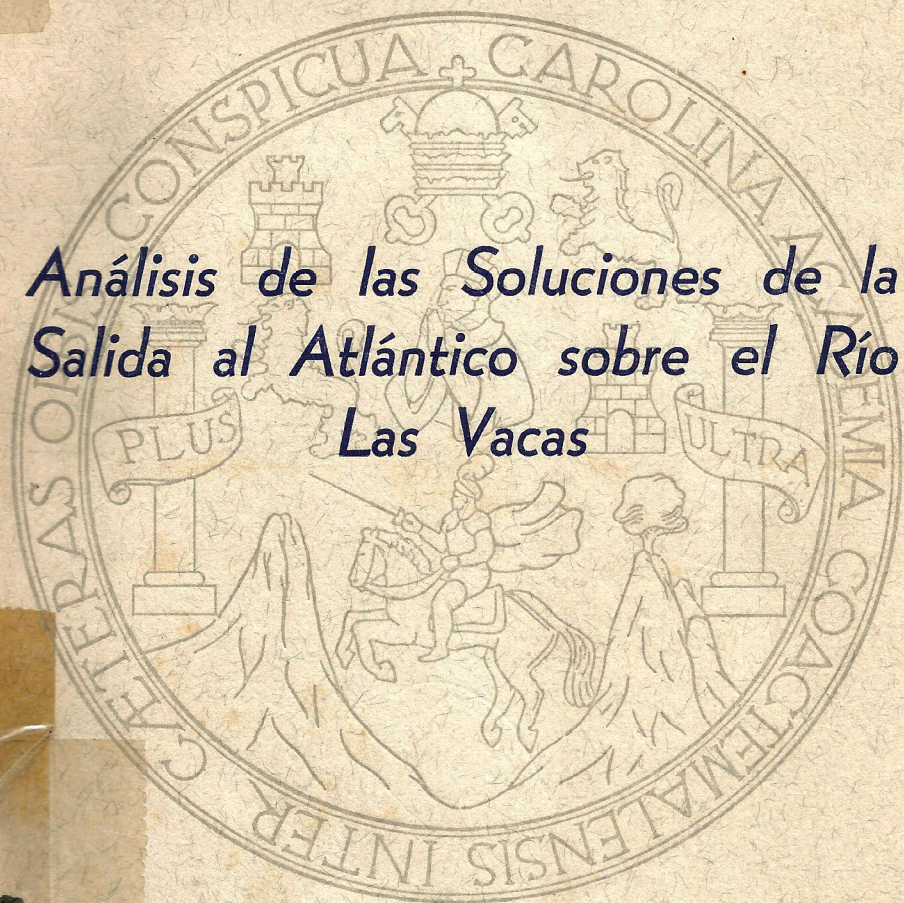


JORGE ERNESTO ERDMENGER

**Análisis de las Soluciones de la
Salida al Atlántico sobre el Río
Las Vacas**



80
(993)

GUATEMALA, 1954

**BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

*Análisis de las Soluciones de la Salida
al Atlántico sobre el Río Las Vacas*

TESIS

presentada a la Junta Directiva de la Facultad
de Ingeniería de la Universidad de San Carlos
de Guatemala, por

JORGE ERNESTO ERDMENGER,

en el acto de su investidura de

INGENIERO CIVIL.



**TESIS DE REFERENCIA
NO
SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL-USAC.**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1954.

JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

<i>Decano</i>	Ing. Jorge Erdmenger P.
<i>Vocal 1º</i>	Ing. Alfonso Guirola L.
<i>Vocal 2º</i>	Ing. Ernesto Rosales F.
<i>Vocal 3º</i>	Ing. Héctor David Torres.
<i>Vocal 4º</i>	Br. Enrique Murillo.
<i>Vocal 5º</i>	Br. Danilo Arís.
<i>Secretario</i>	Ing. Adrián Saravia V.

Tribunal que practicó el Examen General Privado:

<i>Por el Decano</i>	Ing. Alfonso Guirola L.
<i>Examinador</i>	Ing. Julio Antillón.
<i>Examinador</i>	Ing. Ernesto Rosales F.
<i>Examinador</i>	Ing. Bernardo Fuentes A.
<i>Secretario</i>	Ing. Adrián Saravia V.

Revisó oficialmente la Tesis el Catedrático:

Ing. Roberto Zepeda A.

DL
08
TC8/c

DEDICO ESTE ACTO:

A MIS PADRES:

**Ing. JORGE ERDMENGER P.
ISABEL de ERDMENGER**

A MIS HERMANOS:

**JUAN JACOBO
MARTA EUGENIA**

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

A LOS ESTUDIANTES DE INGENIERIA.

A LOS TRABAJADORES DE CAMINOS.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Al cumplir con lo establecido por las leyes de la Universidad de San Carlos de Guatemala y presentar ante vuestra consideración el trabajo de Tesis titulado: "ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE LA SALIDA AL ATLANTICO SOBRE EL RIO LAS VACAS", tema que me fue asignado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería, lo hago no como estricto formalismo, sino porque considero que el espíritu del hombre, que ve con apatía los problemas de su Patria, es un espíritu anquilosado que no tiene más proyecciones, que las que su egoísmo le refleja como inmediatamente propias.

El flujo y reflujo de los juicios, de los conocimientos, de las críticas y en general del análisis de éstos, es condición primordial de una inquieta acción creadora.

Con base en estos principios, el análisis del presente problema está impregnado del especial sabor de la Ingeniería, por llevar intrínseco el esfuerzo de muchos hombres, y la resistencia propia del medio a ser resuelto, resistencia que será vencida en la mejor forma al menor costo.

El presente trabajo encierra la convicción de que siempre habrá a una solución buena, otra mejor, pero nunca debe esperarse ésta, cuando se corra el riesgo de un estancamiento pernicioso.

Presenta un análisis completo de varias soluciones y está inspirado en el sentimiento de entregar a Guatemala, a través de la Universidad de San Carlos de Guatemala, una pequeña contribución para su engrandecimiento.

DATOS GENERALES

Una de las obras de mayor envergadura, es la construcción de la Carretera al Atlántico, que unirá la Capital con los Puertos de Barrios y Santo Tomás, y Departamentos intermedios.

Su importancia como vía de comunicación es indiscutible, ya que une numerosos puntos que actualmente carecen de acceso por medio de carretera, con la Capital y con un puerto importante.

Como carretera de importancia que es, debe reunir requisitos técnicos adecuados, para dar un máximo de comodidad y de seguridad al tráfico.

Según el proyecto y diseño efectuado por la Dirección General de Caminos, la carretera entra a la Capital por la parte Norte-Oriente, diseño que me parece adecuado, y que por los fines del presente trabajo no entraré en mayores consideraciones.

Precisamente antes de entrar la carretera a la Capital, debe salvar el barranco de Las Vacas, que tiene una profundidad máxima de 65.78 m.; en el fondo del mismo se localiza el río del mismo nombre, destinado a recolectar las aguas negras de la Capital.

El paso de Las Vacas, es uno de los problemas que se ha presentado en la construcción de la Carretera al Atlántico; al abordarlo en el presente trabajo, lo haré desde los puntos de vista técnico, urbanístico y económico. Desde el punto de vista técnico, por la importancia de la carretera misma; urbanístico por dos razones: la primera porque en la parte oriente del barranco de Las Vacas existen áreas

de terreno que deben ser aprovechadas en la mejor forma para el crecimiento futuro de la Capital; y la segunda razón porque constituyendo la entrada a la ciudad, debe facilitar la distribución rápida del tráfico en la misma.

Desde el punto de vista económico, está hecho con el criterio de que el costo debe ser función de las características de seguridad y comodidad para el tráfico; y de las condiciones estéticas que la solución requiera.

PLANTA GENERAL

0 5 10 20 30 40 MTS.
ESCALA

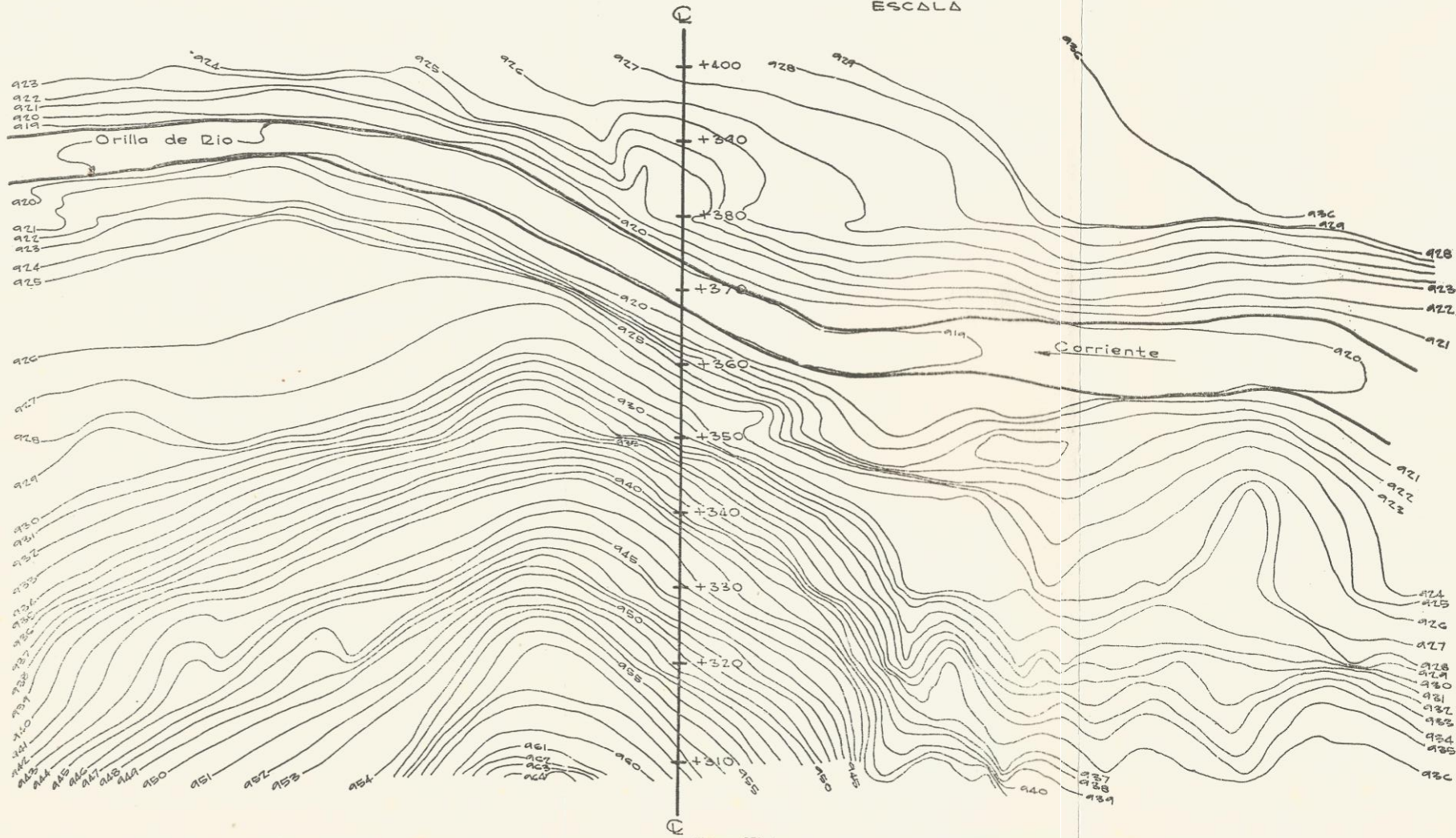
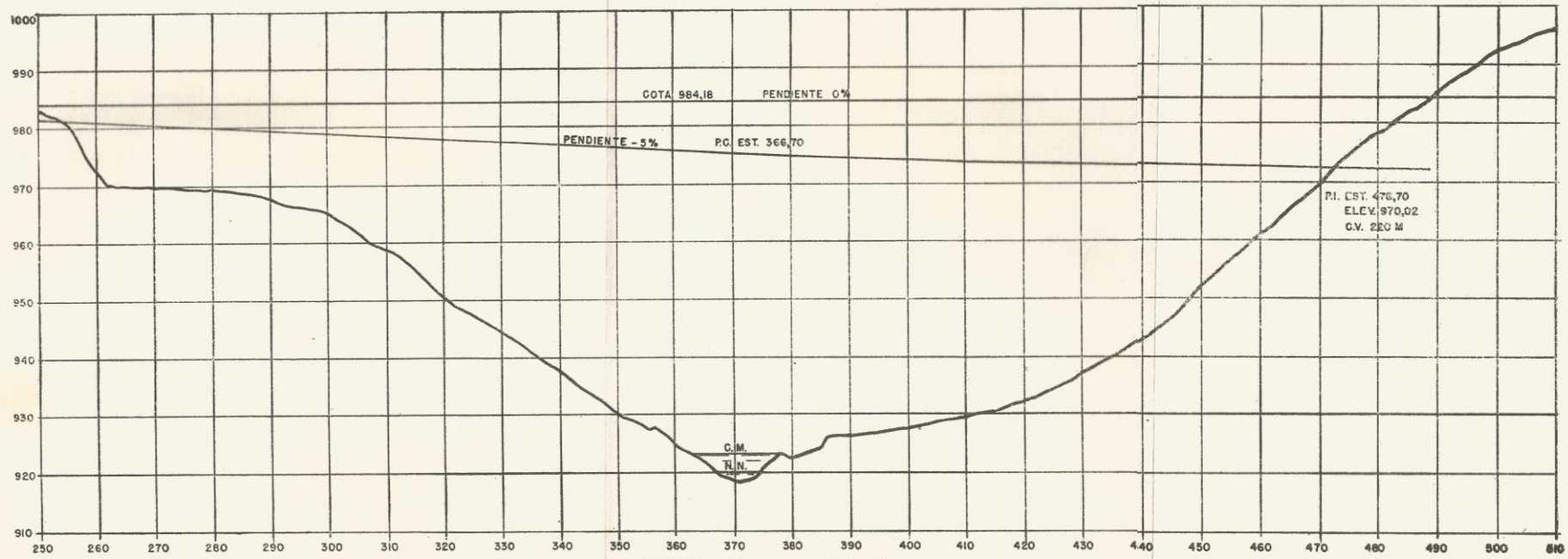


Figura Nº 1.



PERFIL DE LAS VACAS
(PARA LINEA CON RASANTE ALTA)

Figura Nº 2.



Figura N° 3.—Macueta con una de las Soluciones.

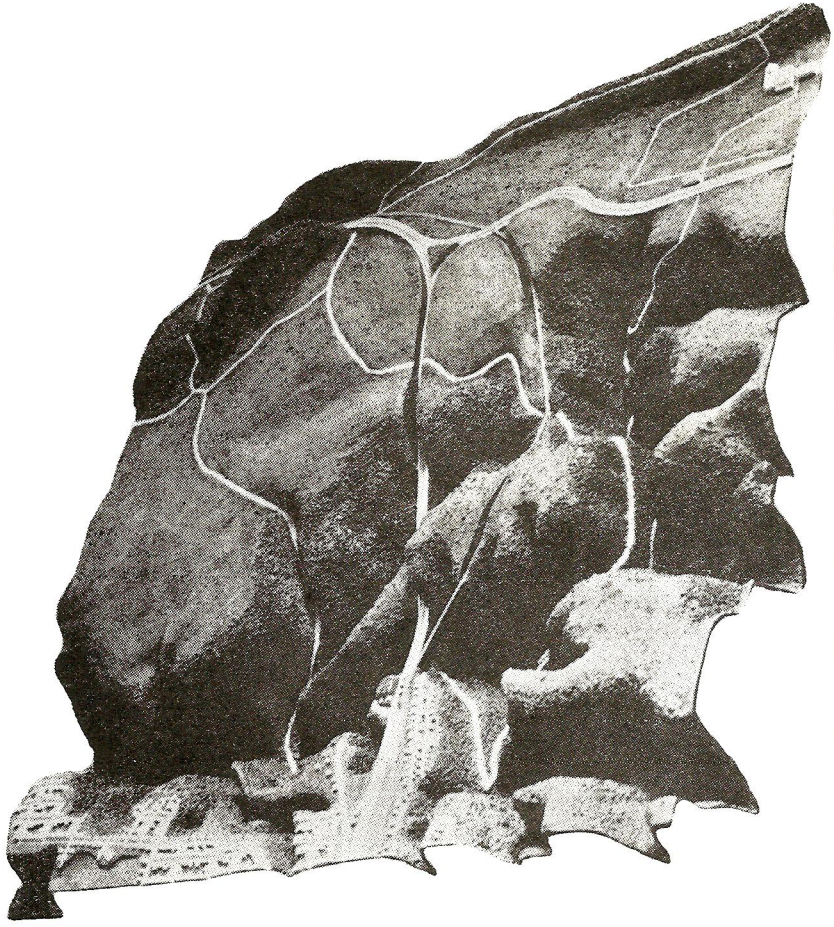


Figura Nº 4.—Maqueta con una de las Soluciones.

DATOS DEL RIO:

El Río Las Vacas, está destinado a recolectar la mayor parte de los drenajes de la Ciudad de Guatemala.

La Estación 0+370.40 de la carretera que conduce al Atlántico (ver planta general), queda sobre el centro del mismo. La cota del fondo del río es 918.40.

El área de descarga es, en estación seca de 7.42 m², y en estación lluviosa de 31.25 m².

Sin embargo, se ha estimado para el futuro ensanchamiento de la Capital, y para cuando la totalidad de las calles estén pavimentadas, un área de descarga de 45.00 m².

DATOS DEL TERRENO:

El río está localizado en el fondo del barranco de Las Vacas, que tiene una altura máxima de 65.78 m. y las laderas del mismo tienen una pendiente promedio de 1.4:1.

Las perforaciones realizadas han demostrado la existencia de los siguientes materiales:

- a) Barro y lodo aluvial, talpetate amarillento blando, talpetate pomoso muy blando, talpetate pomoso blando, arena gruesa con piedrecitas, barro con arena fina suave, barro arenoso, arena muy fina;
- b) Lodo aluvial arenoso, arena gruesa con piedrecitas, arena fina suelta, talpetate amarillento suave, talpetate pomoso blando, arena fina, arena fina pomosa;
- c) Barro, arena gruesa con piedrecitas, arena gruesa pomosa, arena fina pomosa, arena pomosa, talpetate pomoso blando, talpetate amarillento pomoso blando, barro pomoso blando;
- d) Arena fina limosa, arena gruesa pomosa, talpetate pomoso; y

- e) Pómez con barro claro, barro con gravilla, arena de río con pómez, limo con vestigios de arena, arena gruesa suelta.

Las cuatro primeras son perforaciones realizadas por la I.R.C.A., y la quinta, por la D.G.C., todas ellas son del fondo del barranco.

El resultado de las perforaciones indicadas da un índice de la calidad del subsuelo, pero son insuficientes para la construcción de determinada estructura.

Con base en estas perforaciones y para una estimación económica de las soluciones he asumido la resistencia del suelo en 2 toneladas/pies², la que corresponde a la resistencia promedio de arena gruesa suelta, arena fina compactada y arena fina suelta.

DATOS DE LA CARRETERA:

Ancho total de la carretera antes del barranco: 27.80 m.

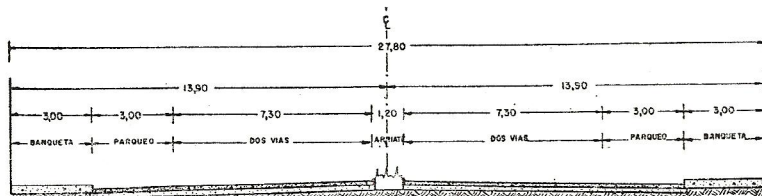


Figura Nº 5.—Sección típica hasta estación 0+250 (antes del barranco).

2 Banquetas para peatones:	3.00 m. c/u	: 6.00 m.
2 Trochas de parqueo	: 3.00 m. c/lado	: 6.00 m.
4 Trochas de tráfico	: 7.30 m. c/lado	: 14.60 m.
1 Arriate central	: 1.20 m.	: 1.20 m.

Esta sección se usa hasta estación 0+250.

Ancho total de la carretera en el paso del barranco: 21.80 m.

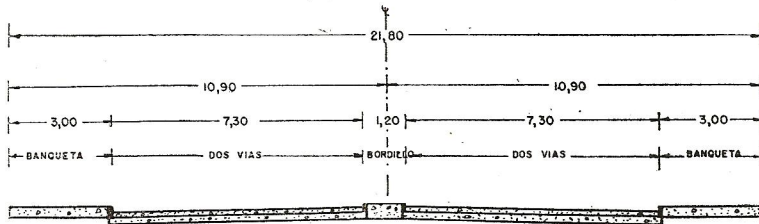


Figura N° 6.—Sección típica de Estación +250 a +640 (paso del barranco).

2 Banquetas para peatones:	3.00 m. c/u	:	6.00 m.
4 Trochas de tráfico	: 7.30 m. c/lado	:	14.60 m.
1 Bordillo central	: 1.20 m.	:	1.20 m.

Pasado el barranco continúa con sección típica de [21.80 m. diferente de ésta.

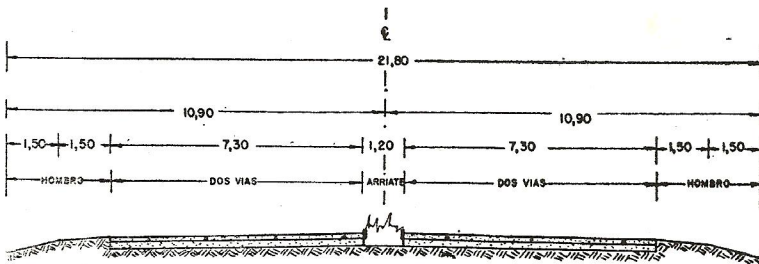


Figura N° 7.—Sección típica de Estación +640 a +2+020 (después del barranco).

Inclinación de taludes	:	1.5:1
Ancho máximo del relleno en el fondo	:	173.00 m.
Ancho promedio del relleno en el fondo	:	102.00 m.

El ancho de dichas secciones me parece adecuado para los fines técnicos y urbanísticos.

Por tener la sección típica de la carretera antes del puente 3 m. más, para parqueo a cada lado, considero que

debe construirse una sección de transición lo suficiente amplia para que no se tenga sensación de estrechamiento.

Con base en los datos anteriores desarrollaré el presente trabajo en la forma siguiente:

Capítulo I: Soluciones con Rasante Baja	}	1ª Solución: Desarrollo de la carretera en el barranco.				
		2ª Solución: Desarrollo de la carretera en el barranco.				
		3ª Solución: Desarrollo de la carretera en el barranco.				
Capítulo II: Soluciones con Rasante Alta	}	Sección A Estructuras con Relleno	}	4ª Solución Bóveda	}	a) Con cimiento de losa de concreto;
						b) Con muros sobre pilotes; y
						c) Con cimentación sobre material selecto.
		Sección B Estructuras sin Relleno	}	Tubería	}	5ª Soluc.: Tubería Circular
						6ª Soluc.: Tubería Elíptica
						7ª Soluc.: Tubería Armco.
						8ª Solución: Caja Triple.
						9ª Solución: Puente.

El procedimiento para seleccionar la mejor solución será el siguiente:

Descripción de todas las soluciones.

Discusión de ellas.

Selección de la solución recomendable.

CAPITULO I

SOLUCIONES CON RASANTE BAJA

Generalidades:

He dado el nombre de Soluciones con Rasante Baja, a aquellas en que se propone el desarrollo de la Carretera al Atlántico a través del barranco de Las Vacas, con el fin de pasar con una rasante relativamente baja, respecto del fondo del río, y disminuir así la magnitud de la estructura de drenaje del mismo, conservando la sección para el área de descarga fijada.

Las soluciones de esta sección, que analizaré, tienen acceso por tres calles: La Calle del Guarda del Golfo, que está proyectada como salida, de una vía. La Calle del Reloj, proyectada como entrada a la Ciudad, también de una vía. La Calle de los Eucaliptos, proyectada como mixta, es decir, de entrada y salida (doble vía).

Las tres calles de acceso se unen adelante de la actual Garita de la Guardia Civil.

Los estudios analizados en este Capítulo están proyectados con una sección típica total de 15.50 metros para tres trochas de tráfico.

Para el presente Capítulo se utilizarán los siguientes costos unitarios:

- a) Puentes: costo aproximado Q2,000.00 metro lineal por 8.96 m. de ancho total (incluye subestructura);
- b) Concreto: Q90.00 m³. (incluye excavación);
- c) Terracería: Q81,936.20 (Sección típica 21.80 m.); y

d) Construcción de carretera:

Para 1ª Solución: Q109,038.41/Km. (Sección típica 15.50 m.).

Para 2ª Solución: Q102,449.26/Km. (Sección típica 15.50 m.).

Para 3ª Solución: Q105,743.83/Km. (Sección típica 15.50 m.).

Datos de terracería y construcción proporcionados por la Sección de Proyectos de la D. G. C.

Los costos de construcción de carretera para 21.80 m. (4 vías), se obtuvieron por proporcionalidad con los costos para sección típica de 15.50 metros.

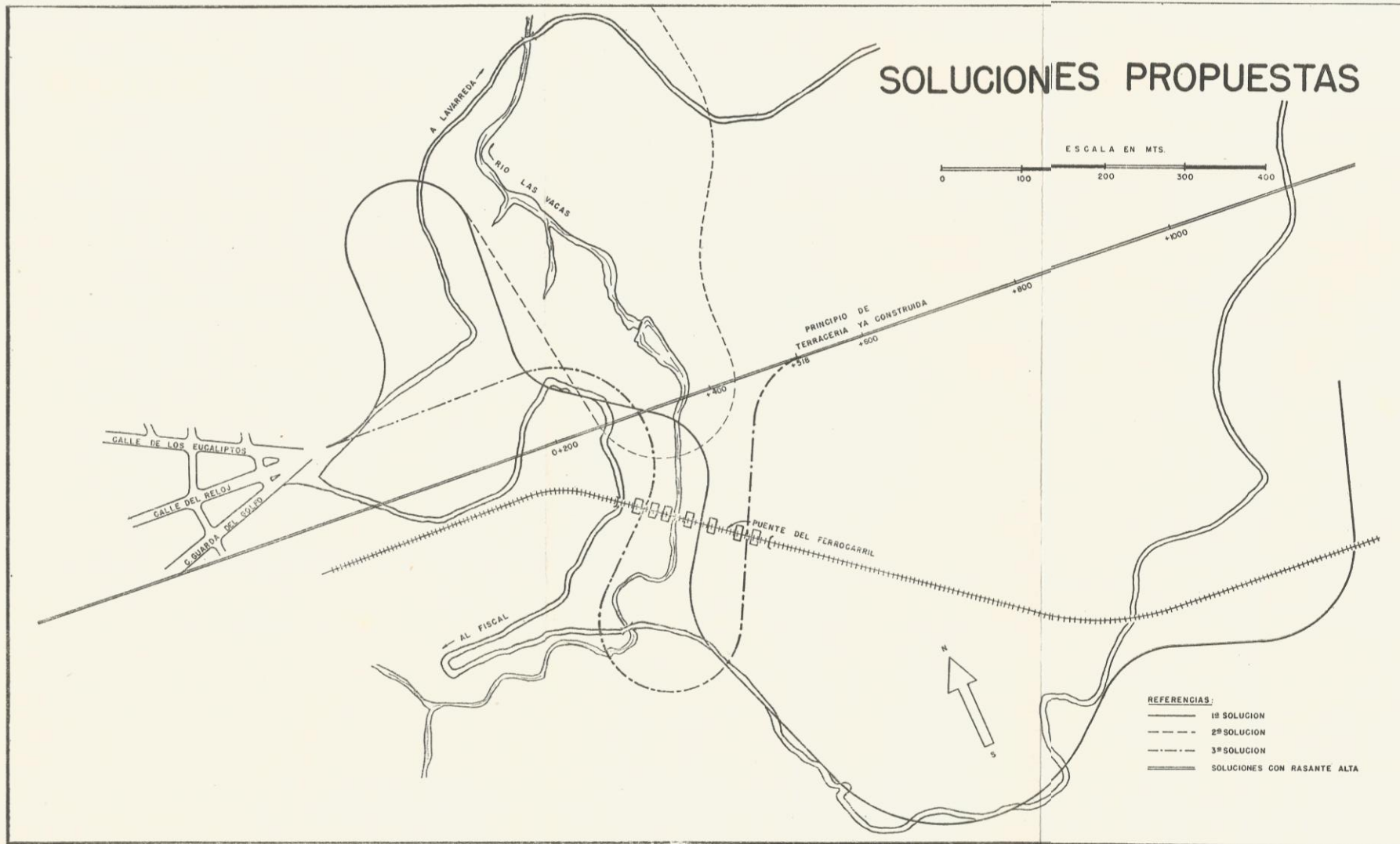


Figura Nº 8.

1ª SOLUCION:

Como puede apreciarse en el plano de soluciones propuestas, sale de la Ciudad con una curva horizontal, se desarrolla sobre la ladera del barranco hacia el norte, corta en curva horizontal al actual camino a Lavarreda; atravesando el río, a más o menos 110 metros antes del actual puente del ferrocarril, y casi paralelo a dicho puente.

Estimo que el paso del río, puede hacerse por medio de un puente de vigas de acero, simplemente apoyadas, de 12.60 metros de luz.

En tangente pasa bajo el puente del ferrocarril entre dos de las torres del mismo, que distan entre sí 22.00 metros, entre centros.

Para la protección de dichas torres se requiere la construcción de un muro de retención de talud.

El muro como mínimo deberá tener 5.00 metros de altura y una longitud total de 60.00 metros, será de tipo cantilever de concreto reforzado.

Siguiendo un desarrollo semejante al del actual camino al Fiscal, la línea proyectada atraviesa nuevamente la línea del ferrocarril en un paso bajo nivel, donde habrá que construir un puente de una vía, que puede ser de vigas de acero con pila en el centro; éste debe cubrir una luz libre total, igual al ancho de la sección típica de la carretera o sea de 21.80 metros.

El presente desarrollo usa pendiente máxima de 6.25% y el radio mínimo usado de curva horizontal es de 86.67 m. reduciendo la velocidad máxima a 30 m.p.h.

La presente solución aumenta la longitud de la carretera (con respecto a la solución con rasante alta en 1,150 metros [de estación 1+500 a 2+650]) y ocasiona un movimiento de tierras de 445,764.00 m³. (sección típica de 15.50 metros).

Por otra parte, la presente solución ocasiona un desperdicio de terracería ya construida, en el caso más fa-

vorable, de 1,000 m. de longitud. (De Estación 0+500 a 1+500) y obras de drenaje construidas entre esas estaciones.

El costo estimado está calculado para una sección típica de 21.80 m., para la comparación con las demás soluciones.

COSTO ESTIMADO:

Estructuras:

Costo puente 12.60 m.	Q 61,000.00
Muros retención	Q 18,500.00
Puente para paso bajo nivel	Q 20,000.00

Carretera:

Desperdicio de terracería 1,000 m.	Q 81,936.20
Costo 1,500 m. de longitud de carretera	Q 230,616.24

Costo Total Estimado: Q 412,052.44

2ª SOLUCION

De la Ciudad de Guatemala sale, como puede apreciarse en el plano de Soluciones Propuestas (Fig. N° 8), con un desarrollo semejante al del proyecto de la primera solución.

Atraviesa el Río Las Vacas en curva horizontal por medio de un puente que puede ser de 12.60 m. de luz, de vigas de acero.

Al salir de la curva se desarrolla sobre la ladera oriente del barranco, hacia el norte, salvando de esta manera, el puente del ferrocarril, hasta intersectar la terracería ya construida en estación 2+500, lo que ocasiona un desperdicio de terracería y obras de drenaje ya construidas, de aproximadamente 2 kilómetros.

El proyecto usa radio mínimo de curva horizontal de 86.67 m., que reduce la velocidad a 30 m.p.h.

Produce un aumento de 800 m. aproximadamente en la longitud de la carretera.

El costo estimado está calculado para una sección típica de 21.80 m., para la comparación con las demás soluciones.

COSTO ESTIMADO:

Estructuras:

Puente 12.60 m.	Q 61,000.00
Muros de retención	Q 39,000.00

Carretera:

Costo 1,300 m. de carretera	Q193,828.00
-----------------------------------	-------------

Costo Total Estimado: Q293,828.00

RESUMEN DE COSTO DE LAS SOLUCIONES:

1ª Solución	Q412,052.44
2ª Solución	Q586,006.05
3ª Solución	Q293,828.00

CAPITULO II

ANALISIS DE SOLUCIONES CON RASANTE ALTA

Generalidades:

He dado el nombre de Soluciones con Rasante Alta, a aquellas que unen en línea recta el centro del último arriate de la Calle Martí con el centro de la terracería ya construida en estación 0+500, atravesando el barranco con una rasante relativamente alta respecto al fondo del río.

Todos los estudios correspondientes a esta sección están proyectados con una sección típica total de 21.80 m.

Para disminuir relleno se ha proyectado una curva vertical que deja la rasante a 56.75 m. aproximadamente del fondo del barranco, lográndose en esta forma una reducción de carga sobre la estructura.

En el presente Capítulo se han usado los siguientes esfuerzos, pesos y precios unitarios:

Peso material de relleno ya compactado	120# / pie ³
Peso del concreto	150# / pie ³
Equivalente líquido (fórmula de Rankine)	30# / pie ³
Peso del material de relleno por efecto de bóveda 120×0.7	84# / pie ³
Precio de 1 m ³ . de concreto Clase A	Q90.00
Precio de 1 m ³ . de relleno selecto ya compactado	Q 0.45
Area de descarga estimada para el futuro	45.00 m ² .
Esfuerzo de trabajo del acero	Fs = 18,000 P.S.I.
Esfuerzo de trabajo del concreto en compresión	Fc = 1,000 P.S.I.
Esfuerzo de ruptura de concreto	F'c = 3,000 P.S.I.
n = 10	j = 0.881
k = 157	v = 120 P.S.I.

Dentro de este Capítulo analizaré las soluciones siguientes:

Sección A.—Estructuras con Relleno.

Sección B.—Estructuras sin Relleno.

SECCION A.—Estructuras con Relleno.

Generalidades:

La localización más favorable para este tipo de estructura con Skew de $10^{\circ} 43.5'$ Derecha y con una longitud de 183.00 metros, bajo una altura de relleno de 56.80 m., (hasta el fondo).

Se usará pendiente de 1% a 2% para evitar la acción erosiva de las aguas dentro de la estructura.

4ª SOLUCION: BOVEDA

Se usará una bóveda de tipo parabólico con la siguiente relación: $d/b = 2.618r/2r$. (Siendo d = altura libre, b = ancho libre y r = radio en la base).

Por ser éste el tipo recomendado para conductos largos en drenajes de tormenta, que se hallan sometidos a cargas verticales fuertes.

a) Con cimientto de Losa de Concreto.

Datos Asumidos:

Area de descarga = 485 pies²

Altura del relleno desde el fondo = 186'

La carga vertical sobre la estructura será igual al peso del prisma. La carga viva se disipa antes de llegar a la estructura, por lo que no se tomará en cuenta. Únicamente se hará un cálculo para obtener el volumen aproximado de concreto que la estructura requiere.

DIMENSIONES LIBRES DE LA ESTRUCTURA:

$d = 1.309 b$.

Area de descarga = 485 = $\frac{2}{3} bd = .88 b^2$.

$$b = \sqrt{485/.88} = 23.5'$$

$$d = 30.7'$$

Estimo peraltes:

Para la clave $t_c = 16''$
 Para el arranque $t_a = 32'' = 2.16'$

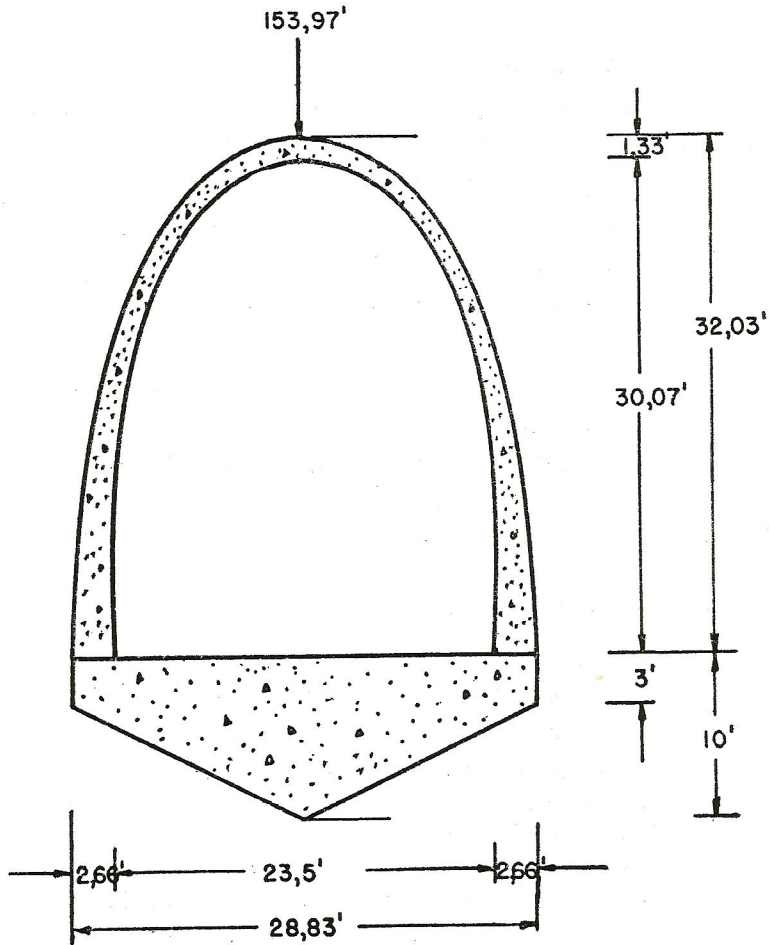


Figura N° 9.—Bóveda.

Cargas:

Ancho externo de la bóveda $23.5 + 5.33 = 28.83'$

Carga vertical uniforme por 1' de bóveda:

$$P = 28.83 \times 153.97 \times 84$$

$$P = 372,872.22\#$$

Carga lateral uniforme por 1' de bóveda:

$$\text{Para } W = 120\#/\text{pie}^3 \text{ y } \phi 33^\circ 42' P' = 17.16 h^2.$$

$$P' = 17.16 (H^2 - h^2) = 17.16 (186^2 - 153.97^2)$$

$$P' = 186,859.36\#$$

en la cual: $\phi =$ ángulo de reposo del material.

H = altura total del relleno.

h = altura del relleno sobre la estructura.

Carga vertical triangular:

$$A = b/2 h - 1/3 b/2 \times h$$

$$A = 14.41 \times 32.03 - 1/3 \times 32.03 \times 28.83 =$$

$$= 153.74$$

$$P_2 = A \times 84 = 12,914.16\#$$

Determinación de Momento:

$$R_v = P/2 + P_2$$

$$R_v = 372,872.22/2 + 12,914.16 = 186,436.11 +$$

$$12,914.16$$

$$R_v = 199,350.27\#$$

$$R_h = P'/2$$

$$R_h = 186,859.36/2$$

$$R_h = 93,429.68\#$$

$$M \text{ Clave} = R_v \times (\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} ta) + R_h \times$$

$$(d + ta/2) - R_v (b/4 + ta/2) -$$

$$R_h (d/2 + tc/2)$$

$$\begin{aligned} M_{\text{clave}} &= 199,350.27 \times 13.08 + 93,429.68 \times \\ &\quad 31.37 - 199,350.27 \times 8.53 - \\ &\quad 93,429.68 \times 16.02 \end{aligned}$$

$$M = 2,341,189.32 \#'$$

Chequeo de peralte:

$$d = \sqrt{M/Kb} = 12.2'' \approx 13''$$

$$t_c = 13'' + 3'' \text{ recubrim.} = 16''$$

Adopto peraltes:

Para la clave = 16''

Para el arranque = 32''

Cálculo de la Losa:

Datos Asumidos:

Losa simplemente apoyada sobre la bóveda:

Peralte en el centro 10'

Peralte en el apoyo 3'

Carga total del suelo sobre la estructura:

$$d \text{ prom} = 3 + 10/2 = 6.5' \text{ peralte promedio.}$$

$$\text{Carga lineal} = 6.5 \times 150 = 975 \#/\text{pie.}$$

Presión total sobre el suelo: 2Rv + peso propio.

$$2Rv = 398,700.54 \#/\text{pie}$$

$$\text{Peso propio: } 975 \times 28.83 = 28,109.25 \#/\text{pie}$$

$$426,809.79 \#/\text{pie}$$

Presión uniforme sobre el suelo:

$$W = \frac{426,809.79}{28.83} = 14810 \#/\text{pie}^2 = 7.4 \text{ ton.}/\text{pie}^2$$

excede a la resistencia permisible del suelo (dos toneladas por pie cuadrado).

Presión Neta para Cálculo de Momento:

$$\text{P.N.} = \frac{426,809.79 - 28,109.25}{28.83}$$

$$\text{P.N.} = 13,810 \#/'$$

$$\text{Momento } M = \frac{1}{8} Wl^2$$

$$M = \frac{1}{8} \times 13,810 \times 28.83^2$$

$$M = 1,500,000 \#'$$

$$\text{Chequeo de peralte: } d = \sqrt{M/Kb} = 86.5'' = 7.2'$$

Adopto $t = 8'$ para el centro de la losa.

Area de la sección adoptada:

$$A_T = \text{Abov.} + \text{Alosa}$$

$$\text{Abov.} = \frac{2}{3} BD - \frac{2}{3} b'd' = \frac{2}{3} (BD - b'd')$$

$$\text{Abov.} = \frac{2}{3} (28.83 \times 32.03 - 23.5 \times 30.7)$$

$$\text{Abov.} = 135.32 \text{ pie}^2.$$

$$\text{Alosa} = t_{\text{prom.}} \times \text{Llosa}$$

$$\text{Alosa} = 5.5 \times 28.83$$

$$\text{Alosa} = 159.00 \text{ pie}^2.$$

$$A_t = 294.32 \text{ pie}^2.$$

$$V_t = A_t \times L_{\text{bov}}$$

$$V_t = 294.32 \times 600.423$$

$$V_t = 177,000 \text{ pie}^3 = 4,520 \text{ m}^3.$$

COSTO ESTIMADO TOTAL:

Estructura	: 4,520 × 90.00	= Q407,000.00
Cabezales	:	= Q 12,600.00
Relleno	: 493,000 m ³ . × 0.45	= Q193,500.00
		<hr/>
	Costo total estimado	= Q613,100.00

b) Con Muros sobre Pilotes:

La solución de bóveda con losa de concreto es antieconómica por los peraltes que requiere la losa para resistir las presiones del suelo, analizaré en vista de ello, una solución usando la misma bóveda, sostenida por muros sobre pilotes. Conforme a especificaciones de la A.A.S.H.O. 3.4.17 (e) para pilote de madera de 12" de diámetro, la carga máxima de diseño es de 20 toneladas por pilote.

El espaciamiento mínimo entre centros debe ser 2.5' y de la orilla del cimientto al centro del último, de 9".

En el caso de que la eficiencia del conjunto fuera del 100% en cada faja de 2.5' de longitud de bóveda, se requieren:

$$P = 2.5 \times 2 \text{ Rv.}$$

$$P = 2.5 \times 398,700.54 = 996,751.35 \text{ \$/fila de pilotes}$$

$$N = \frac{996,751.35}{40,000} = 24.91 \text{ pilotes} \approx 25 \text{ pilotes/fila.}$$

Ancho requerido para 25 pilotes: $25 \times 2.5 = 62.5'$

Lo que indica que para que la bóveda esté sostenida por pilotes, se requiere un ancho total de base de 62.5'.

Este tipo de solución no es recomendable por las siguientes razones:

- 1º) La base es mayor que la de la solución anterior, y que el propio ancho de la bóveda;
- 2º) Al ampliarse la base a ambos lados de la bóveda, hasta obtener la amplitud requerida, aumenta la columna de relleno y provoca un aumento de carga vertical proporcional al ancho de la base.

En la base únicamente hay espacio suficiente para:

$$N = \frac{28.83}{2.5} = 11.5 \text{ pilotes} \approx 11 \text{ pilotes}$$

Suponiendo que el cimiento de los muros fuera una losa corrida en todo lo ancho de la bóveda.

Resistencia de cada pilote en ese caso:

$$P = \frac{996,751.35}{11} = 90,800\# = 45.40 \text{ ton.}$$

c) Con cimentación sobre Material Selecto.

En vista de la imposibilidad del uso de pilotes, y que al usar bóveda con cimiento de losa de concreto, la resistencia del suelo excede a la permisible, existe la posibilidad de usar losa corrida sobre material selecto.

Dicho material debe ser tal que resista la presión del suelo, y según los cálculos efectuados, ésta debe resistir 7.2 ton./pie².

La solución es inadmisibles ya que el material, para soportar esa carga, tendría que ser roca o concreto y en ese caso sería un retorno a la solución a).

Por otra parte es una solución no recomendable ya que Guatemala es un país de naturaleza sísmica y al colocar un colchón de material selecto, sobre el material existente, se construye una falla artificial, y ello es propiciar la inestabilidad de la estructura.

5ª SOLUCION: TUBERIA CIRCULAR

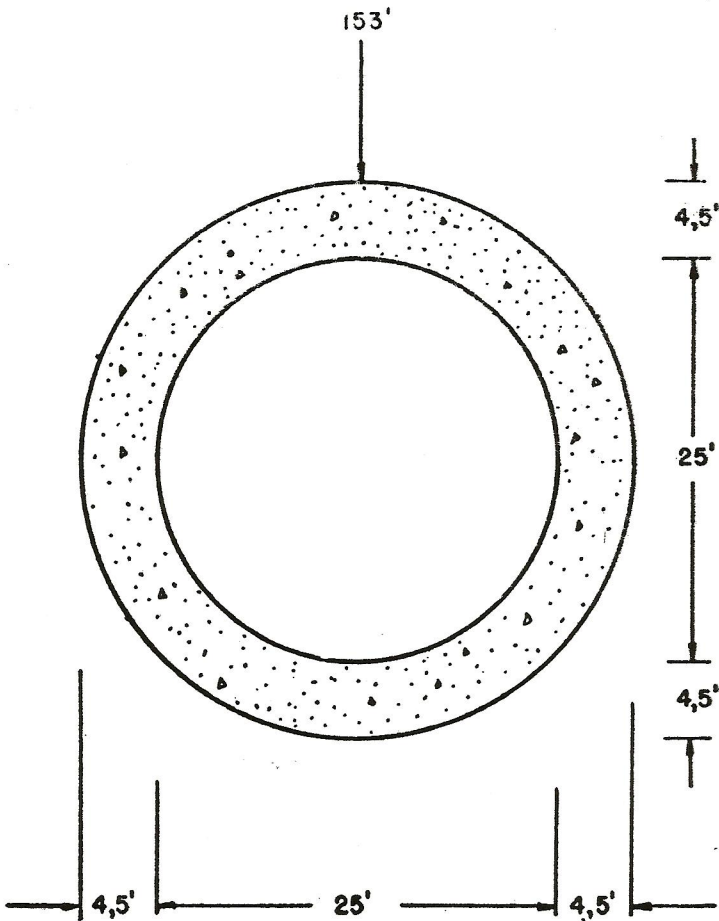


Figura Nº 10.—Tubería Circular.

Análisis del problema con tuberías de concreto reforzado. Trataré primero el problema con una sola tubería, luego, con una batería de dos y según el resultado obtenido de tres a más.

a) Unitaria.

$$\text{Area de descarga} = 485 \text{ pie}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{Diámetro requerido} &= \sqrt{485/.785} = \sqrt{618} = 25.2' \\ &\approx 25' \end{aligned}$$

$$\text{Determinación de Momento: } M = 1/16 (1 - q) Wd$$

q = relación entre presión horizontal y presión vertical.

W = carga total por pie de longitud de tubería en lbs.

d = diámetro central de la tubería.

$$w = 153' \times 84 = 12,852 \#/\text{pie}^2.$$

$$H = 30 \times 186 = 5,580 \#/\text{pie}^2.$$

$$q = \frac{5,580}{12,852} = .434$$

Estimo peralte en la tubería $t = 4.5'$

$$d = 25 + 4.5 = 29.5' \approx 29'$$

$$W = 12,852 \times 29 = 372,708 \#/\text{pie}$$

$$M = 1/16 (1 - .434) 372,708 \times 29$$

$$M = 383,889.24 \#'$$

$$\text{Peralte requerido } t = \sqrt{M/Kb} = 49.30'' \approx 4.11'$$

$$t = 4.11' + .25' = 4.36'$$

Adopto $t = 4.5'$

Volumen de concreto necesario:

$$V = \pi dtL = 3.14 \times 29.5 \times 4.5 \times 600,423$$

$$V = 250,280.32 \text{ pie}^3.$$

$$V = 7,082.06 \text{ m}^3.$$

COSTO ESTIMADO:

Estructura	: 7,082.06 × 90.00	= Q637,385.00
Cabezales	:	= Q 12,600.00
Relleno	: 493,000 m ³ . × 0.45	= Q193,500.00
Costo estimado total		= <u>Q843,485.00</u>

b) Doble.

Area de descarga: $485/2 = 242.5$ pie².

Diámetro requerido por cada tubería: $d = \sqrt{242.5/.785}$
 $d = 17.4'$

Determinación de Momentos:

$$M = 1/16 (1 - q) Wd.$$

$$M = 1/16 \times .566 \times 372,708 \times 17.5$$

$$M = 231,079.96 \#'$$

$$\text{Peralte necesario: } d = \sqrt{M/Kb} = 38.3'' = 3.19'$$

Como podrá apreciarse, la tubería doble es antieconómica, ya que el peralte de los tubos es proporcional a la raíz cuadrada de los momentos y a la raíz cuadrada de los diámetros requeridos y por consiguiente no disminuye a la mitad el volumen de concreto requerido, lo que indica que para la misma área de descarga, con tubería doble, se necesita un volumen de concreto mayor que para la tubería simple.

En vista del resultado obtenido no haré un análisis con tubería triple, que también requerirá un volumen de concreto mayor que para tubería unitaria.

6ª SOLUCION: TUBERIA ELIPTICA

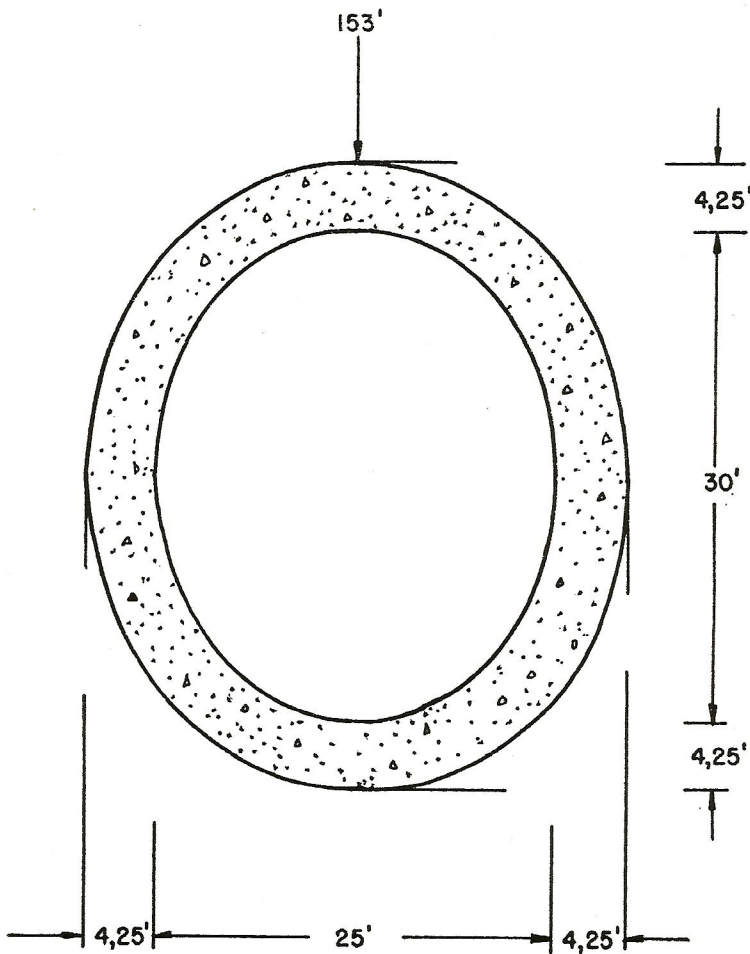


Figura N° 11.—Tubería Elíptica.

En vista del resultado del análisis anterior, estudiaré la posibilidad de construir tubería elíptica de concreto reforzado para la solución del problema.

a) Unitaria.

$$h/d = 2.618/2 = 1.309$$

h = diámetro mayor.

d = diámetro menor.

Area de Descarga: 485 pie².

$$A = 2/3 hd = 2/3 \times 1.309 d^2 = .88 d^2.$$

$$d = \sqrt{485/.88} = 23.5' \approx 25'$$

$$h = 1.309 \times 23.5 = 30.76' \approx 30'$$

Determinación de Momento: $M = 1/16 (1 - q) Wd$

$$M = 1/16 (1 - .434) 372,708 \times 30$$

$$M = 394,481.61 \#'$$

En vista de que toda la Sección de la tubería la diseñaré con peralte constante, he tomado el mayor momento.

Peralte Requerido: $d = \sqrt{M/Kb} = 51'' = 4.25'$

Volumen de Concreto = $2/3 (B_1D_1 - b'd') L$

$$V = 2/3 (33.50 \times 38.50 - 25 \times 30) \times L$$

$$V = 361.63 \times 600.423$$

$$V = 217,130.97 \text{ pie}^3 = 6,144 \text{ m}^3.$$

COSTO ESTIMADO:

Estructura	: 6,144 × 90.00	=	Q552,960.00
Cabezales	:	=	Q 12,600.00
Relleno	: 493,000 m ³ . × 0.45	=	Q193,500.00
			<hr/>
	Costo total estimado	=	Q759,060.00

La tubería doble de este tipo no es recomendable, en este caso, por razón idéntica a la señalada para tuberías circulares.

7ª SOLUCION: TUBERIA ARMCO

La tubería Armco es generalmente usada en problemas de drenaje, y diseñada para resistir cargas fuertes, razón por lo que analizaré el problema con ella, usando batería de 3 tubos.

Datos de Tubería:

Pendiente: 1%

Skew: 10° 43.5' Derecha.

Cota Rasante en estación: 975.755

Pendiente en Carretera: 5%.

Fórmulas para determinar la Longitud de la Tubería:

$$X \text{ ent.} = \frac{h + a + btq \alpha p' - bp / \cos \alpha}{0.667 \cos \alpha + p} + \frac{b}{\cos \alpha}$$

$$X \text{ Sal.} = \frac{h + a' - b'tq \alpha p' + b'p / \cos \alpha}{0.667 \cos \alpha - p} + \frac{b'}{\cos \alpha}$$

h = Relleno en el centro de la clave.

α = Angulo de skew.

p' = Pendiente en la carretera.

p = Pendiente en la Tubería.

a y a' = Diferencia de nivel entre línea central y los hombros.

b y b' = Distancia entre línea central y los hombros.

h = 52.85 m.

$$p = 1\%$$

$$p' = 5\%$$

$$a = a' = 0.144$$

$$b = b' = 10.90$$

$$\alpha = 10^\circ 43.5'$$

$$\cos \alpha = 0.98253$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0.18940$$

$$X \text{ ent.} = \frac{52.85 + 0.144 + 0.10 - 0.111}{0.65502 + .01} + 11.094 =$$

90.76 m. Derecha

$$X \text{ Sal.} = \frac{52.85 + 0.144 - 0.10 + 0.111}{0.65502 - .01} + 11.094 =$$

93.36 m. Izquierda

$$\text{Long. Total} = 90.76 + 93.36 = 184.12 \text{ m.}$$

Haciendo un análisis según la altura de relleno que soporta cada porción de tubería y aplicando el siguiente cuadro de la Fábrica Armco se obtienen los calibres adecuados para cada porción de tubería.

RELLENOS MAXIMOS PARA DIFERENTES CALIBRES:

Relleno máx.	15' = 4.57m.	25' = 7.62m.	30' = 9.14m.	35' = 10.67m.
Calibre:	10	8	7	5
Relleno máx.	40' = 12.19m.	45' = 13.72m.		
Calibre:	3	1		

Para 70' = 21.34 m. : Calibre 1 con 6 pernos/pie

Nº	Diámetro	Longitud	Calib.	Ani.8'	Ani.6'	Per.	Obser.
1	162''	6.71 m.	10	2	1		
2	162''	4.88 m.	8	2			
3	162''	2.44 m.	7	1			
4	162''	2.44 m.	5	1			
5	162''	2.44 m.	3	1			
6	162''	1.83 m.	1		1	4	
7	162''	12.19 m.	1	5			6
8	174''-162''	60.19 m.	1			6	Tubería
				48	1		
9	174''-162''	58.68 m.	1			6	Doble
10	162''	11.58 m.	1	4	1	6	
11	162''	2.44 m.	1	1		4	
12	162''	2.44 m.	3	1			
13	162''	1.83 m.	5		1		
14	162''	2.44 m.	7	1			
15	162''	2.44 m.	8	1			

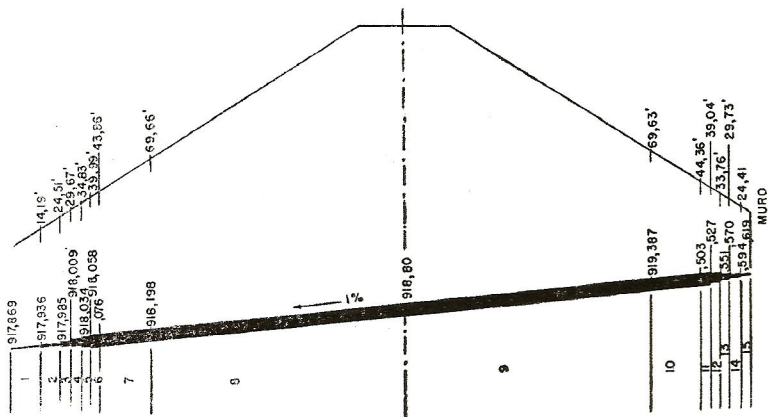


Figura Nº 12.—Diámetro interior, constante de 162'' en toda la longitud de la tubería.

Desde el punto de vista de poder soporte, sí se puede usar el diseño anterior, o sea colocando calibres más ligeros según la altura de relleno, sin embargo es recomendable

el uso de calibre N^o 1 para la longitud total de la tubería, para proporcionar a la estructura una duración balanceada para un tiempo máximo.

Para el presente caso, sin embargo, es preferible utilizar un sistema que da flexibilidad a la estructura permitiéndole adaptarse, en el caso de un pequeño asentamiento, la solución aconsejada por la Fábrica Armco es la siguiente:

Usando siempre, 3 tubos Armco Multi Plate de 162" de diámetro, calibre N^o 1, en la parte en que los tubos soportan el relleno máximo hasta 75' de altura de relleno, se colocan dentro de otro tubo Multi Plate de 174" de diámetro, para que trabajen como tubos concéntricos, colocándose entre ellos un mortero débil de 8 partes de arena por 1 de cemento.

La estructura combinada en esta forma tiene suficiente resistencia para soportar las cargas de este caso con un factor de seguridad de 4.

Cada tubo de 162" tendrá una longitud de 576' o sea una longitud total de 1,728'.

Cada tubo de 174" tendrá una longitud de 336' o sea una longitud total de 1,008'.

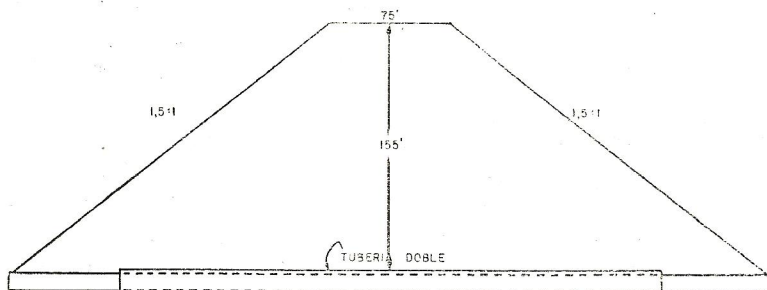
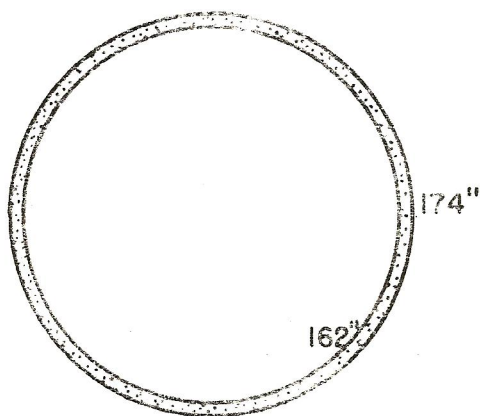


Figura N^o 13.—Tubería Armco.



SECCION CENTRAL

Para asegurar que estas estructuras trabajen satisfactoriamente se deben tomar ciertas precauciones durante la instalación, a saber:

- 1º) La estructura exterior (174") debe armarse e instalarse, en primer término, colocándose en su interior espaciadores y guías apropiados para permitir la introducción del tubo interior y mantener su debido espaciamiento en toda la periferia.
- 2º) Entre las planchas de los doble tubos adyacentes a las juntas de 3 láminas se colocará un mastic asfáltico al armar, para evitar escape excesivo del mortero.
- 3º) Los tubos se colocarán sobre un terreno de poder soportante, suficiente para evitar asentamientos excesivos (500 gms./cm². como mínimo = 1,025 #/pie²). A ambos tubos se les dará una combadura apropiada en la parte central de manera que al producirse el asentamiento en esa parte quede el tubo en una pendiente uniforme del 2%.

- 4º) El relleno encima y a ambos lados de los tubos, hasta una distancia igual a dos diámetros de cada lado del tubo será de material granuloso compactado lo más posible a la densidad óptima. Este relleno se llevará hasta una altura igual a dos diámetros sobre el tubo.
- 5º) El resto del relleno se deberá hacer en capas finas bien compactadas y colocadas en forma uniforme por todo el tubo.
- 6º) El distanciamiento entre los tubos será tal que permita el uso de apisonadoras mecánicas.
- 7º) La operación de introducir el mortero se hará con sumo cuidado y se controlará (por medio de martillazos) de que no queden vacíos entre los tubos.
- 8º) Se recomienda colocar las tres tuberías casi simultáneamente.

COSTO ESTIMADO:

Costo aprox. de la tubería colocada	=	Q267,007.68
Nipples para mortero y guías	=	Q 4,000.00
Mortero 40 m ³ . a Q20.00/m ³ .	=	Q 800.00
Mano de obra, armar e instal. mortero	=	Q 1,200.00
Cabezales : 140 m ³ . × Q90.00	=	Q 12,600.00
Relleno : 493,000 m ³ . × 0.45	=	Q193,500.00
Costo estimado total	=	<u>Q479,107.68</u>

8ª SOLUCION: CAJA TRIPLE

Para el análisis de la presente solución, asumiré:

Sección uniforme para toda la longitud.

Peralte Losa superior uniforme.

Peralte losas verticales exteriores, iguales.

Peralte losas verticales internas, iguales entre sí, diferentes de las exteriores.

$$\begin{aligned} \text{Area de descarga total} & \dots = 485 \text{ pie}^2 \\ \text{Area de descarga unitaria} & = \frac{485 \text{ pie}^2}{3} \approx 160 \text{ pie}^2 \end{aligned}$$

Dimensiones libres adoptadas:

$$b = 10'; h = 16'$$

Estimo peralte losa superior e inferior $d = 3'$

$$ht = 16 + 6 = 22'$$

Altura relleno $= 186' - 22' = 164'$

Carga vertical que soporta: $164 \times 84 = 13,800 \#/\text{pie}^2$

Carga mínima horizontal : $167 \times 30 = 5,010 \#/\text{pie}^2$

Para los fines del presente trabajo he asumido carga uniformemente distribuida, aunque en la realidad se trata de una carga trapezoidal.

Estimo peralte en losas verticales internas: $d = 1.29'$

Peralte en losas verticales exteriores:

$$M = 1/12 Wh^2 = 152,000 \#'$$

$$d = \sqrt{M/Kb} = 30.6'' = 2.58'$$

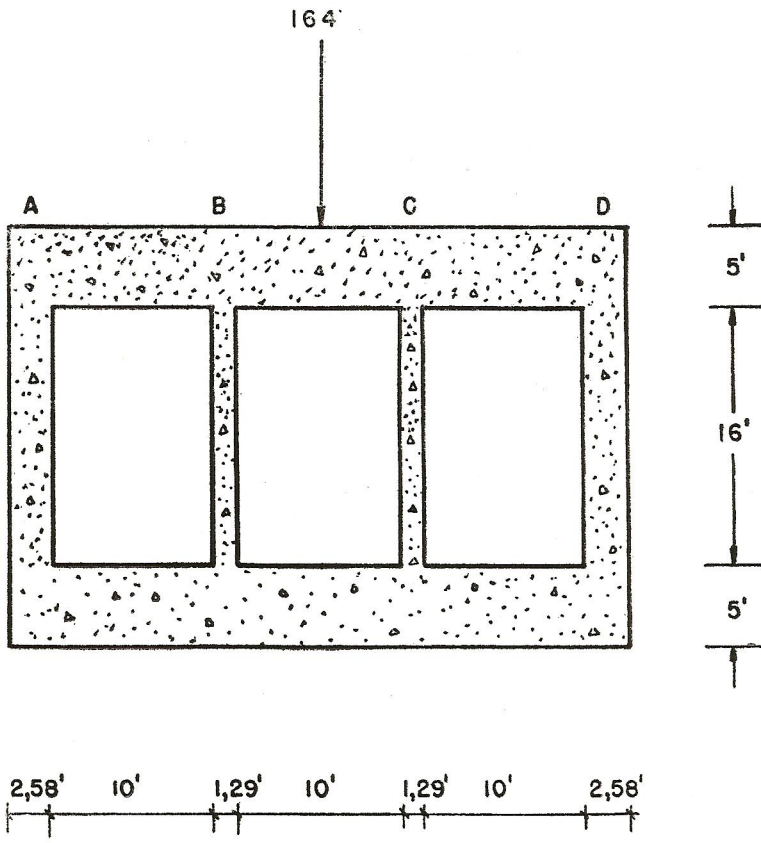


Figura N° 14.—Caja Triple.

Momentos de Inercia:

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CD} = 1/12 d^3 = 2.25 \text{ pie}^3 \quad (d=3')$$

$$I_{AH} = I_{DE} = 1/12 d^3 = 1.43 \text{ pie}^3 \quad (d=2.58')$$

$$I_{BG} = I_{CF} = 1/12 d^3 = 0.178 \text{ pie}^3 \quad (d=1.29')$$

Rigideces Relativas:

$$K_{AB} = \frac{I}{L} = \frac{2.25}{11.93} = 0.189$$

$$K_{BC} = \frac{2.25}{11.29} = 0.199$$

$$K_{CD} = \frac{2.25}{11.93} = 0.189$$

$$K_{AH} = K_{DE} = \frac{1.43}{19} = 0.0753$$

$$K_{BG} = K_{CF} = \frac{0.178}{19} = 0.00936$$

Factores de Distribución:

$$K_{AB} = \frac{0.189}{0.2643} = 0.715 \approx 0.72$$

$$K_{AH} = \frac{0.0753}{0.2643} = 0.28$$

$$K_{BA} = \frac{0.189}{0.398} = 0.48$$

$$K_{BG} = \frac{0.0094}{0.397} = 0.02$$

$$K_{BC} = \frac{0.199}{0.397} = 0.50$$

Momentos Fijos:

$$MFAB = 1/12 wl^2 = 1/12 \times 13,776 \times 11.93^2$$

$$MFAB = 163,383.36\#'$$

$$w = 164 \times 84 = 13,776\#/'$$

$$MFBC = 1/12 wl^2 = 1/12 \times 13,776 \times 127.46$$

$$MFBC = 146,025\#'$$

$$MFAH = 1/12 wl^2 = 1/12 \times 3,003 \times 361$$

$$MFAH = 90,090\#'$$

$$\text{Prom.} = \frac{17.16 \times 164 + 17.16 \times 186}{2} = 3,003\#/\text{pie}^2$$

Determinación de Momentos:

Por medio del método de Distribución de Momentos o de Hardy Cross encuentro los momentos siguientes:

A		B		
H			G	
.28	.72	.48	.02	.50
90.09	163.38	163.38	0	-146.02
+105.00	-105.00	+165.00	0	-165.00
C			D	
F			E	
.50	.02	.48	.72	.28
146.02	0	-163.38	163.38	-90.09
+165.00	0	-165.00	+105.00	-105.00

Determinación del Peralte por Momento:

Losa horizontal:

$$d = \sqrt{M/Kb} = \sqrt{165000/157} = 32.4''$$

$$d = 2.70'$$

Losas verticales exteriores:

$$d = \sqrt{M/Kb} = \sqrt{105000/157} = 25.8''$$

$$d = 2.15'$$

Para las losas verticales interiores, está bien el peralte estimado:

$$d = 1.29'$$

Determinación de Reacciones:

En las paredes laterales:

$$R_1 = R_2 = \frac{3,003 \times 19}{2} = 28,528.50 \#$$

Chequeo del Peralte por Corte:

$$d = \frac{V}{vjb} = \frac{28,528.50}{120 \times .881 \times 12} = 22.48'' \approx 2'$$

El peralte asumido resiste el corte.

Para las losas horizontales:

$$R_1 = R_4 = \frac{1}{2} Wl' - MB/l' = 68,800 \#$$

El corte máximo será el corte B A.

$$V_{BA} = Wl'/2 + MB/l'$$

$$V_{BA} = 82,500 + 13,800$$

$$V_{BA} = 96,300 \#$$

Peralte por corte:

$$d = \frac{96,300}{120 \times 12 \times .881} = 58.8'' \approx 5'$$

AREA TOTAL DE LA SECCION:

Losas verticales int.	: $2 \times 1.29 \times 16$	=	41.25 pie ²
Losas verticales ext.	: $2 \times 2.58 \times 16$	=	82.50 pie ²
Losas horizontales	: $2 \times 5' \times 37.74$	=	377.40 pie ²
Area de la sección:			= 501.15 pie ²

Volumen de concreto requerido:

$$V = 501.50 \times 600.423 = 305,000 \text{ pie}^3 = 8,530 \text{ m}^3.$$

COSTO ESTIMADO:

Estructura	: $8,530 \times 90.00$	=	Q767,700.00
Alas (estimado)		=	Q 12,600.00
Relleno	: $493,000 \text{ m}^3. \times 0.45$	=	Q193,500.00
Costo total estimado			= Q973,800.00

Reduciendo peraltes por cada 20' de altura de relleno y diseñando secciones variables para cada porción de longitud correspondiente, obtendremos las secciones siguientes: peralte de las losas verticales interiores constantes de 1' — 4" en toda la longitud.

Sección a partir de un extremo N°	d Losa vertical exterior	d Losa horizontal	Longitud
1	1'-4"	1'-6"	30.47'
2	1'-4"	1'-9"	30.47'
3	1'-8"	2'-1"	30.47'
4	2'-0"	2'-5"	30.47'
5	2'-2"	2'-8"	30.47'
6	2'-4"	2'-11"	30.47'
7	2'-8"	3'-1"	30.47'
8	3'-0"	3'-3"	30.47'
9	3'-0"	3'-5"	97.44'
10	3'-0"	3'-3"	30.10'
11	2'-8"	3'-1"	30.10'
12	2'-4"	2'-11"	30.10'
13	2'-2"	2'-8"	30.10'
14	2'-0"	2'-5"	30.10'
15	1'-8"	2'-1"	30.10'
16	1'-4"	1'-9"	30.10'
17	1'-4"	1'-6"	30.10'

Volumen de concreto requerido en este caso:

$$V = 171,953 \text{ pie}^3 = 4,869 \text{ pie}^3$$

COSTO ESTIMADO:

Estructura = Q438,210.00

Alas (Estimado) = Q 12,600.00

Relleno : 493,000 m³. × 0.45 = Q193,500.00

Costo total estimado = 644,310.00

RESUMEN ECONOMICO:

4ª Solución: Bóveda con Losa de concreto	=	Q613,100.00
5ª Solución: Tubería circular uni- taria	=	Q843,485.00
6ª Solución: Tubería elíptica	=	Q759,060.00
7ª Solución: Tubería Armco	=	Q479,107.68
8ª Solución: Caja Triple con sec- ciones variables	=	Q644,310.00

SECCION B.—Estructuras sin Relleno.

9ª SOLUCION: PUENTE

Para la estimación económica, tomaré los costos estimados de un tipo de puente con luz semejante a la requerida en el Las Vacas.

La luz a cubrir por medio de la siguiente estructura, es de 213.22 m. y consiste en una armadura de tipo triangular de doble intersección con verticales, con reacciones como sigue: R_1 vertical en el origen; R_2 vertical a 33.71 m. de R_1 ; R_3 inclinada a 45° apoyada sobre el mismo apoyo de R_2 ; R_4 del mismo tipo de R_3 ; R_5 vertical a 126.43 m. de R_2 ; y R_6 vertical a 33.71 de R_5 .

R_2 y R_5 son pilas de concreto reforzado.

Las estructuras de acceso son: en la entrada un puente de vigas de acero, simplemente apoyadas, de 12.60 m. de luz y en la salida, uno de losa de 6.80 m. de luz.

Las armaduras sostienen largueros transversales y tranquillas transversales para evitar ladeo.

Las luces indicadas corresponden al proyecto con rasante horizontal, con pendiente 0% y cota 984.1805, y una luz total aproximada de 240.00 metros.

Con el fin de acortar la luz se ha modificado la rasan-
te inicial: a) bajando con pendiente de 5%, y usando curva
vertical de 220 metros, con P.C. en estación 366.70 y P.I.
en estación 0+476.70 con cota 970.02, en esta forma se
acorta la luz en 18 metros más o menos; y b) usando siem-
pre curva vertical y una pendiente de 6%, se puede reducir
la luz a aproximadamente 175.00 metros.

P.I. en estación +433 y cota 959.40.

Esta tercera solución, a mi juicio debe descartarse, por
las siguientes razones:

- 1º) Usa pendiente del 6% para la salida de la Capi-
tal, lo que no es deseable.
- 2º) Deja sin salida la Lotificación El Carmen, ya que
ésta quedaría a un nivel de aproximadamente 8.00
m. sobre el nivel de la carretera. De modo que
algunas calles de la lotificación en una cuadra,
tendrían una pendiente aproximada del 8%, lo que
es inadmisibile.
- 3º) Deja a todas las viviendas colocadas sobre un
bloque de 8 metros de altura, lo que constituye un
peligro para los habitantes.
- 4º) Por la misma razón anterior, desde el punto de
vista urbanístico, es inadecuada ya que encalle-
jona la entrada a la Ciudad.
- 5º) Desde el punto de vista económico, la economía
que representa un puente más corto por medio de
esta solución, es posible que tenga que invertirse
en readaptar la zona a la nueva condición.

COSTO ESTIMADO:

Costo de las estructuras (luz total 213.25 metros) CIF. Puerto Barrios	Q460,000.00
Costo de armada de las estructuras a Q25.00 tonelada	Q 43,000.00
Costo de pilas, y estribos de concreto	Q313,200.00
Costo de las losas de concreto de los puentes	Q104,847.00
	<hr/>
Total:	Q921,047.00

Este precio únicamente sirve para dar una idea del costo de la solución con rasante alta usando puente, pero el costo real variará según el tipo de estructura que se adopte.

DISCUSION DE LAS SOLUCIONES

SOLUCION	ASPECTO TECNICO	ASPECTO URBANISTICO	ASPECTO ECONOMICO
<p>Nº 1: Desarrollo</p>	<p>Debe descartarse por tener una sección típica limitada a 15.50 m.; dicha sección típica tiene tres trochas de tráfico, lo que constituye un grave peligro para el mismo. Anula toda posibilidad de ampliación futura por pasar entre dos torres del puente del ferrocarril. Tiene además las siguientes desventajas:</p> <p>a) Reduce velocidad a 30 m.p.h. b) Usa pendiente de 6.25%, lo que es incorrecto para entrada de la Ciudad.</p>	<p>Ventaja: Da acceso a una mayor área en las laderas, lo que en el futuro podría provocar una urbanización dentro del barranco.</p> <p>Desventajas: a) En el lado oriente del barranco existe un potencial de crecimiento de la Ciudad fácilmente urbanizable. El uso de esta solución, lo transformaría en un poblado aislado por el barranco. b) Las curvas horizontales usadas contribuyen a la acumulación del tráfico.</p>	<p>Ventaja: Porcentaje más elevado del costo total, se invierte en mano de obra y materiales guatemaltecos.</p> <p>Desventaja: El aumento de longitud de la carretera se traduce en fletes y pasajes más caros.</p> <p>Costo: Q.412,052.44</p>
<p>Nº 2: Desarrollo</p>	<p>Desventajas: a) Reduce velocidad a 30 m.p.h. b) Usa pendiente de 7 %, lo que es incorrecto para entrada de la Ciudad. c) Dificultad de construcción del puente por estar en curva horizontal con peralte de</p>	<p>Igual que para la 1ª Solución.</p>	<p>Ventaja y desventaja igual que para la 1ª Solución.</p> <p>Costo: Q.586,006.05</p>

<p>Nº 3: Desarrollo</p>	<p>10% y sobre ancho de 1.07 m. Inconveniente por la sección típica especificada.</p>	<p>Igual que para la 1ª Solución.</p>	<p>Ventaja y desventaja igual que para la 1ª Solución.</p>
	<p>Debe descartarse por tener una sección típica limitada a 15.50 m.; dicha sección típica tiene tres trochas de tráfico, lo que constituye un grave peligro para el mismo. Anula toda posibilidad de ampliación por pasar entre dos torres del puente del ferrocarril.</p>		<p>Costo: Q.293,828.00</p>
	<p>Tiene además las siguientes desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Reduce velocidad a 30 m.p.h. lo que es incorrecto para entrada de la Ciudad. b) Dificultad de construcción del puente por estar en curva horizontal, con peralte de 10% y sobreancho de 1.07 m. <p>Inconveniente por la sección típica especificada.</p>		
<p>Nº 4: Bóveda</p>	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) La carga de 7.2 ton./pie² no la resistiría el suelo. 	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Acceso directo a la Ciudad, rápida distribución del tráfico. 	<p>Desventaja:</p> <p>Costo bastante elevado.</p>

DISCUSION DE LAS SOLUCIONES

(Continuación).

SOLUCION	ASPECTO TECNICO	ASPECTO URBANISTICO	ASPECTO ECONOMICO
	<p>b) Al usar pilotes de madera, el número requerido, no cabe en la base de la misma.</p> <p>c) Estructura muy rígida.</p> <p>d) Dificultad de reparación de la estructura, en caso de falla oculta, filtración u obstrucción.</p> <p>e) Mala calidad del material que puede utilizarse en el relleno.</p> <p>f) Tiempo de construcción muy largo ya que para obtener una buena compactación se requieren varios años antes de poner asfalto.</p>	<p>b) Facilidad de la urbanización de la parte oriente del barranco.</p> <p>Desventaja: Al hacer un corte de esa magnitud transforma las condiciones naturales del terreno en artificiales.</p>	<p>Costo: Q. 613,100.00</p>
Nº 5: Tubería Circular	<p>Desventajas:</p> <p>a) Carga de 12,852 lbs./pie² no la resistiría el suelo.</p> <p>b) Estructura muy rígida.</p> <p>d), e) y f) igual que para la 4ª Solución.</p>	<p>Igual que para la 4ª Solución.</p>	<p>Desventaja: Costo muy elevado.</p> <p>Costo: Q. 843,485.00</p>
Nº 6: Tubería Elíptica	<p>Igual que para la 5ª Solución.</p>	<p>Igual que para la 4ª Solución.</p>	<p>Desventaja: Costo muy elevado.</p> <p>Costo: Q. 759,060.00</p>

<p>Nº 7: Tubería Armco</p>	<p>Ventajas: a) Estructura flexible. b) Instalación en corto tiempo.</p> <p>Desventajas: Igual que para la 5ª Solución. Y peligro de corrosión de la tubería por la naturaleza de las aguas.</p>	<p>Igual que para la 4ª Solución.</p>	<p>Ventaja: Bajo costo.</p> <p>Costo: Q.479,107.68</p>
<p>Nº 8: Caja Triple</p>	<p>a) El suelo no resiste la carga (peso del relleno más peso propio). b) Dificultad en la construcción por usar secciones diferentes. c), d), e) y f) Igual que la 4ª solución.</p>	<p>Igual que para la 4ª Solución.</p>	<p>Costo: Q.644,310.00</p>
<p>Nº 9: Puente</p>	<p>Ventajas: a) Facilidad en la cimentación. b) Rapidez de Construcción. c) Fácil control de fallas.</p>	<p>Igual que la 4ª Solución, sólo que sin la desventaja de ésta.</p>	<p>Desventaja: Fuerte porcentaje del costo en material importado.</p> <p>Costo: Q.871,960.00</p>

SELECCION DE LA SOLUCION MAS VENTAJOSA

En vista de que ninguna de las soluciones llena ventajas en los tres aspectos, que sería lo ideal, opino que se debe sacrificar el aspecto económico, para garantizar en cambio, la seguridad del tráfico que transite, y el bienestar de todos los habitantes de la Capital, ya que cualquier asentamiento, en el caso de relleno, obstruiría los desagües que desembocan en el Río Las Vacas con fatales consecuencias, opino pues, que el problema debe resolverse por medio de un puente por las razones siguientes:

- a) Mala calidad del subsuelo para soportar un relleno de esa magnitud;
- b) Dificultad de reparación de la estructura, en caso de falla oculta, filtración u obstrucción;
- c) Mala calidad del material que deberá utilizarse para el relleno;
- d) Tiempo de construcción muy largo, ya que para obtener una buena compactación, el relleno debe sufrir un invierno, por lo menos, antes de poner asfalto; y
- e) En caso de necesitar la ampliación del número de vías de tráfico (aumento de población lo requiera), es más factible hacerlo por medio de puente que por medio de relleno.

CONCLUSIONES

1.—*Perforaciones:*

La determinación del tipo de puente que se debe construir, es función del conocimiento del subsuelo a lo largo de la línea adoptada. Para poder efectuar los estudios técnicos necesarios del subsuelo, recomiendo se efectúen perforaciones en las siguientes estaciones:

a) En estación 0+200; b) en estación 0+270; c) en estación 0+320; d) en estación 0+390; e) en estación 0+450; y f) en estación 0+530.

Además de estas perforaciones recomiendo efectuar otras en sentido transversal al eje de la línea, en aquellos puntos requeridos por el tipo de puente a usar.

2.—*Rasante para Puente:*

En vista de haber dos proyectos de rasante, para solución con puente, recomiendo el uso de rasantes con pendiente 0% y cota 984.18, ya que en general la construcción de puentes en curvas verticales, presenta grandes dificultades prácticas, máxime en este caso, que es necesario un puente de gran longitud.

3.—*Estructura de Acero:*

La mala calidad del subsuelo, y la gran profundidad del barranco, hacen inadmisibile la construcción de un puente de concreto; la primera razón, es por el hecho de que cualquier asentamiento destruiría la estructura completa; y la segunda, porque sólo el trabajo de formateado elevaría enormemente el costo de la estructura. Razones por las que debe usarse el puente de acero.

4.—*Tipo de Estructura:*

En vista de que el área de descarga es relativamente pequeña, y no constituye un problema, cabe la posibilidad de colocar varias torres, recomendando el uso de una estructura de acero continua de tres o más luces, según el resultado de las perforaciones.

JORGE ERNESTO ERDMENGER.

Vº Bº,

Ing. Roberto Zepeda Aldana.

Imprimase,

Ing. Jorge Erdmenger P.,
Decano.

BIBLIOGRAFIA

- Milo S. Ketchum.*—The design of Steel Mill Buildings.
- Linton E. Grinter.*—Theory of Modern Steel Structures.
- Ing. J. Lottmann E.*—Consideraciones sobre la localización de Puentes.
- Ing. Raúl Valle Rodas.*—Carreteras, Calles y Aeropistas.
- ARMCO.*—Handbook of Culvert and Drainage Practice.
- American Association of State Highway Officials. Standard Specifications for Highway Bridges 1953.
- Portland Cement Association. Concrete Culverts and Conduits.
- Waddell.*—Bridge Engineering.
- Ing. O. Marroquín.*—El problema del Drenaje en Carreteras. Datos proporcionados por la Sección de Proyectos de la Dirección General de Caminos.