

3. INVESTIGACION GEOLOGICA

3. INVESTIGACION GEOLOGICA

3.1 Generalidades

En Fig. 3.1-1 se muestra un mapa geomorfológico de Bolivia. Y un mapa geológico del norte de Bolivia se muestra en Fig. 3.1-2. El norte de Bolivia está dividido en seis zonas geológicas, que se extienden en cinturones de noroeste a sudeste. Estas zonas se denominan :

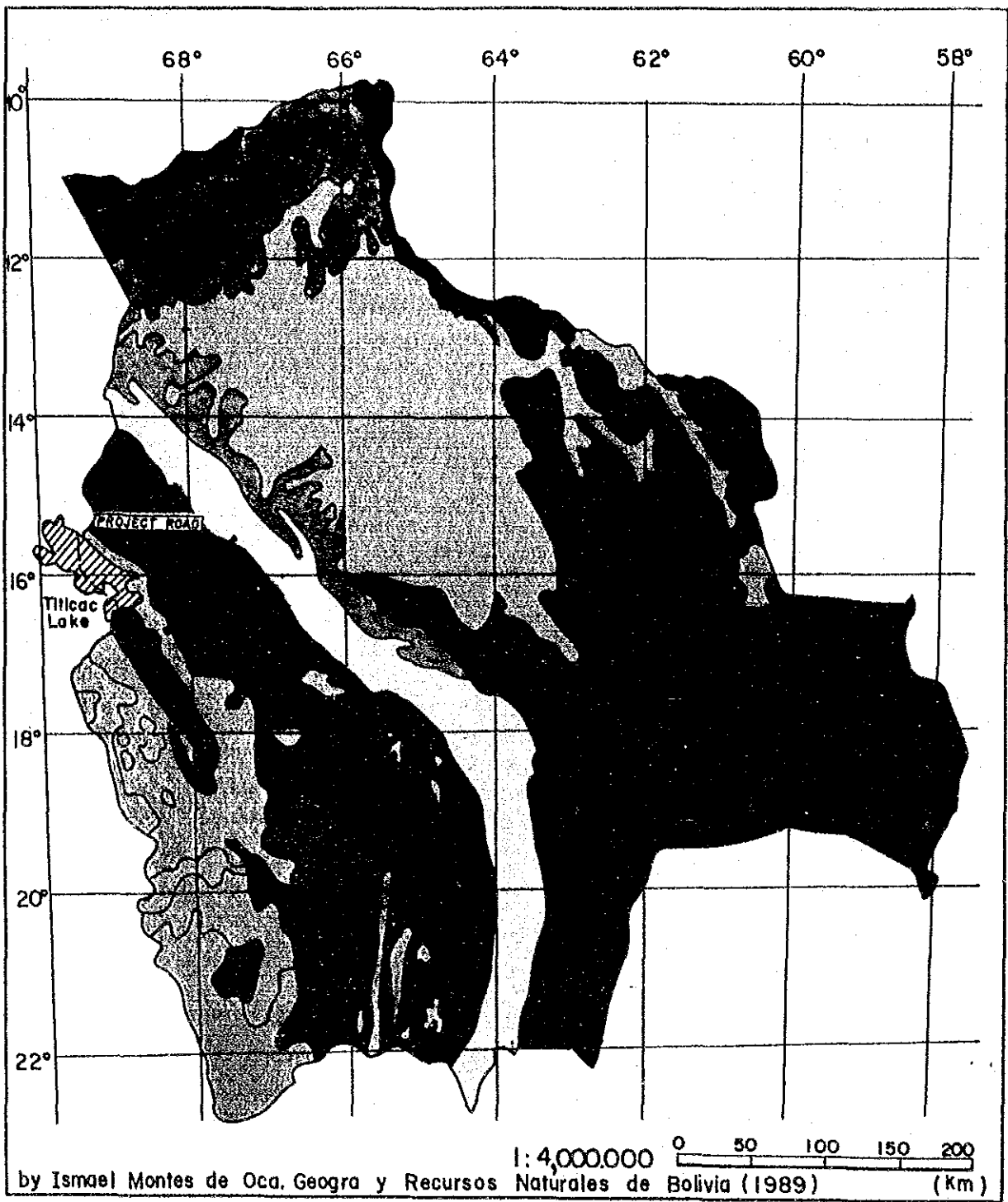
- a) Andes Occidentales
- b) Planicie de Puna (Altiplano)
- c) Andes Orientales
- d) Zona Sub-Andina
- e) Llanuras amazónicas
- f) Escudo Brasileiro

Los Andes Occidentales están básicamente formados por roca sedimentaria paleozoica, con el talud nor-este cubierto con roca volcánica terciaria y cuaternaria. Estas rocas volcánicas consisten en andesita, dacita, toba volcánica e ignimbrita. Las extensiones de los Andes Occidentales, hacia norte y sur, cuentan con muchos volcanes activos. En el área del proyecto no se presentan volcanes activos. Los Andes Occidentales llegaron a su elevación a través del proceso de formación de montañas durante las Eras Paleozoica y Mesozoica.

Siguiendo la orografía, estas montañas parecen haber sido sometidas a erosión sub-aerea continua. Después de entrar en el Periodo Terciario, un rápido levantamiento de estas montañas tuvo lugar debido a actividad volcánica. Esta actividad continua hasta el presente.

La planicie de Puna está conformada por roca sedimentaria terciaria. La superficie sedimentaria permanece como mónada de roca erosionada en varios lugares hasta el presente. La superficie erosionada y baja erosional fue llenada por lagos, depósitos glaciares y materiales volcánicos al final del Periodo Terciario e inicio de Periodo Cuaternario. Como resultado, se formaron las superficies amplias y planas del Altiplano.

Los Andes Orientales están conformadas principalmente por areniscas, pizarras, lutitas y limolitas del periodo ordovícico. Entre éstas, la pizarra tiene la más amplia distribución. Las areniscas y calizas del Cretácico yacen estrechamente a lo largo de un plano de falla creado en



by Ismael Montes de Oca, Geogra y Recursos Naturales de Bolivia (1989) 1:4,000,000 (km)

- | | | | |
|--|------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Montañas de Cord Occidental | Montañas de Cord Oriental | Planicie de fondo de valle | Zona Sub Andina |
| Piedmont | Glacial Piedmont | Meseta glacial | Altiplano (con salares) |
| Serranias y Montañas bajas | Escudo Brasileiro | Planicie de Chaco | Montañas Chiquitanas |
| Planicie de inundación de los rios de Beni | Llanos y terrazas disectadas | Planicie aluvial (seca) | Planicie aluvial (húmeda) |

Fig. 3.1-1 Mapa Geomorfológico de Bolivia

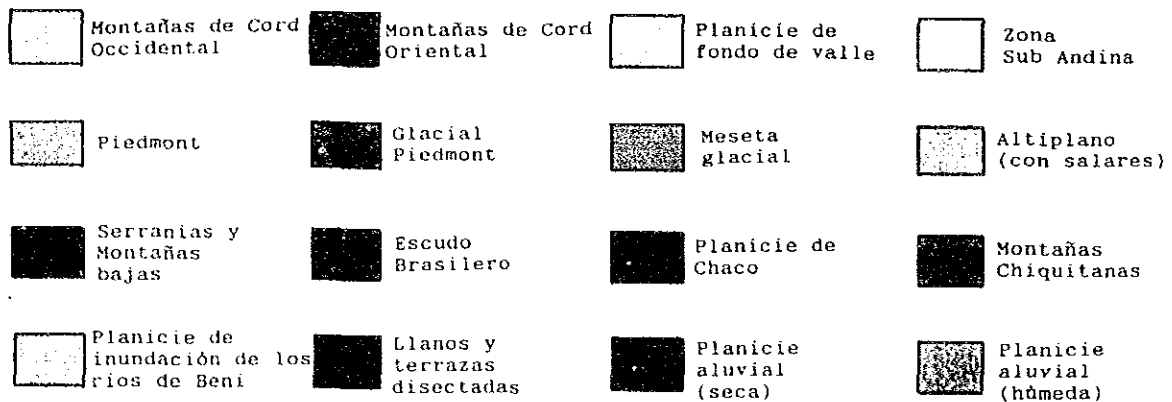
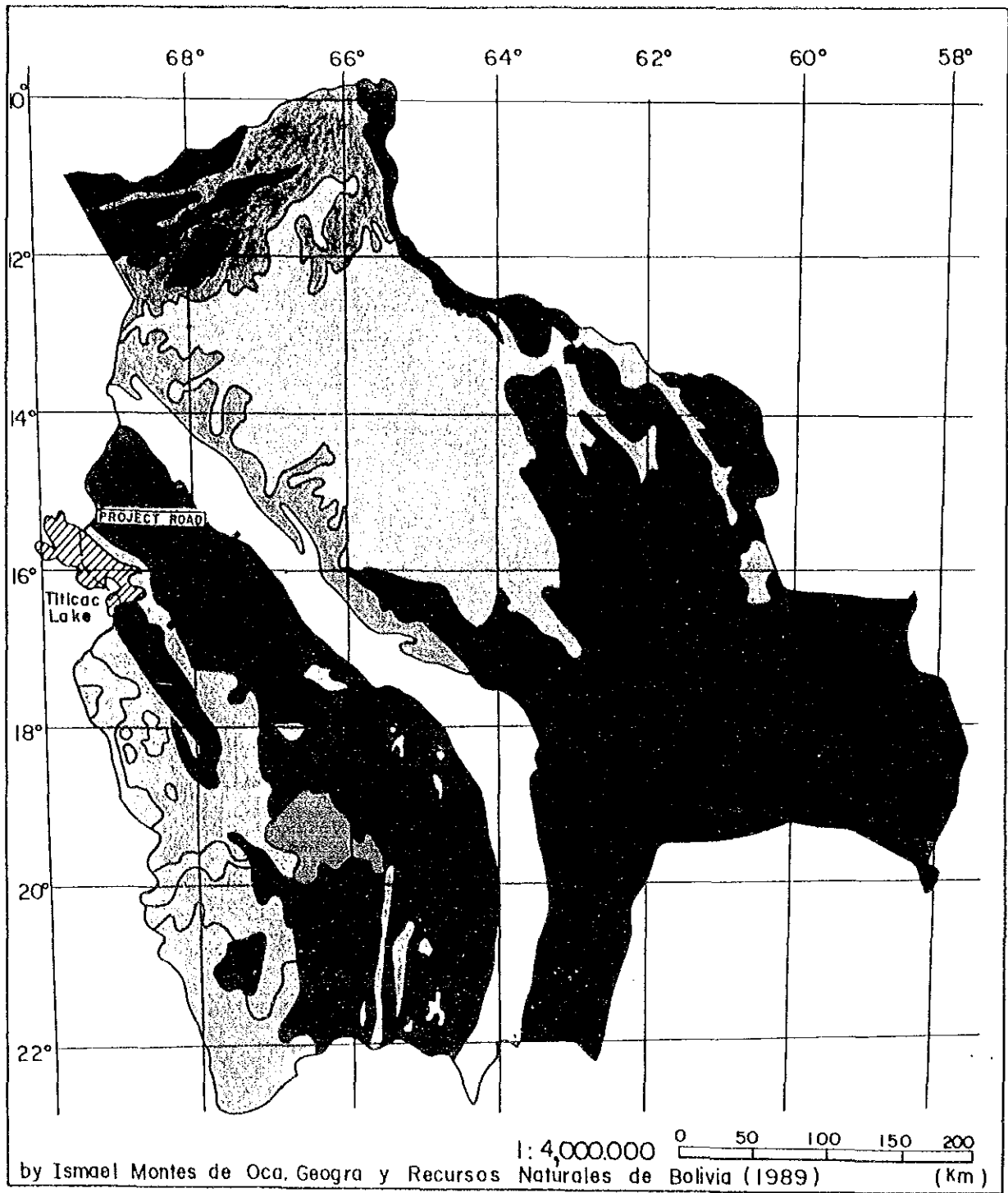


Fig. 3.1-1 Mapa Geomorfológico de Bolivia

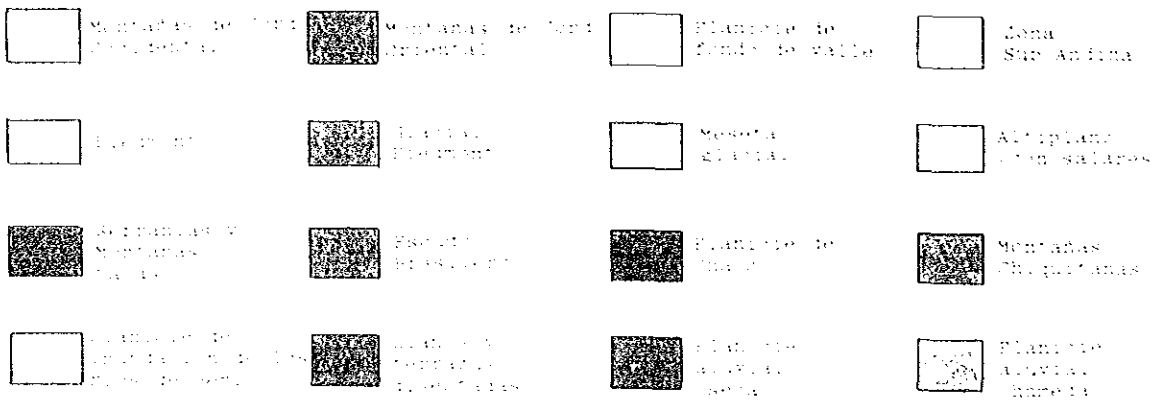
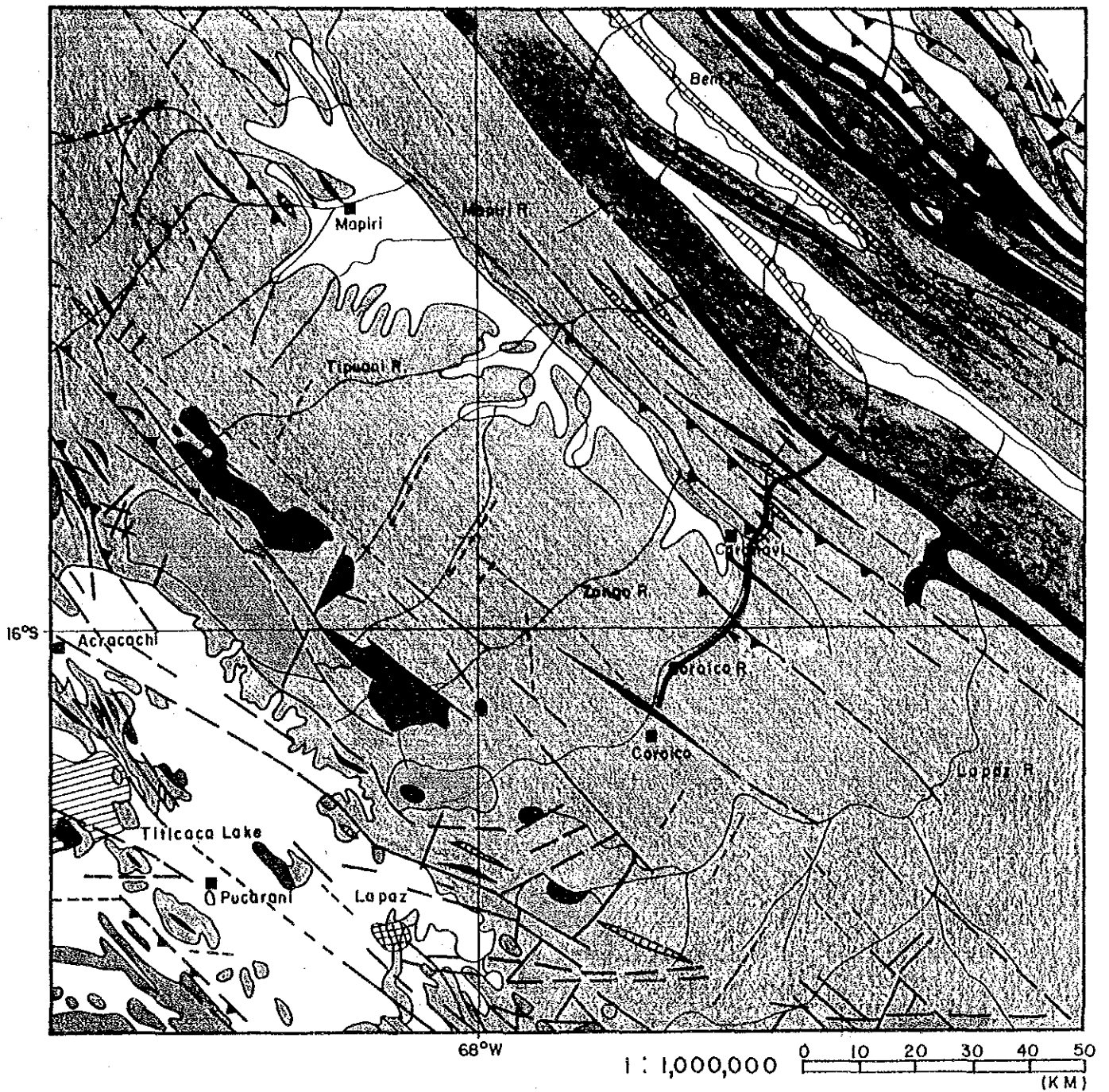


















Fig. 3.1.1 Mapa Geomorfológico de Bolivia



LEGEND

















	Quaternary, Unconsolidated Deposit		Upper Paleozoic		Reverse Fault
	Tertiary, Upper Pliocene (Ignimbrite)		Lower Paleozoic		Normal Fault
	Tertiary, Lower Pliocene	IGNEOUS ROCK			Inferred Fault
	Tertiary, Miocene		Pliocene Two Mica Miocene, Granite		Photo Lineament
	Tertiary, Oligocene		Miocene, Granodiorite		Anticlinal Structure
	Eocene - Cretaceous				Synclinal Structure

By C. Martinez, P. Tomasi, "Carte Structurale Des Andes Septentrionales De Bolivie, ORSTOM, Servicio Geológico de Bolivia (Paris 1978)

Fig. 3.1-2 Mapa Geológico del Norte de Bolivia

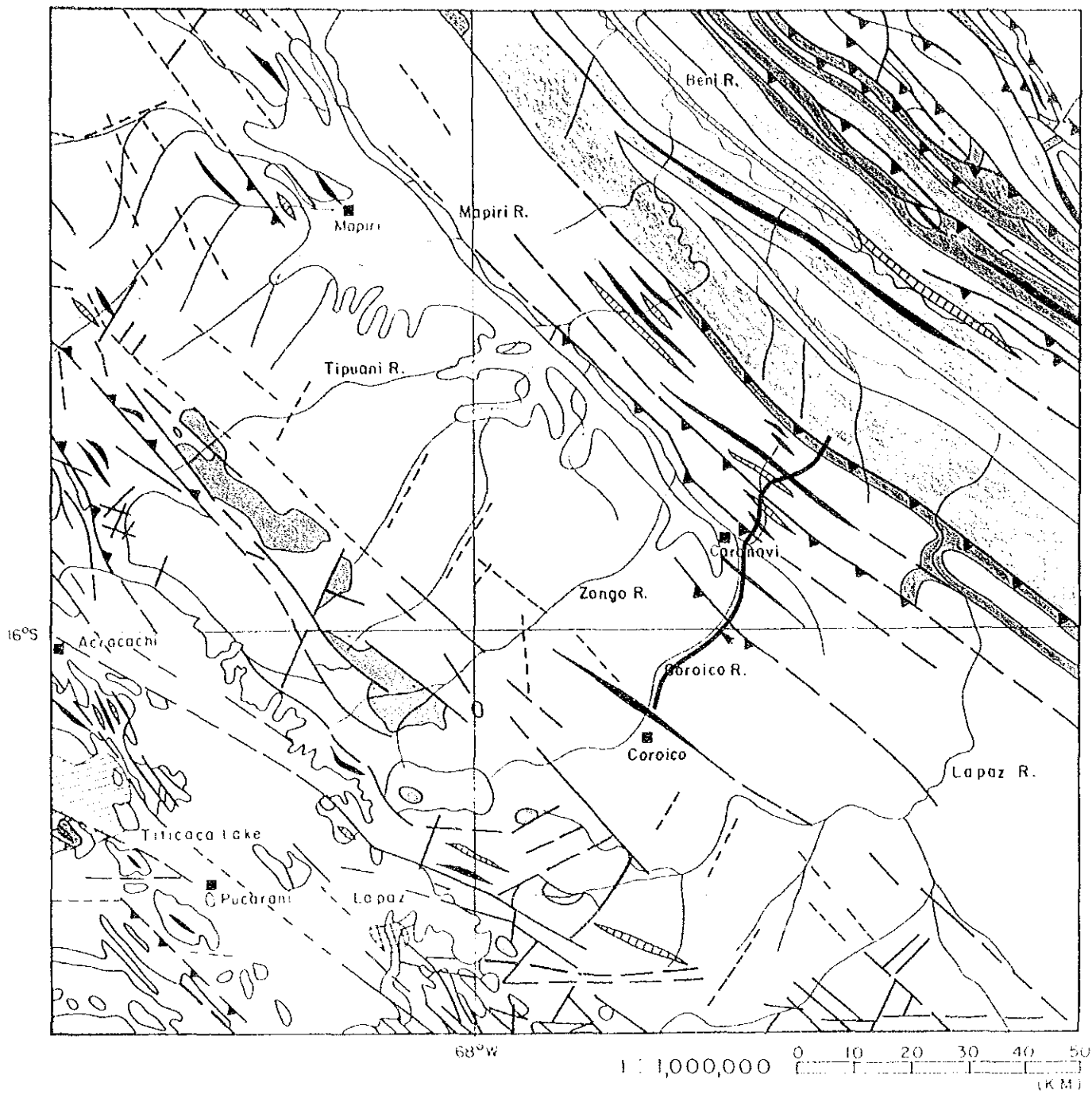


LEGEND

	Quaternary, Unconsolidated Deposit		Upper Paleozoic		Reverse Fault
	Tertiary, Upper Pliocene (Ignimbrite)		Lower Paleozoic		Normal Fault
	Tertiary, Lower Pliocene	IGNEOUS ROCK			Inferred Fault
	Tertiary, Miocene		Pliocene Two Mica Miocene, Granite		Photo Lineament
	Tertiary, Oligocene		Miocene, Granodiorite		Anticlinal Structure
	Eocene — Cretaceous				Sinclinal Structure

By C. Martinez, P. Tomasi, "Carte Structurale Des Andes Septentrionales De Bolivie, ORSTOM. Servicio Geológico de Bolivia (Paris 1978)

Fig. 3.1-2 Mapa Geológico del Norte de Bolivia



LEGEND

Quaternary, Unconsolidated Deposit	Upper Paleozoic	Reverse Fault
Tertiary, Upper Pliocene (Ignimbrite)	Lower Paleozoic	Normal Fault
Tertiary, Lower Pliocene	IGNEOUS ROCK	
Tertiary, Miocene	Pliocene - Two Mica Miocene, Granite	Inferred Fault
Tertiary, Oligocene	Miocene, Granodiorite	Photo Lineament
Eocene - Cretaceous		Anticlinal Structure
		Sinclinal Structure

By C. Martinez, P. Tognoli, "Carte Structurale Des Andes Septentrionales De Bolivie," ORSTOM - Servicio Geológico de Bolivia (Paris 1978)

Fig. 3.1-2 Mapa Geológico del Norte de Bolivia

conjunto sobre estrato Ordovícico.

En el sud-oeste de los Andes Orientales, la roca sedimentaria ordovícica contiene intrusiones de granito del Período Mioceno. Los Andes Orientales pasaron por movimientos tectónicos mayores, en comparación con los Andes Occidentales.

Como resultado, las montañas han quedado divididas en numerosos bloques de fallas, formando una topografía compleja.

La dirección de la falla, y los ejes de plegamientos están generalmente de acuerdo con la dirección de provincias geológicas. Sin embargo, algunas fallas cruzan estos límites.

La Zona Sub-Andina es un agrupamiento de montañas con una altitud de entre 400 a 2,000 metros sobre el nivel del mar. Esta zona consiste en conglomerado terciario, arenisca, limolita y capas alternadas de éstos. Las capas sedimentarias hacen contacto con estrato cretácico, formando una línea de falla, acompañada con un conglomerado basal. La Zona Sub-Andina fue sometida a fuerte movimiento tectónico y está cruzada por fallas entrelazadas en la misma forma que los Andes Orientales. Las rocas en esta zona muestran litofáz de lava, que fue levantada al final del Período Terciario.

En el extremo nor-oriental de la Zona Sub-Andina, una amplia llanura se abre a una elevación inferior a 400 msnm. Esta llanura es el área de inundación de ríos de Beni, y forma parte de la cuenca del Río Amazonas.

En el sector nor-este del área de inundación del Beni, se extiende ampliamente el Escudo Brasileiro. Este escudo consiste en la corteza más antigua en el Continente de Sud América, con el Escudo de Guayana en el extremo norte del Río Amazonas. La edad absoluta de estas rocas se estima entre 2,000 y 3,000 Ma. Estas rocas son de formaciones sedimentarias, ígneas y metamórficas de la Era Precámbrica.

1) Movimiento orogénico de Andes

La Cordillera de Los Andes está formada principalmente por rocas sedimentarias de Paleozoico y Mesozoico, habiendo llegado a su elevación a través del proceso de formación de montañas de los Períodos Cretácico y Terciario. Durante el

Periodo Cretácico se formó un geocinclinal en el lado Este de los Andes Occidentales, que ya había sido sometido a levantamiento. En un periodo posterior, estos depósitos geocinclinales se elevaron por acciones de fallas, plegamientos y volcanes. Al final de la Era Mesozoica, la totalidad de Los Andes apareció encima del nivel del mar. Entonces, ocurrieron intrusiones de granito en los Andes Occidentales.

Después de entrar en la etapa Terciaria, ocurrió el movimiento tectónico con acción volcánica en el sector oriental de los Andes Occidentales, y sucedieron intrusiones de granito en los Andes Orientales. Movimiento tectónico con fallas y plegamientos se limitó en la región de Andes Orientales. Después de aquello, los Andes Orientales y Occidentales subieron hasta la elevación actual.

Durante el Periodo terciario, la región entre los Andes Occidentales y Orientales quedó sumergida bajo el mar, habiendo allí depositadas rocas sedimentarias terciarias. Al final del Periodo Terciario, esta región fue elevada, formando la planicie de Puna. Finalmente, la Zona Sub-Andina fue elevada.

Al presente, el movimiento orogénico de Andes es explicado como una colisión entre la Placa Sud Americana y las del Pacífico, pasando por movimiento tectónico. El tiempo en que comenzó este movimiento orogénico está de acuerdo con el tiempo en que el Oceano Atlántico empezó a extenderse.

3.2 Descripción de formación geológica

El área de investigación geológica está situada en la Cordillera Oriental de Los Andes y en la Zona Sub-Andina. En esta area, están distribuidas rocas sedimentarias de las Eras Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica. Rocas igneas no están expuestas. Un mapa geológico y un perfil geológico se muestran en los "Dibujos Geológicos", anexados a este informe.

3.2.1 Rocas Paleozoicas

Estas rocas consisten en areniscas, limolita, lutitas y pizarras y conglomerados alternados areniscas-limolita, formadas durante el Periodo Ordovícico. Estas rocas ocupan 90 % del area en la zona de investigación.

La pizarra tiene la más amplia distribución entre todas, y

está distribuida principalmente entre Santa Bárbara y Santa Ana (Punto "L"). Esta roca tiene coloración negra, es muy dura, y forma juntas notables. En cada sitio donde ocurre caída de roca y fallas en el talud, se nota la presencia de esta roca.

La lutita, juntamente con arenisca y limolita, está distribuida principalmente en la cercanía de Caranavi y Carrasco (Punto "Q"). Esta roca es negra, dura y forma juntas notables, al igual que pizarra, aunque es frágil.

La limolita se encuentra expuesta principalmente en Santa Bárbara, Caranavi y Carrasco. Es de color gris oscuro y puede romperse más fácilmente que lutita y pizarra, a pesar de que tiene pocas juntas. Esta roca a menudo alterna con arenisca y también cambia en calidad a arcilla cuando es sometida a meteorización. Por esta razón, esta roca crea pequeñas fallas de talud, como el deslizamiento cerca de Carrasco.

La arenisca está ampliamente expuesta y estratificada con otros tipos de rocas. Una pequeña formación de esta roca está distribuida cerca a Chojña (Punto "J") y Caranavi. Esta arenisca fina y mediana es gris y silícea, y es la más dura de las rocas en el área.

3.2.2 Rocas Mesozoicas

Estas rocas consisten en areniscas y calizas, formadas durante el Periodo Cretácico. Hacen contacto con rocas paleozoicas y terciarias a lo largo de las fallas. El área en la que están distribuidas es muy limitada. Esta arenisca mediana es una roca de color gris verdoso, muy dura, aunque cuando está meteorizada es rompible, a pesar de tener pocas juntas.

La caliza es una roca de color negro grisáceo, muy dura, con apariencia parcial semejante a caliza arenosa fina.

3.2.3 Rocas Terciarias

Las rocas terciarias están expuestas en Bella Vista. Están distribuidas en una región ondulada de la Zona Sub-Andina. Estas rocas consisten en areniscas, limolita, estratos conglomerados y alternados de éstas, desde la Era Mioceno. Las rocas terciarias se contactan con rocas mesozoicas a lo largo de las fallas.

El conglomerado es una roca basal del Periodo Terciario, distribuida a lo largo de fallas. Esta roca es de color café grisáceo, bien consolidada y contiene agregados de grava sin cantos, con diámetros entre 5 y 10 mm. Esta grava resulta de rocas sedimentarias de mesozoico y paleozoico. La matriz del conglomerado está compuesta de arena gruesa y mediana.

La arenisca es una roca muy dura, de color grisáceo. Los bloques de esta roca a menudo causan caídas de roca, debido a la existencia de juntas abiertas a cada 2 ó 3 metros. En los taludes cercanos, se encuentran distribuidos bloques meteorizados de arenisca.

La limolita es de color café rojizo. Se encuentra severamente meteorizada, cambiando fácilmente en calidad a arcilla cuando se la somete al agua. Esta es la más débil y blanda de las rocas encontradas en el área de estudio. En las cercanías de Bella Vista, algunas veces ocurren deslizamientos, debidos a estratos alternados de arenisca y limolita.

3.2.4 Rocas Cuaternarias

Las rocas cuaternarias consisten en depósitos de terraza de la Era Pleistoceno, y de detritos, escombros, derrumbes y depósitos de ríos de la Era Holoceno.

Los depósitos de terrazas y ríos están distribuidos a lo largo de lechos de ríos; otros se encuentran en taludes de montaña. Los depósitos de terraza están expuestos estrechamente a lo largo del Río San Silverio, y ampliamente expuestos a lo largo del Río Yara, en las cercanías de Caranavi. Estos depósitos de terraza consisten en grava sin canto, con diámetros entre uno y quince centímetros. La matriz está compuesta de arena mediana a gruesa, color café. Los depósitos son muy estables y tienen un espesor de 5 metros en San Silverio y 10 metros en Caranavi.

Los depósitos de detrito están distribuidos por todo el área de investigación. El espesor de los depósitos varía de uno a tres metros en el talud de montaña, y parcialmente de tres a diez metros en la parte baja de los valles. Estos depósitos consisten en grava con canto, con diámetros de cinco a diez centímetros. La matriz está compuesta de arena fina y sedimentos.

Los depósitos de arrastre de escombros están distribuidos

cerca a Santa Ana, Carrasco y Bella Vista. Los depósitos en Santa Ana son de gran magnitud, teniendo un ancho aproximado de un kilómetro. El paisaje plano en Santa Ana se ha formado por muchos arrastres de escombros en el pasado. Estos depósitos consisten en grava con canto de diámetros entre 15 y 20 centímetros. La matriz está compuesta por arena fina y sedimentos. Por lo tanto, sería mejor clasificar estos depósitos como arrastre de tierra en vez de arrastre de escombros. Actualmente, parece que estos depósitos en Santa Ana ya están estabilizados, pero aquellos que están en las cercanías de Carrasco aún son algo activos y el camino existente es a veces dañado por arrastres de tierra. Los depósitos de arrastre de escombros en el área de Bella Vista contienen pedrones de arenisca, con diámetros entre uno y dos metros. Estos depósitos están expuestos a lo largo del fondo de los valles, y parecerían peligrosos, puesto que una sección de estos depósitos parece estar listo para volver a caer.

Los depósitos de derrumbe están distribuidos en las cercanías de Bella Vista. Estos depósitos resultan de una alternación de rocas terciarias que consisten en arcilla, fragmentos de limonita meteorizada y pedrones de arenisca. Al presente, el movimiento de estos depósitos ejerce una peligrosa influencia sobre la seguridad del camino existente en Bella Vista.

3.3 Problemas geomorfológicos y geológicos para el mejoramiento del camino

A lo largo del camino en investigación, se encontraron varias fallas de talud. Estas fallas han sido clasificadas en varios tipos en la investigación geológica realizada para el estudio. La clasificación está identificada en Fig. 2.3-1 y en inciso "2.3.2 - Resultados de reconocimiento de terreno". Sin embargo, esta clasificación ha sido, a su vez, sub-clasificada con más detalle, desde el punto de vista geológico, como se muestra en Fig. 3.3-1. Las ubicaciones y características de las fallas investigadas se muestran en Tablas 3.3-1(1) a 3.3-1(9). Asimismo, las ubicaciones y cantidades de escurrimiento de aguas superficiales, observadas a lo largo del camino, se muestran en Tabla 3.3-2.

Los tipos de fallas de talud, clasificados en Fig. 2.3-1, en capítulo 2, son los siguientes :

- a) falla de talud (talud de corte o talud natural)

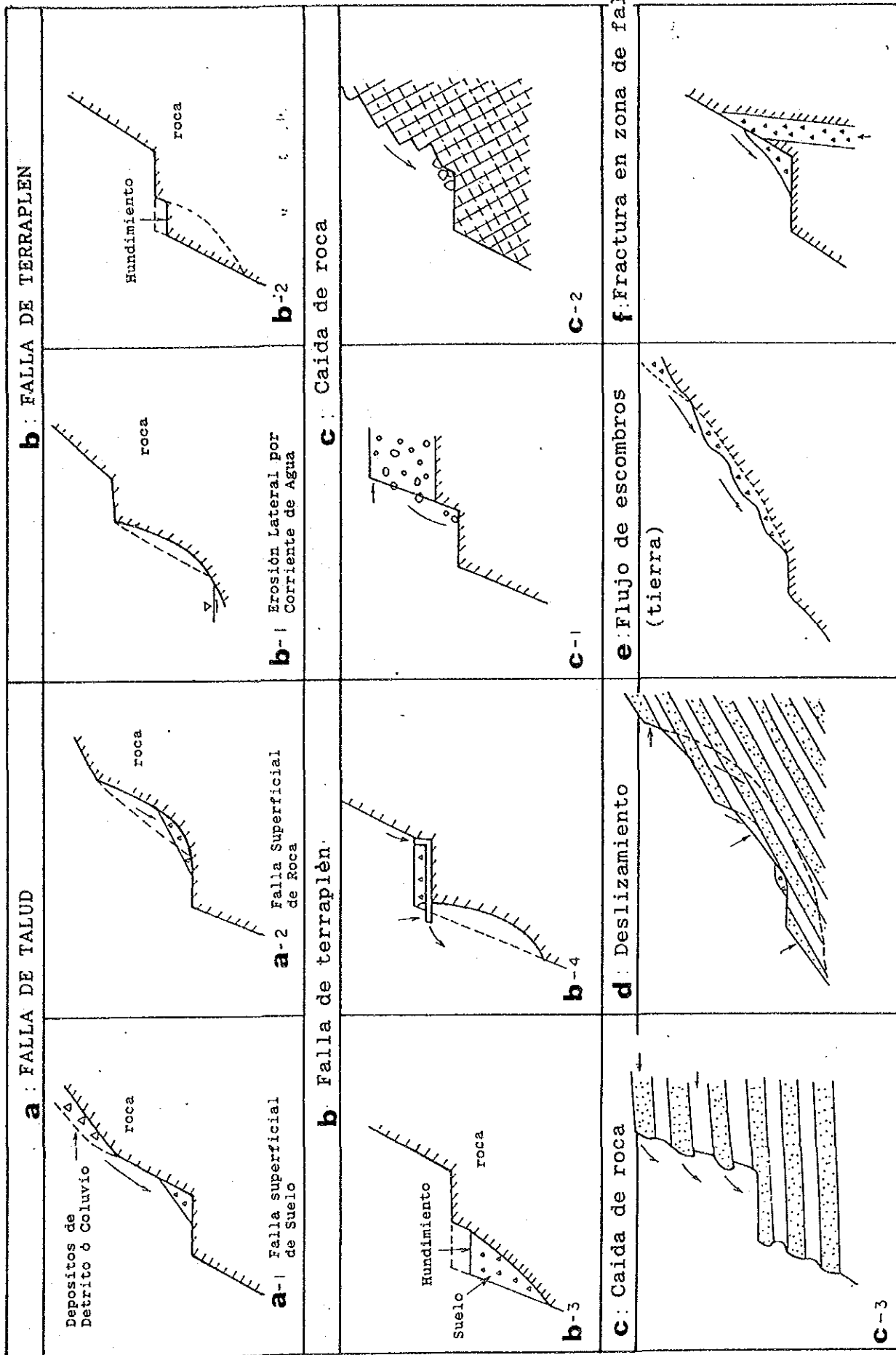


Fig. 3.3-1 TIPO DE FALLA DE TALUD

- b) falla de terraplén
- c) caída de roca
- d) deslizamiento
- e) arrastre de escombros o de tierra
- f) zona fracturada a lo largo de línea de falla.

Según la investigación geológica, estos seis grupos fueron además clasificados en doce categorías.

La falla de talud (tipo a) está dividida en falla superficial del suelo y falla de talud de la roca. La falla de terraplén (tipo b) está dividida en cuatro tipos, según la causa de la falla, por ejemplo, erosión lateral por corrientes de agua, desplazamiento del terraplén por material rocoso, desplazamiento de relleno y erosión de agua de los drenajes. Las caídas de roca están sub-divididas en tres categorías : erosión por agua de material de suelo entre pedrones, control de fisuras abiertas y erosión de velocidad diferencial entre estratos en taludes.

Sin embargo, las fallas actuales en cada sitio tienen en realidad dos causas, por lo que la clasificación exacta de cada falla puede ser muy complicada. Por lo tanto, la descripción en Tabla 3.3-1 se basa en la clasificación de solo seis tipos.

Tabla 3. 3-1 (1) Zona de peligro para la construcción del camino

NO	Distancia (Km)	Tipo de Falla de Talud	Magnitud de Falla de Talud (m)		Inclinación de Talud (°)		Roca y Depósito Max ϕ = Diámetro Máximo (cm) M ϕ = Diámetro Medio (cm)	Rumbo y Buzamiento de Estratos y Juntas (Número/m)	Agua Subterránea (ℓ /min)	Grado de Estabilidad	Observaciones
			Ancho	Longitud	Sedimental	Artificial					
3	0.80	Falla de Superficie	a	50 15 20	55	60	45	Roca : Pizarra, Suelo Piedra: Max ϕ = 40, M ϕ = 5 Matriz: Arcilla	-	II	
5	2.30	Falla de Superficie	a	40 15 20	50	60	45	Roca : Limolita, Suelo Piedra: Max ϕ = 40, M ϕ = 5 Matriz: Arcilla	-	II	
6	2.50 A(2.70)	Flujo de Escombros	e	160 (max) 80 (max)	45	-	30	Roca : Limolite, Suelo Depósito: Nada	-	III	
8	3.10	Fractura en Zona de Falla (F-A)	f	20 10	-	60	40	Roca : Limolita Piedra: Max ϕ = 20, M ϕ = 5 Matriz: Nada	-	I	Imposible de medir
14	5.00	Fractura en Zona de Falla (F-B) y Falla de Superficie	a-f	70 20 30	35	45	40	Roca : Arenisca Fina Piedra: Max ϕ = 20, M ϕ = 5 Matriz: Nada	-	II	
20	6.50	Vieja Falla de Talud	a	20 20 28	40	50	35	Roca : Arenisca Fina Piedra: Max ϕ = 200, M ϕ = 10 Matriz: Arcilla	-	I	
21	6.50	Zona de Falla Disturbada (F-C)	f	20 fault (3)	6	45	35	Roca : Arenisca Fina Depósito: Nada	-	I	Imposible de medir
25	B(7.30) 3.00	Falla de Talud y Grieta en Terraplén	a	20 25 30	45	60	45	Roca : Pizarra Piedra: Max ϕ = 50, M ϕ = 10 Matriz: Arcilla	-	I	
27	8.40	Vieja Falla	a	20 20 25	45	60	45	Roca : Pizarra con Arenisca Piedra: Max ϕ = 90, M ϕ = 10 Matriz: Arcilla	-	I	
30	9.20	Falla de Talud	a	40 10	70	80	60	Roca : Pizarra Piedra: Max ϕ = 100, M ϕ = 10 Matriz: Arcilla	-	III	

NOTAS: - Número (" No. ") se indica en el Plano Geológico

- Distancia (km) es la distancia acumulada desde Santa Bárbara

- Tipo de falla de talud : a = falla de talud; b = falla de terraplén; c = caída de rocas; d = deslizamiento; e = flujo de escombros; f = fractura en zona de falla

- Grado de estabilidad : I = estable; II = inestable con lluvia; III = inestable

Tabla 3.3-1 (2) Zona de peligro para la construcción del camino

NO	Distancia (km)	Tipo de Falla de Talud	Magnitud de Falla		Inclinación de Talud (°)		Roca y Depósito Max φ = Diámetro Máximo (cm) M φ = Diámetro Medio (cm)	Rumbo y Buzamiento de Estratos y Juntas (número/m)	Agua Subterránea (L/min)	Grado de Estabilidad	Observaciones
			Ancho	Altura	Longitud	Sedimental					
36	11.18	Vieja Falla Superficial	a	30	30	35	45	50	45	I	
38	(C11.60) 12.66	Dos Fallas de Talud	a	40	20	20	45	70	40	III	
41	chilla 14.1	Caída de Roca Activa y Fractura en Zona de Falla (F-D)	c	250	15	15	-	-	60	III	-N35W/60SW (1/m) N40E/60SE (2/m) N15W/15E (3/m)
42	14.2	Falla de Talud con Caída de Roca	a-c	50	25	30	55	70	60	III	Imposible de medir
64	20.10	Vieja Falla de Talud	a	15	10	12	55	60	45	I	
72	23.20	Falla de Talud	a	90	10	-	-	-	-	II	
77	26.40 F (27.00)	Fractura en Zona de Falla (F-F)	f	-	10	-	-	60	40	I	-N60W/55SW (3/φ) N75E/65S (1/m) N70W/40NE (10/m)
82	27.90 choro	Falla de Talud	a	15	15	-	55	-	-	I	
92	31.20 G (31.90)	Falla de Talud y Fractura en Zona de Falla (F-G)	a-f	70	15	25	40	55	35	III	-N50W/90 (falla)
93	31.30	Falla de Talud	a	80	-	-	-	-	-	II	-N55W/55S (20/m) N38E/90 (3/m) NS/65SW (3/m)

NOTAS: -Número (" No. ") se indica en el Plano Geológico

-Distancia (km) es la distancia acumulada desde Santa Bárbara

-Tipo de falla de talud : a = falla de talud; b = falla de terraplén; c = caída de rocas; d = deslizamiento; e = flujo de escombros; f = fractura en zona de falla

-Grado de estabilidad : I = estable; II = inestable con lluvia; III = inestable

Tabla 3. 3-1 (3) Zona de peligro para la construcción del camino

NO	Distancia (Km)	Tipo de Falla de Talud	Magnitud de Falla de Talud (m)		Inclinación de Talud (°)		Roca y Depósito Max φ = Diámetro Máximo (cm) M φ = Diámetro Medio (cm)	Rumbo y Buzamiento de Estratos y Juntas (número/m)	Agua Subterránea (Q/min)	Grado de Estabilidad	Observaciones	
			Ancho	Altura	Longitud	Sedimental						Artificial
105	H(34.90) 35.90	Falla de Talud con caída de Roca	a-c	40	20	25	45	60	-	75.0	II	
108	37.20	Caída de Roca	c	15	-	15	-	70	-	-	II	
118	I(37.80) 39.10	Falla Superficial	a	15	15	15	50	90	-	-	II	
120	40.80	Falla Superficial	a	70	-	25	45	65	30	-	I	
122	41.10 J(41.70)	Falla Superficial	c	25	-	15	30	65	40	-	III	
125	42.00	Zona Disturbada por Pequeño Plegamiento	f	-	-	-	-	82	-	-	I	
126	42.30	Falla de Talud con Flujo de Tierra, Falla de Terraplén	a-b e	60	8	-	-	30	60	-	III	
133	44.60	Falla Superficial	a	50	-	20	45	60	-	-	I	
135	44.80	Zona de Falla Fracturada (F-H) y Grieta en Terraplén	b-f	30	15	-	-	55	40	-	II	
137	46.60	Falla de Talud y Zona Fracturada	a-f	50	15	18	-	55	50	-	II	

NOTAS: -Número (" No. ") se indica en el Plano Geológico

-Distancia (Km) es la distancia acumulada desde Santa Bárbara

-Tipo de falla de talud : a = falla de talud; b= falla de terraplén; c= caída de rocas; d= deslizamiento; e = flujo de escombros; f = fractura en zona de falla

-Grado de estabilidad : I = estable; II = inestable con lluvia; III = inestable

Tabla 3. 3-1 (4) Zona de peligro para la construcción del camino

NO	Distancia (Km)	Tipo de Falla de Talud	Magnitud de Falla de Talud (m)		Inclinación de Talud (°)		Roca y Depósito Max ϕ = Diámetro Máximo (cm) M ϕ = Diámetro Medio (cm)	Rumbo y Buzamiento de Estratos y Juntas (número/m)	Agua Subterránea (ϕ /min)	Grado de Estabilidad	Observaciones
			Ancho	Longitud	Sedimental	Artificial					
138	47.30	Fractura en Zona de Falla (f-1)	f	20	10	-	50	60	-	I	
140	47.60	Falla de Talud y Fractura en Zona de Falla	a-f	120	10	-	55	60	-	II	
141	49.10	Zona Fracturada	f	20	10	-	55	60	-	I	
145	49.90	Falla de Talud	a	50	15	20	55	40	-	II	
148	51.30	Flujo de Escombros	e	500	300	1200	55	15	7.5	II	
150	51.40										
152	52.20	Fractura en Zona de Falla (f-k)	f	10	10	15	60	40	-	I	
154	52.40	Falla de Talud con Flujo de Escombros	a-e	80	10	100+	45	50	-	II	
156	53.40	Falla de Talud con Flujo de Escombros	a-e	300	-	100+	60	15	-	I	
157	54.50	Falla de Talud con Flujo de Escombros	a-e	12	9	100+	45	60	-	II	
158	55.40	Falla de Talud	a	10	8	10	45	60	-	II	

NOTAS: Número (" No. ") se indica en el Plano Geológico

-Distancia (Km) es la distancia acumulada desde Santa Bárbara

-Tipo de falla de talud : a = falla de talud; b = falla de terraplén; c = caída de rocas; d = flujo de escombros; e = fractura en zona de falla

-Grado de estabilidad : I = estable; II = inestable con lluvia; III = inestable

Table 3.3-1 (5) Zona de peligro para la construcción del camino

NO	Distancia (Km)	Tipo de Falla de Talud	Magnitud de Falla de Talud (m)		Inclinación de Talud (°)		Roca y Depósito Max ϕ = Diámetro Máximo (cm) M ϕ = Diámetro Medio (cm)	Rumbo y Ruzamiento de Estratos y Juntas (número/m)	Agua Subterránea (L/min)	Grado de Estabilidad	Observaciones
			Ancho	Altura	Longitud	Sedimental					
160	55.60	Falla de Talud y Fractura	a-f	8	5	7	45	50	20	I	
161	57.60	Flujo de Escombros	e	500	-	200+	-	70	20	I	
165	58.50 M(59.70)	Falla de Talud	a	50	12	-	35	50	45	II	
172	60.90	Falla de Superficie con Falla en Terraplén	a-b	50	-	25	30	50	40	II	
174	61.30	Falla de Superficie con Grieta en Talud	a	40	10	40	20	-	20	III	
176	61.70 Caranavi (63.90)	Falla de Superficie con Caída de Roca	a-c	50	6	20	-	30	20	I	
179	66.30	Falla de Superficie	a	-	-	-	-	-	-	I	
191	N(69.20) 70.60	Falla de Talud	a	40	15	20	40	60	30	II	
194	71.20	Falla de Talud con Grieta	a	40	15	20	40	50	30	II	
198	72.20	Gran Falla de Talud	a	150	20	30	45	60	25	III	

NOTAS: -Número (" No. ") se indica en el Plano Geológico
 -Distancia (Km) es la distancia acumulada desde Santa Bárbara
 -Tipo de falla de talud : a = falla de talud; b = falla de terraplén; c = caída de rocas; d = deslizamiento; e = flujo de escombros; f = fractura en zona de falla
 -Grado de estabilidad : I = estable; II = inestable con lluvia; III = inestable

Tabla 3. 3-1 (6) Zona de peligro para la construcción del camino

NO	Distancia (km)	Tipo de Falla de Talud	Magnitud de Falla de Talud (m)		Inclinación de Talud (°)		Roca y Depósito Max φ-Diámetro Máximo (cm) M φ-Diámetro Medio (cm)	Rumbo y Buzamiento de Estratos y Juntas (número/m)	Agua Subterránea (L/min)	Grado de Estabilidad	Observaciones
			Ancho	Longitud	Sedimental	Artificial					
199 200	72.60 72.90	e Flujo de Escombros	300	8+ 400+	-	70	25	Roca : Pizarra Piedra: Max φ = 5, M φ = 2 Matriz: Limo	-	7.3	II
202	73.40	a Falla de Talud	50	5	-	-	-	Roca : Lutita	-	-	II
203	73.90	a Falla de Talud	75	-	-	65	-	Roca : Arenisca, limolita	-	-	II
207 208	77.20 78.00	e Flujo de Escombros mediante Fotointerpretación	300	- 300+	-	-	-	Roca : limolita Sin información	-	-	II
210 211	78.30 78.70	a-e Flujo de Escombros y Falla de Talud	200 (15)	- (6)	200+ (6)	- (90)	-	Roca : limolita Piedra: Max φ = 60, M φ = 30 Matriz: limo	-	-	(I)
211 212	78.50 79.30	e Flujo de Escombros mediante Fotointerpretación	150	- 300+	-	-	-	Roca : limolita Sin información	-	-	II
213 214	79.30 80.20	a-e Flujo de Escombros mediante Fotointerpretación	30	-	-	-	-	Roca : limolita Sin información	-	-	II
215	P (80.10) 80.30	a-b Falla de Superficie con Falla de Terraplén	40	- 40	-	60	50	Roca : limolita, Suelo Sin información	-	Surface water	I
217	80.70	c Caída de Roca	4	6	6	50	-	Roca : limolita Piedra: Max φ = 30 Matriz: Nada	-	-	I
219	81.00	a Falla de Superficie	110	- 40	40	63	-	Roca : limolita Piedra: Max φ = 15, M φ = 3 Matriz: Arcilla	-	-	III

NOTAS: - Número (" No. ") se indica en el Plano Geológico
 - Distancia (km) es la distancia acumulada desde Santa Bárbara
 - Tipo de falla de talud : a = falla de talud; b = falla de terraplén; c = caída de rocas; d = deslizamiento; e = flujo de escombros; f = fractura en zona de falla
 - Grado de estabilidad : I = estable; II = inestable con lluvia; III = inestable

Tabla 3.3-1 (7) Zona de peligro para la construcción del camino

NO	Distancia (km)	Tipo de Falla de Talud	Magnitud de Falla		Inclinación de Talud (°)		Roca y Depósito Max φ-Diámetro Máximo (cm) M φ-Diámetro Medio (cm)	Rumbo y Buzamiento de Estratos y Juntas (Número/m)	Agua Subterránea (L/min)	Grado de Estabilidad	Observaciones
			Ancho	Longitud	Sedimental	Artificial					
223	82.20	Falla de Superficie a	100	5	6	-	Roca :Arcisca,Suelo Sin infomación	-	-	II	
226	83.70	Falla de Superficie a	150	6	-	-	Roca :Lutita,Auelo Piedra:Max φ ,M φ =5~10 Matriz:Arcilla	-	0.2	III	
227	83.80	Falla de Superficie a	30	5	-	-	Roca :Arcisca,Suelo Piedra:Sin infomación Matriz:Arcilla	-	-	II	
228	84.10	Falla de Superficie a	250	6	80+	-	Roca :Arcisca,Suelo Piedra:Sin infomación Matriz:Arcilla	-	-	III	
230	85.00	Falla de Superficie con Grieta en Talud a	50	-	40	-	Roca :Lutita,Arcisca,Suelo Piedra:Sin infomación Matriz:Arcilla	-	-	II	
231	Q(85.10) carrasco	Flujo de Escombros e	20	15	-	45	Roca :Lutita,Arcisca Piedra:Max φ =20 ~30 Matriz:Arcilla	*N40W/35E(10/m) N55W/50S(5/m) N55E/55N(3/m)	Agua Superficial	II	
234	85.70 R(87.70)	Falla de Talud a	150	10	15	45	Roca :Lutita Piedra:Sin infomación Matriz:Rada	-	-	III	
243	88.00	Dos Fallas de Talud a	40	20	25	45	Roca :Lutita Piedra:Sin infomación	*N20W/50E(20/m) E-W/60N(20/m) N80E/20N(10/m)	-	II	
245	88.50	Falla de asuterficie y Fractura en Zona de Falla(F-R) a-f	10	15	25	45	Roca :Lutita Sin infomación	-	-	I	
248	89.20	Falla de Terraplen y Fractura en Zona de Falla(F-R) b-f	10	10	-	45	Roca :Lutita Sin infomación	*N15E/20E(10/m) N25E/75W(10/m) N30W/80NE(10/m)	Agua Superficial	III	

NOTAS: "Número" (" No.") se indica en el Plano Geológico
 *Distancia(km) es la distancia acumulada desde Santa Bárbara
 *Tipo de falla de talud : a = falla de talud; b= falla de terraplén; c= caída de rocas; d= deslizamiento; e = flujo de escombros; f = fractura en zona de falla
 *Grado de estabilidad : I = estable; II = inestable con lluvia; III = inestable

Tabla 3.3-1 (8) Zona de peligro para la construcción del camino

NO	Distancia (km)	Tipo de Falla de Talud	Magnitud de Falla de Talud (m)		Inclinación de Talud (°)		Roca y Depósito Max ϕ = Diámetro Máximo (cm) M ϕ = Diámetro Medio (cm)	Ruido y buzamiento de Estratos y Juntas (número/m)	Agua Subterránea (ϕ /min)	Grado de Estabilidad	Observaciones
			Ancho	Altura	Sedimental	Artificial					
249	89.50	Falla de Talud	a	150	5	-	-	-	-	II	
254	90.50	Falla de Superficie	a	-	-	45	80	50	-	II	
258	90.85	Falla de Terrapién	b	10	-	-	-	50	-	I	
259	91.00	Falla de Superficie	a	-	-	-	-	-	Agua Superficial	I	
260	91.05	Falla de Superficie con Flujo de Tierra	a	20	-	-	-	-	-	I	
261	91.30	Falla de Superficie con Flujo de Tierra	a	30	-	37	62	32	-	I	
263	91.45	Falla de Superficie y Falla de Terrapién	a+b	5	-	40	64	32	-	I	
264	91.60	Falla de Superficie	a	20	-	30	-	-	Agua Superficial	I	
278	S (93.40) 93.70	Caida de Roca	c	40	-	20	-	-	-	I	
280	95.80	Falla de Superficie	a	76	-	30	-	-	-	I	

NOTAS: "No." se indica en el Plano Geológico

*Distancia (km) es la distancia acumulada desde Santa Bárbara

*Tipo de falla de talud: a = falla de talud; b = falla de terrapién; c = caída de rocas; d = deslizamiento; e = flujo de escombros; f = fractura en zona de falla

*Grado de estabilidad: I = estable; II = inestable con lluvia; III = inestable

Tabla 3. 3-1 (9) Zona de peligro para la construcción del camino

NO	Distancia (km)	Tipo de Falla de Talud	Magnitud de Falla			Inclinación de Talud (°)		Roca y Depósito Max φ=Diámetro Máximo (cm) M φ=Diámetro Medio (cm)	Rumbo y Buzamiento de Estratos y Juntas (número/m)	Agua Subterránea (l/min)	Grado de Estabilidad	Observaciones
			Ancho	Altura	Longitud	Sedimental	Artificial					
310	102.60	Falla de Superficie	a	30	-	20	-	-	70	60.0	II	
317	V(104.30) 104.35	Falla de Superficie	a	30	-	90	-	75	45	6.0	I	
320	104.65	Fractura en Zona de Falla	f	10	-	-	-	80	-	-	I	
330	107.10 V(107.70)	Caída de Roca y Fractura en Zona de Falla (F-Q)	c-f	49	-	15	30	70	30	-	I	
332	107.50	Falla de Talud y Fractura en Zona de Falla (F-R)	f	-	-	-	-	-	-	-	I	
339	110.70	Flujo de Escombros	e	200	-	-	-	-	20	-	II	
340	W(111.30) 111.30	Deslizamiento	d	100	5	200	20	45	10	-	III	
341	111.60	Deslizamiento	d	30	5	200	20	45	10	-	III	
344	112.50	Deslizamiento	d	30	7	400	20	45	10	Agua superficial	III	
349	114.30 Bella vista	Deslizamiento	d	30	2	300	15	-	15	7.5	III	

NOTAS: -Número (" No. ") se indica en el Plano Geológico
 -Distancia (km) es la distancia acumulada desde Santa Bárbara
 -Tipo de falla de talud : a = falla de talud; b = falla de terrapién; c = caída de rocas; d = deslizamiento; e = flujo de escombros; f = fractura en zona de falla
 -Grado de estabilidad : I = estable; II = inestable con lluvia; III = inestable

Tabla 3.3-2 (1) Puntos de Escorrimento de Agua Subterranea

NO.	LOCATION AND DISTANCE (km)	ROCK AND DEPOSIT	AMOUNT OF RUNOFF (l/min)	NO.	LOCATION AND DISTANCE (km)	ROCK AND DEPOSIT	AMOUNT OF RUNOFF (l/min)
10	point A (2.70) 4.20	talus deposit of mudstone	1.2	66	20.36	slate	15.0
11	Padilla (4.40) 4.50	talus deposit of mudstone	49.5	67	20.72	slate	20.0
12	4.60	talus deposit of mudstone	90.0	69	point E 22.10	slate	1.0
13	4.76	talus deposit of mudstone	23.0	72	22.70	sandstone	0.3
16	5.10	talus deposit of slate	0.5	79	Alto choro (27.10) 27.40	sandstone	2.0
29	point B (7.30) 8.72	between slate and its talus	60.0	80	27.50	between sandstone and its talus	28.0
31	9.38	talus deposit of slate	3.0	81	27.80	between sandstone and its talus	22.5
34	10.18	sandstone	3.0	84	Choro (28.35) 28.40	between sandstone and its talus	9.0
35	10.38	sandstone	15.0	87	29.50	between slate and its talus	0.6
37	point C (11.60) 11.38	talus deposit of slate	13.8	96	San Pedro (31.90) 32.30	between slate and its talus	15.0
44	Challa (12.08) 12.98	between slate and its talus	1.8	98	32.90	between slate and its talus	0.3
46	Villa Espada 15.40	between slate and its talus	13.8	101	Pto. Leon (34.90) 133.8	between slate and its talus	6.0
48	point D (15.50) 15.70	talus deposit of slate	2.0	105	35.50	talus deposit of slate	75.0
49	16.40	talus deposit of slate	0.5	111	point I (37.80) 37.70	slate	1.0
50	10.45	talus deposit of slate	1.0	129	18 de mayo (43.50) 43.10	talus deposit of slate	0.8
52	17.15	talus deposit of slate	7.2	142	San silverio (49.20) 49.20	talus deposit of slate	1.0
53	17.35	talus deposit of slate	6.6	150	51.20	talus deposit of slate	7.5
54	17.40	talus deposit of slate	14.4	162	point L (52.40) 57.80	talus deposit of slate	2.4
55	17.50	talus deposit of slate	5.4	163	point M (59.70) 58.10	talus deposit of slate	0.3
57	18.30	slate	40.0	177	Caranavi (63.90) 64.90	talus deposit of sandstone	1.5
58	18.34	talus deposit of slate	33.0	178	66.00	talus deposit of sandstone	0.7
59	18.60	slate	30.0	179	66.30	talus deposit of sandstone	2.4
60	19.70	slate	17.0	180	66.40	talus deposit of sandstone	3.0
62	19.80	slate	60.0	182	67.20	talus deposit of sandstone	3.0
65	20.20	slate	60.0	184	67.60	talus deposit of sandstone	0.2

the term of investment : from 13/9/89 to 28/9/89

Tabla 3.3-2 (2) Puntos de Escurrimiento de Agua Subterranea

NO.	LOCATION AND DISTANCE (km)	ROCK AND DEPOSIT	AMOUNT OF RUNOFF (l/min)	NO.	LOCATION AND DISTANCE (km)	ROCK AND DEPOSIT	AMOUNT OF RUNOFF (l/min)
200	point N (69.20) 72.90	debris flow deposit of shale	7.3	292	98.70	talus deposit of mudstone	0.2
205	point O 76.80	shale	0.2	295	99.05	talus deposit of mudstone	7.2
224	82.60	talus deposit of sandstone	0.2	299	99.70	talus deposit of mudstone	9.4
226	83.60	talus deposit of shale	0.2	300	100.10	talus deposit of mudstone	0.6
253	Carrasco (85.10) 90.20	talus deposit of shale	0.2	302	100.60	talus deposit of mudstone	5.4
255	90.35	shale	0.2	303	100.80	talus deposit of mudstone	4.5
256	90.50	talus deposit of shale	1.7	304	101.40	slope failure of sandstone	90.0
259	91.00	shale	seepage	306	102.00	between sandstone and its talus	3.0
264	91.60	shale	seepage	308	102.40	mudstone	1.0
266	91.70	talus deposit of shale	0.3	310	102.60	talus deposit of shale	60.0
267	91.90	talus deposit of shale	0.4	312	102.90	talus deposit of mudstone	1.0
270	92.50	sandstone	seepage	315	104.20	mudstone	0.8
271	92.65	talus deposit of sandstone	1.0	316	point U (104.30) 104.25	talus deposit of mudstone	3.0
272	92.75	mudstone	1.9	317	104.35	between mudstone and its talus	6.0
273	92.90	shale	seepage	318	104.50	talus deposit of mudstone	2.0
274	93.05	talus deposit of sandstone	1.0	321	104.70	between mudstone and its talus	45.0
275	point S (93.40) 93.30	talus deposit of sandstone	6.0	338	point V (107.70) 109.90	between sandstone and its talus	0.6
277	93.65	talus deposit of sandstone	6.0	347	Bella Vista (114.00) 114.00	deposit of landslide	7.5
279	94.50	talus deposit of sandstone	6.0				
281	95.75	talus deposit of mudstone	7.5				
282	95.80	between mudstone and its talus	7.2				
283	95.90	shale	0.2				
284	point T (96.40) 96.30	talus deposit of mudstone	0.2				
286	96.50	mudstone	0.2				
288	96.90	talus deposit of mudstone	0.2				

the term of investment : from 13/9/89 to 28/9/89

La estabilidad de los taludes, como resultado de esta observación, también se muestra en Tabla 3.3-1, usando la siguiente clasificación :

Grado I	estable
Grado II	inestable con lluvia
Grado III	inestable

Los lugares clasificados como Grado I se consideran como ya estabilizados. No se espera un serio desastre en estos lugares.

Los agrupados en Grado II son taludes con una superficie de falla fresca y muestra huellas de deslizamiento de talud. En este grupo, existe la posibilidad de ocurrencia de falla de talud cuando se expone a una lluvia ordinaria.

Grado III es una falla activa de talud. En este grupo, siempre se encuentra movimiento de materiales.

El número de taludes investigados, por tipo de falla y grado de estabilidad se muestra en Tabla 3.3-3.

Tabla 3.3-3 Número de fallas por tipo y grado de estabilidad

Type	a	b	c	d	e	f	Total
Grade							
I	22(20)	3(1)	6(5)	0(0)	3(3)	11(8)	45(37)
II	31(28)	3(2)	3(2)	0(0)	9(9)	5(0)	51(41) †*
III	12(12)	2(1)	2(1)	4(4)	2(1)	3(0)	25(19) †(60)
Total	65(60)	8(4)	11(8)	4(4)	14(13)	19(8)	121(97)

Nota : Las fallas de talud en algunos de los 97 puntos fueron consideradas como complejas, por tener más de dos tipos de falla. El número de fallas contadas separadamente se muestra como un valor sin paréntesis, mientras que los valores en paréntesis indican el número real de puntos. Es decir, han sido observadas 121 fallas en un total de 97 puntos. El número con asterisco, en total 60, coincide con aquel en la Tabla 2.2-12, en capítulo 2.

3.3.1 Falla de talud (Tipo a)

La falla de talud puede ocurrir en un talud de suelo o de roca. Algunas veces, el talud está compuesto por suelo y roca, y en este caso, ocurre frecuentemente una falla de talud de ambas partes componentes al mismo tiempo. También pueden ocurrir fallas de talud, acompañadas de pequeños deslizamientos.

Las fallas de talud constituyen cerca al 50 % de todos los puntos de peligro y de desastre potencial en el área de estudio.

La estabilidad de taludes por tipo de roca se resume a continuación :

Stability	SS	MS	SH	SL	Total
I	2	6	6	8	22
II	6	8	6	11	31
III	0	2	4	6	12
Total	8	16	16	25	65

Nota : 1) SS = arenisca, MS = limonita,

SH = lutita, SL = pizarra

(Todas éstas son rocas paleozoicas)

- 2) El número total que se indica en esta tabla no corresponde al de la Tabla 3.3-3. Esto se debe a una combinación de diferentes rocas, caídas en la misma ubicación.

Las fallas de talud ocurren en rocas paleozoicas, mientras que generalmente no ocurren en rocas mesozoicas y terciarias. Sin embargo, esto no significa que en rocas mesozoicas y terciarias no ocurren fallas. Se debe a que la distribución de estas rocas es muy limitada en el área de estudio. Entre las rocas paleozoicas, la pizarra tiene la mayor proporción de fallas de talud. Esto se debe a una notable formación de juntas en su estratificación.

La frecuencia de ocurrencia de fallas de talud tiene un origen en la diferencia de roca y estructura geológica. Sin embargo, la diferencia en topografía es uno de los factores más importantes.

Los siguientes casos tienen una alta incidencia en falla de talud :

- a) taludes largos
- b) taludes convexos
- c) taludes empinados
- d) abundante agua subterránea
- e) carencia de vegetación
- f) alta precipitación

Debido a que la causa de una falla de talud es compleja, es difícil hacer una predicción precisa de futuras fallas. Sin embargo, en lugares sujetos a fallas, es probable la reocurrencia y extensión. En estos sitios, especialmente en los de estabilidad Grado III, es deseable tomar medidas apropiadas.

Las fallas de talud se encuentran en toda la extensión del camino existente. Sin embargo, entre Santa Bárbara y Challa (Punto C) y cerca a Carrasco, se encuentran más fallas que en ninguna otra sub-sección.

3.3.2 Fallas de terraplén (Tipo b)

Solamente se observaron 8 fallas de este tipo, lo que constituye el 7 % del número total.

A pesar de que este tipo de falla ha sido sub-dividido en cuatro categorías, de Tipo B-1 a B-4, en Fig. 3.3-1, la mayoría de las fallas de este grupo en el área de estudio pertenecen a los tipos B-2 y B-3, que son fallas originadas por desplazamiento del mismo terraplén. La diferencia de tipos B-2 y B-3 es el material de relleno, por ejemplo, Tipo B-2 es el caso en que el material es suelo, mientras que Tipo B-3 es en el caso de roca. En casi todos estos casos, el deslizamiento del material de relleno ocurre en la superficie del talud natural del terreno debajo del terraplén. En otras palabras, las fallas ocurrieron porque el terraplén fue construido directamente en el empinado talud natural, sin ningún trabajo de preparación, como corte de una berma.

Fue confirmado que todos, con excepción de dos lugares que pueden ser clasificados en este tipo, ya han sido estabilizados, o se considera que no tienen influencia sobre el camino a ser mejorado.

La estabilidad de este tipo de falla, categorizado por clase de relleno, de roca o suelo, se muestra a continuación :

Stability	SS	MS	SH	SL	Total
I	0	1	2	0	3
II	0	2	0	1	3
III	0	0	1	1	2
Total	0	3	3	2	8

Nota : SS = arenisca, MS = limonita,
 SH = lutita, SL = pizarra
 (Todas éstas son rocas paleozoicas)

Existen dos puntos, categorizados como estabilidad Grado III en la tabla precedente, y que al parecer requieren atención en el estudio. Son Chojña (Punto J, ubicación número 126 en Tabla 3.3-1) y cerca de Carrasco (ubicación número 248). El primer caso es una combinación de falla de talud y de terraplén, y cuando se tome alguna medida para la falla de talud, no se requerirá ninguna consideración para la falla de terraplén. En el segundo caso, una falla ocurrió y continua debido al inadecuado mantenimiento de la tubería de drenaje instalada debajo del camino existente.

3.3.3 Caída de rocas (Tipo c)

El número de lugares investigados y clasificados con este tipo de falla se muestran a continuación :

Stability	SS	MS	SH	SL	Total
I	1	5	0	0	6
II	0	1	0	2	3
III	0	0	0	2	2
Total	1	6	0	4	11

Nota : SS = arenisca, MS = limonita
 SH = lutita, SL = pizarra
 (Todas éstas son rocas paleozoicas)

Las caídas de roca causadas por fisuras abiertas en roca (Tipo C-2 en Fig. 3.3-1) son predominantes. Por otra parte, el tipo C-1 ocurre solamente en un área donde existen depósitos de terrazas y detritos, y casi no se encuentra en el área de estudio. Las fallas Tipo C-3 se encuentran solamente en la región de Bella Vista.

En la ubicación 41, en la Tabla 3.3-1, cerca a Challa (Punto C), los bloques de pizarra caen al camino con mucha

frecuencia. Este peligroso tramo continua por 250 metros a lo largo del camino.

3.3.4 Deslizamiento (Tipo d)

Los deslizamientos ocurren solamente en la zona de roca terciaria, cerca a Bella Vista. Esta roca terciaria consiste en arenisca dura y limolita frágil e meteorizada.

Cerca a Bella Vista, la topografía es suave, pero es un sector en el que al parecer podrían ocurrir fácilmente los deslizamientos. En la investigación se detectaron cuatro deslizamientos activos, de escala relativamente pequeña. Todas ellas son fallas de deslizamiento rotacional, en declives claros y planicies sedimentarias de depósitos de deslizamiento. Los extremos de estos deslizamientos alcanzan al camino existente, por lo que se considera posible que estos deslizamientos puedan dañar el camino en el futuro.

Además, se encontró gran lineamiento en la investigación de fotografías aéreas en un talud de montaña, aproximadamente a 100 metros por encima del camino. El mismo tiene una longitud de 1.6 km, paralelo al camino. Mediante investigación de campo, se confirmó que este lineamiento era un declive de deslizamiento (de 3 a 5 metros de altura), con fisuras claras, aunque el movimiento de este deslizamiento no alcanzó al camino y que ahora está estabilizado.

En todo caso, se debe tomar cuidadosa atención en la planificación de mejoras en el camino en esta región.

3.3.5 Arrastres de tierra y de escombros (Tipo e)

El arrastre de escombros es un movimiento rápido de tierra y arena inestable a lo largo de un sector de tipo canal. La fuente del material en movimiento se encuentra aguas arriba, y en muchos casos el material baja con agua.

Existen 14 puntos potenciales de arrastre de escombros, como se muestra a continuación :

Stability	SS	MS	SH	SL	TSS	Total
I	0	1	0	2	0	3
II	1	3	1	4	0	9
III	0	1	0	1	0	2
Total	1	5	1	7	0	14

Nota : SS = arenisca, MS = limonita
SH = lutita, SL = pizarra
(Todas éstas son rocas paleozoicas)
TSS = arenisca terciaria

El material originado en roca paleozoica consiste en pequeños fragmentos de piedra, arena y sedimentos, por lo que el movimiento puede ser llamado movimiento de tierra en vez de movimiento de escombros, y que el diámetro de los fragmentos de piedra es de 15 a 20 centímetros.

En la ubicación número 6, en Tabla 3.3-1 (cerca a Santa Bárbara), es notablemente predominante un talud natural que fue dañado por fallas y presenta muchas fisuras.

Los depósitos de tierra suelta, arena y grava, apilados cerca de la falla tienen posibilidad de caer como un flujo de escombros (masamorra). Una vez que este movimiento ocurra, con seguridad el camino será severamente dañado, por lo que se debe tomar cuidadosa atención, considerando apropiadas medidas de protección.

Dos lugares, donde con seguridad ocurrieron en el pasado algunos movimientos de escombros a gran escala, existen en Santa Ana (Punto L), ubicación número 154 en Fig. 3.3-1, y entre ubicaciones 199 y 212. En Santa Ana, una falla, paralela a la cumbre, se la considera como una fuente de material para movimientos. Sin embargo, en ambos lugares, se asignó estabilidad Grado II debido a que actualmente no están en actividad.

En la ubicación número 339, en la región de Bella Vista, se encontraron pedrones y arenisca terciaria. Estos pedrones inestables tienen enorme poder destructivo cuando empiezan a caer por un curso de agua. Aún si éstos parecen estar estables al presente, en el estudio se deben considerar medidas de protección.

3.3.6 Zona fracturada de falla (Tipo f)

Los lugares potenciales de desastre, de Tipo (a) a Tipo (e) descritos previamente, fueron clasificados principalmente por el tipo y forma de falla. Sin embargo, Tipo (f) es algo diferente de aquellos y está definido como un grupo de puntos de falla que están en una zona fracturada.

En el área de estudio se encontraron diez y nueve zonas fracturadas, aunque en uno de estos sitios, el grupo de reconocimiento de campo no pudo confirmar la falla. Se considera que la superficie de la línea de falla en este punto ha sido cubierta por material de detrito. En otras palabras, se confirmó la existencia de diez y ocho fallas, denominadas Falla A a Falla R, en los mapas geológicos que forman parte de este informe. Todas estas fallas son de pequeña escala, con un ancho de línea de falla de 10 a 30 cm, que consiste en arcilla. El ancho de la zona fracturada a lo largo de la línea de falla está entre 10 y 30 metros.

En una zona fracturada, las rocas se fracturan en piedras de algunas decenas de centímetros en diámetro. Pero la matriz de la zona fracturada está bien consolidada. Por lo tanto, los taludes son generalmente estables, ya que la estabilidad Grado I ocupa el 60 % de todas las zonas fracturadas.

Las zonas fracturadas, acompañadas por fallas de talud, fallas de terraplén y caída de rocas, se encontraron en ocho lugares. Entre ellos, tres fueron clasificados con la estabilidad Grado III :

- a) ubicación No. 41 (Falla - D)
- b) ubicación No. 92 (Falla - G)
- c) ubicación No. 248 (Falla - N)

Debido a que aparentemente una zona fracturada no es estable, se debe tomar cuidadosa atención en estas zonas durante el curso del estudio.

El número de lugares clasificados en esta clase se muestra en la siguiente tabla :

Stability	SS	MS	SH	SL	TSS	Total
I	0	2	1	6	2	11
II	1	1	0	3	0	5
III	0	0	1	2	0	3
Total	1	3	2	11	2	19

Nota : SS = arenisca, MS = limonita
SH = lutita, SL = pizarra
(Todas éstas son rocas paleozoicas)
TSS = arenisca terciaria

3.3.7 Aguas subterráneas

En la Tabla 3.3-2 se muestran noventa y tres lugares donde se observó la presencia de agua de manantial. Los números de lugares donde el agua de manantial sale del lecho de roca, entre roca y depósitos de detrito y de depósitos de detrito, son 25, 15 y 53, respectivamente, con relación al número total de 93 lugares.

Generalmente, el caudal de agua que fluye en cada uno de estos lugares es pequeño, menor a 10 litros/minuto en 70 lugares.

Se observó un mayor caudal de agua, cerca a 90 litros/minuto, en las ubicaciones números 12 y 304.

Frecuentemente se presentan aguas de manantial a lo largo de las fallas. Por ejemplo, las ubicaciones No. 11 y 13 están a lo largo de Falla B, al igual que No. 57 y 59 que están a lo largo de Falla H.

Se encuentran lugares con aguas de manantial en regiones donde lechos de roca fisurados están ampliamente distribuidos, como por ejemplo; entre Santa Bárbara y Challa, entre Puerto León y Chojña, y cerca a Carrasco.

El tratamiento de estas aguas superficiales debe ser considerado en el estudio.

3.4 Investigaciones por perforaciones

Se efectuaron perforaciones y análisis de laboratorio de rocas en seis puntos del área de estudio.

La longitud total de perforaciones efectuadas fue de 87.2 metros.

Asimismo, se realizaron ensayos de penetración (SPT) para los terrenos suaves de depósitos de detrito y roca terciaria muy meteorizada. Las muestras de roca dura, obtenidas en las perforaciones, fueron transportadas al laboratorio de SNC para realizar ensayos de compresión no confinada (UCT).

Un detalle de cantidades de perforaciones y análisis se presenta en la Tabla 3.4-1 :

Tabla 3.4-1 Sumario de perforaciones y análisis

Boring No.	Location (Km)	Geological Type	Length of Drilling (m)	Standard Penetration Test (Times)	Unconfined Compression Test (Piece)	Specific Gravity Test (Piece)
P1	0.9	Talus (Quaternary)	10.6	10	-	-
P2	8.9	Slate (Paleozoic)	15.0	-	2	2
P3	37.8	Slate (Paleozoic)	15.5	-	26	26
P4	81.8	Weathered Mudstone (Paleozoic)	15.5	-	-	-
P5	105.2	Sandstone (Mesozoic)	15.5	-	5	5
P6	112.2	Weathered Mudstone (Tertiary)	15.1	15	-	-
Total	-	-	87.2	25	33	33

3.4.1 Descripción de materiales de perforación

(1) P1 (L = 10.6 m)

Este punto está ubicado cerca a Santa Bárbara, donde existen depósitos de detrito sedimentario, por lo que también se efectuaron ensayos SPT durante las perforaciones. Se perforaron 10.6 m, verticalmente desde la superficie, pero no se encontró lecho de roca. Se confirmó que los materiales del sub-suelo contienen cascote y arena fina arcillosa.

El resultado de STP, valor-N, fluctuó ampliamente, por ejemplo, en el sub-suelo hasta 3 m de profundidad, estuvo entre 67 y 179; a profundidad de 3 a 10 m, entre 23 y 49. Esto seguramente se debió a la existencia de pedrones entre los depósitos.

(2) P2 (L = 15.0 m)

La perforación en este lugar se hizo en estratos de arenisca paleozoica, que es negra y dura, con muchas juntas. Por ésto, sólo se pudo obtener dos muestras de la perforación de roca para UCT.

(3) P3 (L = 15.5 m)

Este lugar también está en una zona de pizarra paleozoica, entre Puerto León y Chojña. La roca obtenida es de color gris, muy dura, con pocas juntas. En esta perforación se obtuvieron 26 muestras para UCT.

(4) P4 (L = 15.5 m)

Este punto está situado cerca a Carrasco, donde existe limolita paleozoica. Este limolita es dura, de color negro o gris, pero considerablemente meteorizada y frágil. Forma muchas fisuras finas, por lo es fácilmente rompible con un martillo de mano. No se obtuvo muestra para UCT.

(5) P5 (L = 15.5 m)

Este punto está ubicado entre Carrasco y Bella Vista. La perforación se realizó en forma completa en arenisca mesozoica, de color gris-amarillento o gris claro. Esta arenisca es muy dura, y se observaron muchas juntas en la parte superior de la perforación. En la parte baja, cambió a silicea con estrato de limolito de 30 a 40 cm de espesor, entre arenisca. Se obtuvieron cinco muestras para UCT.

(6) P6 (L = 15.1 m)

Se realizó esta perforación para obtener las características de limolita terciaria, que existe en la región de Bella Vista. Se encontró a la roca severamente meteorizada, con contenido de limolita arenosa dura. El color de la roca es café rojizo. Por ser la roca tan blanda, se realizó SPT. Los valores N dieron 60 a 80, a 4 metros debajo de la superficie.

3.4.2 Ensayo de compresión no-confinada

Los resultados de los análisis realizados se muestran en Tabla 3.4-2.

Se realizaron UCT (ensayo de compresión no-confinada) de pizarra meteorizada de P2, pizarra fresca de P3 y arenisca mesozoica de P5.

La resistencia promedio UCT de cada tipo de roca se muestra a continuación :

Rock	Average UCT strength (kg/cm ²)	Samples (pieces)
Weathered slate	250	2
Fresh slate	530	26
Mesozoic sandstone	640	5

Al parecer, estos valores son razonables, sin embargo es necesario considerar que las rocas cambian su resistencia dinámica con la influencia de la meteorización.

La cohesión y el ángulo de fricción interna de los materiales rocosos se describen en la Fig. 3.2-2. Estos valores para depósitos de detrito en P1 y limonita meteorizada en P6, se calcularon en base a los valores N.

Las características físicas, o coeficiente de rocas, se muestran en Tabla 3.4-3.

Tabla 3.4-2 Resultados de Análisis de Rocas

Boring No		P1	P2	P3	P4	P5	P6	
Geological Type		Talus (Quaternary)	Slate (Paleozoic)	Slate (Paleozoic)	Weathered Mudstone (Paleozoic)	Sandstone (Mesozoic)	Weathered Sandstone (Tertiary)	
Number of Test		10	2	26	0	5	15	
Standard Penetration Test	N-Value (Times)	Max.	179	-	-	-	-	115
		Min.	23	-	-	-	-	48
		Ave.	53	-	-	-	-	80
	Fatigue (Kg/cm2)	Max.	4.8	-	-	-	-	3.6
		Min.	3.4	-	-	-	-	2.7
		Ave.	3.9	-	-	-	-	3.1
Unconfined Compression Test	Breaking Strength (Kg/cm2)	Max.	-	327	882	-	847	-
		Min.	-	175	290	-	457	-
		Ave.	-	251	531	-	637	-
	Static Modulus of Elasticity (Kg/cm2) (x 10,000)	Max.	-	2.52	29.94	-	8.19	-
		Min.	-	2.73	4.68	-	4.39	-
		Ave.	-	2.63	12.55	-	6.53	-
Specific Gravity Test	Apparent Specific Gravity (G)	Max.	-	2.82	2.86	-	2.65	-
		Min.	-	2.81	2.81	-	2.58	-
		Ave.	-	2.82	2.84	-	2.55	-
	Bulk Density (Kg/cm3)	Max.	-	2.80	2.87	-	2.44	-
		Min.	-	2.78	2.80	-	2.36	-
		Ave.	-	2.79	2.84	-	2.41	-
Assumed Design Constant	Internal Friction Angle	Deg.	43	30 - 45	55 - 65	20 - 30	40 - 55	0 - 15
	Cohesion (C)	Kg/cm2	0 - 5	10 - 20	40 - 50	10 - 20	20 - 40	5.3

Note:

$$\text{Deg.}(P1) = (15 * N)^{1/2} + 15$$

$$C(P6) = 1/15 * N$$

Tabla 3.4-3 Constante Fisica Estimada
en Base a Grado de Rocas

Grade of Rocks	Modulus of Deformation (Kg/cm ²)	Cohesion (Kg/cm ²)	Internal Angle of Friction (Degree)	Seismic Velocity P(Kg/sec)	Rebound by Schmidt Hammer
A - B	More Than 5.0 x 10000	More Than 40	55 - 65	More Than 3.7	More Than 36
C(H)	5.0 x 10000 to 2.0 x 10000	40 - 20	40 - 55	3.7 - 3.0	36 - 27
C(M)	2.0 x 10000 to 0.5 x 10000	20 - 10	30 - 45	3.0 - 1.5	27 - 15
C(L)	0.5 x 10000 to 0.2 x 10000	10 - 15	15 - 40	1.5 - 1.0	Less than 15
D (Sandy Soil)	0.2 x 10000 to 0.01 x 10000	0 - 5	15 - 40	1.5 - 1.0	-
D (Clayey Soil)	Less than 0.01 x 10000	5 - 10	0 - 15	Less than 1.0	-

From: "Rock Mass Classification", (by Kikuchi), 1989

4. ESTUDIO BASICO DE MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA

4. ESTUDIO BASICO DE MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA

4.1 Problemas fundamentales del camino existente

En base a la descripción detallada en los capítulos precedentes del presente informe, se pueden resumir los problemas fundamentales del camino existente en las siguientes cuatro puntos, clasificadas como los más críticos :

1) Costos excesivos de transporte

Debido a las pobres condiciones del camino, la velocidad práctica de los vehículos es muy baja, por lo que toma demasiado tiempo en cruzar esta area. Combinando este aspecto con el hecho de que la relación de uso y desgaste de vehículos es mayor que la normal (debido a superficie del camino irregular y áspera), el resultado es que este camino es considerablemente más costoso que otros como un modo de transporte.

2) Cansancio de conductores

La existencia de puentes en estado ruinoso, camino angosto con curvatura horizontal pequeña, combinado con cortas distancias de visibilidad, hacen el uso de este camino física y mentalmente muy cansador para los conductores.

3) Frecuentes cierres del camino

Desastres frecuentes, como las fallas de talud, caídas de roca y desplazamientos de las bermas, hacen necesario cerrar el camino. Además, debido a falta de un sistema de información, en muchos casos cuando ocurren el cierre por un desastre, los vehículos tienen que esperar la terminación de trabajos de reparación, ya que llegan al sitio sin conocimiento de que el camino está temporalmente cerrado.

El sistema de reparación y mantenimiento obras de prevención de desastres algunas veces no funciona bien, prolongando el periodo de cierre.

4) Frecuentes accidentes graves de tráfico

No solo la frecuencia, sino la gravedad de los accidentes es importante en este tramo.

Este problema es causado por varias razones, que se enumer-

an a continuación. Es justo y apropiado que el proyecto tienda a eliminar, o por lo menos mejorar estos factores :

- a) alineamiento geométrico pobre (horizontal y vertical)
- b) ancho y composición insuficientes de sección transversal
- c) tratamiento pobre de la superficie del camino
- d) existencia de estructuras peligrosas
- e) insuficientes obras de drenaje y previsión de desastres
- f) ausencia de obras de seguridad de tráfico y señalización
- g) sistema pobre de información de reparación y mantenimiento

Con relación a los mencionados factores a), b) y c), existe, en apariencia, la necesidad de estudiar y comparar varios métodos de mejora, para determinar los más adecuados, ya que hay alternativas a ser consideradas para cada factor.

Los resultados de este estudio, que están descritos en este capítulo, influyen directamente en la evaluación de la factibilidad del proyecto.

El estudio del pavimento, factor c), será tratado en el siguiente capítulo, ya que no hay muchas ideas opcionales. Con respecto al factor d), será estudiado juntamente con los factores de mejora a), b) y c).

4.2 Norma y criterio de diseño

4.2.1 Política básica de mejoramiento de camino

La siguiente política básica para el estudio, está confirmada por SNC :

- a) La carretera debe ser mejorado de acuerdo con la Norma Boliviana (Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras - SNC : de aquí en adelante referido como "Norma").
- b) La carretera mejorada debe ser pavimentado, de dos vías.
- c) Para disminuir el requerimiento de fondos para el mejoramiento, el estudio debe tender a la máxima utilización del camino existente, y
- d) El resultado del estudio debe ser equilibrado y conforme (desde un punto de vista de ingeniería) con el programa de mejoramiento de los tramos adyacentes de la misma carretera.

4.2.2 "Norma" y clasificación de camino

La "Norma" especifica varios criterios de ingeniería para caminos, excepto para vías urbanas en las ciudades de Bolivia. Los caminos están clasificados por "Norma" en seis clases, dependiendo del volumen de tráfico esperado, como se muestra en Tabla 4.2-1.

Tabla 4.2-1 Clasificación de caminos, dada por "Norma"

Class	Traffic Volume	Number of Lanes
O	15,000<ADT	4=<
I.A	5,000<ADT<15,000	4
I.B	1,500<ADT< 5,000	2
II	700<ADT< 1,500	2
III	300<ADT< 700	2
IV.A	200<ADT< 300	2
IV.B	ADT< 200	2

Nota : 1) ADT es el "tráfico diario promedio", a diez años después de la fecha de terminación de la obra de construcción.

2) Número de vías en ambas direcciones.

Los principales criterios del diseño geométrico, estipulados en "Norma", se presentan en la Tabla 4.2-2.

Tabla 4.2-2 Norma para Diseño Geométrico de Carreteras (SNC)

Class	Topo- graphy	Design speed (km/h)	Sight distance (m)		Min.radius H. curves (m)	Super- elevation (%)	Vertical grade (%)	K-value		One lane width (m)	Shoulder width (m)	Min.median width (m)	Desirable pave- ment
			Stop	Passing				Convex	Concave				
0	flat land	120	300	500-(525)	665	6	3-(5)	219-112	77-53	3.50	3.5-3.0	10-18	Rigid
	hilly	100	210	580-(425)	415	6	3-(5)	107- 58	52-36	3.50	3.5-3.0	10-18	Rigid
	mountain	80	140	560-(325)	250	6	3-(5)	48- 30	32-24	3.50	3.5-3.0	3-10	Rigid
	steep mount	60	85	420-(240)	135	6	4-(6)	18- 14	17-15	3.50	3.0-2.5	3-10	Rigid
I.A and I.B	flat land	100	210	660-(425)	415-(375)	6-(8)	4-(5)	107- 58	52-36	3.50	3.5-2.5	3-10	Flex.
	hilly	80	140	560-(325)	250-(210)	6-(10)	4-(6)	48- 30	32-24	3.50	3.5-2.5	-	Flex.
	mountain	60	85	420-(240)	135-(115)	6-(10)	5-(7)	18- 14	17-15	3.50	3.5-2.5	-	Flex.
	steep mount	40	45	270-(160)	55-(45)	6-(10)	6-(8)	10- 9	12-11	3.50	3.0-2.5	-	Flex.
II	flat land	100	210	680-(425)	415-(375)	6-(8)	4-(5)	107- 58	52-36	3.65-3.35	3.0-2.0	-	Asph.Mac.
	hilly	70	110	490-(280)	185-(155)	6-(10)	5-(6)	29- 20	24-19	3.65-3.35	3.0-2.0	-	Asph.Mac.
	mountain	50	65	350-(200)	90-(75)	6-(10)	6-(7)	10- 9	12-11	3.65-3.35	3.0-2.0	-	Asph.Mac.
	steep mount	30	30	180-(120)	30-(25)	6-(10)	7-(8)	2	4	3.65-3.35	3.0-2.0	-	Asph.Mac.
III	flat land	80	140	560-(325)	250-(230)	6-(8)	6-(7)	48- 30	32-24	3.50-3.00	3.0-1.0	-	Gravel
	hilly	60	85	420-(240)	135-(115)	6-(10)	7-(8)	18- 14	17-15	3.50-3.00	3.0-1.0	-	Gravel
	mountain	40	45	270-(160)	55-(45)	6-(10)	7-(8)	10- 9	12-11	3.50-3.00	3.0-1.0	-	Gravel
	steep mount	30	30	180-(120)	30-(25)	6-(10)	7-(8)	1	2	3.50-3.00	3.0-1.0	-	Gravel
IV.A	flat land	60	85	420-(240)	135-(115)	6-(10)	7-(8)	18- 14	17-15	3.35-3.00	3.0-0.5	-	Stab. Soil
	hilly	40	45	270-(160)	55-(45)	6-(10)	8-(9)	10- 9	12-11	3.35-3.00	3.0-0.5	-	Stab. Soil
	mountain	30	30	180-(120)	30-(25)	6-(10)	9-(10)	2	4	3.35-3.00	3.0-0.5	-	Stab. Soil
	steep mount	20	20	120	12	6-(10)	10	1	2	3.35-3.00	3.0-0.5	-	Stab. Soil
IV.B	flat land	60	85	420-(240)	135-(115)	6-(10)	7-(8)	18- 14	17-15	3.35-3.00	3.0-0.5	-	Stab. Soil
	hilly	40	45	270-(160)	55-(45)	6-(10)	8-(9)	10- 9	12-11	3.35-3.00	3.0-0.5	-	Stab. Soil
	mountain	30	30	180-(120)	30-(25)	6-(10)	9-(10)	2	4	3.35-3.00	3.0-0.5	-	Stab. Soil
	steep mount	20	20	120	12	6-(10)	10	1	2	2.75	3.0-0.5	-	Stab. Soil

Note 1) Values in parentheses are allowable values against desirable ones.

2) Flex., Asph. Mac. and Stab. Soil mean flexible, asphalt macadam and stabilized soil surface pavement.

4.2.3 Clasificación y criterio de diseño para el camino de proyecto

(1) Clasificación

Asumiendo que el mejoramiento de la carretera camino estará completada para el año 2000, el volumen futuro de tráfico proyectado (ADT) en 2010 (año tomado como 10 años después de la terminación de la mejora) está examinado, determinando la clase de carretera de acuerdo a la "Norma". Esto es, 1,508 vehículos para la sección entre Santa Bárbara y Caranavi y 618 vehículos entre Caranavi y Bella Vista. Esto está descrito en el Capítulo 5 de este informe. Si el tramo en proyecto no estuviera dividido en dos sectores, el ADT podría ser considerado entre 1,500 y 5,000 vehículos/día.

La topografía en el área de estudio es muy empinada y montañosa. Por esto, la carretera de proyecto debe ser asignado como Clase I.B, y todos los valores de la fila denominada I.B, montaña empinada, en la Tabla 4.2-2, deben ser adoptados en el estudio.

(2) Criterio de diseño geométrico para la carretera proyectada

Añadiendo algunos criterios que no están incluidos en Tabla 4.2-2, todos los valores de criterios de diseño geométrico para el proyecto están listados en Tabla 4.2-3.

(3) Detalle de "Norma"

Algunos detalle en Tabla 4.2-3 están fuera del alcance de la "Norma". Esto se debe primeramente a la topografía en el área de estudio, y, en segundo lugar, a mantener conformidad con los planes de mejoramiento de otras secciones de la misma ruta (por ejemplo, sección Cotapata - Santa Bárbara y sección Bella Vista - Yucumo).

1) Comparación con otras secciones

Una comparación de algunos detalla del criterio de diseño geométrico se muestra en Tabla 4.2-4.

Con referencia a los valores de las Tablas 4.2-4 y 4.2-2, se puede comprender fácilmente que algunos criterios tuvieron que ser separados del límite de la "Norma" en casos de planificación de mejoramiento para otras secciones, donde la topografía es difícil, y para disminuir el requerimiento de fondos para el proyecto.

Tabla 4.2-3 Criterios de diseño geométrico para el estudio

Road classification	Class I.B, very mountainous	
Design vehicle	semi-trailer truck (WB-40) *1	
Design speed	40 km/h	
Stopping sight distance	45 m	
Passing sight distance	160 m	
Radius of horizontal alignment	desirable :	> 50 m *2
	minimum :	= 45 m
Superelevation rates	desirable :	< 8 % *2
	maximum :	= 10 %
Minimum radius for 2% superelevation of	(minimum)	300 m *3
Minimum radius without superelevation		1400 m
Grades for vertical alignment	desirable :	< 6 %
	maximum :	= 8 % *4
K-value : concave vertical curves	desirable :	12
	minimum :	11
: convex vertical curves	desirable :	10
	minimum :	9
Normal cross slope		2 %
Lane widths		3.50 m
Widening on curves for two lanes	250 m < R < 300 m :	0.4 m *2
(R = Radius of horizontal curves)	145 < R < 250 :	0.7 m
	100 < R < 145 :	1.0 m
	80 < R < 100 :	1.3 m
	65 < R < 80 :	1.6 m
	55 < R < 65 :	1.9 m
	45 < R < 55 :	2.2 m
Shoulder width	normal :	1.0 m *2
	exceptional :	0.6 m *2
Total width of cross section		>10.4 m *2
Width of side ditch		1.0 m
Clearance Height		>5.5 m

Note: *1 "Norma" has a category of SR (Semi-trailer), which is equivalent to WB-50 in AASHTO Specification, but one equal to WB-40 in AASHTO's.

"(3) Items out of "Norma" in this section.

*2 See, "(3) Items out of "Norma".

*3 Minimum superelevation 2 % coincides to normal cross slope.

*4 A continuous length of road with a 7-8% grade must be less than 400 m.

Tabla 4.2-4 Comparación de criterios de diseño geométrico para cada sección del Camino No. 3

Section	Projected ADT (vehl./d)	Topography	Design vehicle	Design speed (km/h)	Minimum radius (m)	Vert. grade (%)	Shoulder width (m)
La Paz-Cotapata	>1500	mountainous	SR	50	80	7.0	1.0
Cotapata-S/Barbara	>1500	steep mountain	CO	40-(15)	55-(25)	8.0	0.5
S/Barbara-B/Vista	>1500	steep mountain	WB-40	40	50-(45)	8-(10)	1-(0.6)
B/Vista-Quiquibey	?	mountainous	CO	50	80-(65)	7.0	1.0
Quiquibey-Yucumo	?	?	?	35	35	7.5	1.0
Yucumo-S/Borja	?	flat	SR	100	350	5.0	1.0
S/Borja-Trinidad	> 700	flat	SR	100	415	4.0	1.0

Note : The values in parenthesis are for exceptional use.

?: They are not recorded clearly in the SNC documents.

2) Ancho de la berma

Considerando la topografía en el área de estudio, es impráctico cumplir con el ancho mínimo de berma, de 2.5 a 3.0 m, estipulado en la "Norma". Esta situación será completamente igual en otras secciones con una topografía similar.

Con referencia a criterios para otras secciones, está confirmado que el ancho normal de berma en el estudio fue de 1.0 m (ver Tabla 4.2-4).

3) Vehículo de diseño y Sobreancho en curvas

El sobreancho en curvas de la vía es totalmente dependiente del tipo de vehículo de diseño. La "Norma" especifica cuatro categorías con relación al vehículo de diseño

- a)VT : automovil de pasajeros
- b)CO : camión convencional
- c)O : bus grande
- d)SR : semitrailer (equivalente a WB-50 de AASHTO).

El sobreancho requerido en curvas en caso de una velocidad de diseño de 40 km/h, calculado de acuerdo con las fórmulas de "Norma", AASHTO y Norma Japonesa, se presenta en Tabla 4.2-5.

Cuando se adopta SR como vehículo de diseño, el sobreancho requerido será 3.26 m; es decir, que el ancho total del camino será casi igual al de un camino de tres vías.

Considerando que la longitud del camino en las secciones con curvas será bastante larga, aún después del mejoramiento, es seguro que resultará en un mayor costo del proyecto.

Por otra parte, a pesar de que el tráfico actual en el camino en estudio no incluye semitrailers, se debe tomar en cuenta que estos vehículos eventualmente usarán el camino mejorado, como ocurrió con otras vías recientemente pavimentadas en Bolivia.

Tabla 4.2-5 Sobre ancho requerido para girar en curvas (para 2 vías, velocidad de diseño 40 km/h)

Radius of curve	"Norma" (SR)	AASHTO (WB-50)	AASHTO (WB-40)	Japanese (s/trailer)	"Norma" (O)	"Norma" (CO)
45 m	3.26 m	3.17 m	2.26 m	2.42 m	2.29 m	1.61 m
50	2.96	2.86	2.05	2.18	2.08	1.47
100	1.59	1.47	1.07	1.09	1.16	0.85
150	1.12	1.00	0.73	0.73	0.83	0.63
250	0.73	0.60	0.44	0.44	0.56	0.43

Nota : ver Apendice 4-1

consiguientemente, los siguientes criterios están confirmados como adecuados para el Estudio :

- a) adoptar WB-40 como vehículo de diseño, que es un poco menor que SR ó WB-50,
- b) disminuir el ancho de la berma del camino en proporción al sobreancho necesario en lugares con radios de curva menores que 80 m. Como resultado, el ancho total del camino será menor que 10.4 m, como se muestra en Figuras 4.2-1 y 4.2-2, en el siguiente inciso,
- c) Instalar señalización de tráfico apropiada y señales de prevención en curvas con ancho de berma reducido.

Los valores de sobreancho, por ajuste de radio de curva horizontal, mostrados en Tabla 4.2-3, fueron valores prácticamente modificados de la Tabla 4.2-4 (WB-40).

(4) Sobre-elevación y radio de alineamientos horizontales

Los valores deseables de sobre-elevación y radio de curvas horizontales de Tabla 4.2-2, son 6 % y 55 m, respectivamente. Sin embargo, hay una estipulación en la "Norma" para modificar el valor deseable de sobre-elevación cuando el

area en consideración no es tan fría que la superficie del camino se congela. De acuerdo con esta estipulación, un valor de 8 % puede ser adoptado como sobre-elevación para el Estudio. En este caso, el valor deseable como radio de curva horizontal también puede ser reducido a 50 m.

(5) Criterio de diseño para estructuras

Con relación a estructuras, tales como puentes, los siguientes puntos fueron confirmados para el estudio :

- a) carga viva en la estructura : HS-20 en Espec. AASHTO
- b) resistencia admisible de hormigón
 - : 350 kg/cm²
 - para hormigón pretensado
 - : 210 kg/cm²
 - para otros
- c) otros detalles y factores : de acuerdo con Espec. AASHTO

4.2.4 Sección transversal ilustrativa

Figuras 4.2-1, 4.2-2 y 4.2-3 ilustran secciones transversales típicas del camino mejorado, como resultado de las consideraciones descritas en el inciso anterior.

4.3 Alternativas de alineamiento geométrico

4.3.1 Generalidades

Se puede decir que el alineamiento del camino existente sigue, de un modo general, la ruta más corta entre Santa Bárbara y Bella Vista. Observando la topografía del sector, es imposible encontrar una ruta más ventajosa que la del camino existente.

Por lo tanto, el alineamiento para la mejora debe ser básicamente similar al del camino existente.

Para mejoramiento del camino, en este caso, el incremento del ancho a dos vías es el elemento principal primario del estudio.

La Tabla 4.3-1 muestra el resultado de la comparación de algunas ideas de cómo incrementar el ancho del camino, en un terreno típico.

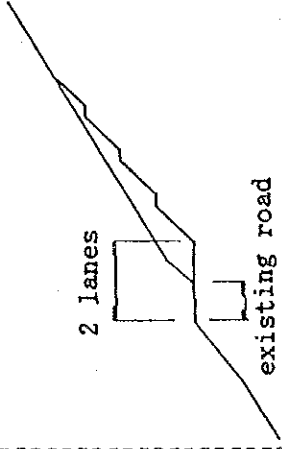
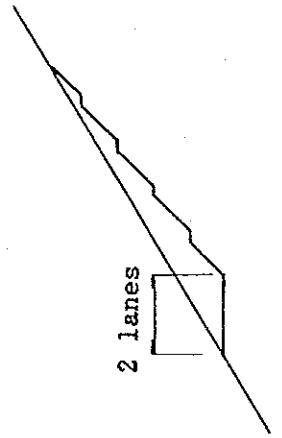
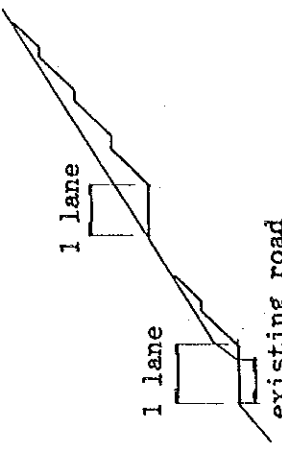
De esta tabla, es aparente que lo más favorable es el incremento del ancho del camino existente a dos vías, especialmente desde el punto de vista económico.

En base a este entendido, se elabora un estudio alternativo de mejoramiento geométrico, principalmente para subsecciones limitadas, donde : 1) los alineamientos horizontal y vertical del camino existente no cumplen con los criterios propuestos, descritos en "4.2 - Normas y criterios de diseño", y 2) es probable la ocurrencia de un desastre en el futuro y se considera mejor cambiar el alineamiento del camino, de manera de evitar eventuales daños.

En los siguientes incisos, de 4.3.2 a 4.3.7, están descritos los resultados del estudio, tendientes a encontrar el alineamiento de camino más apropiado entre Santa Bárbara y Bella Vista.

Con relación a puentes, los sitios y las dimensiones requeridas también fueron estudiados conjuntamente con el alineamiento del camino, y los resultados se describen en inciso 4.4.

Tabla 4.3-1 Tabla de Comparación de Métodos de Incremento de Ancho

Alternatives	Widening of Existing Road	New Alignment	Dual Carriage Way Road
Sketch			
Approx. Const. Cost	US\$ 1,277,000 /km	US\$ 1,950,000 /km	US\$ 1,635,000 /km
Economic Effect	Cost is the lowest	50% higher than the lowest	30% higher than the lowest
Obstruction of Traffic Flow	Reasonable	Reasonable	Inconvenience of going in and out the neighbouring area.
Ease of Construction	Construction is possible conducting time limit to traffic movement.	Construction is possible without obstruction of traffic movements.	Construction is possible if traffic flow is converted into the new alignment.
Traffic safety	Fair	Fair	Traffic movement is very safe due to the oneway
Comprehensive Evaluation	The alternative of "Improvement of Existing Road" is significantly superior to other alternatives from the view point of not only the cheapest cost but also the overall evaluation. Therefore, the alternative "Improvement of Existing Road" is adopted.		

4.3.2 De Santa Bárbara a Punto F

Como se describe en "2.3 - Camino de proyecto existente", el camino existente en esta sub-sección sigue en forma ondulada a lo largo del Rio Coroico. Se puede decir que la posición del camino es adecuada. Es decir, que mientras la pendiente natural del talud, en general, es más suave en la parte alta que en la parte baja de la montaña en esta sección, ya que el camino fue construido aproximadamente en el punto de cambio de pendiente, como se muestra en Foto-3. El camino se extiende descendiendo hasta encontrar un valle grande, conectando los lugares a manera de cruzar el valle.

En otras palabras, si el camino hubiera sido construido en un nivel más alto del talud natural, su longitud hubiera sido mayor y su alineamiento vertical más severo que los encontrados en el camino existente. Por el contrario, si hubiera sido construido en un nivel más bajo, el costo de la construcción hubiera sido mucho mayor, debido a topografía más irregular y empinada.

Bajo esta situación, se concluyó que el mejoramiento geométrico requerido para esta sub-sección ciertamente debe ser solo un pequeño cambio en alineamiento horizontal, y el incremento de ancho del camino existente en varios puntos. Por lo tanto, no es necesario un estudio alternativo, excepto en los casos descritos a continuación.

En los Puntos A, B, C y F, se deben construir nuevos puentes, cuya ubicación debe ser seleccionada considerando el requerimiento en la longitud de puente y el costo de cada sitio probable.

En particular, es probable la ocurrencia de arrastre de escombros de gran escala en Punto A, por lo que se considera necesario un nuevo puente, para desviarse de dicha peligrosa sección.

El resultado de estudio de alternativas en estos lugares se describe en "4.4-Alternativas para estructuras de puentes", en este capítulo.

4.3.3 De Punto F a Punto K

(1) Condiciones existentes y método de mejoramiento

Entre los Puntos F y J + 2.4 km, el camino de estudio se encuentra al lado del Rio Coroico, con una distancia hori-

zontal máxima de menos de 50 m, de la orilla del río.

En el camino existente en esta sub-sección, se encuentran pocas curvas horizontales con radio menor a 50 m. El número de dichas curvas es, en promedio, 0.3 por km, por lo que comparando con el promedio de 0.9 por km en toda la extensión del camino de Estudio, el alineamiento horizontal del camino existente en esta sub-sección es el más satisfactorio. Con respecto al alineamiento vertical, el camino desciende suavemente, siguiendo la orilla del río. No se encontraron problemas en esta sub-sección.

Desde el punto de vista de la sección transversal, el aspecto del tramo desde Punto H+2.5 km a I+0.35 km, muestra una de las condiciones más severas en todo el camino en estudio, consistiendo en acantilados muy empinados en el lado de la montaña, con una extensión de 750 m, como se describe en "2.3.2-Resultado de reconocimiento del terreno". El ancho del camino existente es tan limitado, que su incremento requerirá un alto costo de construcción. Por lo tanto, se presentan ideas alternativas para el mejoramiento de este tramo.

De Punto J + 2.4 km a Punto K, el camino pasa cerca al punto de cambio de pendiente geográfica del talud de la montaña, similar al tramo que se extiende entre Santa Bárbara y Punto F.

Como resultado, se planea mejorar la extensión completa de esta sub-sección, con excepción de Punto H+2.5 km a Punto I+0.35 km, mediante un ajuste parcial del alineamiento, y un incremento del ancho del camino existente.

(2) Ideas alternativas

Como ideas alternativas para la sección de Punto H+2.5 a Punto I+0.35, se propusieron un túnel, un semitúnel (túnel artificial) y un camino de dos vías dividido (consistente en un túnel de una vía y la otra vía by steg : medio-puente), en adición a la idea fundamental de "incremento del ancho del camino existente", considerada inicialmente.

Se aplican a la ruta del camino existente, la idea de incrementar el ancho del camino existente solamente mediante movimiento de tierras, la idea de "semi-túnel" y la idea de "camino de dos vías divididas", para incorporar parcialmente su uso. En estos casos, un cambio en el alineamiento horizontal debe ser considerado solamente en el punto donde

el camino cruza el Rio Cajones, para eliminar una pequeña curva existente (ver Fig. 4.3-1).

Por el contrario, el "túnel" sería construido con un nuevo alineamiento. Considerando la distancia de visibilidad de un conductor en un túnel sin iluminación, no solo el alineamiento horizontal del túnel debe ser recto, sino que la pendiente vertical también debe ser constante.

En el caso en que se planean dos túneles y un puente para esta sub-sección, como se muestra en Figs. 4.3-1 y 4.3-2, el estribo del puente en el Rio Cajones se puede mantener a una altura práctica de cerca a 6 m y una pendiente vertical de 4 %. Si éste es el caso, estaría dentro del rango admisible desde el punto de vista de los gases de escape debidos al volumen de tráfico.

(3) Comparación de ideas alternativas

La comparación de ideas alternativas se realizó en base a los siguientes criterios :

- efecto económico
- capacidad de tráfico
- facilidad de construcción
- prevención de desastres

En consecuencia, el resultado de la comparación (como se muestra en Tabla 4.3-2) muestra que la idea de adoptar el túnel es la elección óptima entre las alternativas. En particular, esta alternativa es preferible para la prevención de desastres.

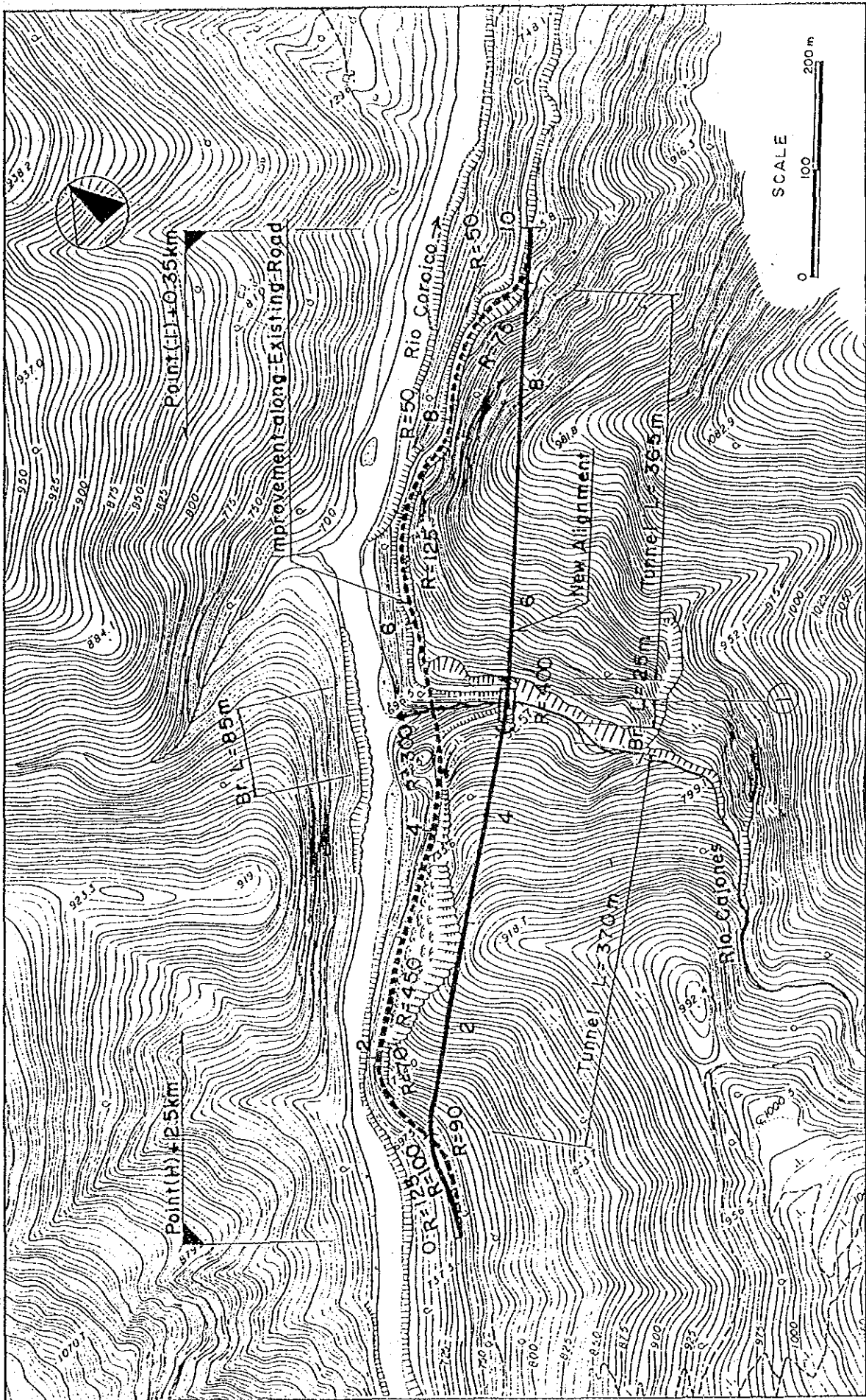


Fig. 4.3-1 Comparación de alternativas entre Punto (H)+2.5 km y Punto (I)+0.35 km

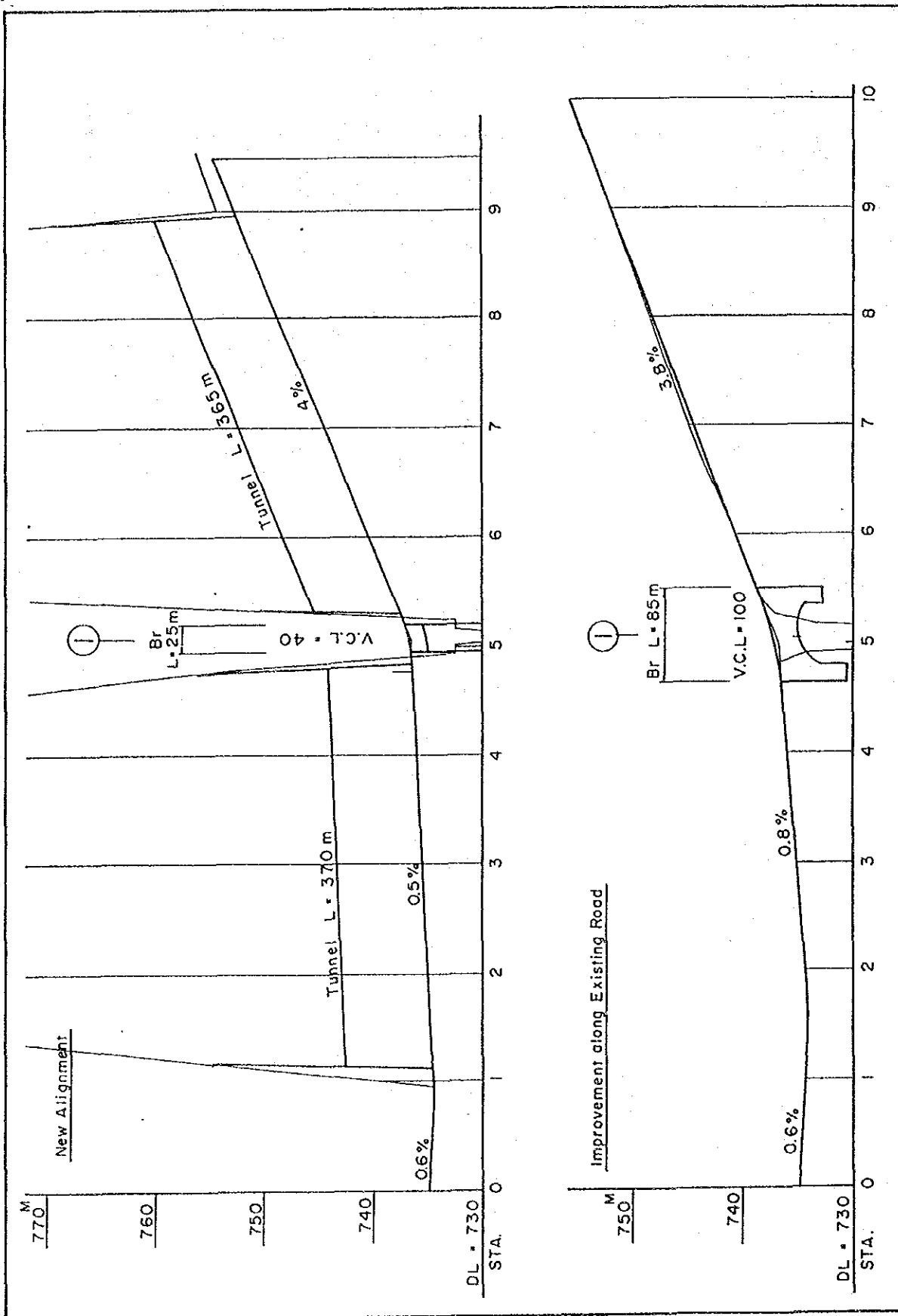


Fig. 4.3-2 Perfil de comparación de ideas alternativas entre Punto (H)+2.5 km y Punto (I)+0.35 km

Tabla 4.3-2 Comparación de Alternativas
entre Punto (H) + 2.5 km y Punto (I) + 0.35 km

	Widening of Existing Road (earth-work)	New Alignment (tunnel)	Improvement of Existing Road (semi-tunnel)	Dual Carriage Way Road (tunnel + steg)
Road Length	1,000 m	950 m	1,000 m	southward = 1,000 m ; northward = 950 m
Alignment Horizontal	Curvature = 294 deg./km : Nos. of Curves = 7	Curvature = 64 deg./km : Nos. of Curves = 3	Curvature = 294 deg./km : Nos. of Curves = 7	Curvature = 179 deg./km : Nos. of Curves = 5
Alignment Vertical	Steepest Grade = 3.8 % , length = 500 m Average Vertical Grade = 2.3 %	Steepest Grade = 4.0 % , length = 445 m Average Vertical Grade = 2.2 %	Steepest Grade = 3.8 % , length = 500 m Average Vertical Grade = 2.3 %	Steepest Grade = 4.0 % , length = 445 m Average Vertical Grade = 2.3 %
Croquis of Each Idea				
Approx. Const. Cost	12,511,000 US\$	4,380,000 US\$	5,792,000 US\$	5,521,000 US\$
Const. Cost	Highest (Much rock excavation would be required.)	Lowest	16 % higher than the Lowest	10 % higher than the Lowest
H. Alignment	Worse	Very Good (H. and V. alignment : straight.)	Worse	southward = Worse ; northward = Very Good
Construction	Possible but difficult (considering traffic)	No problem	Possible but difficult (considering traffic)	No problem but requires long time
Bridge	Required length = 85 m	Required length = 25 m	Required length = 85 m	Requires two narrow bridges (85 m and 25 m)
Traffic Safety	Possible disaster such as rock fall	Safe	Damage to road by disaster is avoidable	southward = Dangerous ; northward = Safe Safer than others due to dual carriage way
Evaluation and Recommendation	"New Alignment with tunnels" is selected as the most recommendable idea. This idea has more advantages in construction cost, construction easiness, traffic safety, road alignment and total road length.			

4.3.4 De Punto K a Caranavi

(1) Condiciones existentes y método elegido para mejoramiento

Las características topográficas en los alrededores del camino existente en esta sección son moderadamente suaves, excepto en la sub-sección del Punto L+5.1 km al M+1.3 km.

Entre estos puntos, el camino se extiende a lo largo de un talud empinado, con muchos pliegues hacia abajo, al Río Coroico.

El alineamiento horizontal del camino existente es satisfactorio en su totalidad, y cumple con los criterios geométricos establecidos en este Estudio, con excepción de limitados sectores que tienen curvatura pequeña.

Con respecto a la sub-sección entre Puntos L+5.1 km y M+1.3 km, mencionada anteriormente, es imposible encontrar una ruta alternativa mejor, por lo que el camino debe ser mejorado siguiendo el alineamiento existente.

El alineamiento vertical del camino existente es también satisfactorio, con excepción de la sub-sección entre Puntos K+2.5 km y L+2.1 km, donde el camino tiene una pendiente excesiva de 8 %, además de innecesarias subidas y bajadas, a pesar de la topografía moderada, como se describe en el inciso 2.3.2(3), 1). Por otra parte, existen tres zonas que fueron afectadas por deslizamientos en el pasado, que aún están sujetas a este peligro.

Por lo tanto, para disminuir la pendiente vertical, así como para evitar el paso por áreas potenciales de deslizamientos, se ha presentado y evaluado un nuevo alineamiento para esta sub-sección. El resultado se muestra más adelante.

El incremento del ancho del camino existente está recomendado como una forma de mejorar toda la extensión del mismo, excepto en esta sub-sección. Incidentalmente, el camino existente, desde Punto M+1.3 km hasta Caranavi, ya ha sido mejorado a un nivel de camino ripiado, con un ancho aproximado de 9 m.

(2) Alineamiento alternativo de Punto K+2.5 km a L+2.1 km

En Fig. 4.3-4 se muestran los alineamientos vertical y horizontal del camino existente, y la ruta alternativa.

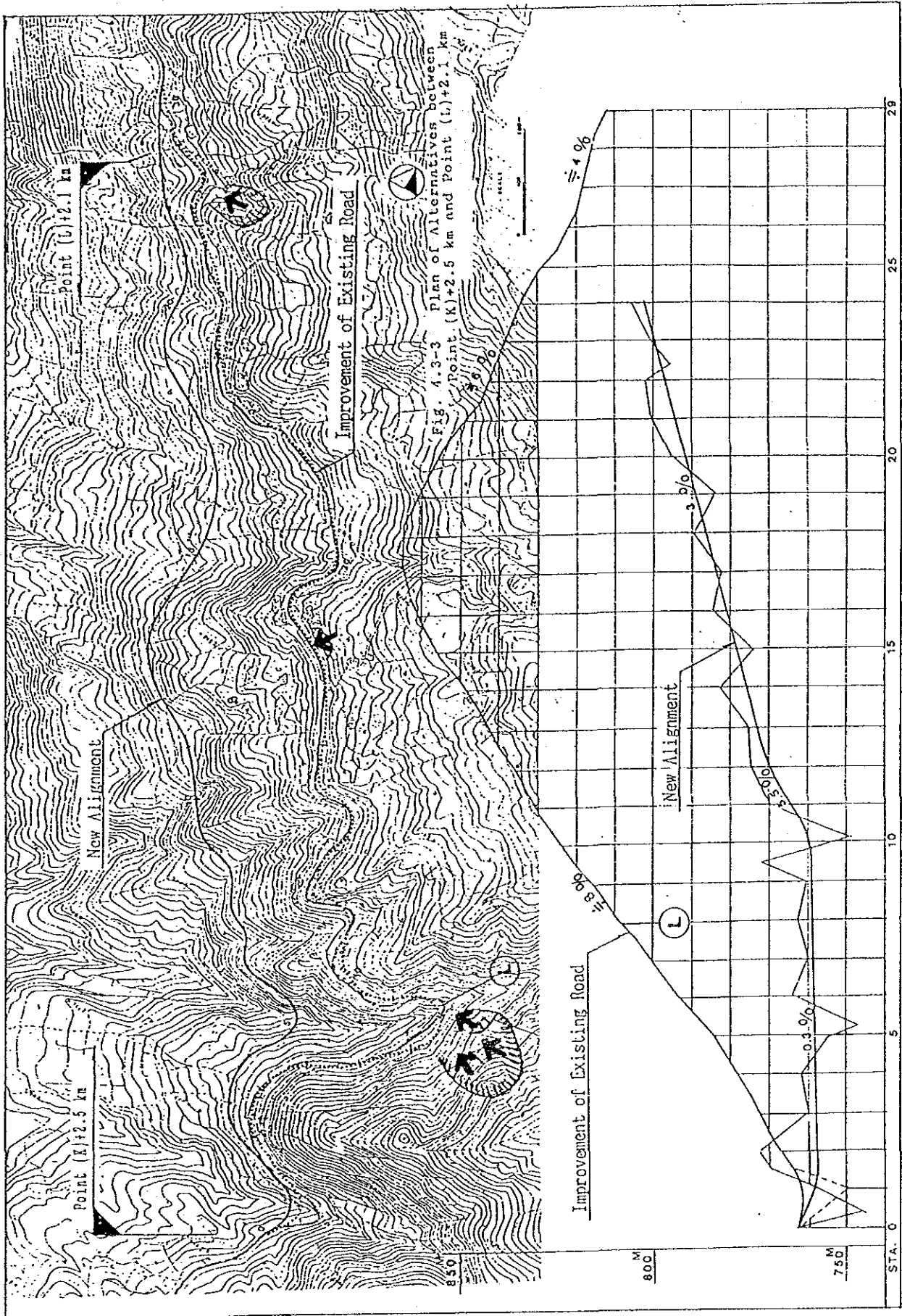


Fig. 4.3-4 Perfil de alternativas entre Punto (K)+2.5 km y Punto (L)+2.1 km

El nuevo alineamiento pasa a una distancia segura de lugares potenciales de desastre, con una pendiente vertical menor a 5.5 %. Además, la longitud total del camino a lo largo del nuevo alineamiento es 600 m menor que la del camino existente.

La Tabla 4.3-3 muestra una comparación de dos propuestas de mejoramiento de carretera : una que consiste en la construcción a lo largo de un nuevo alineamiento, y el otro en el incremento del ancho del camino existente. En el segundo caso, la pendiente vertical del camino existente no será mejorada, y mantendrá un máximo de 8 %.

Al evaluar todos los elementos de la tabla antes indicada, es aparente que la construcción por un nuevo alineamiento es realmente preferible, y debe ser recomendada como el procedimiento para la mejora.

Tabla 4.3-3 Comparación de Alternativas en Punto (L), Santa Ana

	Improvement of Existing Road	New Alignment
Road Length	2,900 m	2,300 m
Alignment Horizontal	Curvature = 539 deg./km : Nos. of Curves = 19	Curvature = 426 deg./km : Nos. of Curves = 15
Vertical	Steepest Grade = 8.0 %, length = 500 m Length with more than 5 % Grade = 1,900 m with less than 5 % Grade = 1,000 m Average Vertical Grade = 5.9 %	Steepest Grade = 5.5 %, length = 190 m Length with more than 5 % Grade = 200 m with less than 5 % Grade = 2,100 m Average Vertical Grade = 1.9 %
Rough Const. Cost	3,183,000 US\$	2,776,000 US\$
Const. Cost	14 % higher than "New Alignment"	Cheaper than "Improvement of Existing Road"
V. Alignment	500 m with 8 % does not comply with "Norma"	Very Good
Construction	Worse	Better as is a new construction
Disaster	Worse. 4 disaster spots exist along road.	Better. Detouring problematic disaster zone.
Evaluation and Recommendation	"New Alignment" is recommendable because it is better in all comparison items.	

4.3.5 De Caranavi a Punto Q (Carrasco)

(1) Condiciones del camino existente y método de mejora

Esta sección está ubicada a un lado del río. El alineamiento y ancho del camino existente son relativamente satisfactorios, comparados con otras secciones cubiertas por el Estudio de mejoramiento, y no hay problema con el incremento del ancho del camino existente.

Sin embargo, dos lugares deben ser considerados como problemáticos, como se describe en incisos 2.3.2(3) y (4). Uno de ellos está en las cercanías del Punto O+1.8 km, con una extensión de 250 m, donde la pendiente vertical del camino existente es cercana a 11 %. Para mejorar esta condición, parece ser necesaria la construcción de un variante, con un nuevo alineamiento, en vez de incrementar el ancho del camino existente.

El otro lugar está cerca al Punto P+1.7 km, donde el ancho del camino existente es de 3.2 m. Sin embargo, esta situación se extiende solo por 150 m. La topografía en este sector es muy severa, es decir, existen acantilados de roca casi verticales, tanto al lado de montaña como hacia el valle. Debido a esta realidad topográfica, es difícil encontrar un alineamiento alternativo, apropiado y ventajoso, para hacer un variante en este sector.

Considerando esta situación y el hecho de que la distancia de esta sub-sección no es grande, se planea y recomienda el incremento del ancho del camino existente, como el método más aconsejable para el mejoramiento de este tramo.

(2) Alineamiento alternativo en el Punto O+1.8 km

Con el objeto de mejorar el alineamiento vertical en esta sub-sección, se han comparado y evaluado un mejoramiento en el camino existente, y la construcción de un variante con un nuevo alineamiento.

Esta comparación se muestra en las Figs. 4.3-5 y 4.3-6, y en la Tabla 4.3-4. Con el mejoramiento del camino existente, es posible que la pendiente vertical sea menor a 7 %, lo cual requiere un considerable volumen de movimiento de tierra.

El nuevo alineamiento pasa por un área que ha sido sometida a deslizamientos en el pasado; sin embargo, al parecer esta

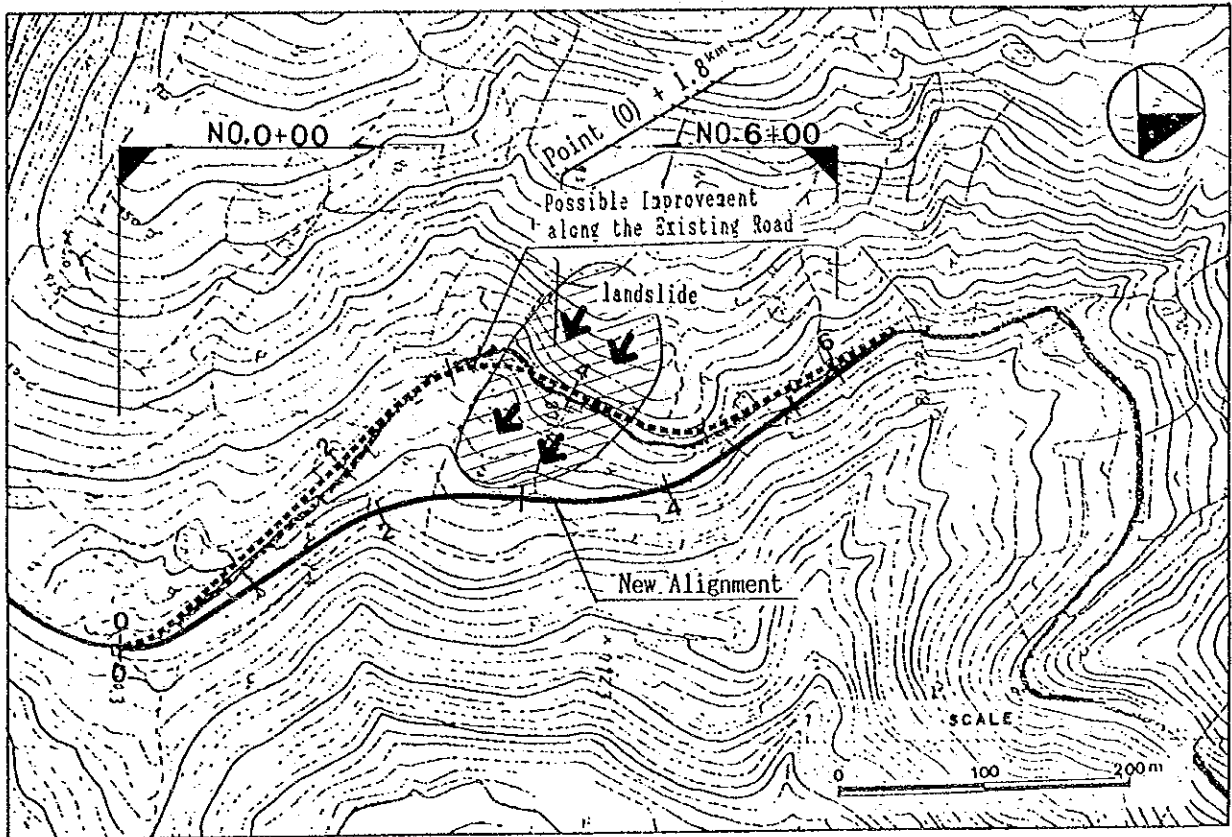


Fig. 4.3-5
 Plano de comparación de ideas alternativas en Punto (O)+1.8 km

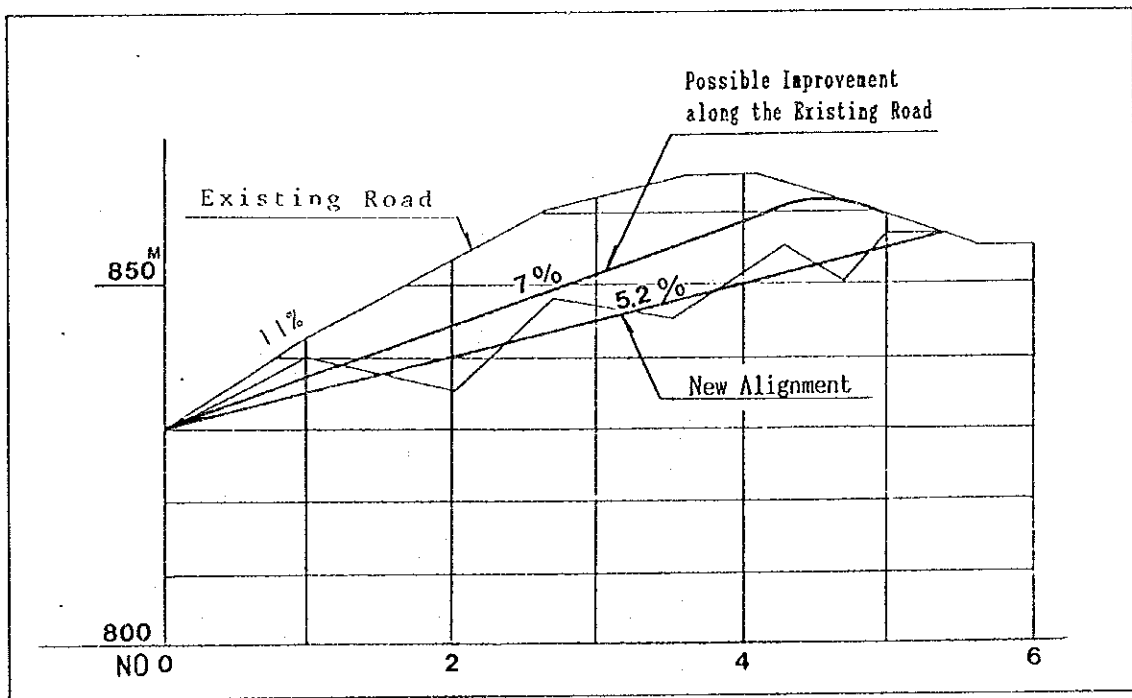


Fig. 4.3-6
 Perfil de comparación de ideas alternativas en Punto (O)+1.8 km

Tabla 4.3-4 Comparación de Alternativas en Punto (O) + 1.8 km

	Improvement of Existing Road	New Alignment
Road Length	600 m	540 m
Alignment Horizontal	Curvature = 653 deg./km : Nos. of Curves = 3	Curvature = 600 deg./km : Nos. of Curves = 3
Vertical	Steepest Grade = 7.0 %, length = 460 m Length with more than 5 % Grade = 560 m with less than 5 % Grade = 40 m Average Vertical Grade = 6.6 %	Steepest Grade = 5.2 %, length = 540 m Length with more than 5 % Grade = 540 m with less than 5 % Grade = 0 m Average Vertical Grade = 5.2 %
Rough Const. Cost	1,027,000 US\$	495,000 US\$
Const. Cost	More than double of "New Alignment". Improvement of the existing road's V. alignment (11%) requires much cost.	Cheaper than "Improvement of Existing Road"
V. Alignment	Worse	Better
Construction	Worse	Better as is a new construction
Disaster	No problem	Passing land slide remains zone, but no problem. It has already been stabilized.
Evaluation and Recommendation	"New Alignment" is selected as a better alternative, mainly due to less construction cost.	

situación está estabilizada, por lo que no se considera necesario prestar especial atención, fuera de la instalación de obras comunes de drenaje.

Durante el reconocimiento del terreno de las cercanías, en el camino existente (que fue construido después de un deslizamiento) se observó la presencia de aguas subterráneas y superficiales en el lado de arriba, lo que hace al suelo inestable, especialmente en la parte baja del camino existente, donde pasa el nuevo alineamiento.

Como resultado de la comparación, se ha confirmado que la nueva construcción de un variante por un nuevo alineamiento es mucho más ventajosa que la mejora del camino existente, desde varios puntos de vista, como se indica en la Tabla 4.3-4.

4.3.6 De Punto Q (Carrasco) a Punto S

(1) Condición del camino existente

La topografía general en este tramo es relativamente moderada. El incremento del ancho del camino existente no sería muy dificultoso. Sin embargo, esta sección se caracteriza por una pendiente vertical muy anunciada en el camino existente, puesto que desde Punto Q, a una altitud de 830 msnm, a Punto S, cuya altitud es de 1,340 msnm, el camino sube constantemente con una pendiente vertical promedio de 6.3 %.

Investigando este tramo, se ve que es aparentemente imposible encontrar una nueva ruta para la carretera, y que eliminaría drásticamente el problema descrito. Por lo tanto, la idea más ventajosa para esta sección sería básicamente el mejoramiento del camino existente.

(2) Alineamiento alternativo desde Punto Q + 5 km

Suponiendo que el camino existente debe ser mejorado, la sub-sección de 1.2 km de longitud desde el Punto Q+5 km sería crítica en el cumplimiento del criterio de diseño referente a pendiente vertical. Por esta razón, la idea alternativa de construcción de una variante, con un nuevo alineamiento, como se muestra en Figs. 4.3-7 y 4.3-8, se ha propuesto y comparado con el caso de mejoramiento del camino existente en esta sub-sección.

Como se muestra en la Tabla 4.3-5, está confirmado que la construcción de un camino por un nuevo alineamiento es más favorable, no solo por las características geométricas, sino también desde un punto de vista económico. En consecuencia, se recomienda la alternativa de un nuevo alineamiento a ser desarrollado entre los Puntos Q+5 km y Q+6.2 km, y el mejoramiento del camino existente en las secciones restantes del tramo, entre Punto Q y Punto S.

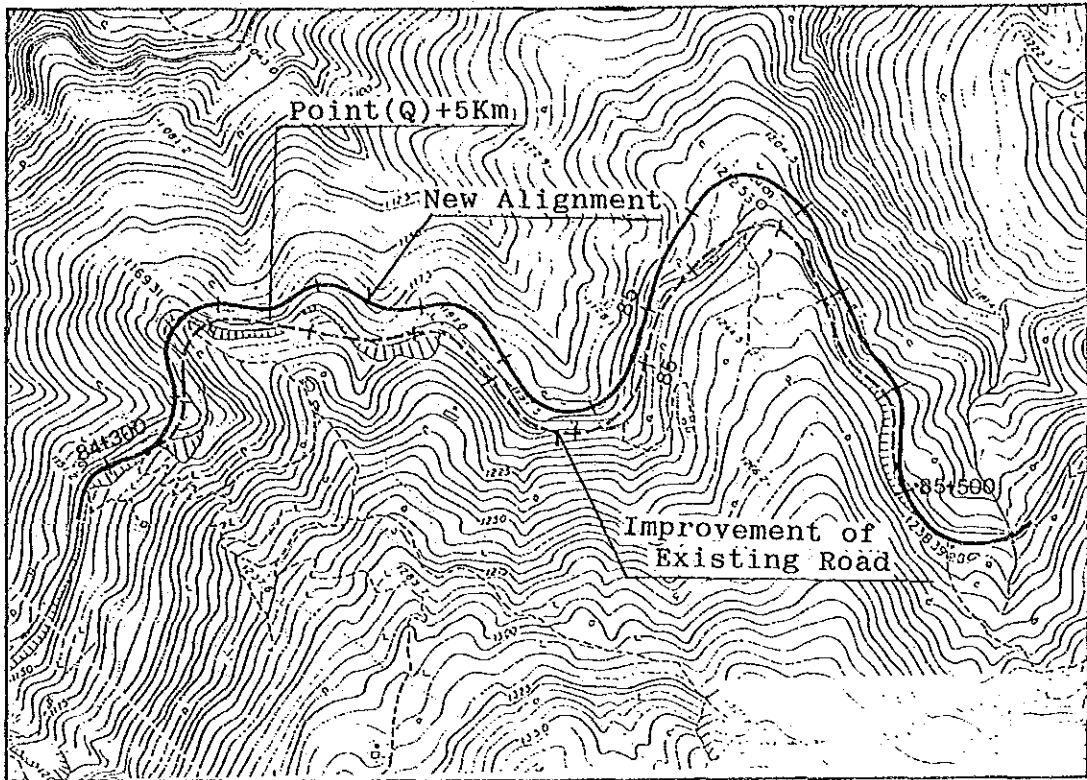


Fig. 4.3-7 Plano de alternativas en Punto (Q)+5 km

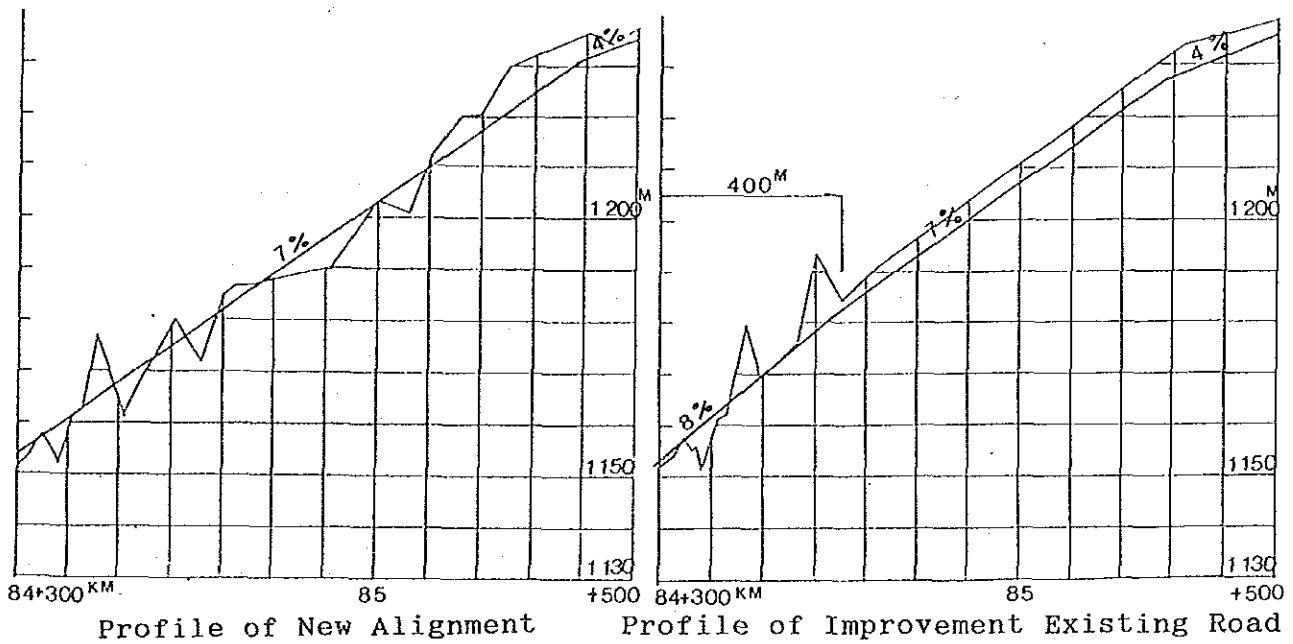


Fig. 4.3-8 Perfil de alternativas en Punto (Q)+5 km

Tabla 4.3-5 Comparación de Alternativas en Punto (Q) + 5 km

	Improvement of Existing Road	New Alignment
Road Length	1,200 m	1,200 m
Alignment Horizontal	Curvature = 573 deg./km : Nos. of Curves = 9	Curvature = 563 deg./km : Nos. of Curves = 11
Vertical	Steepest Grade = 8.0 %, length = 400 m Steep Grade = 7.0 % Length = 500 m Average Vertical Grade = 6.8 %	Steepest Grade = 7.0 %, length = 1,100 m Average Vertical Grade = 6.8 %
Construction Cost	US\$ 1,374,000-	US\$ 968,000-
Const. Cost	42 % higher than "New Alignment"	Cheaper than "Improvement of Existing Road"
V. Alignment	400 m with 8 %, 500 m with 7 % and 200 m with 4 %	1,100 m with 7 % and 100 m with 4 %
Comparison	Construction Worse because of control for existing traffic	good
Evaluation and Recommendation	Although there is not so much difference between 2 cases in horizontal alignment, "New Alignment" is superior in vertical alignment and economic aspects. So, "New Alignment" is recommendable.	

4.3.7 De Punto S a Punto V

(1) Condición del camino existente y rutas alternativas

En esta sección, el camino debe cruzar dos cadenas de montañas. Los puntos más bajos de estas montañas, en las cercanías del camino existente, tienen altitudes de 1,500 y 1,235 msnm, respectivamente.

Desde Punto S, el camino sube y baja repetidamente con pendiente vertical considerable, de más de 8 %. Pasa sobre la primera cadena montañosa en un punto con altitud de 1,543 m, y continúa hacia la segunda cadena, a la que cruza en el Punto V, que tiene la menor altitud (1,235 m) en el área.

A pesar de que el Punto V parece ser el mejor lugar para cruzar la segunda cadena de montañas, los alineamientos horizontal y vertical del camino existente en esta sección son inadecuados (especialmente de Punto T+7.4 km a Punto U+0.7 km). Desafortunadamente, debido a la accidentada topografía del sector, es aparentemente imposible mejorar el trazado de camino en esta sub-sección, haciendo que sus características geométricas cumplan con los criterios de diseño.

Además, en la ruta existente se identificaron cuatro puntos potenciales de desastre, constituyendo otro problema evitarlos o construir medidas de prevención.

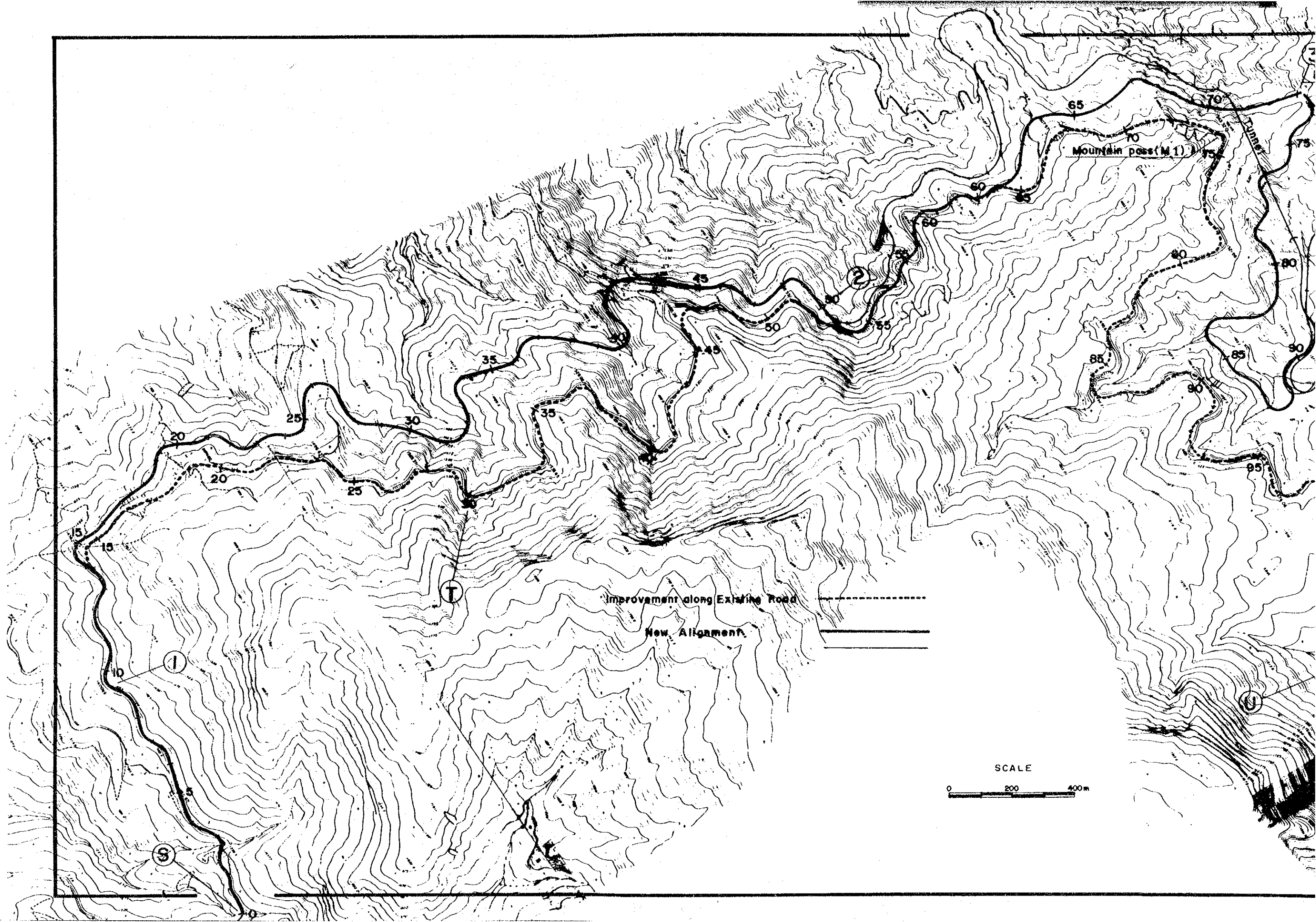
Por consiguiente, varias rutas alternativas de variante se presentan para esta sección, las mismas que se muestran en Fig. 4.3-9.

(2) Presentación de rutas alternativas

Como se describió en acápite anterior, el camino existente pasa por terreno accidentado, con alineamiento vertical no satisfactorio. También se presentan varios puntos de desastre en la zona. Por lo tanto, se debe estudiar y establecer un nuevo alineamiento.

a) Mejoramiento del camino existente

El primer caso a ser estudiado es el mejoramiento del camino existente, para satisfacer las características geométricas, como ser alineamientos horizontal y vertical, y ancho del camino.



Mountain pass (M 1)

TURKET

Improvement along Existing Road

New Alignment

SCALE

0 200 400m

1

2

9

7

6

8

5

4

3

2

1

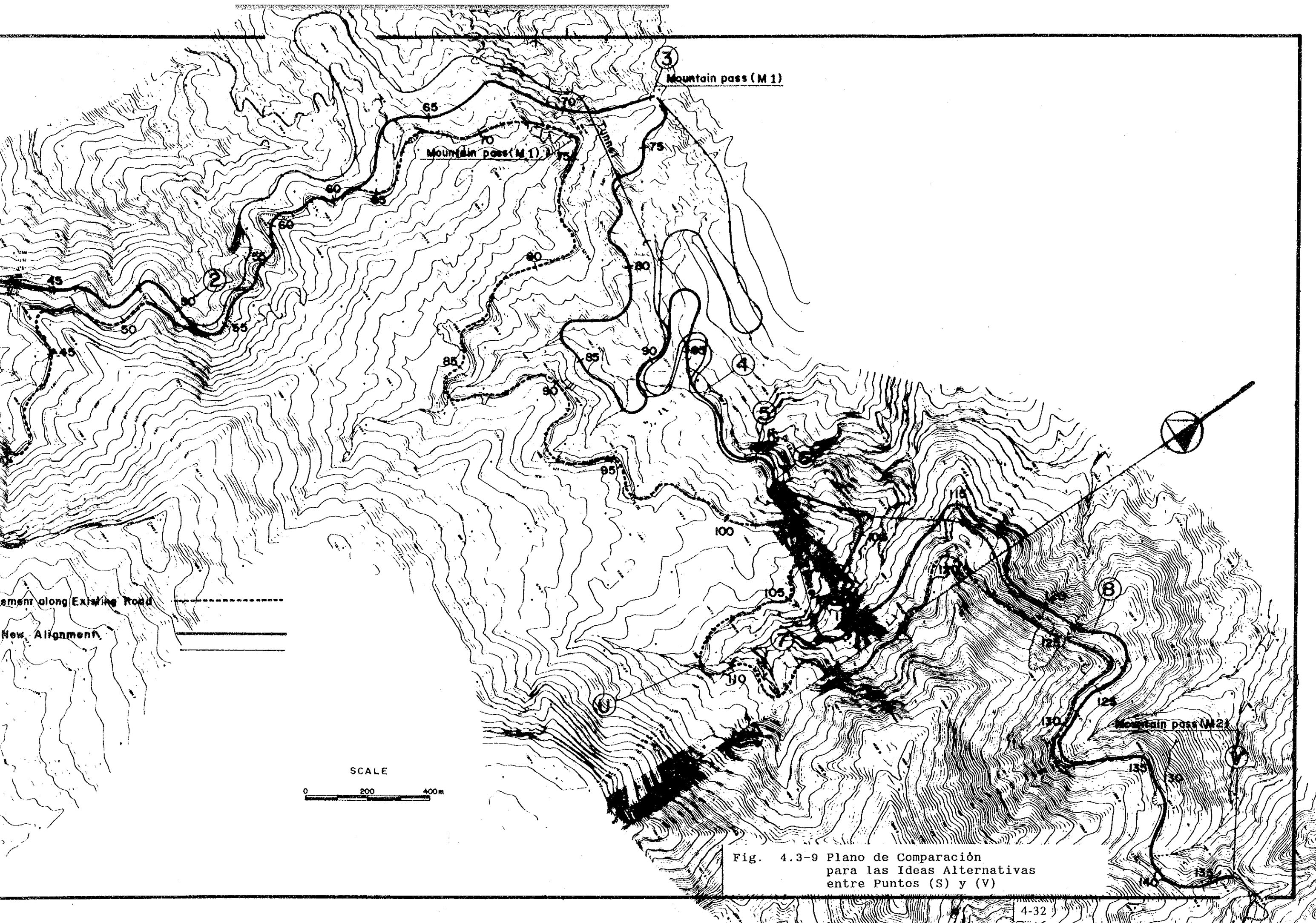


Fig. 4.3-9 Plano de Comparación para las Ideas Alternativas entre Puntos (S) y (V)

b) Nuevo alineamiento

En base a los resultados de reconocimiento del terreno y a los levantamientos topográficos, que se muestran en Fig. 4.3-9, algunos de ellos asumen la construcción de un túnel o un puente de grandes dimensiones.

A pesar de que la interrelación entre cada ruta parece complicada en la figura, el siguiente diagrama esquemático podría ayudar a aclarar esta situación :

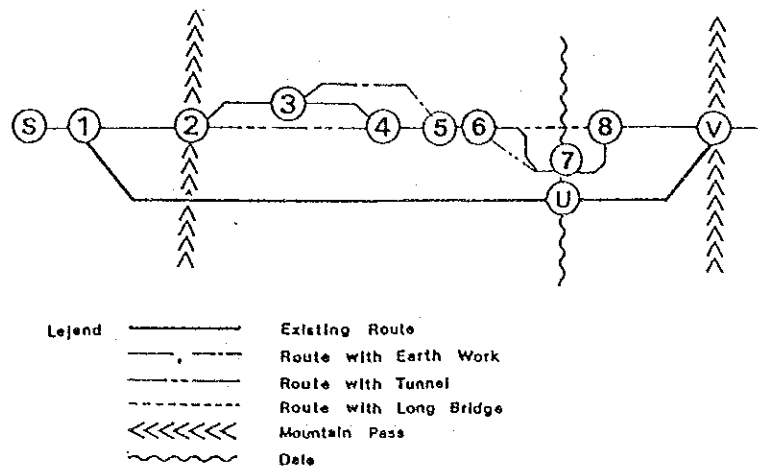


Fig. 4.3-10 Diagrama esquemático de rutas alternativas

(3) Mejoramiento del camino existente

En este caso, el trabajo de mejoramiento requerido sería principalmente el movimiento de tierras, mientras que la construcción de túneles o puentes no garantizaría el propósito requerido.

El resultado del estudio, que se muestra en Figura 4.3-11 y Tabla 4.3-10, define claramente que sería imposible mejorar el camino existente al extremo de cumplir el requisito de una pendiente vertical mínima, por ejemplo, 8 %.

(4) Comparación de rutas alternativas

Para encontrar la ruta más satisfactoria entre Puntos S y V, es necesario, en primer lugar, comparar parcialmente cada par de rutas competitivas, como se muestra en Fig. 4.3-10.

1) De Punto 3 a Punto 5

Las rutas 3-4-5 y 3-5 están definidas como Caso 1 y Caso 2, respectivamente. Ambos casos se comparan mutuamente por el volumen de movimiento de tierras requerido. En Tabla 4.3-6 se resumen la longitud de cada alternativa del camino y los volúmenes de corte y relleno.

Tabla 4.3-6 Volumen de movimiento de tierras de Punto 3 a 5

	Case 1	Case 2
Road Length	2,800 m	2,800 m
Embankment	59,000 m ³	275,000 m ³
Cutting	194,000 m ³	452,000 m ³

El Caso 1 es aparentemente más económico, con menor volumen de movimiento de tierras; además, esta ruta tiene menos curvas alpinas o horquilladas. Por lo tanto, Caso 1 (ruta 3-4-5) es considerado como la opción óptima.

2) De Punto 2 a Punto 4

Las rutas 2-3-4 y 2-4 están definidas como el Caso 3 y Caso 4, que indican una "propuesta utilizando solamente movimiento de tierras" y "propuesta utilizando movimiento de tierras y túneles".

Las longitudes del tramo caminero y costos de construcción para estos casos se resumen a continuación en Tabla 4.3-7.

Tabla 4.3-7 Comparación de costos de construcción

	Case 3	Case 4
Road Length	4,600 m	4,140 m (including 500 m of tunnel)
Approx. Const. Cost	US\$ 7,705,000	US\$9,774,000

A pesar de que la longitud del camino podría ser reducida considerablemente en el Caso 4, con un túnel de 500 m, el costo de construcción estimado es superior en más de 25 %

que el del Caso 3.

En consecuencia, el Caso 3 (ruta 2-3-4), que requerirá solamente movimiento de tierras, es considerado como la mejor selección.

3) De Punto 5 a Punto 7

Los Casos 5 y 6 representan las rutas 5-6-7 y 5-7, respectivamente. En el segundo de estos casos se propone la construcción de un túnel de 450 m de longitud.

Los resultados del estudio comparativo se resumen en la siguiente Tabla :

Tabla 4.3-8 Comparación de Caso 5 y Caso 6, entre Puntos 5 y 7

	Case 5	Case 6
Road Length	1,500 m	1,280 m (including 450 m of tunnel)
Horizontal Curvature	625 deg./km	360 deg./km
Vertical Gradient	6.5 % (max.) 5.6 % (ave.)	7 % (max.) 6.4 % (ave.) 5 % (in tunnel)
Approx. Const. Cost	4,181,000 US\$	5,341,000 US\$

La pendiente longitudinal del camino en el Caso 5 sería relativamente moderada; sin embargo, el alineamiento horizontal seguramente sería peor, debido al terreno escabroso de la zona. Se ha confirmado en este estudio comparativo que para este caso se requeriría una considerable cantidad de estructuras, tales como; muros de contención y protecciones de talud. El valor de curvatura horizontal en la tabla precedente refleja, en alguna medida, esta condición.

Por otra parte, los puntos débiles del Caso 6 son la pendiente vertical en el túnel, y el costo de su construcción. Al parecer, es difícil disminuir la pendiente vertical en el túnel a menos de 5 %, puesto que las pendientes de los tramos antes y después del túnel ya son suficientemente empinadas.

Considerando una longitud de túnel de 450 m., una pendiente vertical de 5 %, y sin equipo de ventilación, es probable que cause problemas para el tráfico, por contaminación y visibilidad restringida. El costo de construcción estimado para este caso es más de 25 % superior en comparación al Caso 5.

A pesar de los problemas desfavorables que presenta, se considera que el Caso 5 (ruta 5-6-7) sería una opción conveniente, debido a un menor costo de construcción.

4) De Punto 6 a Punto 8

Existe un profundo valle cóncavo entre estos puntos. Incidentalmente, el Punto 7 está ubicado en lo más profundo del valle.

Los alineamientos entre el Punto 6 y Punto 8, via Punto 7, y una conexión directa entre los Puntos 6 y 8 mediante un puente, se han denominado como Caso 7 y Caso 8, respectivamente.

El resultado de la comparación de estos casos alternativos se resume en la Tabla 4.3-9.

Tabla 4.3-9 Comparación de alternativas (Punto 6 a 8)

	Case 7	Case 8
Road Length	1,800 m	960 m (including 250 m of a bridge)
Approx. Const. Cost	US\$3,015,000	US\$11,044,000

En vista de la indiscutible diferencia en costo de construcción entre estos dos casos, que se debe al alto costo de construcción del puente, se selecciona Caso 7 (ruta 6-7-8) como una mejor alternativa en esta subsección.

- (5) Resultado de estudio comparativo entre mejoramiento del camino existente y el desarrollo de la carretera por un nuevo alineamiento

Ordenando los resultados descritos en el inciso anterior, la ruta más adecuada para ser recomendada desde Punto 1

hasta Punto 8, entre las varias alternativas consideradas, es la ruta 1-2-3-4-5-6-7-8. La idea de construir una variante a lo largo de esta ruta, en adelante se llamará "Nuevo Alineamiento".

Este "Nuevo Alineamiento", como resultado, no tendrá túneles ni puentes. Tan solo una zona de desastre potencial, identificada en la ruta del camino existente, podría afectar el nuevo alineamiento; sin embargo, este problema puede ser resuelto fácilmente con medidas de prevención apropiadas.

Un perfil de la comparación entre el nuevo alineamiento y el mejoramiento del camino existente, se muestra en la Fig. 4.3-11 y la Tabla 4.3-10.

Con solo observar las descripciones de costos de construcción y alineamiento vertical en la Tabla 4.3-10, se ve claramente que sería más ventajoso implementar el nuevo alineamiento para esta sección, entre Punto S y Punto V.

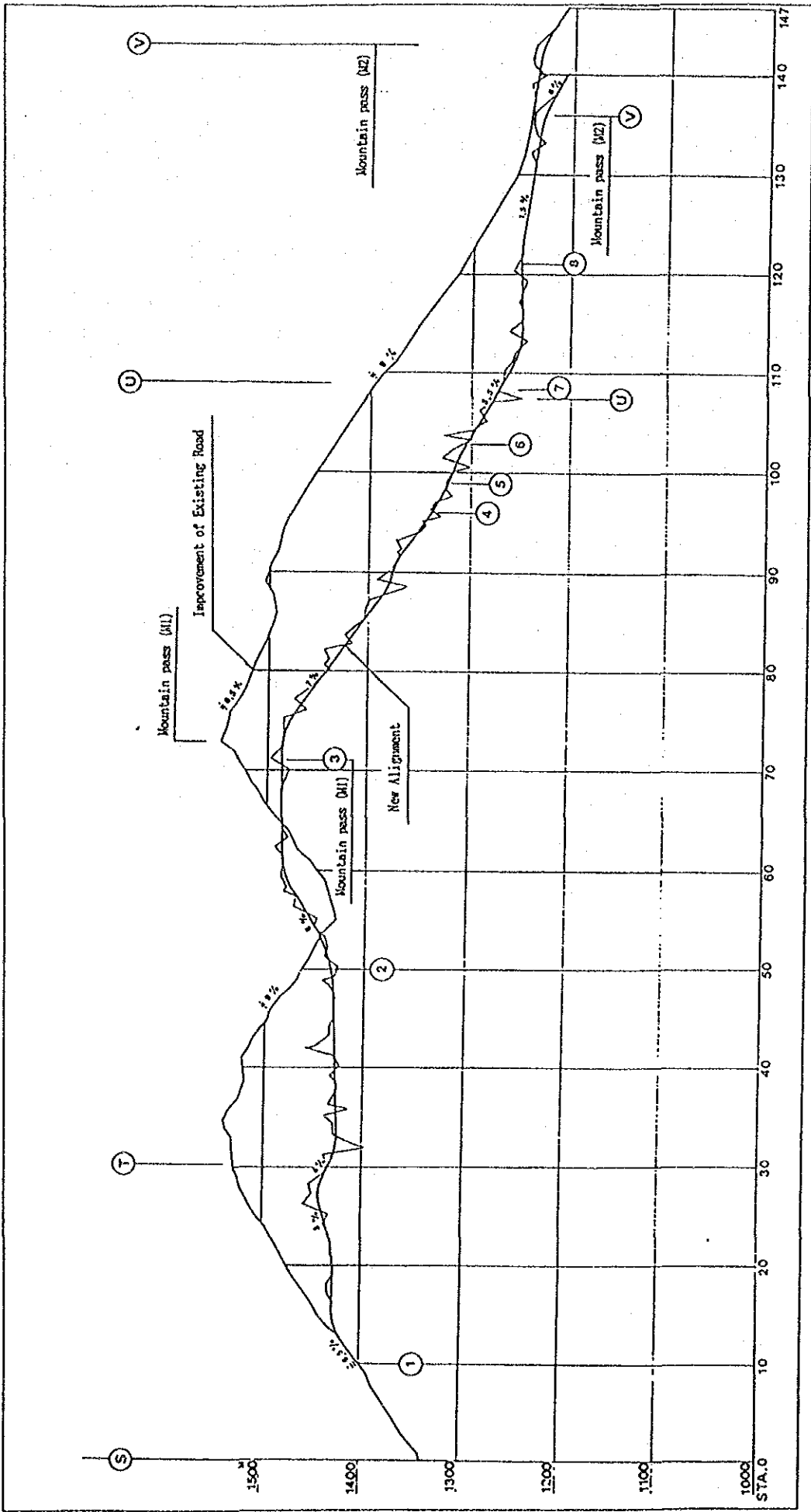


Fig. 4.3-11 Perfil de Alternativas entre Punto S y V

Tabla 4.3-10 Comparación de Alternativas
entre Punto S y Punto V

	Improvement of Existing Road	New Alignment
Road Length	14,700 m	14,000 m
Alignment Horizontal	Curvature = 578 deg./km : Nos. of Curves = 90	Curvature = 548 deg./km : Nos. of Curves = 85
Vertical	Steepest Grade = 9.0 %, length = 200+300 m Length with more than 5 % Grade = 9,500 m with less than 5 % Grade = 5,200 m Average Vertical Grade = 5.0 %	Steepest Grade = 7.0 %, length = 1,500 m Length with more than 5 % Grade = 5,450 m with less than 5 % Grade = 8,550 m Average Vertical Grade = 2.9 %
Construction Cost	US\$ 24,994,000-	US\$ 18,077,000-
Const. Cost	38 % higher than "New Alignment" Widening at Point (U), where rocky cliff continues more than 1 km, costs very much.	Cheaper than "Improvement of Existing Road"
V. Alignment	Almost impossible to comply with 8 % (Norma).	Very Good in average except 7 % with 1500 m
H. Alignment	A little worse as a whole	A little better as a whole but it has two hair-pin curves.
Construction	Worse	Better as is a new construction
Disaster	Many disaster spots exist.	Impossible to detour a debris flow spot, but no problem with adequate countermeasure.
Evaluation and Recommendation	"New Alignment" has much advantage in various meaning against "Road", so construction of new road is recommended.	"Improvement of Existing Road"

4.3.8 De Punto V a Bella Vista

(1) Condición del camino existente

Esta sección puede ser dividida en dos sub-secciones, de Punto V a Punto W, y de éste a Bella Vista. El camino existente en la primera sub-sección se extiende a lo largo de un terreno ondulado, con una pendiente natural promedio de 32 grados, y numerosas cañadas pequeñas. El alineamiento horizontal del camino va serpenteando para eludir estas cañadas.

Las características topográficas y geográficas de la segunda sub-sección son bastante moderadas, con una pendiente natural promedio de 20 grados, por lo que se puede decir que es diferente de otras secciones. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que en esta sección existen estratos de tierra deleznable, y que está sujeta a fuerte precipitación, de hasta 2500 mm anuales y hasta 160 mm diarios. Esto hace que el área en los alrededores de esta sub-sección sea una zona potencial de deslizamientos.

La pendiente vertical del alineamiento existente en esta sección desciende suavemente desde Punto V hacia Bella Vista.

(2) Mejoramiento del camino existente

Como conclusión, el mejoramiento de las características geométricas del camino existente, es decir, una revisión parcial del alineamiento horizontal y un incremento del ancho del camino, sería el mejor plan de mejora para llegar a esta sección. Las razones para esta conclusión son; en primer lugar, en esta zona es casi imposible encontrar una ruta más favorable para un variante, y en segundo lugar, durante el reconocimiento del terreno, no se encontró ningún deslizamiento activo entre Punto W y Bella Vista, por lo que se considera que, siguiendo el alineamiento del camino existente, con algunas medidas de prevención apropiadas, el camino mejorado podría evitar daños críticos causados por deslizamientos.