

6-3-4 Análisis Hidráulico

(1) Generalidades

El análisis hidráulico debe realizarse con el fin de establecer el caudal de inundación y el nivel de agua en el sitio de ubicación del puente. El caudal de diseño se debe seleccionar tomando en cuenta la frecuencia de descarga y la confiabilidad de los datos. El criterio de diseño debe estar basado en las normas del MOPC (Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras). El caudal probable y el diseño del nivel del agua se calcularon en los puntos de ubicación de puentes de los siguientes lugares:

- Arroyo Tulio (lugar del estudio topográfico N°1)
- Arroyo Tororo (lugar del estudio topográfico N°2)
- Arroyo Pyrayuby (lugar del estudio topográfico N°3)
- Arroyo Pachong (lugar del estudio topográfico N°4)
- Arroyo Caundy (lugar del estudio topográfico N°5)
- Rfo Tebicuary-mf (lugar del estudio topográfico N°6)
- Arroyo Tebicuary-mf (lugar del estudio topográfico N°7)
- Arroyo Tebicuary-mf (lugar del estudio topográfico N°8)

Asimismo, se calcularon los caudales probables en los cuatro lugares siguientes:

- Arroyo Santa Rita y Arroyo Piraty (Paraguarí - Escobar)
- Arroyo Tacuarembó (Ybytymf - Punto Unido)
- Arroyo Jhu (Martínez - Félix Pérez Cardozo)
- Arroyo Rory y Rory-mf (La Colmena)

(2) Diseño de Frecuencia de Tormentas y Altura Libre

Para los puentes, la frecuencia de diseño de tormenta de 1/50 años debe acomodar una altura libre de 1m por debajo del sofite del puente en los ríos. Para las alcantarillas, el MOPC recomienda un margen libre de 0,6 m.

Tabla 6.3.2 Período de Diseño de Frecuencia de Tormentas

Situación	Frecuencia
Puentes	1/50 años
Alcantarillas de Caja	1/25
Alcantarillas Circulares	1/10
Terraplenes	1/25
Superficie de Rodamiento	1/5
Drenaje de las cunetas	1/5

(3) Cálculo de la Escorrentía

1) Método

Existen muchos métodos para calcular la descarga de escorrentía, tales como la fórmula racional, el método hidrográfico de unidad, el método triangular y el método de función de almacenamiento. En general, la fórmula racional se utiliza para las cuencas de ríos pequeños. Aunque la utilización de esta fórmula provee solamente el caudal máximo, el uso de las otras provee la hidrografía de la inundación. El MOPC recomienda la fórmula racional para captaciones de más de 10 km².

a) Método Racional

$$Q = \frac{CiA}{6}$$

donde,

Q = caudal, m³/s.

C = coeficiente de escorrentía

i = intensidad de precipitación en tiempo de concentración (mm/min)

A = área de la cuenca contribuyente (ha)

$$T_c = \frac{10A^{0.3}L^{0.4}}{KI}$$

donde,

T_c = tiempo de concentración (minutos)

L = longitud del río (m)

K = coeficiente de captación (comunmente, 3,5)

I = pendiente (%)

En el Apéndice B están enumeradas la dimensión del área de la cuenca, longitud, pendiente, concentración de la intensidad de precipitación pluvial y el valor de K para las 14 cuencas existentes.

b) El Método Hidrográfico Triangular (THM)

Este método fue desarrollado y recomendado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica. El MOPC recomendó utilizar esta fórmula para el cálculo de la escorrentía.

① Fórmulas

$$q_p = \frac{2,08A}{t_p}$$

donde,

q_p = caudal máximo de la unidad hidrológica triangular, en m^3/s

A = área de la cuenca contribuyente en km^2

t_p = tiempo pico, en horas

$$t_p = \frac{\Delta_t}{2} + 0,6t_c$$

t_c = tiempo de concentración, en horas (*)

$\Delta_t = \frac{t_c}{5}$, tiempo unitario en horas

$t_r = 1,67 t_p$ = tiempo de retroceso en horas

$t_b = 2,67 t_p$ = tiempo base en horas

* El tiempo de concentración fue calculado utilizando la misma fórmula empleada en la fórmula racional.

$$t_c = \frac{10A^{0,3}L^{0,2}}{K_i^{0,4}}$$

② Precipitación efectiva

Para calcular la precipitación efectiva (Pe) se utiliza la precipitación total (P) según el método propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica (U.S. Soil Conservation Service).

$$CN = \frac{1000}{10 + S}$$

donde,

CN = número de la curva representativa de la cuenca

S = variable dependiente de la retención e infiltración de la cuenca

$$Pe = \frac{(P' - 0,2S)^2}{P' + 0,8S}$$

donde,

Pe = precipitación efectiva en pulgadas

P' = precipitación total en pulgadas (*)

* La precipitación total (P) se obtuvo utilizando la fórmula $h = a \ln t + b$, y la fórmula para obtener P' :

$$P' = \frac{P(1 - 0,1 \log A)}{25}$$

P' se usa solamente para áreas mayores a los 25 km^2

Si $A < 25 km^2$, entonces $P = P'$

③ Hidrograma

Después de calculado Δ_t para cada lluvia efectiva (Pe), el caudal se calcula por intervalos, multiplicando el orden de la unidad hidrológica triangular THM por el

ΔPe (cm). Los valores para el hidrograma proyectado son:

$$Q_i = Pe_i \cdot q_1 + Pe_{i-1} \cdot q_2 + Pe_{i-2} \cdot q_3 + \dots + Pe_1 \cdot q_i$$

2) Curva de la Intensidad de Precipitación Pluvial

La curva de la intensidad de precipitación pluvial en Villarrica - Guairá, basados en un período largo (1960-1994), está disponible. La Figura 6.3.6 muestra las curvas para varias frecuencias.

Tabla 6.3.3 Valores de la Intensidad de Precipitación Pluvial para Varias Frecuencias

Años	t = 6 min	t = 60 min	t = 24 horas
5	1,60	5,99	14,25
10	1,82	6,75	16,22
25	2,09	7,69	18,70
50	2,30	8,36	20,55

Fuente: MOPC

La concentración de la intensidad de precipitación pluvial por unidad de tiempo se calcula en base a la siguiente fórmula.

$$Rd = \frac{a}{T^n}$$

donde;

Rd : intensidad de precipitación pluvial

a: constante

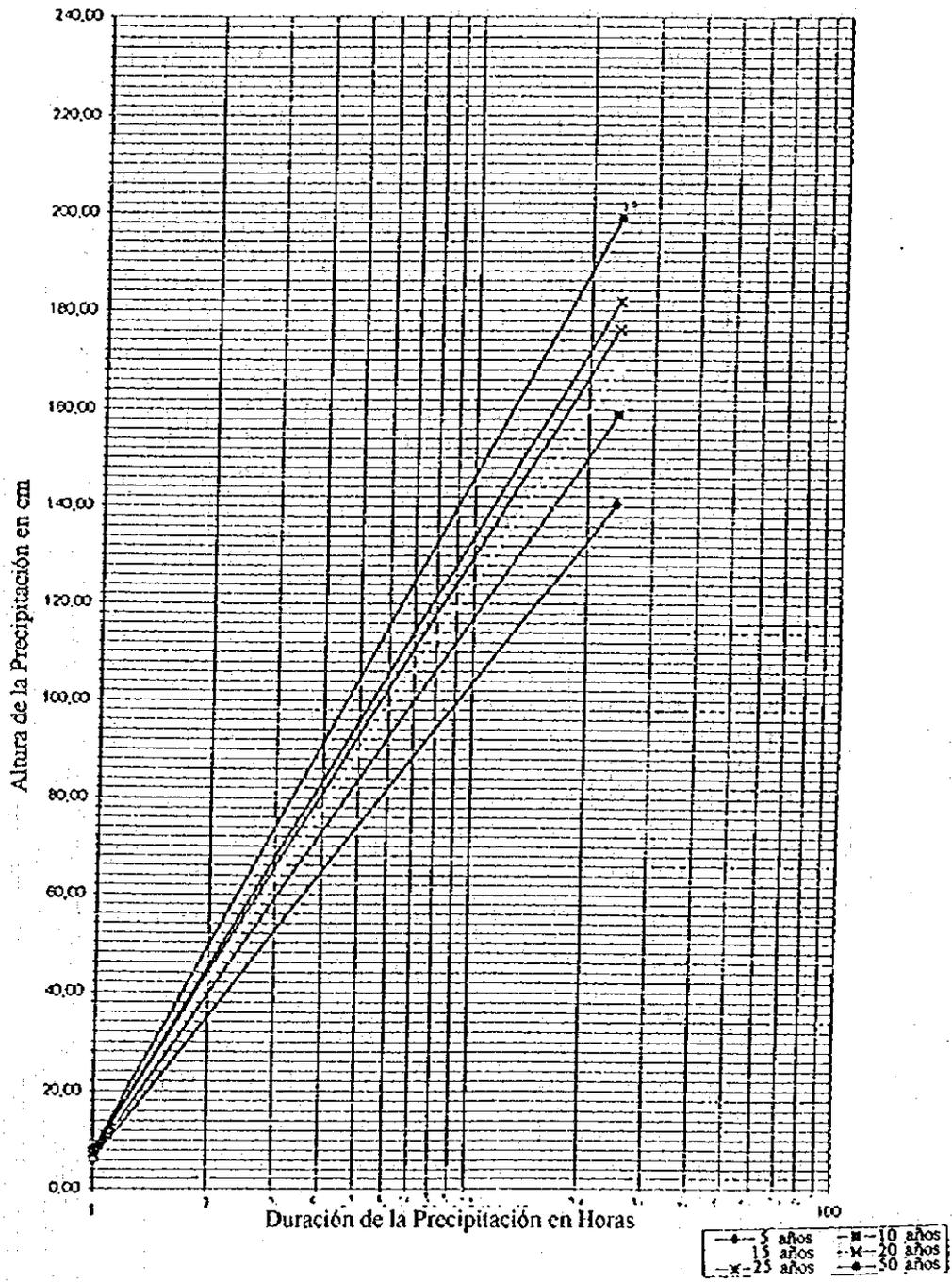
n: constante

T: tiempo de concentración

3) Resultados del Cálculo

Basándose en el mapa topográfico, se midieron las áreas de captación y las pendientes de los taludes de los ríos para cada sitio donde se ubica un puente. Consecuentemente, los caudales probables calculados tanto por el método racional, como por el método hidrográfico triangular, se enumeran en la Tabla 6.3.4. (En el Apéndice B se muestran las tablas de cálculo del método hidrográfico triangular para varios períodos de retorno).

Correlación entre Precipitación-Duración-Frecuencia
 (Estación de Villarrica)
 Período de Observación: de 1960 a 1994



Source : MOFC

Fuente: MOFC

Figura 6.3.6 Curva de Intensidad de Precipitación Pluvial

Tabla 6.3.4 Caudales Probables en los Sitios Considerados

Caudal Máximo utilizando la Fórmula Racional

Cuenca No.	Nombre del Río	Area (ha)	Caudal Máximo (m ³ /s)		
			10	25	50
1	Arroyo Santa Rita	307	18	21	22
2	Arroyo Piraty	962	39	45	49
3	Arroyo Tulio	1.345	43	49	53
4	Arroyo Tororo	6.838	85	97	106
5	Arroyo Pirayuvy	3.910	86	99	108
6	Arroyo Pachongo	954	33	38	42
7	Arroyo Tacuaremboy	1.298	35	40	44
8	Arroyo Caundy	2.013	36	41	45
9	Río Tebicuary Mf	380.000	1.296	1.500	1.649
10	Arroyo Jhy	2.338	47	54	58
11	Arroyo Rory	1.760	57	65	71
12	Arroyo Rory Mf	922	42	48	52
13	Arroyo Tebicuary Mf	23.177	214	246	269
14	Arroyo Tebicuary Mf	30.000	222	256	280

Caudal Máximo utilizando el Método Hidrográfico Triangular

Cuenca No.	Nombre del Río	Area (ha)	Caudal Máximo (m ³ /s)		
			10	25	50
1	Arroyo Santa Rita	307	15	21	23
2	Arroyo Piraty	962	36	47	56
3	Arroyo Tulio	1.345	42	55	66
4	Arroyo Tororo	6.838	98	126	148
5	Arroyo Pirayuvy	3.910	90	117	138
6	Arroyo Pachongo	954	33	43	51
7	Arroyo Tacuaremboy	1.298	37	49	58
8	Arroyo Caundy	2.013	42	54	64
9	Río Tebicuary Mf	380.000	1.211	1.549	1.821
10	Arroyo Jhy	2.338	52	68	80
11	Arroyo Rory	1.760	55	72	86
12	Arroyo Rory Mf	922	36	48	57
13	Arroyo Tebicuary Mf	23.177	234	301	354
14	Arroyo Tebicuary Mf	30.000	245	312	366

Fuente : Misión de Estudio de JICA

(4) Cálculo del Nivel de Agua

1) Método

Se recomienda el uso de la Fórmula de Manning para el cálculo del nivel de agua y de la velocidad de los canales abiertos, alcantarillas, conductos, cunetas, etc.

La Fórmula Manning es la siguiente:

$$V = 1/n R^{2/3} S^{1/2}$$

$$Q = AV$$

donde,

n = coeficiente de rugosidad

R = radio hidráulico

S = pendiente hidráulica

A = área de la sección transversal

En los arroyos de sección transversal irregular, es necesario dividir el área del agua en subsecciones más pequeñas pero más o menos regulares, asignando un coeficiente de rugosidad apropiado a cada subsección y computando por separado, el caudal para cada una.

2) Cálculo del Embalse de la Inundación para el Rfo Tebicuary-mf

Para el caso del Rfo Tebicuary-mf, se utiliza otro método tomando en cuenta el embalse producido por la inundación en la llanura de inundación directa. El procedimiento consiste en calcular el efluente de la hidrografía del embalse tomando en cuenta su caudal afluente y las características del caudal efluente - volumen de almacenamiento. El área de inundación directa en la llanura inundada se supone a partir del nivel de agua de inundación obtenido en la inundación de noviembre de 1994 (ver Figura 6.3.3).

- Hidrografía del caudal afluente : Método Hidrográfico Triangular
- Caudal efluente : cálculo uniforme utilizando la Fórmula de Manning (en el lugar de ubicación del puente)
- Volumen de almacenamiento : volumen de almacenamiento en el área de inundación directa (supuesto)

En la Tabla 6.3.5 se muestran el caudal del afluente, nivel de agua, caudal del efluente y el volumen de almacenamiento de la inundación, valores que se calcularon para el Rfo Tebicuary-mf.

- Caudal del afluente : Afluente del área directa de inundación (por THM)
- Nivel de agua : Nivel del agua en el punto de ubicación del puente
- Caudal del efluente : Caudal en el punto de ubicación del puente
- Volumen de almacenamiento : Volumen de almacenamiento producido por la inundación

Tabla 6.3.5 Cálculo de la Inundación, Tebicuary-mí (I)

Día	Hora	Afluente (m³/s)	Nivel de agua (Elev.en m)	Efluente (m³/s)	Volumen de Almacenamiento (m³)
1	0	40	99,83	3,6	65.528
1	1	80	99,93	8,5	259.816
1	2	121	100,09	16,4	576.900
1	3	161	100,30	27,1	1.006.200
1	4	202	100,57	40,4	1.538.032
1	5	242	100,85	57,9	2.160.354
1	6	282	101,08	83,4	2.849.363
1	7	323	101,33	110,7	3.588.998
1	8	363	101,59	139,7	4.372.974
1	9	404	101,83	167,2	5.201.049
1	10	456	101,96	186,9	6.111.692
1	11	507	102,10	208,9	7.132.777
1	12	560	102,27	233,1	8.257.785
1	13	611	102,44	259,5	9.478.795
1	14	663	102,63	287,8	10.786.885
1	15	714	102,81	316,3	12.178.130
1	16	766	102,92	336,8	13.666.442
1	17	818	103,04	358,8	15.265.448
1	18	870	103,17	382,3	16.969.768
1	19	922	103,30	407,2	18.774.302
1	20	987	103,44	433,7	20.697.038
1	21	1.052	103,60	462,1	22.754.920
1	22	1.117	103,76	492,2	24.941.398
1	23	1.182	103,88	518,2	27.260.810
2	0	1.248	104,00	544,0	29.722.772
2	1	1.313	104,12	571,2	32.325.130
2	2	1.378	104,24	599,9	35.060.964
2	3	1.443	104,38	629,8	37.925.344
2	4	1.509	104,52	661,1	40.915.276
2	5	1.540	104,66	693,0	43.966.044
2	6	1.571	104,80	725,0	47.013.440
2	7	1.602	104,89	751,9	50.066.392
2	8	1.634	104,99	779,1	53.135.332
2	9	1.665	105,08	806,4	56.219.672
2	10	1.696	105,17	833,8	59.317.152
2	11	1.727	105,27	861,3	62.427.360
2	12	1.758	105,36	890,4	65.547.292
2	13	1.789	105,46	920,3	68.672.608
2	14	1.821	105,55	950,3	71.803.496
2	15	1.814	105,64	979,7	74.872.512
2	16	1.807	105,73	1.007,9	77.812.728
2	17	1.800	105,81	1.030,8	80.635.816
2	18	1.793	105,84	1.039,0	83.377.744
2	19	1.786	105,88	1.047,0	86.065.304
2	20	1.779	105,91	1.054,8	88.699.088
2	21	1.772	105,94	1.062,5	91.279.672
2	22	1.765	105,97	1.069,9	93.807.840
2	23	1.758	106,00	1.077,3	96.284.152
3	0	1.740	106,03	1.084,5	98.689.248
3	1	1.722	106,06	1.091,4	101.004.176
3	2	1.705	106,09	1.098,1	103.231.696
3	3	1.687	106,12	1.104,5	105.372.736
3	4	1.670	106,14	1.110,6	107.428.216
3	5	1.652	106,17	1.116,5	109.399.056
3	6	1.634	106,19	1.122,1	111.284.368
3	7	1.617	106,21	1.127,5	113.086.856

Table 6.3.5 Flooding Calculation, Rfo Tebicuary-mf (2)

Dfa	Hora	Afluente (m ³ /s)	Nivel de agua (Elev.en m)	Efluente (m ³ /s)	Volumen de Almacenamiento (m ³)
3	8	1.600	106,24	1.132,6	114.809.200
3	9	1.582	106,26	1.137,6	116.450.456
3	10	1.557	106,28	1.142,2	117.997.168
3	11	1.533	106,29	1.146,5	119.439.600
3	12	1.509	106,32	1.152,7	120.776.624
3	13	1.484	106,35	1.160,0	122.001.120
3	14	1.460	106,38	1.166,6	123.112.368
3	15	1.436	106,40	1.172,6	124.114.456
3	16	1.412	106,43	1.178,0	125.009.704
3	17	1.387	106,45	1.182,7	125.798.600
3	18	1.363	106,46	1.186,8	126.483.400
3	19	1.339	106,48	1.190,2	127.068.304
3	20	1.306	106,49	1.193,1	127.539.368
3	21	1.274	106,50	1.195,2	127.884.520
3	22	1.242	106,50	1.197,3	128.106.928
3	23	1.210	106,51	1.198,9	128.207.488
4	0	1.178	106,50	1.198,9	128.189.968
4	1	1.145	106,50	1.197,4	128.058.072
4	2	1.113	106,50	1.195,1	127.815.968
4	3	1.081	106,49	1.193,0	127.466.672
4	4	1.049	106,48	1.190,3	127.010.856
4	5	1.016	106,46	1.187,0	126.448.832
4	6	984	106,44	1.182,9	125.783.080
4	7	951	106,43	1.178,3	125.015.840
4	8	919	106,40	1.173,2	124.149.072
4	9	887	106,38	1.167,5	123.186.680
4	10	854	106,35	1.161,2	122.128.920
4	11	821	106,32	1.154,3	120.976.016
4	12	789	106,30	1.147,7	119.730.400

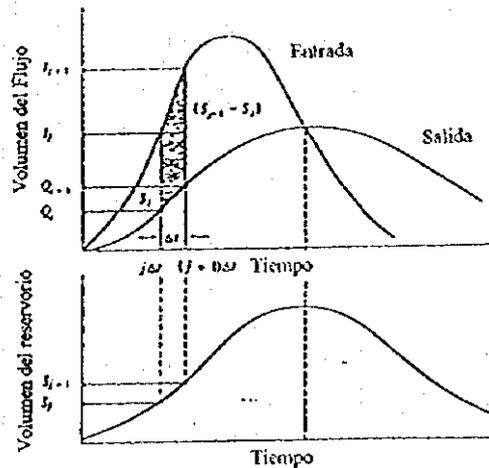


Figura 6.3.7 Relación del Cálculo del Embalse de la Inundación

3) Resultados del cálculo

La Tabla 6.3.6 enumera los niveles de agua máximos de diseño en los lugares de ubicación de los puentes.

Tabla 6.3.6 Diseño del Nivel Máximo de Agua de los Ríos Principales

Nombre del Río	Diseño del N.M.A.	Capacidad del Caudal	Caudal (Q) por el Método		Condiciones Hidráulicas y Observaciones
			Racional	M.H.T.	
Arroyo Tulio	El. 121,5	55	49	55	
Arroyo Tororo	El. 138,2	150	106	148	
Arroyo Pirayuvy	El. 138,5	142	108	138	
Arroyo Pachongo	El. 141,9	52	38	51	Se revisó la capacidad del caudal de la estructura de la vía férrea existente cercana a este punto.
Arroyo Caundy	El. 118,5	64	45	64	
Río Tebicuary-mf	El. 106,5	1.190 (**)	1.500	1.821	El nivel de agua se regula por el embalse de la llanura inundada. El nivel máximo de agua registrado fue de 106,5 m durante las inundaciones de 1983 y 1994.
Río Tebicuary-mf (aguas arriba)	El. 119,3 (*)	102 (**)	269	354 (*)	Existe una llanura inundada a 2 km del sitio del puente. El nivel de inundación de agua registrado fue de 0,2 m por debajo del puente durante las inundaciones de 1994.
Arroyo Tebicuary-mf (Lugar donde existe el puente Bailey)	El. 107,2 (*)	328 (***)	280	358 (*)	El caudal es regulado por dos llanuras inundadas ubicadas aguas arriba del puente. El nivel de agua se eleva subir debido a la escorrentía del Río Tebicuary-mf. En base a entrevistas, el nivel de agua en la inundación de 1994 alcanzó una cota de elevación de 107, 2 m.

Fuente: Misión de Estudio de JICA

Notas: * Se adoptaron los niveles máximos de agua registrados en las elevaciones 119,3 y 107,2 m como Diseño de N.M.A.

** Reducido por la llanura inundada

*** Q será más reducido por la llanura inundada

M.H.T. significa "Método Hidrográfico Triangular" para calcular el volumen de escorrentía.

6-3-5 Inventario de Estructuras Hidráulicas

(1) Generalidades

Para el alineamiento propuesto de la carretera, en la fase interina de este Estudio se revisaron los tipos y tamaños de las estructuras hidráulicas que se proponen, tales como puentes, alcantarías y caños de drenaje, considerando los siguientes puntos:

- Tamaño y tipo de las estructuras hidráulicas de la carretera existente y de la vía férrea López
- Ancho de las vías de agua y capacidad del caudal en el lugar de la estructura
- Nivel de agua de la inundación obtenido de la entrevista
- Diseño del puente

En especial, se tomaron en cuenta el tipo de estructura y el tamaño de la vía férrea López para el tramo paralelo a la vía férrea y para la carretera propuesta. En la Tabla 6.3.7 se enumeran la ubicación, tipo de estructura y tamaño de la vía férrea López.

Tabla 6.3.7 Estructuras de la Vía Férrea López

No.	Ubicación	Estructura	Tramos	Longitud (m)	Estación
183	101,820	Alcantarillas de caños		0,70	Caballero
184	102,320	Puente de madera	2	6,50	
185	103,445	Alcantarillas de caños		1,00	
186	105,035	Puente de madera	3	15,05	
187	105,150	Puente de madera	2	9,35	
188	105,905	Puente de madera		4,55	
189	107,235	Puente de madera		10,00	
190	109,025	Alcantarillas de madera		3,53	
191	109,490	Alcantarillas de caños de hormigón		1,00	
192	109,815	Alcantarillas, caja de madera		0,35	
193	111,570	Alcantarillas cubiertas		4,00	Ybytymf
194	112,270	Puente de madera		13,80	
195	112,550	Alcantarillas de caños		0,70	
196	115,012	Puente de madera	2	9,50	
197	115,280	Puente de madera	2	8,50	
198	115,675	Puente de madera		4,96	
199	117,470	Puente de madera	4	15,20	
200	117,535	Puente de madera	3	13,70	
201	118,680	Puente de madera		5,35	
202	119,835	Alcantarillas, caja de madera		0,57	
203	121,455	Puente de madera		6,30	
204	121,870	Puente de madera		4,85	
205	125,350	Alcantarillas de hormigón		2,20	
206	125,715	Alcantarillas cubiertas		5,00	
207	126,500	Puente de mampostería	10	213,30	Tebicuary
208	126,790	Puente de madera	4	21,90	
209	127,712	Puente de madera	5	27,55	
210	128,000	Puente de madera	7	33,95	Martínez

Fuente : Ferrocarril de Carlos Antonio López

Nota : Ubicación de estación - Caballero (101,4 km), Ybytymf (109,9 km), Tebicuary (125,8 km)

(2) Inventario

El inventario de las estructuras hidráulicas, tales como puentes, alcantarillas y caños de drenaje, se muestra en la Tabla 6.3.8. El inventario contiene la distancia basada en el estudio de sección longitudinal, en el tipo y tamaño de la estructura, etc. El tamaño de la alcantarilla tipo caja que se consideró es de 3 m×3 m. Los caños de drenaje tienen un diámetro de 1200 mm. Sin embargo, este inventario deberá ser revisado en la próxima etapa.

Tabla 6.3.8 Inventario de Estructuras Hidráulicas (1)

No.	Distancia (m)	Cota de Elevación de la Superficie (m)	Tipo de Estructura	Longitud (m)	Observaciones
Sección: Paraguari a Villarica					
Tramo 1: Paraguari - Escobar - Sapucaí					
1	3.193.000	115,455	Alcantarilla		
2	3.709.000	122,443	Alcantarilla		
3	3.888.000	123,051	Alcantarilla		
4	4.309.300	126,649	Alcantarilla		
5	4.526.500	128,558	Alcantarilla		
6	5.455.200	132,819	Alcantarilla		
7	5.688.000	134,072	Alcantarilla		
8	5.929.300	134,917	Alcantarilla		
9	6.779.300	133,270	Alcantarilla		
10	7.745.400	134,686	Alcantarilla		
11	8.186.200	134,435	Alcantarilla		
12	9.652.500	130,496	Alcantarilla		
13	10.195.000	123,445	Alcantarilla		
14	10.609.300	121,646	Alcantarilla		
15	10.874.500	120,904	Alcantarilla		
16	11.088.300	119,545	Alcantarilla		
17	11.470.500	120,559	Alcantarilla		
18	11.609.000	119,911	Alcantarilla		
19	11.754.000	120,551	Alcantarilla		
20	11.978.000	120,854	Alcantarilla		
21	12.212.000	119,809	Alcantarilla		
22	12.718.000	121,661	Alcantarilla		
23	12.984.000	121,416	Alcantarilla		
24	13.322.000	121,209	Alcantarilla		
25	13.456.000	121,253	Alcantarilla		
26	13.987.500	122,933	Alcantarilla		
27	14.102.600	121,971	Puente	10	BST1
28	15.507.000	129,515	Alcantarilla		
29	16.525.000	123,451	Alcantarilla		
30	16.762.000	122,758	Alcantarilla		
31	17.055.000	125,081	Alcantarilla		
32	17.609.000	127,769	Alcantarilla		
33	17.933.000	126,552	Alcantarilla		
34	18.136.500	125,690	Alcantarilla		
35	18.540.500	127,525	Alcantarilla		
36	19.180.000	127,901	Alcantarilla		
37	19.222.200	127,827	Alcantarilla		
38	19.720.500	131,221	Alcantarilla		
39	20.063.400	133,365	Alcantarilla		
40	20.432.000	143,528	Alcantarilla		
41	20.510.000	138,954	Alcantarilla		
42	20.735.500	139,254	Alcantarilla		
43	21.860.000	177,134	Alcantarilla		
Tramo 2 : Sapucaí - Caballero					
44	27.734.000	158,092	Drenaje (P)		
45	28.016.000	154,863	Drenaje (P)		
46	28.139.000	155,274	Drenaje (P)		
47	29.228.000	145,766	Drenaje (P)		
48	29.600.000	145,103	Drenaje (P)		
49	33.584.000	138,450	Puente	25	BST2
Tramo 3 : Caballero - Ybytymí					
50	34.020.000		Drenaje (P)		
51	34.200.000		Drenaje (P)		
52	35.260.000		Drenaje (P)		

Tabla 6.3.8 Inventario de Estructuras Hidráulicas (2)

No.	Distancia (m)	Cota de Elevación de la Superficie (m)	Tipo de Estructura	Longitud (m)	Observaciones
53	37.040.500	139,437	Puente	20	BST3
54	38.120.000		Alcantarilla	5	
55	39.238.500	141,510	Puente	15	
56	40.530.000		Alcantarilla	5	
57	41.440.000		Drenaje (P)		
58	41.750.000		Drenaje (P)		
Tramo 4 : Ybytymf - Punto Unido					
59	47.014.500	129,794	Alcantarilla	30	BST4
60	47.288.500	128,477	Puente	10	
61	47.682.000	127,832	Puente	10	
62	49.465.200	119,266	Puente	5	
63	49.544.520	119,152	Puente	15	BST5
64	50.679.000	120,040	Puente	15	
65	50.979.000	120,671	Puente	10	
Tramo 5 : Punto Unido - Tebicuary					
66	53.456.000	116,480	Alcantarilla		
67	53.867.000	117,950	Alcantarilla		
68	54.334.000	118,892	Alcantarilla		
69	54.674.500	120,539	Alcantarilla		
70	55.355.000	120,635	Alcantarilla		
Tramo 6 : Tebicuary - Cnel. Martínez					
71	58.549.000	105,168	Puente	215	Rfo Tebicuary-mf
72	59.500.000		Puente	30	Nueva ubicación
73	60.100.000		Puente	30	Nueva ubicación
74	60.500.000		Puente	30	Nueva ubicación
Tramo 7 : Cnel. Martínez - Cardozo					
75	64.542.000	112,114	Alcantarilla		
76	64.933.200	113,186	Alcantarilla		
77	65.810.000	113,235	Alcantarilla		
78	66.117.000	113,312	Puente	5	
79	70.620.000	131,113	Alcantarilla		
Tramo 8 : Cardozo - Villarica					
80	75.222.700	149,188	Drenaje (P)		
81	75.875.000	147,955	Drenaje (P)		
82	76.574.000	141,454	Drenaje (P)		
83	76.731.600	140,744	Puente	5	
84	77.174.000	141,031	Drenaje (P)		
85	77.352.300	141,840	Drenaje (P)		
86	77.735.000	142,670	Drenaje (P)		
87	78.112.200	144,442	Puente	5	
88	78.765.000	146,471	Drenaje (P)		
89	79.850.000	146,270	Alcantarilla		
90	80.049.000	145,885	Drenaje (P)		
91	80.849.000	158,694	Drenaje (P)		
92	81.249.000	156,918	Alcantarilla		
93	82.249.000	161,942	Drenaje (P)		
Sección : La Colmena a Tebicuary					
Tramo 1 : Empalme - No. 253+50					
1	925.000	175,990	Drenaje (P)		
2	3.327.500	166,773	Alcantarilla		
3	3.462.000	167,773	Drenaje (P)		
4	4.972.000	152,139	Drenaje (P)		
5	5.330.000	146,128	Drenaje (P)		
6	7.968.000	144,416	Drenaje (P)		
7	9.422.300	141,206	Drenaje (P)		
8	9.635.000	138,725	Drenaje (P)		

Tabla 6.3.8 Inventario de Estructuras Hidráulicas (3)

No.	Distancia (m)	Cota de Elevación de la Superficie (m)	Tipo de Estructura	Longitud (m)	Observaciones
9	10.089.000	137,725	Drenaje (P)		
10	10.534.500	138,382	Drenaje (P)		
11	10.707.300	134,299	Drenaje (P)		
12	11.742.000	126,905	Drenaje (P)		
13	12.030.800	125,195	Drenaje (P)		
14	12.300.000	123,229	Drenaje (P)		
15	13.192.500	117,740	Puente	15	
16	14.352.000	115,776	Alcantarilla	5	
17	14.948.200	115,924	Puente	10	
Tramo 2 : No. 253+50 - No. 273+00					
18	17.756.000	106,847	Puente	15	
19	18.190.000	106,738	Puente	10	
20	18.502.500	106,821	Puente	15	
Tramo 3: No. 273+00 - Tebicuary					
21	19.535.500	109,066	Puente	50	Ao Tebicuary-ml
22	22.390.000	108,935	Puente	10	
23	22.690.800	108,935	Puente	10	
24	24.352.000	107,591	Puente	5	
25	24.682.000	107,700	Alcantarilla		
26	25.966.500	114,529	Puente	5	
Sección: La Comena - Empalme - Punto Unido					
Tramo 1 : La Colmena - Empalme - No. 162					
1	2.105.300	151,077	Puente	15	Ao Tranquera
2	4.484.000	156,841	Alcantarilla		
3	6.396.500	147,221	Puente	10	Ao Rory
4	6.448.500	146,647	Drenaje (P)		
5	6.597.000	146,496	Drenaje (P)		
6	7.428.000	146,997	Drenaje (P)		
7	9.733.700	159,772	Drenaje (P)		
8	10.200.000		Drenaje (P)		
9	11.262.500	143,366	Drenaje (P)		
10	11.326.500	142,826	Drenaje (P)		
11	12.207.500	137,687	Drenaje (P)		
12	12.424.500	136,366	Drenaje (P)		
13	13.067.000	132,455	Drenaje (P)		
14	14.542.000	127,922	Drenaje (P)		
15	15.432.000	124,204	Drenaje (P)		
16	16.112.000	119,488	Drenaje (P)		
Tramo 2 : No. 162 - No. 178					
17	16.421.000	119,799	Puente	15	Ao Tebicuary-ml
18	16.934.000	119,260	Alcantarilla		
19	17.197.000	119,121	Drenaje (P)		
20	17.312.000	119,205	Drenaje (P)		
Tramo 3: No. 178 - Punto Unido					
21	21.555.000	135,733	Drenaje (P)		
22	22.759.700	142,325	Drenaje (P)		
23	23.360.700	141,144	Drenaje (P)		
24	23.530.000	140,016	Drenaje (P)		
25	23.772.000	139,441	Drenaje (P)		
26	24.010.000	138,153	Drenaje (P)		
27	24.241.200	138,731	Drenaje (P)		
28	26.109.000	126,823	Drenaje (P)		
29	26.600.000	122,910	Drenaje (P)		

Fuente : Misión de Estudio de JICA

6-4 Estudio Alternativo del Alineamiento de la Carretera

6-4-1 Condiciones Actuales de la Carretera Existente

En esta sección se describen las condiciones de la carretera existente entre Paraguarí y Villarrica, así como las de la sección ramal a La Colmena.

(1) Carretera Existente entre Paraguarí y Villarrica

1) Tramo 1 : De Paraguarí a Sapucaí

- Este tramo de la carretera existente oscila entre 6,0 y 8,0 m de ancho.
- La cota de elevación de la superficie de rodamiento en esta sección es aproximadamente igual que la del nivel del suelo adyacente a la carretera. La superficie de rodamiento y los sistemas de drenaje están en buenas condiciones.
- El alineamiento horizontal de la carretera es uniforme, exceptuando la sección que pasa por el pueblo. Para pasar por los pueblos de Sapucaí y Escobar, los cuales están localizados entre Paraguarí y Sapucaí, los vehículos que transitan en la carretera existente deben girar ángulos rectos en seis y dos ocasiones en dichos pueblos, respectivamente.
- El alineamiento vertical actual tiene pendientes del 4 al 6% en los alrededores de las áreas de Sapucaí en el distrito de las colinas; sin embargo, la mayoría de la carretera cuenta con pendientes graduales.
- En las áreas adyacentes a la carretera, las regiones más bajas de la montaña y los terrenos vecinos a los pueblos, están cultivadas, y la mayoría de terrenos, incluyendo las áreas al sur de la carretera, consisten de tierras para pastura.

2) Tramo : De Sapucaí a Caballero

- El tramo de la carretera en esta sección varía de 6,0 a 8,0 m de ancho.
- La cota de elevación de la superficie de la carretera existente para esta sección es levemente más baja que la del suelo adyacente, donde éste ha sido cortado levemente por la carretera. Por lo tanto, el drenaje de la carretera parece ser insuficiente y las condiciones de la superficie de rodamiento no son satisfactorias. Se puede observar bastante la presencia de baches en la superficie, por lo que es más difícil conducir en este tramo si se le compara con otros tramos de la carretera, especialmente después de que ha llovido.
- El alineamiento horizontal de la carretera es generalmente uniforme excepto en la sección que pasa a través del pueblo y por las curvas pronunciadas en los cruces ferroviarios. En Caballero, la carretera tiene cuatro giros en ángulo recto. El alineamiento vertical de la carretera cuenta con pendientes muy leves ya que este tramo pasa por áreas planas.

- En el lado del norte de la carretera, los terrenos inclinados se extienden con taludes cuyas pendientes son pequeñas y regulares, hasta las orillas de las montañas. Casi toda esta área es utilizada para pastura y algunas partes alrededor de las villas o casas que se encuentran dispersas en el área, están cultivadas.

3) Tramo 3 : De Caballero a Ybytymí

- La carretera existente en este tramo tiene de 6,0 a 7,0 m de ancho.
- La cota de elevación de la superficie en este tramo de la carretera es levemente más baja que la del suelo adyacente, similar al tramo anterior. Las condiciones de la superficie de la carretera también son similares al tramo previo.
- El alineamiento horizontal de la carretera es uniforme con pocas curvas pequeñas localizadas más allá de los límites del área urbana de Caballero. El alineamiento vertical de la carretera también está construido con pendientes graduales leves ya que pasa por las planicies bajas.
- Las áreas ubicadas alrededor de la carretera son utilizadas para pastura. Excepuando el hecho que las planicies bajas se extienden hacia el lado norte de la carretera, y no como sucede en la región inclinada de las colinas, las condiciones generales de este tramo son muy similares a las del tramo previo.

4) Tramo 4 : De Ybytymí a Punto Unido, vía Héctor Vera

- La carretera existente en este tramo tiene un ancho que varía entre 4,0 y 8,0 m. En general, se puede decir que el ancho de la carretera entre Ybytymí y Héctor Vera es relativamente angosto.
- La cota de elevación de la superficie de la carretera es casi igual que la del nivel existente del suelo en las áreas adyacentes o levemente más baja. Es así que las condiciones de la superficie de rodamiento son muy malas debido al pobre drenaje existente en la sección donde la carretera pasa por planicies bajas. En Especial, las condiciones de la misma pocos kilómetros antes y después de la villa de Héctor Vera, son también extremadamente malas, hasta el punto que ni un vehículo con tracción en las cuatro ruedas puede circular aun cuando la lluvia no es tan fuerte. Sin embargo, estas condiciones se mejoran a medida que uno se acerca a Punto Unido.
- El alineamiento horizontal de la carretera no es muy bueno ya que la misma fue construida como una serie de curvas pequeñas. El alineamiento vertical cuenta con pendientes relativamente graduales, aunque la carretera pasa por hondonadas moderadas en algunas partes.
- A lo largo de la carretera, la tierra adyacente al área de las colinas en las cercanías de los pueblos de Ybytymí y Héctor Vera, está cultivada y todas las restantes áreas son planicies bajas utilizadas para pastura.

5) Tramo 5 : De Punto Unido a Río Tebicuary-mf

- El ancho de la carretera existente en esta sección oscila entre 5,0 y 7,0 m.
- La cota de la elevación de la superficie en este tramo es aproximadamente igual a la del nivel de las áreas adyacentes, o levemente más baja debido a que la tierra fue cortada levemente por la carretera. La carretera se extiende desde Punto Unido hasta la Ciudad de Tebicuary en la planicie ubicada a lo largo de la orilla norte de la plantación de caña de azúcar. La carretera se caracteriza por una esquina en forma de manivela ubicada en Tebicuary al acercarse al acceso del puente existente sobre el Río Tebicuary-mf.
- Las condiciones de la superficie de rodamiento y del sistema de drenaje son generalmente buenas, aunque la cota de elevación de la superficie de rodamiento es más baja que la del área adyacente, como se describió anteriormente.
- Existen dos puentes sobre el Río Tebicuary-mf; la longitud del puente principal es de aproximadamente 70 m y la del puente suplementario es de 20 m. Estos puentes están contruidos de madera y tienen un ancho de 3,5 m. La estructura de ambos puentes es tan pobre que se han requerido trabajos de reforzamiento periódicos.

6) Tramo 6 : De Tebicuary a Martínez

- Después de cruzar el río en la Ciudad de Tebicuary, la carretera, que cuenta con 5,0 ó 7,0 m de ancho, se extiende a través de las planicies bajas hasta la Ciudad de Martínez, la cual está localizada en la orilla de la meseta montuosa. Estas planicies son bajas en altura y forman parte del embalse de la inundación del Río Tebicuary-mf.
- Debido a que la cota del nivel de la carretera es baja, algunas veces la misma se cubre por el agua de la inundación. Esto ocurre con más frecuencia en la parte de la carretera que está más cerca de Tebicuary. A pesar de estos hechos, se puede decir que las condiciones de la superficie de rodamiento no son tan malas cuando no llueve.
- El alineamiento horizontal de la carretera es recto, desde el puente hasta la entrada a la Ciudad de Martínez. La carretera tiene una pendiente leve en la entrada de dicha ciudad y cuenta con dos esquinas en ángulo recto, al igual que en otros pueblos o ciudades.

7) Tramo 7 : De Martínez a Cardozo

- La carretera existente tiene un ancho de 5,0 a 7,0m en esta sección.
- La cota de elevación de la superficie es levemente más baja que la del nivel existente del suelo debido a que éste ha sido cortado levemente por la carretera.
- Las condiciones de la superficie de rodamiento son relativamente buenas; sin embargo, en ciertas localidades de las tierras bajas el sistema de drenaje no es bueno.

- El alineamiento horizontal de la carretera consiste generalmente de líneas suaves, exceptuando un lugar en donde existe una pequeña curva en forma de "S". El alineamiento vertical está compuesto de pendientes graduales, tanto en las áreas planas como en las áreas inclinadas.
- La mayor parte de la tierra a lo largo de la carretera es tierra para pastura y en las áreas circundantes a la ciudad y villas, la tierra está siendo utilizada para fines agrícolas.

8) Sección 8 : De Cardozo a Villarrica

- La carretera en esta sección tiene un ancho que varía entre 4,0 y 6,0 m.
- La cota de elevación de la superficie es aproximadamente igual que la existente en el suelo adyacente, aunque en pocos lugares, éste fue cortado por la carretera. Las condiciones de la superficie de rodamiento y del sistema de drenaje son generalmente buenas, con la excepción que el drenaje en el área baja localizada antes de la entrada a la Ciudad de Villarrica no está en buenas condiciones.
- El alineamiento horizontal en la carretera es generalmente suave, excepto en dos lugares en donde existen curvas en forma de "S" en los cruces del ferrocarril. El alineamiento vertical está compuesto por líneas graduales.
- Las áreas localizadas a lo largo de la carretera se utilizan principalmente para tierra de cultivo como para tierra de pastura.

(2) Del Ramal a La Colmena

A continuación se describen las condiciones actuales de las tres carreteras existentes consideradas como alternativas para conectar la carretera entre Paraguari y Villarrica con La Colmena.

1) Alternativa 1 : La Colmena a Tebicuary, vía Tebicuary-mf

a) La Colmena a Tebicuary-mf

- El ancho de la carretera existente en esta sección varía de 4,0 a 6,0 m, y fue construida por el corte del terreno que pasa por el área de hondonadas moderadas. La cota de la elevación de la superficie es aproximadamente igual que la del nivel natural de los alrededores cuando pasa por el área de las tierras bajas.
- Las condiciones de la superficie de rodamiento desde La Colmena hasta las áreas cercanas al Empalme (inicio del punto de la ruta de la alternativa 2) son buenas, pero las del tramo entre el Empalme y Tebicuary-mf no son muy buenas. El área de las tierras bajas no cuenta con un buen sistema de drenaje.

- El alineamiento horizontal de la carretera es suave, exceptuando dos curvas pronunciadas. El alineamiento vertical es generalmente plano.
- El área de las colinas adyacente a lo largo de la carretera ha sido utilizada para cultivos, mientras que las otras áreas en las tierras bajas son utilizadas para pastura.

b) Tebicuary-mf a Tebicuary

- La carretera existente en esta sección tiene un ancho que oscila entre 6,0 y 8,0 m. Desde el punto de vista geográfico, este tramo de carretera puede ser dividido en dos partes: una que va de Tebicuary-mf hasta la mitad de la vfa a Tebicuary, y la otra que corresponde a la mitad restante. La primera corresponde a la parte de la carretera ubicada en las planicies bajas que se utilizan como tierra de pastura, las cuales se ven afectadas por inundaciones en raras ocasiones y la última, corresponde a la parte de la carretera que pasa a través de áreas relativamente más altas cubiertas por bosques o plantaciones de caña de azúcar.
- La parte de la carretera que pasa por las tierras bajas está construida sobre un terraplén con alturas que varían de 1 a 1,5 m sobre el nivel natural del suelo. El nivel de la superficie de rodamiento de la carretera en la mitad restante es generalmente igual que el nivel del suelo adyacente.
- En general, las condiciones de la superficie de rodamiento son relativamente buenas; sin embargo, en una parte del área de las tierras bajas no son malas. Por ejemplo, entre los puntos No. 253 y No. 273, donde la altura de la carretera es la más baja en el tramo, las condiciones de la superficie de rodamiento son malas.
- Tanto el alineamiento horizontal como el vertical son suaves.

2) Alternativa 2 : Del Empalme a Punto Unido, vfa Vera

- La carretera existente en esta sección tiene un ancho entre 4,0 y 6,0 m.
- La cota de elevación de la superficie de rodamiento es casi similar que la del suelo adyacente. Las condiciones de la superficie de rodamiento son relativamente buenas, pero en algunas partes no existe un buen sistema de drenaje. Las áreas entre los puntos No. 162 y No. 178 están localizadas dentro de la zona de inundación del Rfo Tebicuary-mf.
- El alineamiento horizontal de esta sección es generalmente suave, exceptuando dos curvas pronunciadas. El alineamiento vertical cuenta con pendientes graduales.
- Toda la tierra a lo largo de la carretera es tierra cultivada, exceptuando la tierra utilizada para pastura ubicada en dos áreas de tierras bajas.
- La última mitad de esta ruta alternativa, es decir, el tramo que va de Héctor Vera a Punto Unido, es la misma que la parte del tramo de carretera entre Ybytymf y Punto Unido, cuyas condiciones actuales ya fueron descritas anteriormente.

3) Alternativa 3 : La Colmena a Punto Unido, vfa Martínez Cue

- Esta ruta alternativa va hacia la parte norte, directamente desde la Ciudad de La Colmena, pasando por la Villa Martínez Cue y se junta con la carretera existente entre Paraguarí y Tebicuary en Héctor Vera.
- La carretera existente entre La Colmena y Héctor Vera a lo largo de esta ruta cuenta con un ancho aproximadamente de 4,0 m.
- La cota de elevación de la superficie de esta sección es muy similar a la del nivel existente del suelo. Las condiciones de la superficie de rodamiento son extremadamente malas debido al poco tráfico que circula por ella y por consiguiente, raramente se le da mantenimiento.
- El alineamiento horizontal es generalmente suave, excepto por tres curvas pronunciadas. El alineamiento vertical consiste generalmente de pendientes muy graduales ya que la carretera pasa por planicies bajas, excepto para el caso de la sección ubicada entre las áreas accidentadas localizadas en el centro del tramo de esta carretera.
- Casi todas las áreas ubicadas a lo largo de la carretera son utilizadas como tierra para pastura.
- La sección entre Héctor Vera y Punto Unido es la misma que la ruta alternativa 2 descrita con anterioridad.

Las condiciones actuales de las carreteras existentes se resumen en la Tabla 6.4.1.

6-4-2 Selección de las Rutas Alternativas

(1) Descripción General de la Selección de Rutas Alternativas

Como se describió en la sección anterior, actualmente existen carreteras entre las ciudades que se encuentran al comienzo y al final de los puntos de las rutas objeto del Estudio, es decir, Paraguarí, Villarrica y La Colmena. Sin embargo, las condiciones actuales de estas carreteras y sus niveles de servicio son considerablemente pobres.

Tabla 6.4.1 Condiciones Actuales de las Carreteras Existentes

Sección Vial Tramo	Sección entre Paraguari y Villarica						Sección entre el Empalme y La Colmena					
	Paraguari-Sapucai	Sapucai-Caballero	Caballero-Yoytymi	Yoytymi-P. Unido	P. Unido-Rio Tebicuary	Rio Tebicuary-C. Martinez	C. Martinez-Cardozo	Cardozo-Villarica	La Colmena-Tebicuary Mi	Tebicuary Mi-Tebicuary H.Vera	H.Vera-La Colmena	
Ancho de la via	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-7,0	4,0-8,0	5,0-7,0	5,0-7,0	5,0-7,0	4,0-6,0	4,0-6,0	6,0-8,0	4,0-6,0	4,0
Altura del nivel de la superficie comparada con la del nivel del suelo adyacente	Igual	Más bajo	Más bajo	Igual o Más bajo	Igual o Más bajo	Igual o Más bajo	Más bajo	Igual o Más bajo	Más alto	Igual	Igual	Igual
Condición de la superficie de rodamiento	○	△	X	X	○	○	○	○	△	○	○	X
Condiciones del drenaje	○	X	△	X	○	X	△	○	△	○	△	△
Alineamiento horizontal	○	○	◎	X	○	○	○	○	○	○	○	○
Alineamiento vertical	○	○	◎	△	○	○	○	○	△	○	○	○
Uso de la tierra en las áreas adyacentes	Cultivada y pasto	Cultivada y pasto	Pasto	Cultivada y pasto	Cultivada y pasto	Cultivada y pasto	Cultivada y pasto	Cultivada y pasto	Cultivada y pasto	Pasto	Cultivada y pasto	Pasto
No. de puentes con L < 10 m	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
10 m < L < 30 m	0	1	2	1	1	0	0	0	1	5	1	2
L > 30 m	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
Longitud Total	6,7 m	24,5 m	30,5 m	12,0 m	90,0 m	0 m	5,0 m	0 m	19,0 m	117,9 m	12,5 m	30,0 m

Nota: ◎ = No existe problema, ○ = Buenas condiciones, △ = Las condiciones son pobres, X = Malas condiciones

Aunque puede que existan ventajas en la utilización de la carretera existente con respecto al nuevo desarrollo, y tomando en cuenta el pronóstico de tráfico futuro, la categoría de la carretera y el criterio geométrico de la nueva carretera, se examinó la necesidad de alternar el alineamiento de las carreteras existentes o la de selección nuevas carreteras en algunos lugares, considerando los siguientes puntos de vista:

- i) Mejorar (o cumplir con el criterio geométrico) el alineamiento de la carretera.
- ii) Mantener la mejor relación posible entre el área urbana existente y la carretera, tomando en cuenta el incremento del tráfico en el futuro.
- iii) Encontrar la ruta más ventajosa para el desarrollo futuro de la red vial nacional.
- iv) Seleccionar la ruta más factible desde el punto de vista socioeconómico.

Como resultado, el nuevo alineamiento de la carretera del Estudio coincidió en su mayor parte con el alineamiento de la carretera existente; sin embargo, se propusieron unas cuantas rutas alternativas en algunos lugares con el fin de ser examinadas en forma competitiva. Estas alternativas pueden ser divididas en dos grupos, como se muestra a continuación:

- i) Desvíos alternativos en pequeña escala alrededor de las ciudades.
- ii) Alternativas en gran escala.

(2) Desvíos en Pequeña Escala Alrededor de las Ciudades

Varias rutas alternativas de desvío fueron establecidas en Sapucaí y en Gral. Ferdinandino Caballero. En Escobar, como la ruta existente pasa a lo largo de los límites de la ciudad, se consideró que era innecesario implementar un nuevo desvío en el lugar y que se requeriría solamente una modificación a pequeña escala del alineamiento de la carretera existente al este de la ciudad. Los desvíos alrededor de otras ciudades a lo largo de la carretera del Estudio, tales como Ybytymí, Héctor Vera, Coronel Martínez y Félix Pérez Cardozo, fueron examinados en otro grupo de alternativas a gran escala.

La relación física o el control de acceso entre una ciudad y una carretera troncal o arterial, como la carretera del Estudio, cuyo rol es principalmente para abastecer el tráfico que viaja largas distancias y el tráfico de alta velocidad, deber ser determinada considerando el volumen de tráfico de la carretera, así como el tamaño y otras condiciones locales de la ciudad o pueblo con la que está conectada. Sin embargo, no existe un criterio estándar para ese propósito.

En el caso de las ciudades mencionadas arriba, es decir, aquellas cuya población es menor a los 5000 habitantes, se pueden aplicar en general, las siguientes ideas:

1) Caso 1 : Volumen de tráfico de la carretera < 1000 uvp¹

Dado que el efecto del tráfico de paso directo parece estar dentro de un nivel insignificante con respecto al de la ciudad por donde pasa la carretera, el acceso directo de la carretera hacia el centro de la ciudad está permitido. Si se introduce un sistema de desvío en este caso, se podría causar una mala influencia al perder un beneficio disponible en la ciudad.

2) Caso 2 : Volumen de tráfico de la carretera < 3000 uvp¹

Se necesita de una consideración cuidadosa para este nivel. En general, el sistema de vía de circunvalación unidireccional (es decir, en un sentido) debe ser una solución útil en este caso, ya que la mayoría de las ciudades tienen un patrón similar de carreteras moduladas en cuadrícula (ver Figura 6.4.1).

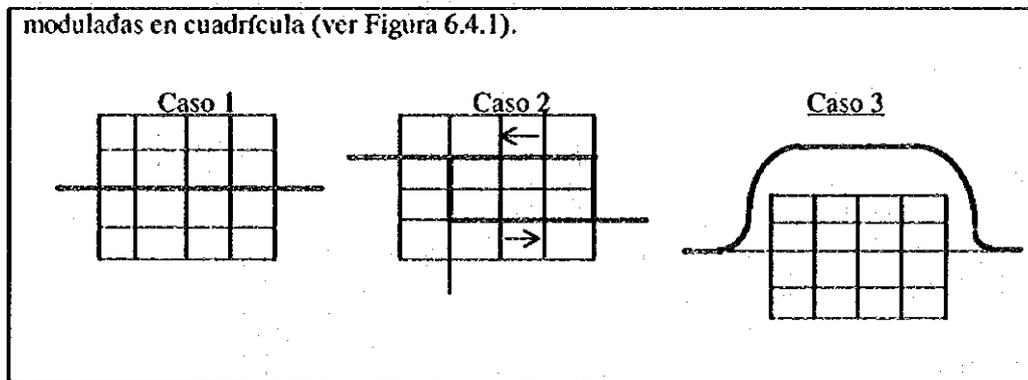


Figura 6.4.1 Patrón del Modelo del Sistema de Acceso

3) Caso 3 : Volumen de tráfico de la carretera > 3,000 uvp¹

En este caso se puede recomendar un sistema de desvío.

El pronóstico del volumen de tráfico para el año 2015 en Sapucaí y en Gral. Ferdinando Caballero se muestra en la siguiente tabla (referirse a la Tabla 5.5.1). Las cifras en la tabla muestra que en esas ciudades se deben implementar desvíos, en general, porque el uvp estimado en cada ciudad excede las 5000 unidades.

Tabla 6.4.2 Volumen de Tráfico y UVP en el año 2015

Ciudad	Vehículo de Pasajeros	Autobús	Camión	uvp
Sapucaí	1.404	291	1.102	6.134
Gral. F. Caballero	1.247	252	1.052	5.685

Además de la consideración general mencionada arriba, se tomaron en cuenta las

¹ : uvp = unidad de vehículo de pasajeros = Vehículo de pasajeros × 1,0 + Autobús × 3,0 + Camión × 3,5

características geográficas, patrón actual de calles y los puntos de entrada y salida de la carretera actual en cada ciudad, con el fin de seleccionar las rutas alternativas de desvío, tal y como se muestra en la Figura 6.4.2.

(3) Alineamiento de Rutas Alternativas en Gran Escala

A lo largo de las carreteras del estudio entre Paraguarí y Villarrica, así como su sección del ramal a La Colmena, se estableció el alineamiento de las rutas alternativas, cuyos tramos son bastante largos, en las siguientes cuatro secciones, las cuales fueron examinadas y comparadas desde varios puntos de vista, tales como los aspectos de tráfico, las condiciones naturales imperantes, aspectos de ingeniería, actividades socioeconómicas, etc. En otras palabras, las razones por las cuales las alternativas en esas cuatro secciones no fueron seleccionadas solamente para implementar desvíos alrededor de una ciudad, tal como lo fue para el caso de las alternativas en pequeña escala, se describieron en la subsección anterior para Sapucaí y General Bernardino Caballero. Las cuatro secciones seleccionadas son las siguientes:

- i) Desde Ybytymí hasta un punto que está aproximadamente a 10 km al este (de aquí en adelante denominado Punto Unido).
- ii) La sección de cruce del Rfo Tebicuary, con una longitud de 4 km.
- iii) Desde Félix Pérez Cardozo hasta la entrada a Villarrica.
- iv) La sección del ramal a La Colmena.

Estas rutas alternativas se muestran en las Figuras 6.4.3 a 6.4.6, y el examen detallado de las mismas con el fin de encontrar la ruta más óptima se discutirá en la Sección 6-4-4.

Los desvíos alrededor de las ciudades de Ybytymí, Héctor Vera, Tebicuary-mí, Coronel Martínez y Félix Pérez Cardozo, también fueron tomados en cuenta en el estudio comparativo de esas alternativas.

(4) Conexión con las Carreteras Principales Existentes

Sin tener que decirlo, la carretera del Estudio debe estar conectada a las Carreteras Nacionales No. 1, No. 8 y a la carretera entre Acahay y La Colmena en Paraguarí, Villarrica y La Colmena, respectivamente, con el fin de asegurar los efectos del desarrollo vial.

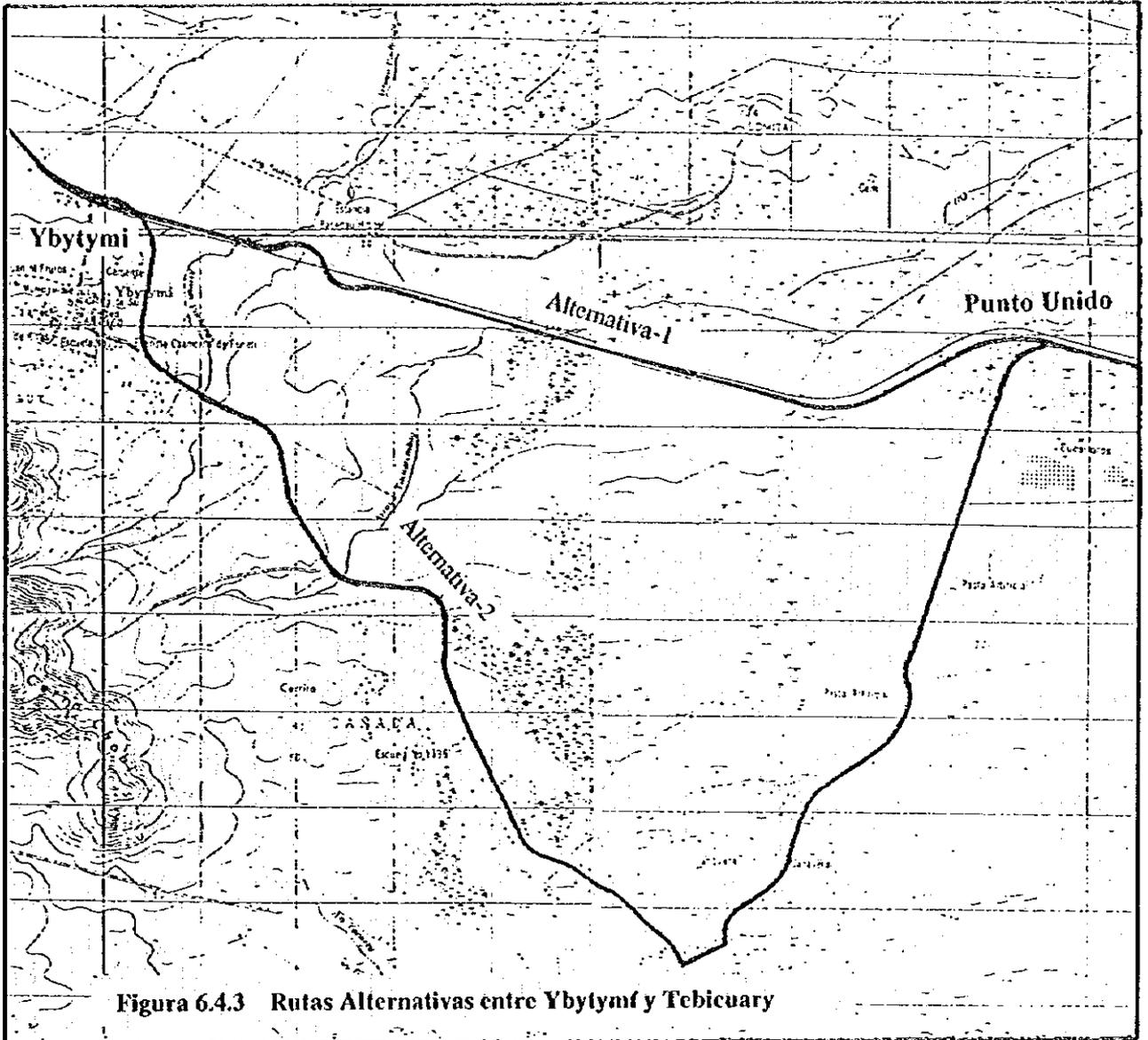


Figura 6.4.3 Rutas Alternativas entre Ybytymí y Tebicuary

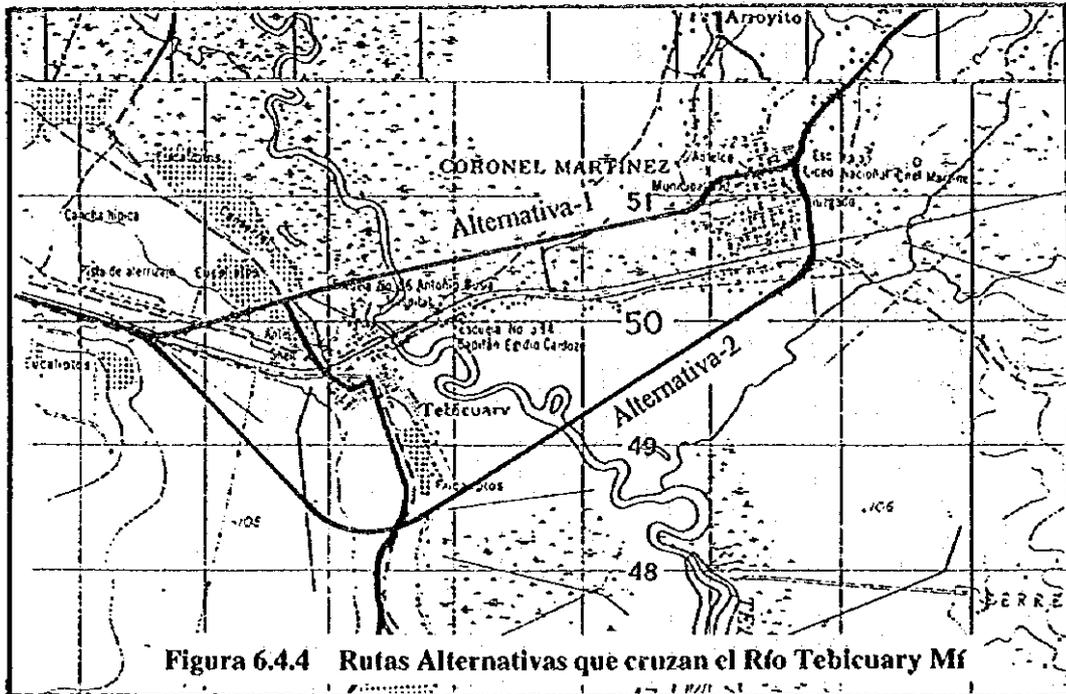


Figura 6.4.4 Rutas Alternativas que cruzan el Río Tebicuary Mí

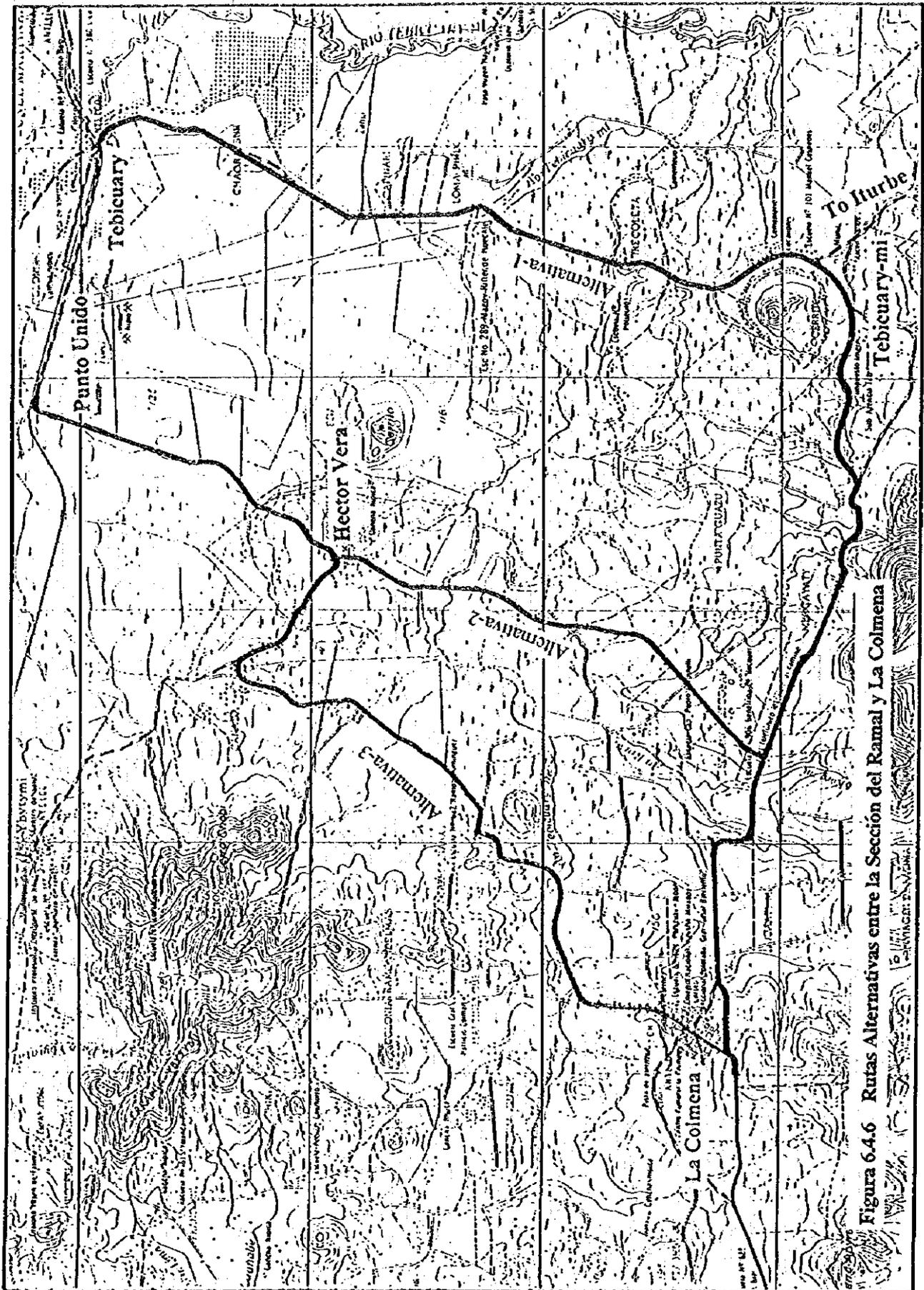


Figura 6.4.6 Rutas Alternativas entre la Sección del Ramal y La Colmena

Así como la ruta actual de la carretera existente, la carretera del Estudio pasa por el mismo centro de esas tres ciudades, se debe desarrollar el nuevo alineamiento de la carretera del Estudio con el fin que la misma se conecte con las carreteras principales que se mencionaron arriba. Sin embargo, considerando la estructura de esas ciudades y de sus calles, el uso actual de la tierra, el número de obstáculos a ser removidos, el pronóstico del volumen de tráfico y sus características de origen-destino, no existió ninguna opción significativa en la selección de la ruta en esas tres ciudades. Es decir,

1) En Paraguarí (ver Figura 6.4.7)

La carretera del Estudio deberá primeramente unirse con la carretera que va de Paraguarí a Piribebuy en el límite noreste de la Ciudad de Paraguarí, luego girar al suroeste pasando a lo largo de la última calle del lado noreste de la ciudad y finalmente unirse con la Carretera Nacional No.1. La calle que pasa a través del centro de la ciudad, en la cual el tráfico actual, incluyendo vehículos pesados, en la carretera existente, solía unirse con la Carretera Nacional No. 1; sin embargo, seguramente dicha calle será incapaz de soportar el volumen de tráfico, estimado en más de 2000 vehículos por día para el año 2005. Así mismo, el impacto ambiental negativo sobre el área al costado de la carretera en tal caso, podrá tener cierto peso.

2) En Villarrica (ver Figura 6.4.5)

La única ruta que conecta la carretera del Estudio, que viene del noreste, con la Carretera Nacional No. 8 en la Ciudad de Villarrica, es aquella que pasa a lo largo de la última calle en el extremo norte de la ciudad; aun así, hasta el momento, dicha calle ha sido desarrollada sólo parcialmente. Por la misma razón que en el caso de Paraguarí, la calle de la ruta actual en la ciudad no podrá ser utilizada una vez se implemente la carretera del Estudio.

3) En La Colmena

Para la sección del ramal que conecta la Ciudad de La Colmena con la carretera principal del Estudio, entre Paraguarí y Villarrica, se establecieron tres rutas alternativas tal y como se muestra en la Figura 6.4.6. En el caso de las Alternativas 1 y 2, las cuales corren hacia el oeste, no existe idea alguna excepto la ruta que se muestra en la Figura 6.4.6 para desviar el tráfico alrededor de la ciudad, debido principalmente a la dificultad para adquirir tierras.

En el mismo sentido, la única forma de conectar la tercera ruta alternativa con la carretera actual entre Acahay y La Colmena, sería la de permitir que el tráfico de paso directo pase por el centro de la derecha y por la plaza central de la ciudad. Aunque es

aparente que la Alternativa 3 es la más desventajosa entre las tres alternativas propuestas, sólo por esta razón, dicha parte se examinará con más detalle en la Sección 6-4-4.

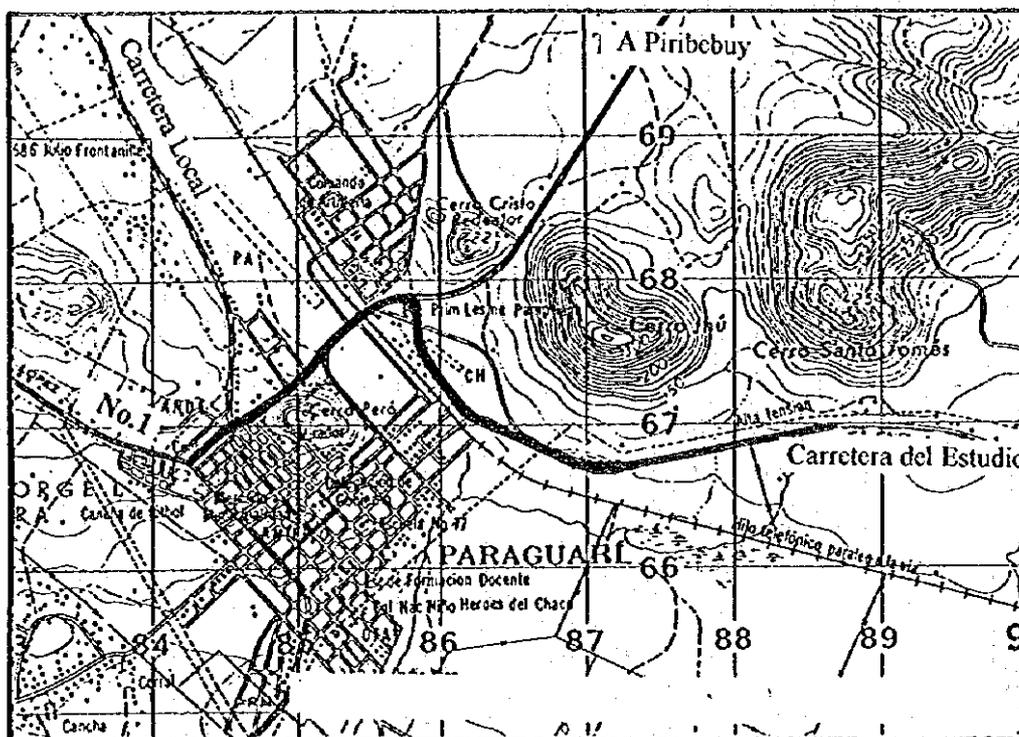


Figura 6.4.7 Acceso a la Carretera Nacional No. 1 en Paraguarí

6-4-3 Estudio Preparatorio para la Evaluación de las Rutas Alternativas

(1) Lugares Posibles para ser Utilizados como Bancos de Préstamo y Canteras

Como se describirá posteriormente, aparentemente será imposible completar el trabajo de movimiento de tierras requerido, utilizando el sistema de bancos de préstamo a los costados de cada tramo de la carretera del Estudio. En otras palabras, se requerirá de la disponibilidad de algunos bancos de préstamo para el material del terraplén en la mayoría de los tramos de la carretera.

Se consideró en este Estudio que la capa de la subrasante de toda la carretera objeto debe construirse con material de los bancos de préstamo mencionados anteriormente. Es decir, el corazón o la capa inferior del terraplén podría construirse con material obtenido durante la excavación entre los márgenes del derecho de vía (préstamo lateral); sin

embargo, tomando en cuenta la calidad del material del préstamo lateral, podría no estar disponible para la construcción de la subrasante, excepto por alguna parte limitada a lo largo de la carretera.

Los resultados de la investigación para encontrar los posibles lugares de los bancos de préstamo disponibles cercanos a la carretera del estudio, la cual se realizó durante este Estudio, se resumen en la Figura 6.4.8.

En el curso del diseño preliminar de este Estudio, cuyos resultados se describen en el Capítulo 7, se analizó el balance del volumen necesario para la construcción de la subrasante y la cantidad de material disponible de los posibles bancos de préstamo, y se ha confirmado la posibilidad de obtener la cantidad necesaria de material disponible en las cercanías.

Así mismo, se necesitará utilizar canteras de piedra o material de roca localizadas en lugares apropiados para la pavimentación y las estructuras construidas con hormigón. Las posibles canteras encontradas en el Estudio también se ilustran en la Figura 6.4.8, como C1, C2 y C3. Además de estas tres posibilidades, se ha considerado que el "Cerro Acahay", ubicado entre Carapegua y Acahay, podría ser una de las canteras alternativas. Sin embargo, el Gobierno de Paraguay ha designado recientemente el área que incluye "Cerro Acahay" como una Reserva Nacional y, por lo tanto, ya no es imposible explotar ese lugar para obtener el material rocoso. Las características principales del material rocoso de esas posibles canteras se resumen en la Tabla 6-4-3.

Con respecto al granito de la cantera C1, se recomienda llevar a cabo pruebas más detalladas durante la fase del diseño final con el fin de evaluar definitivamente si el tipo de roca existente se puede utilizar como material para el pavimento. Esta recomendación se dictaminó en base a los dos problemas siguientes que surgen cuando se utiliza granito como agregado para el concreto asfáltico: ① cuando el cambio en la gradación granular de la piedra de granito triturada no es despreciable comparándolo antes y después de ser calentado en la planta de concreto asfáltico, y ② cuando la adherencia entre el agregado de granito y el cemento asfáltico es insuficiente.

Sin embargo, según se ha reportado, se considera que el problema de la adherencia puede ser resuelto fácilmente, ya que en la mayoría de casos, este tipo de problema ha sido resuelto cuando se ha agregado algún agente o bien cuando se ha reemplazado parte del rellenedor para la mezcla asfáltica con cal muerta.

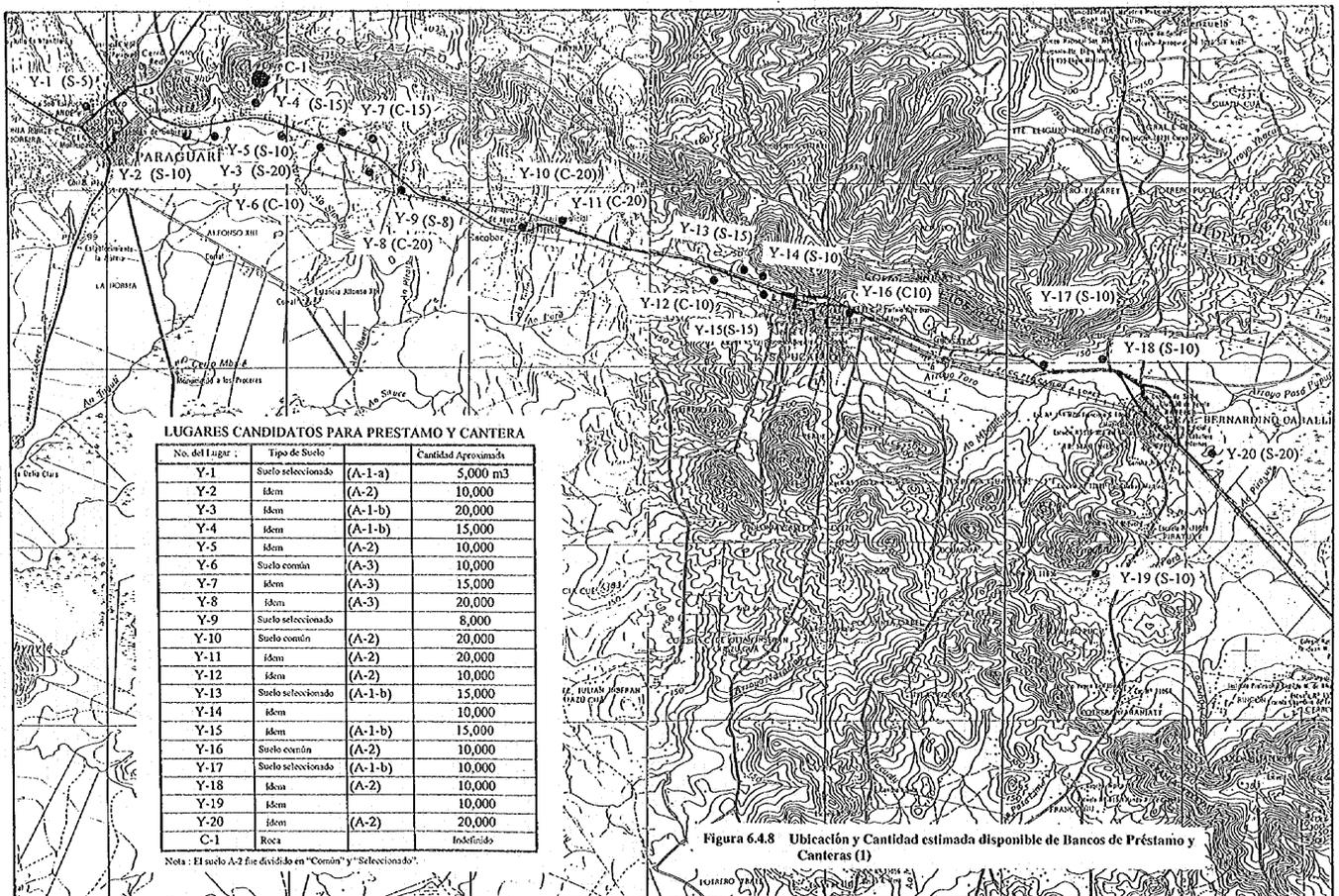


Figura 6.4.8 Ubicación y Cantidad estimada disponible de Bancos de Prestamo y Canteras (I)

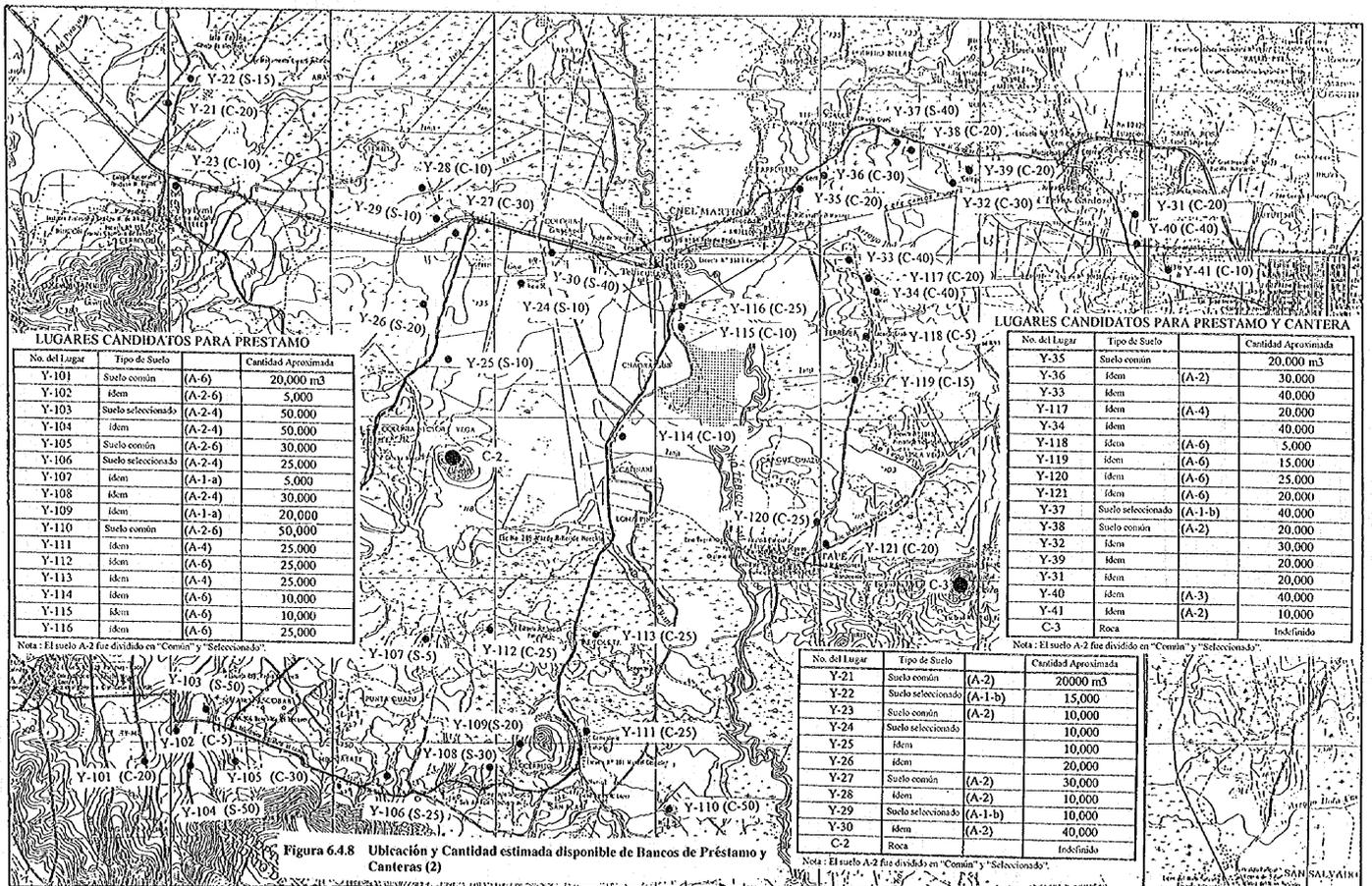


Figura 6.4.8 Ubicación y Cantidad estimada disponible de Bancos de Préstamo y Canteras (2)

Tabla 6.4.3 Características Principales del Material Rocoso

Cantera	Cerro Santo Tomás en Paraguarí (C1)	Héctor Vera (C2)	Cerro Itapé (C3)
Tipo de roca	Granito	Familia basáltica	Basalto
Condición actual	Explotada	No explotada	No explotada
Cantidad disponible	Indefinida	Desconocida	Indefinida
Desgaste (abrasión)	(A) : 19,0% (B) : 18,9%	Desconocida	(B) : 16%* (C) : 19%*
Absorción	0,07%	Desconocida	
Gravedad específica	2,84 g/cm ³	Desconocida	
CBR	128 (remojada) 170 (sin remojo)	Desconocida	
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> • El material rocoso es granito blanco grisáceo, duro y fuerte. • La abrasión (desgaste) es limitada en el rango que cumple con las especificaciones para el material del pavimento. • Se recomienda realizar pruebas de este tipo de roca en la fase del diseño final (ver la descripción siguiente). • La cantera se está explotando sólo con cinceles manuales y martillos. 	<ul style="list-style-type: none"> • La roca parece ser un tipo de basalto de color rojizo, fácil de romper y no es apta para la base o material de superficie. • Debería estudiarse en detalle en la fase de diseño final para evaluar si es útil para la subbase. 	<ul style="list-style-type: none"> • El material rocoso es negro y basalto duro. • Parece ser buen material para la estructura del pavimento.

Nota: 1) * : Datos obtenidos del estudio del Plan Triángulo en 1977.
 2) En el ensayo de desgaste, A, B y C indicaron gradación de la muestra de acuerdo con la AASHTO.
 3) Los resultados del ensayo realizado en este estudio al material de C1 se incluyen en el Anexo D.
 4) El material del ensayo CBR es compuesto: (roca triturada: arena: A-2-4) = 82:8:10. El valor corresponde a una densidad del 100% del test Próctor.

Al realizar las pruebas de tamaño granular con el fin de comparar la gradación de la roca triturada antes y después de ser calentada entre los 170 y 200°C, se podrá evaluar finalmente si este material granito puede ser utilizado como agregado para el concreto asfáltico.

De acuerdo a las anteriores deliberaciones, se asumió en este estudio de factibilidad que las canteras C1 y C3 estarán disponibles para el Proyecto, por lo que las mismas se tomaron en cuenta en el diseño de la carretera, planificación de su construcción y en la estimación de costos del Proyecto.

(2) Análisis de Precios Unitarios de Construcción para el Estudio Comparativo

Con el objeto de seleccionar la ruta óptima entre las alternativas, el costo de construcción de cada ruta será uno de los factores más importantes. Para estimar el costo, el precio unitario de cada actividad de trabajo incluida en la construcción para completar la carretera debe ser determinado además del cálculo cuantitativo por actividad.

A causa de que no existe ningún listado de precios unitarios estándares por actividad de trabajo publicado en este país, excepto aquellos utilizados en la construcción de edificios pequeños, así como por el hecho de que el MOPC no cuenta con ningún sistema autorizado de estimación de costos para la construcción de carreteras, el análisis de precios unitarios para este propósito, exceptuando el de la construcción del puente, fue llevado a cabo basándose en los resultados de la estimación de costos (presupuesto) de los siguientes ocho proyectos de construcción de carreteras:

① Proyecto Limpio - Emboscada	: 19 km
② Proyecto Emboscada - San Estanislao, Sección I	: 61 km
③ Proyecto Emboscada - San Estanislao, Sección II	: 70 km
④ Proyecto Tacuara - Salto del Guaira, Sección I	: 62 km
⑤ Proyecto Tacuara - Salto del Guaira, Sección II	: 60 km
⑥ Proyecto Tacuara - Salto del Guaira, Sección II	: 59 km
⑦ Proyecto San Ignacio - Pilar, Sección I	: 52 km
⑧ Proyecto San Ignacio - Pilar, Sección II	: 53 km

La estimación de los proyectos del ① al ⑥ se realizó en 1995 y el resto se llevó a cabo en 1994. El análisis fue realizado de la manera siguiente:

- i) Primero, se seleccionaron las actividades de trabajo principales para la construcción de la carretera del Estudio.
- ii) Las actividades de trabajo similares a las que fueron seleccionadas en el inciso i) anterior, así como sus precios, fueron tomados de los datos disponibles de los proyectos referidos, es decir, los ocho proyectos arriba mencionados.
- iii) Se examinó el contenido y las características específicas de las actividades de trabajo de cada proyecto referido, especialmente la cantidad estimada, las características geográficas del lugar, los lugares asumidos para ser utilizados como canteras y plantas de asfalto, la distancia requerida para el transporte de material del terraplén, etc.
- iv) Entonces, eliminando el costo parcial cargado por las condiciones especiales o locales del precio unitario de cada actividad de trabajo del proyecto referido, se obtuvieron los precios unitarios propios y representativos para cada actividad de trabajo seleccionada de la carretera del Estudio.

Ya que el método de estimación y la definición de las actividades de trabajo para cada uno de los proyectos referidos no eran iguales, el análisis descrito arriba fue ejecutado cuidadosamente. Los resultados se resumen en la Tabla 6.4.4 que se muestra a continuación.

Tabla 6.4.4 Precios Unitarios a ser aplicados en el Estudio Alternativo

Descripción	Unidad	Precio Unitario (US\$)
1. Mobilización	Global	A × 3% *
2. Movimiento de tierras		
- Desmonte y limpieza del lugar	km	2.592,0
- Desmonte y limpieza del lugar (en gran escala)	km	10.369,0
- Terraplén (DMT < 2 km)	m ³	4,4
- Selección de suelo (DMT < 2 km)	m ³	4,9
- Transporte de tierra	km-m ³	0,2
3. Pavimento		
- Base, subbase, piedra triturada	m ³	40,4
- Concreto asfáltico	m ³	119,6
- Capa de sellado, etc.	m ³	581,0
4. Facilidades de drenaje auxiliares		
- Alcantarillas de caño, diámetro entre 1 y 1,5 m	m	8.806,0
- Alcantarillas de caja, dimensión 3×3 m	m	25.718,0
5. Concreto para estructuras	m ³	135,0
6. Otros		
- Otros	Global	B × 12% **

Notas: * A significa el costo total, incluyendo la construcción del puente

** B significa el costo total, excluyendo la construcción del puente

Con respecto al costo de construcción del puente, no se puede aplicar el mismo sistema de análisis descrito anteriormente debido a la gran diferencia en el tamaño de la estructura y a la diferencia de las condiciones locales de cada uno de los puentes incluidos en los proyectos referidos. Por lo tanto, considerando que sólo el costo de construcción relativo será necesario en el estudio comparativo, al menos para seleccionar la ruta óptima de las alternativas propuestas, se aplicaron en este Estudio los siguientes precios sólo para comparar, con la premisa de que todos los puentes tendrán un ancho de 12 m.

- i) 7.200 US\$/m para puentes con una longitud entre 5 y 10 m (estructuras de hormigón armado)
- ii) 9.600 US\$/m para puentes con una longitud mayor a los 10 m (estructuras de concreto preesforzado)

El costo del puente sobre el río Tebicuary-mf no influye sobre el resultado del estudio comparativo porque la necesidad, tipo y escala del puente en ambos casos (Alternativa-1 y Alternativa-2) será igual.

Los precios de i) y ii) se obtuvieron de los ingenieros de la sección de puentes del MOPC y de algunos ingenieros consultores experimentados, basándose en experiencias pasadas en Paraguay. Con respecto al puente sobre el Río Tebicuary-mf, seguramente se requerirá de trabajos preparatorios para la construcción, tal como la preparación del camino de acceso al lugar y el desmonte y limpieza del lugar, en mayor medida que para otros puentes, por lo que se consideró adoptar un precio más alto. Sin embargo, en la

realidad, este precio no conlleva significado alguno en el estudio alternativo porque se consideró que ambas rutas alternativas seleccionadas, Alternativa 1 y Alternativa 2 de la Figura 6.4.4, deben tener un puente con el mismo tamaño y dimensiones, por lo que el precio no tendrá influencia sobre la diferencia en el costo de construcción entre ambas alternativas.

Por otro lado, cuando se examinaron los resultados de algunas ofertas para los proyectos de construcción de carreteras del mismo tipo, se pudo encontrar que los montos contratados con los constructores fueron, en casi todos los casos, entre un 20 a un 30 por ciento más altos que los presupuestos estimados en el MOPC. Por ejemplo, las ofertas para los dos proyectos de construcción de la carretera entre San Ignacio y el Pilar, entre los ocho proyectos arriba mencionados, los cuales ya han sido finalizados en 1995, representaron montos contratados para las Secciones I y II de 26.498 miles de dólares y 26.289 miles de dólares, respectivamente. Estos montos son 25% y 29% más altos que los presupuestos respectivos calculados en 1994, es decir, un año antes de que se presentaran las ofertas.

Sin embargo, tomando en cuenta el propósito del estudio alternativo, se consideró que los precios mencionados arriba, deducidos de los presupuestos de otros proyectos, podrían ser usados significativamente en el Estudio.

(3) Diseño del Pavimento

El diseño del pavimento de ambos casos, pavimento flexible y rígido, se realizó de acuerdo con la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento - AASHTO (1986). Luego, los resultados se compararon económicamente para determinar que tipo de estructura debe aplicarse.

1) Pavimento flexible (pavimento de concreto asfáltico)

El método de diseño estipulado en la Guía y el proceso de cálculo detallado se muestran en el Anexo C. Las condiciones más importantes y el resultado del diseño se resumen acá.

a) Período de análisis

El período de análisis del diseño de la estructura de pavimento inicial se consideró de diez (10) años a partir del inicio del funcionamiento de las carreteras. Suponiendo que hay que recubrir después de diez años desde el desarrollo inicial, el diseño del recubrimiento se menciona más adelante.

b) Tráfico de Diseño

El tráfico de diseño es el volumen de tráfico acumulado durante el período de análisis, y éste se expresa por tipo de vehículo. En este caso, el tráfico de diseño fue calculado para el período comprendido entre los años 2005 al 2015, a pesar que se estimó que la finalización del desarrollo de las carreteras del estudio será en el año 2002, tal como se describe más adelante. Esta modificación proviene de la estimación de la demanda futura del tráfico del año objetivo descrito en el Capítulo 5, y la influencia de éste sobre el resultado del diseño del pavimento será menor y segura.

La Tabla 6.4.5 muestra el tráfico de diseño calculado basado en la estimación del volumen de tráfico para los años 2005 y 2015, los cuales se resumen en la Tabla 5.5.1.

Tabla 6.4.5 Tráfico de Diseño

(unidad : vehículos)

Sección de Carretera	Vehículo de Pasajeros	Autobús	Camión
Paraguari - Río Tebicuary-mf	5.288.850	1.153.400	4.387.300
Río Tebicuary-mf - Villarrica	3.878.125	1.084.050	3.221.125
La Colmena - Tebicuary	1.036.600	740.950	417.925

Nota: 1) La división de la sección de carretera coincide con el valor del CBR de la subrasante descrita más adelante.
2) El tráfico de diseño para cada sección de carretera ha sido calculado para la sección de carretera, en donde el volumen de tráfico coincide con el máximo volumen de tráfico estimado en la sección.

c) Carga Equivalente de Eje Sencillo de 18 kip Acumulada (C.E.E.S.)

Tabla 6.4.6 Diseño ESAL y 18-kip ESAL Acumulado por Sección

Sección	Tipo de Vehículo	Tráfico de Diseño (A)	Factor ESAL (B)	ESAL de Diseño (A×B)	DSAL Acumulado 18-kip ESAL
Paraguari - Río Tebicuary-mf	Vehf. de Pasajeros	5,288,850	0.0004	2,116	
	Autobús	1,153,400	1.5980	1,843,133	
	Camión	4,387,300	0.9170	4,023,154	
	Total			5,868,403		2,934,202
Río Tebicuary-mf - Villarrica	Vehf. de Pasajeros	3,878,125	0.0004	1,551	
	Autobús	1,084,050	1.5980	1,732,312	
	Camión	3,221,125	0.9170	2,953,772	
	Total			4,687,635		2,343,818
La Colmena - Tebicuary	Vehf. de Pasajeros	1,036,600	0.0004	415	
	Autobús	740,950	1.5980	1,184,038	
	Camión	417,925	0.9170	383,237	
	Total			1,567,690		783,845

Nota : (ESAL Acumulado 18-kip) = (ESAL de Diseño) × D_D × D_L

donde, D_D = Factor de Distribución Direccional = 0.5, D_L = Factor de Distribución por Carriles = 1.0

d) CBR de la Subrasante

Con relación al método de construcción del movimiento de tierras, se considera que la capa de la subrasante, que oscila entre 50 y 100 cm de espesor, será construida con material proveniente de algunos bancos de préstamo.

De acuerdo con el resultado del estudio de las áreas posibles a utilizar como bancos de préstamo ubicadas a lo largo de la carretera objeto del estudio descrita en la Sección 6-4-3 (1), se establecieron los valores CBR de la subrasante. Es decir, el suelo clasificado como A-1, A-3 y A-2-4; en otras palabras, se consideró que el suelo indicado con un símbolo "S" en la Figura 6.4.8 tiene un valor CBR de 6, y otros tipos de suelo de los bancos de préstamo tienen solamente un valor CBR de 4. Examinando tramo por tramo de la carretera, así como el balance entre el volumen de la subrasante requerido y el volumen posible de material de bancos de préstamos ha obtenerse en los alrededores, se estableció el tipo de material de la subrasante y se determinó el valor CBR por tramo de éste, tal y como se muestra a continuación:

Tabla 6.4.7 CBR de Subrasante

Sección	CBR
Paraguari - Rfo Tebicuary-mf	6
Rfo Tebicuary-mf - Villarrica	4
La Colmena - Tebicuary	4

Nota: Entre las rutas alternativas, la condición de arriba se considera la misma.

e) Determinación del espesor de cada capa

Los resultados del cálculo se ilustran esquemáticamente en la Figura 6.4.9.

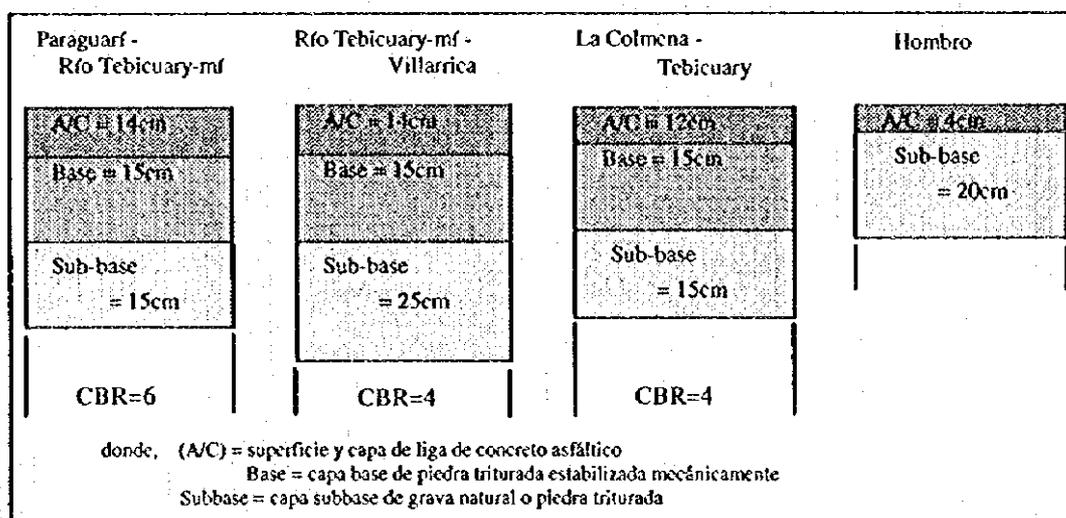


Figura 6.4.9 Resultado del Diseño de Pavimento Flexible

2) Espesor requerido para la capa de recubrimiento

Suponiendo que la capa de recubrimiento del pavimento se realizará 10 años después de la construcción original del pavimento y que el período de diseño de este recubrimiento será de 15 años después del completado el mismo, se calculó el espesor requerido para la capa de recubrimiento. Los resultados se resumen en la Tabla 6.4.8. El proceso de

cálculo detallado se describe en el Anexo C.

Tabla 6.4.8 Espesor Requerido para la Capa de Recubrimiento

Sección de Carretera	Capa de Recubrimiento	
	pulgadas	cm
Paraguarí - Rfo Tebicuary-mf	3.1	8.0
Rfo Tebicuary-mf - Villarrica	4.2	11.0
La Colmena - Tebicuary	3.2	8.0

Nota: 1) Fecha del recubrimiento : 10 años después de su construcción original.

2) Período de diseño de la capa de recubrimiento : 15 años.

3) Diseño del pavimento rígido

El diseño del pavimento rígido (pavimento de concreto) se realizó para un período de 25 años. El cálculo detallado se describe en el Anexo C (3). Los resultados del diseño se muestran en la Tabla 6.4.9.

Tabla 6.4.9 Espesor Requerido para las Capas del Pavimento Rígido

Sección de Carretera	Espesor de la Subbase		Espesor de la Losa de Concreto	
	(pulgadas)	cm	(pulgadas)	cm
Paraguarí - Rfo Tebicuary-mf	(6,0)	16	(11,0)	28
Rfo Tebicuary-mf - Villarrica	(6,0)	16	(11,0)	28
La Colmena - Tebicuary	(6,0)	16	(9,0)	23

4) Comparación del costo de construcción de ambos tipos de pavimento

El costo del pavimento flexible, incluyendo el trabajo de recubrimiento ha efectuarse 10 años después, y el pavimento rígido se comparó utilizando los precios unitarios que se muestran en la Tabla 6.4.4.

Con la finalidad de convertir el costo del recubrimiento del pavimento de concreto asfáltico original en valores actuales, se descontó para nueve (9) años con una tasa de descuento del 8%, tasa que se consideró como muy optimista. El resultado de la comparación que se muestra en la Tabla 6.4.10 indica que el pavimento flexible es considerablemente ventajoso y, por lo tanto, en este Estudio se aplica el uso del pavimento flexible.

Tabla 6.4.10 Comparacion de Costo de Pavimento Rigido y Flexible

Pavimento Rigido	Paraguan - Rio Teb. (38.5km)			Rio Teb. - Villarrica (24.5km)			La Colmena - Teb. (38.1km)			Total (121.1km)			
	Precio Unitario (\$/m ³)	Espesor(cm)	Vol. (m ³)	Espesor(cm)	Vol. (m ³)	1.000\$/m ²	Espesor(cm)	Vol. (m ³)	1.000\$/m ²	Espesor(cm)	Vol. (m ³)	1.000\$/m ²	Total (\$)
Formigon Cemento	135	28	114,660	28	48,020	6,483	23	61,341	8,281	23	61,341	8,281	1,000 \$
Subbase	40.4	16	65,520	16	27,440	1,109	16	42,672	1,724	16	42,672	1,724	30,243
Total (\$/m ²)=R			18,126			7,591			10,005			10,005	5,480
Pavimento Flexible													
Formigon Asfaltico	119.6	14	57,330	14	24,010	2,872	12	32,004	3,828	12	32,004	3,828	13,556
Base	40.4	15	61,425	15	25,725	1,039	15	40,005	1,616	15	40,005	1,616	5,137
Subbase	40.4	15	61,425	25	42,875	1,732	15	40,005	1,616	15	40,005	1,616	5,830
Inprimacion	581	0.15	614	0.15	257	149	0.15	400	232	0.15	400	232	739
Sub-total (\$/m ²)=A			12,177			5,792			7,293			7,293	25,262
Sobrepueta (A/C)=B	119.6	8	32,760	11	18,865	2,256	8	21,336	2,552	8	21,336	2,552	8,726
descontado B=C	8 % x 9 ano		1,960			1,129			1,276			1,276	4,365
Total (\$/m ²)=F=A+C			14,137			6,921			8,569			8,569	29,627
R - F (\$/m ²)			3,990			670			1,436			1,436	6,096

6-4-4 Evaluación de las Rutas Alternativas Seleccionadas y la Ruta Óptima

Las rutas alternativas a lo largo de la carretera seleccionada para el Estudio en la Sección 6-4-2, fueron examinadas y evaluadas en detalle, seleccionándose la ruta más óptima para cada parte. Los resultados se resumen en esta Sección.

(I) Alternativas en pequeña escala en Sapucaí y General Bernardino Caballero

1) Sapucaí (ver Figura 6.4.2)

El caso de Sapucaí tiene varias características específicas si se le compara con otras ciudades. Estas son las siguientes:

- i) El pueblo de Sapucaí, por donde pasa la carretera del Estudio, se extiende sobre un terreno considerablemente alto con más de un 2% de pendiente que desciende de norte a sur.
- ii) La entrada al pueblo de la carretera existente entre Paraguarí y Villarrica está ubicada en el extremo noroeste del mismo, la cual está construida en un patrón cuadrículado (forma de rejilla), y la salida se ubica en el lado opuesto de la derecha del pueblo. Por consiguiente, la carretera cuenta con seis esquinas en ángulo recto dentro del pueblo.

Como se describió en la Sección 6-4-2, se consideró razonable que la carretera del Estudio contara con un desvío alrededor del pueblo de Sapucaí, considerando el tamaño del pueblo y el pronóstico del volumen de tráfico de la carretera. Al mismo tiempo, en lo que concierne a la ruta del desvío y tomando en cuenta los puntos de vista geográfico e ingenieril, no hubo otra idea opcional más que hacer que dicha ruta pase a lo largo del extremo norte del pueblo. Tomando en cuenta estas consideraciones, se establecieron dos rutas alternativas de desvío en la Sección 6-4-2 (ver Figura 6.4.2).

La Alternativa 1 es una ruta ubicada en el norte y pasa a través de un área reservada para una calle futura en el norte del pueblo, que coincide casi totalmente con la longitud de la sección de desvío. La Alternativa 2 está ubicada a lo largo de la segunda calle del extremo norte, es decir, la calle próxima a la Alternativa 1. Los resultados de la comparación se muestran en la Tabla 6.4.11.

Finalmente, la Alternativa 2 fue seleccionada como la ruta óptima para el desvío. La razón principal recayó en la comparación de los obstáculos, es decir, el tanque de agua y el pozo que obstruyen la ruta de la Alternativa 1. Estas instalaciones no solamente constituyen instalaciones muy importantes, sino que también sería bastante difícil o caro reubicarlas.

Tabla 6.4.11 Resultados de la Evaluación del Desvío en Sapucaí

Renglón	Alternativa 1		Alternativa 2	
Costo de construcción	No hay diferencia	--	No hay diferencia	--
Construcción desde el punto de vista geográfico	Existe un poco de dificultad	x	Normal	o
Ancho del derecho de vía	.....	o	Está limitado por el ancho de la calle	x
Obstáculos en la ruta	1) Torre de tanque de agua 2) Pozo de agua	X	.....	○
Adquisición de tierra	No hay diferencia-	--	No hay diferencia	--
Sugerencia de la Municipalidad	No existen problemas en ambos casos de rutas alternativas. La Municipalidad podría encargarse de cualquier adquisición de tierra preparando tierras de sustitución.			

2) General Fernandino Caballero

La siguiente tabla muestra los renglones comparados y los resultados entre las dos alternativas que se consideraron para atravesar el pueblo General Fernandino Caballero. Como resultado final, se sumaron muchos más puntos a favor de la Alternativa 2. Luego se recomendó como la ruta óptima, aunque no se podría denominar como "el desvío del pueblo".

Tabla 6.4.12 Resultados de la Evaluación del Desvío en Gral. Fernandino Caballero

Renglón	Alternativa 1		Alternativa 2	
Costo de construcción	Un poco alto	x	Un poco bajo (se necesita un puente pequeño adicional)	o
Construcción desde el punto de vista geográfico	No hay diferencia	--	No hay diferencia	--
Ancho del derecho de vía	.....	o	Está limitado parcialmente por el ancho de la calle	x
Obstáculos en la ruta	Existe un sitio de investigación arqueológica	X	Ninguno	○
Adquisición de tierra	No hay problema alguno	--	No hay problema. La sección que utilizará la carretera existente cuenta con una reserva de 20 m de ancho.	--
Relación con la estructura del pueblo	.....	o	El pueblo está dividido en dos por la vía férrea y la calle ancha, por lo que se considera que no habrá influencias por la separación de la comunidad. Se han acumulado algunas facilidades de servicio vial a lo largo de la carretera.	o
Sugerencia de la Municipalidad	Se prefiere la Alternativa 2 sobre la Alternativa 1, aun cuando no existe razón especial para oponerse a la Alternativa 1. Todas las personas que viven en el pueblo esperan una finalización temprana de esta carretera.			

3) Sección entre Sapucaí y General Fernandino Caballero

Aunque no se han seleccionado las rutas alternativas para este tramo de la carretera, en esta sección se da una pequeña explicación del alineamiento de la carretera en este tramo. Para este tramo, con una longitud aproximada de 6 km, se propuso una ruta diferente a la de la carretera existente. La carretera existente en este tramo pasa a través de una tierra

considerablemente baja localizada a lo largo de un valle, siendo uno de los tramos más problemáticos para los trabajos de mantenimiento vial en la longitud total de la carretera. Bajo esta condición, cuando la carretera del Estudio sea construida a lo largo de la carretera existente en este tramo, no sólo los costos de construcción serán aparentemente más altos sino que también habrá un problema en el alineamiento vertical de la carretera debido a la gran diferencia de altura entre el nivel del lado este del pueblo de Sapucaí y el nivel del punto de unión con la carretera existente.

La mitad del lado este del nuevo alineamiento propuesto coincide con el camino rural existente, con una reserva de tierra de 15 m de ancho con el fin de reducir el área que se adquirirá para la construcción de la carretera del Estudio. Sin embargo, debido a que actualmente existen muchas viviendas a lo largo de este camino rural y a que el lado sur del área del camino se utiliza principalmente para pastura, será probable que en la etapa del diseño detallado se haga una pequeña modificación para desviar la ruta de la carretera hacia el sur en esta área limitada, dejando este camino rural intacto.

(2) Alineamiento de la Ruta Alternativa en Gran Escala

Las rutas alternativas seleccionadas en la Sección 6-4-2 para cuatro secciones, las cuales tienen longitudes bastante grandes, fueron examinadas y comparadas entre sí desde varios puntos de vista con el fin de determinar la ruta más adecuada entre ellas. Durante esta evaluación y estudio, se tomaron muy en cuenta o se hizo referencia cuidadosa de todos los resultados del pronóstico de la demanda de tráfico del Capítulo 5, el potencial de desarrollo regional estudiado en el Capítulo 3 y la investigación ambiental en los sitios, así como los estudios preparativos descritos en la Sección 6-4-3.

Los resultados de este estudio se resumen en las Tablas 6.4.13 que se muestran en las siguientes páginas. Como conclusión de este estudio alternativo, la siguiente ruta fue seleccionada como la ruta óptima para cada tramo o sección:

① Entre Ybytymí y Punto Unido (ver Figura 6.4.3)

Alternativa 1: ruta de atajo paralela a la vía férrea (10,3 km)

② El cruce del Rfo Tebicuary-mí (ver Figura 6.4.4)

Alternativa 1 : ruta del norte (7,0 km)

③ Entre Félix Pérez Cardozo y Villarrica (ver Figura 6.4.5)

Alternativa 1 : ruta del norte a lo largo de la vía férrea

④ Sección del ramal a la Colmena (ver Figura 6.4.6)

Alternativa 1 : ruta del oeste, que casi coincide con la carretera existente, subiendo hacia el norte a lo largo de la cuenca del Rfo Tebicuary-mí.

Tabla 6.4.13 Hoja de Comparación de la Ruta Alternativa (1)

Ítems a comparar	Alternativa - 1		Alternativa - 2		Comparación	
	(Atajo)		(Ruta a lo largo de la carretera existente)			
1. Política de planificación	Atajo paralelo a la vía férrea		Uso máximo de la carretera existente		1	
2. Longitud total	10.3 km		18.7 km		2	
3. Pronóstico del volumen de tráfico (2015)	2.055 vehículos/día		2.076 vehículos/día			
4. Principales ítems de trabajo y volumen	1) Carretera		2) Puente (longitud total)			
	Movimiento de tierras	139.400 m ³	CR	140.800 m ³	CR	
	Pavimento	72.100 m ²	CP en Tebicuary	188.490 m ²	CP	
5. Costo total de construcción	1.00		1.55		++	
6. Costo de construcción (costo/km)	1.00		0.86		+	
7. Adquisición de tierra	longitud (m)	ancho (m)	área (ha)	longitud	ancho (m)	área (ha)
	0	40	0.0	16.200	20	32.4
	10.300	40	41.2	2.500	40	10.0
Total	10.300		41.2	18.700		42.4
8. Diseño geométrico	(R>300,0 m) x 6 curvas i = 0,80%		(R>300,0 m) x 21 curvas i = 4,45% (280,0 m de longitud)		+	
9. Rendimiento de la funcionalidad	Muy plana Se ahorran seis minutos de viaje comparado con la Alternativa 2 No se requiere un atajo para el tráfico actual		Pendientes pronunciadas Mayor tiempo de viaje que la Alternativa 1		+	
10. Dificultades para la construcción	Es necesario tomar medidas especiales para el área de tierras bajas Está separada de las carreteras existentes		Es necesario construir un puente temporal y un desvío para el tráfico actual		++	
11. Conexión con la red vial de los alrededores	No beneficia el área Héctor L. Vera		Mantener el área de servicio actual		+	
12. Impactos en el medio ambiente socioeconómico	Impacto negativo al área Héctor L. Vera Posibilidad del desarrollo agrícola en el área nueva ubicada al lado de la carretera		Promover el desarrollo rural en el área Héctor L. Vera		+	
13. Impactos en el medio ambiente natural	Impactos debidos al terraplén en las áreas bajas		Deforestación, pero en pequeña escala		-	
14. Opinión general de comunidades locales	Objeción (de los habitantes de Héctor L. Vera)		Preferida (por los habitantes de Héctor L. Vera)		+	
Evaluación completa	O		X			

Tabla 6.4.13 Hoja de Comparación de la Ruta Alternativa (2)

Items a comparar	Alternativa - 1 (Ruta del norte)	Alternativa - 2 (Ruta del sur)	Comparación
1. Política de planificación	Punto con un banco del río estable y flujo de agua uniforme aguas arriba	Punto con un banco del río estable y flujo de agua uniforme aguas abajo	1 2
2. Longitud total	7.0 km	8.8 km	
3. Pronóstico del volumen de tráfico (2015)	2.320 vehículos/día	2.320 vehículos/día	
4. Principales items de trabajo y volumen	1) Carretera Movimiento de tierras 218.800 m ³ CR Pavimento 49.000 m ² CP Tebicuary 1.00	2) Puente (longitud total) 0.0 m Movimiento de tierras 273.300 m ³ CR Pavimento 61.600 m ² CP Tebicuary 1.21	0.0 m 220.0 m 85.0 m
5. Costo total de construcción	1.00	1.21	++
6. Costo de construcción (costo/km)	1.00	0.97	+
7. Adquisición de tierra	longitud (m) ancho (m) área (ha)	longitud (m) ancho (m) área (ha)	
Expansión lateral	0	0	
Nueva adquisición	7.000 40 28.0	8.800 40 35.2	
Total	28.0	35.2	+
8. Diseño geométrico	(R>400,0 m) x 5 curvas i = 4,367% (300,0 m de longitud)	(R>500,0 m) x 5 curvas i = 3,475%	
1) Curva horizontal			
2) Pendiente vertical máxima			
9. Rendimiento de la funcionalidad	Pendiente pronunciada, pero alineación horizontal uniforme Menor tiempo de viaje comparado con la Alternativa 2	Pendiente menos pronunciada Mayor tiempo de viaje que la Alternativa 1	+
10. Dificultades para la construcción	Acceso al punto del puente (banco derecho = 0.9 km, izquierdo = 0.6 km) Longitud de construcción en el área baja: 2,75 km Es necesario talar los densos bosques en la tierra baja (lado derecho)	Acceso más largo al punto del puente (banco derecho = 1,7 km, izquierdo = 1,5 km) Longitud mayor en el área baja: 3,15 km	+ -
11. Conexión con la red vial de los alrededores	Mejor conexión con la carretera troncal a San José Peor conexión con el ramal a La Colmena	Lejos de la carretera existente Mejor conexión con el ramal a La Colmena	
12. Impactos en el medio ambiente socioeconómico	Impacto negativo a los comercios existentes (mejor que la Alternativa 2)	Impacto negativo a los comercios existentes	-
13. Impactos en el medio ambiente natural	Necesidad de talar los bosques de galería a lo largo del río Impactos debidos al terraplén en el área baja	Necesidad de talar los bosques de galería a lo largo del río Riesgo de inundación del pueblo existente debido a la construcción del puente Impactos debidos al terraplén en el área baja	+ +
14. Opinión general de comunidades locales	Sin objeción	Sin objeción	+
Evaluación completa	O	X	

Tabla 6.4.13 Hoja de Comparación de la Ruta Alternativa (3)

Ítems a comparar	Ruta: Cardozo - Villarrica		Comparación
	Alternativa - 1 (Ruta del norte a lo largo de la vía férrea) Promoción del desarrollo agrícola a lo largo del área de la vía férrea 8,6 km	Alternativa - 2 (Ruta del sur que cruza la tierra montañosa) Mejor servicio para la tierra montañosa ya desarrollada. 7,9 km	
1. Política de planificación			1 2
2. Longitud total	2.673 vehículos/día	2.673 vehículos/día	
3. Pronóstico del volumen de tráfico (2015)			
4. Principales ítems de trabajo y volumen	1) Carretera 2) Puente (longitud total)	1) Carretera 2) Puente (longitud total)	
	Movimiento de tierras 127.800 m ³ CR	Movimiento de tierras 119.000 m ³ CR	0,0 m
	Pavimento 60.200 m ² CP	Pavimento 55.300 m ² CP	0,0 m
	Tebicuary 1,00	Tebicuary 0,93	
5. Costo total de construcción	1,00	1,01	
6. Costo de construcción (costo/km)			
7. Adquisición de tierra	longitud (m) ancho (m) área (ha)	longitud (m) ancho (m) área (ha)	
Expansión lateral	8,600 10 8,6	0 40 31,6	0,0
Nueva adquisición	0 0,0	7,900 31,6	++
Total	8,6	31,6	
8. Diseño geométrico	(R>300,0 m) x 9 curvas i = 1,599%	(R>700,0 m) x 3 curvas i = 4,412% (915,0 m de longitud)	+
1) Curva horizontal			
2) Pendiente vertical máxima			
9. Rendimiento de la funcionalidad	Alineación vertical plana y alineación horizontal uniforme	Alineación horizontal uniforme, pero pendientes pronunciadas Varias cuestas, bajadas y cruces	+
10. Dificultades para la construcción	Necesidad de un desvío, pero para muy poco tráfico	No es necesario una ruta de desvío, pero existen muchas casas en los alrededores	+
11. Conexión con la red vial de los alrededores	Lejos de la carretera existente	Facilidad para conseguir materiales de relleno en las cercanías Mejor conexión con la carretera existente a Itape	+
12. Impactos en el medio ambiente socioeconómico		Pérdida de tierras cultivadas y reubicación de asentamientos	-
13. Impactos en el medio ambiente natural		Separación de comunidades, pero nuevo servicio a la comunidad Impactos por el trabajo de corte de tierra Disminución de bosques y tierra cultivada	++
14. Opinión general de comunidades locales	Preferencia para promover el desarrollo rural a lo largo del área de la vía férrea	Dificultad en la adquisición de tierra	++
Evaluación completa	○	X	

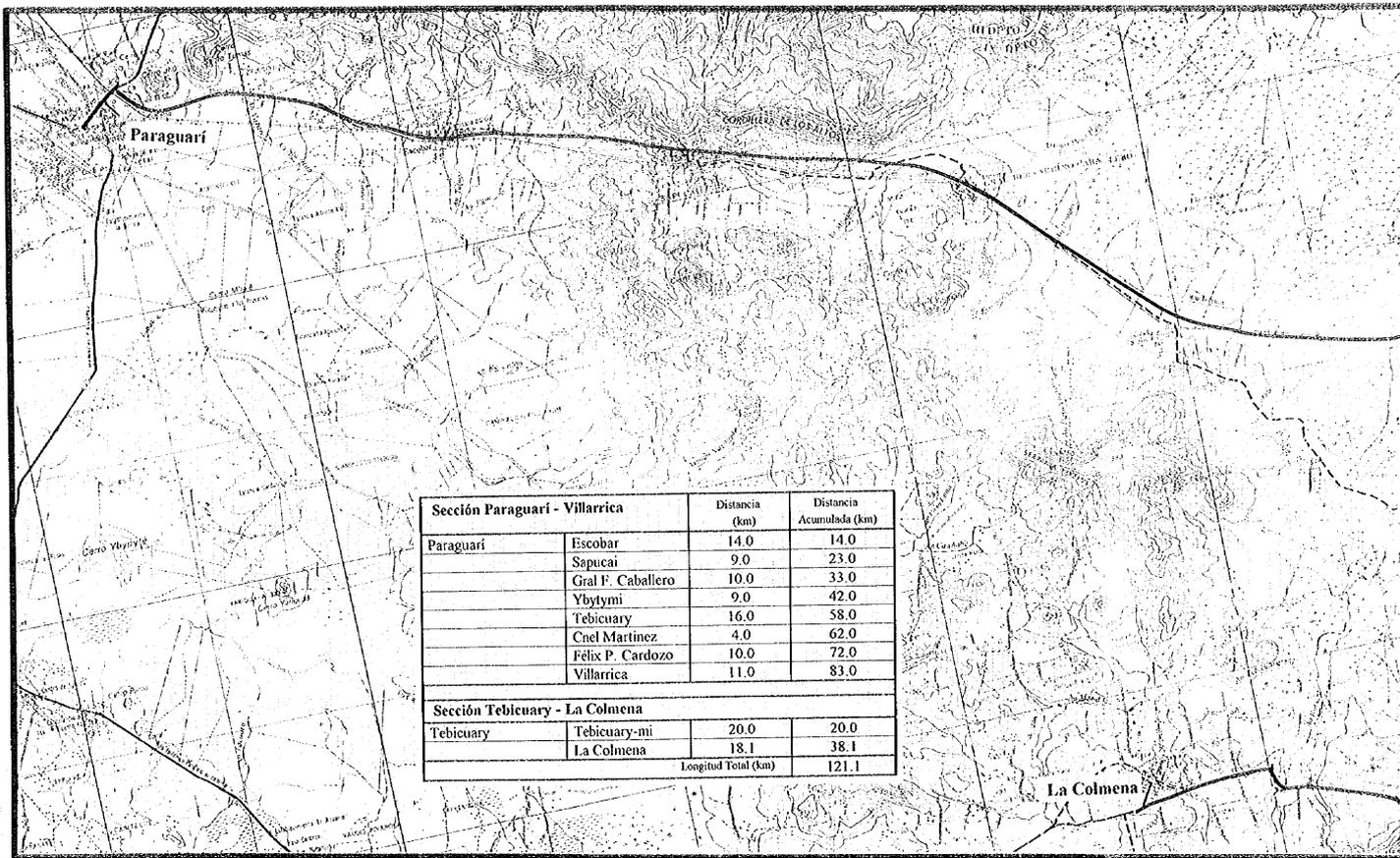
Tabla 6.4.13 Hoja de Comparación de la Ruta Alternativa (4)

Ítems a comparar	Ruta: Sección del Ramal a La Colmena												Comparación		
	Alternativa - 1 (Ruta del este a lo largo de la cuenca del Río Tebicuary M)				Alternativa - 2 (Ruta central que pasa por H. Vera)				Alternativa - 3 (Ruta procedente del norte, directamente de La Colmena)				1	2	3
1. Política de planificación	Promoción de gran parte del área de producción de caña de azúcar				Ruta más corta a Tebicuary, promoviendo los pequeños agricultores				Ruta más corta a la carretera Paraguari - Villarica						
2. Longitud total	38,1 km				27,0 km				26,3 km						
3. Pronóstico del volumen de tráfico (2015)	711 vehículos/día				343 vehículos/día				343 vehículos/día						
4. Principales ítems de trabajo y volumen	1) Carretera		2) Puente (longitud total)		1) Carretera		2) Puente (longitud total)		1) Carretera		2) Puente (longitud total)				
	Movimiento de tierras	450.500 m ³ /CR		18,5 m	Movimiento de tierras	211.800 m ³ /CR		0 m	Movimiento de tierras	144.000 m ³ /CR		0,0 m			
	Pavimento	266.700 m ² /CP		115,0 m	Pavimento	189.000 m ² /CP		41,0 m	Pavimento	184.100 m ² /CP		15,0 m			
5. Costo total de construcción	1,00				0,65				0,54						
6. Costo de construcción (costo/km)	1,00				0,91				0,79						
7. Adquisición de tierra	longitud (m)	ancho (m)	área (ha)		longitud (m)	ancho (m)	área (ha)		longitud (m)	ancho (m)	área (ha)				
	Expansión lateral	36.600	20	73,2		25.500	25	63,8		26.300	30	78,9			
	Nueva adquisición	1.500	40	6,0		1.500	40	6,0		0		0,0			
	Total	38.100		79,2		27.000		69,8		26.300		78,9			
8. Diseño geométrico	1) Curva horizontal 2) Pendiente vertical máxima				1) Curva horizontal 2) Pendiente vertical máxima				1) Curva horizontal 2) Pendiente vertical máxima						
9. Rendimiento de la funcionalidad	(R>150,0 m) x 35 curvas = (0,9 curvas/km) i = 4,200% (600,0 m de longitud)				(R>250,0 m) x 22 curvas = (0,8 curvas/km) i = 4,482% (560,0 m de longitud)				(R>250,0 m) x 30 curvas = (1,1 curvas/km) i = 4,435% (250,0 m de longitud)						
10. Dificultades para la construcción	La mayor parte de la alineación vertical es plana dentro de las tres alternativas Existen secciones con velocidad límite Preparación fácil de la ruta de desvío en el amplio derecho de vía existente Sección más larga en el área más baja				Funcionalidad moderada dentro de las tres alternativas Pasa a través del área urbana de H. Vera Preparación difícil de la ruta de desvío en el estrecho derecho de vía				Funcionalidad más baja debido a cuestas, bajadas y muchas curvas Preparación fácil de la ruta de desvío en casi toda el área de pastura						
11. Conexión con la red vial de los alrededores	Mejor conexión con la carretera existente Contribuye a la construcción de una red vial futura más amplia (hacia Iturbe)				Mejor conexión con carreteras locales de comunidades Será una carretera local aun en el futuro				Lejos de las carreteras y comunidades existentes Podría ser parte de una conexión directa con la Ruta No. 2						
12. Impactos en el medio ambiente socioeconómico	Más beneficiosa (ver volumen de tráfico) Promueve y apoya directamente a las industrias azucareras				Pérdida de tierras agrícolas Promueve las industrias azucareras				Menos beneficiosa, rodeada de pastos de gran escala Menor potencial para un desarrollo futuro						
13. Impactos en el medio ambiente natural	Disminuye el bosque de galería, pero en pequeña escala Impactos mínimos dentro de las tres alternativas				Disminución del bosque de galería y del bosque ubicado al lado de la carretera				Aumento de las oportunidades de deforestación						
14. Opinión general de comunidades locales	Preferible Se entiende que ésta es la mejor en La Colmena				Preferida en Vera										
Evaluación completa	O				X				XX						

En base a los resultados del estudio alternativo, las rutas seleccionadas se muestran en la Figura 6.4.10, y el cálculo de la longitud de las mismas por tramo o sección se muestra a continuación:

Tabla 6.4.14 Longitud de la Carretera a lo largo de la Ruta Óptima

Sección		Longitud (km)	Distancia Acumulada (km)
Sección Paraguari - Villarrica			
Paraguari	Escobar	14,0	14,0
	Sapucai	9,0	23,0
	Gral. F. Caballero	10,0	33,0
	Ybytymf	9,0	42,0
	Tebicuary	16,0	58,0
	Cnel. Martínez	4,0	62,0
	Félix P. Cardozo	10,0	72,0
	Villarrica	11,0	83,0
Sección Tebicuary - La Colmena			
Tebicuary	Tebicuary-mf	20,0	20,0
	La Colmena	18,1	38,1
Longitud Total (km)			121,1



Sección Paraguari - Villarrica		Distancia (km)	Distancia Acumulada (km)
Paraguari	Escobar	14.0	14.0
	Sapucaí	9.0	23.0
	Gral F. Caballero	10.0	33.0
	Ybytymi	9.0	42.0
	Tebicuary	16.0	58.0
	Cnel Martínez	4.0	62.0
	Félix P. Cardozo	10.0	72.0
	Villarrica	11.0	83.0
Sección Tebicuary - La Colmena			
Tebicuary	Tebicuary-mi	20.0	20.0
	La Colmena	18.1	38.1
		Longitud Total (km)	121.1

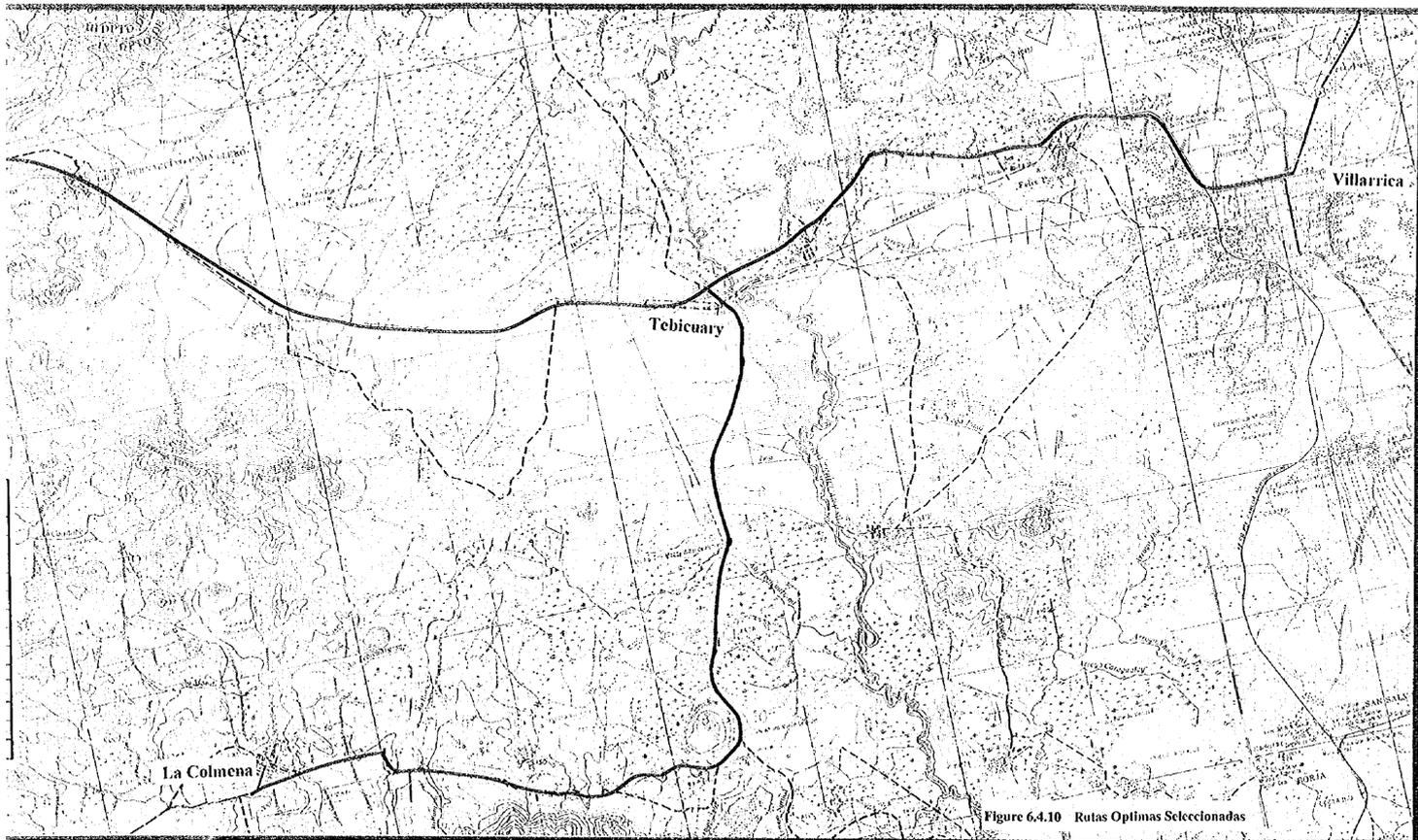


Figure 6.4.10 Rutas Optimas Seleccionadas

