

#### **(4) Estudio de las Propuestas de Ruta**

##### **1) Normas Geométricas**

Para el estudio del ruta de proyecto se aplicó las normas geométricas de la AASHTO que se describen a continuación, de acuerdo con la información facilitada por las contrapartes de El Salvador y Honduras:

- ① Clasificación vial: carretera troncal internacional (Carretera Panamericana)
- ② Velocidad de diseño: 80 km/h
- ③ Radio de alineamiento horizontal: mínimo estándar  $R = 400\text{m}$ , mínimo absoluto  $R = 250\text{ m}$
- ④ Longitud del tramo de transición: mínimo estándar  $A = R/3$ , mínimo absoluto  $L = 44\text{ m}$
- ⑤ Gradiente longitudinal: máxima 5.0 %
- ⑥ Gradiente transversal estándar: 2.0 %
- ⑦ Gradiente de unidireccional: máxima 6% ( $R = 250\text{m}$ )

##### **2) Estudio del Alineamiento Horizontal**

A continuación se describe la característica principal de cada una de las propuestas en ambos países en lo que respecta al alineamiento horizontal. La Figura 2-2-6 muestra la alineamiento horizontal de cada propuesta.

- La Propuesta 1 tendría una curva en forma de “S” con un radio de 230m, con el fin de evitar afectar a la vivienda grande y firme.
- La Propuesta 3 tendría una curva en forma de “S” con un radio de 280m, con el fin de evitar afectar a las iglesias 1 y 3.
- La Propuesta 4 pasaría por medio de las Propuestas 1 y 3 con el fin de suavizar al máximo la curva en forma de “S” de la Propuesta 3; sin embargo, afectaría a la iglesia 1 y a la casa grande y firme.
- La Propuesta A empalmaría en una intersección en forma de “T” con la CA-1, aprovechando el camino departamental.
- La Propuesta B pasaría por el lado norte del parqueo de tráileres y conectaría con la CA-1 en una curva con la finalidad de afectar menos a las viviendas.
- La Propuesta C pasaría por el centro del parqueo de tráileres para evitar la reubicación de edificios, conectándose con el intercambio de la CA-3.

##### **3) Estudio del Alineamiento Vertical**

A continuación se describe la característica principal de cada una de las propuestas en ambos países en lo que respecta al perfil vertical. La

Figura 2-2-7 muestran el perfil vertical de cada propuesta.

- La Propuesta 1 tendría un gran desnivel frente a la margen hondureña, lo que obligaría que el puente tenga un gradiente vertical máxima de  $i = 4.0\%$ .
- La Propuesta 3 apenas tendría un desnivel frente a la margen hondureña, por lo que el puente tendría un gradiente vertical máxima de  $i = 0.5\%$ .
- La Propuesta 4 apenas tendría un desnivel frente a la margen hondureña, por lo que el puente tendría

una gradiente vertical máxima de  $i = 0.65\%$ .

- La Propuesta A aprovecharía el camino existente, cuyo gradiente vertical es de  $i=1.6\%$ .
- La Propuesta B tendría un gradiente vertical de  $i=1.7\%$  en el tramo entre el puente y el parqueo de tráileres, y un gradiente vertical  $i=2.2\%$ , desde el parqueo de tráileres hasta el entorque con la carretera existente CA-1.
- La Propuesta C sería prácticamente igual a la Propuesta B y se le aplicaría el perfil vertical de la Propuesta B.

#### **4) Estudio de la Sección Transversal**

Como la ruta de la Propuesta 4 pasaría justo en frente de la iglesia 1 y de la vivienda grande y firme, se elaboró el plano de corte transversal para identificar y analizar el grado de afectación. Por otra parte, la Propuesta 3 pasaría por detrás de la iglesia 1 donde se elaboró el plano de corte transversal para identificar y analizar también su grado de afectación. La

Figura **2-2-8** muestra las secciones transversales de ambas propuestas.



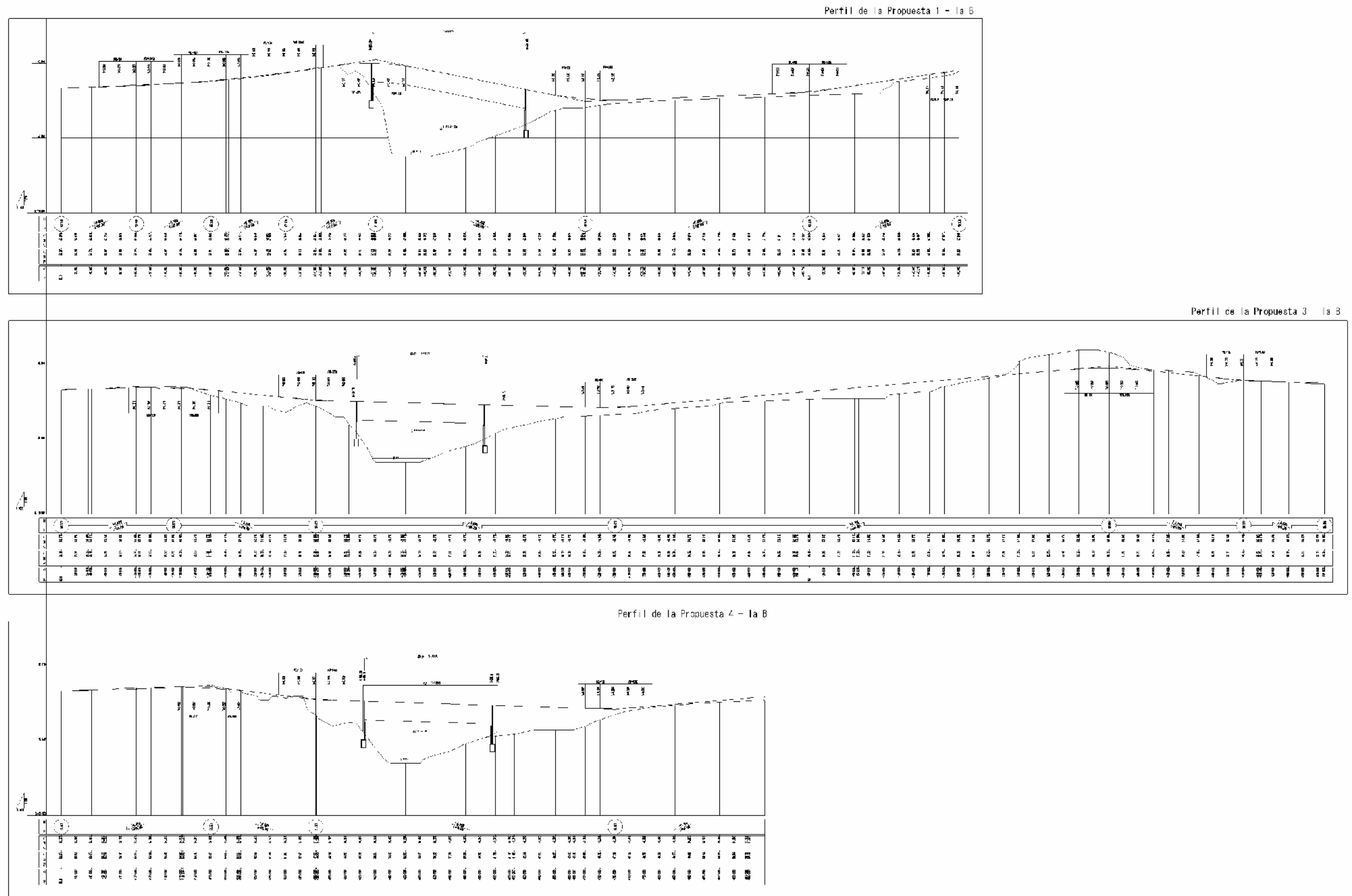


Figura 2-2-7 Perfil de la Propuesta de cada Ruta



## **(5) Resultados del Estudio de las Propuestas de Ruta**

### **1) Lado de Salvadoreño**

Para analizar las rutas de las Propuestas 1,3 y 4 en el lado de salvadoreño, se han tomado como objeto de evaluación de selección de ruta las cuestiones y sus soluciones que aparecerán a continuación:

- ① **Desnivel:** Mientras que la margen salvadoreña está conformada por precipicios pronunciados, cuya altura resulta mayor a medida que se sube hacia aguas arriba. Por otro lado, la margen hondureña no presenta precipicios y se observa un paisaje llano y bajo. Esto implica un desnivel en la topografía entre ambos países y además viendo los aspectos del costo y tecnología de construcción, es conveniente buscar un alineamiento longitudinal que las resuelva las diferencias de nivel.
- ② **Impacto al ambiente social (iglesia):** Se nos ha solicitado que no se afecten de ninguna manera los establecimientos públicos como iglesias y escuelas, ya que son centro de comunidad, por lo que es conveniente buscar una ruta que no afecte a estos establecimientos públicos.
- ③ **Impacto al ambiente social (vivienda):** Para desviar los establecimientos públicos como iglesias, existe la posibilidad de afectar algunas de las viviendas. No obstante, habrá que buscar una ruta que genere menor reubicación de viviendas y que especialmente no afecte a la casa grande y firme.
- ④ **Impacto al ambiente natural (río):** al construir pilares dentro del río, subirá el nivel de agua, por lo que es conveniente buscar una ubicación de puente que genere menor subida de nivel de agua.
- ⑤ **Transitabilidad y seguridad:** Es conveniente buscar un alineamiento seguro que garantice mantener una velocidad de 80 km/h sobre el alineamiento horizontal. Respecto al alineamiento longitudinal, en caso de que se considere la circulación de trailers, es recomendable que el alineamiento sea lo más plano posible.
- ⑥ **Economía (puente y caminos de acceso):** es conveniente determinar la ruta con la que se pueda obtener una menor longitud para el puente, puesto que el costo de construcción del puente es absolutamente más alto que el costo de construcción de los caminos de acceso.

### **2) Lado Hondureño**

Para analizar las rutas de las Propuestas A, B y C en el lado hondureño, se han tomado como objeto de evaluación para la selección de ruta las cuestiones y sus soluciones que aparecerán a continuación:

- ① **Impacto al ambiente social (vivienda):** Como existen unas 50 tiendas y viviendas en las cercanías de la oficina de control fronterizo (Aduana) en Honduras, es conveniente buscar una ruta que genere menor reubicación de dichas casas.
- ② **Economía (caminos de acceso):** es conveniente buscar una ruta con la que pueda obtener una menor longitud para el camino de acceso, e incluso que genere el menor costo de reubicación del parque de tráileres y otros establecimientos.
- ③ **Transitabilidad y seguridad:** es conveniente buscar una alineamiento que permita el desarrollo de una velocidad de diseño de 80km/hora y un manejo continuo que no requiera de cambio brusco, al considerar la conexión con la CA-1.

### **3) Tabla de los Resultados del Estudio de las Propuestas de ruta**

Las Tabla 2-2-6 y Tabla 2-2-7 muestran los resultados de la evaluación de las propuestas para el lado

salvadoreño y para el lado hondureño respectivamente.

#### **4) Ruta Seleccionada**

En base a la Tabla de los Resultados del Estudio de las Propuestas, se procedió a escoger la Propuesta 3 en el lado salvadoreño y la Propuesta B, para el lado hondureño. La Figura 2-2-9 muestra la ruta seleccionada

**Tabla 2-2-6 Tabla de los Resultados del Estudio de las Propuestas de Ruta (El Salvador)**

Item		Propuesta 1		Propuesta 3		Propuesta 4		
1. Resumen de Propuesta de la Ruta		La ruta que atraviesa perpendicularmente la parte angosta del río Goascorán, utilizando la carretera actual al máximo y evitando alterar tanto las iglesias 1 y 3 como una sólida vivienda particular grande con curvas en “S” para que la longitud del camino de acceso del lado salvadorño sea corto.		La ruta que pase su alineación en forma “S” suave por el terreno pleno situado al sur para evitar la iglesia 1 y una sólida vivienda particular grande, situando el nuevo puente sobre las orillas relativamente bajas ubicadas en aguas un poco más bajas del río para evitar los acantilados pronunciados en donde la posición del puente está situada en la Propuesta 1,		De forma plana, es la intermedia de las propuestas 1 y 3 en la que el tramo de la curva en forma “S” de la Propuesta 3 sea lo más recto posible. Sin embargo, tocará tanto la iglesia 1 como una vivienda particular sólida y grande.		
2. Componentes de la Alineación	Parte del Camino de Acceso	Longitud del camino	L= 138m (STA.+277,092~+415,0)		L= 395m (STA.0~+395,0)		L= 405m (STA.0~+405,0)	
		Alineación Horizontal	Alineación “S” (Radio Mínimo de Curva: Rmin=230m)		Alineación “S” ( Radio Mínimo de Curva: Rmin=280m)		Curva simple (Radio Mínimo de Curva: Rmin=600m)	
		Sección Longitudinal Lineal	Máxima Inclinación Longitudinal: imax=-4,0%		Máxima Inclinación Longitudinal: imax=-2,0%		Máxima Inclinación Longitudinal: imax=-2,5%	
	Parte del Puente	Longitud del Puente	Nivel de Crecida (H.W.L)	L=205m (STA.+415,0~+620,0)	H.W.L=42,5m	L=170m (STA.+395,0~+565,0)	H.W.L=42,3m	L=170m (STA.+405,0~+575,0)
	Alineación Lineal	Sección Longitudinal lineal	Línea recta	Máxima Inclinación Longitudinal: imax=-4,0%	Curva de Transición → Línea Recta	Máxima Inclinación Longitudinal: imax=0,5%	Línea Recta	Máxima Inclinación Longitudinal: imax=-0,65%
3. Problema	①Problema de Diferencia del Nivel		• La posición del puente está sobre un acantilado alto y se produce un gran diferencia de nivel (unos 20m) con la posición del puente en la parte hondureña, lo que requiere un alto terraplén en el camino de acceso en la parte hondureña.		• Debido a que atravesaría el río en un punto, que tiene el nivel más bajo en las 3 Propuestas, a 160 m aguas abajo de la posición del nuevo puente de la propuesta 1, casi no se producirá diferencia de nivel entre los dos países.		• Debido a que atravesaría el río en un punto, que tiene un nivel relativamente bajo, a unos 90 m aguas abajo de la posición del nuevo puente de la propuesta 1, casi no se producirá la diferencia de nivel entre los dos países.	
	②Impacto social y medioambiental	Iglesias	• No habrá impacto en las iglesias 1 y 3		• Debido a que pasará por detrás de la iglesia 1, hará falta retirar una caseta colindante con dicha iglesia, pero su impacto es pequeño. • Pasará por delante de la iglesia 3, pero estará asegurado un ancho de carretera de diseño de 14.1 m, sin afectar el terreno de la iglesia 3.		• Al atravesar el solar de la iglesia 1, se requeriría la compra de terreno. • Debido a que la vía se construiría a 1.7 m de la iglesia 1, el tránsito de creyentes que acuden a la iglesia correría riesgo. • Se establecería un muro de 3 m enfrente de la entrada de la iglesia, por lo que se necesitaría establecer una nueva en un lugar diferente. Adicionalmente, la altura de carretera de diseño fuera 3 m más alta que la altura del solar de la iglesia 1, produciría un riesgo de caída de vehículos. Por eso, se requeriría una sólida barrera de protección.	
		Viviendas Particulares	• Evitando una vivienda particular sólida y grande con una curva en “S” , no habría impacto en la misma. • Se requeriría la reubicación de 3 viviendas particulares situadas un poco más adelante de la vivienda grande arriba mencionada.		• Debido a que pasará por un lugar muy lejano de la vivienda particular sólida y grande, no afectará nada esta vivienda. • Se requerirá la reubicación de 4 viviendas particulares situadas en el punto donde se comenzaría el camino de acceso.		• Debido a que se pasaría por el solar de una vivienda particular sólida y grande, se necesitaría la compra del terreno. • Se requeriría la reubicación de una vivienda pequeña y una caseta.	



3. Problema	③ Impacto en el medio ambiente natural (ríos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al ubicarse el puente en un punto donde el ancho del río es angosto, sería grande la elevación del nivel de agua en el río a causa de la instalación de los pilares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al ubicarse el nuevo puente en un punto donde el ancho del río es amplio, será mínima la elevación del nivel de agua en el río por la instalación de los pilares entre las 3 propuestas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A causa de ubicarse en un punto donde el ancho del río es angosto, sería mayor la elevación del nivel de agua en el río por la instalación de los pilares que la de la propuesta 3.</li> </ul>
	④ Circulación y seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>A causa de la inserción de una curva (R = 230m) menor que la mínima curva establecida en el AASHTO (R=250m), hará dificultad en una circulación segura.</li> <li>La máxima inclinación longitudinal es grande, siendo del 4,0 % (viga del Puente), lo que afectaría considerablemente la circulación de vehículos grandes en relación con las propuestas 3 y 4.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aunque se inserte planamente una curva en “S”, el radio de la curva será grande (R=280m), por lo que no habrá problema en la circulación de vehículos.</li> <li>La máxima inclinación longitudinal será del 0,5% en la viga del puente y del 2,0 % en el camino de acceso, lo que es menor dentro de las 3 propuestas, por lo que causará poco efecto en la circulación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sería una curva simple en una superficie plana, por lo que la circulación sería buena.</li> <li>La máxima inclinación longitudinal sería del 0,65% en la viga del puente y del 2,5 % en el camino de acceso, valor más grande que el de la propuesta 3.</li> </ul>
	⑤ Conexión con carreteras regionales (Plan de Cruce)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es la propuesta que aprovecharía la carretera actual, por lo que sería fácil la conexión (plan de cruce) entre la carretera regional y la nueva carretera (CA-1).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En la conexión de la carretera regional con la nueva carretera (CA-1), se expandiría un poco la carretera regional en el cruce, pero no habría ningún problema en especial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En la conexión de la carretera regional con la nueva carretera (CA-1), se necesitaría expandirse mucho la carretera regional en el cruce.</li> </ul>
	⑥ Economía (Puente y Camino de Acceso)	<ul style="list-style-type: none"> <li>La longitud del camino de acceso sería más corta dentro de las 3 propuestas, en cambio, la longitud del puente sería la más larga dentro de estas 3, por lo tanto, económicamente sería la menor de las 3. (proporción: 1,18)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La longitud del nuevo puente sería mucho más corta, comparando con la propuesta 1 y no se requeriría ninguna estructura en el camino de acceso. Por eso, sería la más económica dentro de las 3. (proporción 1,00)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La longitud del puente sería igual a la de la propuesta 3, sin embargo, la longitud del camino de acceso sería un poco menos que la de dicha propuesta, pero el camino de acceso requeriría un muro de contención y una barrera de protección, lo que indica que económicamente sería menos favorable que la de la propuesta 3. (proporción 1,01)</li> </ul>
4. Evaluación Total	<p>Por las siguientes razones principales, la evaluación general de esta propuesta ocupa el tercer lugar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Generará una gran deferencia de nivel entre los dos países.</li> <li>Será la menor la circulación de vehículos grandes de 3 propuestas debido a que es grande la máxima inclinación longitudinal (4,0%)</li> <li>Es la más desventajosa económicamente de 3 propuestas.</li> </ul> <p style="text-align: right;"><b>3</b></p>	<p>Por las siguientes razones principales, la evaluación general de esta propuesta ocupa el primer lugar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>No se generará casi ninguna diferencia de nivel entre los dos países.</li> <li>No afectará la iglesia 1 ni ninguna vivienda particular grande.</li> <li>Dentro de las 3 propuestas, la máxima inclinación longitudinal que presenta es menor (2,0%), lo que afectará poco la circulación de vehículos grandes.</li> <li>Es la más ventajosa económicamente.</li> </ul> <p style="text-align: right;"><b>1</b></p>	<p>Por las siguientes razones principales, la evaluación general de esta propuesta ocupa el segundo lugar</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se requerirá la compra de terreno de los solares de la iglesia 1 y de la vivienda particular sólida y grande.</li> <li>Se necesitan las medidas de seguridad el tránsito de creyentes a causa de pasar la carretera muy cerca de la iglesia 1.</li> <li>Se construirá un muro de contención de 3 m de longitud enfrente de la iglesia 1.</li> <li>Habrà peligro de caída de vehículos en la iglesia 1.</li> </ul> <p style="text-align: right;"><b>2</b></p>	

**Tabla 2-2-7 Tabla de los Resultados del Estudio de las Propuestas de Ruta (Honduras)**

Item		Propuesta A	Propuesta B	Propuesta C	
1. Resumen de Propuesta de la Ruta		Es la que se cruza en forma de T con CA-1, utilizando la carretera existente (carretera provincial sin pavimentación) que pasa de sur a norte en el lado oeste de la entrada del parque de trailers.	Es la que se conecta con CA-1 con curvas, pasando por el lado norte del parque de trailers para reducir el impacto en viviendas tanto particulares como comerciales.	Es la que se conecta con el empalme de CA-3, pasando por el centro del parque de trailers para evitar reubicación de las viviendas particulares.	
2. Componentes de la Alineación	Parte del Camino de Acceso	Longitud del Camino	$L \approx 800\text{m}((\text{STA.}+565,0 \sim +940,0) +425\text{m aprox.})$	$L \approx 1156\text{m} (\text{STA.}+565,0 \sim 1+720,65)$	$L \approx 1248\text{m} (\text{STA.}+575,0 \sim 1+823,134)$
		Alineación Horizontal	Alineación horizontal del camino actual	Curva simple (Radio mínimo de curva: $R_{\text{min}}=600\text{m}$ )	Curva simple (Radio mínimo de curva: $R_{\text{min}}=900\text{m}$ )
		Alineación longitudinal	Inclinación longitudinal del camino actual: $i_{\text{max}}=-2,5\%$	Máxima inclinación longitudinal $i_{\text{max}}=-2,2\%$	Máxima inclinación longitudinal $i_{\text{max}}=-2,2\%$ (Se aplicaría la propuesta B secundariamente.)
3. Problema	① Impacto social y medioambiental	Viviendas particulares	<ul style="list-style-type: none"> <li>En los alrededores donde se cruzaría en forma de T con CA-1, hay unas 50 tiendas de venta y viviendas particulares. En esta alineación, se requeriría la reubicación de más de 20 de estas tiendas y viviendas.</li> <li>Respecto a la reubicación de numerosas viviendas particulares, el Gobierno hondureño opina que será muy difícil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para el empalme con CA-1, se requeriría la reubicación de 5 viviendas particulares situadas cerca del parque de trailers.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No habría necesidad de reubicación de viviendas particulares.</li> </ul>
		Parque de trailers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido a que se utilizaría la carretera existente, no habría impacto en el parque de trailers.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido a que pasaría por el lado norte del parque de trailers, se reduciría un poco el área de solar del mismo, pero con una ampliación de sus alrededores se podría atender bien los vehículos usuarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido a que pasaría por el centro del parque de trailers, implicaría la separación del mismo y la necesidad de reubicación del parque.</li> </ul>
	② Alineación del camino de acceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ya que sería una alineación que utilizaría la carretera local existente (carretera provincial), no se cumpliría una función (80 km/hora) de alineación como CA-1.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se cumpliría una función (80 km/hora) de alineación como CA-1.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se cumpliría una función (80 km/hora) de alineación como CA-1.</li> </ul>	
	③ Longitud del camino de acceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido a que se utilizaría la carretera local existente, la longitud del camino de acceso sería la menor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sería una alineación que daría la mayor importancia a la conexión con CA-1 y la longitud del camino de acceso sería más corta que la de la propuesta C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido a ser una alineación que se conectaría directamente con un cruce de CA-3, la longitud del camino de acceso sería la mayor dentro de las 3 propuestas.</li> </ul>	
	④ Impacto en CA-3	<ul style="list-style-type: none"> <li>La posición de vinculación a CA-1 estaría situada a unos 740 m del punto de intersección de CA-3, por lo que no la afectaría.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La posición de conexión con CA-1 estaría situada a unos 340 m del punto de intersección de CA-3, por lo que no la afectaría.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido a ser una alineación que se conectaría con CA-3 directamente, se requeriría el re-diseño del empalme.</li> </ul>	
	⑤ Circulación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ya que se cruzaría con CA-1 en forma de T, en los alrededores del cruce los vehículos circularían con velocidad baja, lo que implicaría un corte de continuidad de circulación. La circulación sería la peor dentro de las 3 propuestas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La posición de conexión con CA-1 tiene una alineación que asegure la prioridad al lado del camino de acceso por lo que se mantendrá la continuidad de circulación de vehículos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Por la razón de conectarse con CA-1 en forma de curva, se mantendría la continuidad de circulación de vehículos.</li> </ul>	

	<p>⑥Economía</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A causa de ser el más corto el camino de acceso entre las 3 propuestas, económicamente sería más ventajosa dentro de las 3. Sin embargo, no se cumplirían las funciones de la alineación vial como CA-1. (proporción 0,71)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debido a que la longitud del camino de acceso sería más corta que la de la propuesta C y que no es necesaria la reubicación del parque de trailers, económicamente sería más ventajosa que la de la propuesta C (proporción 1,00)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A causa de que la longitud del camino de acceso sería la más larga dentro de las 3 propuestas y que se requiere un costo de reubicación del parque de trailers, económicamente sería la más desventajosa dentro de las 3. (proporción 1,11)</li> </ul>
<p>4. Evaluación Total</p>	<p>Por las siguientes razones principales, es difícil adaptar esta propuesta:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Será muy difícil realizar la reubicación por haber muchas viviendas particulares (más de 20 casas) objeto de la reubicación (la parte hondureña tiene misma opinión.)</li> <li>• No cumplirán las funciones de alineación vial (velocidad: 80km/h y continuidad de circulación) como CA-1.</li> </ul>	<p>Por las siguientes razones principales, la evaluación general de esta propuesta ocupa el primer lugar</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Serán pocas viviendas particulares, siendo 5 las que serán objeto de la reubicación.</li> <li>• Será poco el impacto en el parque de trailers y con la ampliación se podrá mantener las funciones del mismo.</li> <li>• Es la alineación que da la mayor importancia a la conexión con CA-1 y su funcionamiento es superior.</li> <li>• Económicamente será más ventajosa que la propuesta C.</li> </ul>	<p>Por las siguientes razones principales, la evaluación general de esta propuesta ocupa el segundo lugar</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se separará el parque de trailers y se requerirá la reubicación del mismo.</li> <li>• Es una alineación que tiene conexión directa con CA-3 y la longitud del camino de acceso sería la más larga dentro de las 3 propuestas.</li> <li>• Económicamente será menos ventajosa en las 3 propuestas.</li> </ul>	
		×	1	2



**2-2-2-2 Plan General**

**(1) Condiciones de las Normas de Diseño utilizadas**

**1) Condiciones de Diseño Vial**

Se han definido las normas de diseño que se aplicarán para el presente Proyecto, basadas en las normas geométricas facilitadas por las contrapartes de El Salvador y de Honduras, tomando como referencia las normas de AASHTO. La Tabla 2-2-8 presenta los términos de diseño vial.

**Tabla 2-2-8 Tabla de Condiciones para el Diseño Vial**

Ítem	SAL	HON (SIECA)	AASHTO	Norma a aplicar
Categoría vial	Vía principal (Primaria)	Vía principal regional	Vía principal regional	<b>Carretera troncal internacional</b>
Clasificación topográfica (Llanura/loma/monte)	Lomas (Rolling)	Lomas (Ondulado)	Lomas (Rolling)	<b>Loma (Rolling)</b>
Velocidad de diseño (km/h)	80	70	80 – 100	<b>80</b>
Vehículo de diseño	BUS	WB-20	n.a.	<b>WB-20</b>
Ancho de carril (m)	(3.5 – 3.65) x 2	3.6 x 2	7.2	<b>3.65 x 2</b>
Ancho de hombro (Parte exterior) (m)	n.a.	1.2 – 1.8	2.4	<b>2.4</b>
Inclinación longitudinal máxima	6	5	5	<b>5</b>
Superelevación máxima (%)	8	10	12	<b>6</b>
Inclinación transversal estándar (%)	n.a.	2.0	1,5 – 2	<b>2.0</b>
Distancia visible de detención para el frenado (m)	140	85 – 140	130	<b>130</b>
Radio mínimo en curvas horizontales (m) (valor absoluto)	230	135 – 250	250	<b>250</b>
Radio mínimo en curvas longitudinales (m) (valor K) (convexidad)	32	32-49	26	<b>32</b>
Radio mínimo en curvas longitudinales (m) (valor K) (concavidad)	25		30	<b>25</b>
Parámetro mínimo de tramo de transición (valor A) (m)	120	n.a.	n.a.	<b>n.a.</b>
Longitud mínima de tramo de transición (m)	n.a.	n.a.	44	<b>44</b>

**2) Condiciones de Diseño para Puentes**

**i) Condiciones Hidráulicas**

**a) Escala de Probabilidad**

Se ha determinado aplicar un valor de 1/50 años como escala de probabilidad, teniendo en cuenta la escala y vida útil de puentes diseñados en el marco de la Cooperación Financiera No Reembolsable del Japón.

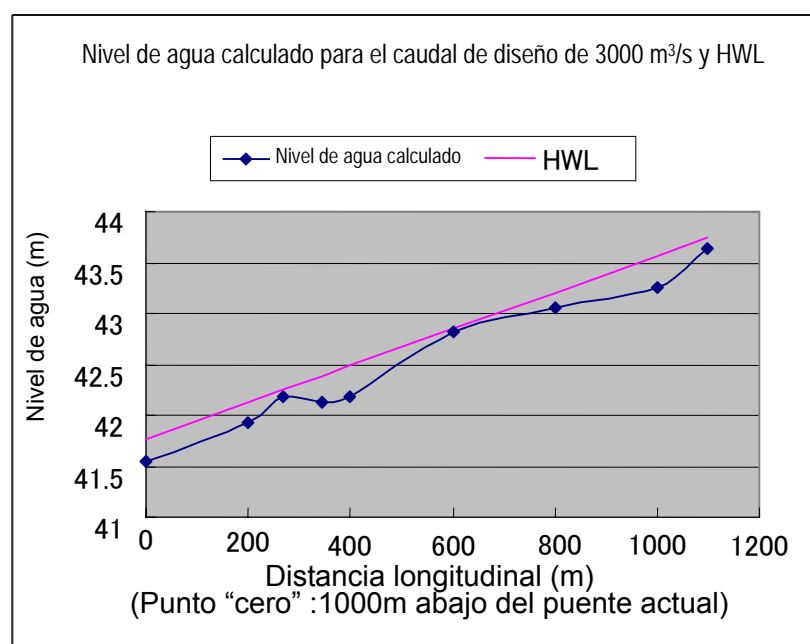
**b) Caudal de Diseño**

Debido a que el río Goascorán se ubica en la zona fronteriza, existen pocos datos registrados para precipitaciones y caudales, además dispone de insuficientes registros de desastres. Por esta razón es difícil aplicar al proyecto la metodología normal de establecer un caudal planificado, el cual se basa en la relación entre las precipitaciones y el caudal, tras determinar la probabilidad de lluvia. Por lo consiguiente se tiene que establecer el caudal de diseño en base a los resultados de las observaciones limitadas y de la relación existente entre la area y el caudal de las cuencas similares.

Durante 6 años en el pasado, de 1962 a 1969, se registraron unos caudales que oscilan entre 400 y 2,350 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, el caudal de diseño del puente existente Goascorán es de 2,400 m<sup>3</sup>/s y el caudal con probabilidad de 50 años calculado de un hidrograma unitario fue de 2,600 m<sup>3</sup>/s, mientras que el caudal con probabilidad de 50 años calculado de la area de la cuenca de 1,820 km<sup>2</sup> fue de 3,000 m<sup>3</sup>/s. Considerando todos estos valores en forma general, se definirá un caudal estimado con probabilidad de 50 años de 3,000 m<sup>3</sup>/s.

**c) Nivel de Crecida estimado**

En base a la descarga de sobreflujo estimado de 3,000 m<sup>3</sup>/s se calcula el nivel de agua correspondiente al nivel de crecida planificado. La Figura 2-2-10 muestra los niveles de agua calculados y los de crecida estimado (NAA, HWL por sus siglas en inglés) que se establecen para cubrir los primeros. Según estos cálculos, el nivel de crecida estimado (NAA) para la Propuesta 3 (a 270m abajo del puente existente) será de 42.3m.



**Figura 2-2-10 Relación entre el Nivel de Crecida y el Nivel de Crecida estimado**

La normativa del Japón (Decreto de Estructura para Instalaciones de Administración Fluvial) define la altura de tolerancia debajo de la viga según el caudal de diseño, tal como se muestra en la Tabla 2-2-9. Si se utiliza la normativa de este decreto, esta altura será de 1.2m y la altura debajo de la viga será de:  $42.3\text{m} + 1.2\text{m} = 43.5\text{m}$ .

**Tabla 2-2-9 Relación entre el Caudal de Crecida estimado y la Altura de Tolerancia debajo de la Viga(Decreto para Estructuras de Instalaciones para Administración Fluvial)**

Ítem	1	2	3	4	5	6
Caudal de crecida planificado ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Menor de 200	Igual o mayor de 200 y menor de 500	Igual o mayor de 500 y menor de 2,000	Igual o mayor de 2,000 y menor de 5,000	Igual o mayor de 5,000 y menor de 10,000	Igual o mayor de 10,000
Altura de tolerancia (m)	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0

En la posición del puente Goascorán, el caudal del Huracán Mitch fue de  $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$  y el nivel de agua estimado (HWL) calculado a partir del dicho caudal es de 43.3m. Sin embargo, debido a que la altura debajo de la viga es de 43.5m, las vigas de la superestructura no quedarán sumergidas aun cuando ataque un huracán de tamaño de Mitch..

#### **d) Profundidad de Socavación**

La cota del desplante de la cimentación de un pilar se define tomando en cuenta la socavación causada por los mismos pilares. Tras el análisis se determinó una profundidad de 2.44m de socavación en la zona de pilar, por lo que en este Proyecto se asegurará que el desplante de la zapata se ubique a una profundidad superior a la de socavación y además estos deben ser penetrados en la roca.

Con respecto a los estribos, en el caso del estribo A1 (con cimentación directa o zapata), el nivel inferior de la zapata se ubicará sobre una capa de suelo soporte de alta calidad, tal como roca firme, mientras que en el caso del estribo A2 (cimentación con pilotes) se construirán las obras de protección de la orilla por no poder garantizar la profundidad de socavación.

#### **e) Protección de Orilla**

Tras calcularse la socavación provocada por los estribos y los pilares, se procede con analizar la necesidad de proteger la orilla del río. Como resultado del análisis, en caso de exista la posibilidad de socavación, se procede a tomar medidas de protección de margen del río y de estribo, ya sea profundizando la cimentación o construyendo obras de protección de ríos u obras de consolidación para la protección de orillas del río y el subestructuras. Como método de protección de la orilla del río, se adoptará la protección utilizando gaviones por su economía en el costo de su construcción.

En cuanto al alcance de la obra de protección del estribo en la margen izquierda, se construirá la obra pegada al terraplén del camino de acceso utilizando una especie de relleno semicircular, sacando 7.5m más del borde básico del talud del terraplén del camino de acceso. La altura de esta protección será de 42.3m, la

cual corresponde a la nivel alto de agua (NAA). Con respecto al terraplén del camino de acceso, también se protegerá en aquellas áreas que puedan ver afectadas por las corrientes de agua cuando ocurran crecidas menores a la NAA. En cuanto a los espesores de los gaviones, por la cuestión de la disponibilidad del material tendrán un espesor de 1.0m. Por otra parte, a pesar de que el estribo de la margen derecha no tendrá problema en lo que respecta a la estabilidad de la cimentación, se colocarán gaviones con el fin de proteger el terraplén debido a que este será construido sobre el terreno actual.

## ii) Carga Viva de Diseño

Como se describe en la sección 2-2-1-2 (4), las cargas de diseño para el Puente de este Proyecto serán la carga HS20-44 (AASHTO) incrementada en un 25%

## iii) Carga Sísmica

### a) El Salvador

En El Salvador no existen normas técnicas para el diseño antisísmico para puentes. Sin embargo, sí existen las “Normas Técnicas para Diseño por Sismo” para la edificación, por lo que se calcularán en base a estas normas. Con estas normas, la fuerza horizontal por sismo se calcula en base a las siguientes fórmulas:

$$V = C_s \times W$$

$$C_s = 0,5 \times A \times I$$

en donde:

V : Fuerza horizontal en sismo

C<sub>s</sub> : Coeficientes sísmico horizontal de diseño

A : Factor de zonificación sísmica (Zona I: 0.4 y Zona II: 0.3)

I : Coeficiente de la importancia estructural (Estructura importante o peligrosa: 1.5, Estructura importante: 1.2 y Estructura general: 1.0)

W :Peso de la estructura

En cuanto al Factor de zonificación sísmica (A), el Puente de la Amistad del Japón y Centroamérica se ubicará en un punto sobre el límite entre A=0.3 y 0.4. No obstante, mediante consultas con el MOP durante la primera fase del Estudio Local, se acordó con la contraparte salvadoreña definirlo como A=0.3, tras considerar que la incidencia de terremotos en Honduras es menor que en El Salvador.

El Coeficiente de la importancia estructural será de I=1.5, por tratarse de un puente internacional.

En base a estos valores, el coeficientes sísmico horizontal de diseño (C<sub>s</sub>) se calcula como sigue:

$$C_s = 0.5 \times A \times I = 0.5 \times 0.3 \times 1.5 = 0.225 \rightarrow 0.23$$

### b) Honduras

En Honduras no existen normas y reglamentos sobre la carga sísmica; no obstante, según las normas para drenaje y puentes que se encuentran en el Manual de Carreteras del Año 2001 establecen un coeficientes sísmico horizontal de diseño de “0.1 g” para el punto de ubicación del Puente de la Amistad del Japón y Centroamérica.



### c) Coeficiente Sísmico Horizontal de Diseño (Kh)

De acuerdo a las normas salvadoreñas, el coeficiente sísmico horizontal de diseño es de  $K_h=0.23$ , mientras que las normas hondureñas lo definen como  $K_h=0.1$ . En el terremoto ocurrido en enero de 2001 en El Salvador el coeficiente sísmico horizontal fue de  $0.08 - 0.25$ , por tanto, teniendo en cuenta este coeficiente, se determinará un coeficiente sísmico horizontal de diseño de  $K_h=0.23$  para el puente “El Amatillo”.

### iv) Resistencia de Materiales

- ① Resistencia estándar de diseño del concreto para la superestructura de concreto pretensado (PC)

La resistencia estándar de diseño del concreto para la superestructura de concreto pretensado será:

$$\sigma_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$$

- ② Resistencia estándar de diseño del concreto reforzado

La resistencia estándar de diseño del concreto reforzado de los elementos de la subestructura, cimentación, cunetas y barandas del muro será:

$$\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$$

- ③ Resistencia estándar de diseño del concreto simple

La resistencia estándar de diseño del concreto simple de elementos tales como concreto para nivelación y concreto de aceras será de:

$$\sigma_{ck} = 18 \text{ N/mm}^2$$

- ④ Varillas de hierro de refuerzo

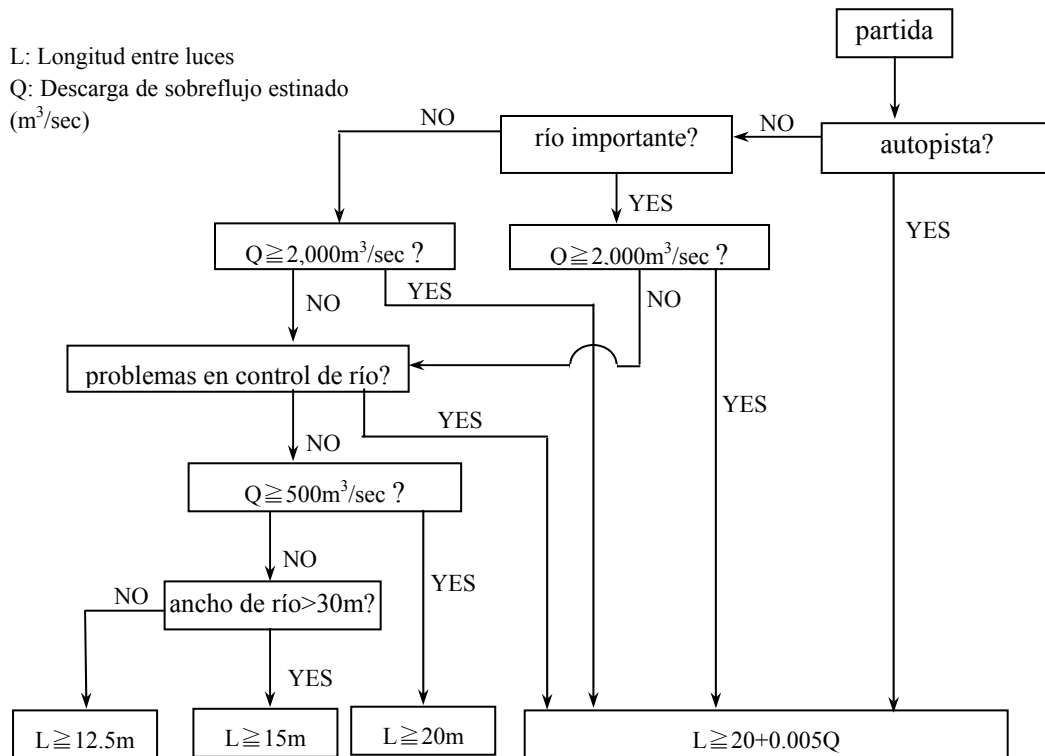
Las especificaciones técnicas de las varillas que se utilizarán en el proyecto corresponden a la denominación SD345 (Grado 60) del Japón.

- ⑤ Cables de acero para PC

Cables con filamentos metálicos retorcidos para estructuras de PC que corresponde a la denominación 12S12.7 (SWPR7BL) del Japón.

**v) Procedimientos de determinación de la longitud de tramo**

La Figura 2-2-11 muestra el procedimiento de determinación de la longitud del tramo.



**Figura 2-2-11 Procedimientos de determinación de la longitud de tramo**

Según este procedimiento se ha calculado la longitud de tramo del puente y será  $L \geq 20 + 0.005Q = 35\text{ m}$ , cuando el descarga de sobreflujo estimado sea  $Q = 3,000\text{ m}^3/\text{sec}$ .

**(2) Planificación del Ancho de Puente**

En base a la Sección 2-2-1-2(3), los Lineamientos Básicos sobre el Ancho de Caminos de Acceso y de Puente, la sección transversal de la vía estándar del puente estará compuesta de la siguiente manera: ancho de rodadura:  $3.65\text{ m} \times 2 = 7.3\text{ m}$ , ancho de hombro:  $1.5\text{ m} \times 2 = 3.0\text{ m}$  y ancho de acera:  $1.5\text{ m} \times 2 = 3.0\text{ m}$ , totalizando un ancho efectivo de 13.3m.

En cuanto a la sección transversal de la vía estándar sobre el terreno estará compuesta de la siguiente forma: ancho de rodadura:  $3.65\text{ m} \times 2 = 7.3\text{ m}$ , ancho de hombro:  $2.4\text{ m} \times 2 = 4.8\text{ m}$  y ancho de hombros de protección:  $1.0\text{ m} \times 2 = 2.0\text{ m}$ , totalizando un ancho efectivo de 14.1m.

### **(3) Análisis de la Longitud del Puente**

La longitud de puente se determinó, luego de analizar los tres aspectos hidráulicos siguientes:

#### **a) Ancho del Río correspondiente al Nivel de Crecida estimado (HWL)**

Cuando el río alcance NAA (HWL por sus siglas en inglés), presentará un ancho de 196m. En cuanto a la topografía, en las cercanías equivalentes a la misma altura del nivel de crecida estimado, presentan inclinación menor en la margen con un campo abierto. En caso de que se aplique 196m como la longitud del puente, se considera que el mismo será más que suficiente y no habrá la necesidad de que la longitud sea superior a este valor.

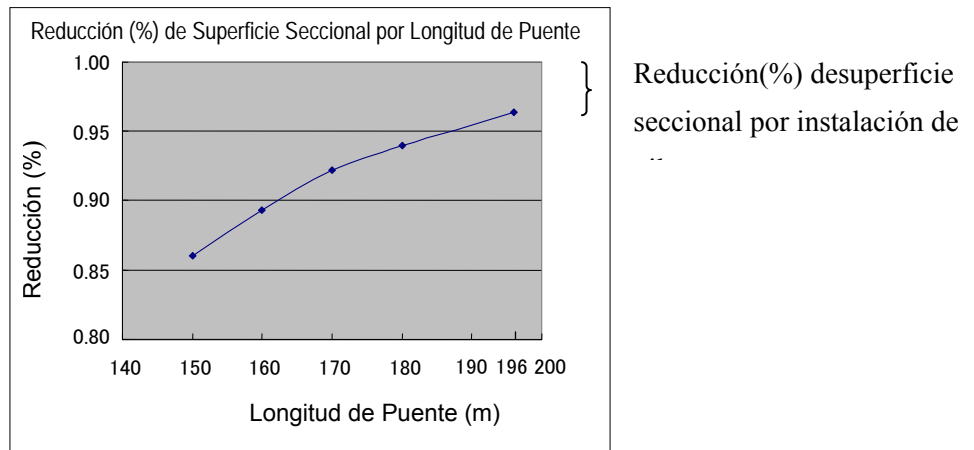
#### **b) Ancho del Cause del Río**

En lo que respecta al ancho del cause del río, en la margen derecha (del lado salvadoreño) se observan precipicios con rocas descubiertas forman una especie de dique natural, mientras que en la margen izquierda (del lado hondureño) el nivel equivalente a unos 40m de altura correspondería al dique natural debido a que, visto desde los aspectos de la geomorfología del río, la flora y el uso del terreno, existen árboles altos ubicados en hilera a lo largo de la orilla a este nivel, aprovechando el área interior entre éstos y el río, como área de pasto. Por consiguiente, los precipicios de la margen derecha y el terreno ubicado a unos 40m sobre el nivel del mar en la margen izquierda constituirán el ancho del cause del río para el puente nuevo.

A la hora de pensar en la longitud del puente, se puede observar que la ubicación del estribo en la margen derecha se determinará automáticamente por su naturaleza topográfica. Por otra parte, en la margen izquierda, no sería conveniente estrechar el cauce al ubicar el estribo en un punto interior del supuesto dique natural. Por esta razón, la longitud mínima del puente deberá coincidir con el ancho del cauce del río que se estimó de esta manera, es decir, 170m.

#### **c) Impacto al Flujo del Río cuando se aplique el Ancho del Cauce del Río como Longitud del Puente**

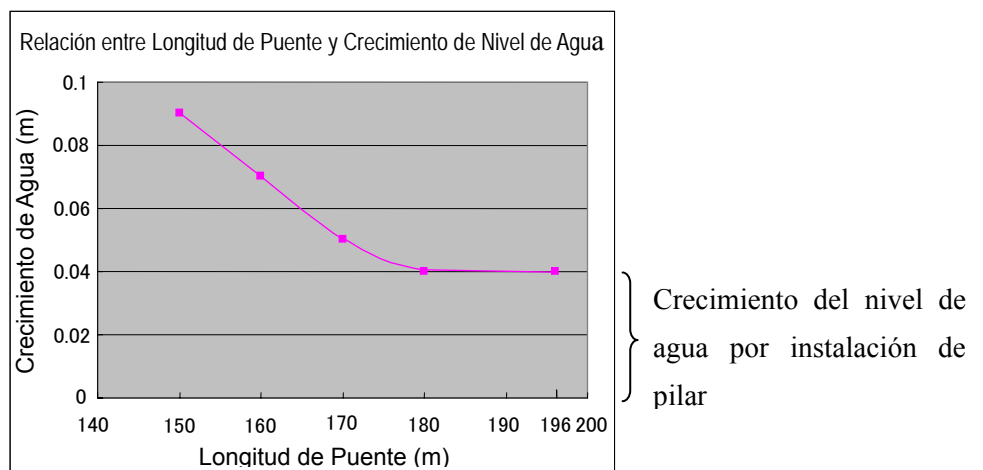
Entre los impactos al flujo de río en el NNA (HWL) se pueden considerar los siguientes: reducción de la superficie seccional del flujo del río a la altura del puente por estrechar el cauce y colocar pilares, crecimiento de nivel de agua en el tramo anterior al puente y aumento de la velocidad de flujo del río en la sección del puente. Suponiendo que se colocan dos pilares con un ancho de 3.5m, las proporciones de reducción de la sección de flujo del río según la longitud de puente, en el momento de la descarga del sobreflujo estimado a la altura del puente, quedarán como muestra la Figura 2-2-12. Cuando la longitud de puente sea de 170m, el porcentaje de reducción será menor que el 10%, sin embargo en el caso de que la longitud del puente sea 160m, el porcentaje de reducción se superará el 10%.



**Figura 2-2-12 Porcentaje de Reducción de la Superficie Seccional debido a la Longitud de Puente**

Debido a la construcción de los pilares y el estrechamiento del ancho del río, la resistencia ante el flujo de agua incrementará provocando el crecimiento del nivel de agua en el tramo anterior al puente, cuyos volúmenes calculados aparecen en la Figura 2-2-13.

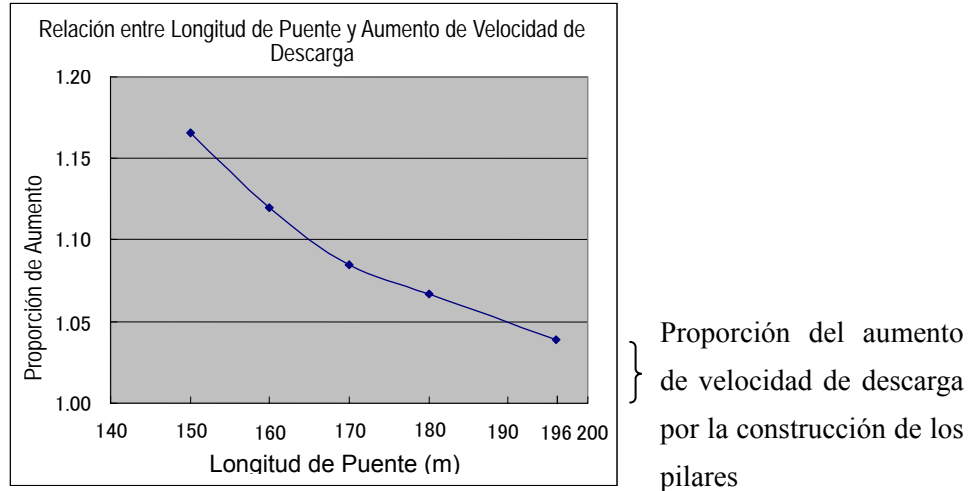
Si se acorta la longitud del puente en la margen izquierda, el incremento del nivel de agua será de 4cm y 5cm, cuando el puente tenga la longitud de 180m y 170m respectivamente. Esta pequeña diferencia se debe a la poca profundidad de agua en esta zona por la existencia de un lecho alto; sin embargo, cuando el puente tenga una longitud menor, tanto su incremento como el porcentaje del incremento serán mayores.



**Figura 2-2-13 Relación entre Longitud de Puente y Crecimiento de Nivel de Agua**

La construcción de pilares y el estrechamiento del ancho de río incrementan la velocidad del flujo de agua en la sección del río a la altura del puente, produciendo socavaciones en el lecho de río y en los alrededores de las pilares, lo cual no sería adecuado porque la velocidad de flujo incrementa comparando con la situación actual. El porcentaje de incremento de la velocidad del flujo a la altura del puente, se muestran en la Figura 2-2-14. Con respecto al porcentaje de incremento de la velocidad el flujo del río, se compararon la velocidad de flujo seccional del río considerando el puente y la velocidad del flujo seccional del río sin considerar el puente.

En el caso de que la longitud del puente sea largo, el incremento de velocidad no es mucho; sin embargo, al igual que con lo que ocurre con el nivel de agua, cuando la longitud del puente disminuye, la velocidad del flujo aumenta, además de que crece la proporción del aumento ante la variación de la longitud de puente. El incremento para el caso de un puente de 170m será del 8%, mientras que para un puente de 160m, el incremento superará el 10%.



**Figura 2-2-14 Relación entre Longitud del Puente y el Aumento de Velocidad del Flujo**

Como se ha podido observar, se han analizado posibles impactos por la construcción de los pilares y el acortamiento de la longitud del puente, tomando en cuenta los aspectos de la reducción de la superficie seccional del flujo de la crecida, la consecuente subida del nivel de agua arriba del puente y el incremento de la velocidad del flujo en la sección del río a la altura del puente en relación con la socavación. En base a estos resultados, el puente tendrá una longitud de 170m como la supuesta longitud mínima, valor que podrá contener tanto la reducción de la superficie seccional como el incremento de velocidad de flujo en un valor inferior al 10%, al mismo tiempo que se evitará que el nivel de agua arriba del puente suba más de 5cm.

**2-2-2-3 Planificación de las Instalaciones**

**(1) Selección de Tipo de Puente Óptimo**

**1) Identificación de Alternativas**

Para identificar posibles tipos de puente, luego de calcular el número de tramos, basado en la longitud mínimo del tramo que se determina según el caudal y considerando los tipos estándar de puentes, la longitud aplicable del tramo entre los soportes y las prácticas en El Salvador y Honduras, se buscarán los tipos de puentes que sean viables desde el punto de vista de la seguridad de estructura, construcción, economía y mantenimiento. Como la longitud mínimo del tramo entre soportes para el Proyecto es de 35.0 m aproximadamente, por lo que el puente se compondrá de cuatro o tres luces. Se identifican los posibles tipos de la superestructura, tomando como referencia el “tramo determinado conforme al estándar” que se muestra en la Tabla 2-2-10.

Las luces estándar tienen 42.5m de longitud (con cuatro luces) y 70.0m de longitud (con tres tramos) en el puente de viga continua, por lo que se escogerá dentro de los tipos de puente que se muestran en la tabla a continuación. Como referencia, se han agregado una alternativa de cinco tramos (puente de cinco tramos de vigas T postensadas de PC). Sin embargo, esta opción no satisface el porcentaje de obstrucción del flujo del río (valor de referencia: 5%).

**Tabla 2-2-10 Comparación de los Posibles Tipos de Puente**

		Tipo de Puente	Razón de la selección	Alternativa
Puente de acero	Puente de acero de vigas continuas no compuestas		Se utiliza usualmente en puentes de acero con una longitud de tramo de unos 40m.	○
	Puente de viga de cajuela continua		Se utiliza usualmente en puente de acero con una longitud de tramo de unos 70m.	○
	Puente de acero de armadura continua		Dentro de las alternativas de puente de acero, es una opción con un costo relativamente alto,	No se aplica
Puente de PC	Puente de PC con vigas T postensadas de (Referencia)		Es uno de los tipos más comunes, sin embargo, no se utiliza cuando la longitud del tramo supera los 40m, por lo que en este caso se utilizará un tramo estándar de 35m. Esta opción la longitud del puente equivaldría a 175m (5 @ 35 = 175m), mientras las otras alternativas tendrían 170m.	○
	Puente de viga cajón (instalacion en voladizo)	Estructuras con soportes	En este tipo se colocan soportes provisionales durante la construcción en voladizo, sustituyéndolos por otros definitivos. No se adopta, debido a que comparando con el puente de estructura rígida, es inferior en términos de economía, facilidad de construcción y mantenimiento.	No se aplica
		Pórtico rígido	Es corriente para un puente de concreto una longitud del tramo de unos 80m. Permite la construcción durante la época lluviosa.	○

En base a la tabla anterior, se han escogido como alternativas las cuatro siguientes propuestas:

**Tabla 2-2-11 Alternativas para Determinar Tipo de Puente**

Propuesta	Clase de puente	Tipo de puente	Número de luces	Distribución de luces por tramo
I	PC	Puente de cinco tramos de PC con vigas T (Referencia)	5	5@35.0 = 175m
II	Acero	Puente de cuatro tramos continuos de acero con vigas no compuestas	4	4@42.5 = 170m
III	PC	Puente de tres tramos continuos de PC con viga cajón (estructura rígida)	3	45.0+80.0+45.0 = 170m
IV	Acero	Puente de tres tramos continuos de acero con viga cajuela.	3	50.0+70.0+50.0 = 170m

**Tabla 2-2-12 Tramo determinado conforme al estándar**

Tipo de Superestructura	Luz recomendada para el puente					Para curva		Comparación de viga/luz	
	42.5m	50 m	70m	100 m	150 m	Est. princ.	Losa		
Puente de acero	Losa compuesto c/ viga						si	si	1/18
	Viga de plancha simple						si	si	1/17
	Viga de plancha continua						si	si	1/18
	Viga de caja simple						si	si	1/22
	Viga de caja continua						si	si	1/23
	Celocía simple						no	si	1/9
	Celosía continua						no	si	1/10
	Viga "Langer" invertida						no	si	1/6,5
	Viga "Rose" invertida						no	si	1/6,5
	Arco						no	si	1/6,5
Puente de PC	Viga pre-tensada						no	si	1/15
	Losa de caja						si	si	1/22
	Viga de "T" simple						no	si	1/17,5
	Losa compuesta simple						no	si	1/15
	Losa compuesta unida						no	si	1/15
	Losa compuesta continua						no	si	1/16
	Viga de caja simple						si	si	1/20
	Viga de caja (voladizo)						si	si	1/18
	Viga de caja continua (empuje o soporte)						si	si	1/18
	Est. rígida en forma "π"						no	si	1/32
Puente de RC	Losa de caja						si	si	1/20
	Arco continua relleno						si	si	1/2

**2) Análisis de los Tipos de Superestructura**

Las propuestas mencionadas arriba, se han comparado tras estudiar la información disponible, estimación provisional de costo de construcción y procesos de constructivos, junto con la evaluación de los ítems tales como la seguridad de estructura, la trabajabilidad (período de construcción), la disponibilidad local de los recursos, el mantenimiento y el economía. Tomando en cuenta estos factores, se ha concluido que la Propuesta III, Puente de tres tramos continuos de PC con viga cajón, es la opción óptima,

principalmente por las siguientes razones:

Al comparar un puente de acero con uno de PC, el de acero requiere un periodo de construcción menor, mostrando su superioridad en este aspecto; sin embargo, en cuanto a la economía se refiere, es una opción inferior, ya que para la adquisición, producción y montaje de materiales estructurales para la superestructura se tendría que recurrir al Japón o a terceros países. Es más, en caso de encargar la producción y montaje a terceros países, existe la posibilidad que no satisfagan los requisitos indispensables de inspección, tales como los requeridos para las soldadura en uniones de los componentes, lo que se traduciría en una falta de confiabilidad en la calidad. Además existen los problemas de corrosión, los cuales son un factor negativo en el mantenimiento del puente. En este sentido, en términos de economía y mantenimiento el puente de acero es una opción inferior comparada con la opción de PC.

Comparando las Propuestas I y III, ambas de PC, prácticamente no existe diferencia en lo que a la seguridad de estructura se refiere. Sin embargo, se ha escogido la Propuesta III como la mejor opción debido a que el puente de viga de tres tramos continuos de PC con viga cajón presenta superioridad en la construcción y economía por contar con menor números de pilares, lo cual implica un impacto menor al río.

La Tabla 2-2-16 Tabla Comparativa del Tipo de Puentes, muestra los resultados del estudio comparativo de los diferentes tipos de puente.



### 3) Análisis de los Tipos de Subestructura

#### i) Selección de la Capa de Suelo Soporte

El estudio geológico indica que en la margen derecha (lado salvadoreño) existen rocas descubiertas, mientras que en la margen izquierda (lado hondureño) la roca firme se encuentra sumergida a una profundidad de 8.0 a 9.0m por debajo de la superficie del terreno. Las capas superiores en la margen izquierda y en el río están compuestas del suelo arcilloso o arenoso con mezcla de cantos rodados y gravas. Estas capas superiores son de formación relativamente nueva y no sirven como capa de suelo de soporte para los cimientos de puente, por lo cual se utilizará la roca firme en el subsuelo como capa de soporte la cual se encuentra entre los 40.0 y 28.0m de profundidad sobre el nivel del mar.

#### ii) Recubrimiento de la cimentación del Pilar

Según el análisis, la socavación tendrá una profundidad de 2.44 m en la zona del pila. Por lo tanto, habrá que colocar la zapata del pilar a una profundidad superior a esta cifra y dentro de la roca firme.

En el caso de la cimentación del pilar P1, como la roca para la capa de suelo soporte es de poca profundidad, el pilar debe ser penetrado suficientemente en la roca (profundidad superior a 1.0 m) y se deberá recubrir con tierra con 50 cm de espesor como mínimo.

#### iii) Tipos de Subestructura y Cimentación

La selecciones del tipo de Subestructura y del tipo de Cimentación se muestran en las Tabla 2-2-13 y la Tabla 2-2-14, respectivamente:

**Tabla 2-2-13 Selección del Tipo de Subestructura**

Tipo	Forma	Altura de aplicación (m)			Condiciones de aplicación
		10	20	30	
Estribo	1. Sistema de gravedad	■			Es apto para cimentaciones directas donde el suelo de soporte es poco profundo.
	2. Sistema de T invertida	■	■		Esta forma de estribo cuenta con muchos ejemplos de aplicación y es apto para la cimentación directa y pilotes.
	3. Sistema de contrafuertes		■		Es apto para estribos altos. Se utilizan pocos materiales; sin embargo, el periodo de construcción de la obra es largo.
	4. Sistema de cajón		■		Es una forma que fué desarrollado para los estribos altos. El periodo de la construcción de la obra es relativamente largo.
Pilas	1. Tipo columna	■	■		Es apto para cuando los pilares son bajos, las condiciones de cruce es difícil, construcción dentro del río, etc.
	2. Sistema Rahmen (marco rígido)		■		Es apto para los puentes anchos con pilares relativamente altos. En caso de inundaciones, puede impedir el flujo de agua del río.
	3. Sistema Pile Bent		■		Es el sistema más económico; sin embargo, no es apropiado para los puentes con gran fuerza horizontal. Además, en caso de inundaciones, puede impedir el flujo del agua en el río.
	4. Sistema ovalado		■	■	Apropiado para los puentes con los pilares altos y puentes con gran fuerza externa.

**Tabla 2-2-14 Tabla de Selección de Tipos de Base**

Forma básica		Pilotes de hincado superior		Cimentación sobre pilotes con perforación media		Cimentación sobre pilotes en el lugar		Caisson		Base de revestimiento de tubo de acero												
				Pilotes de tubo de hierro	Pilotes de tubo de acero	Revestimiento total	Inverso	Perforadora de Tierra	Cimentación profunda	Neumática	Abierta	Base de revestimiento de tubo de acero	Cimentación de pared continua subterránea									
Condiciones de selección		Cimentación directa	Pilotes RC	Pilotes PHC	Método de tubo de hierro	Método de impacto final	Método de agitación por fusión de aire	Método de impacto en concreto	Método de impacto final	Método de agitación por fusión de aire	Método de impacto en concreto	Revestimiento total	Inverso	Perforadora de Tierra	Cimentación profunda	Neumática	Abierta	Base de revestimiento de tubo de acero	Cimentación de pared continua subterránea			
Condiciones del suelo	Condiciones hasta la capa de apoyo	Existencia de un suelo débil en la capa intermedia	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		Existencia de una capa muy dura en la capa intermedia	○	×	△	△	○	○	○	○	○	○	△	○	△	○	○	△	△	○	○	
		Existencia de gravas en la capa intermedia	Diámetro de grava menor a 5 cm	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			Diámetro de grava 5 cm – 10 cm	○	×	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○	△	○	○	○	△	○	○
			Diámetro de grava 10 cm – 50 cm	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	○	○	△	×	△	○
	Existencia de un suelo con posibilidad de licuifacción	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Condiciones de la capa de soporte	Profundidad de capa de soporte	Menor a 5 m	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
			5-15 m	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	△	△	○
			15-25 m	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			25-40 m	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○
			40-60 m	×	×	△	○	△	△	△	○	○	○	△	○	×	×	△	○	○	○	○
		Más de 60 m	×	×	×	△	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	△	△	△	△	
		Tipo de suelo de capa de soporte	Suelo arcilloso ( $20 \leq N$ )	○	○	○	○	○	×	△	○	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Arena, grava ( $30 \leq N$ )		○	○	○	○	○	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Gran inclinación (mas de 30°)	○	×	△	○	△	△	△	○	○	○	○	△	△	○	○	△	△	△	△	○	
Existencia de desniveles en la superficie de la capa de apoyo	○	△	△	○	△	△	△	○	△	△	△	○	○	○	○	○	△	△	△	○		
Condición de agua subterráneas	El nivel del agua subterránea está cerca de la superficie terrestre	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○		
	Hay muchos manantiales	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	×	○	○	○	○	△	○		
	Agua artesiana a más de 2 m de la superficie de tierra	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	△	○	×	○		
	Velocidad de agua subterránea más de 3 m/min	×	○	○	○	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	○	△	○	×	○		
Características de la estructura	Escala de carga	Carga vertical pequeña (tramos a menos de 20 m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	△	×	×		
		Carga vertical normal (tramos entre 20 m – 50 m)	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		Carga vertical grande (tramos a más de 50 m)	○	×	△	○	△	△	△	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	
	Sistema de soporte	Carga horizontal pequeño en comparación a la Carga vertical	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	○	
		Carga horizontal es mayor en comparación a la Carga vertical	○	×	△	○	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Condiciones de ejecución de obra	Obras sobre el agua	Profundidad de agua de menor a 5 m	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	×	○	△	×	△	△	○	×		
		Profundidad de agua mayor a 5 m	×	△	△	○	△	△	△	△	△	△	×	△	×	×	△	△	○	×		
	Espacio de trabajo estrecho	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	△	△	×	△	○		
	Obras de pilotes inclinados	△	△	○	○	×	×	×	△	△	△	△	×	×	×	△	△	△	△	○		
	Efectos de gases toxicos	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○		
	Ambiente en las cercanías	Solución contra ruidos y vibraciones	○	×	×	×	△	○	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	△	○		
Influencia contra estructuras vecinas		○	×	×	△	△	○	○	△	○	○	○	○	○	△	△	△	△	○			

La altura del pilar se determinará tomando en cuenta la socavación causado por el mismo pilar. En cuanto a los estribos, el fondo de la zapata del Estribo A1 (cimentación directa), se ubicará en un soporte de alta calidad, tal como roca firme, mientras que para el Estribo A2 (cimentación con pilotes) se implementarán los trabajos de protección de la orilla por no poder garantizar la profundidad de socavación.

El tipo de cimentación a utilizar se determina en base a la ubicación de la capa de soporte (profundidad). Como se muestra en la Tabla 2-2-15, para el caso del estribo A1 y el pilar P1 la capa de suelo soporte se encuentra ubicado a una profundidad menor a 3.0m de profundidad. Sin embargo, el recubrimiento de tierra y el espesor del cimienta garantizan una penetración suficiente para utilizar la metodología de la cimentación directa. En caso del pilar P2, la altura entre la cara inferior de la zapata y la superior de la capa de soporte apenas será de 0.5m, por lo que también se aplicará la metodología de cimentación directa, profundizando el desplante de la cara inferior de la zapata 1.0m más. Por último, para el caso del estribo A2, la altura entre la cara inferior de la zapata y la cara superior del soporte tendrá aproximadamente 5.5m, por lo que se optó por aplicar una metodología diferente a la cimentación directa, adoptando el tipo de cimentación con pilotes fundidos in situ por las siguientes razones:

- La capa de soporte está conformada por una roca dura donde la metodología de la construcción se limita a la metodo de rotación completa
- La profundidad de la capa de soporte es relativamente poca, equivalente a 8.29m (longitud de pilote es de 7.0m )
- El estribo comparando con la pila, soporta cargas verticales y horizontales menores

El tipo de subestructura será seleccionada según la altura de estructura. Además, la forma de la estructura deben ser lo más simple posible. Por lo consiguiente, para los pilares se seleccionó el pilar tipo muro, el cual es una estructura muy común, mientras que para los estribos se seleccionó el estribo de tipo T inversa, ya que la altura final de la estructura oscilará entre los 10.5m y 11.0m.

**Tabla 2-2-15 Tipos de Subestructura y Cimentación**

	Estribo A1	Pila P1	Pila P2	Estribo A2
Estación. No.	No.0+395.0	No.0+440.0	No.0+520.0	No.0+565.0
Estudio geológico No.	A-1,A-1+1	P-1	P-2	A-2
Nivel del terreno (GH)	40.24	33.92	36.89	40.79
Nivel de roca firme (Capa de suelo soporte: GG) (Profundidad de la capa de soporte)	39.34 (0.90m)	31.12 (2.80m)	27.48 (9.41m)	32.50 (8.29m)
Ubicación de la zapata	Capa de suelo soporte – profundidad de penetración del cemento	Lecho bajo de río – (el recubrimiento + el espesor de la zapata)	Capa de suelo soporte – profundidad de penetración del cemento	Terreno actual – (el recubrimiento + el espesor de la zapata )
Nivel del lecho de río más profundo	–	33.92	33,92	40.79
Recubrimiento de tierra	–	0.500	2.440	0.500
Supuesto espesor de la zapata (D)	–	3.500	3.500	2.000
Nivel de la cara inferior de la zapata (Pf)	–	29.920	27.980	38.290
Tipo de cimentación	<b>Cimentación directa</b>	<b>Cimentación directa</b>	<b>Cimentación directa</b>	<b>Pilotes</b>
Enterramiento en el soporte (Df)	0.50	0.50	0.50	1.20
Posición de asentamiento de zapata (F)	38.840	30.620	26.980	38.115
Longitud de pilote del estribo A2 (L)	–	–	–	<b>(6,815≐)7,000</b>
Altura planificada (PH)	49.465	49.240	48.840	48.615
Altura de superestructura (hs)	–	5.094	5.153	–
Nivel del fondo de zapata (Pf)	38.840	29.920	26.980	38.290
Altura de subestructura (H)	10.625 ≐11.000	14.226 ≐14.500	16.707 ≐17.000	10.325 ≐10.500
Diferencia entre la cara superior de la capa de suelo soporte y el desplante de la zapata	–0.875	–1.474	–0.793	+5.615
Tipo de subestructura	<b>Estribo de tipo T invertida</b>	<b>Pilar de tipo muro</b>	<b>Pilar de tipo muro</b>	<b>Estribo de tipo T invertida</b>

4) Tabla Comparativa del Tipo de Puentes

Tabla 2-2-16 Tabla Comparativa del Tipo de Puentes

	Perfil	Seccion de la Superestructura	Evaluacion
Propuesta I: Puente de vigas T de PC con cinco tramos			<p>Condiciones fluviales: El índice de impedimento de flujo de río es de un 5.7%, sin satisfacer el nivel estandar del 5%. La longitud de tramo estandar es de 35m y esta propuesta tiene la mayor longitud de puente. Longitud de puente: 170m + 175m.</p> <p>Economía: Es la mas economica despues de la Propuesta III. Índice de economía: 1.10</p> <p>Estructura y Resistencia antisísmica: Es un tipo mas comun entre los puentes hormigon. Es excelente su resistencia antisísmica por sus vigas unidas.</p> <p>Facilidad de construcción: La obra de subestructura tiene que terminarse en el estiaje, pero esta propuesta tiene mayor numero de pilos, lo que constituye mayor desventaja frente a otras propuestas. La obra de superestructura se hace a base de la viga de erection, metodología viable aun en el invierno. Periodo de construcción: Aprox. 20meses.</p> <p>Aspecto: No requiere mantenimiento por ser puente de hormigon. Da un aspecto algo complicado por tener mayor numero de columnas.</p> <p>Mantenimiento: No da problema especial por ser puente de hormigon. El mayor numero de apoyos requiere mantenimiento. Apoyos: 70 unidades</p> <p>Evaluacion global: No es apropiada para este proyecto, porque, es economico, pero no satisface el indice de impedimento de flujo de río.</p>
Propuesta II: Puente de vigas continuas de acero con cuatro tramos			<p>Condiciones fluviales: El índice de impedimento de flujo de río es de un 4.4%, que satisface el nivel estandar del 5%. Adopta la longitud minima de puente de 170.0m, calculado a base del analisis hidrológico.</p> <p>Economía: Es una propuesta nada economica. Índice de economía: 1.30</p> <p>Estructura y Resistencia antisísmica: Es un tipo mas comun entre los puentes de acero. Es excelente su resistencia antisísmica por sus vigas continuas.</p> <p>Facilidad de construcción: Como la obra de subestructura tiene que terminarse en el estiaje, hay que estar muy pendiente del avance de obras. La superestructura se construye con lanzamiento, metodología viable aun en el invierno. Periodo de construcción: Aprox. 21meses.</p> <p>Aspecto: Da un aspecto menos bello por usar materiales resistentes al intemperie y descubiertos. Da un aspecto algo complicado por tener mayor numero de columnas.</p> <p>Mantenimiento: No requiere mantenimiento por usar materiales resistentes al intemperie y descubiertos. Mayor numero de apoyos requiere mantenimiento. Apoyos: 35 unidades</p> <p>Evaluacion global: No es apropiada para este proyecto, porque no es economico.</p>
Propuesta III: Puente de vigas de caja continuas de PC con tres tramos			<p>Condiciones fluviales: El índice de impedimento de flujo de río es de un 4.1%, que satisface el nivel estandar del 5%. Adopta la longitud minima de puente de 170.0m, calculado a base del analisis hidrológico.</p> <p>Economía: Es la propuesta mas economica. Índice de economía: 1.00</p> <p>Estructura y Resistencia antisísmica: Es un tipo mas comun entre los puentes de hormigon. Es de armadura rígida, lo que constituye mayor resistencia antisísmica que otras propuestas.</p> <p>Facilidad de construcción: Como la obra de subestructura tiene que terminarse en el estiaje, hay que estar muy pendiente del avance de obras. La obra de superestructura se hace a base de viga voladizo, metodología viable aun en el invierno. Periodo de construcción: Aprox. 19meses.</p> <p>Aspecto: No requiere mantenimiento por ser puente de hormigon. Da un aspecto despejado por tener menor numero de columnas.</p> <p>Mantenimiento: No requiere mantenimiento basicamente por ser puente de hormigon. Tiene menor numero de apoyos, lo que requiere menor trabajo de mantenimiento para los accesorios. Apoyos: 4 unidades</p> <p>Evaluacion global: Es mas apropiado para este proyecto, porque es el mas economico de todos.</p>
Propuesta IV: Puente de vigas de caja continuas de acero con tres tramos			<p>Condiciones fluviales: El índice de impedimento de flujo de río es de un 3.5%, que satisface el nivel estandar del 5%. Adopta la longitud minima de puente de 170.0m, calculado a base del analisis hidrológico.</p> <p>Economía: Es la propuesta menos economica. Índice de economía: 1.76</p> <p>Estructura y Resistencia antisísmica: Es un tipo mas comun entre los puentes de acero. Es excelente su resistencia antisísmica por sus vigas continuas.</p> <p>Facilidad de construcción: Como la obra de subestructura tiene que terminarse en el estiaje, hay que estar muy pendiente del avance de obras. La superestructura se construye con lanzamiento, metodología viable aun en el invierno. Periodo de construcción: Aprox. 19meses.</p> <p>Aspecto: Da un aspecto menos bello por usar materiales resistentes al intemperie y descubiertos. Da un aspecto despejado por tener menor numero de columnas.</p> <p>Mantenimiento: No requiere mantenimiento basicamente por usar materiales resistentes al intemperie. Tiene menor numero de apoyos, lo que requiere menor trabajo de mantenimiento para los accesorios. Apoyos: 8 unidades</p> <p>Evaluacion global: No es apropiado para este proyecto, porque es el menos economico de todos.</p>

**(2) Análisis de las Obras de Protección de las Orillas y del Lecho del Río**

En cuanto a la protección de la orilla, actualmente existe una protección natural: la margen derecha está conformada por rocas y presenta el nivel de agua algo profundo debido al desvío de la línea de pendiente máxima del río hacia la margen derecha, habiendo menor profundidad en la margen izquierda por causa de la grava existente. El lecho del río está formado principalmente por gravas y arena de tamaño de partícula mayor; sin embargo también se observan rocas esparcidas. No se observa una gran diferencia en la profundidad del nivel de agua entre las dos márgenes, a pesar de la curvatura, es debido a la existencia de las rocas por debajo de las gravas y arenas.

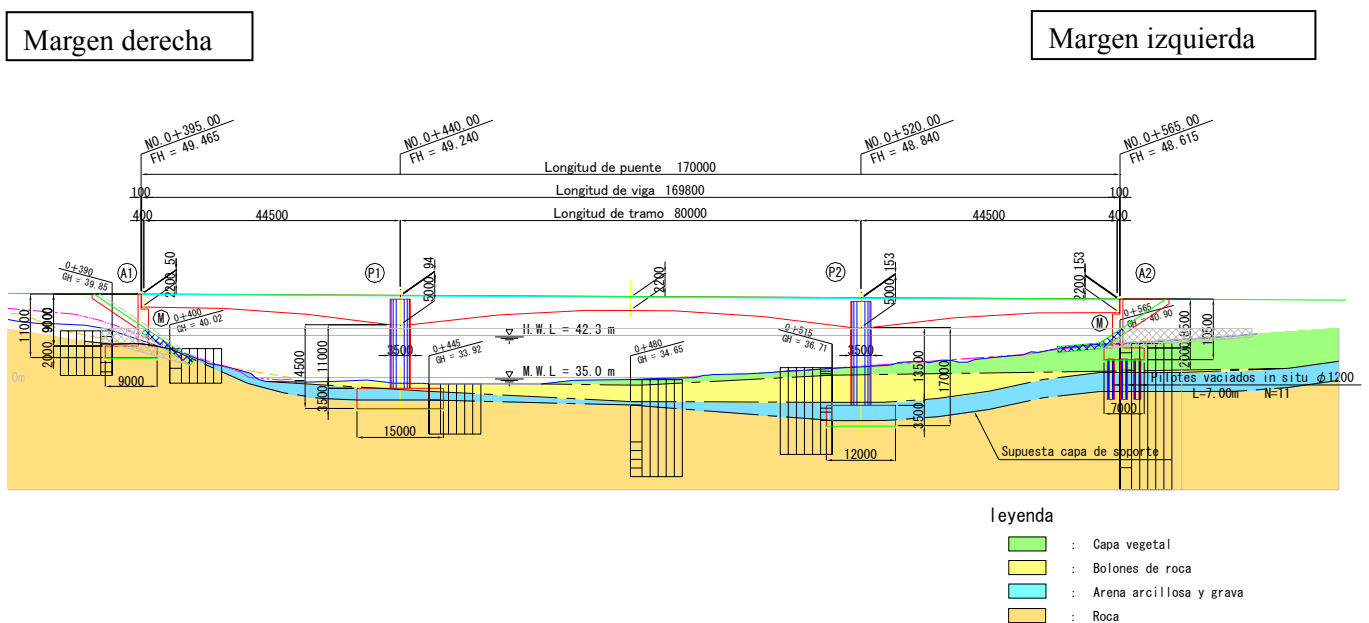
Por consiguiente, el Estribo A1, los pilares P1 y P2 no tendrán el problema específico de socavación, ya que la profundidad de la capa de suelo soporte (roca firme) es menor que la de socavación.

Con respecto al Estribo A2, se deberán tomar medidas contra la socavación, debido a que ésta sobresale de la margen y a que la capa de suelo soporte queda más profunda que la margen derecha.

Como medidas contra la socavación se pueden enumerar los siguientes: profundizar la cimentación y proteger la orilla de la margen y del estribo, con las obras de protección y consolidación de base de la cimentación.

No obstante, la primera opción resulta costosa por la profundidad de la capa de suelo soporte, además de que se requiere la protección de la orilla para el camino de acceso, por lo que se optará por proteger la orilla de la margen y consolidar la base de la cimentación.

**Figura 2-2-15 Sección del Punto de Ubicación del Puente**



### 1) Análisis del Alcance y Estructura de la Obra de Protección de la Margen

Para los trabajos constructivos de protección de la margen se pueden considerar métodos directos como colocación de piedras, gaviones y bloques de concreto, y métodos indirectos como la construcción de espigones, diques de desvío y obra en forma de paletas; sin embargo, los métodos indirectos son costosos, por lo que se adoptarán los métodos directos.

Entre los métodos directos destacan los trabajos de colocación de piedras, gaviones y bloques de concreto. Las características de estos se presentan a continuación:

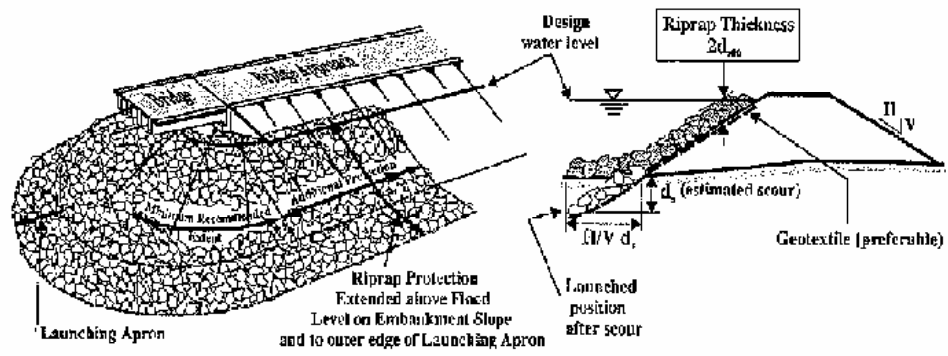
- ① El método constructivo con piedra para formar taludes o consolidar la base es un método común y relativamente económica, además de lo simple de su construcción. Responde bien a las socavaciones menores y el mantenimiento no resulta difícil. Sin embargo, la estructura resultante puede ser arrasada por la corriente de agua fácilmente y provoca impactos a la flora del entorno hasta que se logra estabilizar.
- ② El método constructivo con gaviones es relativamente económico y su mantenimiento es fácil. Sin embargo, las piedras interiores se pueden esparcir con la socavación. Además, es importante evaluar la resistencia del cajón de la malla.
- ③ El método constructivo con bloques de concreto presenta una buena resistencia al arrastre de la corriente de agua; sin embargo el proceso constructivo es difícil. Los bloques de concreto requieren mantenimiento y pueden producir un impacto negativo al paisaje.

Con el fin de evaluar la viabilidad de este tipo de trabajo utilizando piedras, se realizó un análisis provisional del peso estable en el lugar del puente nuevo, requiriendo piedra bola con un tamaño de partícula mediana entre 0.5m y 0.9m de diámetro, lo cual es difícil de conseguir localmente. Además los bloques de concreto generan dificultades de construcción, por lo que se adoptará el método constructivo con gaviones.

La protección de la margen del estribo en la orilla izquierda será una especie de relleno semicircular, pegado al terraplén del camino de acceso, sobresaliendo 7.5m del pie del talud del terraplén del camino de acceso. La altura de esta estructura será igual a la NAA que es 42.3m. Asimismo, el terraplén del camino de acceso también será protegido, en aquellas áreas donde se puedan ver afectadas por la corriente del agua cuando ocurran crecidas menores al NAA.

En lo que respecta al alcance de la protección de la margen de la zona de estribo, la altura de dicha protección debe tener un valor equivalente al doble de la profundidad del nivel de agua ó 7.5m, en base a lo especificado en el manual que menciona sobre la socavación de puente (HEC18), y en la Administración Federal de Autopista (FHWA) de EEUU; por lo tanto, para este Proyecto se empleará el valor de 7.5m. Debido al aspecto de la disponibilidad de materiales, los gaviones tendrán un espesor de 1.0m.

En cuanto a la protección de la margen derecha, no se contempla nada en especial debido a la existencia de rocas descubiertas en la orilla. Sin embargo, a pesar de que el estribo en la margen derecha no tendrá problemas de estabilidad en su base, se colocarán gaviones con el fin de proteger el terraplén que se rellenará sobre el terreno actual.



Recommendations for the use of riprap protection at bridge abutments.

Figura 2-2-16 Alcance de la Obra de Protección de Margen