determinará con la expresión y limitaciones siguientes:

$$s_1 = \frac{F_r A_v f_y d}{V_u - V_{cr}} \quad \text{En donde: } A_v = \text{área del acero de refuerzo transversal.}$$

Limitaciones:

Si $V_u > V_{cr}$ pero menor o igual que $1.5 F_r b d \sqrt{f'_c}$

$$s_1 \leq 0.5d \therefore s_1 \leq 0.75h \quad \text{sep máxima}$$

Si $V_u > V_{cr}$ pero mayor que $1.5 f_r b d \sqrt{f'_c}$

$$s_1 \leq 0.25d$$

Se tomará el menor de los dos valores obtenidos. (Recuerdese que este espaciamiento es para elementos sin presfuerzo), que es como se está considerando esta sección.

Para $X = l/2$, $X = l/2 \pm 0.50m.$; en estas secciones el presfuerzo ya actúa, el valor de la fuerza cortante que toma el concreto estará dado por la siguiente expresión:

$$V_{cr} = F_r b d (0.15 \sqrt{f'_c} + 50 \frac{V d t}{M})$$

Para secciones T, I o L, se usará el ancho b' , en lugar de b . Si el patín está a compresión, al producto $b'd$ puede sumarse la cantidad t^2 , siendo t el espesor del patín (peralte del firme de compresión).

Por lo que:

$$V_{cr} = F_r (b'd + t^2) (0.15 \sqrt{f'_c} + 50 \frac{V d t}{M}).$$

en donde: V = Fuerza cortante que actúa en la sección.

M = Momento flexionante que actúa en la sección.

dt = distancia de la fibra extrema en compresión al centroide (\bar{y}) de los tendones de presfuerzo.

De acuerdo al valor obtenido de V para esta sección y multipli

cado por el factor de carga F_c obtendremos el valor del cortante de diseño V_u .

$$V_u = V F_c \quad \text{en donde:} \quad F_c = 1.4$$

Al igual que para el caso de la sección anterior se comparará el V_c contra el V_u .

Como lo mencionamos anteriormente en estas secciones el concreto ya se considera presforzado, con lo que se podrá observar que la capacidad para tomar cortante de los elementos presforzados, es mayor que la de los elementos reforzados; esto se debe a que la precompresión ayuda a confinar al concreto y por consiguiente restringe el desarrollo de la grieta.

A pesar de que $V_c > V_u$ por especificación se colocarán estribos con una separación de:

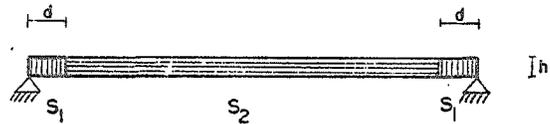
$$S_2 = \frac{F R A_v f_y}{3.5 b'}$$

*En los dos últimos casos anteriormente vistos no se permitirá que:

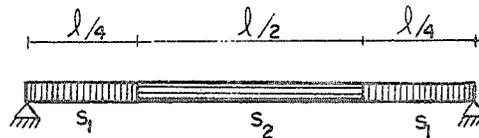
Vu sea mayor que $2.5F_Rbd\sqrt{f^*c}$

Lo que asegura que el peralte de la sección es correcto.

De los resultados obtenidos podemos apreciar que existen dos separaciones diferentes de los estribos.



Por recomendación se dejarán estas separaciones de estribos en las siguientes longitudes.



en donde λ = longitud del claro.

S_1 = separación de estribos para el elemento sin considerarlo con concreto presforzado.

S_2 = separación de estribos para el elemento considerándolo con concreto presforzado.

- Dimensionamiento y Revisión por Cortante Horizontal.

Si recordamos que una viga de sección compuesta es la formada por la combinación de un elemento prefabricado y concreto colado en el lugar. Las partes integrantes deben estar interconectadas de manera que actúen como una unidad. Para lograr esto deben usarse conectores formados por barras o estribos normales al plano del área de contacto.

Dichos conectores deberán tener la capacidad para soportar la fuerza cortante horizontal (FH).

Según nuestro diagrama de esfuerzos unitarios tenemos:

$$FH = C = ab0.85f'c$$

Como $a < t$ implica que esta fuerza de cortante horizontal estará aplicada en el firme de compresión. Si FH provoca esfuerzos superiores a los que se dan por especificación para una superficie de contacto limpia y rugosa que son de 25kg/cm^2 obliga a usar conectores para asegurar que trabaje la sección compuesta.

$$v_h = \frac{FH}{F_R b v d} \quad \text{en donde: } b v = \text{ancho del área de contacto.}$$

$$d = \text{peralte efectivo.}$$

$$v_h = \text{esfuerzo cortante horizontal.}$$

Si $v_h > 25\text{kg/cm}^2$ o $FH > 2.8 F_R b v L_v h$ en donde: $L_v h = l/2$

El área mínima de este refuerzo está dada por:

$$A_{vc} = \frac{3}{f_y} x b' L$$

Se usará acero del No. 2 y $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ para estribos y conectores.

El número (n) de estos conectores es:

$$n = \frac{A_{vc}}{A_{s\text{No.}2}}$$

Y cuya separación será:

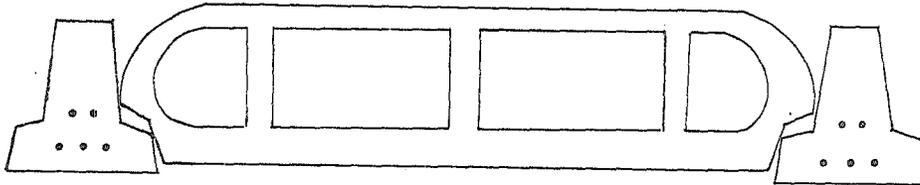
$$S_{\text{máx}} \leq 6t$$

$$S_{\text{mín}} = 4t$$

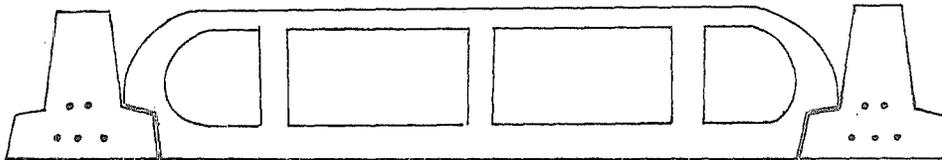
Por lo que su distribución se hará de acuerdo al criterio que queramos; se recomienda colocarlos en los extremos de las vigas.

2.4 DETALLES DE CONEXION

Primero consideraremos que para el buen funcionamiento de la losa es necesario observar algunas recomendaciones constructivas que pueden ayudar a obtener mejores resultados en lo que se refiere a calidad en la colocación y armado de la losa.

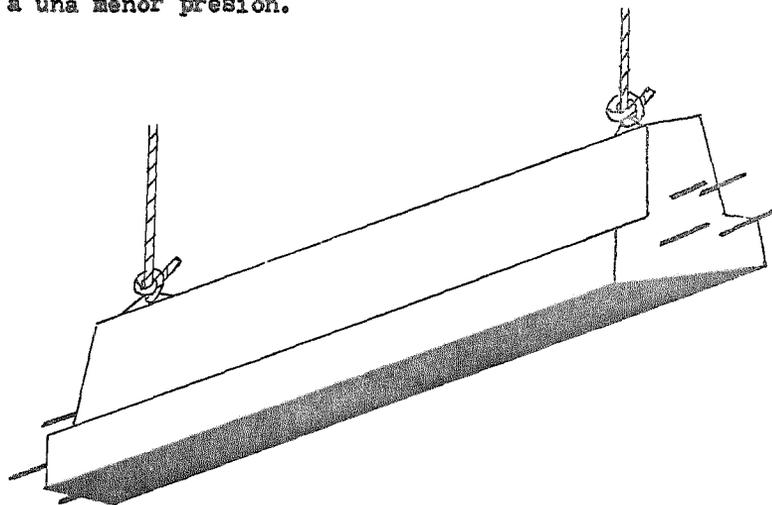


COLOCACION INCORRECTA



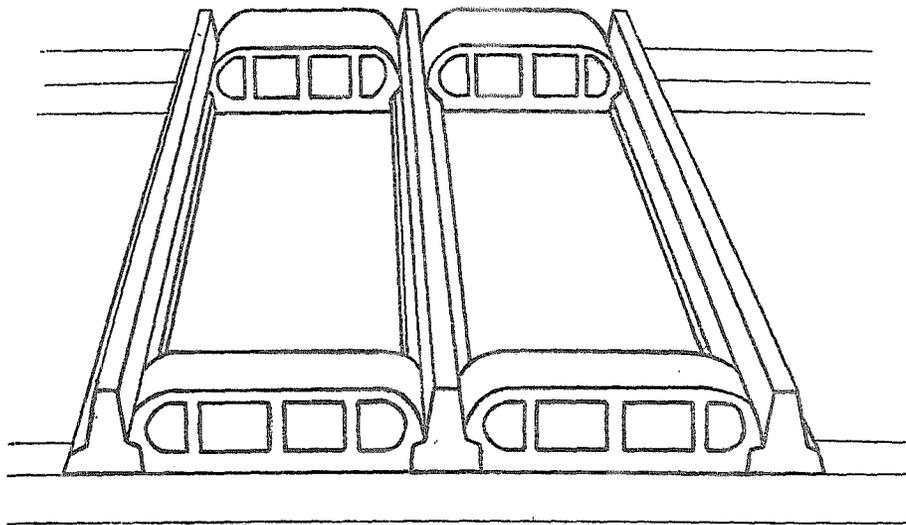
COLOCACION CORRECTA

Como se puede apreciar en las dos figuras anteriores las bovedillas deben de ir completamente apoyadas en el patín de la vigueta para que estén en contacto con una mayor área y logicamente trabajen a una menor presión.



LEVANTAR LA VIGUETA POR LOS EXTREMOS

Para facilitar su hizado y colocación cuando esta se requiera en niveles de considerable altura.

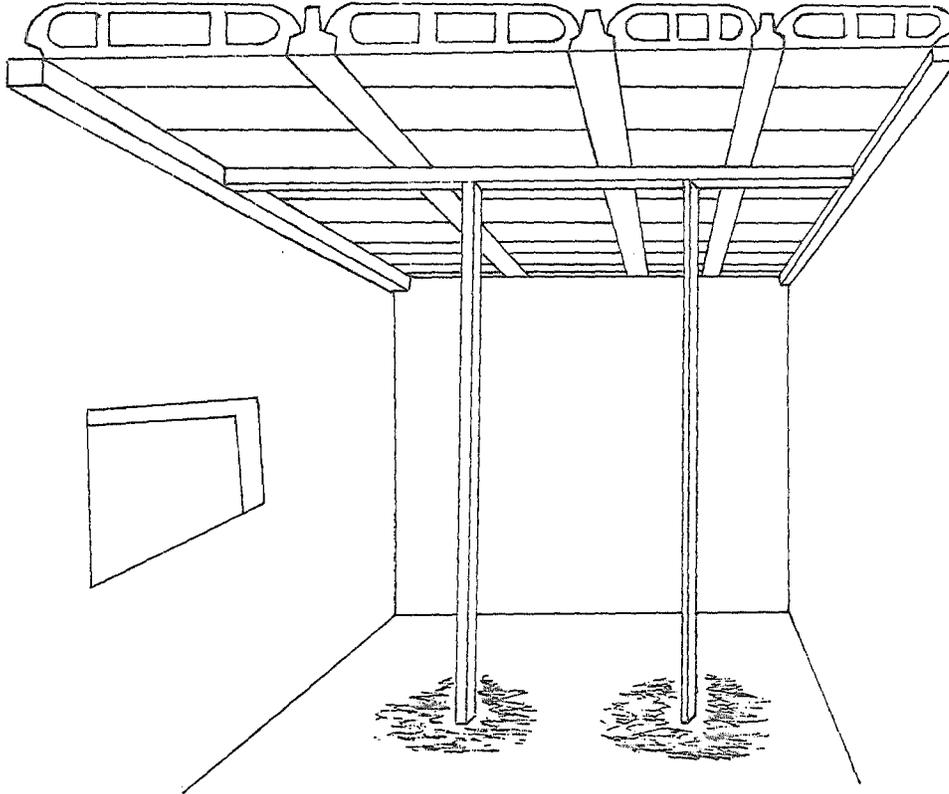


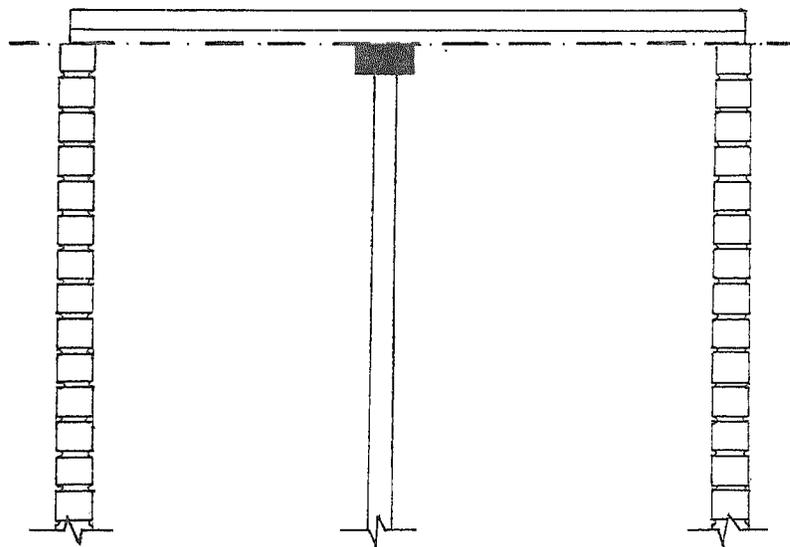
AL MONTAR LAS VIGUETAS COLOCAR UNA BOVEDILLA

EN CADA EXTREMO A MANERA DE ESCANTILLON

Para mantener estas paralelas y facilitar la colocación de las bovedillas.

COLOCAR UNA MADRINA DE NIVELACION EN EL CENTRO DEL CLARO, CUANDO ES
TE EXCEDA DE 3.50 m.

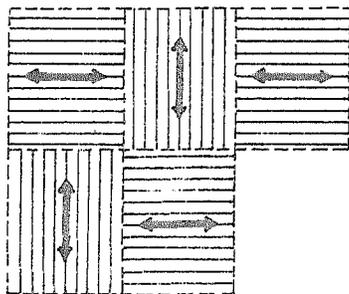




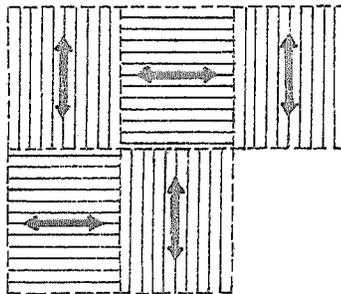
LA MADRINA DE NIVELACION.VA AL MISMO NIVEL QUE LOS MURGS.

RECOMENDACION.

En la construcción de una casa habitación tenemos que cuidar la correcta distribución de las cargas que van a transmitir la viguetas a los elementos estructurales (inciso 2.2), por lo anterior se recomienda colocar a manera de "petatillo" la viguetas, es decir, distribuir perpendicularmente las viguetas entre cada uno de los tableros de losa que se tengan. Cuando se tengan dos o más niveles se debe de hacer la misma consideración pero además se deben de colocar las viguetas en forma contraria al tablero que se encuentra debajo de este.



Planta Baja



Planta Alta

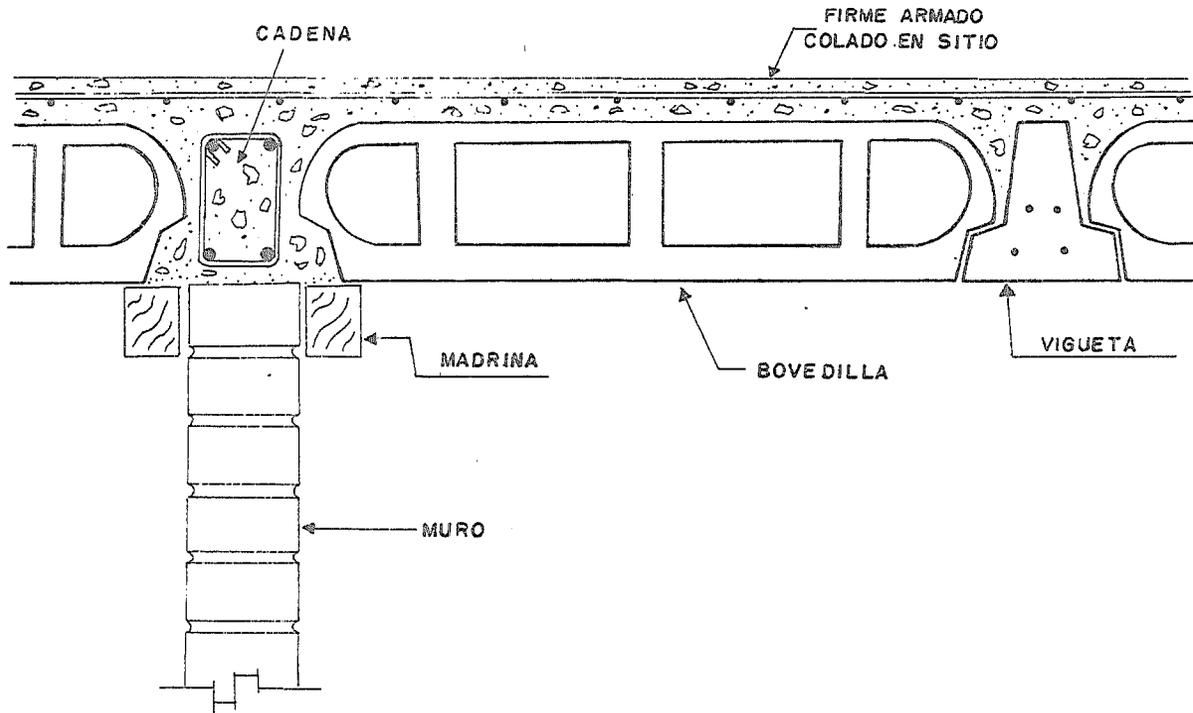
Como habíamos mencionado en puntos anteriores aquí en los detalles de conexión que a continuación se describen, podemos apreciar la versatilidad y adaptación del sistema vigueta-bovedilla con otros sistemas, ya sean tradicionales o prefabricados.

Dentro de los casos más comunes de conexión que se pueden presentar dentro de la construcción de casas habitación de interés social podemos mencionar los siguientes:

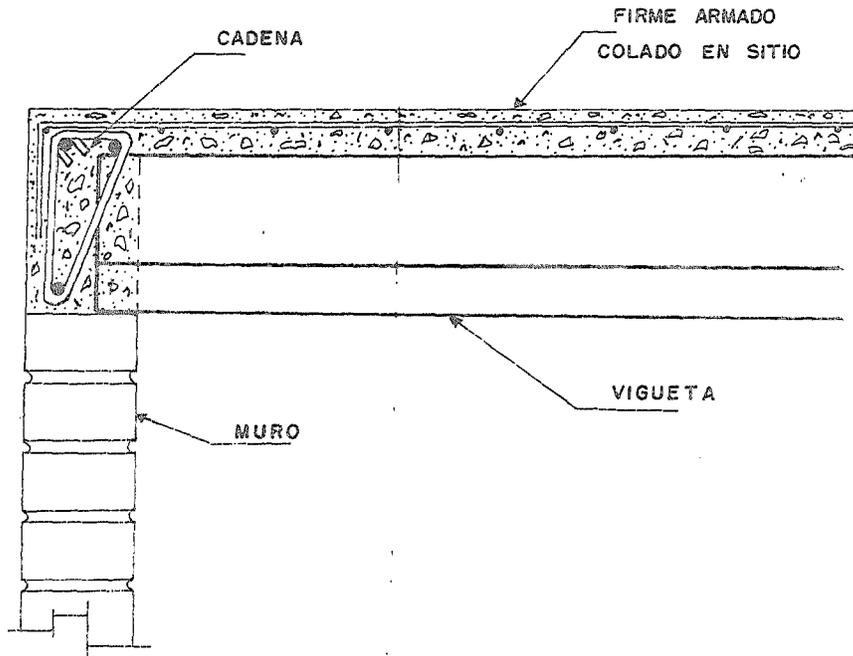
- Conexión bovedilla-cadena.
- Apoyo de vigueta en muro.
- Conexión de viguetas en trabe peraltada con cimbra y maderas funcionando como cimbras laterales.
- Conexión de viguetas en trabe invertida con cimbra.
- Apoyo de viguetas en muro.
- Conexión vigueta-cadena, con madrina niveladora como cimbra lateral.
- Conexión vigueta-bovedilla en trabe cuyo peralte puede ser el de la losa.

- Conexión de viguetas en trabe peraltada, con las madrinas funcionando como cimbras laterales.
- Apoyo de viguetas en muro.
- Losa inclinada, en cantiliver.
- Doble vigueta, formando trabe para recibir muro, que no es de carga.
- Conexión vigueta-bovedilla en cumbrera.
- Conexión vigueta-trabe-charola de baño.
- Conexión de bovedilla-cadena, en el caso de un cantiliver.
- Conexión cadena-bovedilla.
- Conexión cadena-vigueta despatinada.

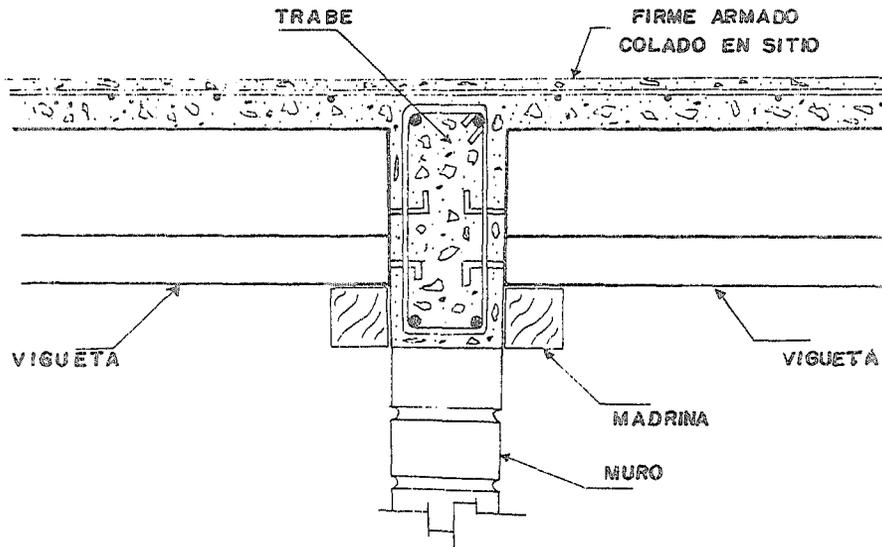
CONEXION DE BOVEDILLA-CADENA



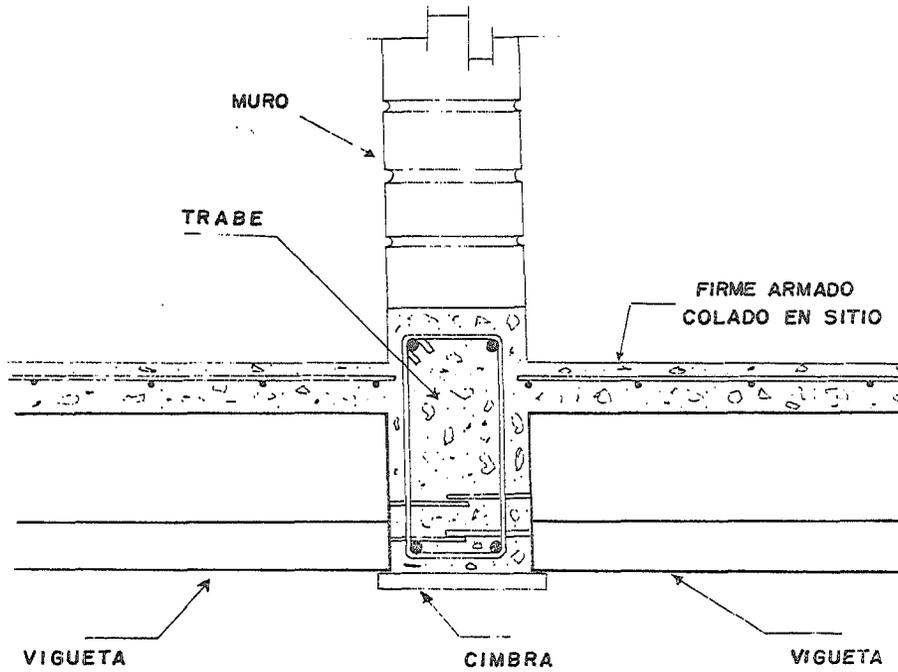
APOYO DE VIGUETA EN MURO



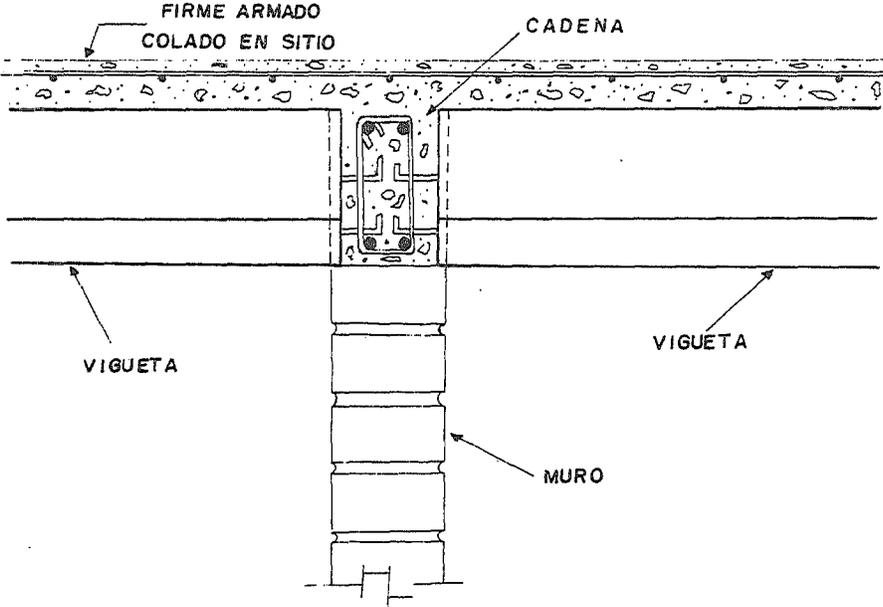
CONEXIÓN DE VIGUETAS EN TRABE PERALTADA CON LAS MADRINAS FUNCIONANDO COMO CIMBRAS LATERALES



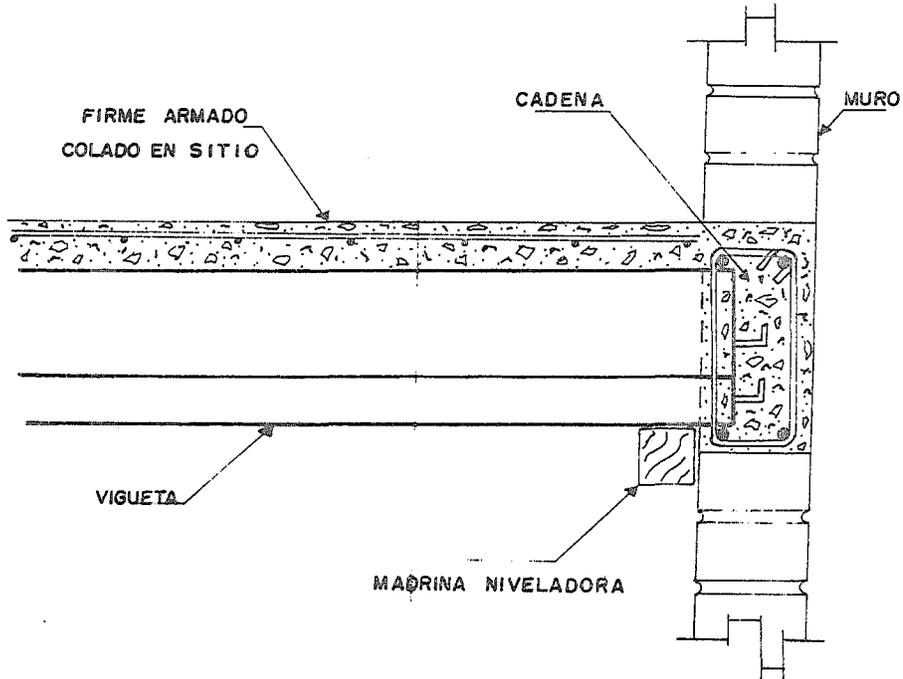
CONEXION DE VIGUETAS EN TRABE INVERTIDA CON CIMBRA



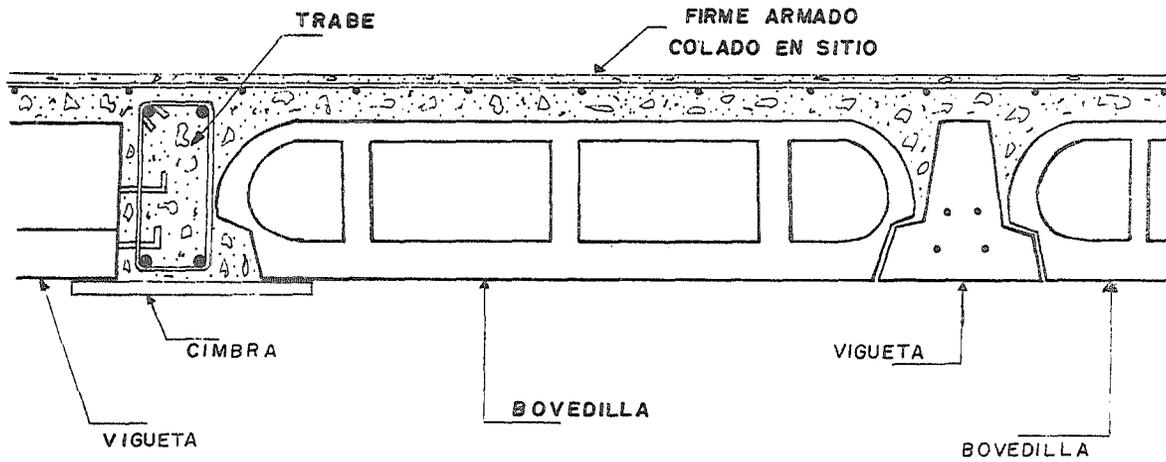
APOYO DE VIGUETAS EN MURO



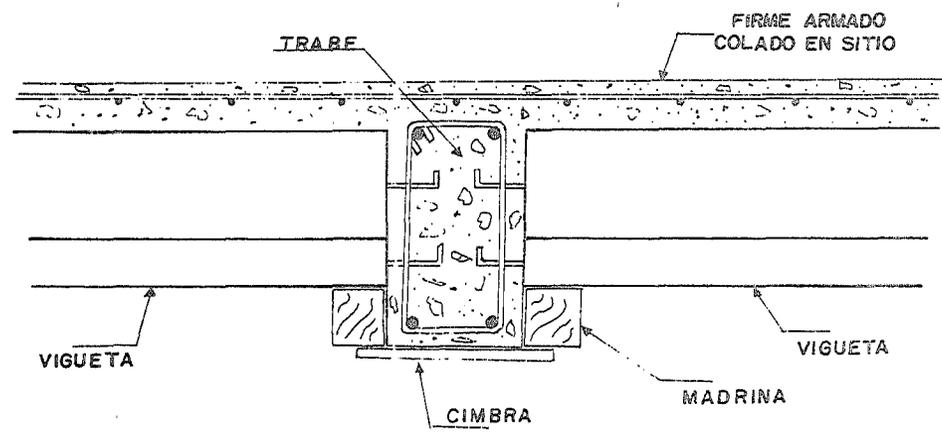
CONEXION VIGUETA-CADENA CON MADRINA NIVELADORA COMO CIMBRA LATERAL



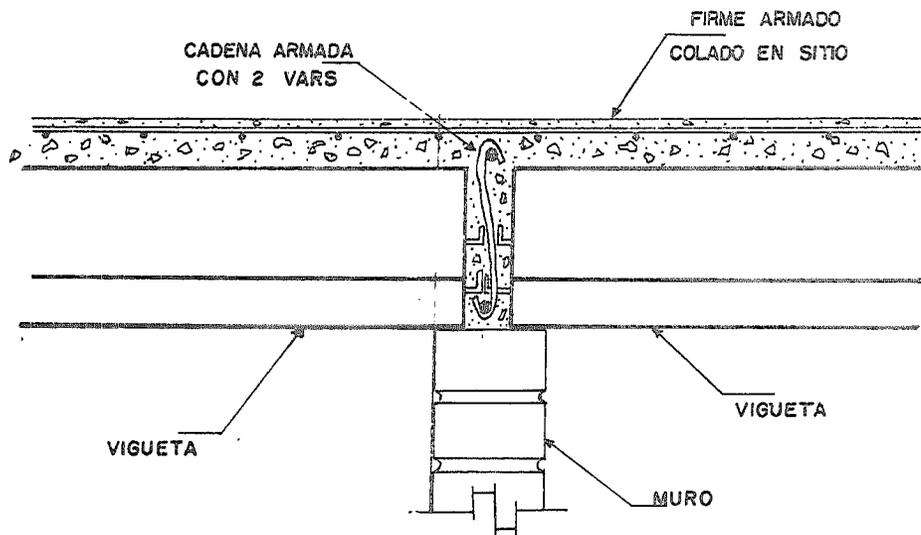
CONEXION VIGUETA-BOVEDILLA EN TRABE CUYO PERALTE PUEDE SER EL DE LA LOSA



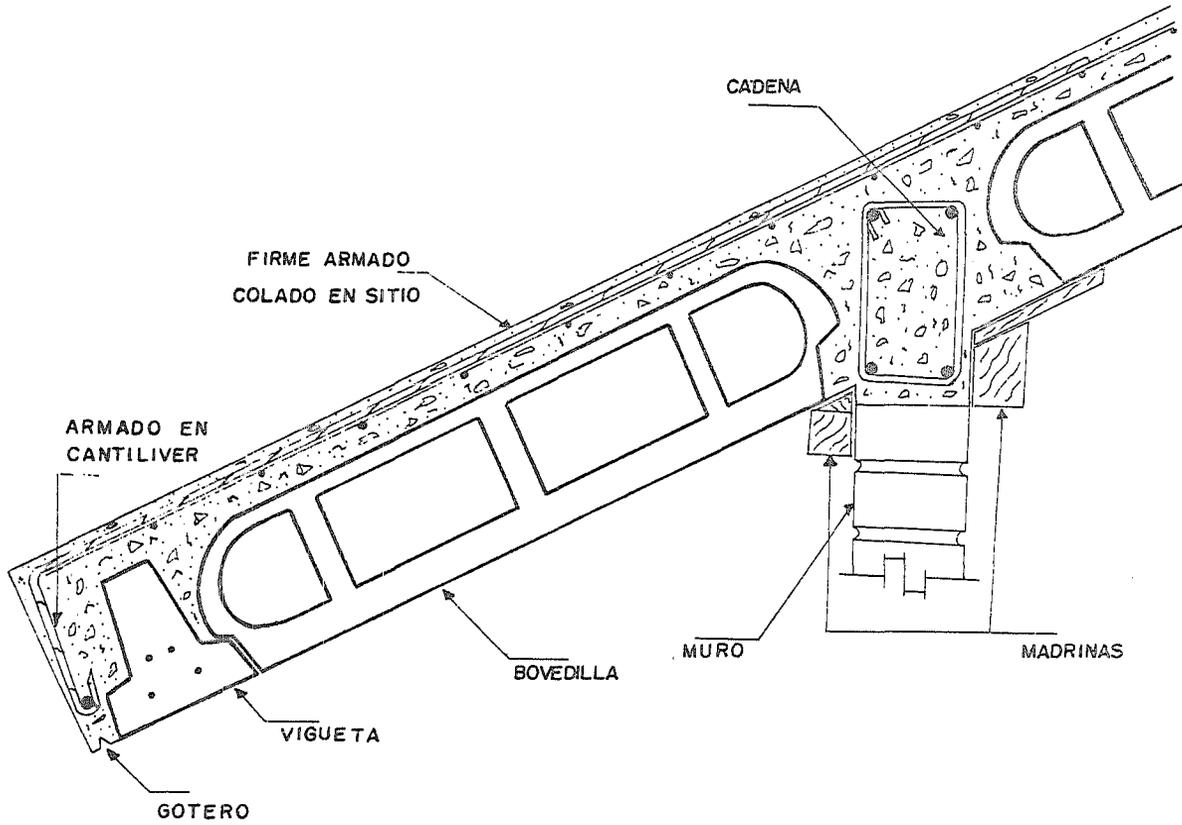
CONEXION DE VIGUETAS EN TRABE PERALTADA CON CIMBRA Y
MADRINAS FUNCIONANDO COMO CIMBRAS LATERALES.



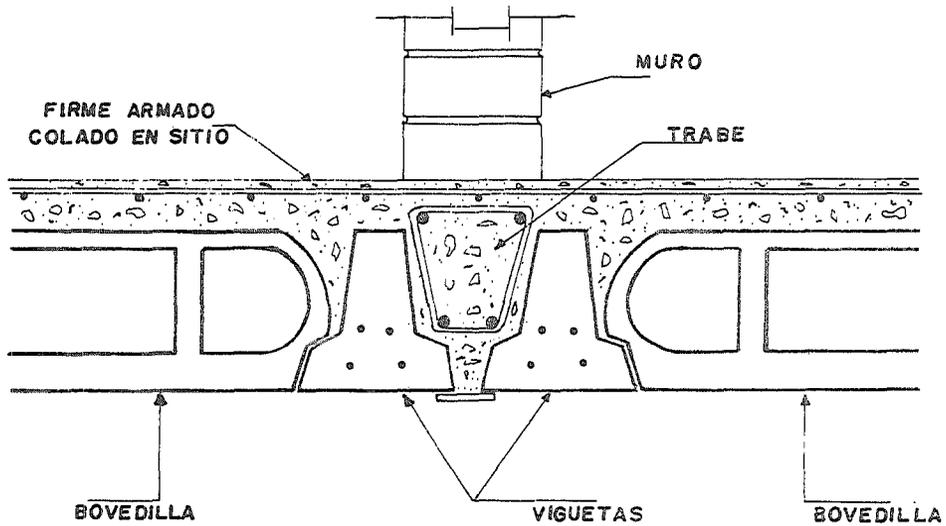
APOYO DE VIGUETAS EN MURO



LOSA INCLINADA EN CANTILIVER

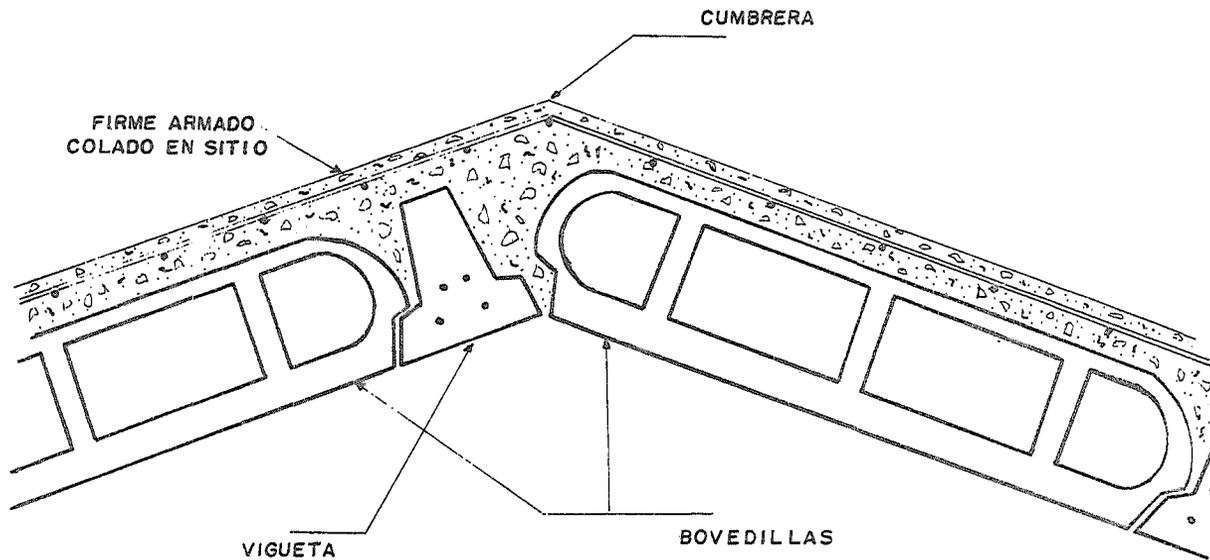


DOBLE VIGUETA FORMANDO TRABE PARA RECIBIR UN MURO
QUE NO ES DE CARGA

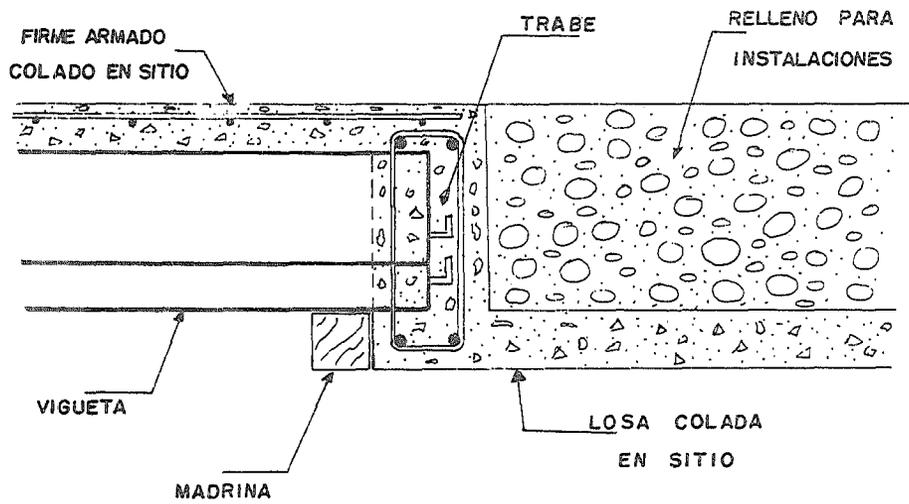


ML 0028250

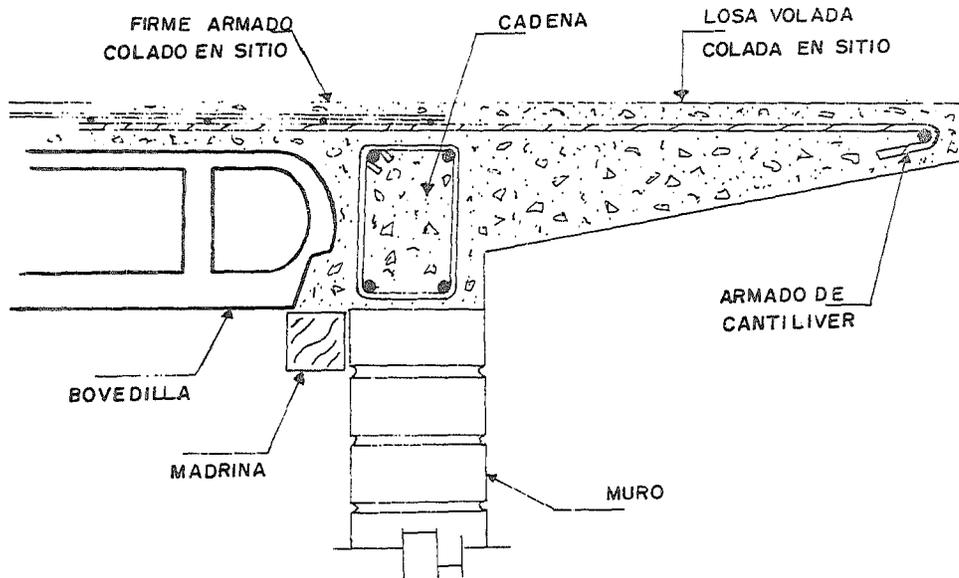
CONEXION DE VIGUETA-BOVEDILLAS EN CUMBRERA



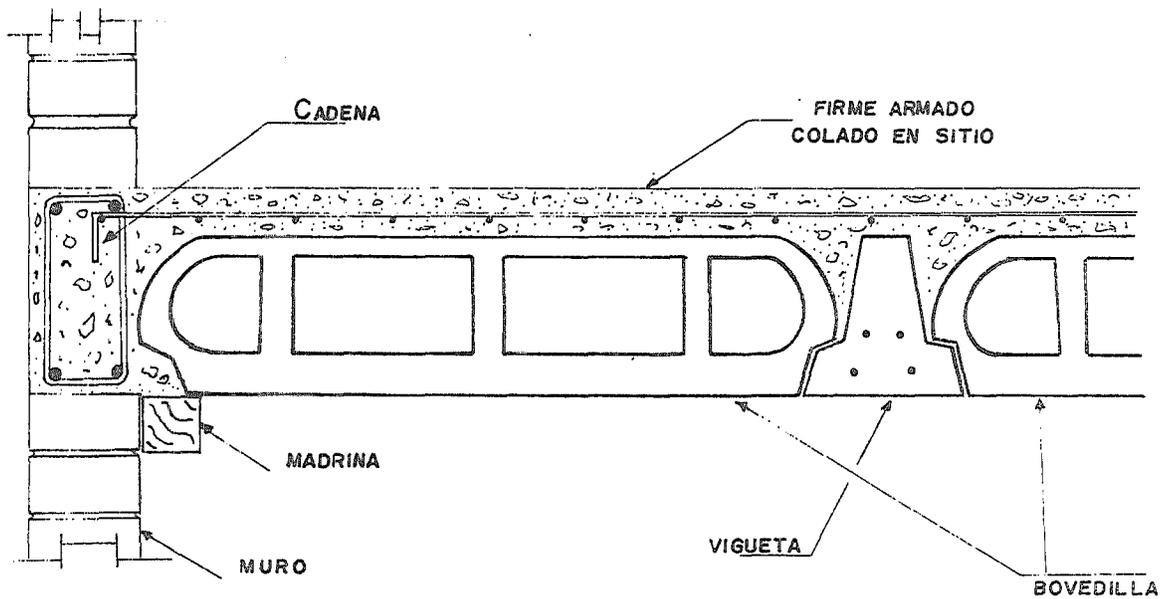
CONEXION DE VIGUETA-TRABE-CHAROLA DE BAÑO



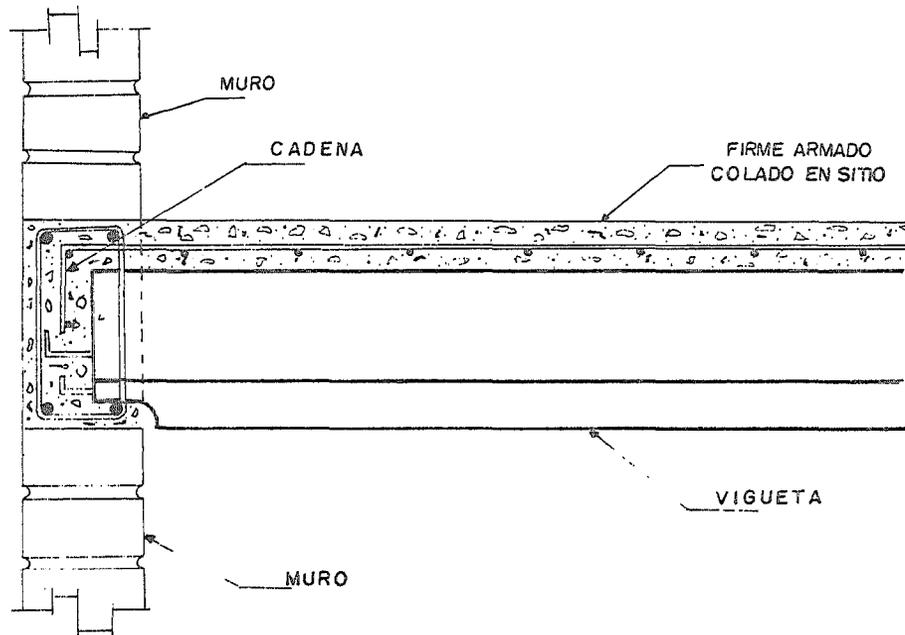
CONEXION DE BOVEDILLA-CADENA EN EL CASO DE UN CANTILIVER



CONEXION CADENA-BOVEDILLA



CONEXION CADENA-VIGUETA DESPATINADA



2.5 PROCESO DE FABRICACION.

2.5.1 MATERIALES

En el inciso 2.2 nos referimos a los elementos que constituyen el sistema de piso vigueta y bovedilla; vigueta, bovedilla, malla electrosoldada y concreto para el firme de compresión.

Para la producción de estos elementos, es necesario la utilización de varios materiales básicos como: acero para refuerzo en las viguetas, concreto presforzado para la construcción de las mismas, concreto reforzado para el firme de compresión y una mezcla de arena-cemento para la fabricación de las bovedillas.

En este inciso nos avocaremos a mencionar las principales características requeridas de estos materiales para poder conocer las ventajas de estos elementos prefabricados.

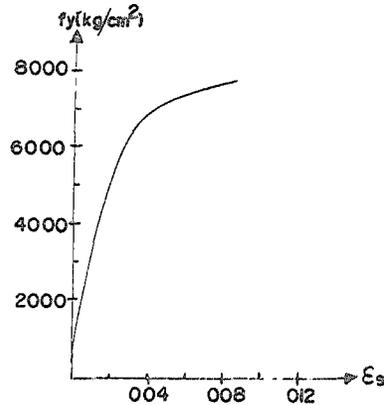
A) ACERO

El acero para reforzar concreto se utiliza en distintas formas. La más común es la barra o varilla. Todas las varillas con excepción del alambón de 1/4", tienen corrugaciones, en la superficie. Generalmente el tipo de acero se caracteriza por límite o

esfuerzo de fluencia.

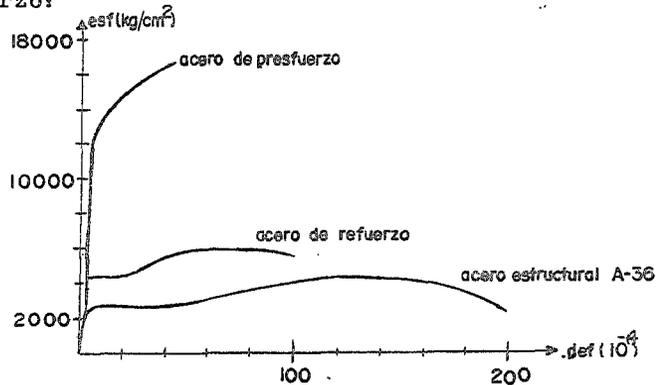
En México se cuenta con una variedad relativamente grande de aceros de refuerzo. Las varillas laminadas en caliente pueden obtenerse con límites de fluencia desde 2,300 hasta 4,200 kg/cm^2 .

El acero trabajado en frío alcanza límites de fluencia de 4,000 a 6,000 kg/cm^2 . En la siguiente figura 1 se representa la gráfica esfuerzo-deformación de un acero trabajado en frío, fabricado en México.



Gráfica 1: esfuerzo-deformación de un acero de alta resistencia, sin límite de fluencia definido.

Estos tipos de acero, se utilizan en la construcción de viguetas cuando el claro y los requerimientos de carga así lo permitan. En el caso contrario se emplean estructuras presforzadas y en cuyo caso el acero utilizado es de resistencia superior a la de los aceres descritos anteriormente. Su resistencia última varía entre 14,000 y 22,000 kg/cm^2 y su límite de fluencia, definido por el esfuerzo correspondiente a una deformación permanente de 0.002 entre 12,000 y 19,000 kg/cm^2 . Si hacemos una comparación entre las curvas esfuerzo de formación del acero de refuerzo ordinario y el acereo de presfuerzo:



Podemos observar que las diferencias más notables son: el límite elástico que es mucho más elevado, la ductibilidad, medida como la deformación total al momento de la falla, es menor para el acero de presfuerzo. Además no presenta un esfuerzo de fluencia bien definido; el límite proporcional para el acero de presfuerzo es aproximadamente seis veces el punto de fluencia del acero A-36 (laminado en caliente). Al incrementar la carga los alambres muestran una fluencia gradual, hasta la fractura del acero.

Por otra parte, se ha empezado a generalizar el uso de mallas como refuerzo de losas (como es el caso del sistema de piso a base de viguetas y bovedillas), muros y algunos elementos prefabricados. Estas mallas están formadas por alambres lisos unidos por puntos de soldadura en las intersecciones. El acero es del tipo trabajado en frío, con esfuerzos de fluencia del orden de $5,000 \text{ kg/cm}^2$. El espaciamiento de los alambres varía de 5 a 40 cm. y los diámetros de 2 a 7 mm, aproximadamente.

B) CONCRETO

El concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla en proporciones determinadas, de cemento, agregados y agua. El cemento y el agua forman una pasta que rodea a los agregados (arena y grava), constituyendo un material heterogéneo.

El concreto simple, sin refuerzo, es resistente a la compresión, pero es débil a la tensión (la décima parte de su resistencia a la compresión). Para resistir tensiones se emplea refuerzo de acero, colocado en las zonas donde se prevee que se desarrollarán tensiones bajo las sollicitaciones de servicio. El uso del refuerzo no está restringido a la finalidad anterior; también se emplea en zonas de compresión para aumentar la resistencia del elemento reforzado, para reducir las deformaciones debidas a cargas de larga duración y para proporcionar confinamiento lateral al concreto, lo que indirectamente aumenta su resistencia a la compresión.

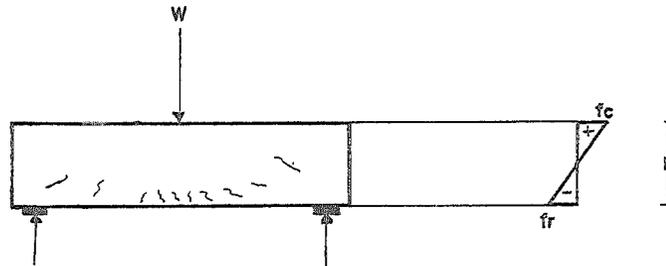
El concreto presforzado es una modalidad del concreto reforzado y es normalmente de resistencia más alta que el de estructu-

ras no presforzadas. La práctica actual de nuestro país pide resistencia a la compresión igual a 350 o 400 kg/cm², para el concreto presforzado, mientras que para el concreto reforzado de 200kg/cm².

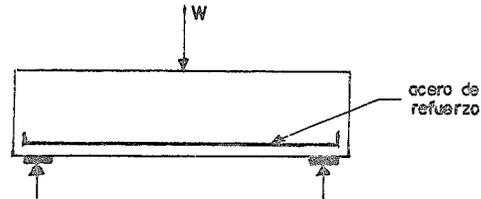
Para esta modalidad, se crea un estado de esfuerzos de compresión en el concreto antes de la aplicación de las solicitaciones. De este modo, los esfuerzos de tensión producidos por las solicitaciones quedan contrarrestadas o reducidas, lo que resulta favorable ya que disminuye la deformación de grietas debidas a la flexión y a la tensión diagonal, aún a pesar de que se producen esfuerzos mayores que en el concreto reforzado; además permite reducir las dimensiones de la sección del elemento y por consiguiente se logra reducir la carga muerta y se pueden aumentar los claros. Las deflexiones y el agrietamiento excesivo que se producirán en secciones esbeltas sometidas a altos esfuerzos, se controlan facilmente mediante el presfuerzo.

Para comprender mejor el comportamiento de una viga presforzada, analicemos la siguiente secuencia de ejemplos.

a) Consideremos una viga de concreto, simplemente apoyada, sin refuerzo y soportando una carga concentrada en el centro del claro. Al ir aumentando la carga W , aparecen esfuerzos longitudinales de flexión, y si suponemos que tiene un comportamiento elástico, la distribución de esfuerzos será lineal. El esfuerzo de tensión alcanzará el valor de resistencia del material a la tensión (f_r) y se formarán grietas. Como no existe restricción para su desarrollo, el elemento fallará, aún sin aumentar la carga.



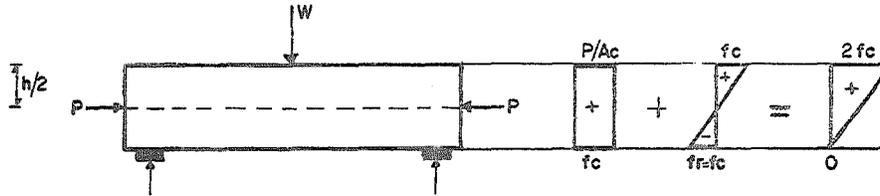
- b) Si en la misma viga colocamos refuerzo en forma de varillas de acero en las zonas donde se desarrollarán los esfuerzos de tensión, dicho refuerzo tomaría toda la tensión y podría mantener el agrietamiento en el concreto dentro de los límites aceptables.



- c) Consideremos ahora una viga igual a la inicial pero aplicaremos en ella una fuerza de compresión axial P (presfuerzo). El esfuerzo f_c de compresión debido al presfuerzo es igual a P/A_c en toda la sección, siendo A_c el área de la sección transversal. Se puede lograr una magnitud de la fuerza P tal que los esfuerzos producidos por ella, combinados con los debidos a la carga actuante W , eliminen los esfuerzos

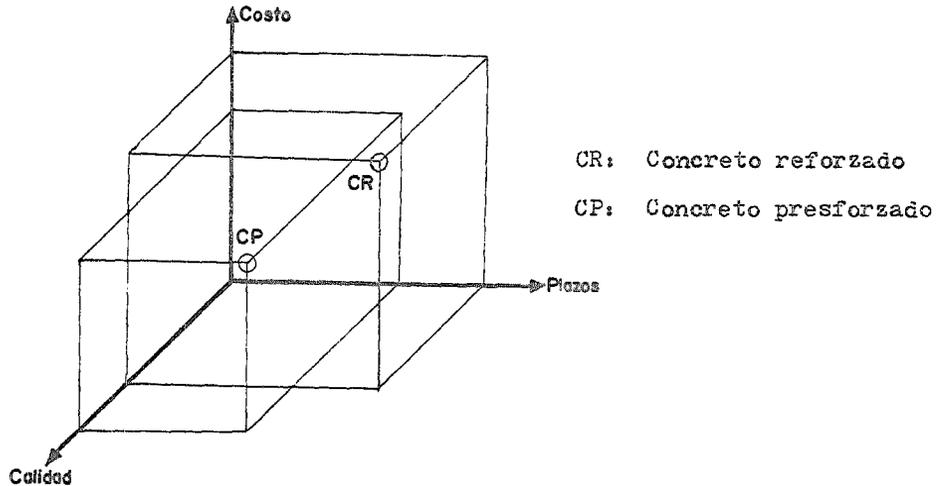
de tensión en la parte inferior de la viga.

En este caso el concreto reacciona como si tuviese resistencia propia a la tensión. Además, como los esfuerzos de tensión no exceden a los de precompresión, no se podrán presentar agrietamientos en la zona inferior de la viga.



Como podemos deducir el campo de utilización del presfuerzo es mucho más vasto y su expansión actual de muestra, que esta técnica mejora la calidad de las estructuras, acorta los tiempos de ejecución y, en general, es un medio para reducir el costo de la construcción. Costo, tiempo y calidad son indiscutiblemente las coordenadas básicas que definen la realización de una obra. El

presfuerzo permite reducir el tiempo y el costo para una calidad determinada o mejorar la calidad y el plazo de ejecución sin modificar el costo.



A pesar de que existen varios métodos de presfuerzo en el concreto.

La manera más común de presforzar consiste en tensar el acero

de refuerzo y anclarlo (este método se explicará en el inciso 2.5.3)

Solo por mencionar los otros sistemas de pretensado, tenemos:

- a) Presfuerzo por medio de cementos expansivos.
- b) Presfuerzo eléctrico.
- c) Presfuerzo por embobinado.
- d) Presfuerzo circular.

Ahora que hemos estudiado las principales características del concreto y el acero de alta resistencia utilizado para la fabricación de las viguetas, se concluye, que existen pérdidas en los elementos presforzados, pretensados o postensados, y la forma en que se evalúan dichas pérdidas en el diseño estructural.

Pérdidas Instantaneas.

- 1.- Acortamiento elástico del concreto.
- 2.- Fricción del acero de presfuerzo debido a la curvaturas intencionales y/o accidentales.
- 3.- Deslizamiento del cable en el anclaje.

Pérdidas Diferidas.

- 1.- Contracción del concreto.
- 2.- Flujo plástico.
- 3.- Relajamiento del acero.

De acuerdo al Reglamento del Departamento del Distrito Federal, se deberán evaluar en caso de contar con la información suficiente; en caso contrario se supone lo siguiente (en la mayoría de los casos).

A.- En pretensado, siempre y cuando no se desvíen los tendones, se toma como el 20% del presfuerzo inicial, es decir,
 $P_{inst} + P_{dif} = 0.20 P_i$.

B.- En postensado se toma como el 15% del presfuerzo inicial, más las pérdidas por fricción y deslizamiento del cable.

Ahora nos referiremos a los materiales utilizado en la fabricación de la bovedilla el cual es un elemento vibrocomprimido.

Se mezcla el material (arena o tepetate) con la apropiada dosis de cemento y agua. La revoltura así obtenida debe tener una

humedad del 12-24%, con esta revoltura se alimentan las máquinas. El ciclo de fabricación completo dura de 20 a 30 seg.

Los granos de arena, tepetate, etc.; revueltos con cemento y agua durante la primera fase (primer tiempo de la vibración 2 a 5 seg.) se acomodan, después durante la segunda fase (segundo tiempo de la vibración y la compresión simultanea 3 a 4 seg.) se cierran entre si, de manera que la bovedilla se presente con la textura "cerrada".

Una vez analizados los materiales con los cuales se fabrican los elementos que constituyen el sistema vigueta y bovedilla, podemos concluir que su capacidad de carga aumenta, debido al tratamiento que reciben en su prefabricación en relación a los sistemas tradicionales, lo que permite, como ya lo mencionamos, una posible reducción en las secciones y una mayor capacidad de carga, lo que disminuye los volúmenes de obra con el consiguiente beneficio costo-tiempo.

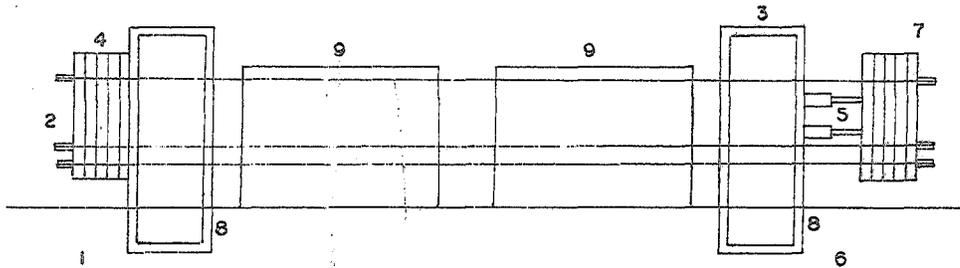
2.5.2 MAQUINARIA Y EQUIPO.

Como complemento de la información de los incisos anteriores en los que se mencionan las características y funciones de los elementos que forman el sistema de losa vigueta y bovedilla, en este inciso describiremos a grandes rasgos las características principales de funcionamiento y uso del equipo y maquinaria utilizados en la fabricación de las viguetas y bovedillas.

Para la fabricación de las viguetas, el equipo necesario está comprendido por una mesa donde se fabrican los productos, muertos de anclaje, moldes, gatos para tensar, grua para el manejo de los tendones y en algunas ocasiones plantas de vapor para reducir los ciclos de fabricación por medio de un curado acelerado.

Las mesas de colado pueden ser fijas o portátiles, las primeras pueden ser muertos de anclaje que resistan por si solos todas las fuerzas de presfuerzo, muertos de anclaje piloteadas o losas actuando como columnas; las portátiles por su parte pueden ser dovelas precoladas que se unen por medio de tendones de presfuerzo,

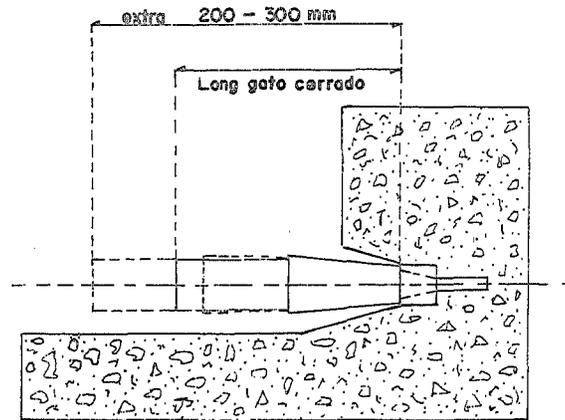
estructuras de acero o los propios moldes que se diseñan para soportar la fuerza de presfuerzo, además de dar la forma que se requiera a las viguetas.



- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1.- Apoyo fijo | 6.- Extremo de tensado |
| 2.- Anclajes de acero | 7.- Tope |
| 3.- Viguetas | 8.- Muerto de anclaje |
| 4.- Placa de anclaje | 9.- Elemento pretensado |
| 5.- Gatos | |

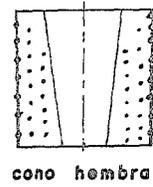
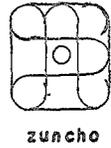
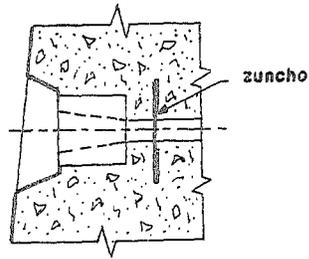
Los moldes necesitan tener ciertas características además de las mencionadas anteriormente y que se pueden obtener utilizando moldes de acero, en primer lugar por la durabilidad de estos, puesto que el número de usos que se le puede dar con este material es alto, reduciendo aún más el costo de producción, en segundo lugar son de fácil aplicación de algún descimbrante para que no se quede adherido el concreto de las viguetas una vez que haya endurecido y por último no absorben el agua del concreto, sin embargo estos moldes pueden ser de otro material, siempre y cuando se ciuden las anteriores posibilidades de mala fabricación.

Por otra parte para realizar el pretensado de la vigueta se utilizan gatos hidráulicos alimentados con agua o aceite con un peso aproximado de 70 a 90 kg. y con una carrera útil de 200 mm a 300 mm.



GATO HIDRAULICO PARA EL PRETENSADO

Como parte de los accesorios del gato hidráulico hay 2 conos (hembra y macho) y un juego de zunchos para poder realizar el tensado.



La función básica de los zunchos es el de confinar la parte de concreto que rodea los cables de tensado, puesto que en esta zona (extremos) aumento considerablemente los esfuerzos de compresión cuando se aplica la fuerza de tensado en los casos que no lleva ducto interno.

El equipo restante para la fabricación de la vigueta está en función a la capacidad de producción de la planta y en cierto momento se puede prescindir de este equipo como son: gruas para el manejo del acero o traslado de las viguetas a su lugar de almacenamiento y las plantas de vapor para acelerar el curado, pudiendo ser substituidas por algún aditivo químico.

Por otra parte la Maquinaria necesaria para la fabricación de la bovedilla está compuesta por una mezcladora de eje vertical tipo turbina, para el mezclado homogéneo. Y la máquina que realiza la vibro-compresión, la cual está fabricada en fundición de hierro nodular, puede tener una muy variada capacidad de producción desde 2,000 hasta 14,000 bovedillas por turno de 8 hrs. dependiendo del tipo de máquina. Para la producción de estas bovedillas es necesaria la utilización de moldes que deberán ser fabricados de madera dura, seca y cepillada en ambas caras y tendrán que recibir un tratamiento de curado a base de diesel caliente y parafina a razón de 20:1 y aceite quemado

2.5.3 PROCESO DE FABRICACION EN SERIE

Dentro del "Proceso de Fabricación" del sistema vigueta-bovedilla se encuentra una de sus ventajas más importantes, ya que, es aquí en donde se puede abatir considerablemente los costos en la construcción particularmente en nuestro caso para las casa de interés social, puesto que utilizando conjuntamente materiales y equipo de una forma óptima dentro de un proceso industrializado de fabricación de un producto, podemos obtener un mayor beneficio en lo que refiere a calidad, costo y tiempo, que son los aspectos más relevantes para el Ingeniero Civil.

La vigueta y la bovedilla son los 2 elementos del sistema que analizaremos su fabricación dentro de un proceso de industrialización.

Si retomamos algunos de los conceptos manejados en el inciso 2.5.1. (materiales) en el cual se menciona el tipo de concreto de alta resistencia (presforzado) como un material utilizado en la construcción de las viguetas, en ese inciso unicamente lo mencionamos como tal, toca ahora mencionar en este inciso el procedimiento

de fabricación para lograr este concreto pretensado.

PRETENSADO: En éste método los elementos se producen tensando el acero de refuerzo, también llamado "tendones", entre anclajes externos, antes de efectuar el colado. Al endurecer el concreto fresco, se adhiere al acero y cuando alcanza la resistencia requerida ($f'c$ diseño), se retira la fuerza presforzante aplicada por los gatos y se transmite dicha fuerza al concreto, con lo cual se produce un estado de esfuerzos de compresión en el elemento.

Fundamentalmente las instalaciones para la producción de elementos pretensados consisten en una mesa donde se fabrican los productos, muertos de anclaje, moldes, gatos para tensar, gruas para el manejo de los elementos prefabricados, equipo especial para el manejo de los tendones y en algunas ocasiones plantas de vapor para reducir los ciclos de fabricación por medio de un curado acelerado.

Los tendones se tensan entre placas de anclaje que se encuentran situadas en cada extremo de la mesa y soportadas por grandes secciones de acero ahogadas en un macizo de concreto llamado muerto de anclaje. En uno de los extremos, que se llama fijo, la placa

de anclaje se apoya directamente en las viguetas de acero soportantes, mientras que en el otro, el de tensado, se introducen puntales de acero (temporales), si el tensado es individual, o los gatos, si se tensan simultáneamente, entre la placa de anclaje y las viguetas de apoyo; las placas son generalmente de acero con perforaciones por donde los alambres o torones se introducen para anclarse.

Si el tensado es individual, los alambres se van tensando y anclando uno por uno, para después substituir los puntales de acero por gatos, para detensar cuando el concreto haya alcanzado la resistencia adecuada.

Los anclajes utilizados también pueden ser para un solo alambre o torón, o para varios, pero en general son mordozas que utilizan el principio de la cuña o la fricción.

En general los elementos pretensados se fabrican con tendones rectos, aunque existen dispositivos para desviarlos, de tal manera que sus trayectorias se ajusten a los momentos actuantes a lo largo del elemento. También en algunas ocasiones se desea reducir la fuerz

za de presfuerzo en los extremos, lo cual se puede lograr mediante el engrasado, que consiste en encerrar los tendones en tubos de plástico con lo que evita la adherencia; de esta manera, la longitud de desarrollo se inicia en el extremo del tubo, en lugar de hacerlo en el extremo del elemento.

En forma resumida enumeraremos el procedimiento general del pretensado para la elaboración de las viguetas, el cual consiste en:

- 1.) Colocación del fondo del molde: este es variable ya que depende de las dimensiones de diseño de las viguetas.
- 2.) Poner el descimbrante.- Como descimbrante usualmente se utiliza algún lubricante o diesel para que, una vez endurecido el concreto se desprenda fácilmente de los moldes y se evite el desprendimiento de pedazos de concreto y quede irregular (cacariso).
- 3.) Colocación y tensado de los cables de presfuerzo: la presión de tensado varía dentro de un rango de 10,500 a 13,700 kg/cm² dependiendo de los requisitos a que va ha

estar sujeta la vigueta.

- 4.) Colocación de estribos y acero longitudinal: la separación de estos, también la dan los requisitos de carga a que va ha estar sujeta la vigueta.
- 5.) Colocación de los costados de la cimbra: al igual que el fondo, estos costados son variables en forma y separación para determinar el ancho de los patines.
- 6.) Colado y vibrado del concreto: previa dosificación el concreto se vacía a los moldes por medio de mangueras y paralelamente se va acomodando con un vibrador eléctrico para evitar que quede algún posible hueco o que el concreto no rellene las separaciones entre los estribos o varillas.
- 7.) Colocación de mantas para el curado mediante vapor: a temperaturas normales, el concreto necesita varios días para desarrollar su resistencia, pero existen varios métodos para lograr un endurecimiento acelerado; el inter

no mediante el uso de aditivos químicos, y el externo, mediante la aplicación de vapor. Esto es importante desde el punto de vista producción, ya que siempre es necesario desocupar la mesa lo más rápido posible para ser usada nuevamente.

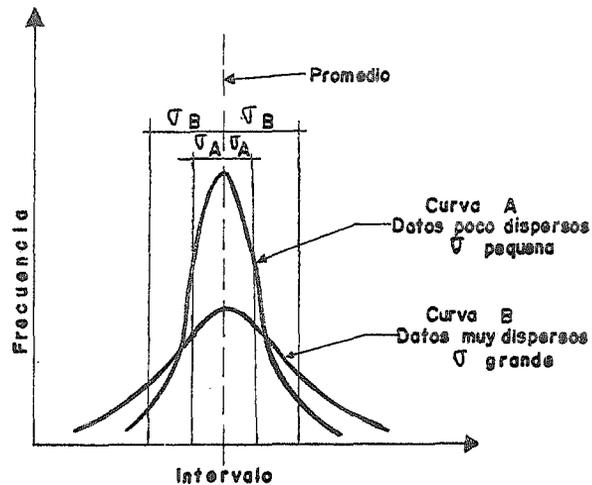
- 8.) Destensado y cortado de los cables: hasta que el concreto adquiera una resistencia adecuada (60%) se procede el destensado para que el concreto pueda recibir la fuerza de compresión y pueda ser cortado en secciones de la longitud deseada.
- 9.) Quitar los costados, sacar la pieza y transportarla a los almacenes o a la obra.
- 10.) Verificación de la resistencia adquirida del concreto: para poder realizar un evaluación confiable y verídica es necesario toda una serie de datos y analizarlos por medio de alguna técnica probabilística como la que señalaremos a continuación.

NOTA: La siguiente metodología también es aplicable a la producción de las bovedillas.

- EVALUACION DE DATOS

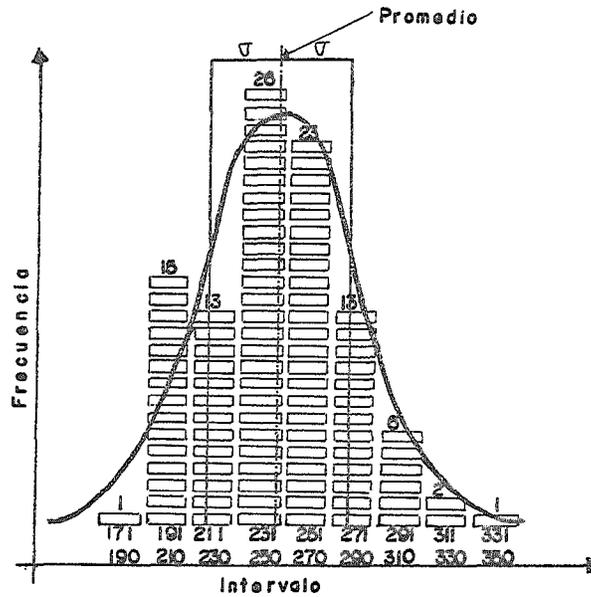
Todos los datos que se obtienen de ensayos están sujetos a variaciones. Para gran número de datos, existen ciertas medidas que indican la uniformidad del producto que se está ensayando y el cuidado con que se han hecho los ensayos. La medida más común de la tendencia central de un conjunto de datos es el promedio y las más comunes del grado de uniformidad son la "desviación estándar" y el "coeficiente de variación". Mediante un ejemplo se verá cómo se pueden obtener estas cantidades y cuál es su significado.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del ensaye a la compresión de un grupo de 100 cilindros de concreto normal. Los cilindros se ensayaron con propósito de control y representa la variación real de la resistencia de un concreto fabricado en planta para una serie de elementos determinados, durante un período de 2 meses y medio. El concreto del que se extrajeron las muestras fue fabricado para dar una determinada resistencia nominal.



Para representar gráficamente datos como los mostrados en la gráfica anterior, se usa un histograma como el que se presenta a continuación. Este se construye llevando a escala en el eje de las ordenadas el número de datos comprendidos en intervalos iguales, los que se indican en el eje de las abscisas. En el ejemplo,

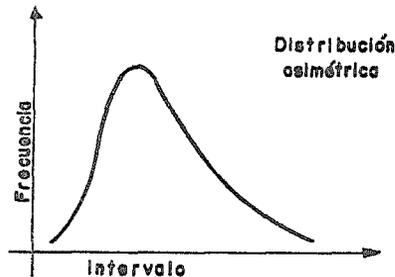
los datos (valores $f'c$) se agrupan en intervalos de 20 kg/cm^2 . Así, en el histograma se puede ver que 23 cilindros tuvieron resistencia entre 251 y 270 kg/cm^2 , y en cambio solo uno tuvo una resistencia entre 171 y 190 kg/cm^2 .



El promedio de los datos de la primera tabla, es decir, la suma de los valores de los datos dividida entre el número de datos, es de 247 kg/cm^2 .

Se puede suponer que si el número de datos es muy grande y el intervalo que se escoge es suficientemente pequeño, el histograma se acercará a la forma mostrada por la línea de trazo continua. Un gran número de resultados de mediciones queda representado como la de la primera figura que son simétricas respecto al promedio.

Para efectos de control y evaluación se supone en general que las resistencias de concreto y acero se distribuyen simétricamente. A veces se presentan distribuciones asimétricas, como la siguiente:



Las áreas bajo las curvas de la primera figura son iguales, si ambas representan el mismo número de datos. Se puede apreciar que en la curva A la mayor parte de los datos está más cerca del promedio que en la curva B.

Interesa evaluar la dispersión de los datos respecto al promedio. Una medida tosca de esta dispersión es la diferencia entre el valor mínimo y el máximo, la que sin embargo no da idea de la distribución. Para medir la dispersión de datos se utiliza frecuentemente la "desviación estándar" representada por el símbolo \sqrt{V} , que se puede considerar como el radio de giro de los datos respecto al promedio, \bar{X} , será $(X-\bar{X})$. Estas diferencias se llaman desviaciones. Considerando cada valor representado por un área unitaria concentrada en un punto, el momento de inercia de un valor cualquiera respecto al valor medio será $1(X-\bar{X})^2$, valor que es siempre positivo.

El área total será igual al número de datos, n , y por lo tanto el radio de giro al cuadrado será igual a la suma de los momen

tos de inercia entre el área total. El radio de giro al cuadrado, \bar{V}^2 , se denomina variancia. Finalmente, la desviación estándar (radio de giro) será:

$$\bar{V} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}}$$

La desviación estándar tiene las mismas unidades que los valores originales, kg/cm^2 para el ejemplo.

En la primera tabla se muestran los valores del promedio y la desviación estándar de los 100 datos de resistencias de concreto, calculados según lo antes mencionado.

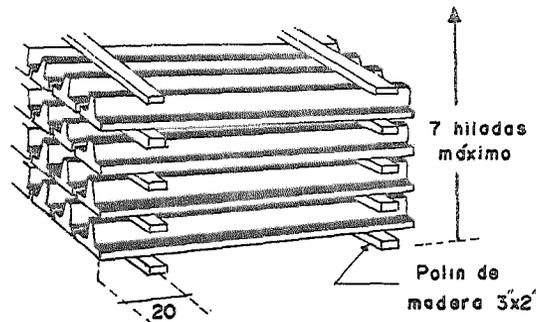
En el histograma (fig. 2) se han trazado dos líneas verticales a una distancia del promedio igual a la desviación estándar.

Se puede demostrar que en una curva de distribución simétrica los valores comprendidos entre esas dos líneas representan un porcentaje fijo de los datos de la muestra. Por esta razón, la desviación estándar es una buena medida de la dispersión de los datos respecto al promedio: a mayor desviación estándar el intervalo

que comprende el mismo porcentaje de datos es más grande. Se puede ver que la desviación estándar de la curva A de la fig. (1) es mucho menor que la de la curva B.

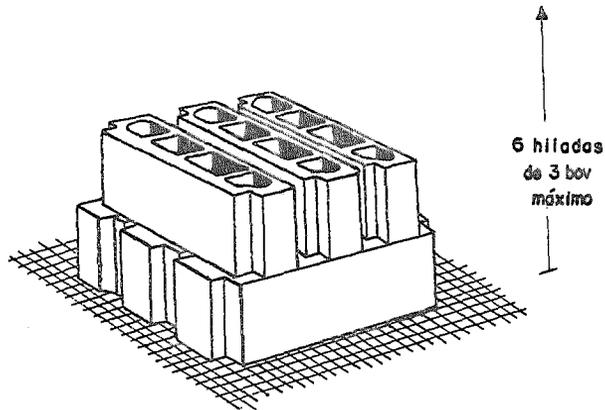
2.5.4 ALMACENAMIENTO

Refiriendonos al inciso anterior (2.5.3) en el que una vez terminados los procesos de fabricación de la vigueta y bovedilla, se deben pasar a un patio de almacenaje donde terminan de adquirir su resistencia normal. La forma recomendable para estibar las viguetas es la siguiente:



Esto se hace con el fin de evitar desprendimiento del concreto en los cantos de las viguetas y facilitar su manejo con los montacargas para cambio de zona en su almacenaje o para subirlos en los camiones para su traslado a la obra.

Igualmente para las bovedillas la forma de estibar que a continuación se muestra tiene la misma finalidad, evitar que se desca rapelen y facilitar su manejo.



CAPITULO III

3.1 INTRODUCCION

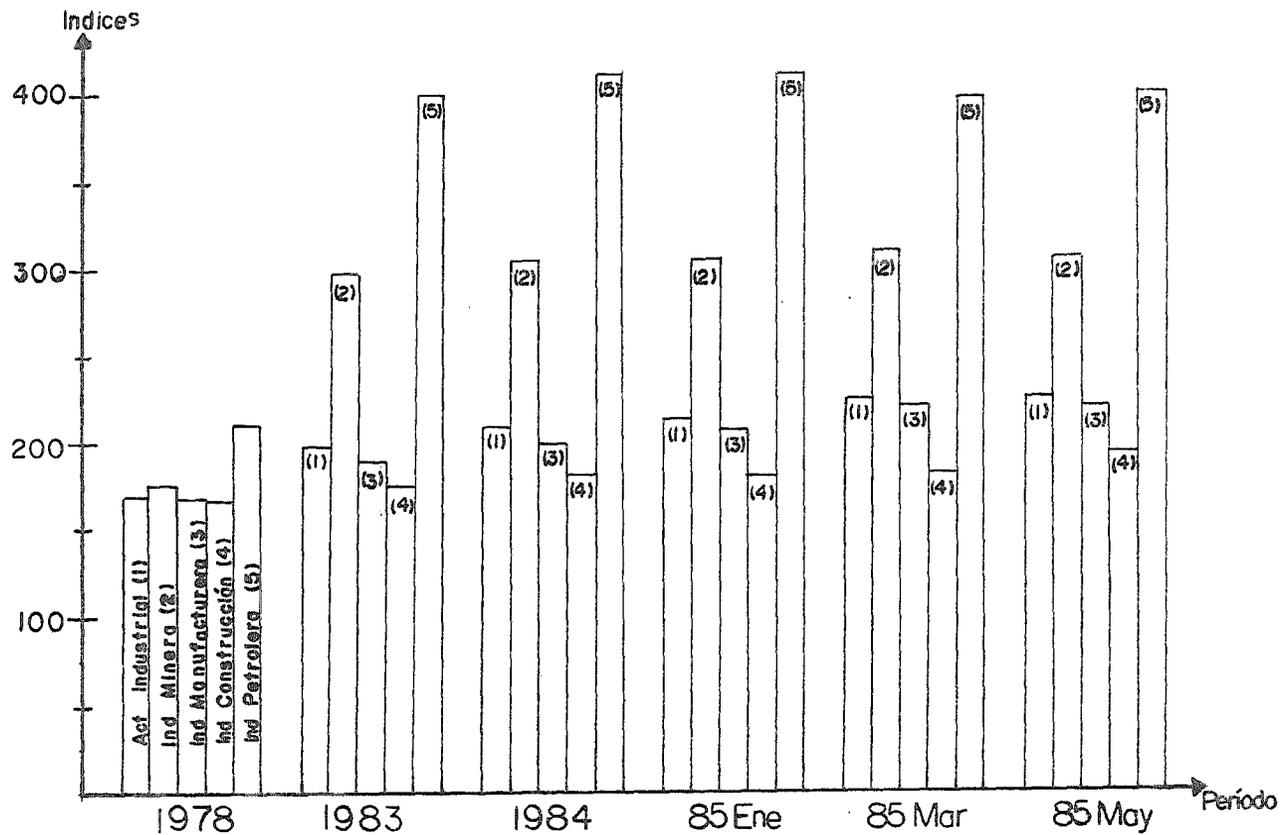
Como ya lo he mencionado en los capítulos anteriores, una de las ventajas de este sistema, es la reducción de costos que se puede lograr con la fabricación en serie de un producto, aunado a un beneficio del ahorro en tiempo en la edificación de casas de interés social, podemos tener una buena justificación para tomar en cuenta esta modalidad (alternativa) en la construcción de vivienda.

En este capítulo nos avocaremos a analizar este beneficio costo-tiempo que se puede obtener utilizando el sistema de losa vigueta y bovedilla, comparado con el sistema tradicional que es la losa maciza y algunos de los más usuales en la elaboración de losas.

Dentro de todos los sectores de producción y de servicios que integran la planta productiva de desarrollo de cualquier país uno de los aspectos que toma relevante importancia para la toma de decisiones es el económico. Para poder justificar nuestra preocupación por reducir los costos en la elaboración de casas habitación de interés social, mostramos una gráfica en la que podemos apre -

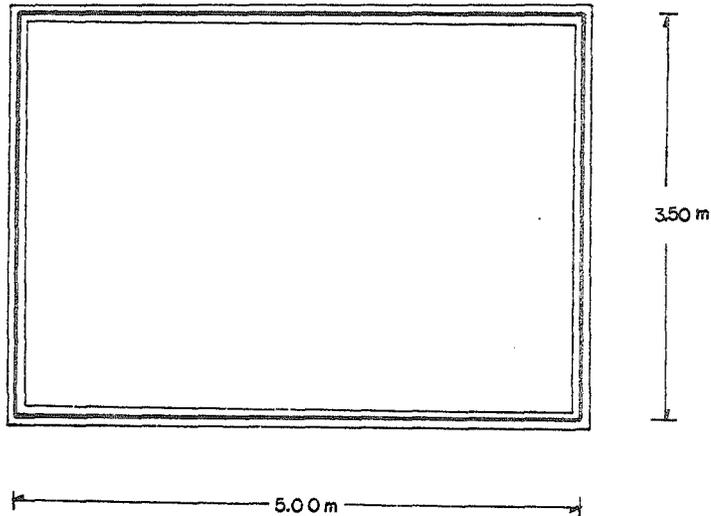
ciar que uno de los sectores con mayor rezago productivo es el constructivo, primordialmente en el renglón vivienda, ocasionando los grandes déficits, producto del proceso inflacionario por el que atraviesa el país.

INDICES DE VOLUMEN DE LA PRODUCCION INDUSTRIAL					
BASE 1970 = 100					
PERIODO	Act. Ind.	Ind. Minera	Ind. Manuf.	Ind. Const.	Ind. Petro.
1978	168.5	174.5	166.9	163.1	211.5
1983	199.7	299.9	190.0	175.4	401.9
1984	209.2	304.5	200.2	182.1	413.4
85-ene.	213.5	299.0	206.7	182.9	411.0
mar.	224.8	310.0	221.2	184.9	395.9
may.	226.1	306.2	219.7	196.1	399.4



3.2 ASPECTOS ECONOMICOS.

Para poder determinar cual es el beneficio costo-tiempo que representa el uso de la vigueta y bovedilla, analizaremos un table ro "tipo" de losa que puede considerarse en el diseño de una casa habitación de interés social, cuyas dimensiones son:



En el siguiente inciso se procederá a determinar la cuantía de materiales utilizados en este tablero, tanto con el uso de viga y bovedilla como por el método tradicional, para que en el último inciso se haga la comparación del costo-tiempo que es el propósito fundamental de esta tesis entre la losa tradicional, viga y bovedilla y una losa aligerada, esta última no se analizó en esta tesis, obteniendo sus cuantías y costos directamente de su fabricante.

3.2.1 CUANTIFICACION DE MATERIALES.

- Losa Maciza (tradicional).

Datos:

$$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$a_1 = 3.50 \text{ m}$$

$$a_2 = 5.00 \text{ m}$$

$$F_c = 1.4$$

Losa colada monolíticamente con sus apoyos, con dos lados continuos y dos discontinuos (tablero de esquina).

- Estimación de la carga.

Suponiendo un peralte $h = 10$ cm

$$W_{\text{peso propio}}: .10 \text{ m} \times 2.4 \text{ ton/m}^3 = 0.240 \text{ ton/m}^2$$

$$W_{\text{acabados}} + 0.02 \text{ ton} = 0.100 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{carga muerta} = \frac{0.240 + 0.100}{1} = 0.340 \text{ ton/m}^2$$

Según R.C.D.F.:

$$W_{\text{cv}} = 120 + \frac{420}{\sqrt{A}} = 0.220 \text{ ton/m}^2$$

$$W_{\text{carga instantánea}} = \frac{0.090 \text{ ton/m}^2}{1}$$
$$\text{carga viva} = 0.310 \text{ ton/m}^2$$

$$W_{\text{cm}} + W_{\text{cv}} = 650 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{carga de servicio})$$

$$F.c \times W = W_u \quad (\text{carga de diseño})$$

$$W_u = 910 \text{ kg/m}^2$$

- Estimación del Peralte

$$d = \frac{\text{Perímetro efectivo}}{300}$$

Para calcular el perímetro, se recomienda incrementar en un 25% la longitud de los lados discontinuos, ya que las deflexiones

son mayores mientras más lados discontinuos tenga la losa.

$$d = \frac{5 + (1.25 \times 5) + 3.50 + (1.25 \times 3.50)}{300}$$

$$d = 0.0637 \text{ m.}$$

El esfuerzo en el acero en condiciones de servicio (f_s) puede suponerse con:

$$f_s = 0.6 \times f_y = 2,520 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Como: } f_s > 2,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$W > 380 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{según R.C.D.F.}$$

el peralte efectivo mínimo se obtendrá multiplicando el peralte obtenido anteriormente por f en donde:

$$f = 0.034 \sqrt{f_s \times W}$$

$$f = 1.216$$

de donde el peralte efectivo mínimo

$$d_{\text{mín}} = d \times f$$

$$d_{\text{mín}} = 6.37 \times 1.216 = 7.75 \text{ cm} \approx 8.00 \text{ cm.}$$

considerando un recubrimiento de 2.0 cm, el peralte total de la losa $h = 10.00 \text{ cm.}$

- REVISION POR FLEXION DEL PERALTE PROPUESTO.

Se debe cumplir $p_{\min} \leq p \leq p_{\max}$.

$$p_{\max} = \frac{f'c}{f_y} \cdot \frac{4,800}{f_y + 6000} = 0.0152$$

$$p_{\min} = \frac{0.7 \sqrt{f'c}}{f_y} = 0.00236$$

$$m = \frac{a_1}{a_2} = \frac{3.50}{5.00} = 0.70$$

Con esta relación ($m = .70$) podemos conocer el mayor momento que actúa en dicho tablero, según el cuadro de coeficientes de momentos del R.C.D.F.

Dicho coeficiente (k) es el que corresponde al momento negativo en el claro corto.

$$k = 471$$

Estos coeficientes multiplicados por $10^{-4} W a_1^2$ dan momentos por unidad de ancho.

$$M_u = k 10^{-4} W a_1^2$$

$$M_u = 0.525 \text{ ton-m}$$

Con las ayudas de diseño (fig 3) del R.C.D.F. calculamos el valor de "p" que es la cuantía de acero en tensión.

$$\frac{M_r}{bd^2} \quad \text{en donde:} \quad M_r = M_u$$

$$b = 1m.$$

$$d = h - \text{rec} - 2cm = 6cm$$

$$\text{Por lo anterior} \quad \frac{M_r}{bd^2} = \frac{52504}{100(6)^2} = 14,58 \text{ kg/cm}^2$$

y para la curva $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ obtenemos

$$p = 0.0041$$

$$\therefore p = 0.0041 \leq p_{\text{máx}} = 0.0152$$

* Por lo que el peralte propuesto es correcto por flexión.

- REVISION POR FUERZA CORTANTE DEL PERALTE PROPUESTO.

Se supone que la sección crítica se encuentra a un peralte efectivo del paño. La fuerza cortante que actúa en un ancho unitario será:

$$V = \frac{(a_1/2 - d) W_u}{1 + \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^0}$$

$$V = \frac{1537.9}{1.117} = 1376.01 \text{ kg}$$

Y la capacidad de la losa está dada por la fuerza cortante que toma el concreto (V_{cr}).

$$V_{cr} = 0.5F_r \times b \times d \times \sqrt{f^*c}$$

$$V_{cr} = 3035.78 \text{ kg}$$

Como $V < V_{cr}$ se acepta el peralte propuesto por cortante.

- ANALISIS Y DIMENSIONAMIENTO POR FLEXION.

MOMENTO	CLARO	K	Mr	Q	ω	p	As	S teor	S real
Negativo en bordes interiores	corto	471	.525	.0328	.033	.0023	1.84	35	35
	largo	429	.478	.0298	.030	.0023	1.84	35	35
Negativo en bordes discontinuos	corto	277	.308	.0192	.020	.0023	1.84	35	35
	largo	236	.263	.0164	.018	.0023	1.84	35	35
Positivo	corto	259	.288	.0180	.019	.0023	1.84	35	35
	Largo	142	.158	.0098	.010	.0023	1.84	35	35

k = coeficiente de momentos para tableros rectangulares
(R.C.D.F.).

Mr = Momento resistente por unidad de ancho $Mr = k10^{-4}Wua_1^2$
(ton-m).

Q = $\frac{Mr}{bd^2f'c}$ coeficiente para el apéndice A (diseño por flexión)

ω = coeficiente incognita de la Ec. $Mr = bd^2f'c\omega(1-0.59\omega)$ el
cual se obtiene del apéndice A (gráfica de diseño por fle-
xión).

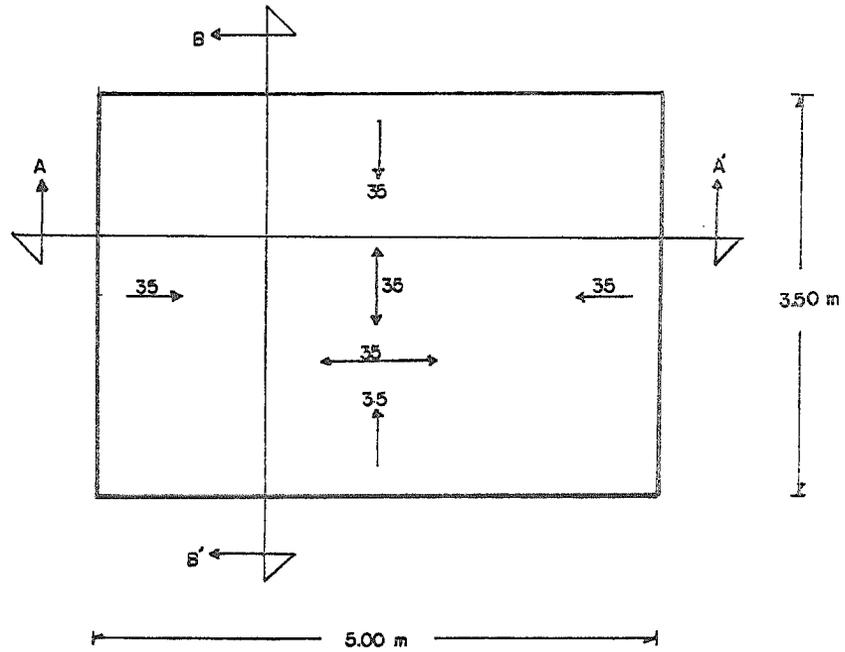
p = porcentaje de acero; $p = \omega \frac{f'c}{fy}$ el cual debe cumplir con
 $p_{mín} \leq p \leq p_{máx}$.

As = área de acero en 1 m de ancho; As = pbd en cm^2/m .

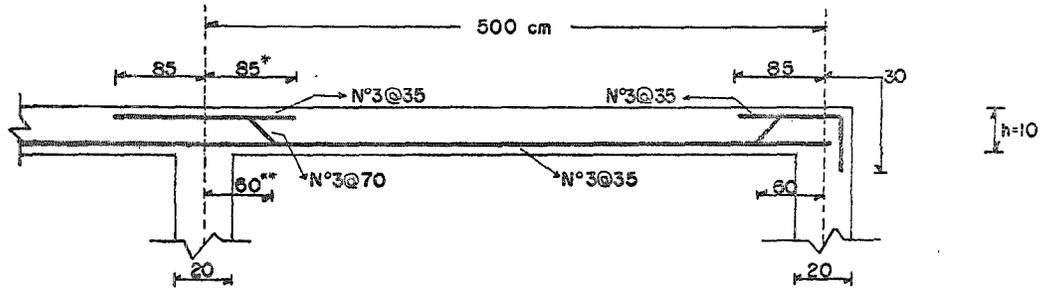
Steór. = separación teórica; $St = \frac{100as}{As}$ en donde as = área de una
varilla (No. 3 = $0.71 cm^2$); debe cumplir $St \leq S_{máx} = 3.5h$

Sreal = separación ajustada a una distancia modular para obtener
distribuciones regulares y armados sencillos que simplifi-
quen la construcción y supervisión.

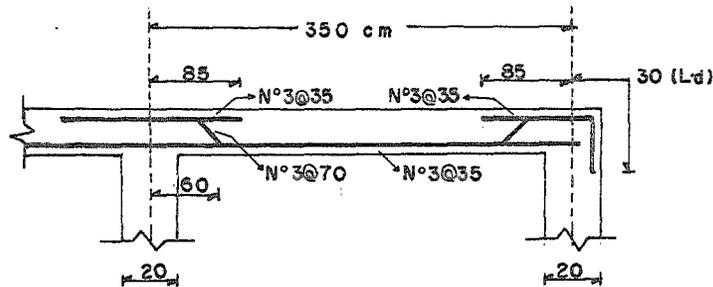
Según nuestras separaciones anteriormente calculadas tenemos:



CORTE A-A'



CORTE B-B'



* $\frac{20}{2} + \frac{d_1}{5} \cdot d = 88$ se usará 85 (M-)

** $\frac{20}{2} + \frac{d_1}{8} \cdot d = 60.3$ se usará 60 (M+)

ccof:cm

- VIGUETA Y BOVEDILLA

Siguiendo el procedimiento del cálculo descrito en el inciso 2.3 obtendremos la cuantía de materiales utilizando vigueta y bovedilla.

- Datos básicos:

$$f_{yp} = 17,000 \text{ kg/cm}^2 \text{ (acero de presfuerzo)}$$

$$f_y = 5,000 \text{ kg/cm}^2 \text{ (malla)}$$

$$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (firme de compresión)}$$

$$f'c = 400 \text{ kg/cm}^2 \text{ (concreto viguetas)}$$

$$w_{pp} = 14 \text{ kg/pza} \text{ (bovedilla).}$$

- Propiedades geométricas:

a) Sección simple

1.- Area = 111 cm^2

2.- Centroide $\bar{Y}_s = 8.44 \text{ cm}$

$$\bar{Y}_i = 5.56 \text{ cm}$$

3.- Momento de inercia $I = 1,927.3095 \text{ cm}^4$

b) Sección compuesta

1.- ancho efectivo $b_e = 53.0325 \text{ cm}$

2.- Area = 323.13 cm^2

3.- Centroide $\bar{Y}_s = 5.59 \text{ cm}$

$$\bar{Y}_i = 12.41 \text{ cm}$$

4.- Momento de inercia $I = 10,161.219 \text{ cm}^4$

- Determinación de las cargas actuantes:

a) Por peso propio

$$W_{\text{vigüeta}} = 0.0111 \text{ m}^2 \times 2,400 \text{ kg/m}^3 = 26.64 \text{ kg/m}$$

$$W_{\text{bov}} = \frac{14 \text{ kg}}{0.20 \text{ m}} = 70 \text{ kg/m}$$

$$W_{\text{firme}} = 0.04 \text{ m} \times 0.75 \text{ m} \times 2,400 \text{ kg/m}^3 = 72 \text{ kg/m}$$

de donde $W_{\text{pp}} = 168.64 \text{ kg/m}$

b) Por cargas de servicio

$$W_{\text{cv}} = 0.310 \text{ ton/m}^2$$

$$W_{\text{cserv}} = 310 \text{ kg/m}^2 \times 0.75 \text{ m} = 232.5 \text{ kg/m}$$

$$W_{\text{total}} = W_{\text{pp}} + W_{\text{cserv}} = 401.14 \text{ kg/m}$$

- Determinación de los Esfuerzos Permisibles.

a) Momentos (debido a cargas actuantes)

$$M_{pvig} = \frac{.2664 \text{ kg/cm} \times (350 \text{ cm})^2}{8} = 4,079.25 \text{ kg-cm}$$

$$M_{pp} = \frac{1.6864 \text{ kg/cm} \times (350 \text{ cm})^2}{8} = 25,823.00 \text{ kg-cm}$$

$$M_{serv} = \frac{2.325 \text{ kg/cm} \times (350 \text{ cm})^2}{8} = 35,601.562 \text{ kg-cm}$$

b) Cálculo de esfuerzos (debido a cargas actuantes)

1.- Para M_{pvig}

$$f_i = \frac{4,079.25}{1,927.31} \times 5.56 = - 11.768 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tensión)}$$

$$f_s = \frac{4,079.25}{1,927.31} \times 8.44 = 17.863 \text{ kg/cm}^2 \text{ (compresión)}$$

2.- Para M_{pp}

$$f_i = \frac{25,823.00}{1,927.31} \times 5.56 = - 74.495 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tensión)}$$

$$f_s = \frac{25,823.00}{1,927.31} \times 8.44 = 113.083 \text{ kg/cm}^2 \text{ (compresión)}$$

3.- Para Mcserv.

$$f_i = \frac{35,601.562}{10,161.219} \times 12.41 = - 43.480 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tensión)}$$

$$f_s = \frac{35,601.562}{10,161.219} \times 5.59 = 19.585 \text{ kg/cm}^2 \text{ (compresión)}$$

c) Cálculo de esfuerzos en el acero de presfuerzo

$$f_{inic} = 17,000 \times 0.75 = 12,750 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{inic} = 12,750 \times 0.32 = 4,080 \text{ kg}$$

$$f_{efec} = 12,750 \times 0.8 = 10,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{efec} = 10,200 \times 0.32 = 3,264 \text{ kg}$$

- Cálculo de Esfuerzos Permisibles en el Concreto de Elementos Presforzados. (Estados límite)

a) Después de la transferencia y antes de las pérdidas

$$\text{para compresión } 0.6f'_{ci} = 0.6 \times 0.8 \times 400 = 192 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{para tensión } 0.8\sqrt{f'_{ci}} = 0.8 \times \sqrt{320} = - 14.31 \text{ kg/cm}^2$$

$$1.6\sqrt{f'_{ci}} = 1.6 \times \sqrt{320} = - 28.62 \text{ kg/cm}^2$$

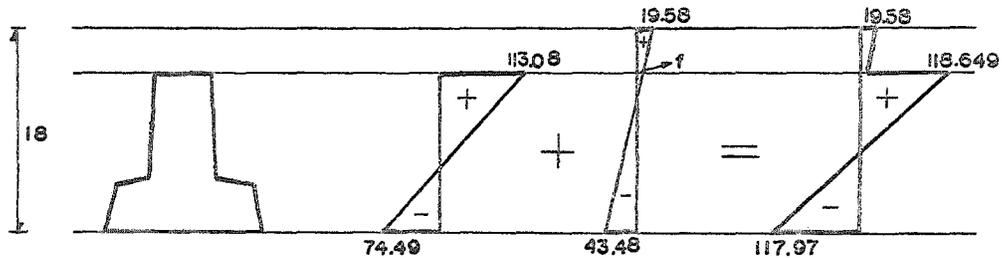
b) Después de las pérdidas y bajo cargas muerta y viva de servicio

para compresión $0.45 f'c = 0.45 \times 400 = 180 \text{ kg/cm}^2$

para tensión $3.2 \sqrt{f'c} = 3.2 \times \sqrt{400} = - 64 \text{ kg/cm}^2$

Con los esfuerzos que provocan las cargas actuantes (peso propio y de servicio) obtendremos el diagrama de esfuerzos para poder determinar los esfuerzos totales ($f_{c.m} + f_{c.serv}$).

- Diagrama de Esfuerzos Provocados por las Cargas Muerta y de Servicio



Secc simple + Secc compuesta

$$f = \frac{(5.59 - 4)19.58}{5.59} = 5.569$$

- Determinación de la Capacidad de la Sección

a) Al máximo presfuerzo

$$f_s = 0.8 \times 1.6 \sqrt{320} = - 22.897 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_i = 0.8 \times 0.6 \times 320 = 153.6 \text{ kg/cm}^2$$

se debe cumplir que:

$$192 \text{ kg/cm}^2 > 153.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$-28.62 \text{ kg/cm}^2 > -22.897 \text{ kg/cm}^2$$

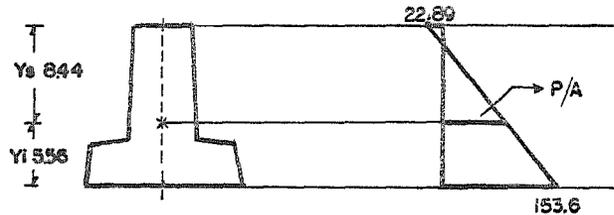
b) Cuando actúan todas las cargas (después pérdidas)

$$180 \text{ kg/cm}^2 > 19.58 \text{ kg/cm}^2$$

$$180 \text{ kg/cm}^2 > 118.64 - 22.897 = 95.75 \text{ kg/cm}^2$$

$$180 \text{ kg/cm}^2 > - 117.97 + 153.6 = 35.63 \text{ kg/cm}^2$$

- Determinación del Número de Tendones y su Colocación

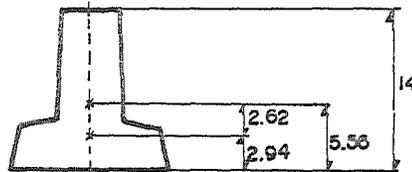


$$P = 111 \left[8.44 \left(\frac{153.6 + 22.89}{14} \right) - 22.89 \right] = 9,269.41 \text{ kgs}$$

$$n = \frac{9269.41}{3,264} = 2.83 \approx 3 \text{ tendones}$$

$$e = \frac{1,927.3095}{9,269.41 \times 5.56} \left(153.6 - \frac{9,269.41}{111} \right) = 2.6211$$

por lo que el centroide teórico será: $\bar{Y} = 5.56 - 2.62 = 2.94$



Por lo que la colocación de los tendones se propondrá tanto arriba como abajo de este centroide y será: 2 tendones a 2.5 cm de la base inferior y el tendón restante a 2.5 cm de los anteriores.

Por suma de momentos de acuerdo a ésta colocación propuesta obtenemos el centroide y la excentricidad real.

$$9,269.41 (x) = 6,179.6 (2.5) + 3,089.80 (5)$$

$$x = 3.33 \text{ cm (centroide real)}$$

$$e = 5.56 - 3.33 = 2.23 \text{ cm (excentricidad real)}$$

- Determinación de Esfuerzos Provocados por el presfuerzo con la Colocación Propuesta de los Tendones:

$$\text{Fuerza inicial } P_0 = 3 \times 4,080 = 12,240 \text{ kg}$$

$$\text{Fuerza efectiva } P = 3 \times 3,264.0 = 9,792 \text{ kg}$$

a) Esfuerzos antes de las pérdidas

$$f_s = \frac{12,240}{111} - \frac{12,240 \times 2.23}{1,927.30} \times 8.44 = - 9.26 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_i = \frac{12,240}{111} + \frac{12,240 \times 2.23}{1,927.30} \times 5.56 = 189.01 \text{ kg/cm}^2$$

b) Esfuerzos después de las pérdidas:

$$f_s = \frac{9.792}{111} - \frac{9.792 \times 2.23}{1,927.3} \times 8.44 = - 7.40 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_i = \frac{9.792}{111} + \frac{9.792 \times 2.23}{1,927.3} \times 5.56 = 151.21 \text{ kg/cm}^2$$

- Revisión por Esfuerzos Permisibles:

a) En el centro del claro por cargas de servicio

$$f_s = 118.64 - 7.40 = 111.24 \text{ kg/cm}^2 < 180.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_i = 117.97 + 151.21 = 33.24 \text{ kg/cm}^2 < - 64.00^*$$

*indica que el presfuerzo va a contrarrestar las fuerzas de tensión que ocasionan la carga muerta y de servicio.

b) En el extremo de la viga (antes pérdidas)

$$f_s = - 9.26 \text{ kg/cm}^2 < - 28.62 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_i = 189.01 \text{ kg/cm}^2 < 192.00 \text{ kg/cm}^2$$

c) En el centro del claro por peso propio (vigueta)

$$f_s = 17.86 - 7.40 = 10.46 \text{ kg/cm}^2 < 153.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_i = -11.768 + 151.21 = 139.44 \text{ kg/cm}^2 < 153.6 \text{ kg/cm}^2$$

- Revisión por Flechas

$$\text{por peso vig. } \Delta_1 = \frac{5}{384} \times \frac{.2664 (350)^4}{200,000 \times 1,927.3} = 0.135 \text{ cm}$$

$$\text{por peso bov. } \Delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{.70 (350)^4}{200,000 \times 1,927.3} = 0.354 \text{ cm}$$

$$\text{por peso firme } \Delta_3 = \frac{5}{384} \times \frac{.72 (350)^4}{200,000 \times 1,927.3} = 0.364 \text{ cm}$$

$$\text{por peso c. serv. } \Delta_4 = \frac{5}{384} \times \frac{2.325 (350)^4}{200,000 \times 19,267.21} = 0.223 \text{ cm}$$

$$\text{por lo que } \sum \Delta = 1.076 \text{ cm} \quad (\text{flecha total})$$

y la contraflecha debida al presfuerzo es:

$$\Delta(-) = \frac{9,792.0 \times 2.23 \times (350)^2}{8 \times 200,000 \times 1,927.3} = - 0.867$$

la flecha máxima permisible es:

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{350}{500} + 0.5 = 1.2 \text{ cm}$$

La flecha que se produce cuando se retira la vigueta de la mesa de presfuerzo será:

$$0.135 - 0.867 = - 0.732 \text{ cm}$$

la flecha que se produce bajo la acción de todas las cargas será:

$$1.076 - 0.867 = 0.209 < 1.2 \text{ cm} \quad \text{O.K.}$$

- Revisión por Resistencia.

$$f_p = 17,000 \left(1 - 0.5 \times \frac{0.32 \times 3}{75 \times 14.67} \times \frac{17,000}{400} \right)$$

$$f_p = 16,684.80 \text{ kg/cm}^2$$

como $C = T$

$$a = \frac{0.32 \times 3 \times 16,684.80}{0.85 \times 200 \times 75.0} = 1.256 \text{ cm} < 4.0 \text{ cm}$$

se cumple que $a < t$

$$M_r = 0.9 \times 0.32 \times 3 \times 16,684.80 (14.67 - 0.628)$$

$$M_r = 202,424.79 \text{ kg-cm}$$

por lo que F_s está dada por:

$$F_s = \frac{202,424.79}{25,823.0} = 3.295 > 1.4$$

se cumple $F_s > F_c$

- Determinación del Tipo de Falla.

Del diagrama de esfuerzos unitarios tenemos:

$$\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_{ps}}{d-c}$$

$$\epsilon_{ps} = \frac{0.003 (14.67 - 1.477)}{1.477} = 0.0267 \text{ (debido a flexión)}$$

Además la deformación inicial debido al tensado es:

$$\epsilon_{\text{inic}} = \frac{10,200}{2 \times 10^6} = .0051$$

De donde la deformación total es:

$$\epsilon_{\text{T}} = 0.0267 + 0.0051 = 0.0318$$

comparando: ϵ_{T} con $\epsilon_y = f_y/2 \times 10^6$

$$0.0318 > 0.0085$$

∴ el acero fluye por lo que la falla es dúctil y la sección subre
forzada.

- Dimensionamiento y Revisión per Cortante.

para $x = .15$ m

$$V = \frac{401.14 (3.50)}{2} - 401.14 (0.15) = 641.824 \text{ kg}$$

$$M = \frac{401.14 (3.50) (.15)}{2} - \frac{401.14 (0.15)^2}{2} = 100.786 \text{ kg-cm}$$

$$V_{cr} = 0.8 (5.4 \times 14.67 + 4^2) (0.2 + 30 \times .00087) \sqrt{320}$$

$$V_{cr} = 308.094 \text{ kg}$$

$$V_u = 641.824 (1.4) = 898.55 \text{ kg}$$

comparando V_{cr} con V_u tenemos:

$V_{cr} < V_u \implies$ requiere estribos

Separación de estribos:

$$S_i = \frac{0.8 \times 0.32 \times 2,500 \times 14.67}{898.55 - 308.094} = 15.90 \text{ cm}$$

$$\text{como } V_u < 1.5 F_{rbd} \sqrt{f'_c} = 1,700.51$$

$$S_{\text{máx}} = 0.75 (18) = 13.5 \text{ cm}$$

Se toma la menor de las dos separaciones anteriores por lo que:

$$S = 13.5 \text{ cm}$$

para $x = L/2 = 1.75$ m

$$V = \frac{401.14 (3.50)}{2} - 401.14 (1.75) = 0$$

$$M = \frac{401.14 (3.50)^2}{8} = 614.245 \text{ kg-m}$$

$$V_{cr} = 0.8 (5.4 \times 14.67 + 4^2) (0.15 \sqrt{320} + 50 \times \frac{0 \times 14.67}{614.245})$$

$$V_{cr} = 204.397$$

$$V_u = 0$$

para esta sección $V_{cr} > V_u \implies$ No requiere estribos

$$\text{por especificación } S = \frac{0.8 \times 0.32 \times 2,500}{3.5 (5.4)} = 33.86 \text{ cm}$$

la separación que se considerará es de $S = 30.0$ cm

para $x = 1.25$ y 2.25 m

$$V = \frac{401.14 (3.50)}{2} - 401.14 (1.25) = 200.57 \text{ kg}$$

$$M = \frac{401.14 (3.50) (1.25)}{2} - \frac{401.14 (1.25)^2}{2} = 564.10 \text{ kg-cm}$$

$$V_{cr} = 0.8 (5.4 \times 14.67 + 4^2) (0.15 \sqrt{320} + 50 \times \frac{200.57 \times 14.67}{564.10})$$

$$V_{cr} = 20,070.68 \text{ kg}$$

$$Vu = 200.57 \times 1.4 = 280.798 \text{ kg}$$

como $Vcr > Vu \implies$ No requiere estribos

separación igual a la anterior $S = 30.0 \text{ cm}$

para $x = .75$ y 2.75 m

$$V = \frac{401.14 (3.50)}{2} - 401.14 (.75) = 401.14 \text{ kg}$$

$$M = \frac{401.14 (3.50) (0.75)}{2} - \frac{401.14 (0.75)^2}{2} = 413.67 \text{ kg-m}$$

$$Vcr = 0.8 (5.4 \times 14.67 + 4^2) (0.15 \sqrt{320} + 50 \times \frac{401.14 \times 14.67}{413.67})$$

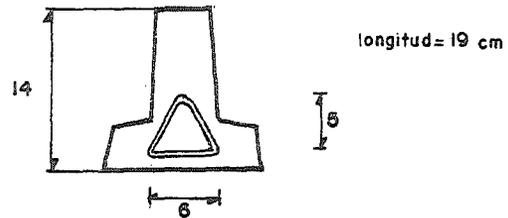
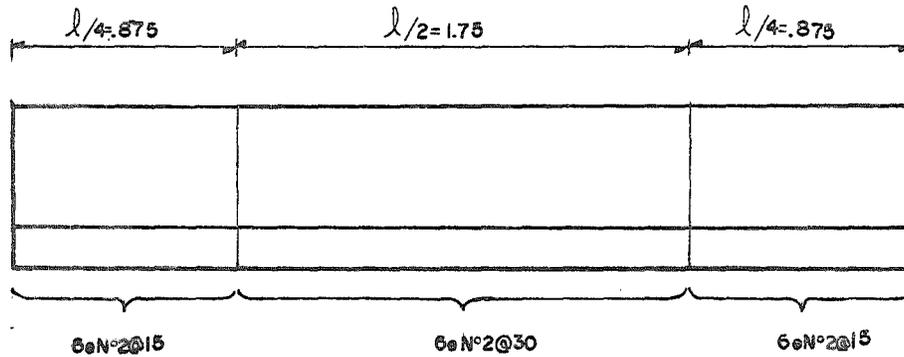
$$Vcr = 54,385.903 \text{ kg}$$

$$Vu = 401.14 \times 1.4 = 561.596 \text{ kg}$$

como $Vcr > Vu \implies$ No requiere estribos

separación igual a la anterior $S = 30.0 \text{ cm}$

Por lo anterior la separación de estribos a lo largo de la viga será la siguiente:



- Dimensionamiento y Revisión por Cortante Horizontal

$$FH = C = 1.256 \times 75 \times 0.85 \times 200 = 16,014.0 \text{ kgs}$$

$$v_h = \frac{16,014.0}{0.8 \times 5.4 \times 14.67} = 252.68 \text{ kg/cm}^2$$

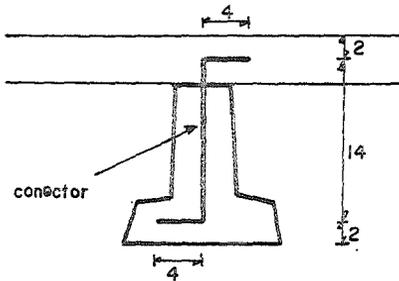
como $v_h > 25 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow$ Requiere conectores

$$A_{vc} = \frac{3}{2,500} \times 5.4 \times 350 = 2.268 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{2.268}{0.32} = 7.08 \approx 7 \text{ conectores}$$

$$\text{sep máx} = 6 (4) = 24 \text{ cm}$$

$$\text{sem mín} = 4 (4) = 16 \text{ cm}$$



acero para conectores $f_y = 2,500 \text{ kg/cm}^2$, No. 2

longitud = 22 cm

3.2.2. COSTOS DE CONSTRUCCION.

Concepto:

Losa maciza en estructura, peralte de 10 cm, incluye cimbrado y descimbrado. 70 kg de acero de refuerzo $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ por m^3 de concreto y concreto $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, R.N., agregado máximo $3/4"$.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Cimbra aparente en losa de entrepiso (2.30 m) con triplay 16 mm de 1.22 x 2.44. Incluye descimbrado.	m^2	1	3,301.36	3,301.36
Habilitado y armado de acero de refuerzo en estructura $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$, No. 3	kg	7	225.80	1,580.6
Concreto premezclado, R.N. vaciado con bomba $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ agreg. máx $3/4"$ en trabes y losas. Incluye vibrado y curado.	m^3	0.1	31,142.98	3,114.29
Acabado 9aplanado) de yeso en losa de entrepiso a reventón hasta 3m de altura.	m^2	1	656.90	656.90
			C.D.	$\frac{8,653.15}{\text{m}^2}$

Concepto:

Acero de refuerzo $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ del No. 3, incluye habilitado y armado.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Varilla No. 3	kg	1.06	133.60	141.61
Alambre rec.	kg	0.03	210.28	6.30
			suma:	<u>147.91/kg</u>
MANO DE OERA				
Oficial fierrero	turno	0.01	3,797.98	37.97
Ayudante fierrero	turno	0.01	3,079.31	30.79
Cabo	%	10	68.76	6.87
			suma:	<u>75.63/kg</u>
MAQ. Y EQUIPO				
Herramienta	%	3	75.63	2.26
			suma:	<u>2.26/kg</u>
			C.D.	<u>225.80/kg</u>

Concepto:

Cimbra en losa de entrepiso (2.30 m) con triplay 16 mm de 1.22 x 2.44 m. Incluye descimbrado.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Triplay pino 16 mm	m ²	0.34	3,700.00	1,258.00
Clavo de 2 1/2"	kg	0.10	217.11	21.71
Madero pino de 3 ^a	P.T.	4.80	252.00	1,209.60
Diesel (desmoldante)	lt	1.00	65.00	65.00
			suma:	<u>2,554.31/m²</u>
MANO DE OERA				
Cimbrado				
Oficial carpintero	turno	0.125	2,504.97	313.12
Ayudante carpintero	turno	0.125	1,950.20	243.79
Cabo	%	10	556.91	55.69
Descimbrado				
Oficial carpintero	turno	0.023	2,504.97	57.61
Ayudante carpintero	turno	0.023	1,950.20	44.85
Cabo	%	10	102.46	10.24
			suma:	<u>725.37/m²</u>

MAQ. Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Herrramienta	%	3	725.3	21.75
			suma:	$\frac{21.75}{m^2}$
				$\frac{3,301.36}{m^2}$

Concepto:

Concreto premezclado. R.N. vaciado con bomba f'c = 200 kg/cm²
 Agregado máximo 3/4" en trabes y losas incluye vibrado y curado.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Concreto premezclado f'c=200 kg/cm ² . R.N. Agreg. máx 3/4" (1+5%)	m ³	1.05	22,700.00	23,834.98
Sobreprecio por reve- nimiento de 14 cm.	m ³	1.05	1,000.00	1,050.00
Bombeo de concreto hasta 15 m de altura.	m ³	1.05	2,950.00	3,097.49
			suma:	<u>27,982.47/m³</u>
MANO DE OBRA				
Colado y vibrado Peón (5)	turno	.04545	13,917.85	632.56
Oficial albañilería	turno	.04545	3,943.67	179.23
Cabo	%	10	811.79	81.17
Maestro	%	20	892.96	178.59
Curado Peón	turno	.4662	2,783.57	1,297.70
Cabo	%	10	1,297.70	129.77
			suma:	<u>2,499.02/m³</u>

MAQ: Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Herramienta menor	%	3	2,499.02	74.97
Vibrador para concreto 8 H.P. motor gasolina.	Hr	0.36364	1,612.93	586.52
			suma:	<u>661.49/m³</u>
			C.D.	31,142.98/m ³

Concepto:

Acabado (aplanado) de yeso en losa de entrepiso a reventón,
hasta 3 m. de altura.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Mortero (yeso-agua)	m ³	0.026	11,355.62	295.24
Cemento	kg	0.30	34.7	10.41
Andamios de caballete .30 m de ancho x 2.5 m de largo x .75 m de al- tura.	lote	.04545	180.16	8.18
			suma:	<u>313.83/m²</u>
MANO DE OBRA				
Yesero	turno	0.045	3,650.00	164.25
Ayudante yesero	turno	0.045	3,079.00	138.55
Cabe	%	10	302.80	30.28
			suma:	<u>333.08/m²</u>
MAQ. Y EQUIPO				
Herramienta	%	3	333.08	9.99
			suma:	<u>9.99/m²</u>
			C. D.	<u>656.90/m²</u>

Concepto:

Losa autosustentable a base de viguetas y bovedillas. 18 cm peralte total. Incluye apuntalamiento, malla electrosoldada 6-6/10-10 en capa de compresión y concreto f'c = 200 kg/cm² R.N. agregado máximo 3/4", para claros hasta 4 m.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Madera de pino de 3ª para nivelación en claros mayores o iguales a 3.5m				
4"x4"x8.25' (4.045+10%/16u)	P.T	0.27812	250.00	69.52
2"x4"x8.25' (0.25+10%/8u)	P.T	0.03438	253.00	8.69
1"x4"x8.25' (0.125+10%/4u)	P.T	0.03438	252.00	8.66
Clavo 2 1/2" (0.012kg+7%)	kg	0.01284	217.11	2.78
Vigueta 14 cm de peralte para un claro máximo de 4 m (1.28 + 3%)	m	1.3196	1,540.00	2,032.18
Bovedilla de 70 cm x 20cm x 14 cm de peralte (7.5+7%)	pza	8.025	179.00	1,436.47
Habilitado y armado de malla electrosoldada 6-6/10-10 en pisos	m ²	1.0	412.72	412.72
Mano de obra: colocación viguetas y bovedillas (1 of y 4 peones)	turno	0.025	17,500.01	437.50

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	CGSTO	IMPORTE
Concreto premezclado R.N vaciado con bomba f'c = 200 kg/cm ² agregado máx- 3/4" en trabes y losas. Incluye vibrado y curado.	m ³	0.050	31,142.98	1,557.14
Acabado (aplanado) de ye so en losa de entrepiso a reventón hasta 3 m de altura	m ²	1	656.90 C.D.	656.90 <u>6,622.56/m²</u>

Concepto:

Habilitado y armado de malla electrosoldada 6-6/10-10 en pisos.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Malla electrosoldada 6-6/10-10	m ²	1.05	262.09	275.19
Alambre recocido No.16	kg	0.107	210.28	22.49
			suma:	<u>297.68/m²</u>
MANO DE OBRA				
Ayudante "B" (2)	turno	.0102	6,158.62	62.81
Fierrrero	turno	.0102	3,797.92	38.73
Cabo de oficiales	%	10	101.54	10.15
			suma:	<u>111.69/m²</u>
MAQ. Y EQUIPO				
Herramienta menor	%	3	111.69	3.35
			suma:	<u>3.35/m²</u>
			C.D.	<u>412.72/m²</u>

Concepto:

Fabricación vigueta presforzada, 14 cm de peralte, f'c = 400 kg/cm². Acero de presfuerzo fy = 17,000 kg/cm² No. 2.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Habilitado y armado de acero de presfuerzo fy= 17,000 kg/cm ² del No.2	kg	0.744	250.00	186.00
Habilitado y armado de acero fy = 2,500 kg/cm ² del No. 2 para:				
conectores	kg	.10912	200.19	21.84
estribos	kg	.8481	200.19	169.79
Concreto premezclado R.N. vaciado con bomba. f'c 400 kg/cm ² agreg. máx 1/2". Incluye vibrado y colado	m ³	.0111	38,000.00	421.80
MANO DE OBRA			suma:	<u>799.43/m</u>
Supervisor control calidad	turno	.003	3,500.00	10.5
MAQ. Y EQUIPO			suma:	<u>10.5</u>
Uso de moldes, gatos hidráulicos de tensado, mesas de tensado. Inst. en gral. y traslado de la planta a la obra	hora	0.03	24,335.51	730.06
			suma:	<u>730.06</u>
			C.D.	<u>1,540.00/m</u>

Concepto:

Concreto premezclado R.N. vaciado con bomba f'c = 400 kg/cm²
 Agregado máximo 1/2" en trabes y losas incluye vibrado y curado.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Concreto premezclado f'c = 400 kg/cm ² R.N. Agreg. máx 1/2" (1+5%)	m ³	1.05	29,230.47	30,692.00
Sobreprecio por reveni miento de 14 cm.	m ³	1.05	1,000.00	1,050.00
Bombeo de concreto has ta 15 m de altura	m ³	1.05	2,950.00	3,097.49
			suma:	34,839.49/m ³
MANO DE OBRA				
Colado y vibrado Peón (5)	turno	.04545	13,917.85	632.56
Oficial albañilería	turno	.04545	3,943.67	179.23
Cabo	%	10	811.79	81.17
Maestro	%	20	892.96	178.59
Curado Peón	turno	.4662	2,783.57	1,297.70
Cabo	%	10	1,297.70	129.77
			suma:	2,499.02/m ³

MAQ. Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
Herramienta menor	%	3	2,499.02	74.97
Vibrador para concreto 8 H.P. motor de gasoli na	hora	0.36364	1,612.93	586.52
			suma:	$\frac{661.49}{m^3}$
			C.D.	$38,000.00/m^3$

3.3 COMPARACION CON LOS METODOS DE LOSA MAS USUALES EN LA CONS -
TRUCCION DE VIVIENDAS (costo-tiempo)

Ahora contamos con los suficientes elementos para poder ha -
cer una comparación costo-tiempo.

LOSA MACIZA (17.5 m²)

- Costo directo de producción: 8,484.83/m²

- De los rendimientos que utilizamos en los análisis de precios u
nitarios podemos determinar los tiempos requeridos para la cons -
trucción del tablero propuesto.

CONCEPTO	RENDIMIENTO	TIEMPO (días)
Cimbrado	8 m ³ /día	2.18
Habilitado y armado de ace- ro fy = 4,200	100 kg/día	0.7
Bombeo concreto	22 m ³ /día	0.07
Espera de fraguado para deg cimbrar		15.0
Descimbrado	43.5 m ² /día	0.40
Aplanado	22.2 m ² /día	0.78
	días	<u>19.13</u>

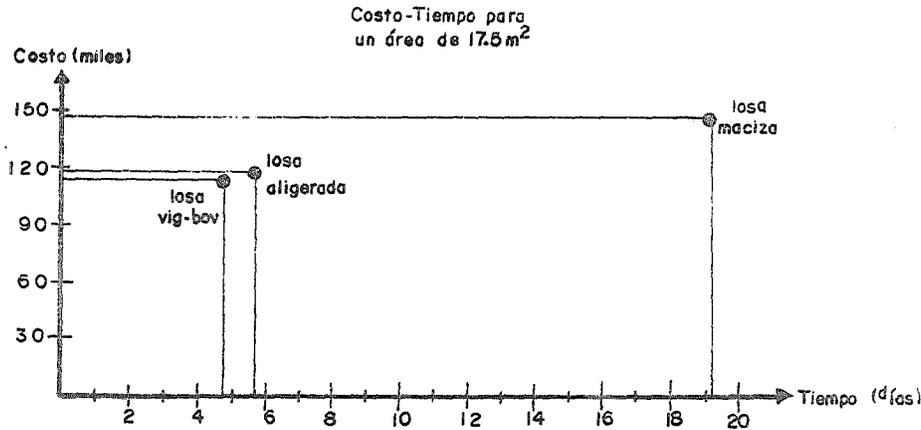
LOSA A BASE DE VIGUETAS Y BOVEDILLAS (17.5 m²).

- Costo directo de producción: \$ 6,655.50/m²

- De los rendimientos que utilizamos en los análisis de precios unitarios podemos determinar los tiempos requeridos para la construcción del tablero propuesto:

CONCEPTO	RENDIMIENTO	TIEMPO (días)
Colocación de madrinas para nivelación	80 m ² /día	0.21
Colocación viguetas y bovedillas	40 m ² /día	0.43
Habilitado y amarre de malla electrosoldada	98 m ² /día	0.17
Bombeo concreto	22 m ³ /día	0.03
Espera de fraguado para descimbrar		3.0
Descimbrado	100 m ² /día	0.17
Aplanado	22.2 m ² /día	0.78
	días	<u>4.79</u>

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de precios para una losa maciza y una de viguetas y bovedillas, y en base a un muestreo de precios con los fabricantes para la losa aligerada y placa presforzada, podemos llegar a la comparación de costos y tiempos de construcción que es el objetivo de este trabajo, tomando en cuenta siempre, que existe una infraestructura establecida, como plantas de prefabricado, caminos de acceso, medios de transporte, existencia local de todos los materiales, etc. que determinaron estos resultados.



CONCLUSIONES:

Como resultado del constante incremento demográfico, el país afronta una serie de problemas, ciertamente todos prioritarios, pero el que toma relevante importancia para la Ingeniería, es el de satisfacer la demanda habitacional.

Este déficit de vivienda unicamente se puede abatir, disminuyendo su costo, este ahorro se puede dar tanto en el uso de otras alternativas en los materiales como en los sistemas constructivos, para que de esta forma se puedan construir un mayor número de ellas.

La prefabricación puede y debe ayudar a optimizar la edificación en general y la vivienda de interés social en particular, pero no es una panacea. Esta debe usarse solo bajo ciertas condiciones específicas que justifiquen su opción.

El avance de la prefabricación en cada país es congruente con el grado de industrialización del mismo. En México se ha logrado bastante al respecto; en la prefabricación de obra gruesa se cuen-

ta con sistemas como el "cortina", patente mexicana con realizaciones exitosas aquí y en el extranjero. La prefabricación en México debe ir venciendo obstáculos reales que le presenta el uso de los procedimientos tradicionales, tales como la "inercia de los constructores", la bondad de los materiales tradicionales y locales, y lo todavía relativamente barato de la mano de obra.

Es también necesario que el gobierno garantice la preparación y ejecución de programas nacionales a largo plazo para movilizar y capacitar la mano de obra que necesita la industria de la construcción como la de los materiales y la de equipo correspondientes y cuidar que dichos programas incluyan la formación de una fuerza de trabajo especializada.

Se deberá vigilar la definición de estándares mínimos a fin de racionalizar la vivienda, fomentar como consecuencia el uso repetitivo de elementos y finalmente la industrialización de los mismos a fin de aprovechar los avances tecnológicos y las economías de escala en beneficio de los programas habitacionales y de desa -

rrollo urbano. Esto permitirá un fomento en la competencia no solo con respecto a precios, sino a la calidad del trabajo con el consiguiente beneficio.

Los sistemas de piso representan unicamente un cierto porcentaje del costo total de una vivienda, que pos si solo puede resultar pequeño, pero si se trata de un volumen de obra considerable, puede traducirse en un ahorro significativo.

Por lo anterior considero conveniente aportar parte de mis conocimientos en el análisis del sistema de losa vigueta y bovedilla para construir casas de interés social, por considerar que es en este concepto de obra donde se utilizan el mayor número de variables, como son: Mano de obra, materiales y tiempo; lo que puede (con esta alternativa) coadyuvar a la satisfacción de la demanda de viviendas de interés social que tanto se ha mencionado.

Dentro de las principales ventajas que presenta una losa a base de viguetas y bovedillas, vimos que es el presfuerzo, punto muy importante que se debería hacer más incapié en mencionar sus pro -

piedades desde la escuela misma, ya que la mayoría de la gente ignora aún los beneficios que puede traer consigo ésta técnica; por otra parte, el número de viviendas construidas con este sistema, no ha sido suficientemente grande para apreciar con claridad la disminución de los costos por unidad habitacional construida.

Otro punto importante es la economía que se logra en cimbra y obra falsa, si consideramos que la mayor parte de la cimbra que se utiliza en la construcción de un vivienda se usa en las losas tradicionales, ya que representa el 38% del costo unitario, contra el 1.5% que representa el uso de madrinas para nivelación de viguetas.

Ahora bien la prefabricación ofrece aún mayores ventajas si se le asocia con el presfuerzo, ya que en terminos generales se logra una reducción en los materiales y por lo tanto en el peso de la estructura misma. Después de haber analizado los efectos del presfuerzo, podemos ver que ofrece múltiples ventajas con respecto al concreto reforzado, ya que mejora el comportamiento general del elemento; nos permite utilizar materiales de alta resistencia, con

trolar los esfuerzos de compresión y de tensión, reducir o eliminar las grietas en el concreto, reducir la tensión diagonal, las deflexiones y la carga muerta, lo que se traduce en una mayor capacidad de la resistencia de la vigueta, con una aceptable adaptación a proyectos arquitectónicos.

Como objetivo principal de este trabajo está el mostrar las ventajas que presenta el uso del sistema vigueta y bovedilla con otros posibles sistemas utilizados para la construcción de sistemas de piso, particularmente con el tradicional, estas ventajas son tanto en costo como en tiempo de construcción, que como podemos observar de una forma más objetiva en la última gráfica (costo-tiempo) el tiempo de ejecución con el sistema prefabricado de vigueta y bovedilla es sólo el 25.03% del tiempo requerido para una losa tradicional.

Y en lo referente a costo hay una diferencia de 21% con respecto a una losa tradicional. En referencia a otros sistemas prefabricados, vemos que el tiempo requerido de construcción es muy

semejante y en precio el sistema vigueta y bovedilla es más bajo ya con los otros sistemas utilizan mayor cantidad de acero de pres fuerte, así como mayor volumen de concreto.

Finalmente, como parte de mi aportación para tratar de satisfacer esta demanda habitacional, propongo la distribución de áreas de una Planta de Producción para la Prefabricación de Viguetas y Bovedillas, las dimensiones pueden variar de acuerdo a las necesidades de producción, pero, recomiendo seguir la distribución indicada de áreas de las diferentes etapas de fabricación, para poder optimizar el proceso.

ANEXO: DISTRIBUCION DE AREAS DE UNA PLANTA PARA LA PREFABRICACION
DE VIGUETAS Y BOVEDILLAS.

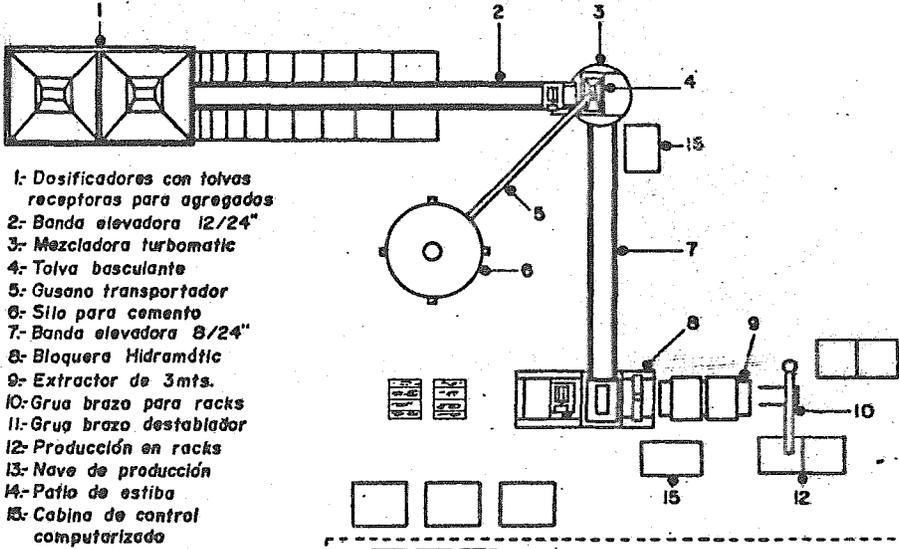
La rapidez de ejecución es una ventaja muy importante que debemos considerar al hablar de la prefabricación. De este modo y teniendo un volumen de obra considerable en que se justifique la inversión que implica una planta para la prefabricación de viguetas y bovedillas, se puede terminar un conjunto habitacional meses antes que si se hubiese colado totalmente en sitio. Esta reducción de tiempos supone una disminución en los gastos de administración y supervisión, y en los intereses sobre el capital, punto muy importante este último si consideramos las altas tasas de interés actuales.

Ahora bien, esa inversión inicial que puede llegar a constituir una desventaja de la prefabricación, se irá amortizando rápidamente al estar hablando de un programa que contemple un alto número de viviendas; además el alto grado de estandarización que se busca, permitiría que el costo de proyecto (que resulta mayor que

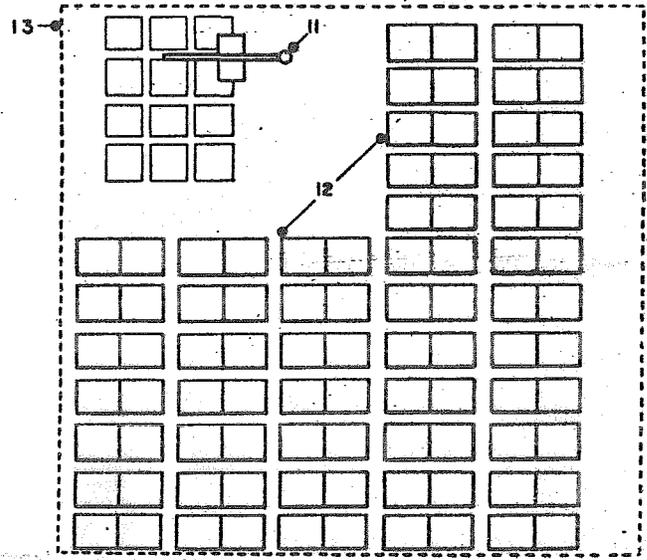
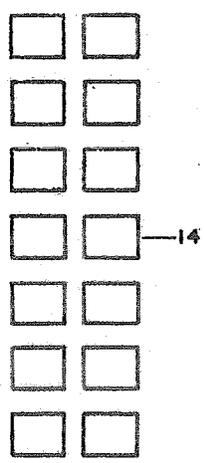
aquél que considera unicamente losas coladas en sitio) se redujera.

El impulso o incentivos que el Gobierno Mexicano les pueda ofrecer a las compañías prefabricadoras es fundamental, ya que de ese modo nuestro país ira logrando un alto grado de industrialización en la construcción; esto traería consigo, por otra parte, una disminución en el costo del transporte, ya que se tendría un mayor número de plantas y por consiguiente las distancias serían menores.

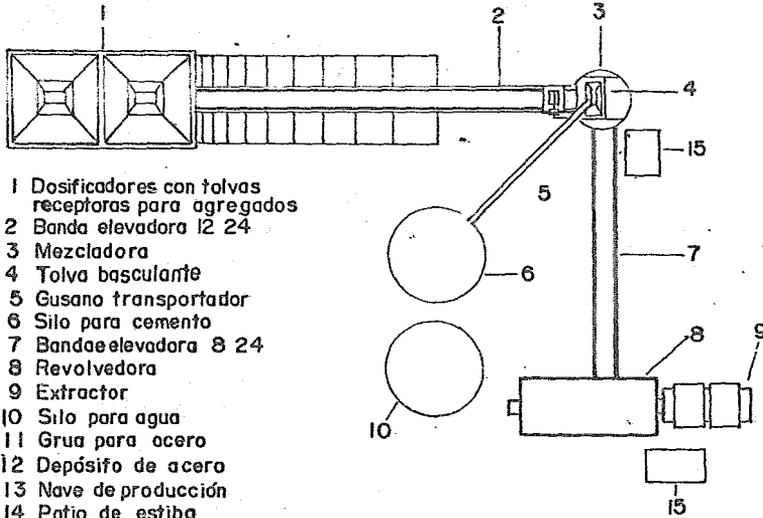
-Sección Bovedillas



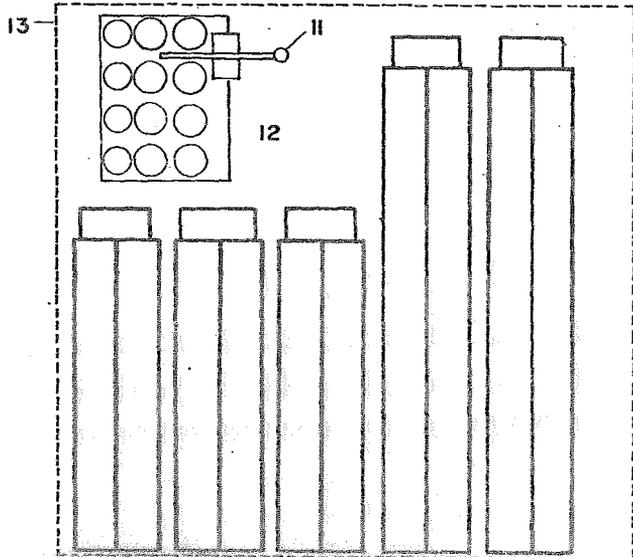
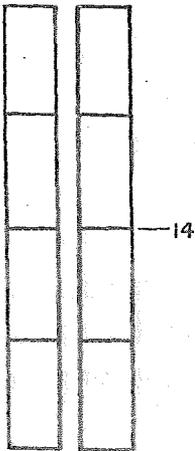
- 1- Dosificadores con tolvas receptoras para agregados
- 2- Banda elevadora 12/24"
- 3- Mezcladora turbomatic
- 4- Tolva basculante
- 5- Gusano transportador
- 6- Silo para cemento
- 7- Banda elevadora 8/24"
- 8- Bloquera Hidramdtic
- 9- Extractor de 3mts.
- 10- Grúa brazo para racks
- 11- Grúa brazo destabiador
- 12- Producción en racks
- 13- Nave de producción
- 14- Patio de estiba
- 15- Cabina de control computerizado



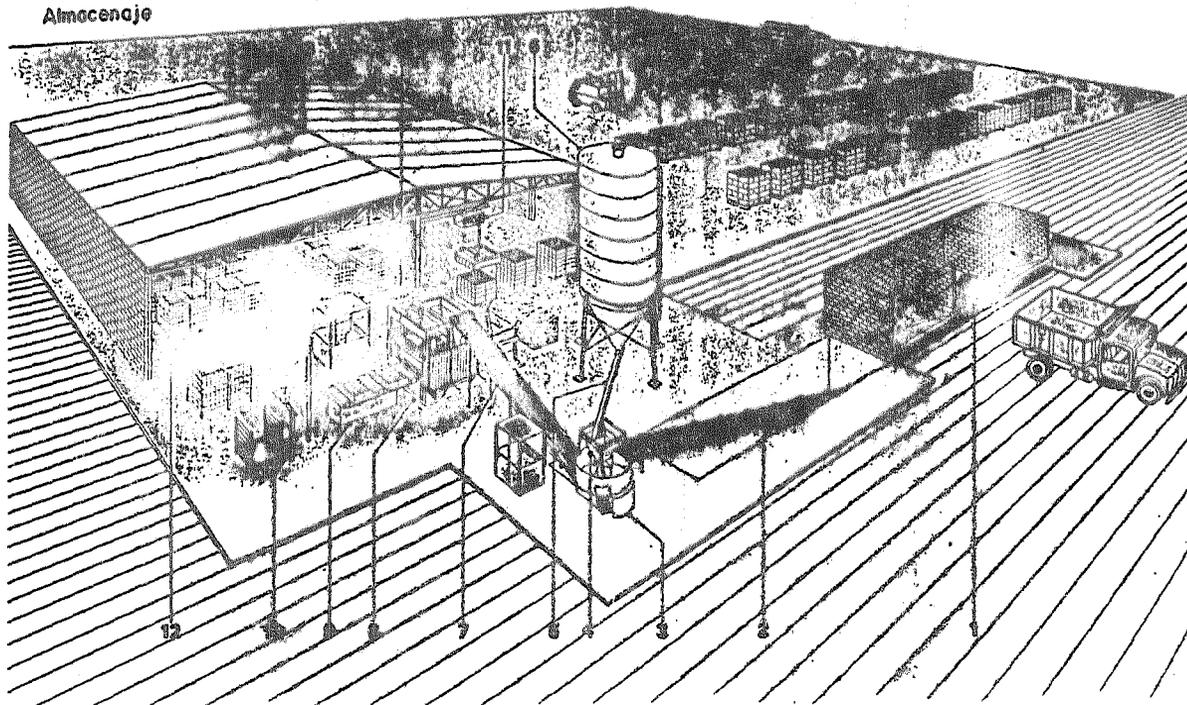
-Sección Viguetas



- 1 Dosificadores con tolvas receptoras para agregados
- 2 Banda elevadora 12 24
- 3 Mezcladora
- 4 Tolva basculante
- 5 Gusano transportador
- 6 Silo para cemento
- 7 Banda elevadora 8 24
- 8 Revolvedora
- 9 Extractor
- 10 Silo para agua
- 11 Grúa para acero
- 12 Depósito de acero
- 13 Nave de producción
- 14 Patio de estiba
- 15 Cabina de control



Almacenaje



-BIBLIOGRAFIAS

"El Problema Habitacional" -El Perfil de México en 1980 -; Puente Leyva J.; Instituto de Investigaciones Sociales de la U.N.A.M.; 2a. Edición; México, D.F.; Siglo XXI Editores; 1981. (Ref. 1)

"Rentabilidad de la Vivienda de Bajos Ingresos"; Juan Bazant S.; 1ra. Edición; México; Editorial Diana; 1979; 339 p.p. (Ref. 2)

"Aspectos Fundamentales de Concreto Reforzado"; O. González Cuevas, Fco. Robles; 8a. Edición; México; Editorial Limusa; 1983; 411 p.p. (Ref. 3)

"Diseño y Cálculo de Estructuras Pretensadas"; Dr. Ing. Johannes Jahnson; 1a. Edición; España; Editorial Marcombo; 1975; 582 p.p. (Ref. 4)

"Diseño y Construcción de Estructura de Concreto" -Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal -; Instituto de Ingeniería, Publicación 401; Universidad Nacional Autónoma de México; 1a. Edición; México; 1977; 307 p.p. (Ref. 5)

"Apuntes del Curso de Concreto Presforzado"; División de Educación Continua de la Universidad Nacional Autónoma de México; 1a. Edición; México; 1978. (Ref. 6)

"Aplicaciones de la Estática"; Antonio Murrieta Necoecher, Ramón Bacelis E.; 2a. Edición; México; Editorial Limusa; 1978; 509 p.p. (Ref. 7)

"Recomendaciones para Diseñar y Construir Entrepisos con Sistemas de Viguetas y Bovedillas"; Instituto de Ingeniería, Publicación 366; Universidad Nacional Autónoma de México; 1a. Edición; México 1976; 11 p.p. (Ref. 8)

"Costo y Tiempo en la Edificación"; Suárez Salazar; 5a. Edición; México; Editorial Limusa; 1983; 451 p.p. (Ref. 9)