
Un Puente de vigas Pretensadas en zona sísmica
sin vigas transversales.

Ing. Carlos E. M. Gandini; octubre de 1987

SUMARIO:

En el presente trabajo se describirá el Proyecto del puente sobre el río Mojotoro en la Ruta Nacional No. 34, Provincia de Salta, actualmente en construcción, que presenta algunas características destacables en su diseño estructural. Se tratarán las consideraciones que llevaron a adoptar la solución de un puente de vigas Prefabricadas Pretensadas con losa de tablero continua y sin vigas transversales, mencionando las variantes de diseño confrontadas. Se analizará someramente el funcionamiento de la estructura, con especial atención a la ubicación del Proyecto en zona de elevada actividad sísmica.

INDICE

1. ENTORNO DE LA OBRA.
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.
3. DISCUSIÓN DE LAS VARIANTES DE DISEÑO.
4. DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES ADOPTADAS.

1. ENTORNO DE LA OBRA.

[Fig. 1: 2]

La Ruta Nacional No 34 cruza el río Mojotoro Pocos metros después de su intersección con el acceso a Salta por la Ruta Nacional No 51, unos 7 Km al Sur de la ciudad de Gral. Güemes.

El cauce del río es sensiblemente plano, de baja profundidad y con barrancas en ambos márgenes. El suelo está constituido por gravas y arenas aluvionales, pero cementadas a niveles razonables de fundación. En la actualidad existe un puente en arcos de la década del 30, de una longitud total de 268 metros y luces parciales de 33.50 metros, en buen estado general, pero con calzada de 6 metros de ancho, escasa para el tránsito que circula.

El puente proyectado se emplaza unos 20 metros aguas abajo del actual. Para evitar mayores interferencias al escurrimiento de las crecientes, se ubicaron las pilas en correspondencia con las de éste, y con las mismas luces parciales. Los estribos del puente proyectado se desplazaron ligeramente hacia el Sur (hacia Salta) respecto de los actuales, con el fin de prevenir un posible futuro efecto de socavación localizada como el que presenta el estribo sur actual.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.

[Fig. 3: 4]

La infraestructura consta de dos estribos similares y de ocho pilas intermedias. La separación entre los estribos y la primera pila es de 20 metros y de 33.5 metros entre pilas (siguiendo los módulos de la estructura existente, según lo dicho) conformando una longitud total de $(20 + 7 \times 33.50 + 20)$ 274.50 metros. Los estribos son cerrados, de pared frontal vertical. Las pilas están constituidas por la viga de coronamiento y por dos pilares que fundan en una zapata combinada.

La superestructura consiste en tramos simplemente apoyados formados por cuatro vigas longitudinales prefabricadas pretensadas en banco y posteriormente posicionadas, sobre las que se extiende una losa de 20 cm de espesor constante. Esta losa tiene juntas de dilatación transversales cada tres tramos de puente, es decir, aproximadamente, cada 100 metros de longitud. Consecuentemente forma en los encuentros de tramos sin junta losas de continuidad o losas-fuelle, con el mismo espesor y sin otros elementos estructurales adicionales.

3. DISCUSIÓN DE LAS VARIANTES DE DISEÑO. [Fig. 5]

En este análisis se Partirá de la decisión tomada de Proyectar una superestructura compuesta de vigas longitudinales Prefabricadas. Los motivos que conducen a este tipo de solución son suficientemente conocidos. En el caso Particular del Puente sobre el Río Mojotoro, la baja altura sobre el lecho de la rasante del Proyecto favorece especialmente la alternativa de construcción con elementos Prefabricados.

Además de las ventajas conocidas, mencionemos también como beneficio de la aplicación de este método constructivo, el acortamiento del camino crítico de la construcción al Poder realizar bajo techo una Parte de las obras, independizándose del clima exterior y Poder superponer las tareas de ejecución y Pretensado de vigas con otras tareas de terraplenado y ejecución de estructuras fijas no Prefabricables (estribos).

Desde el punto de vista financiero, no es despreciable, especialmente cuando la capacidad financiera de la empresa contratista es pequeña, la consecuencia de obtener ésta un mayor flujo de capitales en etapas iniciales de la obra (ejecución de las vigas en forma casi industrial) que se podrá reinvertir inmediatamente en otras tareas.

Estos conceptos fueron confirmados en la licitación, en que la única variante al Proyecto oficial (una estructura Pretensada continua in situ) no resultó más económica.

Adoptada, entonces, esa alternativa, los temas de discusión que surgen de las variantes de Proyecto Pueden agruparse según sigue:

- a) sistema de repartición transversal de cargas entre las vigas longitudinales.

(con o sin vigas de repartición transversal de cargas. En el Primer caso: de hormigón armado o Precomprimido)

- b) sistema de vinculación de los tramos entre sí.

(tramos simplemente apoyados o continuos. En el Primer caso: con junta de dilatación o con losa de continuidad entre tramos. En el segundo: con adición de armadura Pasiva en la losa o con la disposición de cables de Pretensado entre tramos -cables 'sombbrero'.)

c) sistema sismorresistente general.

(concentración de la reacción de la estructura en cada elemento directamente afectado -Pila o estribo- o transmisión de la acción a elementos resistentes de mayor capacidad de carga -estribos cerrados.)

Pasamos a tratar separadamente las variantes mencionadas para cada caso, indicando las soluciones finalmente adoptadas, que se comentarán posteriormente.

3. a) Repartición transversal [Fig. 6; 7; 8; 9]

En puentes de vigas longitudinales prefabricadas se suelen disponer vigas transversales sobre los apoyos ('extremas') y en la mitad y a veces cuartos de las luces ('intermedias'). Por costumbre constructiva y sin merecer esto un mayor análisis.

Las primeras se prevén para proveer estabilidad transversal al conjunto, al quedar formado un 'tabique' extremo que transmite toda carga horizontal inmediatamente a los apoyos. También suelen servir de punto de apoyo de gatos hidráulicos para el levantamiento provisorio de la superestructura para el recambio o reparación de los apoyos.

Las segundas se prevén para la 'repartición transversal de las cargas', esto es, para mancomunar el funcionamiento de todas las vigas longitudinales bajo el efecto de cargas puntuales o asimétricas. Es decir, inicialmente se supone que todas las vigas participan de la reacción a cargas puntuales o excéntricas produciéndose en el tablero desplazamientos o giros rígidos. Esta hipótesis, luego, se 'asegura' con la disposición (generalmente en forma intuitiva) de vigas transversales en lugares adecuados.

Estudios teóricos realizados del tema (citándonos, siempre, a puentes rectos) señalan la real efectividad de un diafragma ubicado debajo de una carga concentrada para repartir la carga a las vigas. Pero este diafragma debería, prácticamente, estar ubicado siempre debajo de la carga. Caso contrario, su pérdida de efectividad con la distancia lo hace prácticamente inútil.

Las Fig. 6; 7; 8 muestran esto gráficamente por simple comparación: el efecto de una viga transversal en el centro del tramo no influye mayormente en la distribución de cargas en los cuartos de la luz.

La Fig. 9 muestra el efecto de la variación de la rigidez de una supuesta viga transversal central en su capacidad de repartición de cargas. Se aprecia que es necesaria una elevada rigidez para que aun la acción localizada se manifieste. Refiérase respecto de esto a lo que se expresa mas adelante sobre la pérdida de rigidez de las vigas de hormigón armado. [Más adelante se explica el significado de las abreviaturas y del esquema de las figuras.]

Una evolución en el sentido de la verdadera utilidad de estos diafragmas puede notarse en reglamentaciones de los Estados Unidos, que van exigiendo, con el tiempo, una separación mínima entre ellos mayor.

Estas consideraciones técnicas suponen, claro está, un elemento transversal ciento por ciento eficaz, lo cual no se aproxima a la realidad en el caso de las viguetas, que normalmente se realizan por tramos entre las longitudinales, en hormigón armado, habiendo dejado previamente empalmes en las vigas prefabricadas. Contra su eficacia actúan la contracción del hormigón, el desplazamiento por empalmes, las fisuras de trabajo del hormigón armado y -last but not least- la poca calidad alcanzable por las dificultades constructivas. El pretensado aparece, en cambio, como una alternativa adecuada.

La otra alternativa, finalmente adoptada, es la supresión de las vigas transversales, que ya tiene precedentes en estructuras de Estados Unidos y Europa, donde no se han manifestado efectos adversos. Esto requiere un tratamiento especial en el cálculo de la losa, que pasa a ser el principal (no el único, según se verá más adelante) elemento repartidor de cargas, y la consideración de una pequeña sobrecarga en las vigas longitudinales.

3. b) Vinculación entre tramos.

Son bien conocidas las variantes de diseño que se le presentan al proyectista en cuanto a la vinculación de los tramos de puente que inicialmente son independientes entre sí como consecuencia del método constructivo.

La Primera variante de Vinculación es su no-vinculación, es decir, la disposición de juntas de dilatación entre cada tramo. La mayor desventaja -dejando de lado la incomodidad Para los usuarios, especialmente en Puentes largos de tramos cortos- la constituye la merma de durabilidad en zonas aledañas a las juntas: en efecto, éstas 'atraen' elementos nocivos al hormigón tanto en la interfase acero- (el material más común en los bordes de juntas) -hormigón, como en las zonas de la infraestructura ubicadas Por debajo de ellas.

Una segunda, que tiene el atractivo de 'transformar' a la estructura biarticulada en continua, es la que se suele denominar 'continua Por armadura Pasiva en el tablero'. En ésta se confía el Paso de la compresión que Produce el momento negativo de apoyos a una viga transversal que une los talones de las vigas Prefabricadas y de la tracción a armadura Pasiva dispuesta en el tablero sobre los apoyos.

A esta solución se le oponen, sin embargo, varios reparos. En efecto, Para que este esquema de funcionamiento se active es necesario el estrecho contacto entre los bordes de talones de vigas consecutivas (a través de la viga transversal). Esto es impedido Por varios factores: el acortamiento longitudinal Por fluencia lenta de las vigas debido a la carga de Pretensado actuando Permanentemente; la retracción de la viga transversal; el acortamiento debido a la concavidad que Producen las variaciones diferenciales de temperatura diarias (el tablero tiende a combarse hacia arriba en los tramos).

Se deja constancia que la observación de este fenómeno en Puentes realizados según este criterio es controvertida, existiendo estructuras que no manifiestan Problemas. Aquí, también, el Pretensado (cables 'sombbrero' sobre los apoyos) representa una alternativa adecuada.

Además, en el Proyecto que nos ocupa, el eventual -según dicho- beneficio que aportaría esta segunda alternativa resulta Particularmente Pequeño debido a la menor importancia relativa de las sobrecargas de uso respecto del peso Propio de la estructura, conviniendo diseñar el tiro de Pretensado Para el momento flector de viga biarticulada antes que disponer armaduras Pasivas de dudosa efectividad en el tablero.

La solución consistió, entonces, en hacer continua solamente la losa del tablero mediante las llamadas 'losas de continuidad' o 'losas-fuelle'. Ésta es, simplemente, la continuación de la losa del tablero Por

sobre el vano que se forma entre cabezas de vigas longitudinales consecutivas. En esta zona particular deben analizarse detenidamente las solicitaciones tanto por cargas directas de tránsito como por cargas de coacción provocadas por desplazamientos y giros diferenciales de los tramos concurrentes a una línea de apoyos.

3. c) Sistema sismorresistente. [Fig. 10]

Resueltas las cuestiones anteriores, se planteó la dificultad de bajar las cargas horizontales de viento y de sismo transversal desde su punto de aplicación hasta los apoyos o lo que es lo mismo, como dotar de rigidez transversal a la estructura, debido a la falta de arriostres transversales.

Las fuerzas de inercia de sismo se concentran en el centro de gravedad de la estructura sobre apoyos elásticos y deben bajarse hasta ellos.

El momento de estas fuerzas queda, en general, absorbido por las vigas transversales extremas actuando como riostra de borde. Y falta de estos elementos en el presente proyecto se hizo necesario armar un 'Pórtico' entre los extremos de vigas transversales y el refuerzo de losa dispuesto en las juntas de dilatación -o con la losa de continuidad- según el caso. La Fig. 10 muestra su ubicación y el esquema de barras para computadora utilizado para el cálculo.

Para evitar el desplazamiento lateral del tablero, al no poderse confiar enteramente a los apoyos de Policloroetileno, se colocaron topes antisísmicos transversales (en correspondencia con cada viga, al no estar vinculadas entre ellas a nivel de los talones).

Se planteó además, el modo de resolver la distribución de las fuerzas inerciales longitudinales entre pilas y estribos. Esto se comentará más adelante.

El análisis sismorresistente en Puentes cuenta en la Argentina con reglamentaciones aún poco elaboradas. En efecto, las Normas Antisísmicas Argentinas (N.A.A. 80) cuentan con un apartado sobre Puentes, pero el Reglamento C.I.R.S.O.C., con modernas Prescripciones de cálculo en estado último, no tiene, por el momento, su correspondiente sección.

Frente a esta situación se decidió aplicar el reglamento más nuevo -el C.I.R.S.O.C.- aun cuando no cuente con Prescripciones específicas Para Puentes, y realizar un estudio especial.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES ADOPTADAS.

4. a) Repartición transversal de cargas sin vigas transversales. [Fig. 11; 12]

La ausencia total de vigas transversales en el Proyecto del Puente sobre el Río Mojotono hace que el estudio de este tema apunte al dimensionamiento de la losa de tablero en su doble función de trasladar las cargas verticales a las vigas y de repartir las cargas entre las vigas longitudinales y, simultáneamente, a la evaluación del recargo o sobrecarga que sufren éstas, debido a la relativa efectividad del sistema.

Se analizará Primeramente el valor de la carga a distribuir, es decir, el significado de la Aplanadora de Vialidad Nacional y de su ubicación. Los mecanismos de respuesta estructural y la forma de evaluar las solicitaciones que Provocan y, finalmente, se describirán los diagramas de solicitaciones obtenidos en el Proyecto.

- Significado de las cargas reglamentarias de Vialidad Nacional y modo de colocarlas en el cálculo.

Para estudiar los estados de carga que producirán un máximo de cargas descompensadas a considerar, es bueno recordar el significado de las cargas convencionales que establece el Reglamento de Vialidad Nacional.

No se trata, como en otras normas, de asemejar o simular las cargas reales que comúnmente circulan por los caminos sino de estimar cargas ficticias que puedan de alguna forma Prever no sólo el efecto del tránsito normal, sino Principalmente el de eventuales cargas excepcionales (transformadores, turbinas, etc.) -que son las que, en definitiva, más exigen a la estructura- y de cargas futuras, motivadas por el constante desarrollo de la tecnología de transporte.

Así, la carga distribuida de 'multitud compacta' proporciona la parte medular del valor de carga total sobre el Puente y, la aplanadora, una estimación de cargas concentradas en pequeñas superficies. Su desplazamiento transversal sobre la calzada da, también, una idea de la posible descompensación de cargas.

En la Fig. 11 se muestra una Planta del tablero y en la Fig. 12, un corte transversal del mismo, donde se ubican las cargas de los estados de carga básicos, que posteriormente se combinarán para componer los reales.

Notación:

G: Cargas Permanentes de Pesos Propios

L: Peso Propio de losa

V: Peso Propio de vigas

B: Peso Propio de carpeta de rodamiento y terminaciones de bordes

P: Sobrecarga de uso de multitud compacta

Subíndices:

- 1: ubicada simétricamente respecto del eje longitudinal
- 2: ubicada asimétricamente (de un solo lado del eje)
- 0: Valor multiplicado por el coeficiente de impacto

A: Carga de aplanadoras (Rd: rodillo delantero)
(Rt: rueda trasera)

Primer subíndice:

- 1: ubicada en el centro del tramo
- 2: ubicada en el cuarto de la luz del tramo
- 3: ubicada en el octavo de la luz del tramo

Segundo subíndice:

- 1: ubicada simétricamente respecto del eje longitudinal sobre las vigas centrales
- 2: ubicada simétricamente respecto del eje longitudinal sobre las vigas laterales
- 3: ubicada asimétricamente (de un solo lado del eje) sobre una viga lateral

- Mecanismos de carga de la losa sin vigas transversales que producen una repartición transversal de cargas.

[Fig. 13]

Al eliminar las vigas transversales del tablero, es inmediato pensar que es la losa, como elemento estructural ubicado en la posición de aquéllas -si bien de mucha menor inercia-, la que deberá proveer de rigidez transversal al tablero. Éste es, como veremos, uno de los varios mecanismos posibles.

En la Fig. 13 se resumen varios de estos mecanismos:

- Flexión y torsión de la losa.

Ante un descenso relativo de vigas contiguas se manifiesta la rigidez a flexión de la losa. Cuantitativamente, el peso de este mecanismo en el conjunto de todos dependerá de su espesor y de la separación entre vigas.

- Losa como chapa.

La losa es simultáneamente cabeza de compresión de las vigas longitudinales. Cuando una carga (o una línea de carga) actúa sobre una sola de estas, se producen tensiones de compresión localizadas principalmente sobre su eje pero que se extiende a todo el ancho de la losa de tablero por acción de tensiones de resbalamiento en la chapa. Esto activa al resto de las vigas, haciéndolas participar de la resistencia del conjunto. Este efecto suele ser menor que el anterior, pero son posibles valores del orden del 50% del anterior.

- Torsión de la viga longitudinal
 - Por torsión de alabeo libre (Torsión de Saint Venant)
 - Por torsión de alabeo impedido (Torsión Forzada)

La curvatura transversal que se produce al ubicarse descompensadamente las cargas producen giros relativos entre secciones de cada viga. Dependiendo de la existencia o no de viga transversal sobre los apoyos y según se trate de carga puntual o lineal, se movilizará la rigidez torsional de las vigas. Se dan las condiciones para que se produzcan torsiones de Saint Venant y forzadas.

La suma de estos efectos conjuntos suplen efectivamente la acción de las vigas transversales, en la forma como usualmente se disponen.

- Idealización del sistema. Método de cálculo.

[Fig. 14]

Series de Fourier (Girón - Massonet)

Resolución Por computadora de Emparrillado Plano

Resolución Por computadora de Emparrillado Espacial

La aparición de la computadora desplazó el tradicional cálculo de losas Por Series de Fourier, reemplazándolo Por la resolución Por elementos finitos.

Para analizar las solicitaciones en el tablero tanto Para cargas directas como Para cargas inducidas Por la repartición transversal, se ha utilizado en este Proyecto un Programa de resolución de emparrillados de barras, como Primera aproximación a la losa ortótropa que conforma el tablero.

La Fig. 14 representa el emparrillado Plano de barras utilizado Para el cálculo, donde la losa queda suplida Por barras de rigidez equivalente. Se señalan las ubicaciones de la aplanadora en sentido longitudinal.

Un emparrillado espacial ofrece la Posibilidad de tener en cuenta el efecto de la losa-como-chapa, lo que no es Posible con uno Plano. Sin embargo, se ha Preferido, Por simplicidad, la estructura Plano.

Se Procesaron Por computadora los estados básicos y se combinaron.

Para dar una idea de las consideraciones hechas Para el dimensionamiento de vigas y losas, mencionaremos las combinaciones de carga de mayor trascendencia.

MÁXIMO MOMENTO EN VIGAS CENTRALES - MOMENTO EN LOSA

Estado (con multitud a todo ancho y aplanadoras
G+P10+A110: en el centro de tramo sobre las vigas
centrales)

MÁXIMO MOMENTO EN VIGAS LATERALES - MOMENTO EN LOSA

Estado (ídem anterior, Pero con las aplanadoras
G+P10+A120: sobre las vigas laterales)

Estado (con multitud en media calzada y una
G+P20+A130: aplanadora sobre la viga lateral)

MÁXIMO CORTE EN VIGAS CENTRALES

Estado (con las aplanadoras sobre los apoyos y
G+P10+A310 circulando sobre las vigas centrales)
(recuérdese la falta de riostra de extremos)

MÁXIMO CORTE EN VIGAS LATERALES

Estados G+P10+A320 o G+P20+A330.

- Gráficos de Respuesta de la estructura.

[Fig. 15; 16; 17; 18; 19]

Ya se ha hecho referencia anteriormente a la Fig. 9, que muestra la distribución transversal de los momentos flectores de las vigas longitudinales, o sea, su sobrecarga debido a la acción puntual de la aplanadora y su descarga respecto del giro rígido, para multitud y aplanadora ubicadas asimétricamente.

Para dar una idea del orden de magnitud de la sobrecarga de las vigas debido a la falta de riostras transversales, mencionemos que en este caso (luz de 33.5 metros, ancho de tablero de 12 metros) resultó de un 7 %. Este valor aumentará, naturalmente para puentes más cortos y/o más anchos.

Refirámonos ahora a los diagramas utilizados para evaluar las solicitaciones de la losa.

Para ello se han trazado (Fig. 16) Diagramas de Líneas de Cierre de Momentos Flectores de Losa. Como referencia véase en la Fig. 15 el diagrama de momentos de la losa considerada como viga continua de tres tramos con dos voladizos, sobre apoyos rígidos de libre giro.

Demos aquí algunos elementos que ayuden a interpretar estos diagramas.

El aumento de los momentos negativos de los apoyos centrales de la losa a medida que nos acercamos al centro del tramo del puente para el estado G indica que el peso propio sobrecarga las vigas laterales, que se 'cuelgan' de las centrales. Para P1 y R11 (aplanadoras en el centro) el efecto es el inverso.

La descompensación de cargas ocasiona transversalmente giros diferenciales del tablero, que pierde su forma original, originándose momentos torsores importantes dentro de la sección (aquí evaluados solamente como torsión de Saint Venant), que se manifiestan claramente en los saltos del diagrama sobre los apoyos, donde son neutralizados.

Diagramas de momentos flectores totales de losa se representan en las Fig. 17 y 18, para los estados de carga combinados más importantes. Es interesante comparar el estado $G+P10+R110$ con el diagrama para apoyos rígidos de la Fig. 15, verificándose una más favorable repartición de momentos flectores positivos y negativos (funcionamiento similar al de una losa sobre apoyos elásticos).

Este efecto, sumado al reconocimiento de las múltiples responsabilidades estructurales asignadas a la losa y a la consecuente simplicidad de construcción, condujeron al diseño de una armadura principal de losa constante a todo ancho del tablero y del mismo valor arriba y abajo (Fig. 19).

4. b) Vinculación de tramos por losa de continuidad. [Fig. 20; 21; 22; 23; 24]

La concepción de un tablero sin vigas transversales (o con vigas transversales que unan solamente las almas de vigas longitudinales, sin entrar en contacto con las losas, lo cual, para este tema, es suficiente) genera una estructura de losas unidireccionales continuas muy simple y de funcionamiento claro. El diseño de las losas de continuidad o losas-fuelle conviene, entonces, realizarlo sin la disposición de elementos que perturben este esquema.

Esto puede lograrse manteniendo la misma dirección de carga general aun sobre la losa de continuidad. La falta de un apoyo directo queda suplido por el efecto de concentración de tensiones tipo 'hongo' que se produce en la zona de contacto losa-cabeza de viga longitudinal. En el espacio entre cabezas de vigas de tramos consecutivos puede, entonces, armarse válidamente un refuerzo, que actúa como verdadera continuación de la viga longitudinal en cuanto a su efectividad como apoyo de losa.

Las solicitaciones que se originan por los movimientos diferenciales de los tramos adyacentes (fundamentalmente giros, pero también desplazamientos relativos verticales, debido a la rigidez finita de los apoyos de Policloropreno y desplazamientos horizontales) se absorben con armadura colocada en la dirección longitudinal, que trabaja independientemente de las acciones verticales, según hemos visto.

En las Fig. 21 y 22 se describe esquemáticamente el Procedimiento de cálculo aplicado en el caso que tratamos, y en las 23 y 24, la disposición de las armaduras. Aquí daremos solamente, por brevedad, aclaraciones-clave de lo mostrado en ellas.

Fig. 21: - El estado de carga de cálculo del refuerzo consiste en suponer circulando la aplanadora sobre él.

- Para el efecto 'hongo' Pueden verse también Publicaciones de los autores Stiglat y Wíppel (Por ej. Betón Kalénder 1975, Tomo I)

- Los giros de tramos adyacentes se producen, esencialmente, por la acción diferencial de las sobrecargas (P), por las variaciones de temperatura diarias entre borde superior e inferior del tablero, por las deformaciones por fluencia lenta (K) debidas a pesos propios y pretensado y relajación del acero (M), por la contracción del hormigón (S) y otras.

- El frenado en un tramo y las reacciones de los apoyos de Policloropreno originadas en deformaciones impuestas (las mencionadas) producen fuerzas longitudinales que deben pasar entre tramos a través de la losa de continuidad.

Fig. 22: - La evaluación de las sollicitaciones de la losa de continuidad depende directamente de su rigidez flexional. Por lo tanto es necesario establecerlo con buena aproximación, teniendo en cuenta la fisuración, el instante de aplicación y la duración de las cargas.

- Una apreciación de los órdenes de magnitud de los momentos flectores positivos y negativos producidos por los giros en uno y otro sentido lleva a concluir la conveniencia de armar longitudinalmente con la misma armadura arriba y abajo.

Fig. 23: - Nótese la sencillez y simetría del armado.

Fig. 24: - Nótese que los refuerzos se arman simplemente concentrando sobre las prolongaciones figuradas de las vigas longitudinales las mismas posiciones de armadura que constituyen el restante armado longitudinal de la losa, adicionando estribos que las envuelven, y algunos estribos cercanos a los bordes laterales de cada viga.

4. c) Sistema sismorresistente general.

[Fig. 25; 26; 27]

Mediante Publicaciones del I.N.P.R.E.S. se obtuvieron Para la zona de ubicación de la estructura valores de aceleración máxima del suelo y de desplazamientos máximos que sirvieron de factores de reducción Para adaptar terremotos de espectrogramas conocidos (Kern County y El Centro).

Se realizó un modelo matemático de la estructura concentrando masas de comportamientos dinámicos equivalentes. El Proceso de elaboración de este modelo queda suficientemente aclarado en la Fig. 25. La evaluación de las rigideces se realizó con dos hipótesis: material homogéneo Para la Primera y material fisurado (en estado II) Para la segunda.

Un Primer análisis consistió en una Integración Paso a Paso de las ecuaciones del movimiento del modelo Para los diagramas de desplazamientos de los sismos mencionados, modificados.

Como resultado se verificó que los desplazamientos relativos entre los tres grupos de tramos unidos Por losas de continuidad, y entre éstos y los estribos, no eran de tal magnitud que produjesen choques entre los distintos elementos, que restringieran la validez del modelo. Adicionalmente, se obtuvo el valor de las fuerzas inerciales en función del tiempo, cuantificadas como 'corte en la base'.

En segundo término se aplicó el Análisis Modal Espectral, calculándose los cinco modos de vibración del modelo, con sus períodos asociados, y obteniendo un segundo valor de corte en la base. No debe dejar de anotarse aquí que, entrando al diagrama de pseudo-aceleraciones del C.I.R.S.O.C. con el valor del período fundamental (2 seg. en nuestro caso) puede obtenerse una buena Aproximación.

Estos tres valores obtenidos resultaron muy concordantes entre sí.

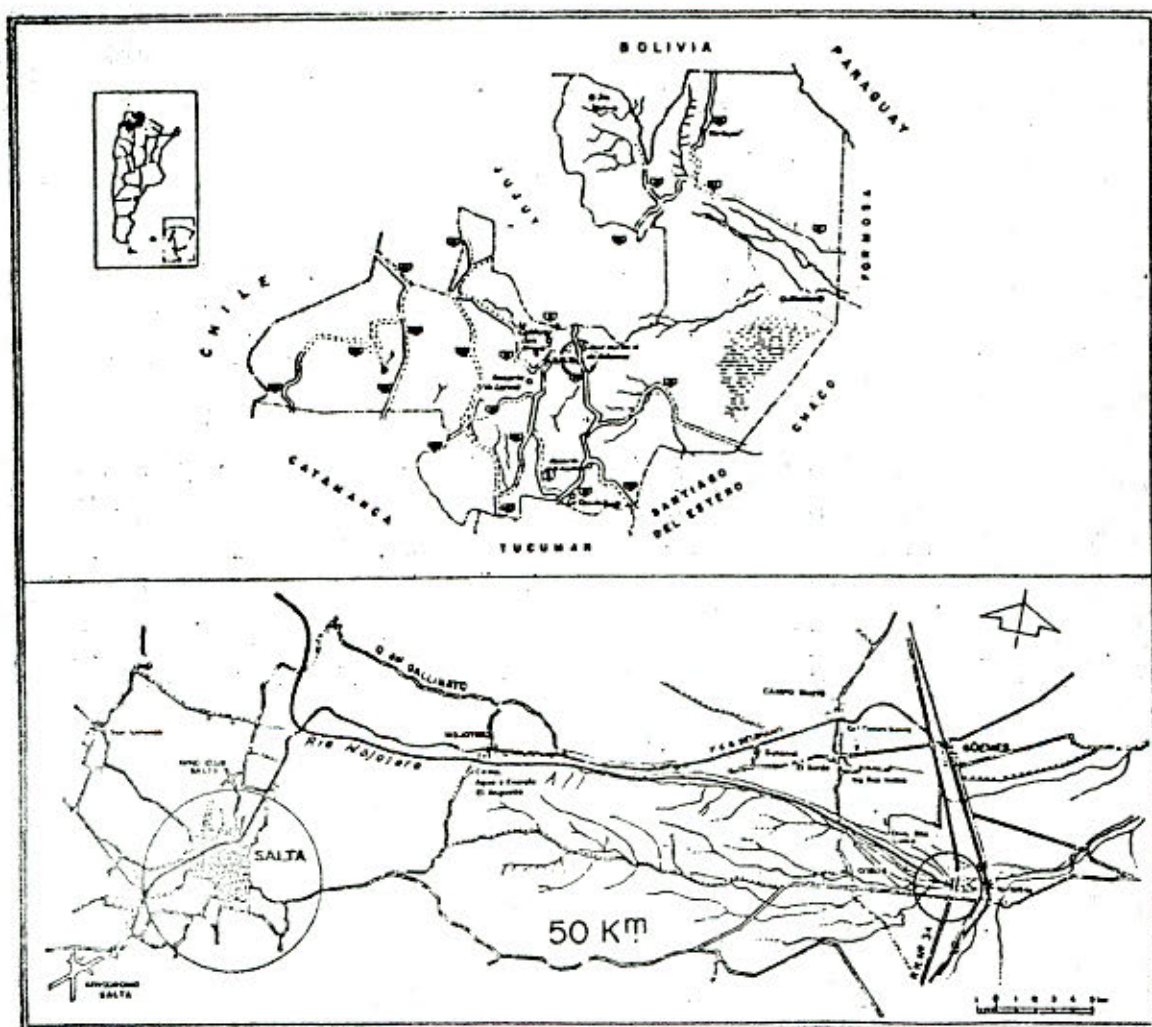
Distribuido el corte en la base entre los distintos elementos del modelo y llevados a la estructura real, se verificó que estribos y Pilas resistieran las sollicitaciones en estado último.

Para dotar, con muy poco costo adicional, de una seguridad adicional contra sismos destructivos al sistema, se dispusieron en los estribos topes antisísmicos longitudinales para el caso de que el puente 'tire' del estribo. Esto evita la eventual caída del tablero por desplazamientos excesivos y promueve el trabajo conjunto de los estribos de ambos márgenes.

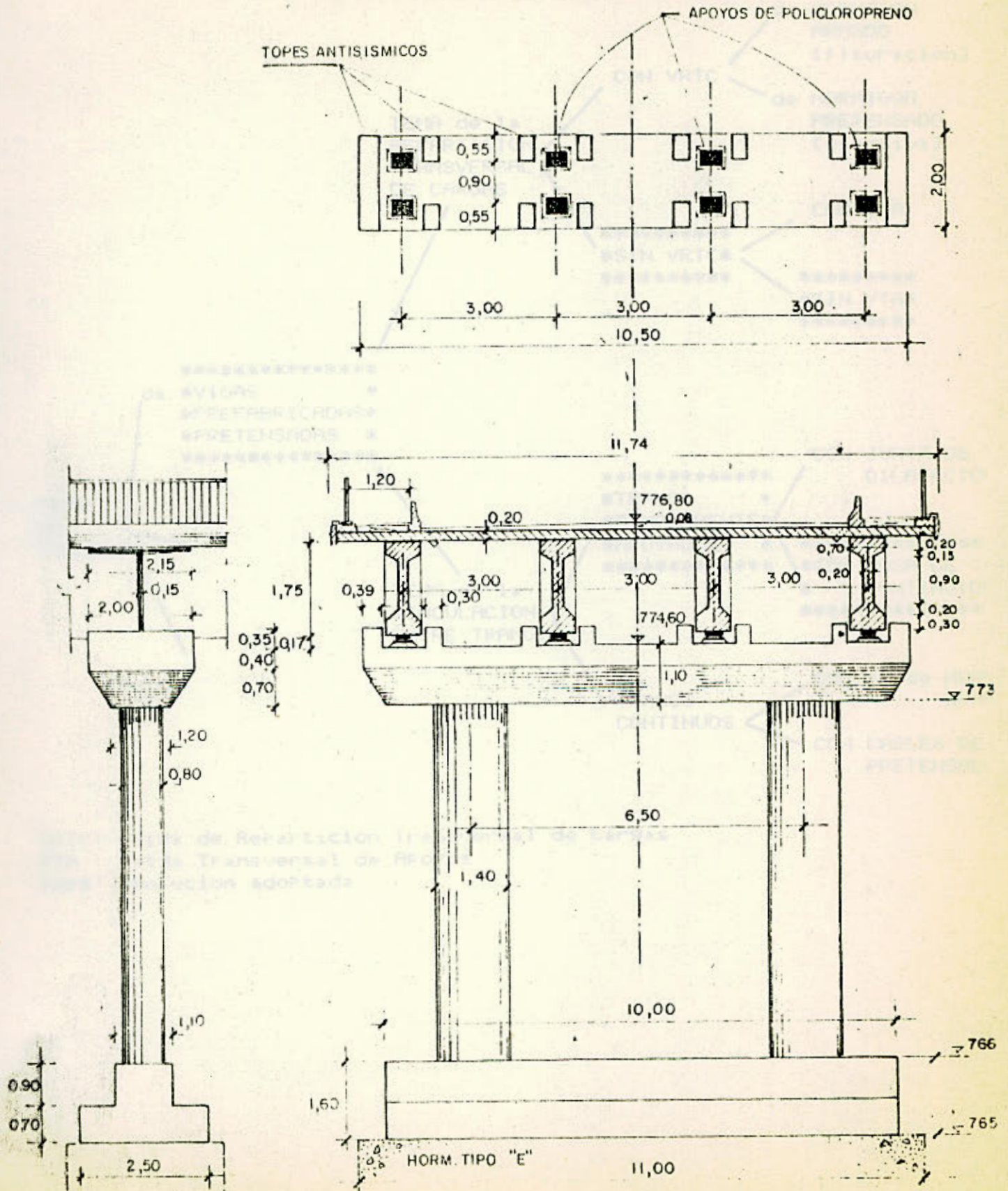
Estos topes están dimensionados de tal forma que, si la fuerza de tiro del tablero sobre el estribo toma valores que pueden ser excesivos para éste, entre en fluencia la armadura que toma esa carga, disminuyendo así la brusquedad del golpe.

La Fig. 26 muestra la ubicación de los topes y la Fig. 27, un detalle.

UBICACION DE LA OBRA



SECCION TRANSVERSAL TIPO

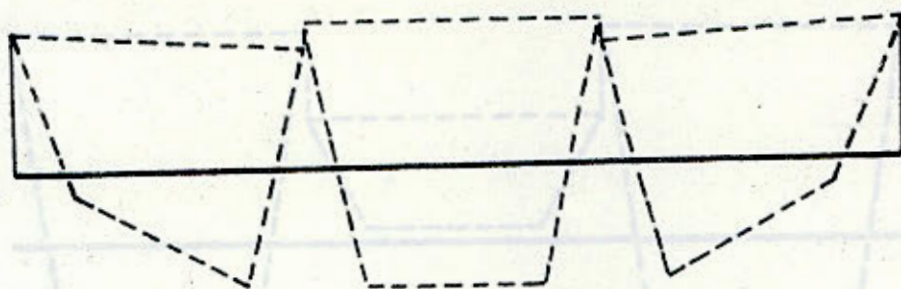


CUARTO (con Rt)

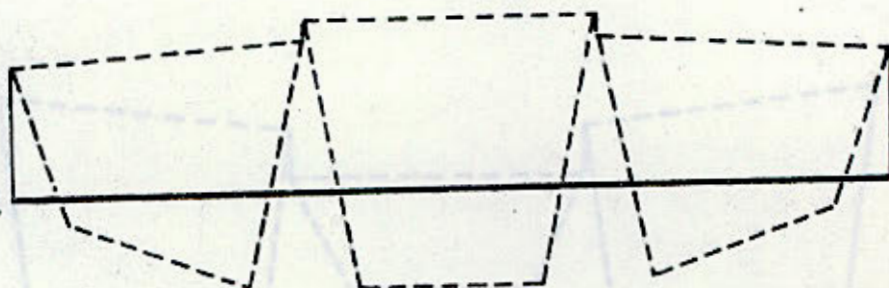
GP1 Ø A21 Ø

GP1 Ø A22 Ø

SIN VIGA TRANSV.



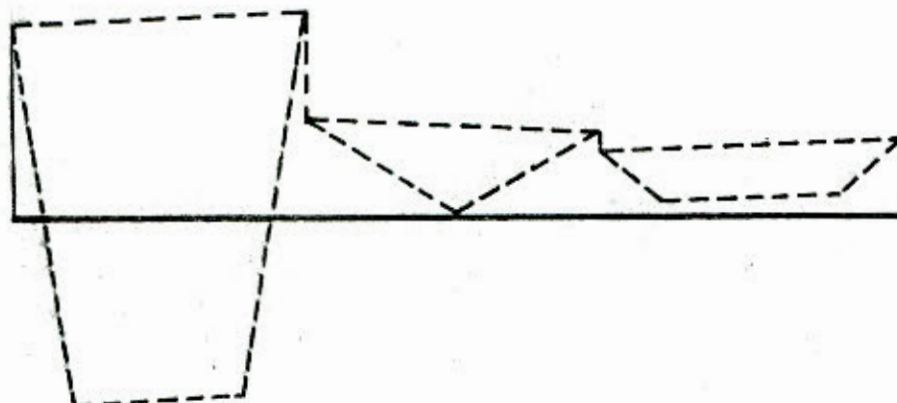
CON VIGA TRANSV.



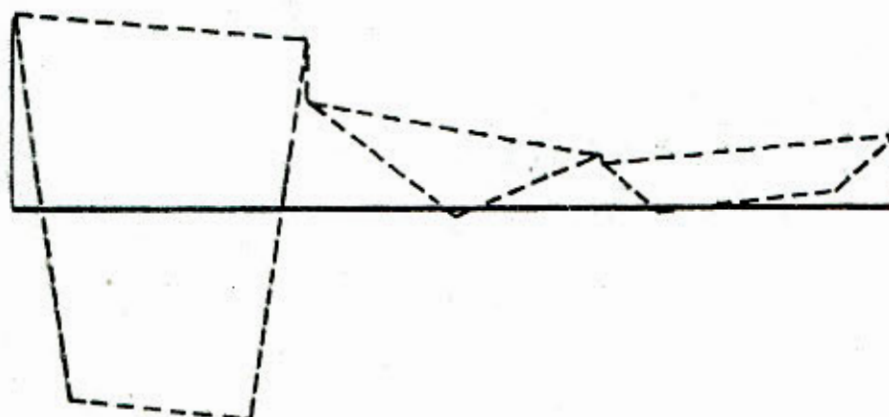
CUARTO (con Rt)

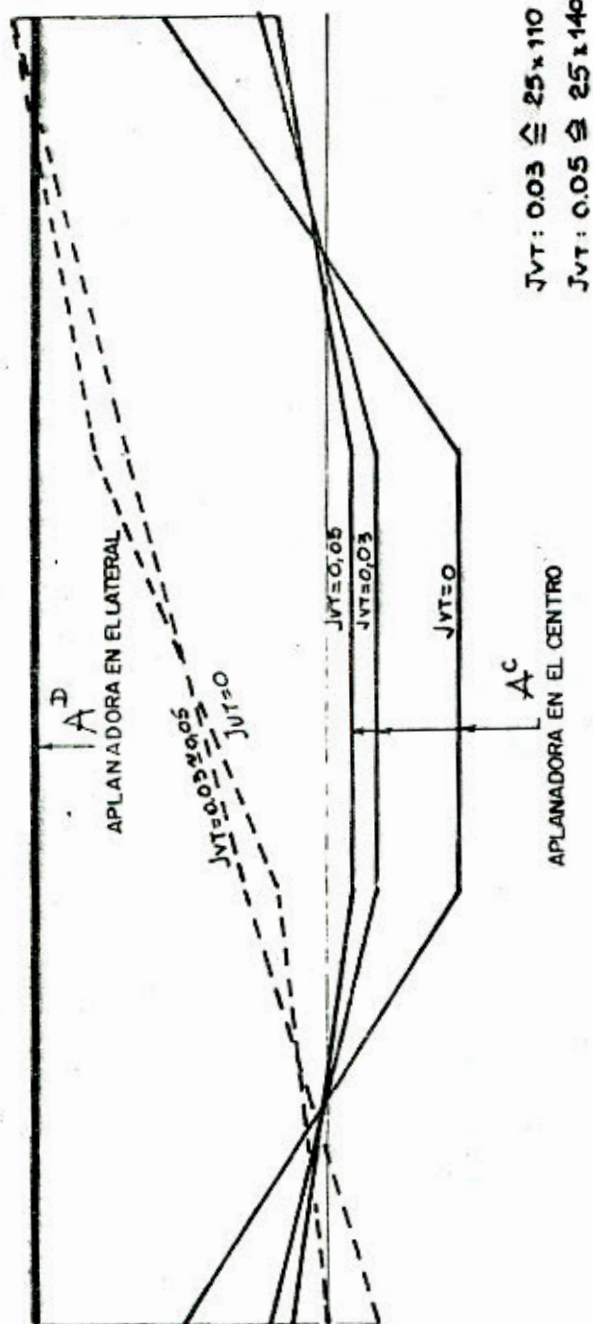
GP₂ Ø A₂₃ Ø

SIN VIGA
TRANSVERSAL



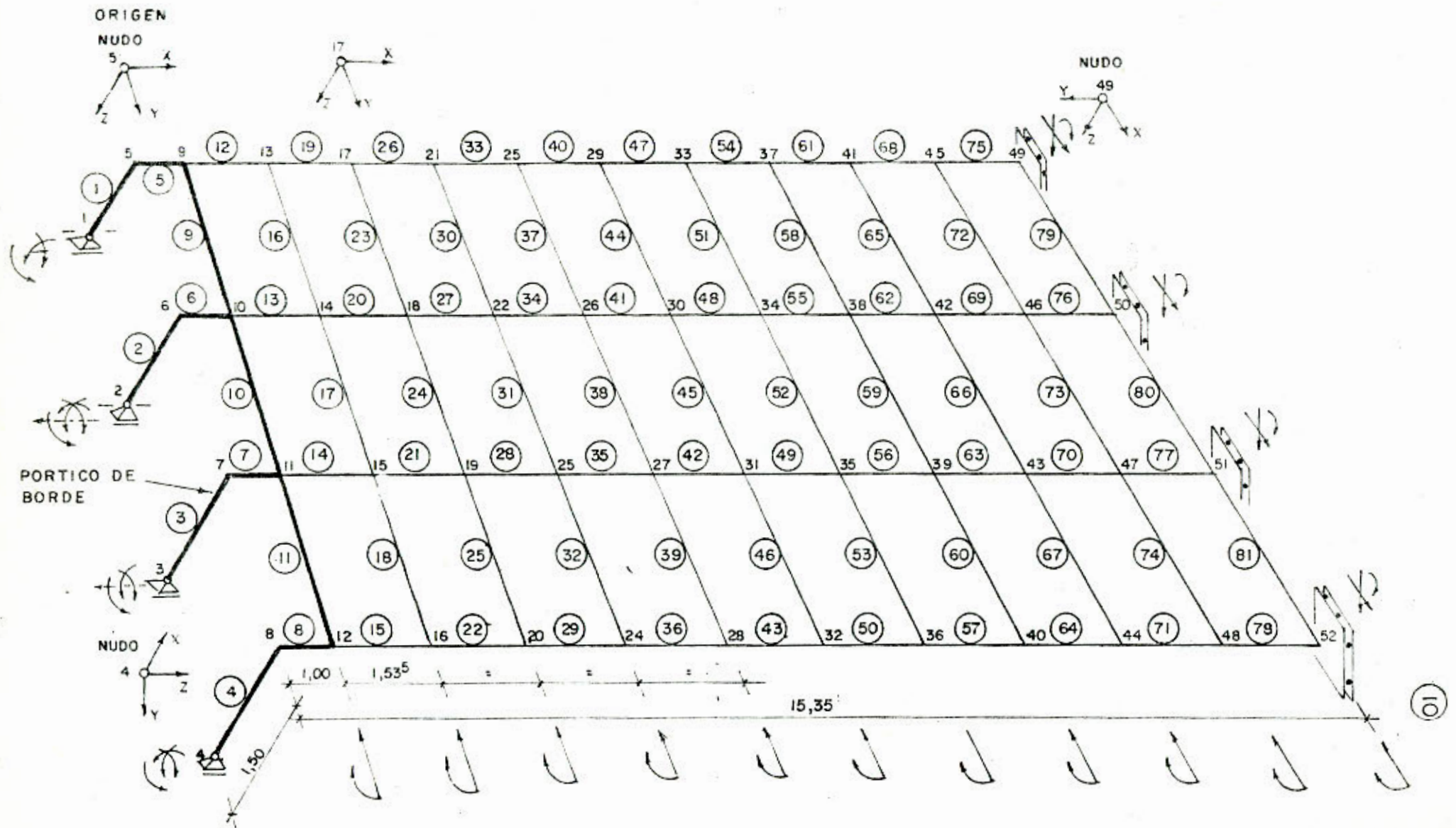
CON VIGA
TRANSVERSAL



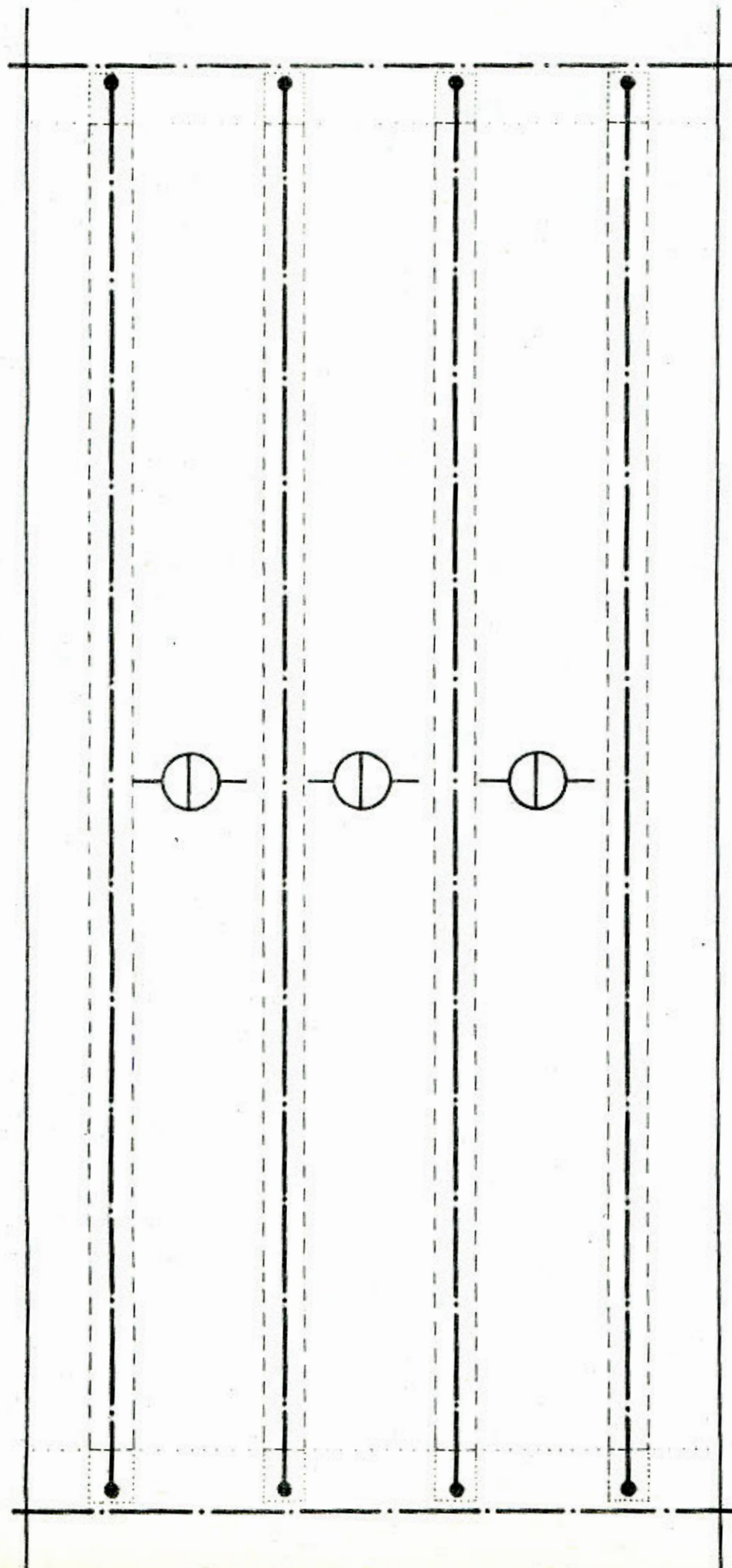


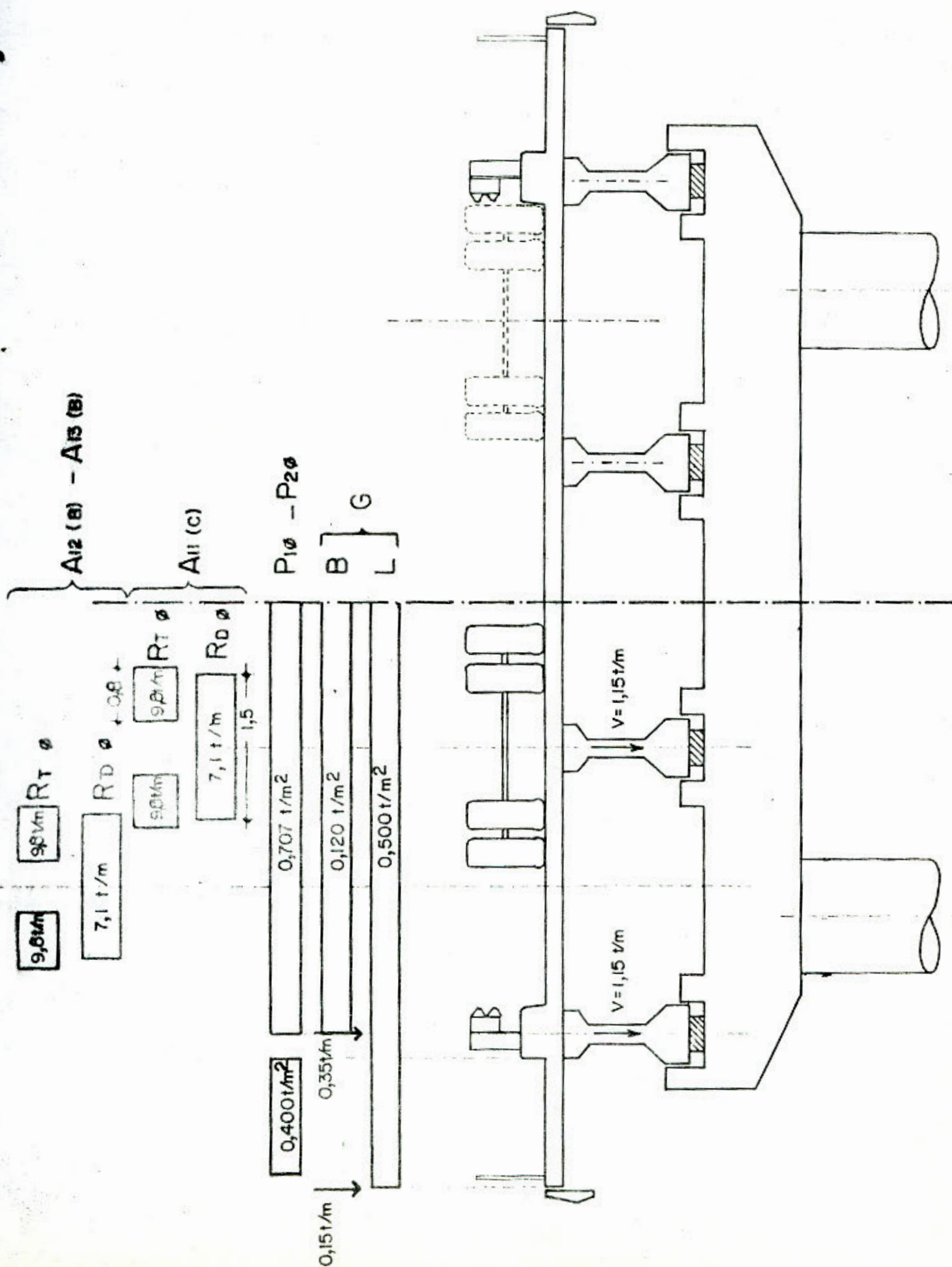
JVT: 0.03 $\leq$ 25 x 110
 JVT: 0.05 $\leq$ 25 x 140

ESQUEMA ESPACIAL DE MEDIO PUENTE



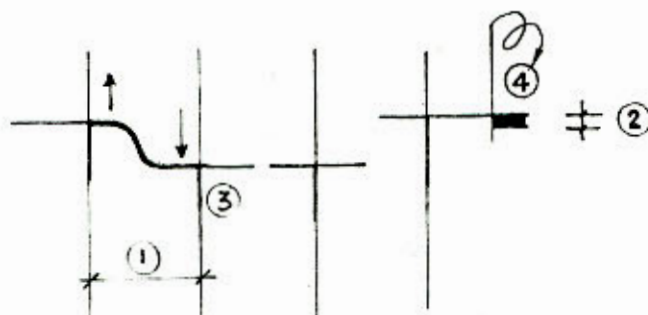
PLANTA DEL TABLERO



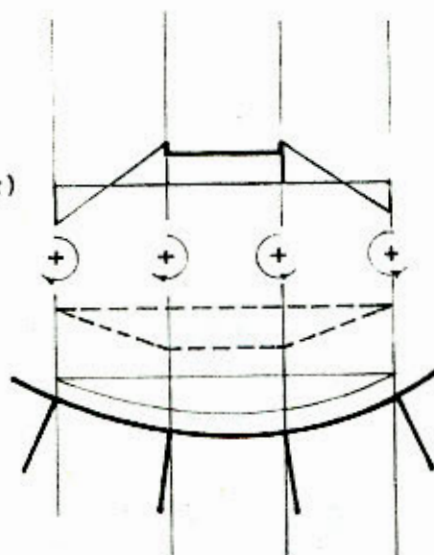


CUATRO MECANISMOS DE REPARTICION TRANSVERSAL SIN VIGA TRANSVERSAL

1 - LOSA A FLEXION



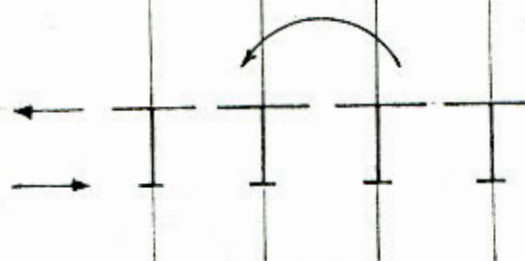
2 - VIGA A TORSION (Saint Venant)



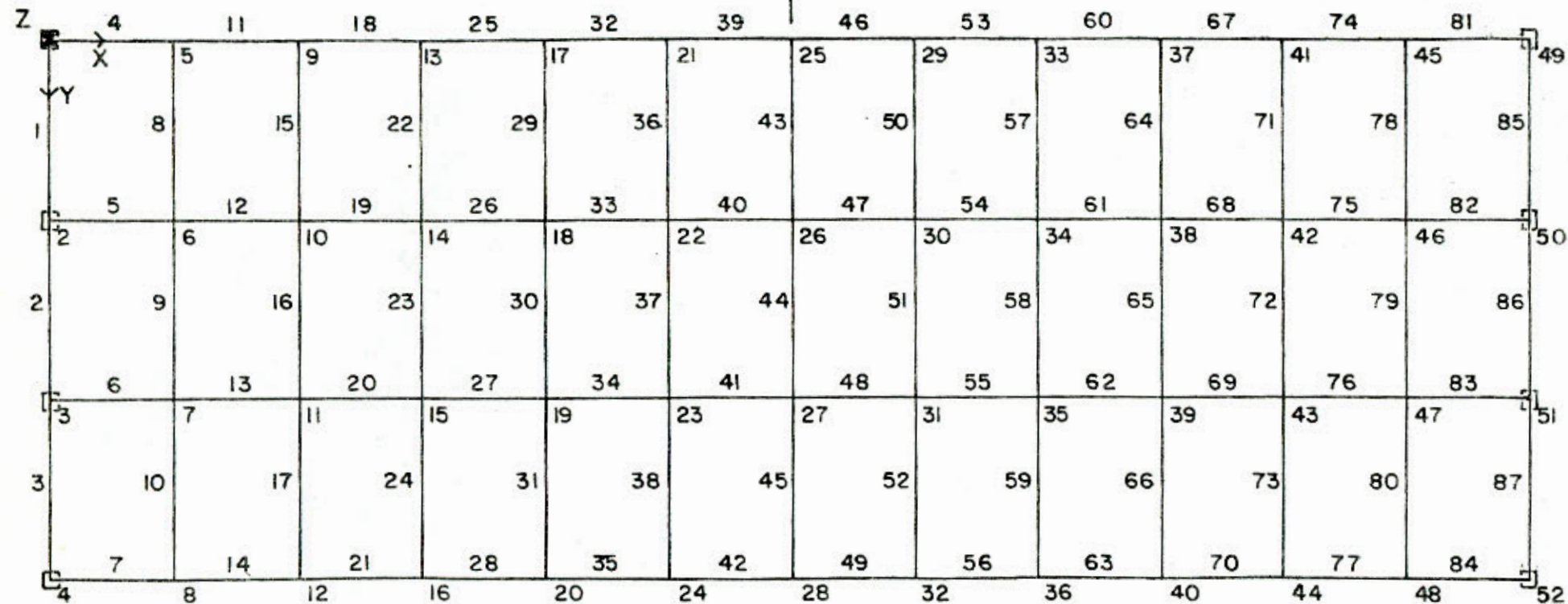
3 - LOSA COMO MEMBRANA



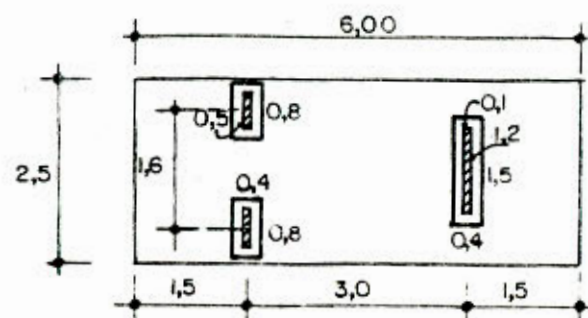
4 - VIGA A TORSION
(Forzada)



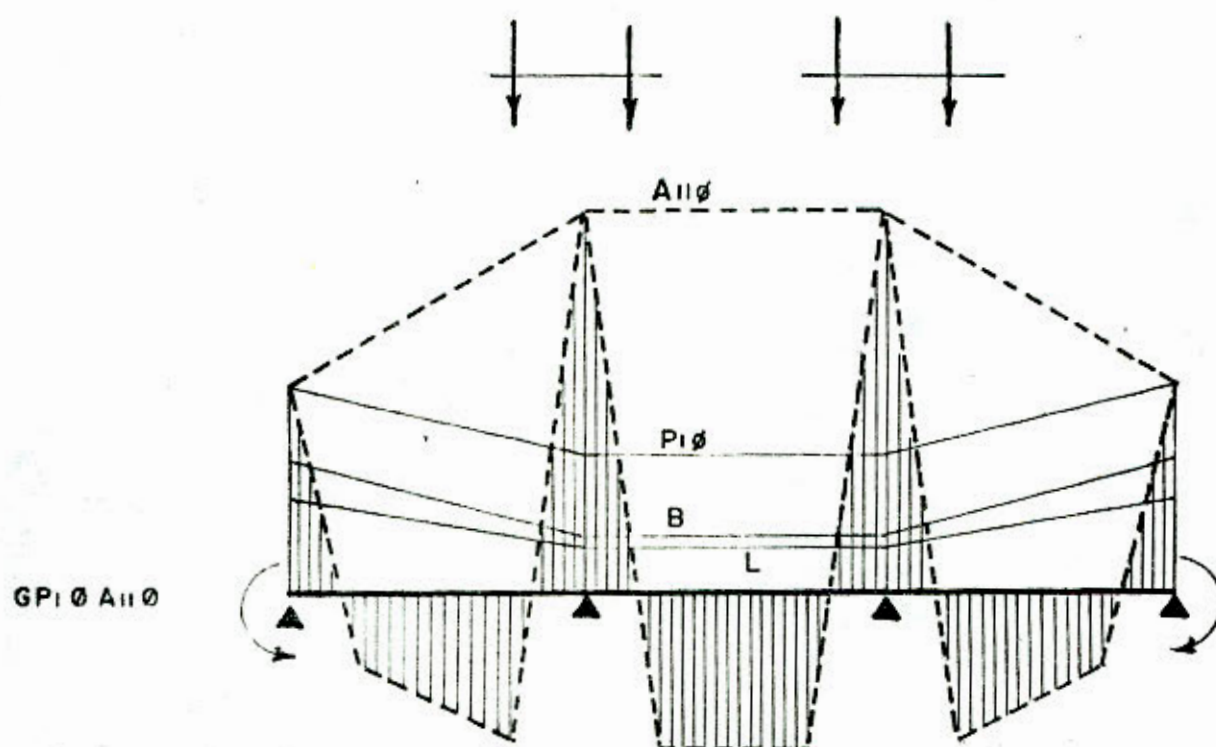
(Necesita viga transversal de apoyo)



APOYO
 ADY. APOYO
 CUARTO
 ADY. CENTRO
 CENTRO

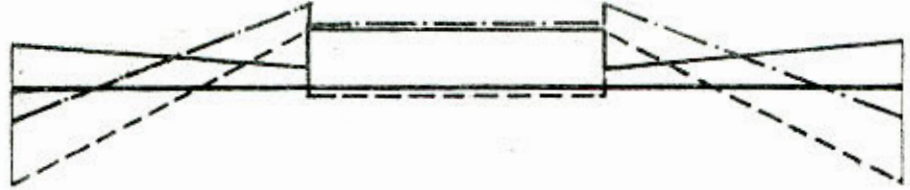


APOYOS RIGIDOS

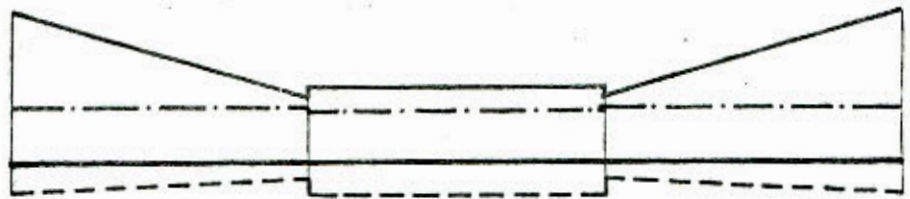


G: _____
 P_I : - - - - -
 A_{II} : - - - - -

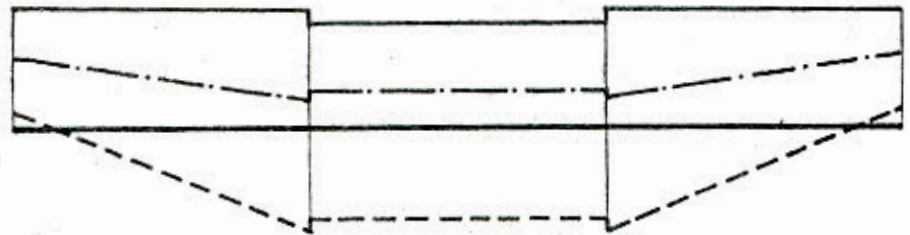
APOYO
 (BARRAS 3-2-1)



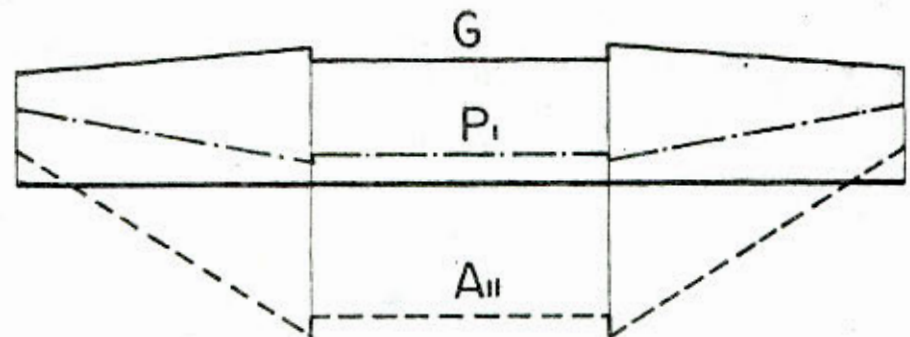
ADY. APOYO
 (BARRAS 10-9-8)



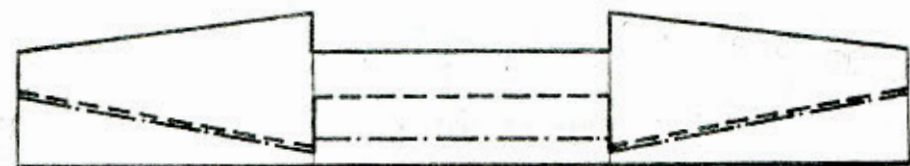
CUARTO
 (BARRAS 24-23-22)



ADY. CENTRO
 (BARRAS 38-37-36)

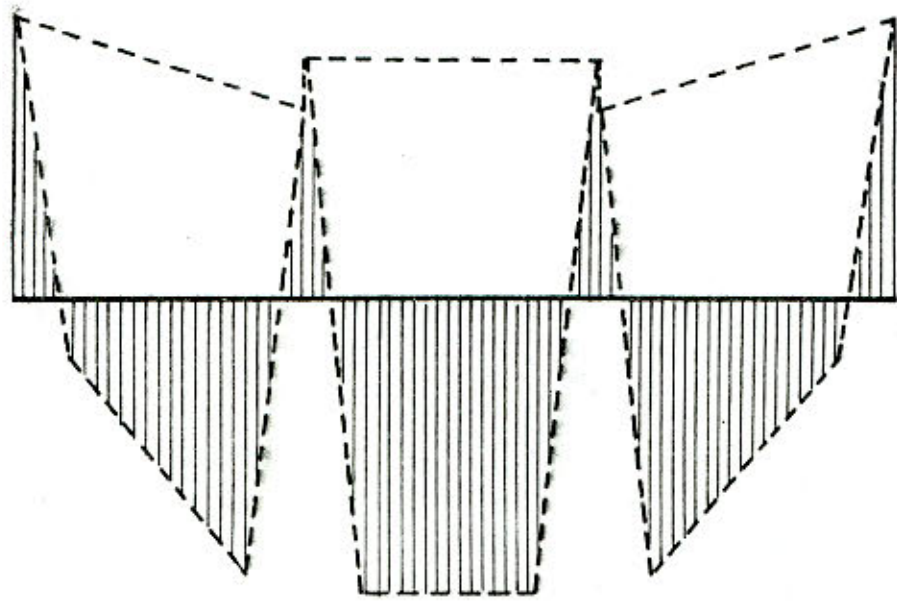


CENTRO (con Rt)
 (BARRAS 45-44-43)

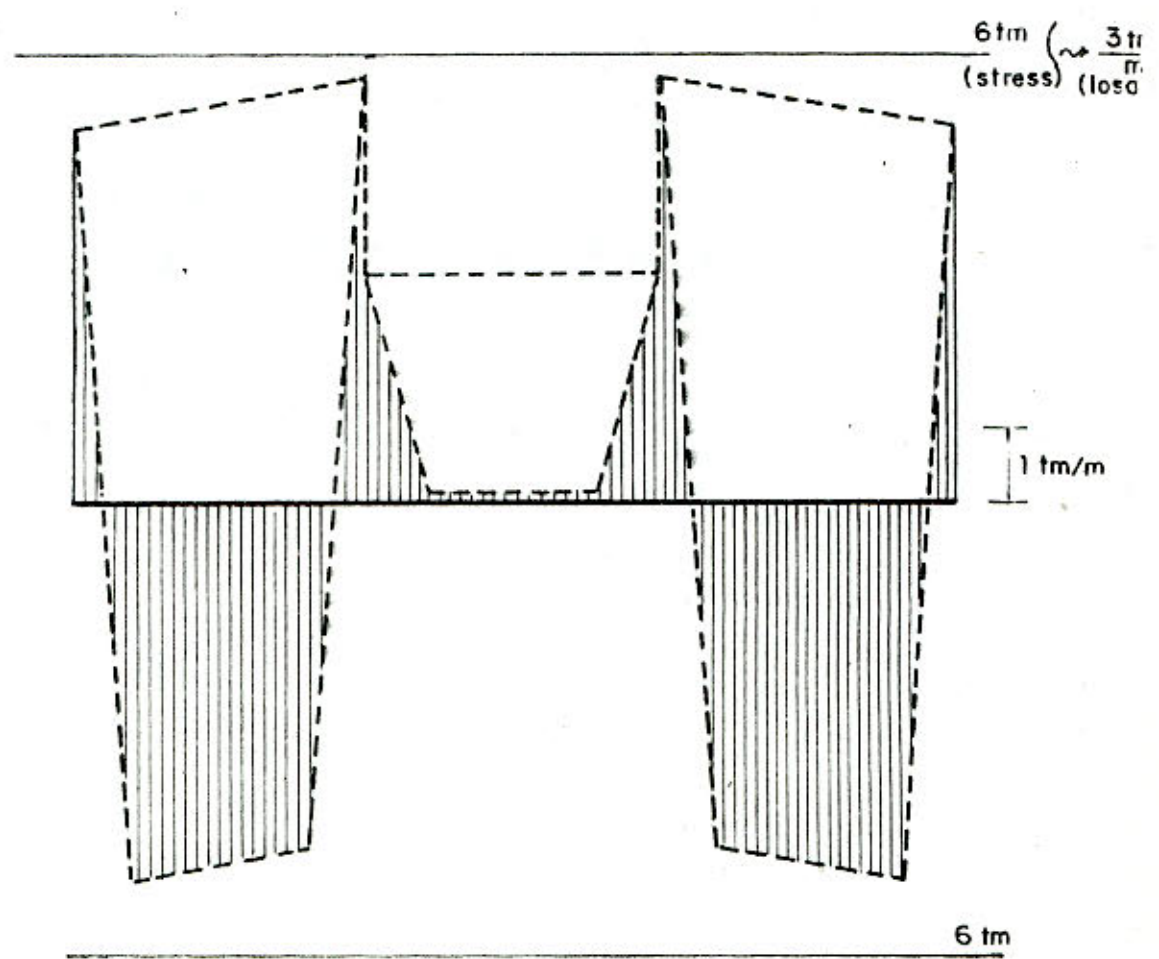


CENTRO (con Rt)

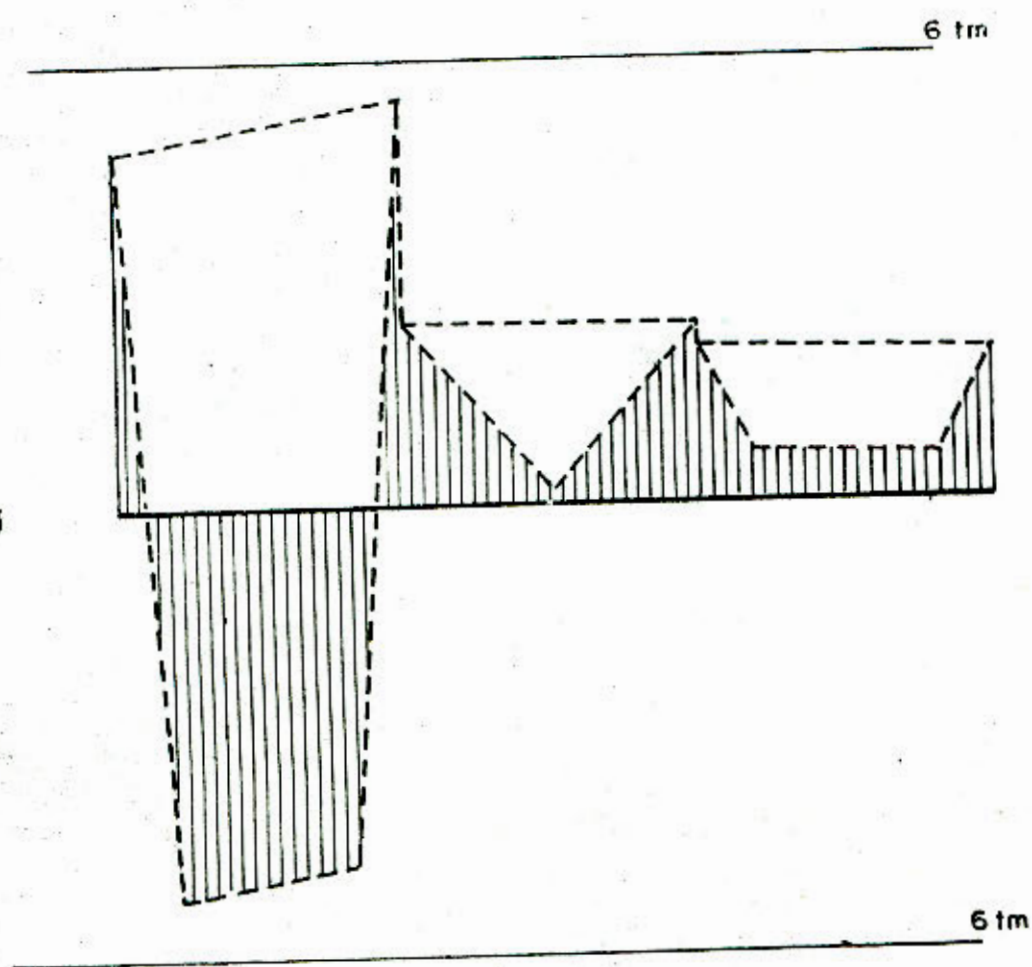
GP₁ ∅ A₁₁ ∅



GP₁ ∅ A₁₂ ∅

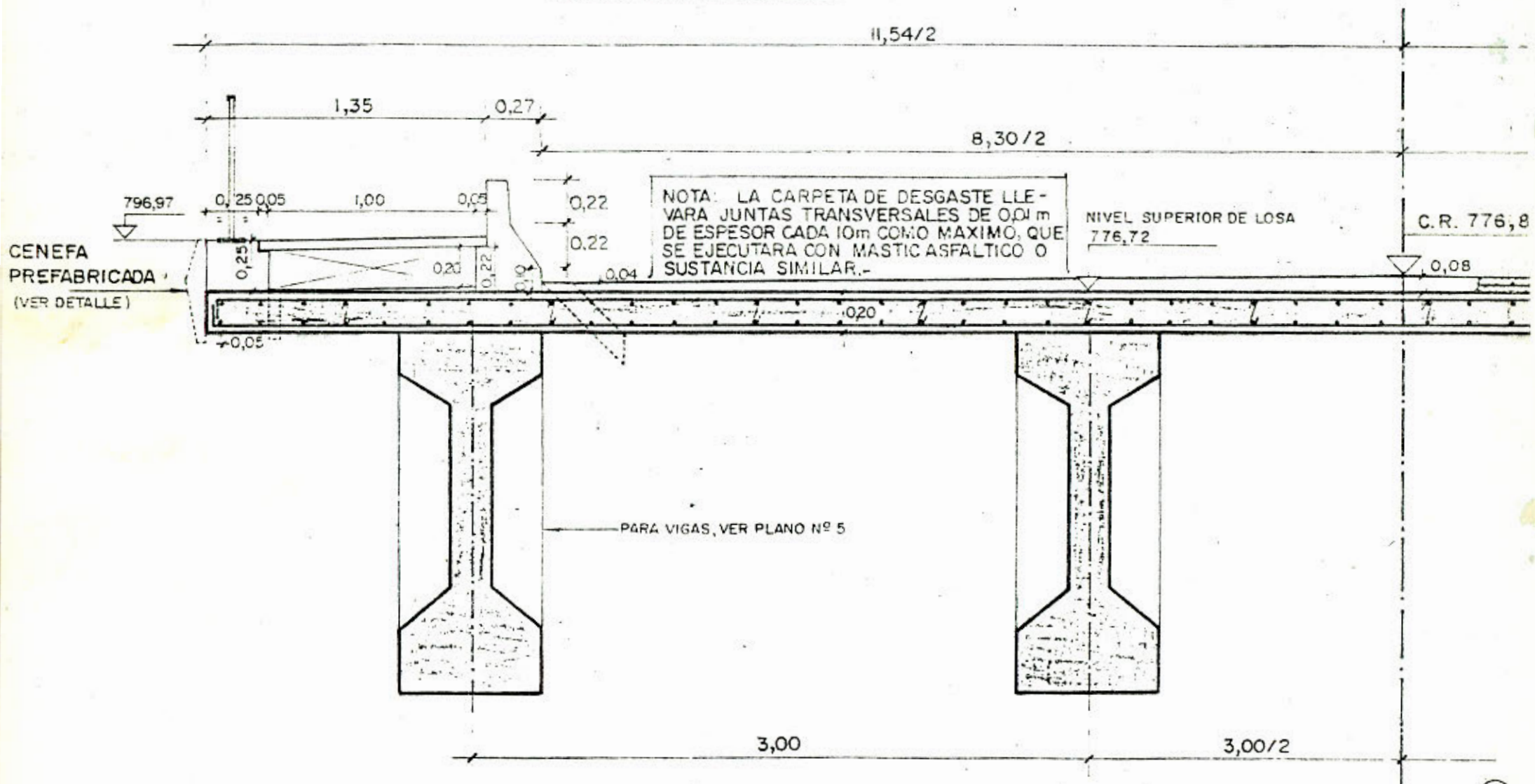


GP₂ Ø A13 Ø

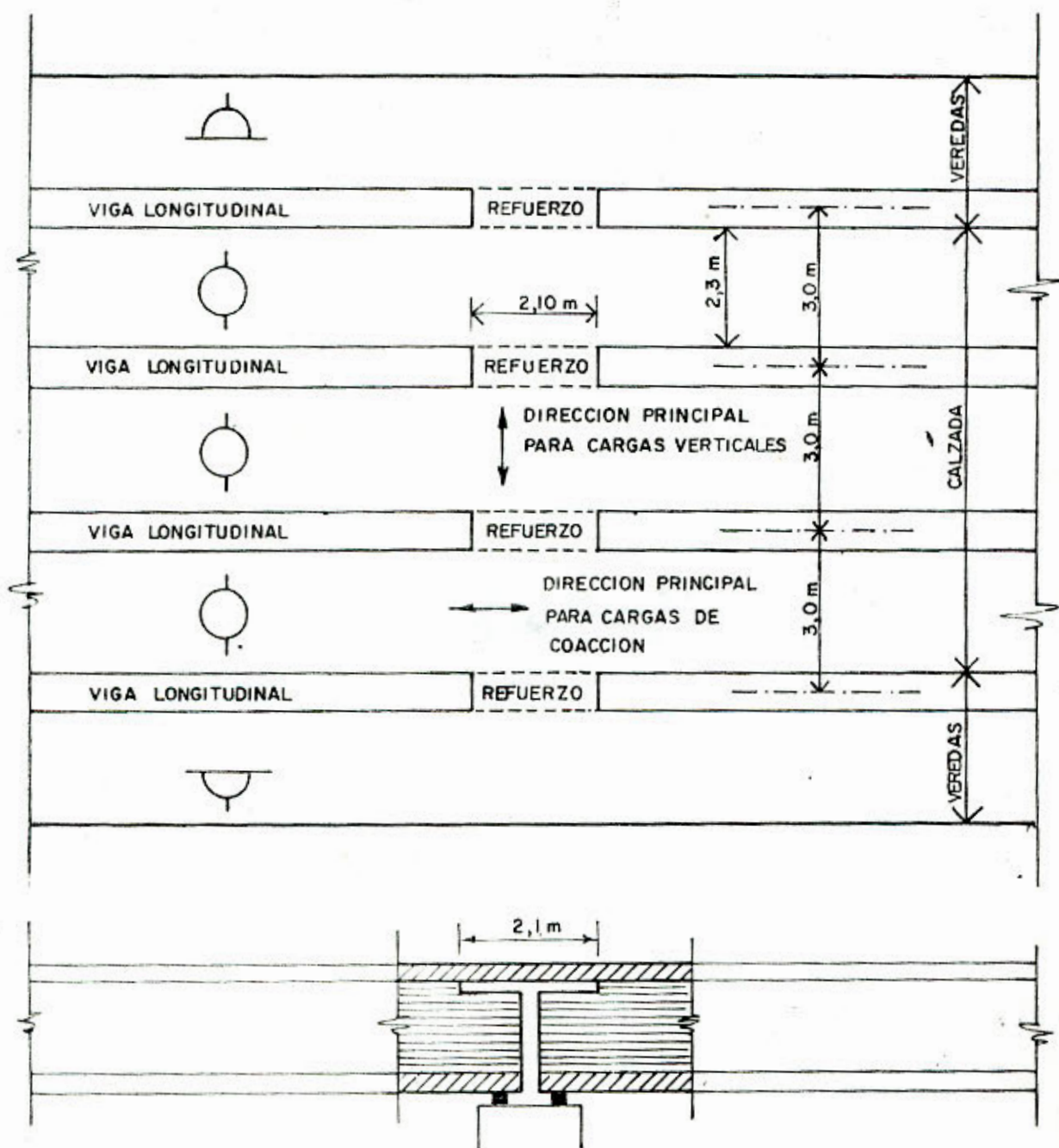


CORTE TIPO

ESCALA 1:25



LOSA DE CONTINUIDAD



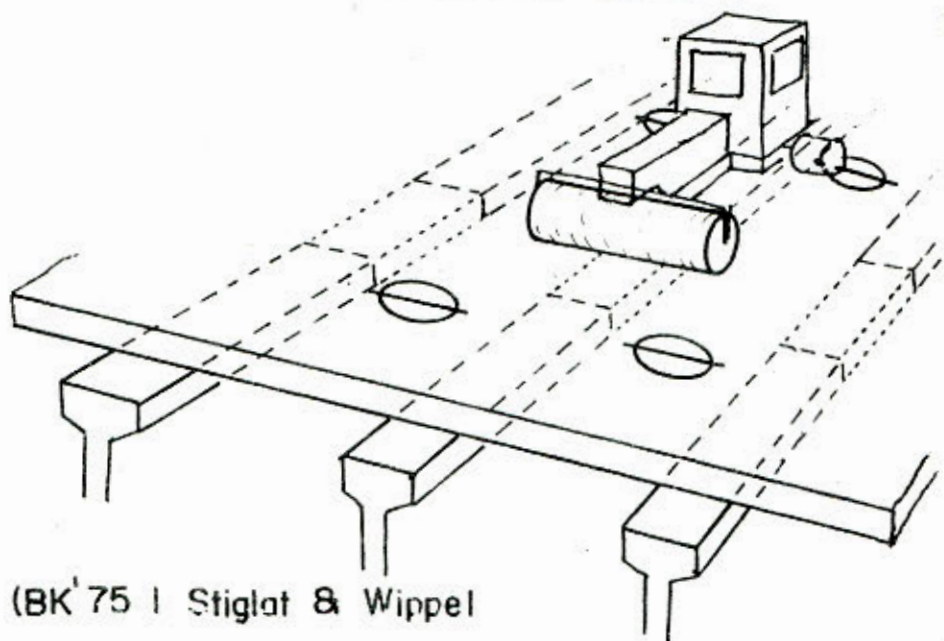
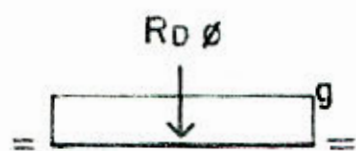
Cálculo de LOSA DE CONTINUIDAD

(21)

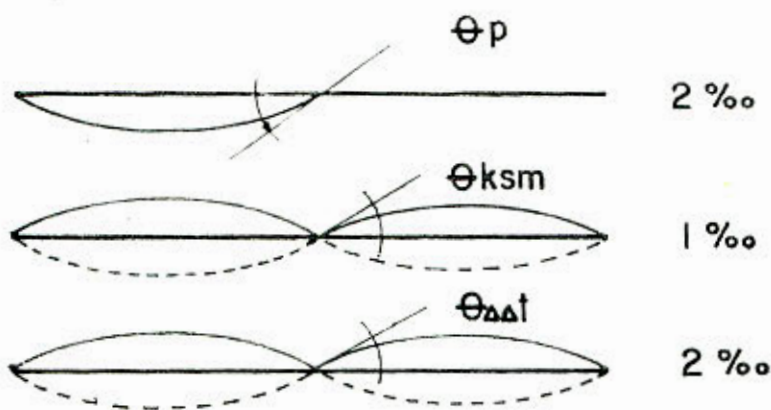
- 1 CARGAS DIRECTAS
- 2 COACCIONES
- 3 TIRO LONGITUDINAL

1 - CARGAS DIRECTAS

- Losa
- Refuerzo

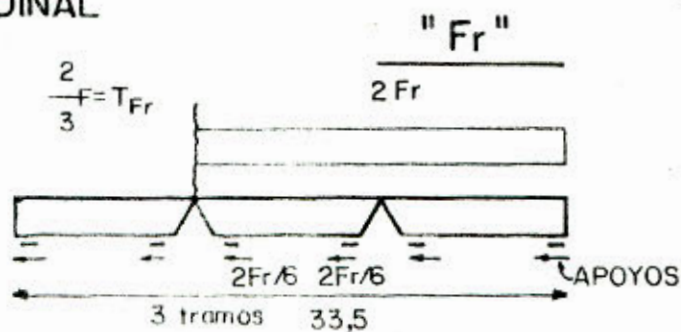


2 - GIROS DE TRAMOS ADYACENTES

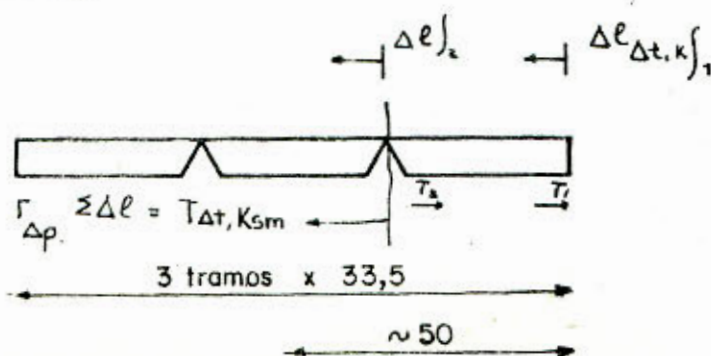


3 - TIRO LONGITUDINAL

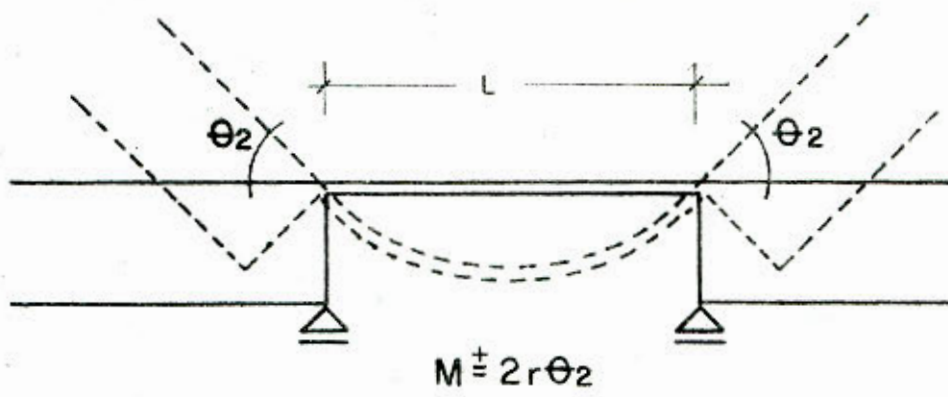
- Frenado



- Δt - Fluencia ($k_s n$)

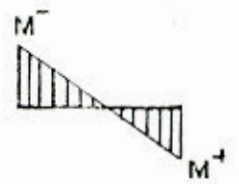
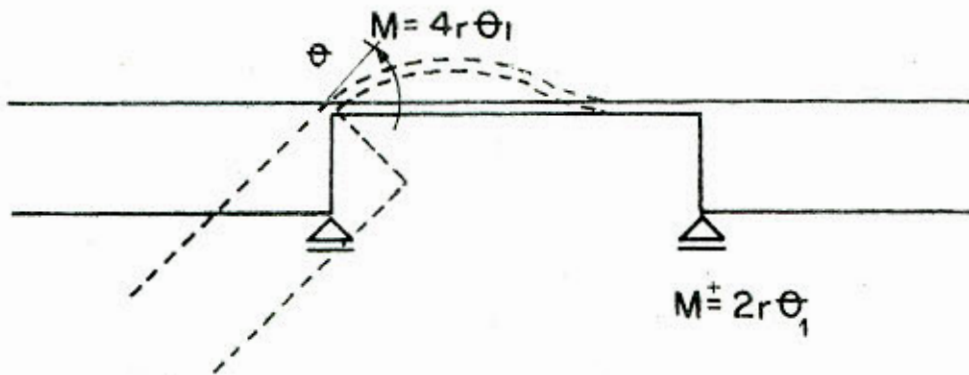
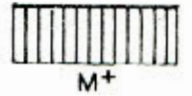


$$T = T_{fr} + T_{\Delta t} \text{ ks}$$

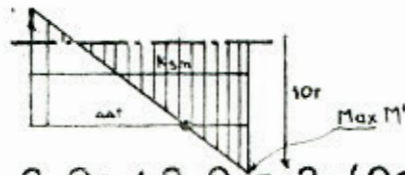


$$r = \frac{EJ}{L}$$

$$EJ \sim 0,65 E_b J_b$$



Máx M^+

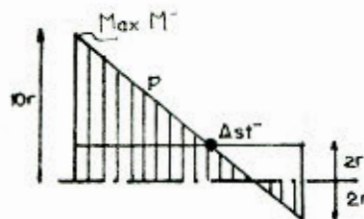


ESTADO $\left| \begin{matrix} KSM \\ \Delta\Delta t^+ \\ P \end{matrix} \right|$

$$\begin{aligned} M^+_{dim} &= 2r\theta_2 + 2r\theta_1 = 2r(\theta_2 + \theta_1) \\ &= 2r(\theta_{ksm} + \theta_{\Delta\Delta t} + \theta_p) \\ &\approx 2r(5\%) \approx 10\%r \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \theta_2 = \theta_{ksm} + \theta_{\Delta\Delta t} \\ \theta_1 = \theta_p \end{cases}$$

Máx M^-



ESTADO $\left| \begin{matrix} \Delta\Delta t^- (50\% \Delta\Delta t) \\ P \end{matrix} \right|$

$$\begin{aligned} M^-_{dim} &= 2r\theta_2 + 4r\theta_1 \\ &= 2r(\theta_{\Delta\Delta t}/2) + 4r\theta_p = 2r\left(\frac{\theta_{\Delta\Delta t}}{2} + 2\theta_p\right) \\ &= 2r(1 + 2 + 2) \\ &= 10r\% \end{aligned}$$

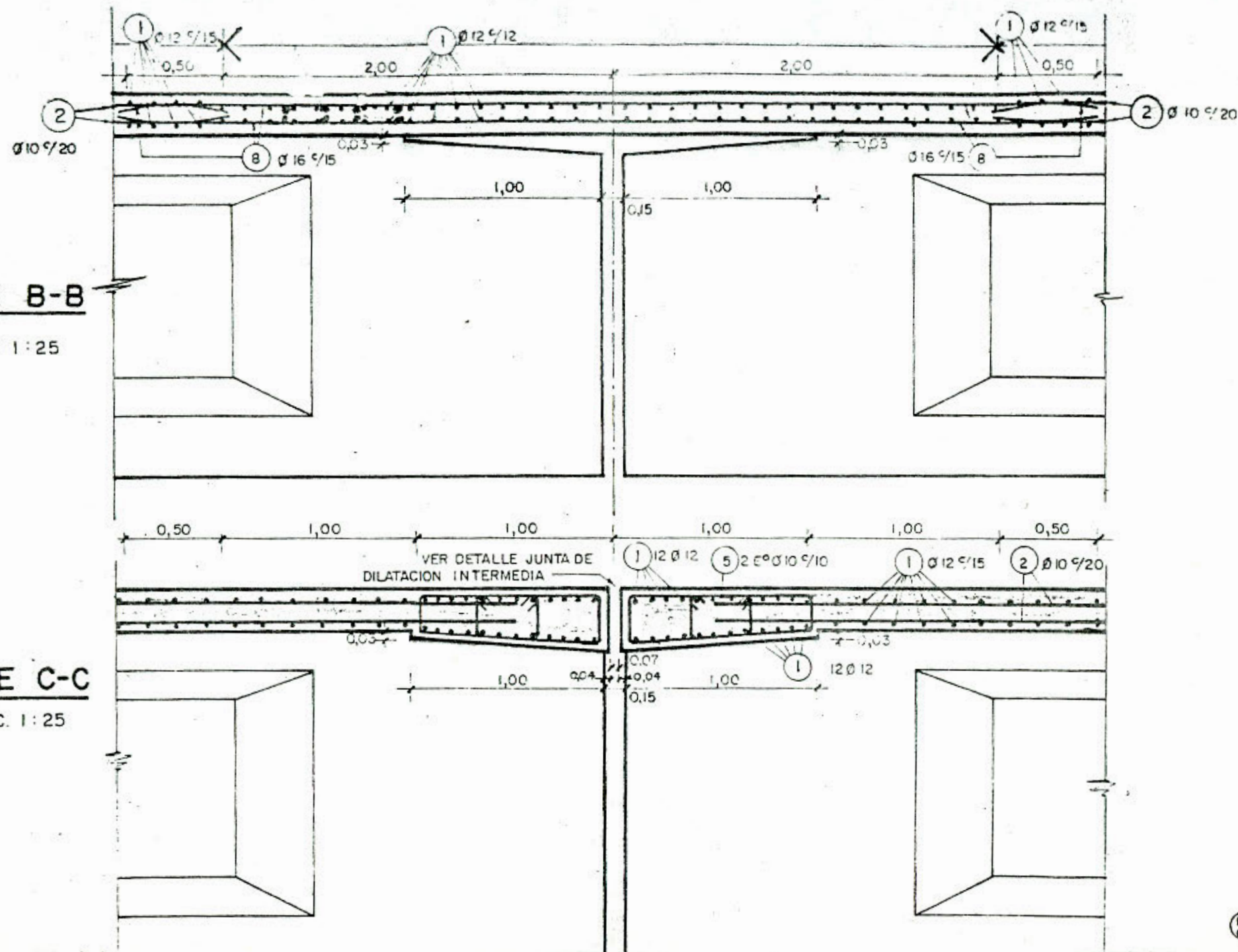
$$T \leftarrow \left[\text{---} \right] \rightarrow T$$

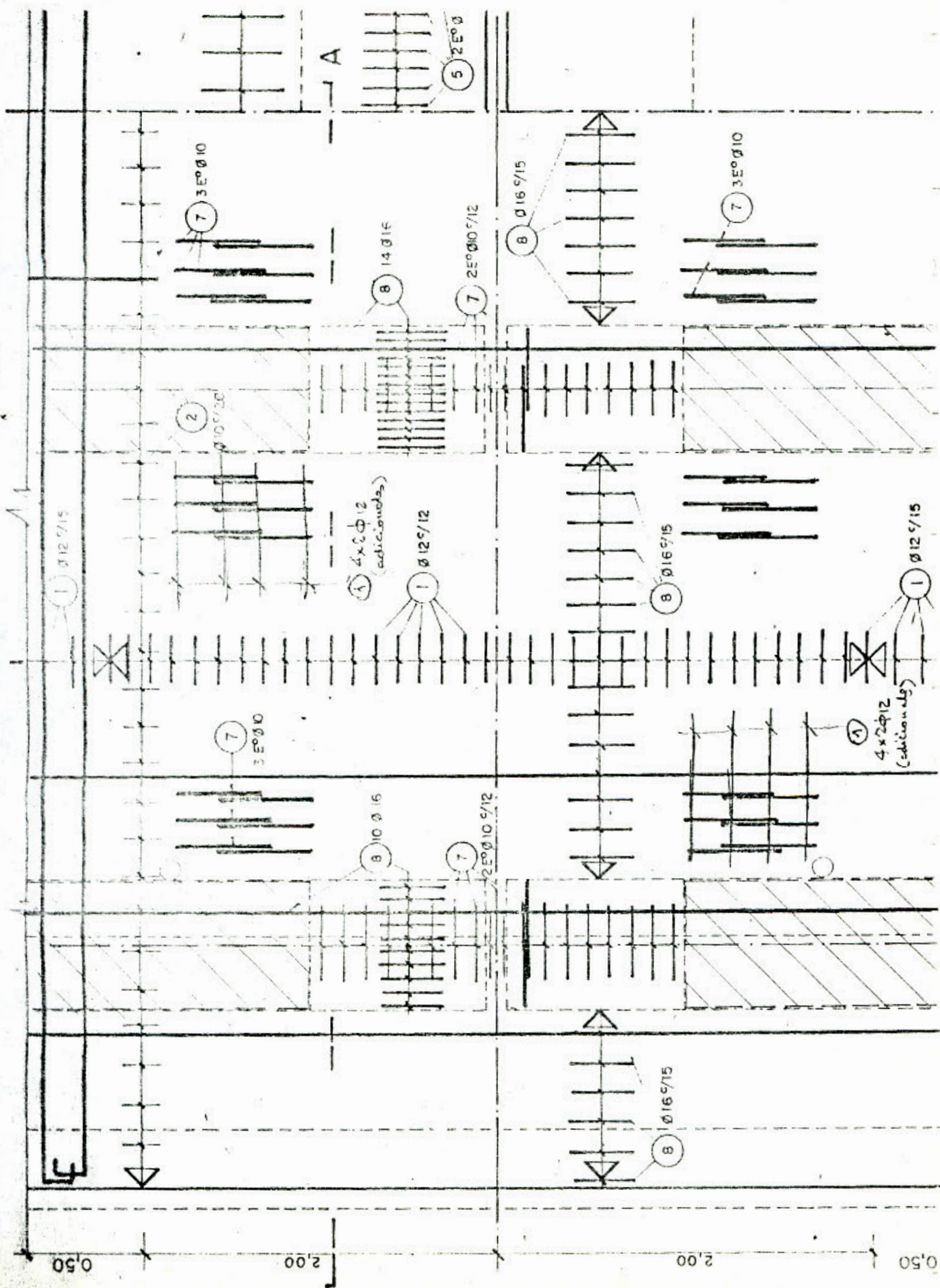
CORTE B-B

ESC 1:25

CORTE C-C

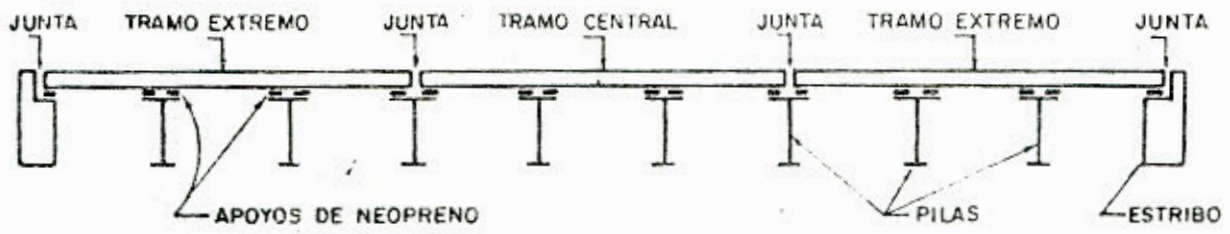
ESC. 1:25



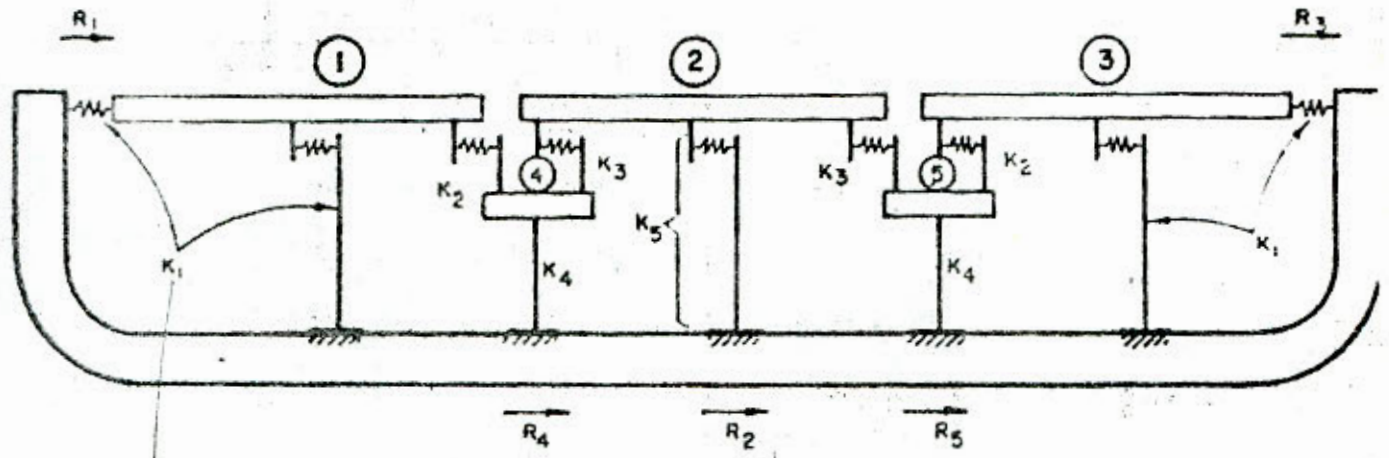


MODELO VIBRATORIO DE ANALISIS

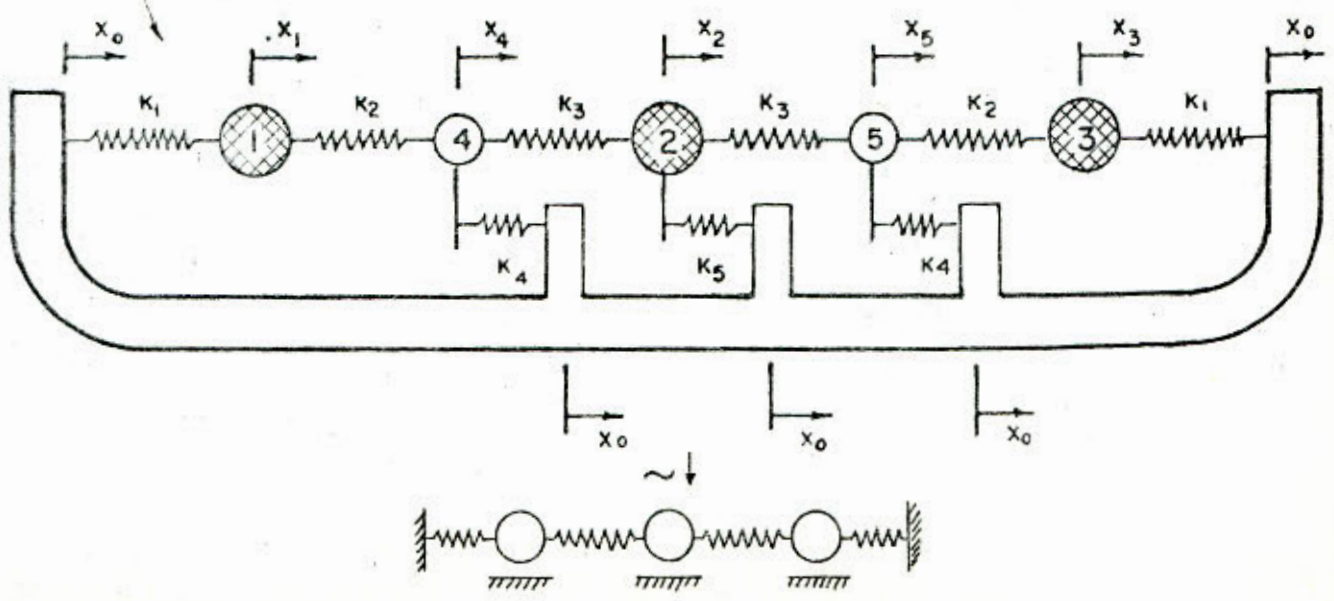
ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA (DIRECCION LONGITUDINAL)

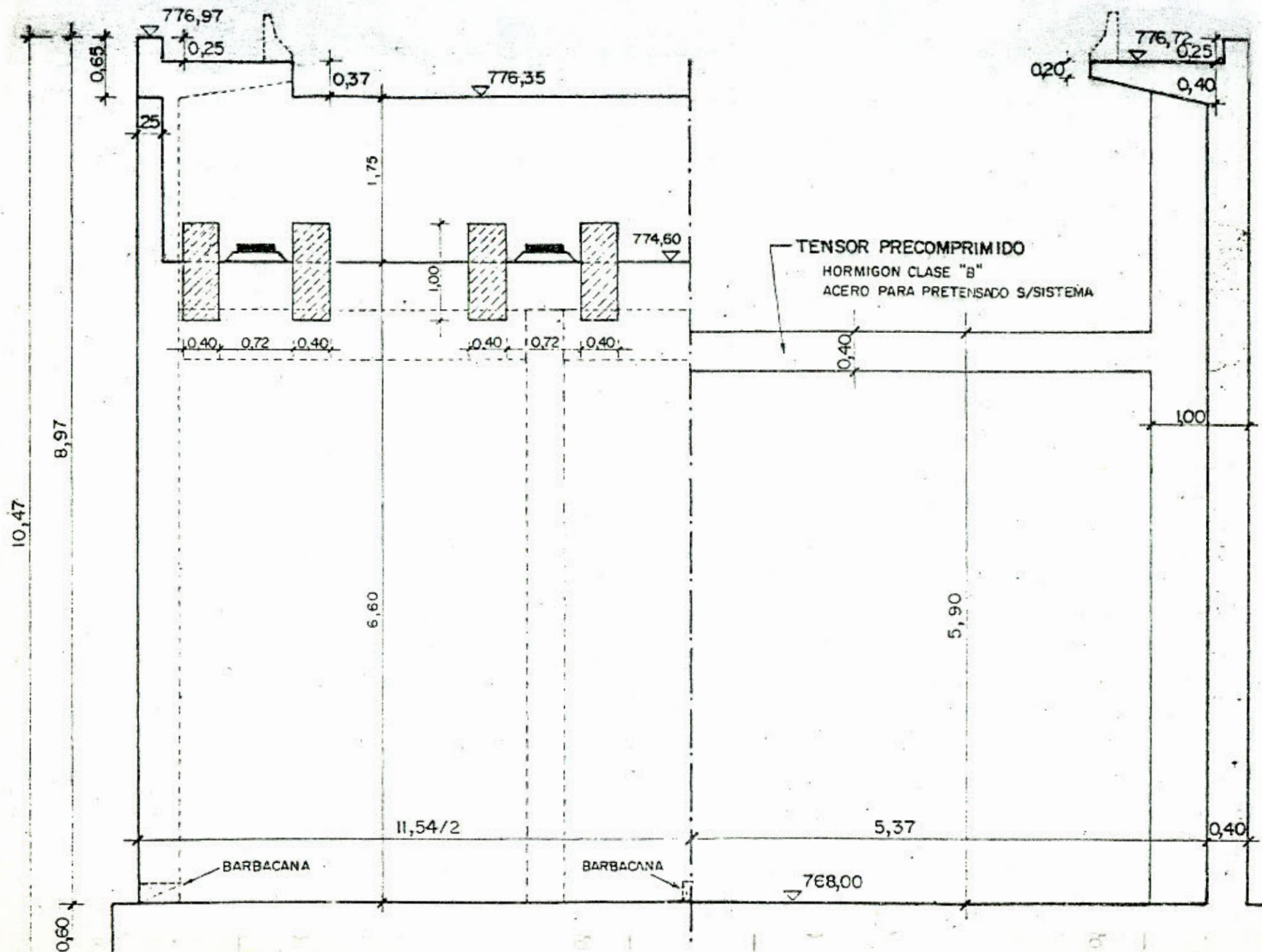


ESQUEMA DE CALCULO

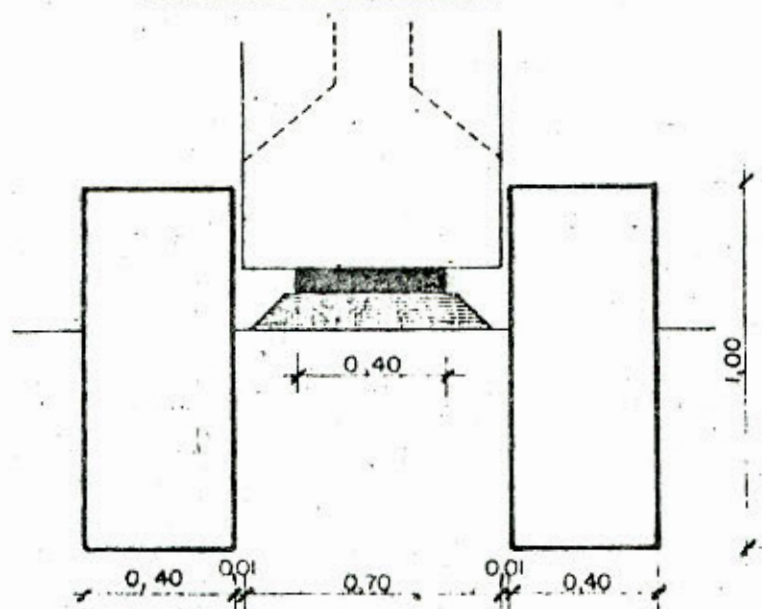
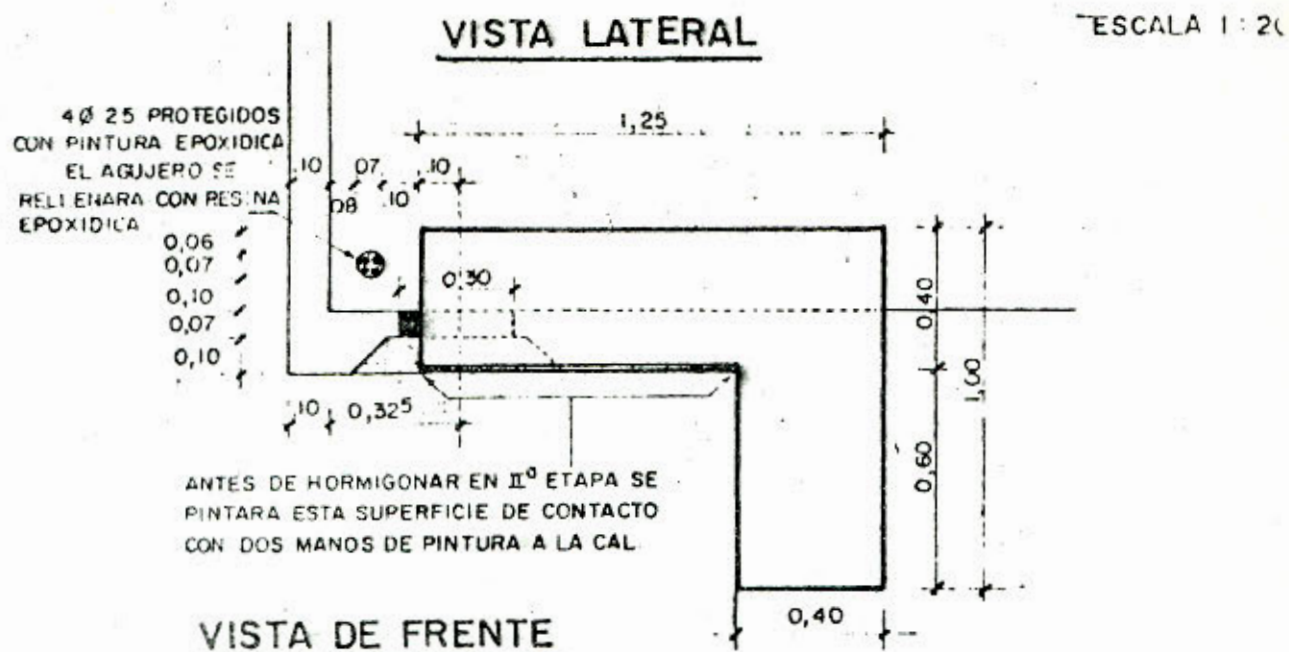


ESQUEMA MATEMATICO

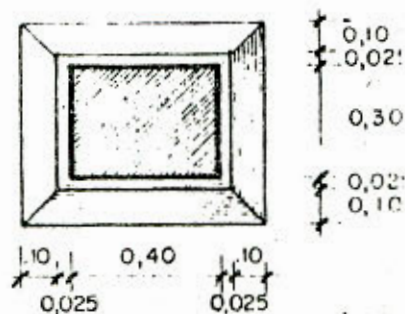




DETALLE DE APOYOS Y TOPES ANTISISMICOS



PLANTA



APOYOS DE POLICLOROPRENO HERMETICOS
(TIPO LASTO-BLOCK O SIMILARES) 40x30x15