

Puente de Hormigón sobre el Río Currulao

Por el Ing. Iván Restrepo Lince

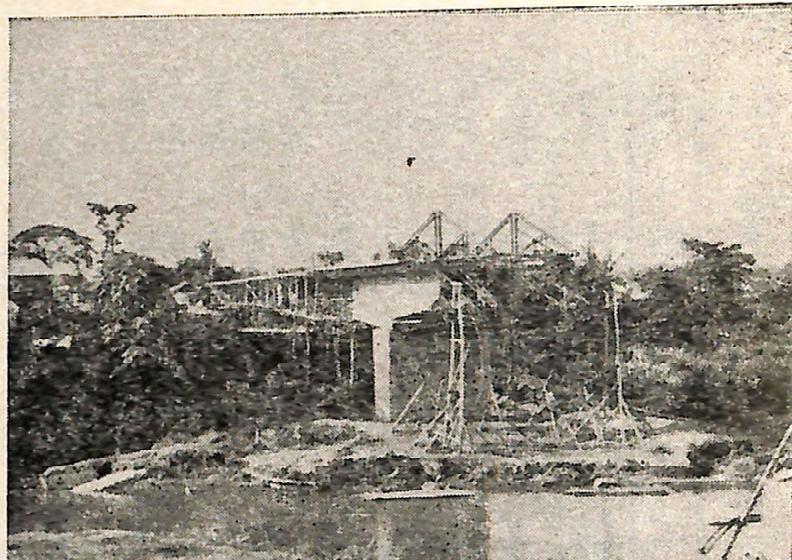
Presentamos a continuación los cálculos del puente sobre el Río Currulao, en proceso actual de construcción por la firma PRECOMPROMIDOS DE COLOMBIA LTDA. Se trata de una estructura y técnica de construcción muy empleadas en Europa pero que, hasta donde sabemos, se usa por primera vez en Colombia.

El puente en sí, es una gran viga de cajón de hormigón postensado, de sección muy variable, empotrada en dos pilas. Se construye como voladizos que, partiendo de las pilas, van creciendo sobre sí mismos, sin requerir obra falsa.

Esta última cualidad es invaluable en el caso de Currulao, donde el lecho arenoso obligaría a emplear pilotes para cualquier apoyo provisional. Sin embargo, esta misma condición hace muy laboriosos los cálculos por cuanto hay que estudiar los esfuerzos de toda la estructura en todas las etapas de construcción y, en cada una, hay que investigar el orden de tensionamiento de los cables.

Sin la ayuda del computador habría sido interminable el cálculo. También representó una notable economía por la facilidad de replantear alternativas de diseño que permitieran obtener un dimensionamiento óptimo.

Más que el detalle de programación estamos interesados en presentar la marcha y organización del estudio, desde su etapa de diseño, hasta la memoria de cálculos. Queremos destacar por su especial importancia el intercambio de información entre el equipo de cómputo y el ingeniero de diseño (Doctor Peter Schmidt) que permitió adelantar todas las etapas numéricas en el computador, con el máximo aprovechamiento del criterio y visión del ingeniero de experiencia.



Vista del puente en sus trabajos iniciales.

Al final incluimos las fórmulas empleadas en cada programa, que son más significativas que la codificación misma. Su programación es inmediata para cada equipo, siempre y cuando se cuente con los "lenguajes" adecuados.

Otros datos del puente: Dos luces laterales de 23.00 mts.

Una luz central de 46.00 mts. con articulación en el punto medio.

Altura máxima de las vigas: 3.50 mts.

Altura mínima de las vigas: 1.50 mts.

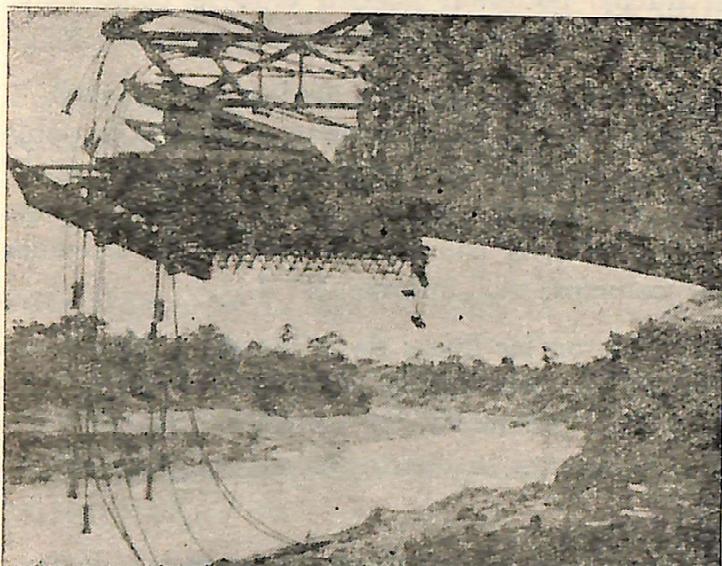
Ancho total (incluye andenes) 9.30 mts.

Refuerzo: 36 cables de 40 toneladas.

I. DESCRIPCION GENERAL

Objeto. Estos programas tienen por objeto hacer el análisis de esfuerzos y facilitar el dimensionamiento de un tipo muy general de puentes. Dada la forma de construcción, que resulta muy económica al evitar la obra falsa, es necesario calcular el puente terminado con las peores condiciones de carga viva, también es indispensable calcular cada una de las etapas de construcción y tener en cuenta en estas últimas los siguientes factores:

- a) Los esfuerzos causados por el peso propio del tramo ya construido.
- b) El número de cables tensionados en cada sección, el cual se ve modificado a medida que avanza la construcción.
- c) Una sobrecarga ocasionada por las formaletas y otras estructuras necesarias para vaciar el tramo siguiente.
- d) El peso muerto del siguiente tramo en construcción que, hasta cuando se puedan tensar sus cables, no tienen ninguna característica estructural y actúa como una carga extra sobre la parte ya construida.



Vista parcial del voladizo y del acero de tensión.

Informes. En la preparación se ha procurado seguir un orden lógico e incluir (y aún repetir) datos intermedios para facilitar la verificación de los resultados. No es necesario conocer computadores electrónicos para la revisión de los cálculos, ya que cada una de las cifras puede deducirse de las anteriores por medio de una sencilla fórmula de Mecánica Analítica.

ca; en la mayoría de los casos dicha fórmula se reduce de hecho a una suma.

De lo anterior se excluye el cálculo de las líneas de influencia el cual, por los dos grados de indeterminación de la estructura y su momento de inercia muy variable, es difícil de confrontar manualmente. Para este caso se empleó una confrontación automática haciendo que el computador calculara, a través de las fórmulas generales, un caso de resultados previsibles. Concretamente, la acción de la carga sobre uno de los apoyos produce resultados nulos sobre el resto de la estructura; si este apoyo es una de las incógnitas o reacciones hiperestáticas, su cálculo a través del procedimiento general debe señalar cualquier imprecisión o desajuste en el cálculo elástico.

Etapas de cálculo. Los cálculos se realizaron en tres etapas. (Solo los informes finales han sido incluídos en las memorias de cálculo).

1º **Análisis preliminar.** Realizado con los programas PT Nº 1 y PT Nº 2 en los cuales se estudió el puente en diez secciones (a 2.30 mts. cada una) con el objeto de revisar las dimensiones preliminarmente adoptadas, si el número de cables previsto era suficiente y si la curva escogida para el cordón inferior era la indicada.

Los resultados de este cálculo, en el cual se supuso el puente como simplemente articulado en las pilas, permitieron verificar las dimensiones generales y al mismo tiempo señalaron la conveniencia de empotrar el puente sobre las pilas, con lo cual se resolvía además el problema de inestabilidad durante la construcción.

Las cifras obtenidas por este análisis preliminar no requieren verificación ya que, para el trabajo posterior, pueden tomarse como datos iniciales de diseño.

2º **Diseño.** Se realizó por medio de cada uno de los programas 3, 4, 5 y 7; para el estudio de estructuras se transformó su sección (una doble T compuesta) en una sección simplificada detallada en los anexos. El trazado de la fibra inferior fue definido por un ancho de círculo pero, para los efectos de la revisión, basta considerarla una figura irregular definida por las primeras columnas del informe Nº 1.

Sobre estas bases se calcularon las líneas de influencia y luego, con la ubicación preliminar de cables, determinada con ayuda de las envolventes obtenidas en el cálculo preliminar, se calcularon las distintas fuerzas y esfuerzos unitarios durante la construcción y para el puente terminado.

A las condiciones de puente terminado se superpusieron las máximas condiciones de momentos positivos y negativos, tomadas de la línea de

influencia y para los trenes de carga especificados por el código. Para todos los cálculos en la etapa de diseños, se consideraron secciones de metro en metro, aunque en los informes finales sólo se imprimieron las secciones más críticas para facilitar su lectura.

3º Ajuste final. Por último, y una vez terminado el diseño, se repitieron los cálculos de cargas y esfuerzos unitarios, modificando la posición de los cables y cortando algunos que no eran necesarios, para obtener así una mayor economía y margen de seguridad en la estructura. No se repitió el análisis de las líneas de influencia, porque en éste no se tenían en cuenta los cables. (Por ser una estructura totalmente comprimida, se hicieron los cálculos y análisis de elasticidad con base en la sección completa de hormigón).

En esta última etapa se aprovechó también para modificar ligeramente la sección, teniendo en cuenta la geometría real del tablero superior; para lo cual se substituyó, dentro de los cálculos, por otro rectangular de sección equivalente y con el mismo centro de inercia.

II. DIAGRAMAS DE FLUJO

A continuación incluimos los diagramas de flujo de los distintos programas de análisis de puentes. Dentro de los documentos se hacen las siguientes distinciones:

Tarjetas de Datos (TD). Aquellas en las cuales se especifican las dimensiones, cargas y otros elementos externos de cálculo.

Tarjetas de Control (TC). Se emplean para informar los intervalos en los cuales se estudian las secciones, las longitudes ya construidas, si se desea o no incluir sobrecargas, etc. Es decir, datos que no correspondan tanto a la estructura como a la forma de calcularla.

Tarjetas de resultados intermedios (TR). En las cuales se consignan las variables calculadas en un programa y que se deben consultar en la siguiente. Cuando las razones de archivo lo justifican, se sustituyen las tarjetas por una cinta magnética.

PROGRAMA N° 1. SECCIONES

Objeto. Tiene por objeto el cálculo de altura de la sección, área, momento de inercia y módulos de resistencia.

Fórmulas empleadas. Hace uso de las fórmulas descritas con el programa PT N° 3.

Entradas. TD1. Contiene los siguientes datos: espesor y profundidad de los tableros superior e inferior, ancho de los tableros vertica-

les, longitud del puente, altura máxima de la estructura y radio del círculo que define el cordón inferior.

Salidas. TR1. Contienen los siguientes datos: abscisas, altura de la sección, distancia del eje neutro a las fibras superior e inferior, área, momento de inercia, módulos de resistencia, relación del momento de inercia con respecto al máximo y momento estático de la sección (mitad) con relación al eje neutro.

II. Informe preliminar con los datos obtenidos.

Revisión de resultados. No es necesaria para el estudio del proyecto final. Se obtendría calculando manualmente algunas de las secciones.

PROGRAMAS Nos. 2 y 6

Objeto. Estudiar el efecto de una carga unitaria en cada una de diez posiciones equidistantes sobre la estructura para permitir la confrontación de las dimensiones generales.

NOTA. La segunda fase de este mismo programa requiere un lenguaje distinto en su codificación y por este motivo está incorporada como programa N° 6.

Fórmulas empleadas. Son las mismas que se detallan en el programa PT N° 7.

Entradas: TR1 (Ya descrita en el programa N° 1).

Salidas. CH2. Cinta intermedia de resultados que contiene los siguientes datos: abscisa, posición de la carga, cizalladura y momento flector.

I6a. Contiene los mismos datos enumerados en la cinta de salida (CR2).

I6b. Contiene las mismas cifras anteriores pero presentadas por el computador en forma de gráfico, particularmente adecuado para el análisis de las envolventes de las líneas de momentos.

I6c. Resumen numérico de las líneas de momento y cizalladura y de las líneas de influencia, en forma de matriz, para facilitar su análisis conjunto.

PROGRAMA N° 3

Objeto. Realizar los mismos cálculos previamente efectuados en el programa N° 1, pero ya dentro del diseño final y estudiando las secciones de metro en metro.

Fórmulas empleadas. (Ver anexo).

Área de la sección. - Calculada con base en los distintos rectángulos que la componen, fórmula 3.1.

Primer momento de la sección, sobre un eje en el borde superior de las mismas, fórmula 3.2.

Segundo momento, o momento dinámico de la sección alrededor del mismo eje anteriormente definido. Para las áreas principales es simplemente $bh^3/3$; para el área del tablero inferior es aproximado como producto de la misma por el cuadrado de la distancia media, fórmula 3.3.

Distancia de fibras superior al centroide, fórmula 3.4.

Distancia de fibra inferior al centroide; la diferencia entre la altura total y la distancia anteriormente calculada, fórmula 3.5.

Momento de inercia alrededor del centroide: igual a la diferencia entre el momento de inercia alrededor del borde superior y el producto de área por distancia al cuadrado, fórmula 3.6.

Relación del momento de inercia con respecto al momento de inercia máximo, fórmula 3.7.

Momento estático de la parte inferior de la sección alrededor del eje neutro, calculado como producto de áreas por distancias medias, fórmula 3.8.

Módulos resistentes, fórmulas 3.9 y 3.10.

Entradas. - TD3. Tarjeta de datos similar a la TD1, a excepción de algunos campos de control.

Salidas. - II. Ya descrita en el programa Nº 1 (Ver ejemplo). TR1. Ya descrito en el programa Nº 1.

PROGRAMA Nº 3b.

Objeto. - Organización de las tarjetas TR1 para su aprovechamiento en los programas 4, 5 y 7. Se trata de una serie de operaciones periféricas de reproducción, clasificación y pesquisa.

Como resultado de esta operación se obtiene un Archivo Maestro con todos los datos necesarios para adelantar otras etapas de cálculo.

PROGRAMA Nº 4.

Objeto. - Calcular las Fuerzas y Pares totales que actúan sobre las estructuras por causa de peso propio, tramo en construcción y tensionamiento de cables. Este programa opera en forma repetida para ir simulando diferentes etapas de la construcción.

Fórmulas empleadas. - Como durante la construcción la estructura opera como un voladizo simple, las fórmulas se simplifican considerablemente trasladando los ejes al extremo libre, para tener así cizalladuras y momentos iniciales nulos.

Peso de un tramo: Se approximó la sección asumiendo prismoides de un metro de longitud, para los cuales el peso es el promedio de las áreas delimitantes multiplicado por la densidad, fórmula 4.1.

Otras cargas debidas al peso: Por las condiciones anteriormente anotadas, estos esfuerzos pueden obtenerse por una integración simple que, en este caso, se convierte en una suma muy fácil de confrontar, ya que basta sumar cargas para obtener cizalladuras, sumar cizalladuras para obtener momentos, etc., fórmulas 4.2 a 4.5.

Fuerza de compresión causada por los cables: Es igual al producto del número de cables disponibles por la tensión de trabajo (40 toneladas por cables), fórmula 4.6.

Componente vertical de la tensión: Dada la inclinación de los cables, que tienen tramos parabólicos, se produce una acción vertical; como la inclinación es baja, calculamos esta componente como el producto de la fuerza total por la tangente de ángulo de inclinación. El ángulo se deduce de inmediato de las propiedades de la parábola, fórmulas 4.7 a 4.9.

El programa contiene además dos rutinas lógicas que investigan el desplazamiento de los cables a lo largo de la parábola y el punto en el cual se reunen los manojos de cables y determina, así mismo, si ya se encuentran tensionados en cada etapa de la construcción.

Entradas. - TC4. Tarjeta de control que contiene: intervalos de estudio (un metro), longitud del tramo ya construido (5 mts. iniciales), longitud de los tramos a construir, sobrecarga por terminación de andenes y otras obras, peso de la estructura de soporte para la construcción, densidad media y módulo de elasticidad del TR1. Ya detallada.

TD4. Tarjetas de datos que informan acerca del número de cables que terminan en cada sección y los elementos que describen los arcos de parábola. Operan también como un control selectivo para reportar esa sección.

Cinta intermedia. - Para las siguientes etapas de cálculo los datos anteriores se toman desde una cinta auxiliar grabada en la fase de entrada.

Salidas: TR4. Tarjetas de resultados intermedios que contienen los siguientes datos: abscisa, estado de la construcción (longitud ya construida), fuerza de compresión por los cables ya tensionados, esfuerzo neto de cizalladura y momento flector total.

I2a. Detalle de la distribución de cables, y fuerzas por las distintas causas analizadas y esfuerzos totales para cada una de las etapas de la construcción. (Ver ejemplo).

I2b. El mismo informe anterior pero en un puente terminado, que incluye una sobrecarga uniforme adicional por terminación de andenes y otras obras de acabado.

NOTA: El cálculo incluye un estimativo de la deflección que no tiene efectos estructurales.

Revisión de los resultados. - El peso de cada uno de los sectores se determina fácilmente aplicando la fórmula 4.1.

Todos los demás datos pueden confrontarse directamente sobre el informe, en la mayoría de los casos por simple suma.

PROGRAMA N° 5.

Objeto. - Calcular, con base en los datos proporcionados por el programa N° 4, los esfuerzos unitarios. Es necesario tener en cuenta la inclinación del cordón inferior que aumenta los esfuerzos en estas fibras y disminuye la carga de cizalladura. Por lo demás, se trata solamente de dividir los resultados obtenidos en el programa N° 4 por los módulos de resistencia del programa N° 3.

Fórmulas empleadas. - Esfuerzos unitarios por compresión debida a los cables, se calculó como fuerza sobre área, fórmula 5.1.

Esfuerzos en fibras superior e inferior: La anterior corregida por los esfuerzos máximos causados por el momento flector, fórmulas 5.2 y 5.3.

Efecto de la inclinación del cordón inferior: El ángulo de inclinación es fácilmente determinable por la geometría de la línea; para efecto de revisión puede deducirse restando las alturas de dos secciones consecutivas en el informe N° 1. Para determinar los esfuerzos de compresión en el punto medio de cordón inferior y en las intersecciones de los tableros verticales y horizontales, se supuso una distribución lineal de los esfuerzos, fórmulas 5.4 a 5.9.

Esfuerzo cortante máximo: La carga de cizalladura se corrige según la componente vertical de la fuerza total en el cordón inferior. El cálculo del esfuerzo unitario cortante es inmediato, fórmula 5.10.

Esfuerzos principales de tensión y dirección de los planos: Se calcularon para cada una de las intersecciones del tablero vertical, fórmulas 5.11 y 5.12.

Entradas. - TC5. Tarjeta de control, contiene: a más de algunas dimensiones para determinar la profundidad de cables, el módulo de elasticidad del concreto.

TR1. - Ya descrita.

TR7. - Tarjeta de resultados intermedios, para incorporar a los datos de puente terminado los máximos esfuerzos ocasionados por la carga viva, según se detallarán en programa N° 7.

Cinta intermedia. - Similar a la del programa N° 4.

Salidas. - I3a. Informe en el cual se detalla para cada etapa de la construcción y en cada sección las cargas actuales y los distintos esfuerzos unitarios (Ver ejemplo).

I3b. El mismo informe anterior para el puente terminado.

I3c. Llamado informe N° 5, en las memorias, contiene los mismos datos para las máximas condiciones de sobrecarga en uno y otro lado de la estructura.

Revisión de resultados. - Con la excepción de los esfuerzos principales, de tensión que requieren el empleo de la fórmula 5.11 para algunos casos, la verificación de los resultados es inmediata ya que basta dividir los esfuerzos totales (que se repitieron aquí para mayor comodidad) por los módulos resistencia del informe N° 1.

PROGRAMA N° 6.

Es la segunda fase del programa N° 2 y tiene por objeto facilitar el análisis del diseño preliminar. Los resultados de este programa no forman parte de la memoria final de cálculos y los incluimos aquí a título informativo (Ver diagrama).

PROGRAMA N° 7.

Objeto. - Calcular para el puente terminado y ya apoyado en sus extremos, los momentos y cizalladuras en secciones a un metro, para cargas de I T colocadas consecutivamente en cada una de las secciones.

Como el puente está formado por dos secciones idénticas, se calculó sólo una, pero se incluyó el efecto inducido en la otra. (En este caso "otra" significa la mitad del puente en la cual no se encuentra la carga). Las abscisas hacia el apoyo fijo se llamaron, convencionalmente, negativas, hacia apoyo elástico (centro del puente), se llamaron positivas.

Fórmulas empleadas. - Despues de resolver las indeterminaciones, el cálculo de cizalladuras y momentos se reduce a una integración numérica (sumatoria) según las fórmulas del programa N° 4.

Por la indeterminación se tomaron como incógnitas las reacciones en los extremos de la estructura y se calcularon las deflecciones para una carga unitaria en cada punto, por las siguientes causas:

a) Rotación de la pila de apoyo, dadas su altura y momento de inercia. Fórmulas 7.1 a 7.3.

b) Deflección en la rama cargada misma: se calculó como momento de diagrama de momentos sobre El, asumiendo este factor constante para tramos de 1 mt. Fórmula 7.4.

Las deflecciones correspondientes del tramo "no cargado" se dedujeron, por simetría, del caso en el cual la carga actuaba en el punto medio del puente. Esta misma condición permite deducir el efecto que en los extremos produce una carga unitaria, concretamente:

C₁: Deflección en un extremo por una carga de IT en el opuesto.

C₂: Deflección en el extremo por una carga de IT en el mismo.

C₃: Deflección inducida en la otra mitad del puente por una cizalladura de IT en la articulación central, Fórmulas 7.5 a 7.7.

Las condiciones de apoyo exigen que la deflección del apoyo fijo sea nula y que la de la articulación sea igual a la de la otra mitad del puente. Fórmulas 7.8 y 7.9.

De las ecuaciones anteriores se deducen Ra y Rb con lo cual queda definida la indeterminación y se sigue como en el programa N° 4.

Entradas. - TC7. Tarjeta de control que contiene: la altura y momento de inercia de la pila, para definir el grado de empotramiento de la estructura.

TR1. (Ya detallada).

Salidas. - I4. Informe que contiene, para cada posición de la carga, abscisa, cizalladura y momento y, además, los mismos datos para la mitad descargada del puente.

CR4. Cinta opcional con los mismos datos anteriores para estudio adicional con PT N° 2 y 6.

Revisión de los resultados. - Automática al calcular puntos de resultado previsible (IT en -23, por ejemplo).

PROGRAMA N° 7a.

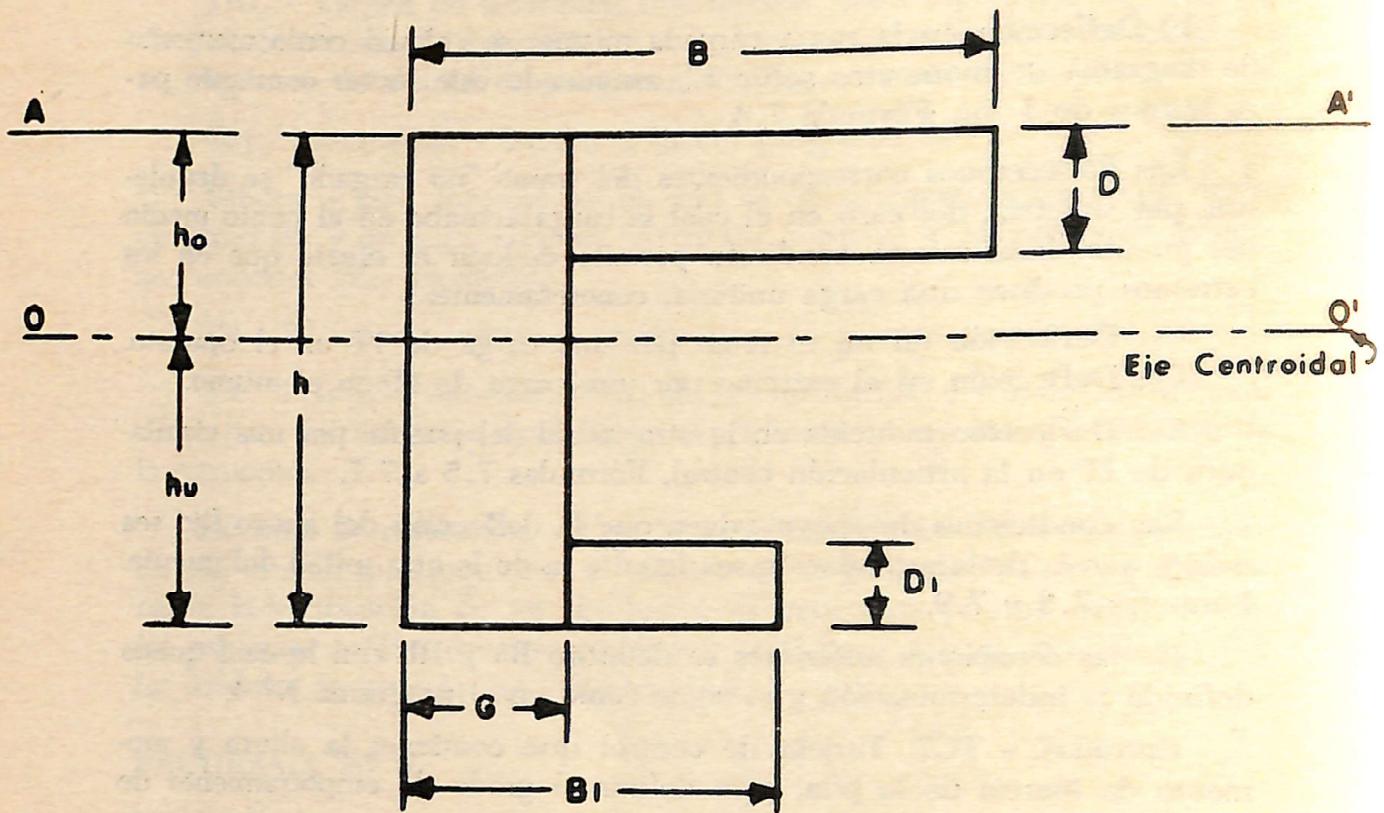
Objeto. - Se analizan los datos de líneas de influencia para aplicarlos a los casos más desfavorables según los códigos.

Como se trata de interpretación de códigos, se dejó para análisis del ingeniero, del cual se derivó el informe 17 que a su vez fue perforado en las tarjetas TR7.

Entrada. - 14. (Ya detallado).

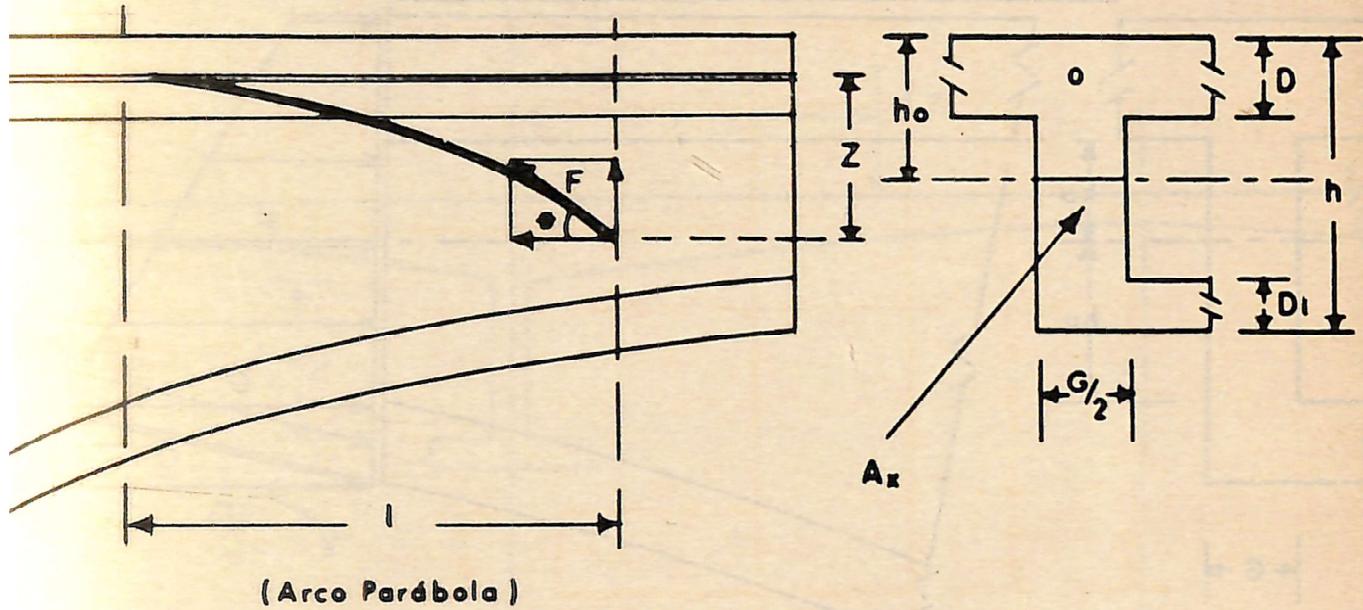
Salida. - TR7. Tarjetas de resultado intermedio que contiene: abscisa, identificación del caso de carga y tramo, cizalladura y momento por la sobrecarga.

PROGRAMA N° 3. FORMULAS



- 1) Área de la Sección $A = hG + D(B - G) + D_1(B_1 - G)$
- 2) Primer Momento (sobre AA¹) $M^1_1 = \frac{1}{2} [Gh^2 + (B - G)D^2] + (B_1 - G)D_1(h - D\frac{1}{2})$
- 3) Segundo Momento (sobre AA¹) $M^1_2 = 1/3 [Gh^3 + (B - G)D^3] + (B_1 - G)D_1(h - D\frac{1}{2})^2$
(Aprox.)
- 4) Distancia f. Sup-Centroide $h^0 = M^1_1/A$
- 5) Distancia f. Inf-Centroide $h_u = h - h_0$
- 6) M. de Inercia (Sobre 00¹) $I = M^1_2 - Ah^2_0$
- 7) Relación con I. máximo I/I_{\max}
- 8) Momento Estático (sobre 00¹) mitad inferior $Q = \frac{1}{2} Gh^2_u + (B_1 - G)D_1(h_u - D_{1/2})$
- 9 y 9¹) Módulos Resistentes $W_0 = I/h_0 \quad W_u = I/h_u$

PROGRAMA N° 4. FORMULAS



1) Peso de un tramo (1 mt.) $w = P(A_x + A_{x-1})/2$

2) Cizalladura $V = \sum w \Delta x$

3) Momento flector (cargas) $M = \sum V \Delta x$

4) Rotación $\phi = \frac{I}{EI} \sum M \Delta x$

5) Deflección $\delta = \sum \phi \Delta x$

Si T = tensión por cable y N = número de cables:

6) Fuerza compresión $F = NT$

7) Componente vertical $V^1 = F \tan \theta$ ya que θ es muy pequeño

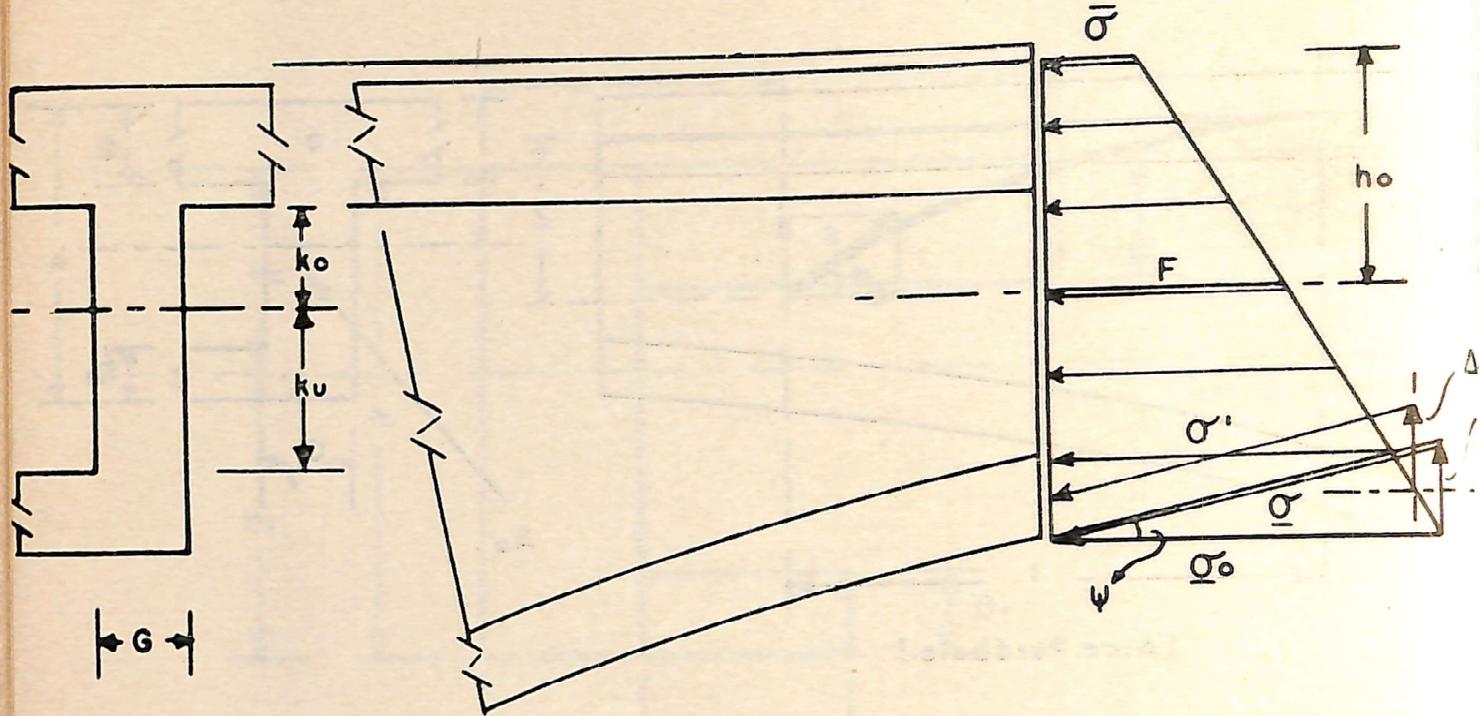
8) Momento por excentricidad $M_c = T [\sum N (Z + D_{1/2} - h_0)]$

Por ser parabólico el cable:

9) $\tan \theta = 2Z/l$

Nota: Se corren provisionalmente los ejes para que $V = M = 0$.

PROGRAMA N° 5. FORMULAS



1) Esfuerzo por compresión
Cables

$$\sigma_m = F/A$$

2) Esf. en fibra Superior

$$\bar{\sigma} = \sigma_m + M/W_o$$

3) Esf. en fibra Inferior
(Horizontal)

$$\underline{\sigma}_0 = \sigma_m - M/W_u$$

Dada la inclinación ψ del cordón Inferior

4) Esf. real en fibra Inferior

$$\underline{\sigma} = \underline{\sigma}_0 \sec \psi$$

5) Esf. medio en el cordón
Inferior

$$\sigma^1 = \underline{\sigma}(h_u - D_1/2)/h_u$$

6) Fuerza total en cordón Inferior

$$F^1 = D_1 B_1 \sigma^1$$

7) Componente Vertical de F^1

$$\Delta v^1 = F^1 \sin \psi$$

8 y 9) Esf. horizontal en K_1 y K_u

$$\sigma_{k0} = \sigma_m + MK_0/I$$

$$\sigma_{kv} = \sigma_m + MK_v/I$$

10) Esfuerzo cortante máximo

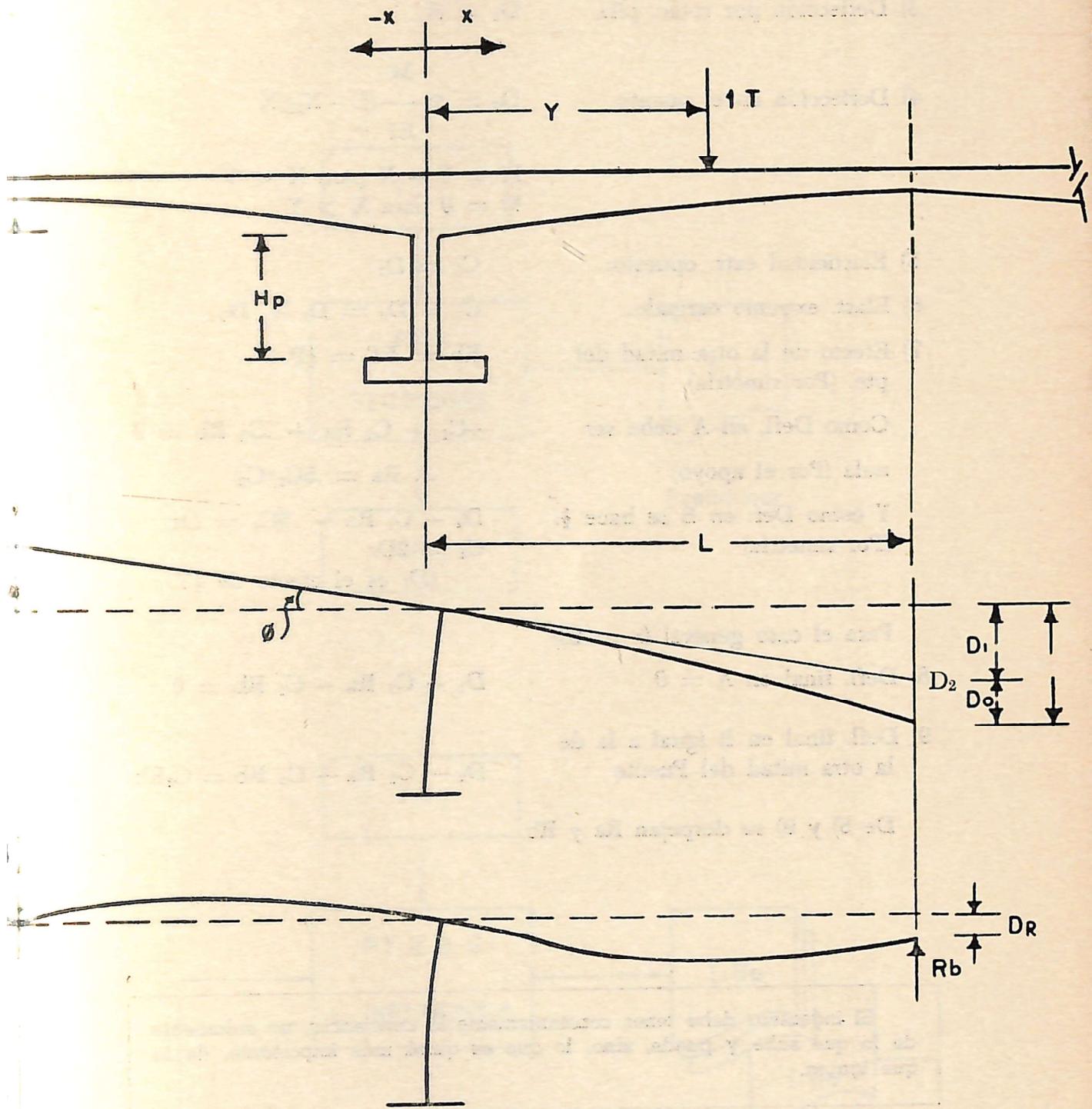
$$\tau = (v + \Delta v)Q/GI$$

11) Esfuerzos principales

$$\sigma_I = \sigma_k/2 + \sqrt{(\sigma_k/2)^2 + \tau^2}$$

12) Dirección planos principales

$$\tan 2 \alpha = \frac{2\tau}{\sigma_k}$$



FORMULAS PT N° 7

- 1) Momento inicial en la pila $M_1 = PY = Y$ para $P = 1$
- 2) Rotación de la pila $\theta = M_1 H_p / EI$

Para 1T en la articulación ($x = 23$)

3) Deflección por rotac. pila $D_1 = \theta L$

4) Deflección en el puente $D_0 = \sum \frac{M}{EI} (L - X) \Delta X$

$$\begin{aligned} M &= Y - X \text{ para } X < Y \\ M &= 0 \text{ para } X > Y \end{aligned}$$

5) Elasticidad extr. opuesto: $C_1 = D_1$

6) Elast. extremo cargado: $C_2 = D_2 = D_1 + D_0$

7) Efecto de la otra mitad del pte. (Por simetría) $R_b = .5T = \frac{1}{2}P$

Como Defl. en A debe ser nula (Por el apoyo) $-C_1 + C_2 R_a + .G_1 R_b = 0$

Y como Defl. en B se hace $\frac{1}{2}$: (Por simetría) $D_2 - C_1 R_a - .5C_1 = D_r$

$$C_3 = 2D_r$$

(D_r es el efecto de $\frac{1}{2}T$)

Para el caso general ($x = 23$)

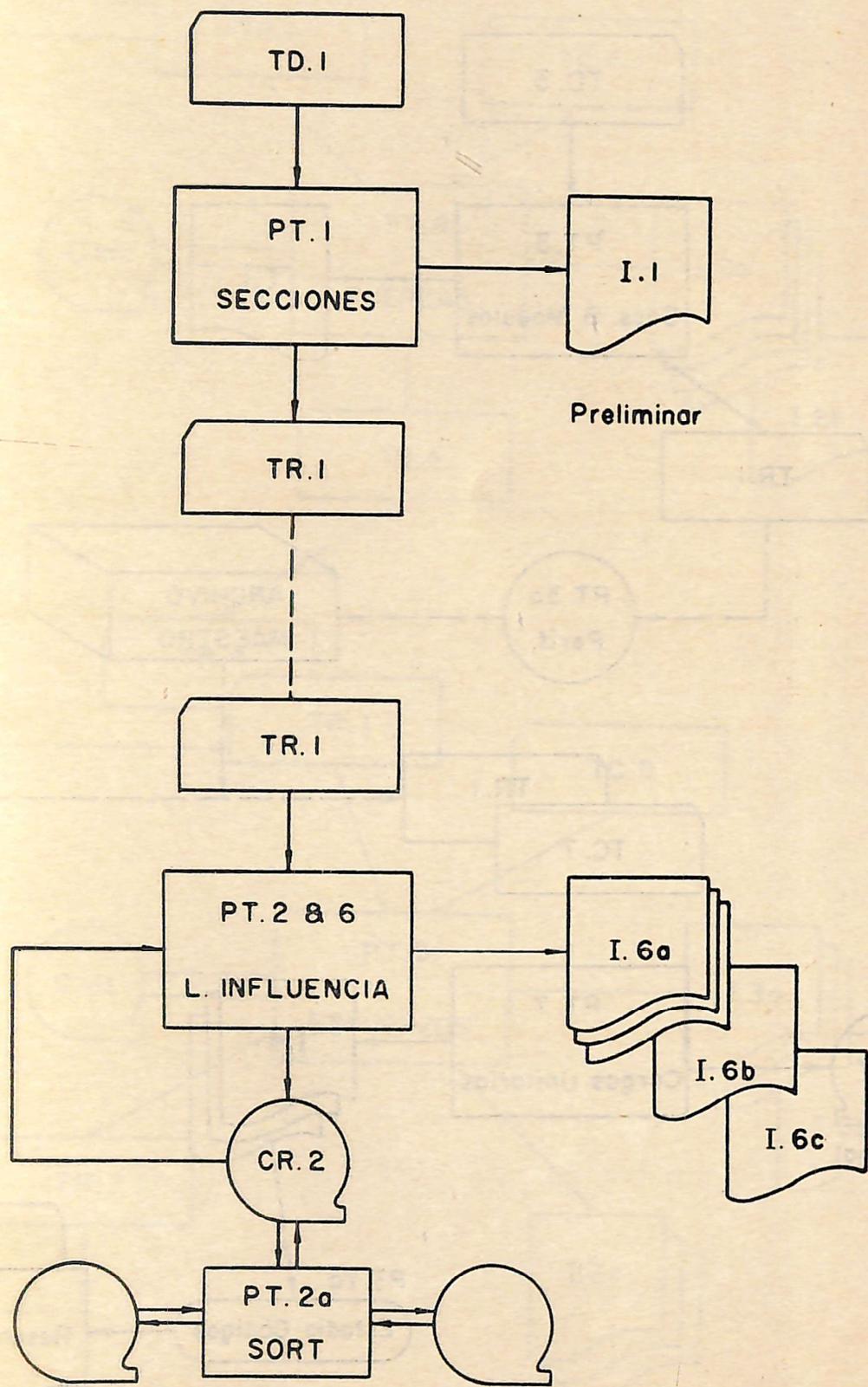
8) Defl. final en A = 0 $D_1 - C_2 R_a - C_1 R_b = 0$

9) Defl. final en B igual a la de la otra mitad del Puente $D_2 - C_1 R_a - C_2 R_b = C_3 R_b$

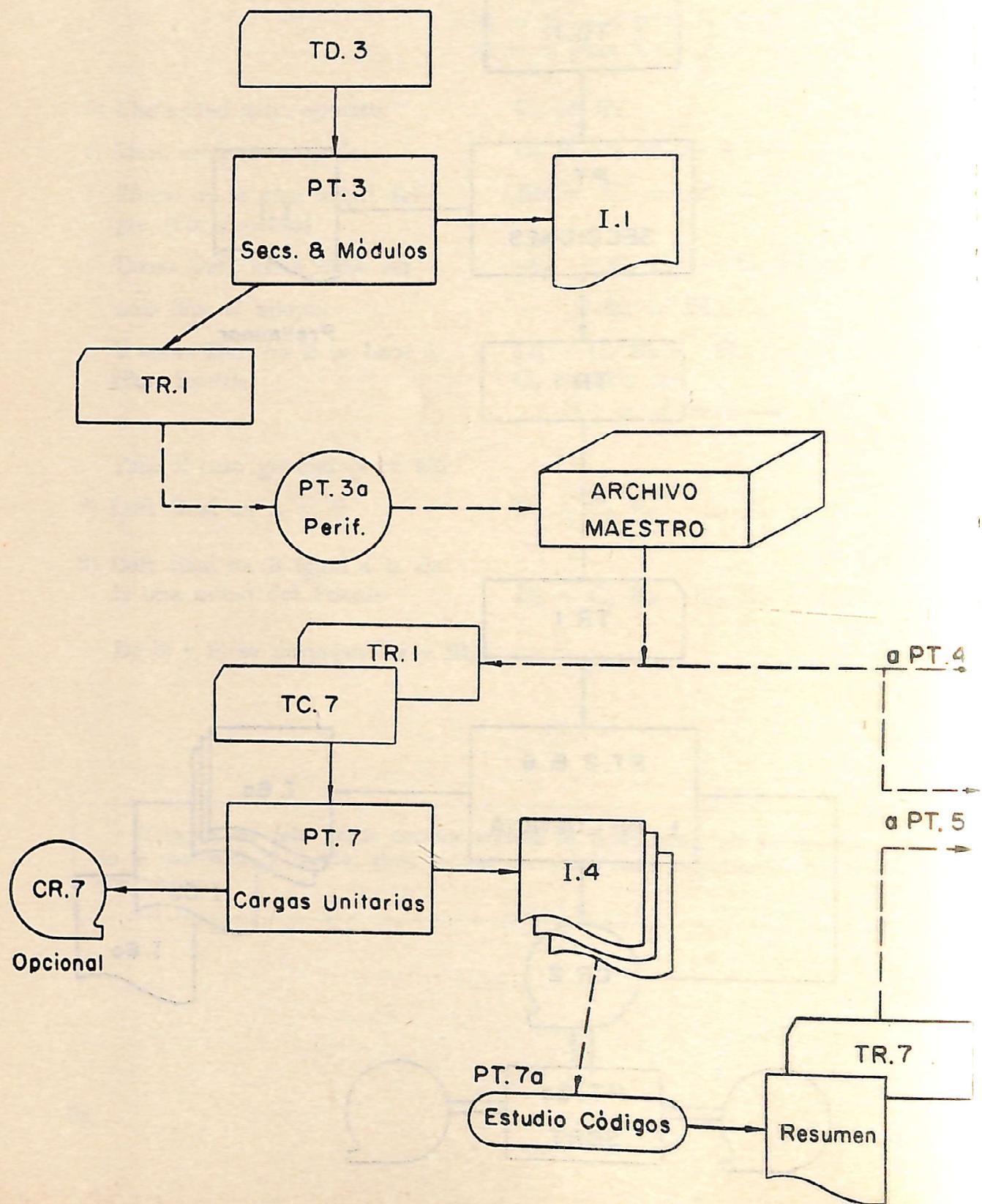
De 8) y 9) se despejan R_a y R_b .

El ingeniero debe tener constantemente la conciencia, no solamente de lo que sabe y puede, sino, lo que es quizás más importante, de lo que ignora.

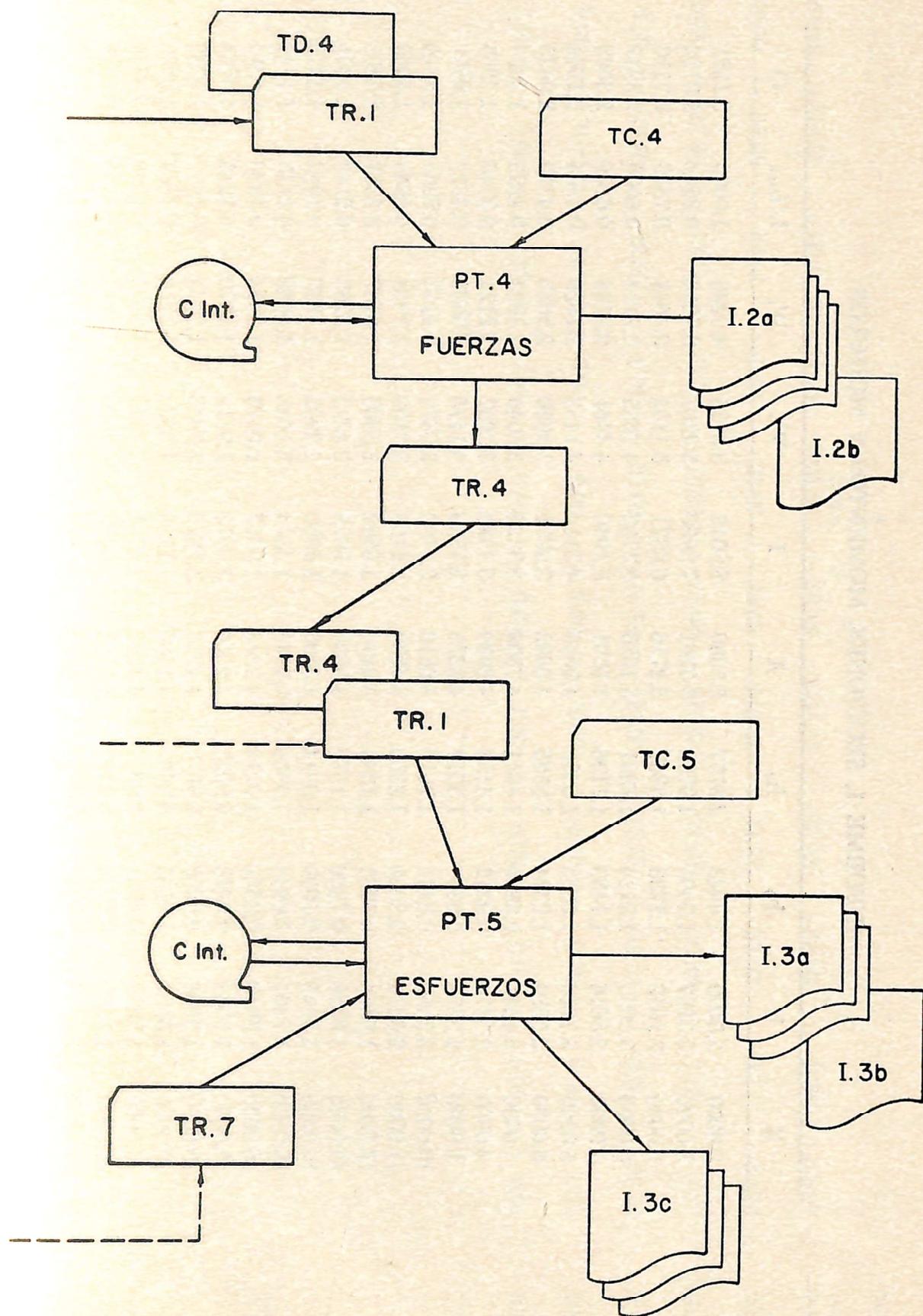
ESTUDIO PRELIMINAR - DIAGRAMA DE FLUJO



DISEÑO FINAL - DIAGRAMA DE FLUJO



DISEÑO FINAL - DIAGRAMA DE FLUJO (Continuación)



INFORME 1, SECCIONES, MOMENTOS Y MODULOS

X	h	h _o	h _u	A	I	W _o	W _u	I/I _{max}	Q
0.000	3.5000	1.4243	2.0757	5.5060	8.3642	5.8725	4.0296	1.0000	3.1281
1.000	3.3287	1.3495	1.9792	5.3861	7.3960	5.4807	3.7368	0.8842	2.9120
2.000	3.1652	1.2785	1.8867	5.2716	6.5371	5.1132	3.4648	0.7816	2.7110
3.000	3.0095	1.2114	1.7981	5.1626	5.7763	4.7685	3.2124	0.6906	2.5241
4.000	2.8616	1.1480	1.7136	5.0591	5.1040	4.4461	2.9786	0.6102	2.3508
5.000	2.7214	1.0883	1.6330	4.9610	4.5114	4.1453	2.7626	0.5394	2.1904
6.000	2.5889	1.0324	1.5565	4.8682	3.9901	3.8650	2.5635	0.4770	2.0423
7.000	2.4641	0.9800	1.4841	4.7809	3.5326	3.6046	2.3803	0.4223	1.9058
8.000	2.3470	0.9312	1.4158	4.6989	3.1323	3.3637	2.2124	0.3745	1.7805
9.000	2.2375	0.8859	1.3516	4.6223	2.7829	3.1413	2.0590	0.3327	1.6657
10.000	2.1357	0.8441	1.2916	4.5510	2.4790	2.9370	1.9193	0.2964	1.5610
11.000	2.0414	0.8056	1.2359	4.4850	2.2156	2.7503	1.7928	0.2649	1.4660
12.000	1.9548	0.7705	1.1844	4.4244	1.9882	2.5805	1.6787	0.2377	1.3801
13.000	1.8758	0.7386	1.1372	4.3690	1.7923	2.4273	1.5765	0.2143	1.3031
14.000	1.8043	0.7099	1.0944	4.3190	1.6259	2.2902	1.4857	0.1944	1.2345
15.000	1.7404	0.6845	1.0559	4.2743	1.4844	2.1688	1.4058	0.1775	1.1741
16.000	1.6840	0.6621	1.0219	4.2348	1.3657	2.0626	1.3364	0.1633	1.1215
17.000	1.6352	0.6428	0.9923	4.2006	1.2673	1.9714	1.2770	0.1515	1.0764
18.000	1.5939	0.6266	0.9673	4.1717	1.1872	1.8948	1.2274	0.1419	1.0386
19.000	1.5601	0.6133	0.9467	4.1480	1.1239	1.8325	1.1872	0.1344	1.0080
20.000	1.5338	0.6031	0.9307	4.1297	1.0761	1.7843	1.1562	0.1286	0.9844
21.000	1.5150	0.5958	0.9193	4.1165	1.0426	1.7500	1.1342	0.1246	0.9676
22.000	1.5038	0.5914	4.1086	1.0228	1.7295	1.1210	0.1223	0.9575	

Anexo 2 - Contiene los datos para el diseño de los cables del puente sobre el río Currulao.

Contiene, además, el plan de tensionamiento de Cables

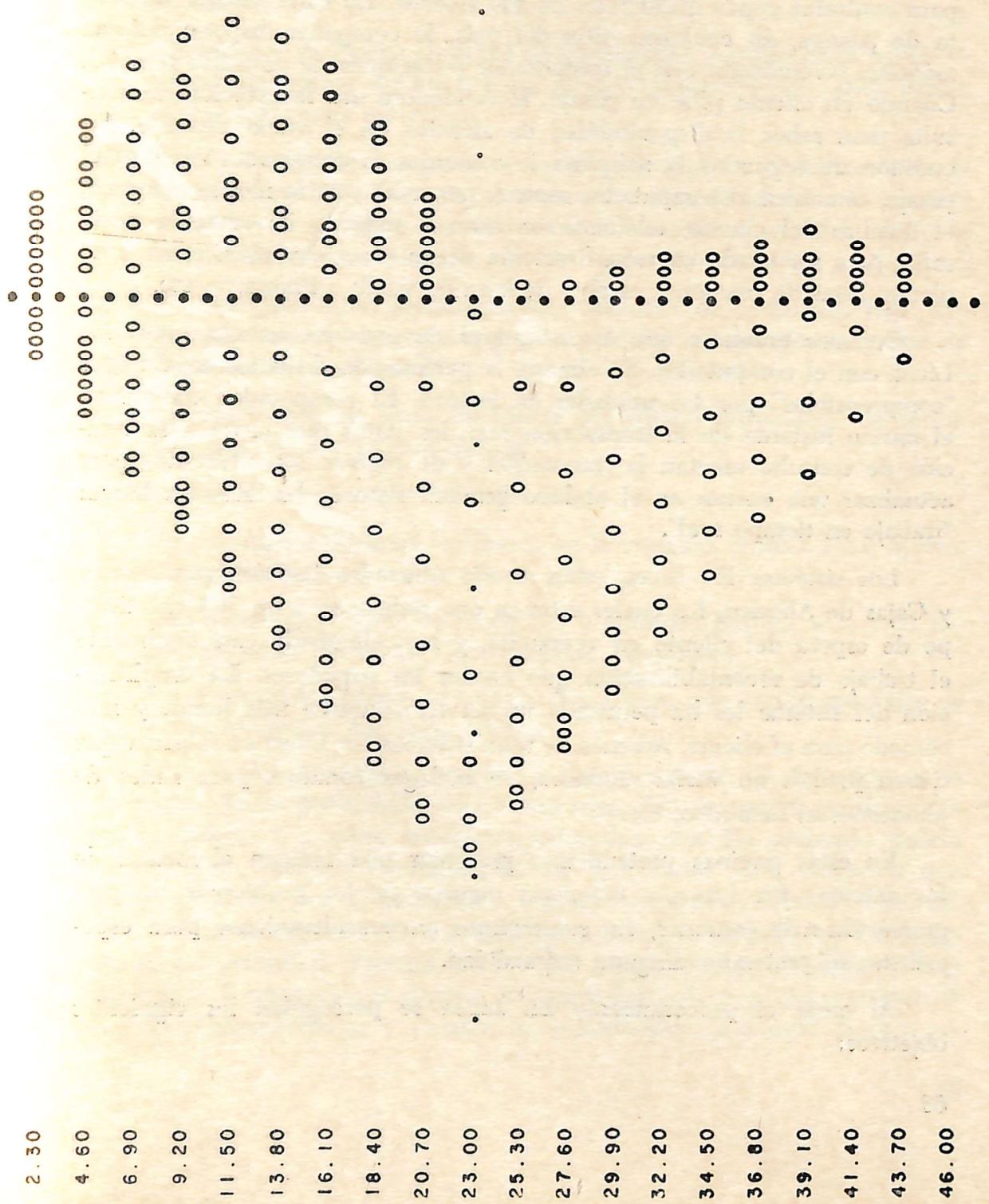
PUENTE RIO CURRULAO CARGAS. - CONSTRUCCION 20.0 A 23.0 MTS.

CABLES			PESO PROPIO	TR. EN CONSTR.	TENSION CABLES			TOTAL				
X	N	Z	Long	V	M	V	M	V	F	M	V	M
23.00				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23.00				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.00				0.00	0.00	29.62	-29.59	0.00	0.00	0.00	29.62	-29.59
	4	1.000	6.000									
20.00				0.00	0.00	39.62	-29.59	-53.33	160.00	-84.30	-13.71	-113.89
	4	0.250	3.000									
17.00				29.96	-29.85	39.62	-148.45	-26.67	160.00	42.05	42.92	-136.26
	4	0.250	3.000									
	4	1.000	6.000									
17.00				29.96	-29.85	39.62	-148.45	-80.00	320.00	-35.90	-10.41	-214.21
	4	0.000	0.000									
	4	0.250	3.000									
14.00				60.61	-150.20	39.62	-267.32	-26.67	320.00	145.57	73.57	-271.95
	6	0.000	0.000									
	4	1.000	6.000									
	4	0.250	3.000									
14.00				60.61	-150.20	39.62	-267.32	-80.00	560.00	124.74	20.23	-292.78
	10	0.000	0.000									
	4	0.250	3.000									
11.00				92.28	-363.43	39.62	-386.19	-26.67	560.00	338.34	105.23	-411.28
	10	0.000	0.000									
	4	0.250	3.000									
	4	1.000	6.000									
11.00				92.28	-363.43	39.62	-386.19	-80.00	720.00	286.43	51.90	-463.19
	14	0.000	0.000									
	4	0.250	3.000									
8.00				125.31	-672.96	39.62	-505.06	-26.67	720.00	536.86	138.27	-641.15
	14	0.000	0.000									
	4	1.000	6.000									
	4	0.250	3.000									
	2	1.600	6.000									
8.00				125.31	-672.96	39.62	-505.06	-122.67	960.00	441.15	42.27	-736.87
	18	0.000	0.000									
	4	0.250	3.000									
	2	0.400	3.000									
5.00				160.06	-1083.23	39.62	-623.93	-48.00	960.00	847.97	151.69	-859.19
	18	0.000	0.000									
	4	0.250	3.000									
	4	1.000	5.000									
	2	0.400	3.000									
	2	1.600	5.000									
5.00				160.06	-1083.23	39.62	-623.93	-163.20	1200.00	789.96	36.49	-917.20
	30	0.000	0.000									
0.00				222.74	-2006.27	39.62	-822.05	0.00	1200.00	1553.16	262.36	-1275.16

PUENTE RIO CURRULAO

CONSTRUCCION 20.0 A 23.0 MTS.

X	compr.	FUERZAS				ESFUERZO				Es. principal sup.				Es. principal inf.	
		M	V	ΔV	$V + \Delta V$	f. sup.	f. inf.	cortante	estf.	tan. 2a	estf.	tan. 2a	estf.	tan. 2a	
0.00	1120.00	-1378.70	262.36	-104.68	157.68	-31.36	558.55	84.24	-98.03	-6.57	-14.00	-0.34			
5.00	1120.00	-993.86	36.49	-86.72	-50.23	-13.99	593.94	-34.84	-40.57	6.54	-2.35	-0.14			
5.00	880.00	-935.86	151.69	-76.44	75.25	-48.38	523.57	52.19	-73.76	-2.83	-5.94	0.23			
8.00	880.00	-800.96	42.27	-67.12	-24.85	-50.84	554.76	-20.18	-45.58	1.10	-0.86	-0.09			
8.00	640.00	-705.25	138.27	-55.59	82.68	-73.46	459.49	67.14	-98.65	-2.54	-11.22	0.34			
11.00	640.00	-517.24	51.90	-41.68	10.22	-45.37	433.93	9.66	-33.51	-0.63	-0.26	0.05			
11.00	480.00	-465.33	105.23	-35.44	69.79	-62.17	368.89	65.97	-90.30	-3.13	-13.57	0.43			
14.00	480.00	-339.17	20.23	-24.33	-4.10	-36.96	340.63	-4.44	-24.24	0.38	-0.07	-0.03			
14.00	320.00	-271.95	73.57	-18.43	55.14	-44.65	258.05	59.81	-75.61	-4.23	-15.83	0.57			
17.00	320.00	-214.21	-10.41	-11.53	-21.94	-32.48	244.31	-26.63	-38.00	2.75	-3.57	-0.27			
17.00	160.00	-136.26	42.82	-6.25	36.07	-31.03	145.02	43.77	-53.97	-4.74	-14.70	0.76			
20.00	160.00	-113.89	-13.71	-3.22	-16.93	-25.09	137.30	-22.13	-30.38	3.10	-4.37	-0.41			
20.00	0.00	-29.59	29.62	-0.60	29.02	-16.58	25.60	37.92	-42.93	-8.04	-29.19	3.77			
23.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
23.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			



Informe 6b Diagramas de momentos superpuestos (Evolvonte),
dibujados a escala por el computador.