

ESTUDIO DE UNA PLANTA DE CONCRETO PRETENSADO Y SUS PRODUCTOS

Tesis de Grado

Eddy Bravo J.

Universidad de Costa Rica 1958

Sean estas palabras de sincero agradecimiento a mis padres y a todas aquellas personas que, con su esfuerzo, cariño o ciencia, contribuyeron a mi profesión.

Agradezco la colaboración de mi profesor guía Ing. Fernando Aragón R., a mi compañero de trabajo Ing. Franz Sauter F. y a todas aquellas personas que en una u otra forma aportaron su valiosa ayuda en este trabajo.

TRIBUNAL EXAMINADOR

ING. ALFONSO PERALTA E.

ING. FERNANDO ARAGON R.

ING. EDMUNDO KIKUT L .

ING. MIGUEL A. HERRERO L.

PROGRAMA

INTRODUCCION

Capítulo I- CONCRETO PRE-ESFORZADO

Teoría.

Pretensado y postensado

Ventajas del concreto pretensado sobre el concreto armado convencionalmente.

Capítulo II- MATERIALES USADOS.

Calidad de los materiales

Manufactura de los alambres.

Especificaciones para alambres y torones.

Concreto.

Manufactura de concretos para pretensado con agregados ligeros.

Especificaciones para el concreto pretensado.

Capítulo III- IDEAS FUNDAMENTALES SOBRE UNA PLANTA DE CONCRETO PRETENSADO.

Funcionamiento.

Construcción.

Capítulo IV- ESTUDIO SOBRE LOS IMPLEMENTOS USADOS.

Moldes

Gatos

Camas de tensado.

Capítulo V- SISTEMAS DE CURADO.

Curado por vapor.

Curado por agua caliente

Curado por aceite caliente.

Capítulo VI- TIPOS DE VIGAS PRETENSADAS.

Capítulo VII- DURMIENTES.

Capítulo VIII-TRANSPORTE DE ELEMENTOS PRETENSADOS.

Capítulo IX- COLOCACION DE ELEMENTOS PRETENSADOS EN EL SITIO.

Instalación de entrepisos y techos con vigas T invertidas.

Instalación de entrepisos y te-

chos con vigas I.

Instalación de cubiertas con vigas doble T.

Instalación de cubiertas con vigas de canal.

Instalación de vigas principales para edificios.

Instalación de vigas para puentes.

Capítulo X- PROYECTO DE UNA FABRICA DE CONCRETO PRETENSADO EN COSTA RICA.

Situación.

Ubicación de la planta en el terreno.

Planificación de galerón y lechos de tensado.

Construcción de anclajes y pisos.

Moldes para postes.

Moldes para vigas.

Equipo usado.

Operación de la planta.

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION

Industrializar un país es contribuir a su mejor desarrollo y al bienestar de sus habitantes al obtener servicios, mercancías, materiales, etc. de mejor calidad y en cantidades mayores a precio accesible.

La Industria del concreto pretensado representa en el desarrollo de nuestro país grandes ventajas: diseños económicos de grandes vigas para puentes, losas para pisos y techos, postes para instalaciones eléctricas, durmientes indispensables para la reconstrucción y conservación de vías férreas, pilotes, tubos de presión para obras hidráulicas, y otros productos derivados.

Dos son las fuerzas principales que rigen una industria: 1) la habilidad de obtener un producto de mejor calidad y 2) que este sea a un precio menor que compita en el mercado con otros de la misma especie. Debido a estos dos factores, el concreto preten-

sado es cada día más usado en la construcción moderna.

Las llaves fundamentales para que la industria haya alcanzado éstas ventajas en costo y calidad, han sido el prefabricado y el pretensado. El primero brinda una producción en masa bajo el control cuidadoso de una planta central manufacturera. El pretensado es una concepción enteramente nueva en el diseño del concreto, con el cual se obtienen grandes luces y secciones livianas, con una gran habilidad de tomar grandes sobrecargas y luego recobrase sin ningún daño estructural.

En países más industrializados que el nuestro, la tendencia a prefabricar y pretensar se ha extendido a casi todas las ramas de la construcción. Ha sido usado en puentes, edificios comerciales, escuelas, aeropuertos, construcciones industriales y en residencias cuando estas se producen en masa.

I) CONCRETO PRE-ESFORZADO.

TEORIA.

La teoría del concreto pre-esforzado prevee la eliminación de esfuerzos de tensión indeseables en las estructuras, induciendo en la misma fatigas artificiales, las cuales están directamente opuestas a aquellas a que está sujeta la estructura cuando está cargada.

Esto se consigue en el concreto pre-esforzado por medio de alambres de acero, que se tensan a algún valor predeterminado, transmitiendo luego al miembro esfuerzos de compresión.

Para una explicación sencilla del sistema, podemos considerar una viga rectangular tensada con un cable colocado excéntricamente con respecto al centroide de la sección de concreto como se puede ver en la Fig. 1. A causa de la excentricidad, el concreto está sujeto a un momento así como también a una carga directa.

El momento es Fxe , y el esfuerzo debido a este momento es:

$$f = \frac{F e y}{I}$$

Donde "F" es la fuerza de tensión, "e" es la excentricidad, "y" es la distancia de la fibra en consideración al eje centroidal, e "I" es el momento de inercia de la sección.

El esfuerzo en razón de la carga directa será: $f = \frac{F}{A}$, donde "A" es el área de la sección. Si "M" es el momento externo de la sección debido a las cargas vivas y su peso propio, el esfuerzo en cualquier punto a través de la sección será:

$$f = \frac{M y}{I}$$

Por lo tanto, el esfuerzo resultante debido a las fuerzas de pretensión y las cargas exteriores está dado por: $f = \frac{F}{A} + \frac{F e y}{I} + \frac{M y}{I}$.
PRETENSADO Y POSTENSADO.

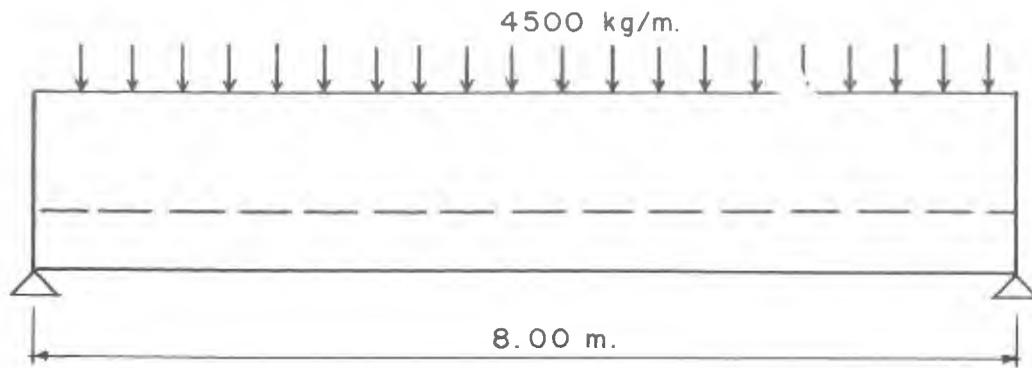
Daré a continuación una explicación sencilla de la diferencia entre los sistemas, así como también las ventajas de uno y otro.

El pretensado consiste en tensar los alambres entre dos anclajes o bastiones antes de vaciar el concreto. Una vez que el concreto ha endurecido se sueltan los alambres y se transmiten los esfuerzos de compresión al miembro por medio de adherencia.

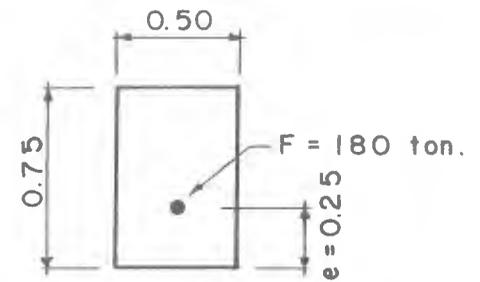
En el postensado, los cables se colocan en ductos formados por vainas de metal para evitar la adherencia con el concreto. Una vez que el concreto ha obtenido su resistencia óptima se tensan los cables, obteniéndose el anclaje en los extremos por medio de dispositivos especiales, tales como cuñas, tuercas, placas, etc. Una vez tensado se inyecta una lechada de cemento a través de los ductos para lograr la protección de los alambres contra la corrosión y la adherencia entre el acero y el concreto, siendo además la adherencia un factor importante en el momento de ruptura de la viga.

En la práctica más corriente del concreto pretensado los cables se colocan en línea recta y no en forma curva como sucede en el postensado. Como resultado de esto, la excentricidad máxima no se puede aprovechar en el pretensado y la fuerza necesaria para pre-esforzar un miembro determinado es de un 10 a 15% más elevada que la que se requiere con elementos curvos. Cuando se logra obtener una óptima excentricidad, es posible resistir mayores cargas con elementos tensores curvos que con elementos rectos. Esto ocurre porque los cables rectos originan a causa de su excentricidad, un momento flector en los extremos que debe resistir el propio miembro, mientras que los cables parabólicos se fijan en el tercio medio de la sección de la viga, sin transmitir momentos flectores al hormigón.

Es por la razón antes dicha, que se ha



ELEVACION



SECCION

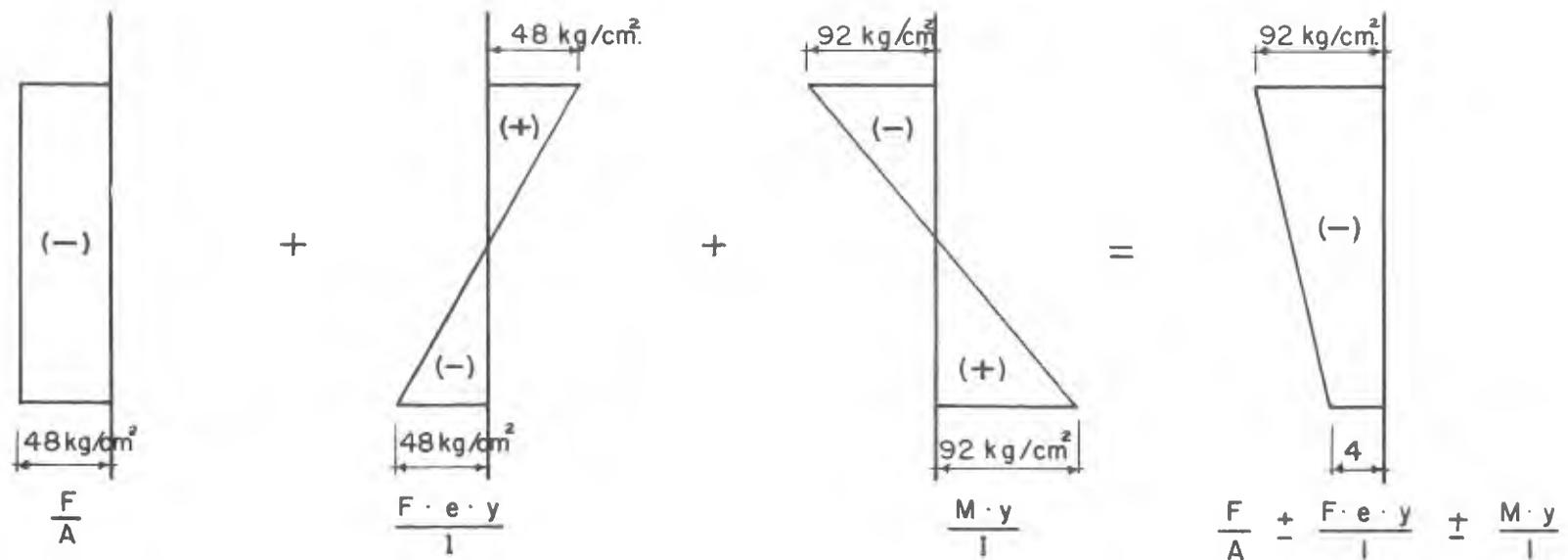


Fig. 1 - Distribución de esfuerzos en una viga pretensada.

buscado fabricar miembros pretensados con cables parabólicos. Hasta el momento se han aplicado varios métodos para lograr este fin, uno de los cuales lo explicaré en capítulo aparte más adelante. Si estos métodos resultan económicos, casi no habría limitación para la construcción de elementos pretensados, a no ser el tamaño y el peso.

El pretensado presenta las siguientes ventajas sobre el postensionado:

- a) Gran economía en gastos de formaleta, ya que en la prefabricación se utilizan moldes metálicos de uso múltiple.
- b) Economía en el vaciado del concreto y fabricación del miembro.
- c) Mejor calidad del producto al haber mayor control en la fabricación.
- d) Mayor rapidez en el tiempo de realizar la obra.

En luces muy grandes, como por ejem

plo vigas para puentes, es posible considerar el empleo de elementos pretensionados para obtener sus economías y a la vez, el uso de cables postensionados para aprovechar las ventajas de su diseño. En estos casos los alambres pretensionados se diseñan para soportar el peso muerto y resistir los esfuerzos de transporte, siendo los cables postensionados los que toman las sobrecargas.

VENTAJAS DEL CONCRETO PRETENSADO SOBRE EL CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL.

La ventaja más sobresaliente entre estos dos sistemas, es el empleo de materiales de alta resistencia en el concreto pretensado.

Al tensar el acero y anclarlo contra el concreto, le produce deformaciones y esfuerzos que reducen o eliminan las grietas en este material. Siendo así, la sección total del concreto es efectiva en el pretensado, mientras que solamente una porción de la sección so-

bre el eje neutro, se supone que actúa en el caso del concreto reforzado.

Concretos de altos esfuerzos no pueden ser utilizados económicamente en construcciones de concreto reforzado. Si los usáramos, nos resultarían secciones pequeñas que demandarían mayor cantidad de acero de refuerzo, lo que nos aumenta el costo del diseño. En el pretensado se requiere el uso de concreto de gran resistencia, para igualar la resistencia de los aceros de alto esfuerzo y obtener proporciones económicas de los elementos. A su vez estos concretos son necesarios para resistir los altos esfuerzos en los anclajes o poder usarse en secciones delgadas, frecuentemente empleadas en el pretensado.

Diseños en concreto pretensado son los más convenientes para estructuras de grandes luces y para aquellas que soportan cargas pe-

sadas, debido en gran parte a los materiales de alta resistencia empleados.

Las estructuras pretensadas son más esbeltas y por lo tanto, más adaptables a ser tratadas artísticamente. Bajo carga muerta las deflexiones son reducidas por motivo del alabeo producido por el tensado. Esto tiene mucha importancia en estructuras tales como los voladizos. Bajo carga viva las deflexiones también son pequeñas, debido a la eficiencia de la sección sin grietas, la cual tiene un momento de inercia dos o tres veces mayor que la sección agrietada. Se considera que las deflexiones en los miembros pretensados son un tercio de las deflexiones que se suceden en estructuras de acero y solamente un cuarto de las deflexiones en estructuras de concreto armado, a igual altura y a igual aprovechamiento de esfuerzos permisibles.

Comparar la seguridad entre el concreto

to pretensado y reforzado es un poco difícil, porque la seguridad depende más del diseño y de la construcción, que del sistema usado. Sin embargo mencionaré ciertas seguridades inherentes del concreto pretensado.

a) La calidad de los materiales son probados antes de ponerlos a trabajar, al inducirles esfuerzos en el momento de tensar, mucho mayores de los que soportará durante su vida de servicio.

b) La elasticidad en el concreto se logra por medio del pretensado; un miembro puede ser cargado casi hasta la ruptura y obtenerse una gran deflexión, para luego, una vez libre de carga recobrase casi en su totalidad (un 92%).

Por lo tanto una sobrecarga solamente aumenta la deflexión, lo cual sirve de advertencia y evita que la estructura se destruya.

c) La resistencia a la corrosión es mucho

mayor que la del concreto reforzado, al no permitir grietas. Esto es de mucha importancia en construcciones marítimas donde el concreto esta expuesto al aire o agua de mar.

d) Con relación a la resistencia al fuego, el acero de pretensión resulta ser mucho más sensible a los altos cambios de temperatura, pero a la vez, los cables de acero de pretensión tienen una mayor protección contra el fuego debido a la ausencia de grietas. Los experimentos realizados han demostrado una mayor seguridad contra el fuego en el concreto pretensado que en el concreto armado.

Desde un punto de vista económico es evidente, que una menor cantidad de acero y concreto se requieren para soportar las mismas cargas, debido a los materiales de alta resistencia usados. Hay también una economía definitiva en los estribos, si en el pretensado se usan cables curvos que reducen el es

fuerzo cortante. Al reducir los materiales se obtienen secciones más económicas, de menor peso muerto y altura, lo que se traduce en una economía para el resto de los componentes de la estructura.

A pesar de las economías del concreto pretensado anteriormente dichas, no se podría decir que lo es para todas las condiciones. Primero que todo, los materiales al ser de mejor calidad tienen un costo unitario mayor; es necesario un mayor número de implementos auxiliares como gatos, anclajes, moldes, etc. Al no ser siempre necesarias las formas rectangulares, los moldes son más cuidadosos, lo mismo que el diseño el cual requiere además una mayor supervisión.

De lo discutido anteriormente, se puede llegar a la conclusión que el diseño del concreto pretensado es más recomendable cuando la misma unidad se repite muchas veces o

cuando se usa para luces grandes y cargas pesadas.

Una fábrica de concreto pretensado, por lo tanto, salva casi todas las dificultades económicas, al lograr fabricar una misma unidad muchas veces, con un gasto mínimo de implementos auxiliares. Podemos decir que el concreto pretensado y prefabricado, es un método que nos permite aprovechar al máximo la calidad de los materiales, reduciendo los costos.

Todo lo dicho anteriormente demuestra claramente la necesidad del pretensado en obras de ingeniería, y es por esto que se ha iniciado en el país el montaje de una planta de concreto pretensado por la empresa Productos de Concreto, Ltda.

II- MATERIALES USADOS

CALIDAD DE LOS MATERIALES

Aun cuando la idea del concreto pretensado data prácticamente de principios de este siglo, no se obtuvo en su origen el éxito esperado debido a que el concreto no es un material perfectamente elástico. En el concreto pretensado los esfuerzos artificiales inducidos nunca se conservarán en su totalidad, sino que una parte de los mismos se perderá a causa del flujo plástico de los materiales y a la retracción del concreto. Debido a los fenómenos indicados, en un principio se observaba que la precompresión aplicada al concreto se perdía al cabo de corto tiempo.

No fue, sino hasta que se usó alambre de muy elevado límite elástico y concretos de alta resistencia, que se obtuvieron resultados satisfactorios.

Estos aceros de alta calidad admiten

un gran alargamiento cuando se les estira para comprimir el concreto, sin perder sus propiedades elásticas. De esta manera después de ocurrir las deformaciones plásticas y retracción del concreto y la fluencia del acero, le queda a este último un esfuerzo de un 85% para comprimir el concreto. Estos tensores tienen un límite elástico aproximadamente unas cinco veces mayor que el que presentan en general, las varillas de refuerzo empleadas en el concreto armado convencional.

Para los elementos pretensionados se usa un esfuerzo inicial de un 70% de la resistencia a la rotura; este valor es un poco más alto que el usado en elementos postensionados que es de un 60% , debido a las mayores pérdidas de esfuerzos que se obtienen en el pretensado. Aproximadamente el esfuerzo final es un 80% del inicial o sea un 56% de la resistencia

a la ruptura.

Al hacer trabajar el alambre en un 80% de su límite elástico, puede parecernos muy alto comparado con el caso del concreto común, en el cual las varillas de refuerzo trabajan al 50% de su límite elástico. Pero debe tomarse en cuenta que en el concreto precomprimido, la calidad satisfactoria de cada uno de los alambres se comprueba al estirarlos en la obra misma. Las cargas que después soporta el alambre serán menores que las de tensión inicial, pues por deslizamiento, contracción elástica y por fenómenos plásticos, la tensión del alambre se disminuye al aplicar la fuerza de precompresión al concreto y luego en el curso del tiempo continúa disminuyendo.

MANUFACTURA DEL ALAMBRE.

Los alambres que se fabrican para ser usados en el concreto pretensado son los si-

güentes:

- a) Alambres circulares laminados, con un diámetro que varía de 2 a 5 mm., usándose preferentemente los tamaños menores para obtener mayor adherencia.
- b) Alambres ovalados o rectangulares con secciones que varían de 20 a 40 mm².
- c) Alambres rectangulares retorcidos con corrugaciones transversales, con secciones de 20 a 40 mm².
- d) Cables compuestos de 7 alambres, uno central y seis exteriores. Ver fig. N^o2.

El proceso para obtener alambres de alta resistencia debe ser cuidadoso, pues no sólo se requiere darles un límite elástico y resistencia elevados, sino también cierta ductilidad para evitar roturas por impacto y lograr manejarlo con facilidad.

Es interesante mostrar los diferentes pasos a través de los cuales el material pa-

sa durante el proceso de su manufactura. Se debe seleccionar un acero de alto contenido de carbón, laminado en caliente, el cual tendrá un análisis químico de 0.75 a 0.85% de carbón, 0.45 a 0.85% de manganeso, 0.45% de fósforo y 0.05% de sulfuro. Los alambres deben someterse a un tratamiento de templado por enfriamiento en un medio tal como plomo líquido o agua, a una temperatura adecuada, con el objeto de lograr una estructura cristalina que permita alcanzar una resistencia y un límite elástico elevados. Este tratamiento remueve algunos de los esfuerzos residuales, haciendo que el alambre conserve su ductibilidad. También, cualquier aceite, grasa o residuo del laminado, es removido por este tratamiento para lograr una mayor adherencia con el concreto. El relevo de esfuerzos internos reduce las pérdidas debidas a la carga de relajación hasta en un 70% del último

esfuerzo y permite propiedades físicas más uniformes.

Los alambres terminados deben presentar corrugaciones, ya que en el pretensado es por medio de la adherencia que se absorbe o transforma en precompresión, una elevada proporción de la retracción del alambre. Últimamente se ha mejorado la adherencia mediante el torcido de siete alambres para constituir un solo torón. Con ello se consigue una superficie de contacto de forma helicoidal, la cual presenta una mayor adherencia que la superficie de los alambres individuales no retorcidos y lisos. Estos torones deben someterse a un tratamiento térmico adecuado para relevar en los alambres que le constituyen los esfuerzos internos producidos por la torsión y doblado (stress-relieving). Originalmente la industria americana empezó a usar torones cuyos diámetros eran 0.48 cm., 0.64

cm. y 0.79 cm. La tendencia de hoy día es usar torones más grandes. Los más corrientes son de 0.95 cm. y 1.11 cm. Hay una economía definitiva al usar diámetros grandes: el costo es menor por kgr. de fuerza, y por mano de obra, permite tamaños de agregados más grandes y provee una mayor concentración de fuerza de pretensión, con los cuales se consigue una mayor eficiencia en el diseño.

ESPECIFICACIONES PARA TORONES Y ALAMBRES.

El Instituto de Hormigón Precomprimido de Lakeland a adoptado las siguientes especificaciones para cables y alambres usados en concreto pretensado.

A) Torones.

1) Todos los torones que se empleen deberán ser del tipo constituido por 7 alambres: uno central y 6 exteriores. El diámetro del alambre central será suficientemente mayor

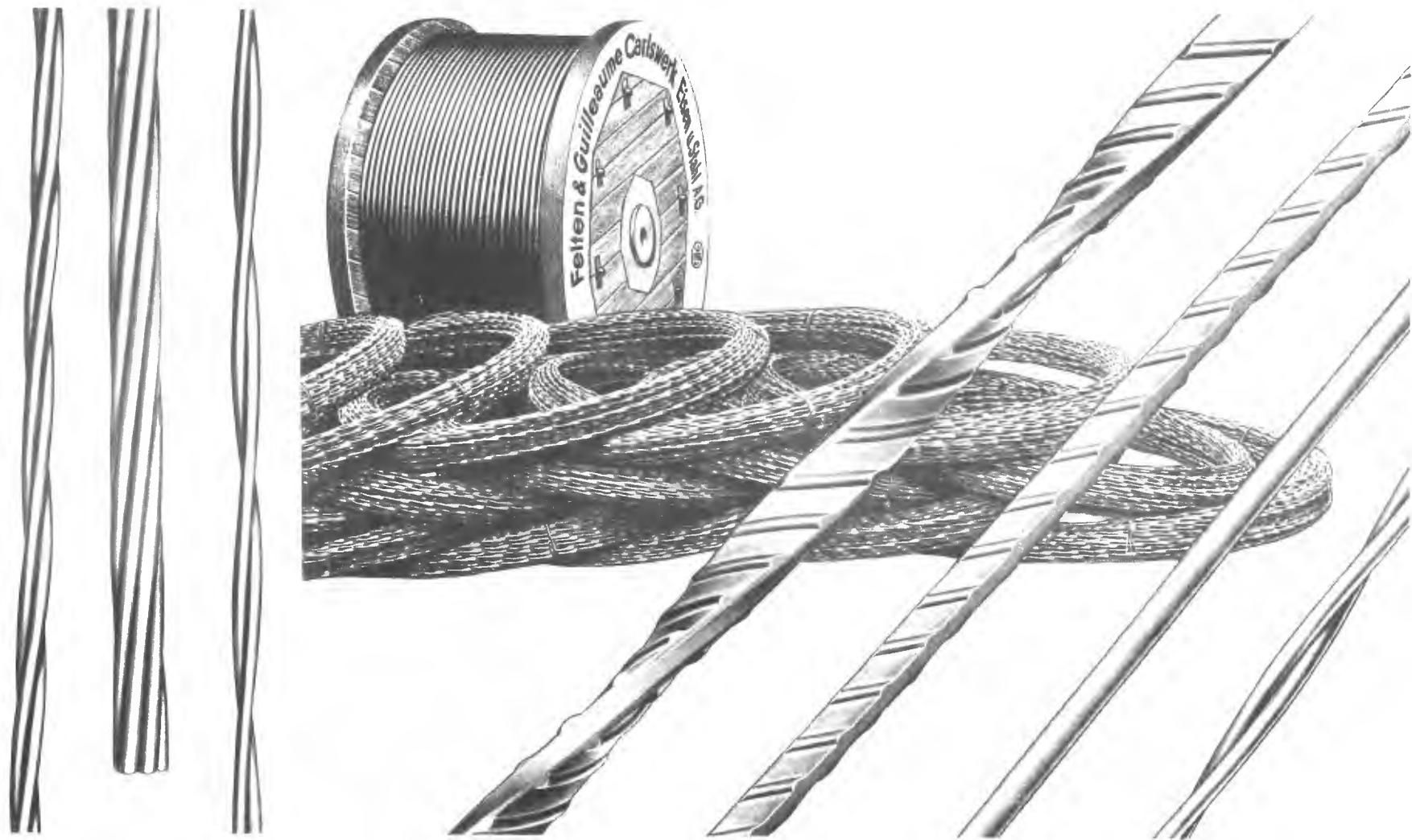


Fig. 2 Alambres usados en el concreto pretensado

que el de los exteriores, para asegurar su debido contacto.

2) Después de tejidos todos los alambres se someterán a un tratamiento que releve de esfuerzos internos la unidad constituida por cada torón.

3) Las dimensiones y resistencias de los torones serán las siguientes:

Diámetro cm.	Area aproximada cm ²	Resistencia total a la tracción Kg.-
0.48	0.14	2.495
0.64	0.23	4.082
0.79	0.37	6.577
0.95	0.52	9.072
1.11	0.70	12.247

Su límite elástico (deformación permanente de 0.2%) no será menor de 85% de la resistencia a la tracción, ni su elongación en 25 cm. de longitud de prueba, inferior a 4%

B) Alambres.

1) Los alambres se manufacturan por proceso que los releve de esfuerzos internos.

Su diámetro no excederá de 3.2 mm., su resistencia a la tracción no será menor de 17,575 kg/cm². Su límite elástico (deformación permanente de 0.2%) no será menor del 80% de la resistencia a la tracción, ni su elongación en 25 cm. de prueba, inferior a 4%.

En la industria del pretensado también se usan barras tensoras de diámetros hasta de 29 mm. Las barras se manufacturan de una aleación especial, presentando una elevada resistencia a la tracción, aproximadamente unos 11.000 kg/cm² y pueden hacerse trabajar satisfactoriamente a unos 6.6000 kg/cm².

CONCRETO

Los concretos usados en el pretensado tienen unas resistencias finales que varían de 300 kg/cm². a 600 kg/cm²., en cubos de 20 cm. de lado, lo que equivale a 3500 lbs/pulg². y 7000 lbs/pulg². respectivamente, si

las pruebas se realizan en cilindros. Las resistencias mínimas en el momento de tomar las fuerzas de compresión serán de 240 kg/cm² y 480 kg/cm². respectivamente.

La mediocridad no puede ser tolerada en el concreto pretensado; cualquier defecto sería puesto de manifiesto inmediatamente a partir de la aplicación del esfuerzo de pretensión, donde se les imponen cargas superiores en un 15 a 20% a las que existirán en servicio normal. Ningún otro sistema de construcción puede darle esta garantía al usuario.

Debe ponerse una cuidadosa atención en las pruebas por cilindros o cubos de concreto, para tener así la seguridad de que los esfuerzos son alcanzados de tal manera, que la tensión del cable pueda ser transmitida sin ningún peligro.

En la mayoría de las plantas de preten

sado se obtienen esfuerzos de 300 kg/cm². en un lapso de 18 hrs. El factor agua-cemento y el revenimiento son bajos, constituyendo factores de vital importancia; debe tenerse también sumo cuidado en el vaciado y vibrado del concreto. Usualmente el revenimiento no excede 4 pulg. y en muchos casos llega a ser cero, lográndose alcanzar altos esfuerzos en muy poco tiempo con un mínimo de deslizamiento y contracciones.

En las plantas de pretensado, una de las razones básicas para obtener altos esfuerzos en el menor tiempo posible es el hecho, de tener la necesidad de remover los moldes en un período de pocas horas después que el concreto ha sido vaciado. Para esto se emplea a menudo la cura por vapor de agua o sistemas por vacío que remueven el exceso de agua, en tal forma, que los moldes pueden ser usados de nuevo inmediatamente.

Para evitar pérdidas en los esfuerzos artificiales inducidos, debe tenerse bastante cuidado y evitar hasta donde se pueda fenómenos como la retracción. Cuando el concreto, después de estar saturado, llega a secarse completamente, sufre una contracción del orden de un 0.04% . Sobre la base de un concreto de elevada resistencia, con un límite elástico de unos 350.000 kg/cm^2 ., una contracción del orden indicado representa una pérdida en la precompresión del concreto de $350.000 \times 0.04 \div 100 = 140 \text{ kg/cm}^2$. Por lo tanto, para lograr una mayor eficiencia es necesario aplicar la precompresión al concreto cuando haya adquirido una resistencia elevada y perdido por evaporación buena parte del exceso de agua que existe en la mezcla. Igualmente es necesario, según lo anterior, una eficiente compactación mediante vibrado, ya que con ella es menor la contracción por resecamiento.

Por las razones antes dichas, en pretensado se debe usar cemento de rápida y alta resistencia. Con este cemento, el concreto curado a la temperatura ambiente, alcanza en sólo unos 7 días, la resistencia que se ob

tendría hasta los 28 días se si empleara cemento Portland corriente.

En ocasiones especiales, para juntas en las estructuras precomprimidas, no es suficiente la rapidez del endurecimiento del cemento portland tipo III, sino que se necesita emplear cementos compuestos principalmente por aluminatos de calcio, que se hidratan con gran ligereza y dan a las 24 horas resistencias algo mayores o similares a las que el cemento común presenta a los 28 días.

MANUFACTURA DE CONCRETO PRECOMPRIMIDO CON AGREGADOS LIGEROS.

El uso de agregados ligeros, trae consigo una serie de ventajas como serían: reducir el peso de las estructuras, aminorando por consiguiente la carga sobre las columnas y los cimientos, y facilitar el manejo, transporte y colocación de elementos prefabricados.

Los agregados ligeros, en condiciones de secado total tanto en su exterior como en su interior, presentan una densidad de un or

den de: -0.6 a 1.0 en agregados naturales como la piedra pómez; -1.6 a 2.0 en tobas y escorias volcánicas y de 1.56 a 1.42 en agregados artificiales como pizarras arcillosas, en las cuales se les ha eliminado el agua de combinación.

La baja densidad de agregados implican espacios huecos y estos motivan cierta reducción en la resistencia. Dado que en el hormigón precomprimido se requieren resistencias elevadas, pareciera que sería imposible su uso en esta clase de trabajos. Sin embargo, la técnica moderna de producción y preparado de agregados ligeros, ha logrado mediante tratamientos especiales mejorar estas condiciones.

Algunos procesos para manufacturar agregados ligeros y resistentes, consisten en triturar y cribar pizarras arcillosas con cierto contenido de agua, que en el horno rotatorio produce desprendimiento de vapor y por

lo tanto el hinchado de las partículas y una reducción de su densidad, que en ciertas condiciones alcanza en seco un valor de sólo un 60% de la correspondiente a los agregados comunes. Con éstos agregados ligeros y en combinación con cementos de alta y rápida resistencia, es posible obtener concretos de unos 300 a 400 kg/cm². a la edad de unos 7 a 28 días, con un peso de 1.400 a 1.800 kg/m³ que en promedio es el 67% del correspondiente a los concretos comunes, que tienen un peso de 2400 kg/m³.

La baja densidad de los agregados se debe a los poros y espacios huecos producidos en la piedra pómez o tobas por efecto de la desintegración natural; en las escorias volcánicas por desprendimiento de gases y en los agregados artificiales por el desprendimiento en el horno del vapor procedente del agua de combinación.

Cuando los espacios huecos referidos

sólo contienen aire, la densidad de los agregados corresponde en un 100% de su ligereza óptima, pero buena parte de ella puede perderse si durante el almacenamiento dichos huecos se llenan parcial o totalmente con el agua de lluvia, infiltraciones, etc. También durante el mezclado se absorbe hacia el interior de los agregados parte del agua con el consiguiente efecto de resecamiento y agrietamiento prematuros. Es importante por lo tanto sellar la superficie de los agregados para cerrar el paso del agua de lluvia hacia su interior, es decir reducir su capacidad de absorción, evitando que pierda parte de su ligereza y eliminar variaciones detrimentales en la consistencia de las envolturas, lograr mayor eficiencia en el curado del concreto al no tener pérdida de agua hacia el interior de los agregados y reducir la tendencia al resecamiento prematuro y el agrietamiento. Para

obtener este sello, se debe proceder a impermeabilizar la cara superficial de los agregados. Esto se puede obtener mediante una regularización de la flama en el extremo de descarga de grandes hornos, para formar en la superficie de las partículas la capa impermeable. Otro procedimiento de sellado de los agregados ligeros, consiste en la infiltración de soluciones o emulsiones, que tienden a formar sobre la superficie de los agregados una delgada membrana impermeable. Este proceso se puede usar con los agregados naturales como la pidera pómez, tobas, etc. y se aplica mediante tres alternativas, a saber: cilindros rotatorios, raseros giratorios o por medio de un gusano mecánico.

En Costa Rica el uso de los agregados ligeros ha sido muy limitado, pero no deja de ser interesante un estudio sobre estos materiales, debido a la gran cantidad de mate-

ria prima con que cuenta el país y las ventajas que de él se derivan.

ESPECIFICACIONES PARA EL CONCRETO PRETENSADO.

El Instituto de concreto pretensado de Lakeland, U.S.A., da las siguientes especificaciones:

- 1) Satisfacerá los requisitos de resistencia estipulados en los planos y se producirá, transportará y vaciará de acuerdo con las prácticas recomendadas por el A. C. T.
- 2) Su resistencia mínima a la compresión será de 300 kg/cm^2 ., excepto la capa superior de acabado, que podrá ser algo menos resistente.
- 3) Para mejorar la trabajabilidad se podrán emplear cementos al cual, desde su molienda, se le haya añadido un inclusor de aire, o introducir en la mezcla mixturas adecuadas, siempre que no contengan cloruro de calcio.

4) El tamaño mínimo de agregado en ningún caso excederá de 25 mm. y será bastante pequeño para que se puedan satisfacer los requisitos sobre espaciamiento de los elementos metálicos.

Tasas de trabajo permisibles en el concreto.

a) En el momento que se afloje el amarre de los tensores y por lo tanto se inicie la precompresión los esfuerzos en el concreto no excederá de:

Compresión en miembros para puentes.....	0.50 f !
Compresión en miembros para edificios	0.55 f !
Tensión	0.06 f !

Los excedentes sobre los límites indicados se podrán satisfacer mediante el empleo de acero de refuerzo.

b) En las condiciones finales y con el total

de carga (muerta y viva) no excederán de:	
Compresión en miembros para puentes.....	0.40 f !
Compresión en miembros para edificios.....	0.44 f !
Tensión en la cara inferior de miembros para puentes.....	cero
Tensión en la cara inferior de miembros para edificios.....	0.05 f !
Tensión en la cara superior..	0.04 f !

Los excedentes sobre los límites indicados podrán satisfacerse mediante el empleo de acero de refuerzo, pero de ninguna manera la tensión total excederá de 0.08 f !

III- IDEAS FUNDAMENTALES SOBRE UNA PLANTA DE CONCRETO PRETENSADO.

FUNCIONAMIENTO.

La operación de una planta de concreto pretensado consiste en la colocación de alambres o cables a lo largo de las camas en-

tre dos anclajes o bastiones extremos; en uno de estos anclajes los alambres se fijan por medio de cuñas o dispositivos especiales, fig. 3. mientras que en el otro se tensan por medio de un gato hidráulico y luego se anclan a los bastiones. En ciertos sistemas este anclaje se hace directamente sobre moldes rígidos que resisten las fuerzas de tensión.

Por lo general la colocación y tensión de los cables se realiza antes de disponer los moldes en sus sitios. En todos los casos, el ordenamiento de los alambres se obtienen por medio de placas transversales que se ajustan dentro del molde, las cuales tienen unas perforaciones que dan paso a los alambres y fijan su posición correcta. Fig. 4.

Una vez realizada la operación de tensado, se procede a vaciar el concreto. Esta operación debe realizarse cuidadosamente para lograr un buen acomodo del material, y a

segurar una adherencia perfecta con los alambres tensores, lo cual se consigue mediante un vibrado intenso, ya sea externo o interno o los dos combinados.

Para lograr un ciclo de trabajo continuo se debe obtener aproximadamente a las dieciocho horas la resistencia suficiente, para que pueda por adherencia transformar en precompresión la retracción de los alambres. Se puede entonces aflojar los alambres, remover las placas transversales y cortar los tensores a ras del concreto, (generalmente con flama oxiacetilénica).

Se procede luego a remover los elementos de las camas de tensado, almacenándolos cuidadosamente, para continuar luego un nuevo ciclo de trabajo.

CONSTRUCCION.

A continuación daré los criterios que se siguen al construir una planta de concreto pretensado. El estudio por separado de los dife-

rentes elementos con que cuenta la planta, los explicaré en el capítulo siguiente.

Es evidente que para obtener éxito en esta industria es necesario la construcción de una gran planta, la cual produzca una variedad de productos en volumen suficiente.

Versatilidad y velocidad en la producción son objetos de primaria importancia en el diseño de una planta; versatilidad para permitir la manufactura de miembros de variada sección transversal, anchos y largos; velocidad para aumentar la economía de la producción. Esto último es posible con la construcción de largas líneas o camas de tensado, con lo cual se obtiene la máxima economía en la operación de colocar los cables y tensarlos.

La tendencia más generalizada en los EE. UU., donde esta industria ha alcanzado un alto nivel, es la de usar camas de un largo de 100 mts., con un ancho suficiente para

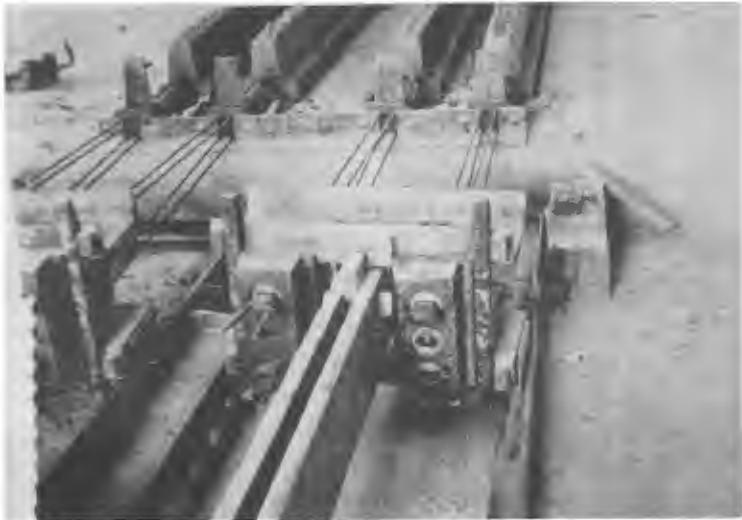


Fig. 3 Dispositivos para fijar los alambres.



Fig. 4 Separadores

vaciado diferentes secciones en ella.

Las capacidades de las camas se proyectan de acuerdo con la clase de miembros que se vayan a construir. Si son elementos livianos, una capacidad de soporte de 160 ton. de fuerza de pretensión sería suficiente. Para el caso de elementos muy pesados, como grandes vigas para puentes, se diseñan camas para soportar hasta 500 toneladas.

Los moldes usados en estas plantas pueden ser de madera dura o metálicos. Se prefieren estos últimos por su gran durabilidad que se traduce en una economía. Generalmente se usan moldes standard, con los cuales se obtienen vigas de luces variadas, cambiando la cantidad de acero de pretensión.

Para obtener la tensión de los cables se usan gatos accionados por bombas hidráulicas. Estos deben ser suficientemente poderosos para resistir las cargas posibles en

los lechos, a la vez de ser móviles para trasladarlos fácilmente a los lechos adyacentes.

Es necesario obtener una producción mayor en el menor tiempo posible en esta clase de plantas, por lo tanto el curado de los diferentes elementos es un punto muy importante para lograr obtener las resistencias requeridas en el concreto a las dieciocho horas después de vaciado. El estudio de los diferentes sistemas de curado lo haré más adelante.

IV- ESTUDIO SOBRE LOS IMPLEMENTOS USADOS.

MOLDES.

Uno de los factores más importantes que contribuyen a dar velocidad y economía en la producción son los moldes. Estos deberán ser simples, de construcción rígida y de fácil limpieza para su aseo.

Los moldes son generalmente contruidos en metal, por su gran durabilidad, pero

también es posible fabricarlos en madera dura, que justifique con su uso, su costo de construcción.

Para lograr un producto a bajo costo es necesario la standardización de estos moldes, ya que su precio es muy elevado. Deben escogerse los que sean más versátiles, para poder fabricar diferentes formas de miembros con sólo colocarles ciertos adicionales.

En la fig. 5, se muestra un molde del cual se pueden obtener diferentes secciones de viguetas, como T invertidas e Ies de diferentes tamaños, con sólo variar la altura de vaciado del concreto. En la misma figura se muestra un molde para viga doble T, el cual se construye con un "camber" preciso, para compensar la carga muerta, flujo plástico y retracción.

Las viguetas T invertidas se pueden fabricar en máquinas que van corriendo por me-

dio de rieles a lo largo de la cama, justamente encima de los cables ya tensados. Este método presenta la ventaja de necesitar solamente una formaleta en todo el largo de la cama, eliminando los inconvenientes de estar armado y desarmado moldes, pero a la vez tiene la desventaja de poder fabricar únicamente una clase de vigueta, siendo la inversión muy costosa. En las fotografías de la fig. 6 se puede apreciar una planta que trabaja con este sistema, la cual tuve oportunidad de visitar en México.

GATOS.

Se encuentran en el mercado un gran número de tipos de gatos, de los cuales analizaré cuatro en este trabajo.

El tipo más sencillo es el que tensa un solo alambre a la vez. Con éste se presentan problemas en lo que se refiere a la manipulación de los alambres, por lo tanto, si el ar-

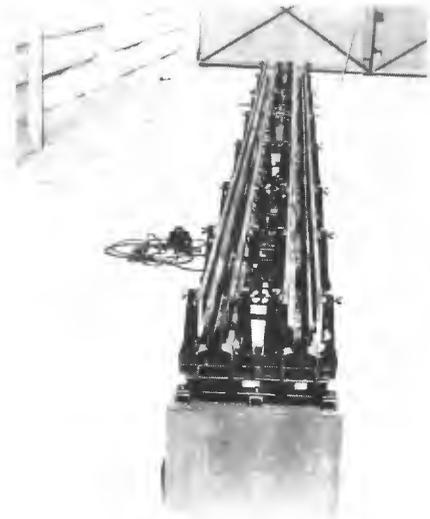


Fig. 5 moldes



Fig. 6. Planta de concreto pretensado

glo incluye muchos alambres, se demora demasiado en inducir los esfuerzos. Fig. 7.

La mayoría de los lechos actuales se diseñan para gatos de alambres múltiples, en el cual el gato se monta de tal manera que empuje alejándose del lecho, sosteniéndose contra postes o estribos, a la vez que arrastra una placa o bastidor que está conectado a la plantilla de los alambres.

Entre estos sistemas indicaré uno que consiste en un gato que presiona una placa cabeceira; unida con pernos a esta placa y dispuesta alrededor del centro de gravedad del gato, se tienen cuatro barras de acero que atraviesan o rodean el estribo, hasta llegar al otro lado donde hala la plantilla de alambres por el lecho, esforzando todo el conjunto al mismo tiempo. Una vez aplicada la tensión total la carga se trasmite al estribo. La capacidad de estos gatos varía entre cincuenta

y trecientas toneladas. Ver fig. 8.

En otro tipo de tensionado se usan dos o cuatro gatos con una sola barra tensora a través del agujero central de cada uno, unida esta barra con pernos al extremo de la prensa. Para transmitir la carga se necesitan postes dobles de anclaje, el gato se apoya contra uno de ellos, mientras que la tuerca en la barra tensora roscada empuja contra el otro fig. 9. Este sistema presenta la ventaja de poderse obtener grandes fuerzas de tensión, pero tiene el inconveniente de usar anclajes dobles y un gran costo en mano de obra al trasladar el sistema de un lecho a otro, por tener que desarmarse parcialmente.

El gato mostrado en la fig. 10 presenta la ventaja de ser fácilmente transportado de un lugar a otro por medio de rieles, teniendo además la facilidad de poder graduarse a diferentes niveles y ángulos por medios hi-

dráulicos; de esta manera resulta cómoda y rápida la tensada de alambres de diferentes elementos. La capacidad de este gato es de ciento sesenta toneladas.

LECHOS DE TENSADO.

Se puede construir en dos formas:

- a) Vaciando una losa que corre a todo lo largo del lecho, trabajando en forma de viga para coger las fuerzas de tensión aplicadas en los extremos.
- b) Con bastiones de gravedad en los extremos, que consisten en grandes masas de concreto que por peso contrarrestan las fuerzas de tensión. A lo largo de las camas se colocan únicamente guías para los moldes.

En el primer sistema es posible vaciar las piezas directamente sobre la cama, sin necesidad de un arreglo posterior al piso, como se puede apreciar en la fig. 11. Además es posible prever anclajes intermedios pa-

ra economizar alambre, cuando se fabrican elementos que no cubren todo el largo de la bancada.

En los últimos tiempos se han estado desarrollando sistemas para construir los lechos de tensado de tal manera, que sea posible colocar los cables en forma aproximada a una parábola que, como se dijo en un capítulo anterior, es la trayectoria más eficiente para los alambres, por envolver las áreas de esfuerzos principales y proveer mejores condiciones a la tensión diagonal.

Una explicación sencilla de uno de estos sistemas es el siguiente: se colocan tornillos verticales fijos en las camas de tensado, con soleras transversales de anclaje que conservan los cables de tensado a la altura necesaria para determinar la trayectoria parabólica; al desmoldear el elemento de concreto pretensado, se quitan las tuercas

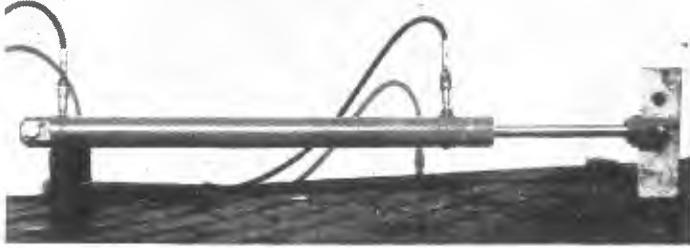


Fig. 7

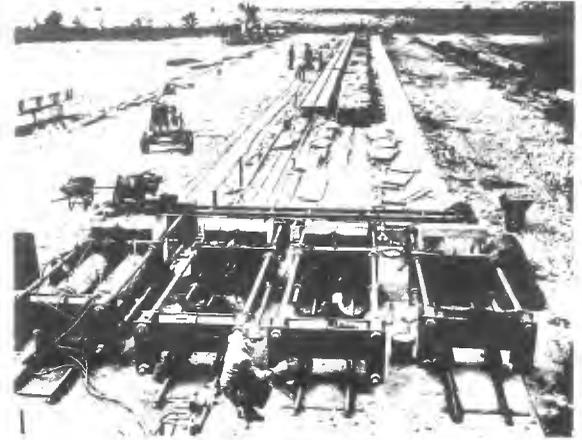


Fig. 8

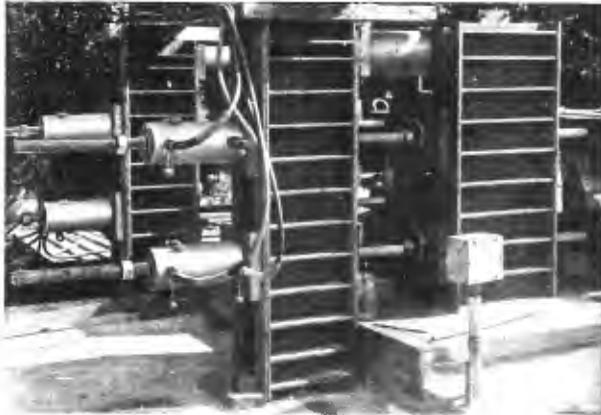


Fig. 9

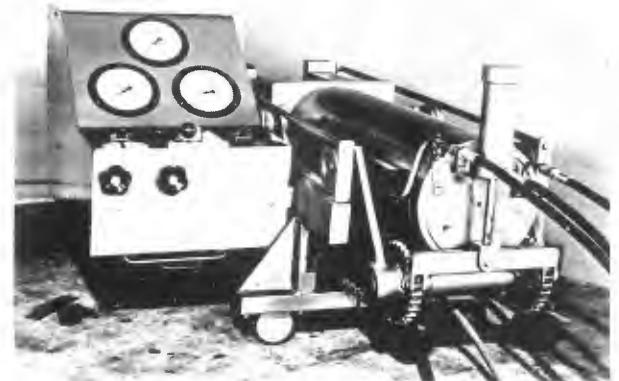


Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12

que sujetan los tornillos verticales. Las so-
leras y los tornillos quedan empotrados per-
manentemente en el concreto, excepto los tra-
mos de tornillo que quedan fuera de la cara in-
ferior, los cuales se remueven con soplete.
En la fig. 12 se puede apreciar un sistema u-
sado para levantar los cables en vigas para
puentes.

V- SISTEMAS DE CURADO.

En la producción de elementos preten-
sados, una de las consideraciones más impor-
tantes es el método de curado de los miem-
bros en las camas de vaciado. Por medio del
curado, el período necesario para que el con-
creto adquiera resistencia suficiente para ab-
sorber por efecto de adherencia, la pretrac-
ción del cable de acero, puede reducirse con-
siderablemente.

Los tres métodos más usados corrien-
tamente son los siguientes: sistemas por me-

dio de vapor, de agua y de aceite calientes.

El arreglo del curado se debe efectuar
de tal manera que se logre la temperatura
más favorable en el menor tiempo posible y
a través de todos los miembros, teniendo un
especial cuidado en que el concreto quede cu-
bierto, ya sea por medio de lonas o mantas
plásticas o remojando el miembro para pre-
venir la evaporación del agua en las superfi-
cies expuestas, evitando así el agrietamiento.
En todos los casos es necesario que el pro-
ceso del curado se realice rápidamente para
obtener una producción de ciclo diaria, de tal
manera que los elementos puedan ser remo-
vidos en un término de dieciocho horas des-
pués del vaciado.

CURADO POR VAPOR.

Se ha comprobado que este sistema da
los mejores resultados en miembros preten-
sados. Se realiza cubriendo las piezas con

lienzos, para evitar la pérdida de humedad en las superficies.

El vapor no debe aplicarse inmediatamente después de vaciado el concreto, sino tres horas después. El colocar el vapor con este retraso, trae como consecuencia un aumento de la resistencia de un 20% comparado con el vapor que es colocado inmediatamente después de vaciado el concreto.

La temperatura a que se inyecta el vapor varía entre 120 y 140⁰F. y se mantiene por quince horas más o menos.

CURADO CON AGUA CALIENTE.

En este sistema el calor es conducido por medio de tuberías. El agua es calentada a 150⁰F. e impulsada dentro los tubos a lo largo de las camas. Los lechos deberán estar bien cubiertos o en todo caso bañados en agua para mantener las superficies expuestas húmedas. Si se usa este último sistema, el agua debe ser calentada para que la tempera-

tura obtenida de los tubos no sea disipada por la acción de la rociada.

CURADO POR ACEITE CALIENTE.

El uso de aceite caliente, en lugar de agua, llevado a las camas por medio de tuberías, es un medio más rápido para realizar la cura de elementos pretensados. El agua caliente experimenta grandes pérdidas de temperatura en su recorrido por las camas de tensado; el aceite mantiene el calor por más tiempo, con lo que se obtiene una mayor eficiencia. Además el aceite presenta las siguientes ventajas: bajo mantenimiento, bajo costo de operación y no causa herrumbre ni corrosión.

VI- TIPOS DE VIGAS PRETENSADAS.

En una fábrica se pueden obtener cualquier tipo de viga deseado, sea cual fuere su tamaño y forma. Pero, desde un punto de vista económico esto resultaría inconveniente, al

tener que invertirse dinero en moldes que, a la postre, tendría un uso muy limitado.

Al lograrse standarizar las formas se consigue una economía en moldes y por consiguiente un producto más barato.

Las unidades de fabricación más corriente, son las siguientes:

Viga I (Fig. 13-a).

Forma muy corriente para las viguetas de pisos y techos, donde se requiere luces medias o largas sin que la altura sea un factor de importancia. En estos casos se usa generalmente con bloques intermedios.

Este tipo es muy usado para vigas de puentes, con una losa vaciada en el sitio.

Viga de ala ancha. (Fig. 13-b).

Tiene los mismos usos que la viga I, pero resulta superior en luces largas con cargas muy pesadas. Muy conveniente también

para los casos en que la altura está restringida.

Viga I modificada o T invertida. (Fig. 13-c).

Se usa generalmente en pisos y en vigas de puentes cuando el tablero actúa como una unidad compuesta. En estos casos se extienden los estribos de las vigas, para dar una conexión resistente al esfuerzo cortante.

Losas huecas. (Fig. 13-d).

Unidad ideal para la construcción de puentes, cuando los factores más importantes son la rápida erección y el espesor mínimo del tablero. Se colocan una junto a la otra, simplificando mucho el acabado.

Vigas doble T. (Fig. 13-c).

Muy usado en techos y pisos. Incluye la losa y la viga en una sola unidad. Salva luces hasta de 15 mts., con una altura total de 35 cm.

Vigas de canal (Fig.13-f).

Son iguales que las vigas doble T, pero sin voladizos. Resisten cargas mayores, siendo excelentes para pisos de muelles y puentes.

Viguetas. (Fig. 13-g).

Estas unidades se usan mucho en cielos rasos expuestos, por su interesante apariencia estética, además de presentar una sección muy eficiente a las cargas.

Losas planas. (Fig. 13-h).

Se usan en luces cortas, donde la altura libre es un factor básico.

Pilotes. (Fig. 13-i).

Pueden ser ortogonales o cuadrados. En pruebas realizadas han demostrado ser muy superiores a los de concreto convencional.

Postes. (Fig. 13-i).

Se pueden obtener de secciones H, orto

gonales y circulares. Son superiores a los de concreto reforzado, resistiendo momentos mayores a la vez de ser más esbeltos.

Durmientes. (Fig. 13-j).

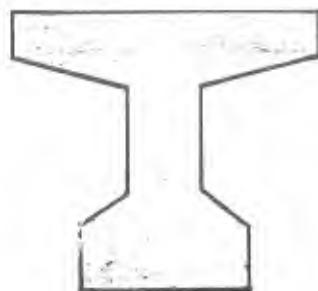
Su uso en los grandes ferrocarriles de Europa, ha dado resultados inmejorables, siendo su empleo cada día mayor.

VII- DURMIENTES.

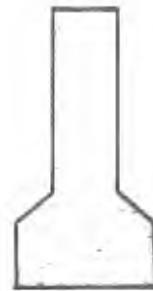
El durmiente constituye una estructura sometida a intensos y distintos esfuerzos mecánicos. La vida útil de los durmientes de madera está limitada, no sólo por la acción destructora de dichos esfuerzos, sino por la de microorganismos, hongos, humedad, etc., que aún cuando se contraresta en parte mediante impregnación de alquitrán, cloruro de zinc, etc., en las condiciones de nuestro clima reduce dicha vida a un máximo de quince años. La vida media del durmiente de hormigón precomprimido, debida-



a) Viga I



b) Viga de ala ancho



c) Viga I modificada



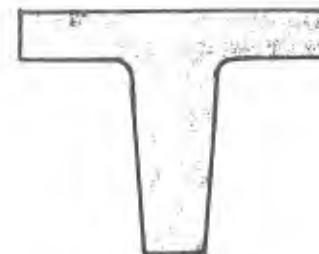
d) Losa hueca



e) Viga doble T



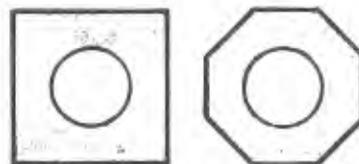
f) Viga de canal



g) Viga T



h) Losa plana



i) Postes y pilotes



j) Durmientes

Fig. 13.

mente diseñado y fabricado, puede estimarse, de acuerdo con el excelente estado de preservación observado en Europa después de muchos años de servicio bajo un tráfico intenso y rápido, en cuatro o seis veces mayor, es decir unos sesenta a ochenta años.

Numerosas pruebas realizadas en estos durmientes han dado resultados excelentes. Con relación al efecto de impacto, es sorprendente observar como se comporta elásticamente y soporta bien las flexiones que producen trenes que transitan a alta velocidad. Mediante aparatos de precisión puede comprobarse, que los esfuerzos registrados bajo el paso de trenes a altas velocidades, (145 km\hr.) sólo excede en una pequeña proporción a los que se registran cuando los mismos transitan sólo a unos 10 Km\hr. Este comportamiento se ha registrado en líneas de intenso tránsito pesado, en las cuales los

durmientes precomprimidos tienen ya más de diez años de estar prestando servicios.

En múltiples pruebas de fatiga a la flexión, llevadas hasta algunos millones de ciclos, se ha comprobado que la resistencia del concreto a la flexión no se reduce. En la Universidad de Lieja se han hecho pruebas consistentes en someter durmientes de concreto pretensado, (Tipo Franki-Bagon) sujetos rígidamente en un extremo, a veinticinco millones de aplicaciones, con una carga flexionante capaz de producir una flecha de 15 mm., y se observó que el durmiente no presentaba deterioro alguno.

DURMIENTE INGLES.

El durmiente inglés está formado por una sola pieza que tiene 2.60 mts. de largo, con un ancho en los extremos de 20 cm y de 12.5 cm. al centro. Consta de 20 alambres de 5 mm. con un límite elástico de 15.000

kg/cm². , los cuales aplican la precompresión por medio de adherencia . Fig. 14-a.

DURMIENTE FRANCES.

El durmiente francés Valette Weinberg, (fig. 14-b) tiene una compresión de 40 toneladas mediante 20 alambres de 5 mm. , con una resistencia a la tracción de 14.000 kg/cm². estando además provisto de un refuerzo transversal por medio de estribos. Para la manufactura de este durmiente, se trabaja en bancos de longitud correspondiente al tamaño de la unidad.

DURMIENTE ALEMAN.

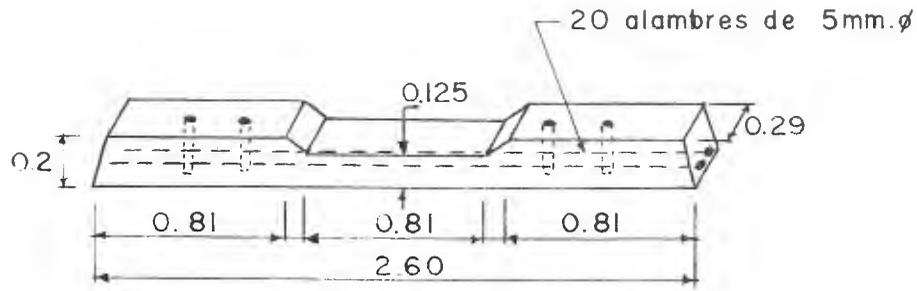
En la fig. 14-c se ilustra el diseño Karig b-53. La pieza central o tirante de estos durmientes está proyectada para flexionarse al paso de los trenes y no debe pegarse contra el balasto, pues se originarían momentos negativos y se reduciría la flexibilidad del durmiente; conviene por lo tanto que su cara in-

ferior en la parte central, se levante algunos centímetros con relación a las bases extremas. Además, al colocar el balasto debe dejarse una zanja central.

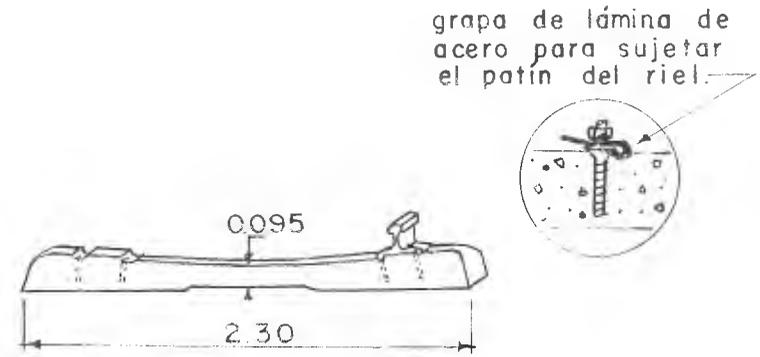
El tensado se aplica mediante dos varillas de acero de 18.3 mm. de diámetro, con un límite elástico de unos 6.000 kg/cm². La adherencia con el concreto a lo largo de las varillas se evita pintándolas con asfalto, de modo que la tensión pueda aplicarse en la fábrica y comprobarse y corregirse en cualquier momento. Para esto, el tensado se aplica mediante anclaje de tuercas y rondanas en cada uno de los extremos.

DURMIENTE BELGA TIPO FRANKI-BAGON.

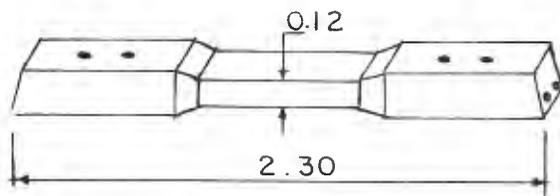
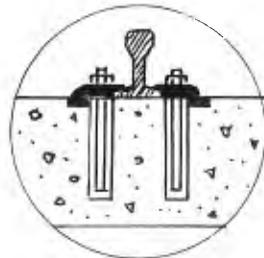
Este durmiente está formado por tres distintas piezas: las dos cabezas en las que van anclados los tornillos que sujetan el riel, una unión entre las dos de sección más delgada y capas de algodón asfaltado de 1 cm. de



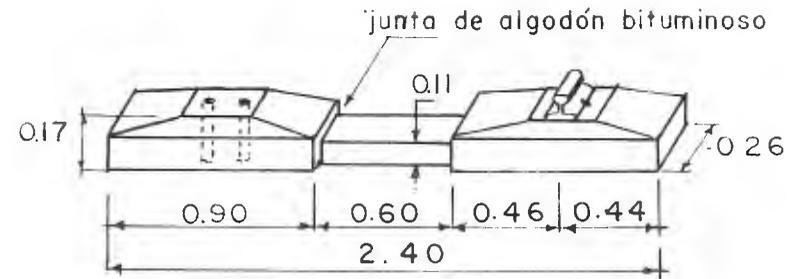
a) DURMIENTE INGLES



b) DURMIENTE FRANCES V.W.



c) DURMIENTE ALEMAN KARIG



d) DURMIENTE BELGA TIPO FRANKI - BAGON

Fig. 14. Durmientes

espesor, que constituyen las juntas intermedias que proporcionan mayor plexibilidad. (Fig. 14-d).

El tensionado se efectúa mediante un cable formado por 8 alambres de 5 mm. de diámetro, que se sujetan en los extremos mediante tuercas. Tiene la ventaja, igual que el durmiente alemán, de poder corregir el tensionado a su valor debido y compensar las pérdidas una vez colocado en la vía.

VIII- TRANSPORTE DE ELEMENTOS PRE-TENSADOS.

El monta cargas (lift-truks) es el medio más usado para operar alrededor de los lechos de tensado, en las áreas de almacenamiento y en ciertos trabajos de erección. Se puede usar esta máquina con un aditivo especial, como se puede ver en la fig. 15, con lo cual se logra levantar piezas de un largo considerable.

Para vigas muy largas y pesadas se u-

san grúas de llantas de hule o dos monta cargas uno en cada extremo de la viga.

Para movilizar en el interior de los lechos cargas pesadas, se instalan grúas de pórtico que corren a lo largo de las camas de tensado, (fig. 16) o un monorriel con un tecla, debidamente acondicionado para izar las piezas.

En el caso de tener que levantar únicamente piezas livianas, es muy conveniente el carro mostrado en la fig. 17 el cual se maneja manualmente, izando las vigas por acción de palanca en un extremo y por medio de una cabria en el otro.

El transporte de la fábrica a los lugares de erección, se realiza por medio de camiones o trailer, en el caso de ser elementos de tamaño intermedio como podrían ser las vigas de techo y piso.

Para vigas de mucha luz, y por lo tanto muy pesadas, se usará un camión con un

remolque como se puede apreciar en la fig. 18 en la cual se ve el transporte de una viga de 27 mts.

En las fotografías de la Fig. 19 se ilustra el transporte y erección de vigas T de 9.70 mts. y 3 ton. de peso, que se usaron como piso en una bodega de la Cervecería Traube. El trabajo de levantarlas del lecho de vaciado y montarlas en un trailer se efectuó por medio de dos demsters, en la forma que se aprecia en la fotografía. La colocación en su sitio definitivo se realizó por medio de dos tecles, que las izaban hasta una altura de 5 mts.

El transporte de elementos pretensados debe ser muy cuidadoso para evitar inducir esfuerzos contrarios a los de diseño, lo cual traería su ruptura.

El izado se debe realizar de los mismos puntos de apoyo de la viga, o en los pun

tos considerados en el diseño, en forma vertical, de tal manera, que no se produzcan deflexiones laterales, las cuales en exceso, pueden destruir la unidad antes de colocarla, en su posición definitiva.

Es importante también, un cuidadoso diseño de las piezas de izaje, para evitar su rotura o deslizamiento del mismo, que traería como consecuencia la destrucción del producto.

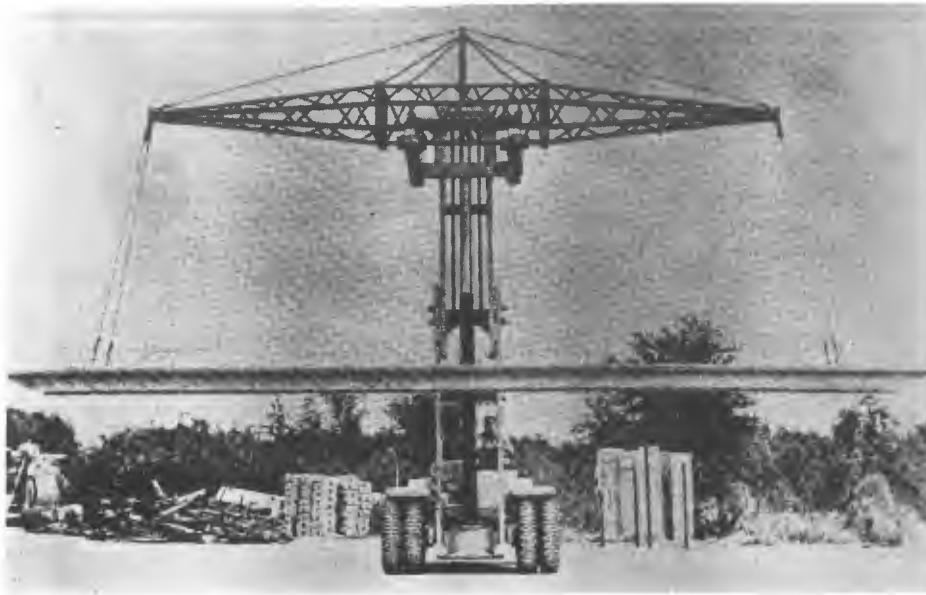


Fig. 15



Fig. 16



Fig. 17



Fig. 18



Fig. 19 Erección de vigas de 9.70 mts de luz



IX- COLOCACION DE ELEMENTOS PRE-TENSADOS EN EL SITIO.

INSTALACION DE ENTREPISOS Y TECHOS CON VIGAS T INVERTIDAS.

Las losas quedan constituídas por vigas T, bloques huecos de concreto y una losa delgada (4 cm.) vaciada en el lugar.

Estas viguetas tienen un peso bajo, (aproximadamente 26 kg. por metro lineal), permitiendo por lo tanto una fácil maniobra.

Durante la construcción del piso, se instalan primero las viguetas, apoyándolas sobre la estructura del edificio; se colocan luego los bloques intermedios, quedando una superficie que sirve de forma para la losa superior de liga.

Las vigas pueden colocarse simplemente apoyadas o empotradas, como puede verse detalladamente en la fig. 20.

La construcción de losas a base de bloques huecos, presenta las ventajas de propor-

cionar un excelente aislamiento térmico y acústico a la vez que una fácil instalación de tuberías o conexiones eléctricas a través de los agujeros perfectamente alineados. Evita además el uso de formaleta.

INSTALACION DE ENTREPISOS Y TECHOS CON VIGUETAS I.

Las viguetas I usadas en cubiertas tienen una altura que varía entre 20 y 28 cm, cubriendo luces hasta de 9 mts. Su instalación se efectúa en la misma forma que las vigas T invertidas es decir usando bloques de concreto. En la fig. 21 se ilustran estas vigas con varias formas de bloques, que se usan según las necesidades. Su peso varía de 30 a 40 kg. por metro lineal.

INSTALACION DE PISOS, TECHOS Y VOLADIZOS CON VIGAS DOBLE T.

Este tipo de vigas se usan generalmente para cubrir grandes luces. Tienen la ven-

taja cuando se usan para pisos y techos con poca carga, de no necesitar ningún acabado posterior. Su colocación ya sea en cubiertas corrientes o en voladizos se detalla en la fig. 22.

INSTALACION DE VIGAS DE CANAL.

Estas vigas, igual que las doble T, tienen la ventaja de requerir muy poca mano de obra en el sitio. Cuando se usan en cubiertas livianas se unen unas con otras por medio de pequeñas vigas longitudinales vaciadas en el sitio las cuales les dan rigidez. Cuando tienen que soportar grandes cargas, se vacia una losa adicional de poco espesor (4 a 6 cm.) que trabaja monolíticamente con la viga de canal. Un ejemplo de éste último caso, es el diseño de una cubierta para el muelle de Puntarenas, que soporta una carga H-20S-16 AASHO. en la que se usará una losa de 4 cm. vaciada en el sitio. Fig. 23.

COLOCACION DE VIGAS PRINCIPALES EN EDIFICIOS.

La colocación de vigas principales en edificios se puede efectuar de dos maneras convencionales, ya sea simplemente apoyada o rígidamente conectadas a los demás miembros.

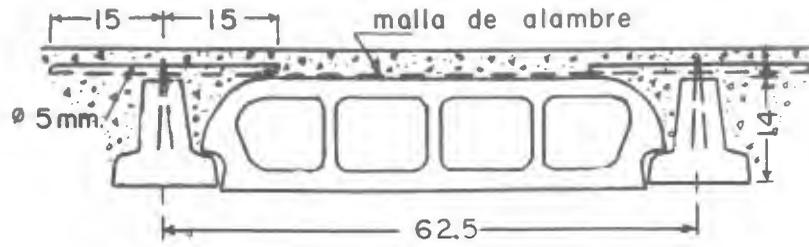
En nuestro país, que se encuentra en una zona de temblores, es recomendable que las vigas principales queden empotradas en el resto de la estructura.

Un caso típico de una conexión rígida es mostrada en la fig. 24, para una viga de 12 mts. en combinación con losetas prefabricadas y pretensadas como cubierta.

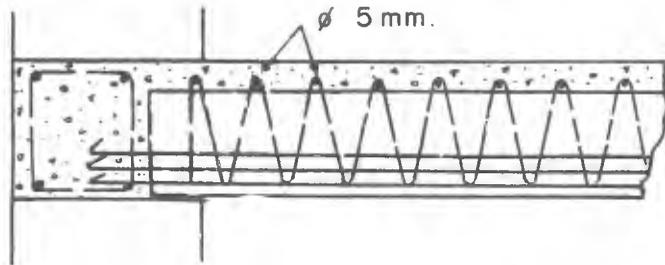
Otro sistema de apoyar la viga a la columna es el que se indica en el fig. 25 en el cual se usan cables que se tensan contra la columna una vez colocada la viga en su sitio.

En un solo tramo el sistema más gene-

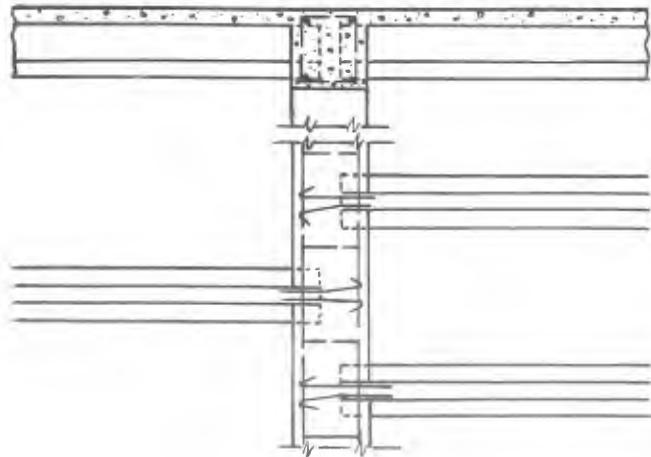
APOYO LIBRE



CORTE

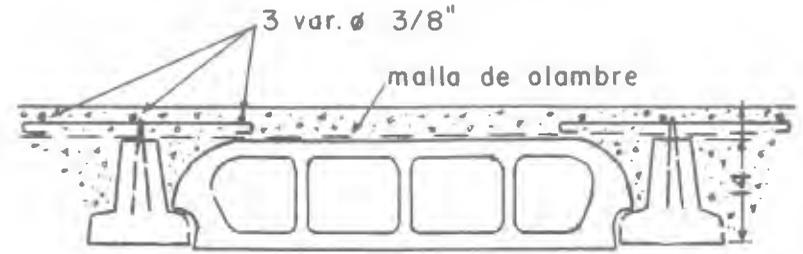


ELEVACION



PLANTA

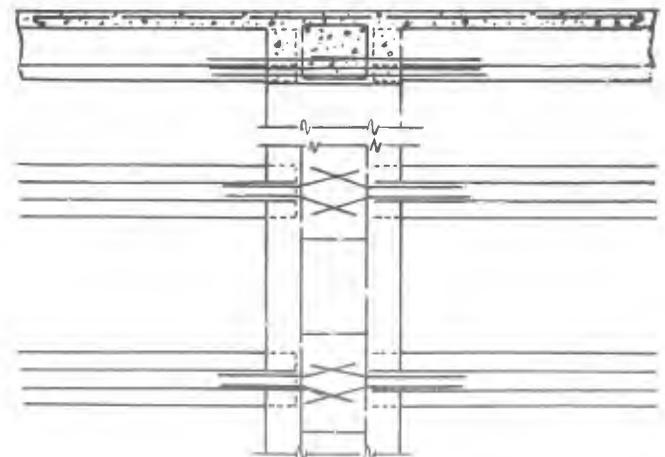
APOYO EMPOTRADO



CORTE

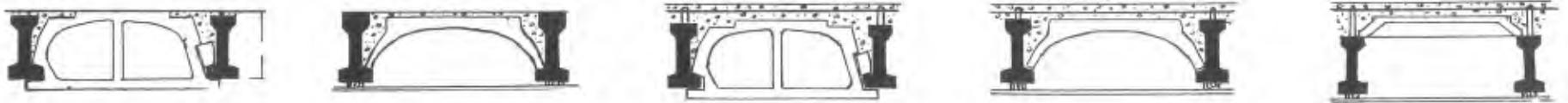


ELEVACION



PLANTA

Fig. 20 Entrepisos con vigas T invertidas.

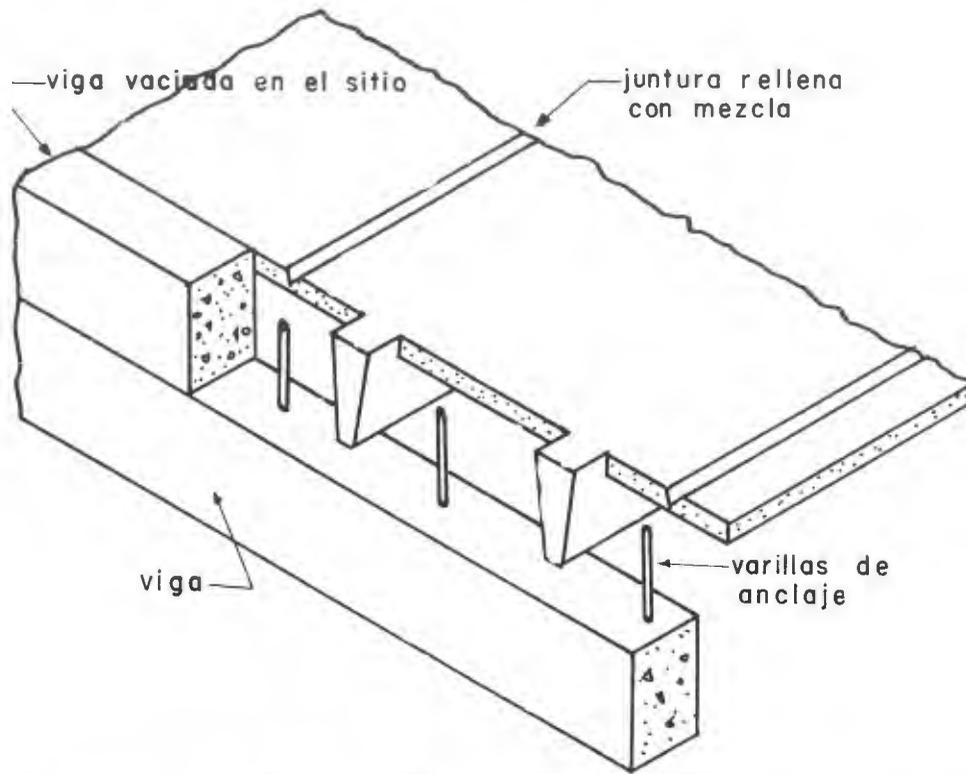


SECCIONES DE ENTREPISOS

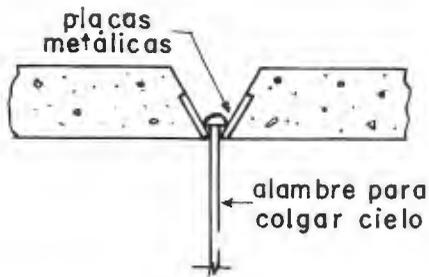


VIGUETAS Y BLOQUES COLOCADOS

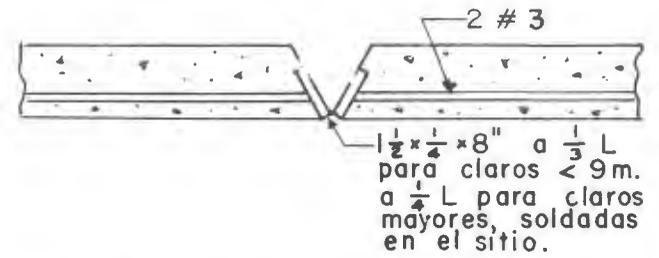
Fig. 21. Entrepisos con viguetas I.



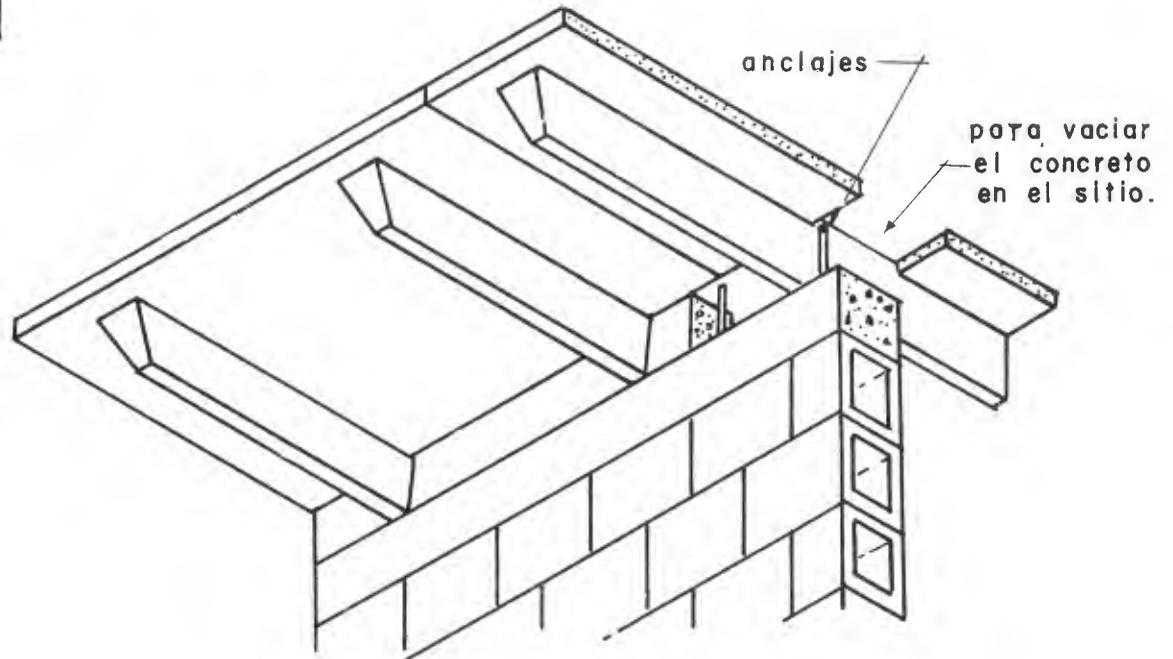
UNION DE VIGA CON LOSA



DETALLE DE CIELO RASO COLGANTE

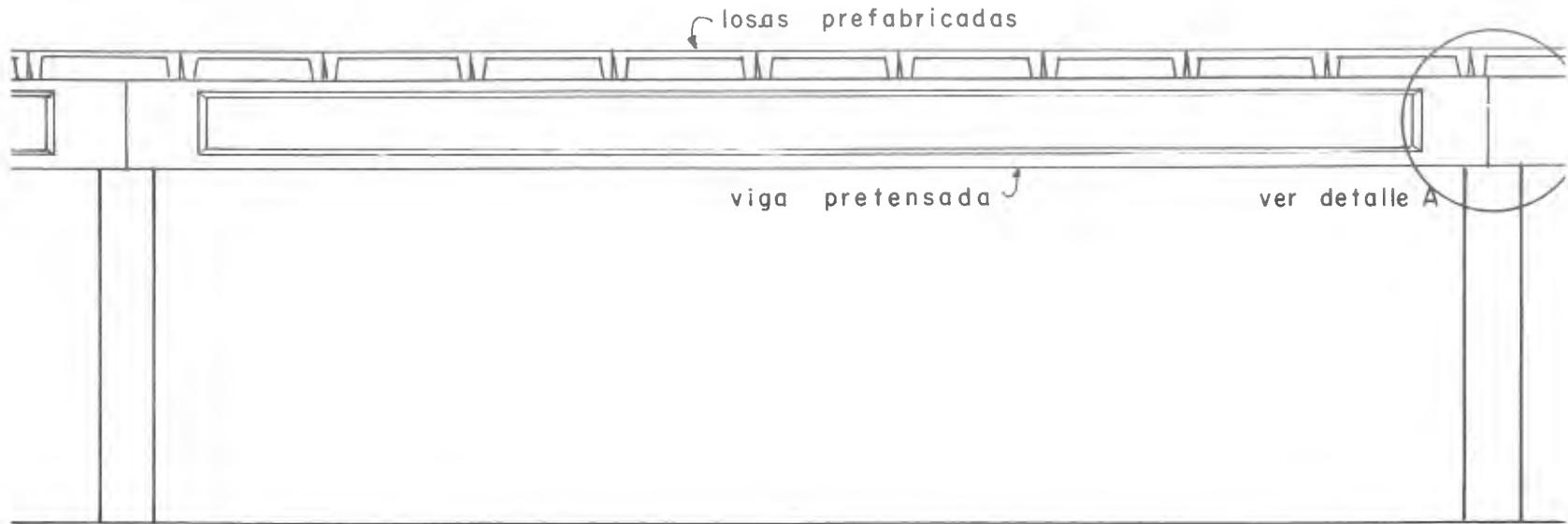


UNION DE LAS ALAS DE LA VIGA D. T.

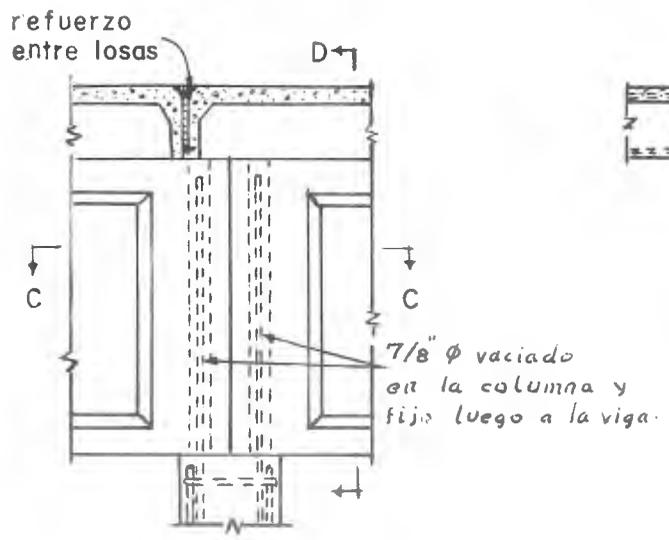


VIGA DOBLE T EN "CANTILIVER"

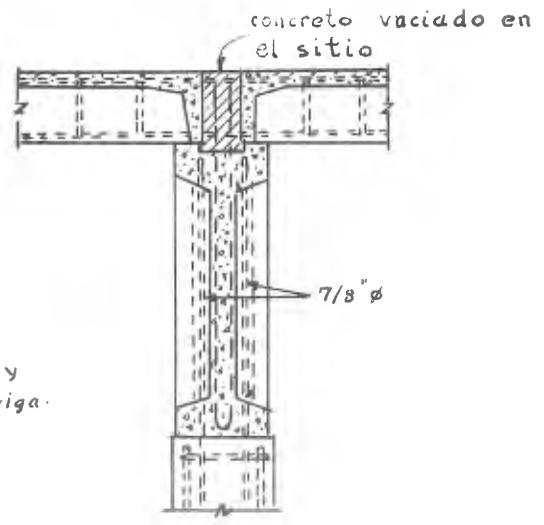
Fig. 22. Instalación de vigas doble T.



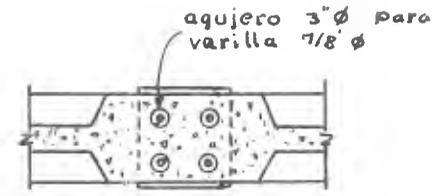
ELEVACION



DETALLE A

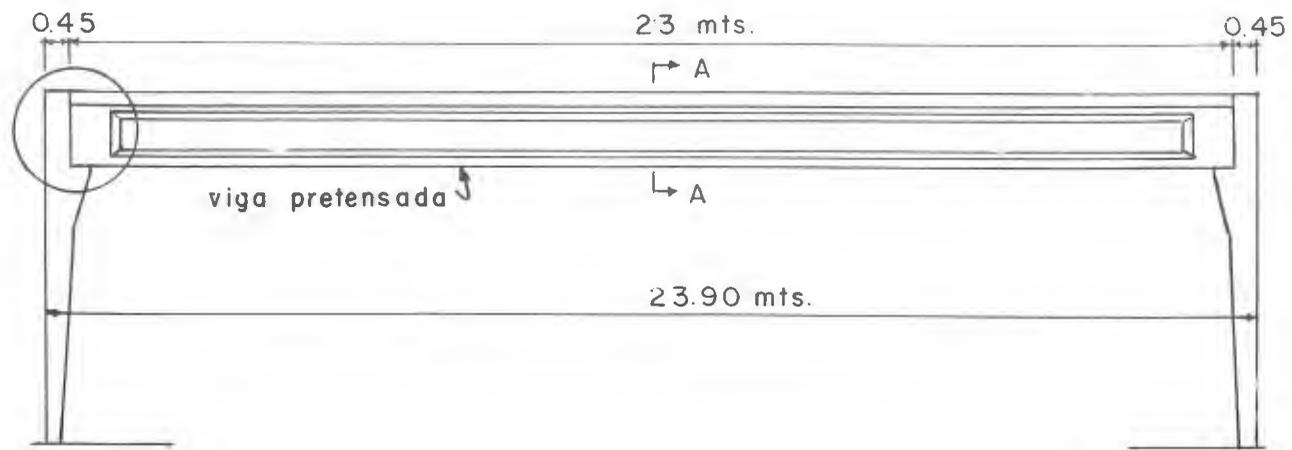


SECCION D-D

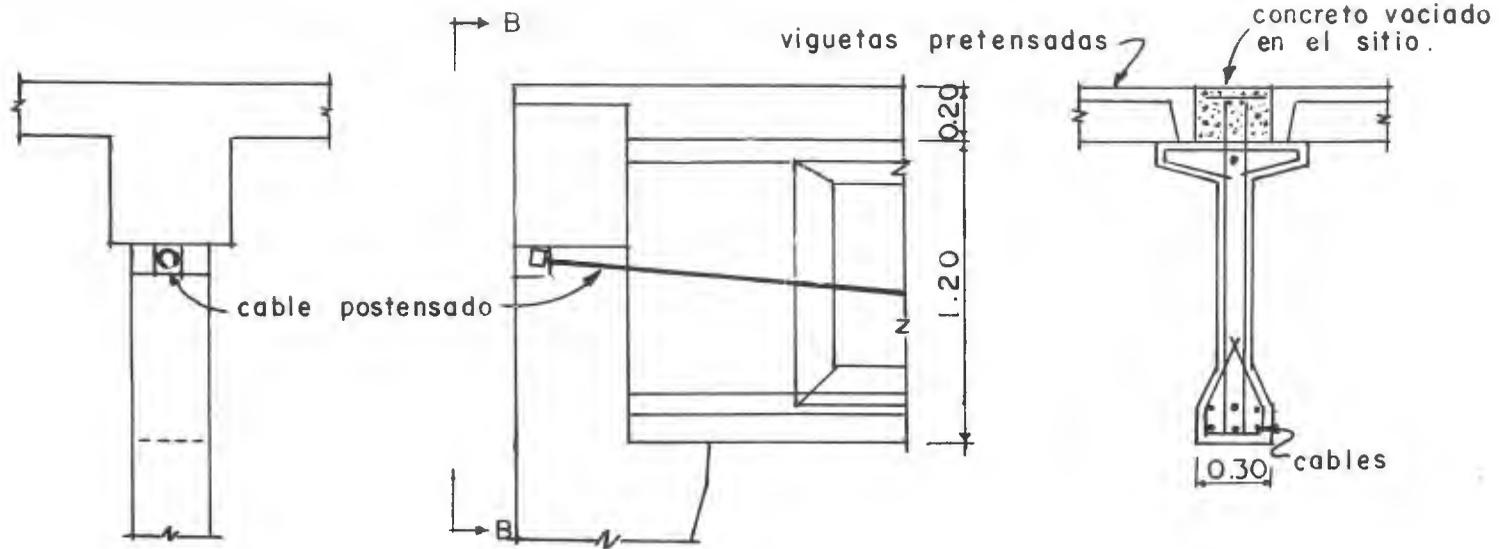


PLANTA DE SECCION C-C

Fig. 24.



ELEVACION



SECCION B-B

DETALLE CONEXION DE
VIGA Y COLUMNA

SECCION A-A

Fig. 25.

realizado, es el de colocar las vigas simplemente apoyadas. Este sistema se usó para la colocación de 22 vigas prefabricadas y postensadas en una bodega de la Cervecería Traube. Estas vigas están unidas entre sí por medio de diafragmas en los puntos tercios.

COLOCACION DE VIGAS PARA PUENTES.

Para la movilización y erección de vigas para puentes, es necesario el uso de un equipo pesado, a causa de sus grandes pesos y dimensiones. (Generalmente de 4 a 40 toneladas).

Dependiendo de las condiciones del terreno es posible usar varios métodos para la erección y colocación de las vigas. El método más corriente es el uso de una sola grúa, o en todo caso dos grúas, trabajando una en cada bastión extremo, de tal manera que la viga es fácilmente colocada en su lugar. Fig. 26. Para seguir este método es necesario que ha-

ya facilidad de almacenar las vigas en la base del puente.

En el caso de no poder usar este primer método, la colocación se podría efectuar por medio de dos torres y un sistema de cables como lo muestra la fig. 27, de tal manera, que las vigas que han sido almacenadas al lado de un bastión, son movidas a todo lo largo del puente y colocadas en su sitio.

También son muy usadas las estructuras de acero, que se instalan provisionalmente entre los bastiones, para correr sobre ellas las vigas prefabricadas. Este método fue usado en un puente pretensado en Baroda, India, el cual consiste de 16 claros cada uno de 33.53 mts. dando una longitud total de 536.48 mts. Cada claro está cubierto por dos vigas con una losa vaciada en el sitio. En la fig. 28 se puede ver en detalle la colocación de estas vigas.

Para darle el acabado final a los puentes, se procede a vaciar los respectivos diafragmas y la losa de rodamiento, quedando las vigas trabajando monolíticamente.

APOYO EN PUENTES DE VIGAS PRE-ES-FORZADOS.

El problema del asiento o apoyo de los miembros prefabricados es muy serio en los casos en que las cargas pesadas provocan esfuerzos elevados y rotaciones relativamente grandes en los apoyos. En el diseño de miembros pretensados de luces muy grandes, es necesario un apoyo firme y seguro que permita la rotación libremente y los movimientos de contracción y expansión.

Siempre ha habido mucho empeño en encontrar un material económico y satisfactorio para estos apoyos. Entre los que podemos citar tenemos: la articulación de concreto conocidas como articulaciones Mesnager o Freyssinet, la tabla de fibra asfáltica, los ba-

lancines de acero y las placas metálicas deslizantes con lubricación. No se podría decidir cual es la más conveniente ya que en todas se puede encontrar alguna cualidad observable, sea por su funcionamiento pobre o por falta de economía.

Las cualidades que debe tener un apoyo para que pueda considerarse adecuado son:

- 1) permitir una transferencia suave y uniforme de la carga de la viga a la subestructura,
- 2) permitir la rotación de la viga debido a la deflexión que sufre bajo carga, y 3) permitir los movimientos longitudinales y laterales de la viga causadas por las fuerzas térmicas.

Además, el soporte debe ser económico, duradero, seguro, y debe poder mantenerse con facilidad, o mejor aún, no necesitar mantenimiento alguno.

En los últimos años el departamento de carreteras de Texas, ha diseñado una placa

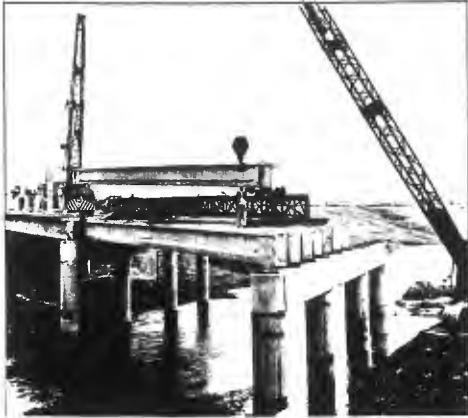


Fig. 26



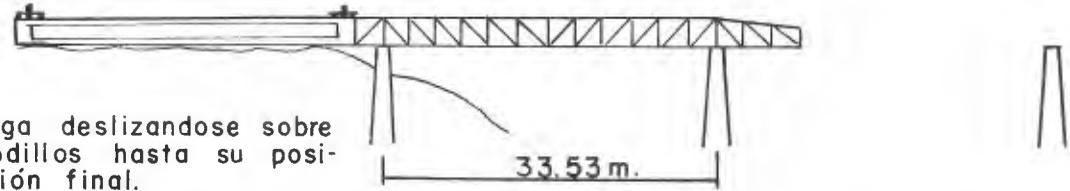
Fig. 27

1 ETAPA: armadura auxiliar de acero se desliza sobre rodillos.

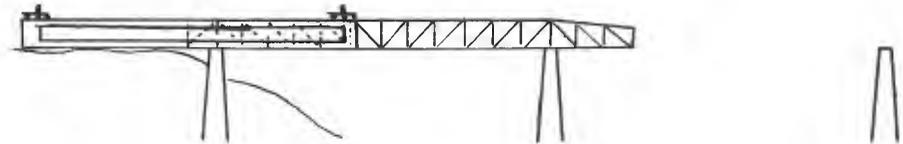
pluma y malacate para halar la armadura



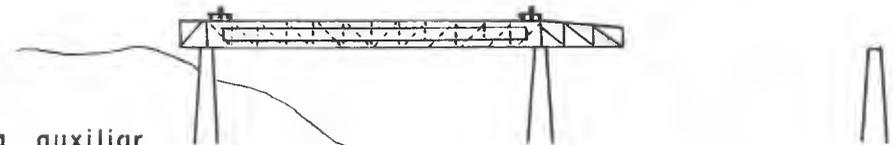
2 ETAPA: viga de concreto pretensado sobre la vía de acceso.



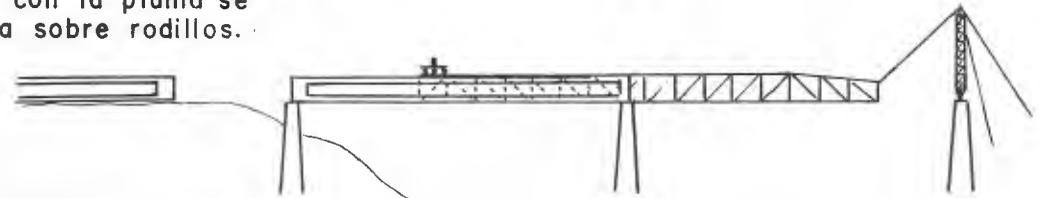
3 ETAPA: viga deslizando sobre rodillos hasta su posición final.



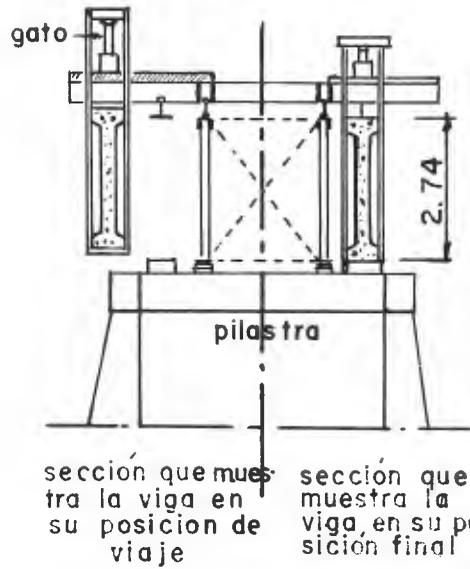
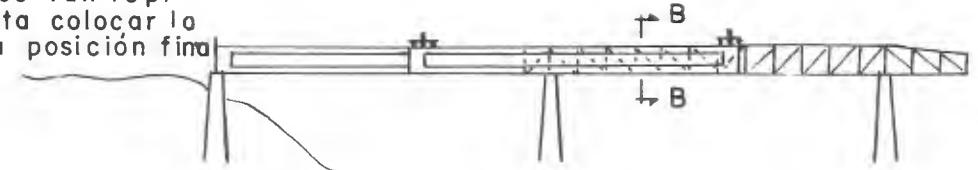
4 ETAPA: viga en su posición final



5 ETAPA: la armadura auxiliar halada con la pluma se desliza sobre rodillos.



ETAPAS SUCESIVAS: las operaciones antes indicadas se van repitiendo hasta colocar la viga en su posición final



CORTE B-B

Fig. 28. Colocación de vigas en un puente.

de neopreno para utilizarla como material de apoyo en viga de concreto pretensado, que parece dar una solución satisfactoria a este problema.

Estos asientos de neopreno están hechos de un caucho sintético de alta graduación, muy resistente al petróleo, a los rayos del sol y a la intemperie, además de ser económicos. Las pruebas realizadas con este material han dado resultados muy satisfactorios.

X- PROYECTO DE UNA FABRICA DE CONCRETO PRETENSADO EN COSTA RICA.

Los estudios para la construcción de una planta de concreto pretensado lo inició la compañía Pretensora de Concreto, S.A., constituida para introducir en el país los sistemas de concreto tanto postensado como pretensado.

Esta compañía trabajó por espacio de año y medio en el sistema de concreto postensado, habiendo tenido gran éxito en todas

sus obras entre las cuales puedo citar: el balcón del Cine Rex, puente sobre el río Torres en la Urbanización Tournón, puente sobre el río Cañas, vigas para bodega de la Cervecería Traube, vigas de piso para oficinas en el Plantel Central del Ministerio de Obras Públicas, etc.

Para poder lograr el propósito de construir la planta de pretensado, hubo la necesidad de constituir una empresa más fuerte, siendo por este motivo que se unieron las empresas Fábrica de Tubos Vibrapack, Productos de Concreto Ltda. y Pretensora de Concreto S.A., quedando constituida una sola con el nombre de Productos de Concreto Ltda. la cual ha llevado con todo éxito la realización de este proyecto.

SITUACION.

El terreno escogido para montar la fábrica está situada en San Francisco de Dos

Ríos, muy cerca del lugar donde se encuentran instaladas la fábrica de tubos, postes, bloques, etc., de Productos de Concreto, lográndose así un mayor aprovechamiento del taller, comedores y oficinas, con que dicha fábrica cuenta.

El terreno está ubicado de norte a sur, con una superficie total de 15.000 mts². Este terreno cumple todos los requisitos de una fábrica de esta índole que son:

- 1) Espacio suficiente para obtener camas de gran longitud.
- 2) Suficiente terreno para almacenamiento de productos y materia prima.
- 3) Espacio para preveer futuras ampliaciones junto a la primera, logrando con esto el uso de los mismos implementos básicos, como serían el gato, los moldes, el monorriel y la mezcladora.
- 4) Facilidades para el traslado de los productos.

UBICACION DE LA PLANTA.

La situación más conveniente para la ubicación de la planta fue de norte a sur, hacia el centro del terreno, para lograr un mejor funcionamiento en lo que respecta al almacenamiento de productos y circulación de camiones. Fig. 29.

Quedaré rodeada por tres de sus costados con suficiente terreno para futuras ampliaciones y almacenamiento, usando la zona sur para la construcción de una planta de bloques de concreto, para suplir los bloques de entepiso que se usan junto con las vigas pretensadas en pisos y techos (ver cap. IX). Tiene esta bloquera una orientación de este a oeste para evitar hasta donde sea posible que los rayos del sol penetren en el edificio. Por estar fuera de esta tesis, no entraré en más detalles sobre esta construcción.

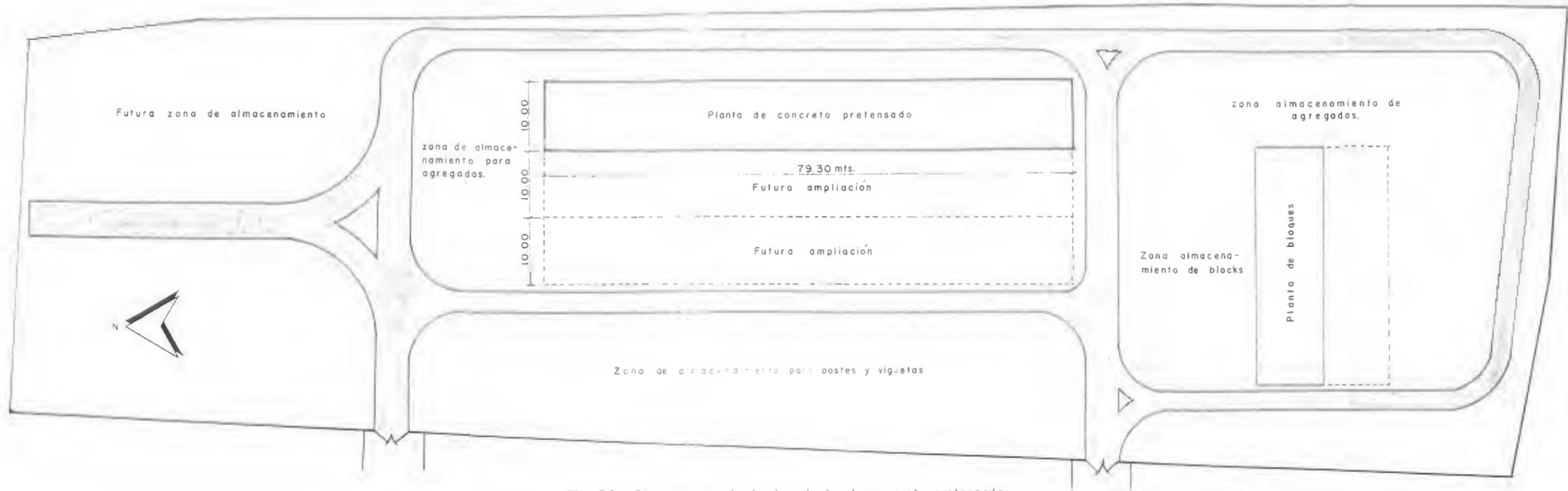


Fig. 29. Plano general de la planta de concreto pretensado.

CRITERIO PARA LA CONSTRUCCION DE LA PRIMERA PLANTA.

La edificación de una planta de pretensado requiere, como se dijo anteriormente, una gran longitud y un ancho suficiente para obtener un conveniente acomodo de los lechos de tensor. Previendo las necesidades del país se llegó a la conclusión que la primera planta constaría de dos camas para la fabricación de poste y otras dos camas para la manufactura de viguetas. Fig. 30.

Cada cama de postes se diseñó para poder fabricar 6 postes de 10 mts. o 4 de 13 mts. Esto da una longitud total de 69.50 mts. para dichas camas.

Las camas para la fabricación de viguetas tiene 60.00 mts. netos de longitud. Estas son medidas standard dadas por las casas alemanas a las cuales se les compró el equipo.

Basado en esto, se diseñó un galerón de 79.39 mts. por 10.16 mts., para dar cabida

a la instalación de la gata, bodega de cemento, mezcladora, cuarto de control e instalaciones sanitarias. No se previó la construcción de oficinas, comedor y taller, por usarse los ya instalados en la fábrica de Productos de Concreto Ltda, desde la cual se llevará todo el control.

Después de un estudio económico, se escogió un galerón con estructura de acero. El techo será en forma de diente de sierra, para lograr obtener luz en las ampliaciones proyectadas.

Esta primera planta contará con un monorriel para el izaje de los postes y su almacenamiento.

CONSTRUCCION DE LOS ANCLAJES.

Para la construcción de los anclajes se realizó un estudio de suelos que dio los siguientes resultados:

Capa de 0.40 mts. inservible.

Cohesión = 1.400 psf.

F.S. = 3 = 3.000 psf.

F.S. = 2 = 4.500 psf.

Peso = 115 # π pie³ (saturado)

Nivel de aguas freáticas = 1.80 mts.

En base de este estudio se realizó el diseño de los anclajes, por la casa alemana que tiene la patente de este sistema, para una fuerza de tensión de noventa toneladas.

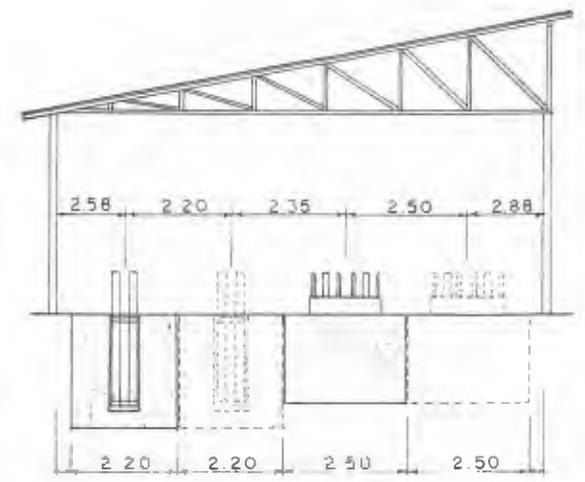
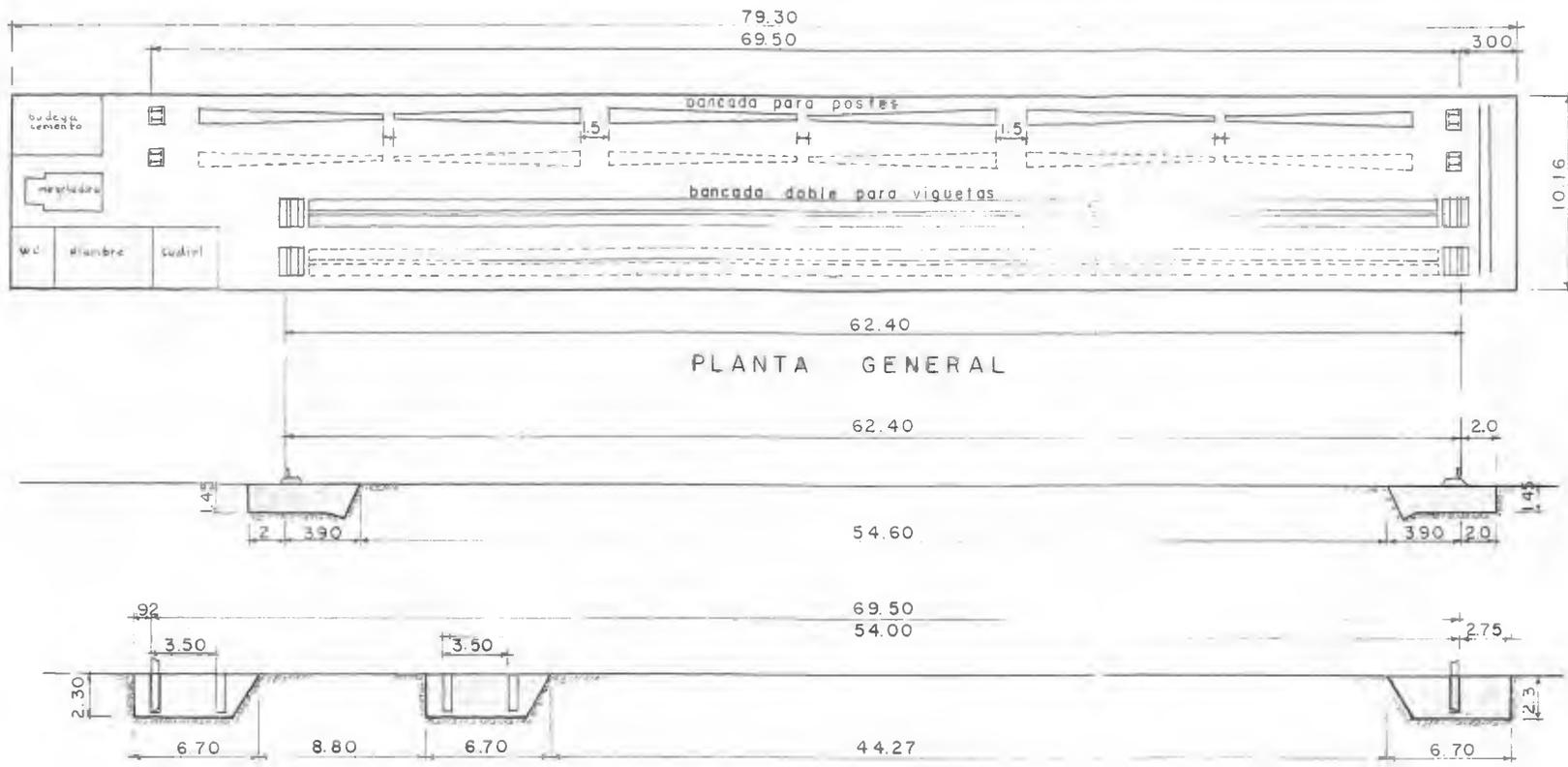
Se previó para los postes un anclaje del lado de tensión y en el extremo fijo se dispuso de anclajes separados quince metros, de tal manera que nos permite una economía en acero al fabricar postes de longitudes diferentes, como por ejemplo, para el caso que se fabriquen solamente 3 ó 4 postes de 13 mts. a 16 mts. cada uno.

Los anclajes para las viguetas están diseñados para soportar cada uno, la tensión para dos bancadas dobles de viguetas.

La excavación de los anclajes debe realizarse lo más cuidadosamente posible, para mantener las dimensiones e inclinaciones tal como se diseñaron. Para evitar presiones de agua se hizo necesario construir en nuestra planta, drenajes a una profundidad de 2.50 mts. en cada anclaje.

El vaciado del concreto debe realizarse en una sola operación, siendo la calidad del concreto para el bloque propiamente dicho, de 2000 lbs π pulg². y para las secciones de apoyo, es decir donde se encuentra las vigas de anclaje, de una calidad de 5000 lbs π pulg²; esta zona se encuentra delineada en los anclajes para viguetas, por las varillas de refuerzo y en los anclajes para postes en la zona que se extiende alrededor de los angulares.

Debe tenerse gran cuidado en el momento de construir los anclajes, de colocar las vigas de anclaje en la posición correcta, es



CORTE TRANSVERSAL DE ANCLAJES

CORTES LONGITUDINALES A TRAVES DE LOS ANCLAJES

Fig. 30.

decir perpendicular y en ángulo recto a la ban-
cada y que las placas de apoyo estén situadas
en los puntos donde se transmiten las fuerzas
de tensión.

El detalle de estos anclajes puede verse en la
fig. 31.

Lo más conveniente para la construc -
ción del piso de la planta, es una losa de con -
creto que sea suficientemente resistente para
trabajar sobre él con piezas pesadas. Además
resulta muy conveniente para la colocación de
los zócalos sobre los cuales se fijan los mol -
des de las viguetas.

Para los moldes de postes, es necesario -
colocar dos angulares de 8x8cmx8mm. ancla -
dos a la losa a todo lo largo de la bancada.
Las monturas de los moldes van apoyadas
sobre el ala acostada del angular, de tal mane -
ra que permanece sujeta lateralmente, pe -
ro no fija al angular, pues los moldes de los

postes se deben estar moviendo o cambiando,
de acuerdo con el tipo de poste que se fabri -
que.

MOLDES PARA POSTES.

Los moldes escogidos son para postes
circulares huecos y de forma cónica.

Las formas se encuentran montadas en
bases metálicas, que corren sobre rieles y
se ajustan a discreción según la longitud del
poste.

El molde consiste en tres partes: un
molde superior, uno inferior y un núcleo có -
nico de acero. Fig. 32. La disminución del
diámetro de los moldes es constante (15 mm.
por metro lineal); el diámetro menor para la
cúspide es de 13 cm; para la base varía de
acuerdo con la longitud del poste y los mo -
mentos en la base.

En la parte superior de los moldes se encuen -
tran vibradores de alta frecuencia así como

también embudos para vaciar el concreto.

Los diferentes moldes se pueden acoplar unos con otros para lograr los siguientes tipos de postes:

Largo (mts)	Fuerza en la cúspide.
10	200 kg.
10	300 kg.
11	200 kg.
11	300 kg.
12	200 kg.
13	300 kg.

MOLDES PARA VIGUETAS.

Los moldes para las viguetas consisten en un molde inferior fijo de acero, continuo a lo largo de la bancada y moldes laterales removibles, también de acero.

El primero va montado sobre bases de concreto por medio de resortes metálicos que favorecen la vibración. Fig. 33. Los moldes laterales se fijan a la base por medio de brazos. A estos moldes se les acoplan vibradores en

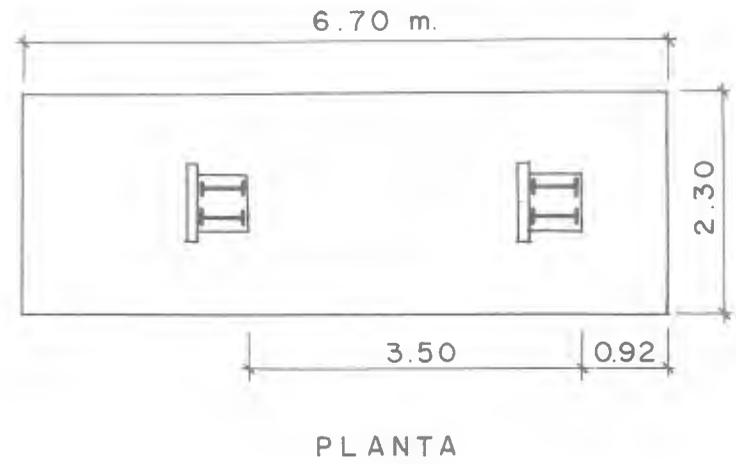
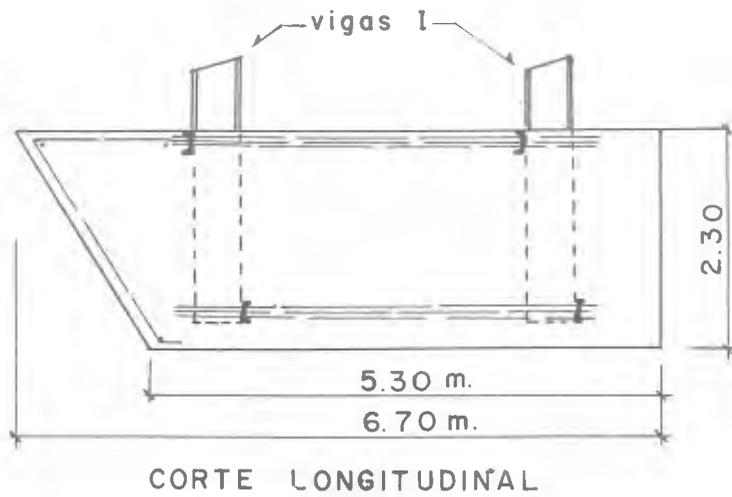
sus bases para acomodar el concreto y se le colocan además piezas metálicas llamadas separadores para determinar la longitud de las viguetas y mantener los alambres en su posición correcta.

Estos moldes presentan las ventajas de poder vaciar viguetas I o viguetas T invertidas, según se requiera. Además el uso de los moldes es más práctico al repetirse el uso de los laterales en una y otra bancada.

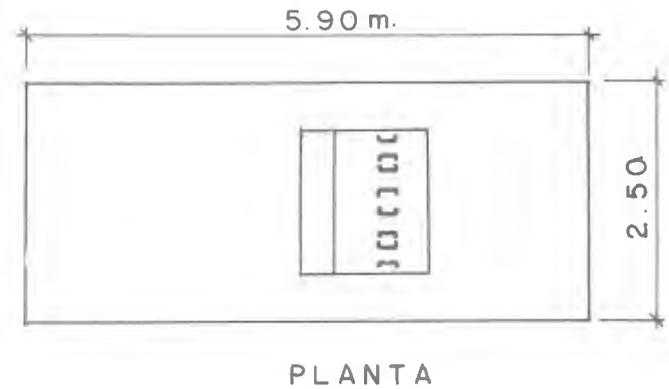
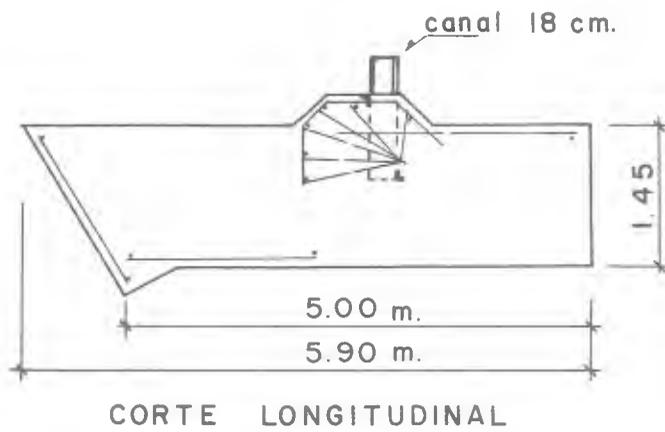
GATO.

El gato hidráulica que se usará en la fábrica, tiene una capacidad de 160 toneladas. Consta de un control automático para variar la altura del pistón hidráulicamente, evitando molestias al tensar cables colocados a diferentes alturas. Fig. 10

La gata corre montada sobre rieles a todo lo ancho de la planta, para atender los diferentes lechos.

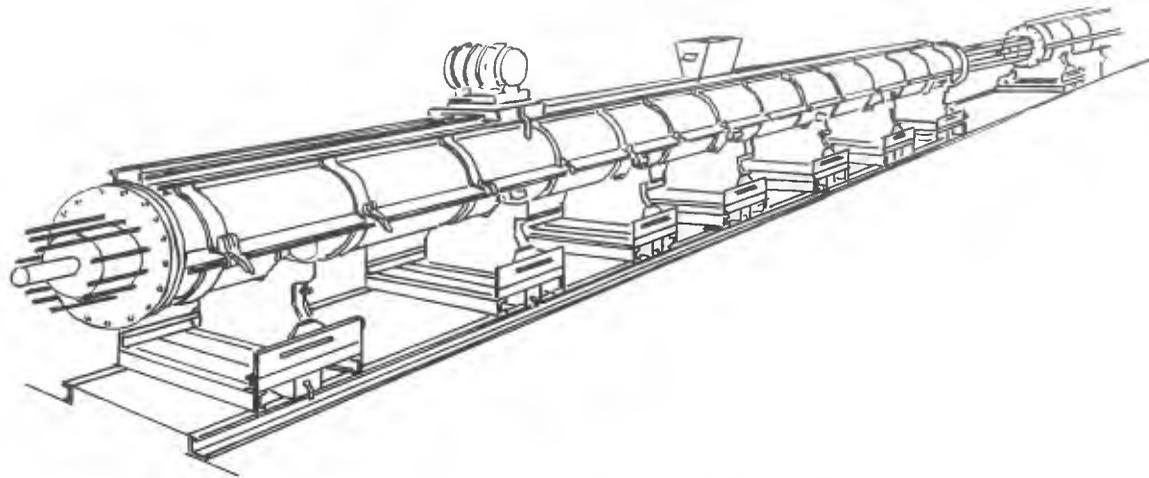


ANCLAJE PARA POSTES



ANCLAJE PARA VIGUETAS

Fig. 31



MOLDE PARA POSTES



POSTES INSTALADOS

Fig. 32.

MEZCLADORA Y BASCULA.

La mezcladora es para concretos secos de alta resistencia. Tiene una capacidad de 375 litros con un tiempo de batida de $1\frac{1}{2}$ minutos.

La mezcladora consiste en un tambor de acero con dos ejes al interior completamente blindados, lo mismo que los brazos y papeletas de mezclar. Es movida por un motor trifásico de 15 CV. para 220\380\660 V.

La mezcladora se encuentra instalada sobre el nivel del piso, de tal manera que el transporte del mortero se realiza con rapidez, cargando las carretillas debajo de la mezcladora. Fig. 34.

Como los concretos usados tienen que ser cuidadosamente preparados, a causa de las altas resistencias necesarias, se dispuso la colocación de una báscula, para la pesa de los agregados.

Esta báscula consiste de un volquete giratorio, montado en una vía de 60 cm. de ancho, con un ángulo de lanzadera de 45 grados. La báscula es toda automática y cerrada herméticamente contra el polvo.

Se instalará de tal manera, que la vía corra a través del sitio de almacenamiento de los materiales y una vez cargada, descargue sobre el cucharón de la mezcladora.

La capacidad de esta báscula es de 1000 kg. con una cabida en el depósito de 600 litros. Fig. 35.

OPERACION DE LA PLANTA.

1) Producción de viguetas.

Al iniciarse el día de trabajo, se procede a transmitir la tensión de los alambres a las viguetas, para ser luego retiradas de los lechos y almacenadas.

Se inicia la limpieza de los moldes y se miden y cortan los alambres a las longitu-

tudes determinadas. (Esta última operación es posible realizarla el día anterior en la tarde). Los alambres se fijan a los dispositivos de anclaje y se tienden a largo de las bancadas para ser inmediatamente tensados. La tensión se chequea cuidadosamente por medio de manómetros y de la elongación del alambre. Se colocan los estribos de hierro convencional de un diámetro de 3 a 5 mm. para fijar luego los moldes laterales. Se vacía el concreto vibrándolo cuidadosamente y después de dos horas se procede a retirar los moldes laterales, empleándoles en el resto de las bancadas.

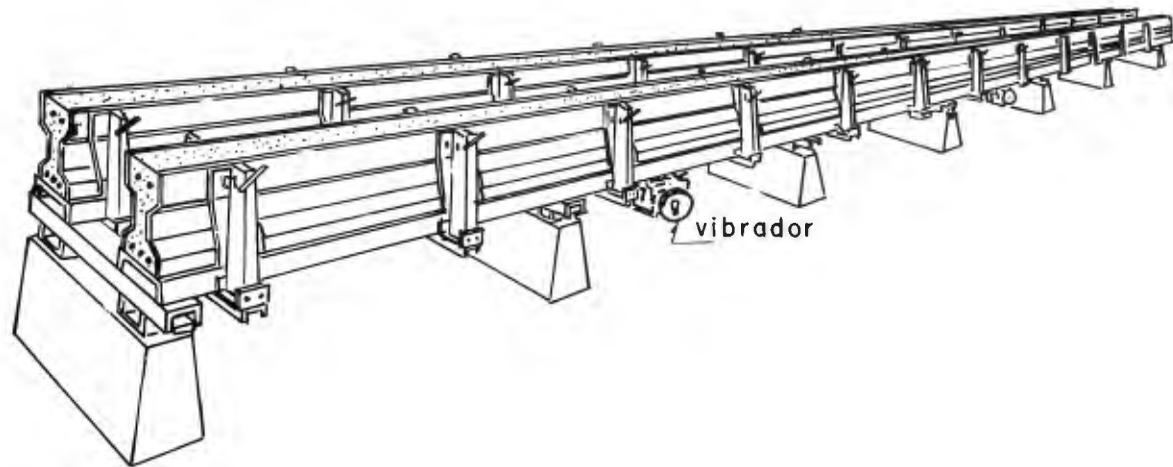
Dependiendo del tipo de curado es posible soltar la tensión de los cables a las 18 ó 40 horas después de vaciado el concreto, para proceder a un nuevo ciclo.

2) Producción de postes.

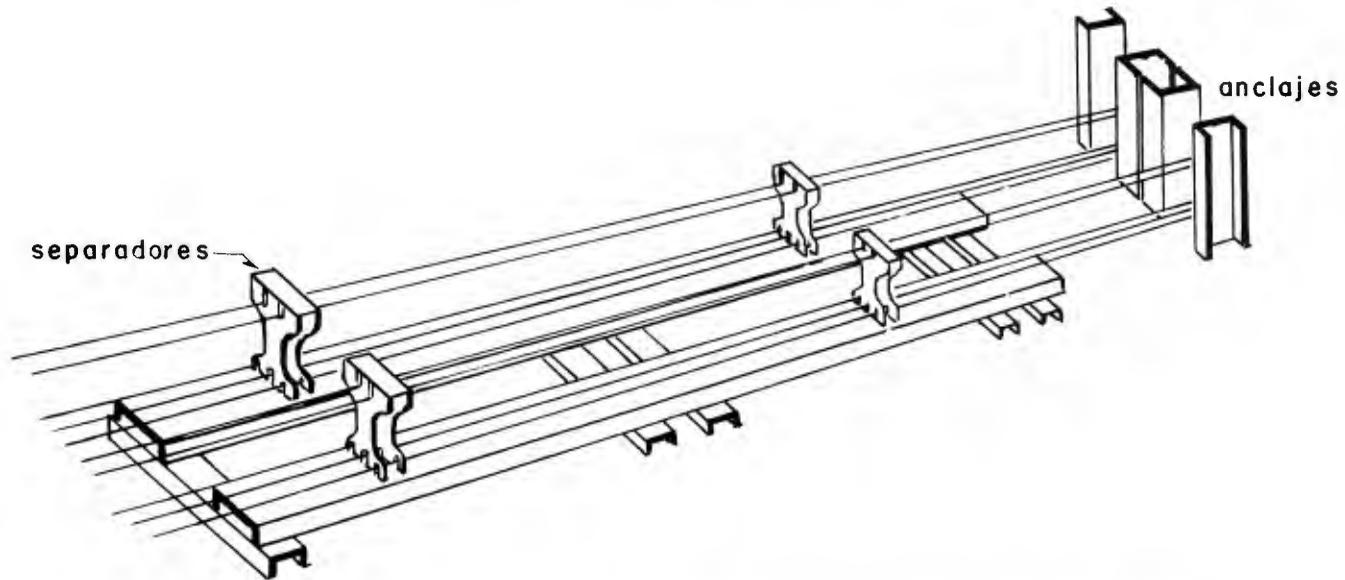
En la fabricación de postes se sigue el-

mismo ciclo que en las viguetas, es decir- en las mañanas se procede a soltar los alambres de sus anclajes y remover los postes para su almacenamiento. Se limpian a continuación los moldes con un aceite especial para formaletas.

Los alambres una vez medidos se fijan en los anclajes; antes de tensarlos se colocan el núcleo de los postes, debidamente engrasado y cubierto con papel para evitar la adherencia con el concreto. Este núcleo se debe centrar cuidadosamente. Una vez realizada la operación anterior, se tensan los cables y se distribuyen los estribos de refuerzo, que consisten en espirales de hierro de 3 a 4.5 mm. de diámetro. A continuación se vacía el concreto y una hora después se retira el molde superior y se afloja el núcleo central. Cuando el concreto ha alcanzado la resistencia suficiente se cortan los alambres y se procede



VIGUETAS EN SUS MOLDES



DETALLE DE COLOCACION DE CABLES

Fig. 33.



Fig. 34 Mezcladora.



Fig. 35 Báscula

a sacar el núcleo.

Esta planta empezará a producir en el mes de diciembre del presente año, siendo esto un avance más en el campo de la ingeniería en Costa Rica, que redundará en un mayor progreso de nuestro país.

BIBLIOGRAFIA .

LIN T. Y. Design of Prestressed Concrete Structures. New York, John Wiley and Sons, 1955. 455 p.

GUYON Y.

Hormigón Pretensado. Estudio teórico y experimental. D. Manuel Osset y D. Renato Bardin. Madrid Editorial Dossat, S.A. 805 p.

MAGNEL GUSTAVE.

Prestressed Concrete. Third Edition, New York, McGraw-Hill Book Company, 1954. 345 p.

BUREAU OF RECLAMATION DEL DEPARTAMENTO DEL INTERIOR DE LOS ESTADOS-UNIDOS.

Manual del hormigón. Angel Sáenz de Heredia. Madrid, Editorial Dossat, 1952. 385-528.

ROY L. PECK, ed. Prestressed Concrete. Concrete Industries Yearbook, 1957 Illinois, 3:1-67. 1957.

PRESTON KENT H.

El costo del hormigón pre-esforzado en los Estados Unidos. Caminos y Construcción Pesada. Chicago, 27-33, Abril 1955.

BARONA DE LA O. FEDERICO.

Durmientes. Caminos y Construcción Pesada. Chicago, 17-20. Sep. 1956.

BARONA DE LA O. FEDERICO.

Agregados ligeros. Caminos y Construcción Pesada. Chicago, 17-27 Junio 1956.

ROBERTS AND SHAEFER COMPANY.

Ed, Precast Concrete. Civil Engineering. New York, 239: 33-37 1957.

A. LEAP ASSOCIATE.

Ed. Prestressed Concrete. Lakeland, Florida, 1957.