ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN DEL ESCALÓN OCCIDENTAL VÍA AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI – EL ARBOLITO CAPITULO

5. ALTERNATIVAS DEL PROYECTO

REALIZADO POR:

SAICA Ingeniería Ambiental
Vida en sus proyectos

PARA:

EMPRESA PÚBLICA HIDROEQUINOCCIO

CÓDIGO DEL PROYECTO: HEQ-2021-001

NOVIEMBRE - 2021

SERVICIO DE ASESORÍA EN INGENIERÍA Y CONSULTORÍA AMBIENTAL
SAICA-GROUP CIA. LTDA.

RUC: 1792652367001
Registro de consultores ambientales No. MAE-SUIA-0079-CC
Correo: ggeneral@saica-group.com / informacion@saica-group.com Teléfono: 02 2511 7835
Dirección: Reina Victoria y Av. Colón, Edificio Banco de Guayaquil, Oficina 1104 A
www.saica-group.com

Contenido

5 ALTERNATIVAS DEL PROYECTO 1

5.1 ALTERNATIVA 1 1
5.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA VIAL DE LA ALTERNATIVA 1 2
5.1.2 SISTEMA ESTRUCTUAL DEL PUENTE. ALTERNATIVA DE TRAZO 1 4
5.2 ALTERNATIVA 2 6
5.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA VIAL DE LA ALTERNATIVA 2 7
5.2.2 ALTERNATIVA ESTRUCTURAL 2 8
5.3 ALTERNATIVA 3 9
5.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA VIAL DE LA ALTERNATIVA 3 11
5.3.2 ALTERNATIVA ESTRUCTURAL 3 13
5.4 CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS 14
5.4.1 OBJETIVO 14
5.4.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN 14
5.4.3 FACTORES AMBIENTALES 14
5.4.4 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES 16
5.4.5 DESCRIPCIÓN DE LAS AFECTACIONES AL MEDIO AMBIENTE 18
5.4.6 OBTENCIÓN DE INDICADORES 19
5.5 FACTORES TÉCNICO-OPERATIVOS DE EVALUACIÓN 19
5.5.1 VELOCIDAD DE PLANEAMIENTO 19
5.5.2 TRAZADO EN PLANTA 20
5.5.3 TRAZADO EN ALZADO 24
5.5.4 SEGURIDAD VIAL 28
5.5.5 AFECCIÓN AL USUARIO 29
5.5.6 LONGITUD TOTAL DE LA SOLUCIÓN 29
5.5.7 VALORACIÓN FUNCIONAL GLOBAL 29
5.6 CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA VERTEBRACIÓN Y OCUPACIÓN TERRITORIAL 30
5.6.1 FACTORES DE EVALUACIÓN 30
5.6.2 EXPROPIACIONES NECESARIAS EN EL PROYECTO 30
5.6.3 AFECCIÓN Y CONECTIVIDAD 32
5.6.4 MOVIMIENTO DE TIERRAS 32
5.6.5 VALOR ESTÉTICO DE LA SOLUCIÓN 33
5.6.6 VALORACIÓN GLOBAL EN CUANTO A VERTEBRACIÓN Y OCUPACIÓN TERRITORIAL 34
5.7 PRESUPUESTOS DE LAS ALTERNATIVAS 34
5.7.1 PRESUPUESTOS DE EJECUCIÓN 34
5.7.2 PRESUPUESTO DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO ALTERNATIVA 1 41
5.7.3 COMPARACIÓN ENTRE LA CAPACIDAD DE RENTABILIDAD DE LAS ALTERNATIVAS 44
5.8 VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS 47
5.9 EVALUACIÓN MULTICRITERIO 48
5.9.1 OBTENCIÓN DEL MODELO 48
5.9.2 ANÁLISIS DE ROBUSTEZ 49
5.9.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 50
5.9.4 ANÁLISIS DE PREFERENCIAS 51
5.10 CONCLUSIONES 52

5 ALTERNATIVAS DEL PROYECTO

El análisis de alternativas se desarrolla en base a la matriz de interacciones de Leopold, en función de los requerimientos del proyecto, su ubicación, criterios técnicos de diseño, sociales, ambientales y económicos. Se describe cada una de las alternativas con su respectivo análisis; del cual, se escoge la alternativa más viable justificando en base a los criterios antes indicados. Para la selección de las alternativas se ha considerado los siguientes factores:

- **Viabilidad Técnica:** implementación de procesos limpios e innovación de tecnología, la cual disminuya la generación de desechos y emisiones, menor demanda de energía convencional (eléctrica y combustión interna), menor uso de recursos naturales y mayor uso de energías alternativas.
- **Viabilidad Social:** se analizó el impacto que podría generar cada alternativa en las comunidades o barrios influenciados directamente por las actividades del proyecto, distancias del proyecto a infraestructura sean estas viviendas, escuelas, hospitales, entre otros. Dichas implicaciones pueden ser en tenencia de tierra, conflictividad, daño al patrimonio o afectaciones a elementos sensibles. Al tener una mayor implicación social negativa su calificación será más baja.
- **Viabilidad Ambiental:** se valora el impacto que pueda darse por la implantación de un proyecto y los efectos que tendrá sobre los recursos naturales y biota. Considerará aspectos, tales como desbroce, la emisión de ruido y vibraciones, descargar, vertidos en cuerpos hídricos, sitios sensibles, impacto visual y paisaje. A mayor impacto ambiental negativo menor calificación.

5.1 ALTERNATIVA 1

El comienzo de la alternativa 1 se materializa mediante un entronque con la Avenida General Rumiñahui situado a 450 m de la “Y” de ingreso al barrio de Las Orquídeas y a 1.80 km de la intersección de El Trébol. De esta manera, se definen dos rampas con 2 carriles de entrada y salida respecto al sur que van a dar al puente que cruza el río Machángara.

Esta estructura posee una longitud aproximada de 801.50 m (incluyendo la longitud de los estribos) y cuatro carriles, con espaldones de 1.00 m, aceras de 1.00 m y mediana de 5.00 m, lo que configura un ancho total, junto con los pretiles, de 28.40 m. Este puente se emplaza directamente sobre la quebrada existente, de manera que se minimiza la afección sobre el Barrio Paluco y el Barrio Las Orquídeas.

Figura 5-1 Entorno del arranque del puente en la alternativa 1.

Fuente: Casado, C. 2020

5.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA VIAL DE LA ALTERNATIVA 1

El conjunto vial de rampas, puente y túneles se resume en la siguiente tabla:

Tabla 5-1 Sistema vial alternativa 1

Alineamiento	Abscisas		Longitud (m)	Sección típica	Tipo de elemento
	Inicio	Final			
Eje 1 AGR - puente	0+000.000	0+195.673	195.67	Dos carriles	Carriles de desaceleración
	0+195.673	0+390.357	194.68	Dos carriles	Rampa a cielo abierto acceso a paso deprimido
	0+390.357	0+496.857	106.50	Dos carriles	Paso deprimido, cajón
Eje 2 AGR - puente	0+000.000	0+195.673	195.67	Dos carriles	Carriles de aceleración
	0+195.673	0+377.991	182.32	Dos carriles	Rampa a cielo abierto salida paso deprimido
	0+377.991	0+509.624	131.63	Dos carriles	Paso deprimido, cajón
Eje 3 Puente	0+509.624	1+311.130	801.51	Cuatro carriles	Puente
Eje 4 Puente - El Arbolito	1+311.130	2+194.144	883.01	Dos carriles	Túnel
	2+194.144	2+290.812	96.67	Un carril	Túnel
	2+290.812	2+418.420	127.61	Un carril	Rampa a cielo abierto salida túnel
	2+418.420	2+478.420	60.00	Un carril	Carril de aceleración

Alineamiento	Abscisas		Longitud (m)	Sección típica	Tipo de elemento
	Inicio	Final			
Eje 5 Puente - El Ejido	1+311.130	2+135.800	824.67	Dos carriles	Túnel
	2+135.800	2+571.920	436.12	Un carril	Túnel
	2+571.920	2+699.112	127.19	Un carril	Rampa a cielo abierto ingreso túnel
	2+699.112	2+749.102	49.99	Un carril	Carril de desaceleración
Eje 6 Túnel – El Arbolito	0+094.660	0+283.023	188.36	Un carril	Túnel
	0+283.023	0+412.757	129.73	Un carril	Rampa a cielo abierto salida
	0+412.757	0+462.757	50.00	Un carril	Carril de aceleración
Eje 7 Túnel - El Ejido	0+036.308	0+567.604	531.30	Un carril	Túnel
	0+567.604	0+699.942	132.34	Un carril	Rampa a cielo abierto ingreso túnel
	0+699.942	0+749.942	50.00	Un carril	Carril de desaceleración

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

El esquema vial resumido en la tabla anterior queda representado sobre el terreno de la siguiente manera:

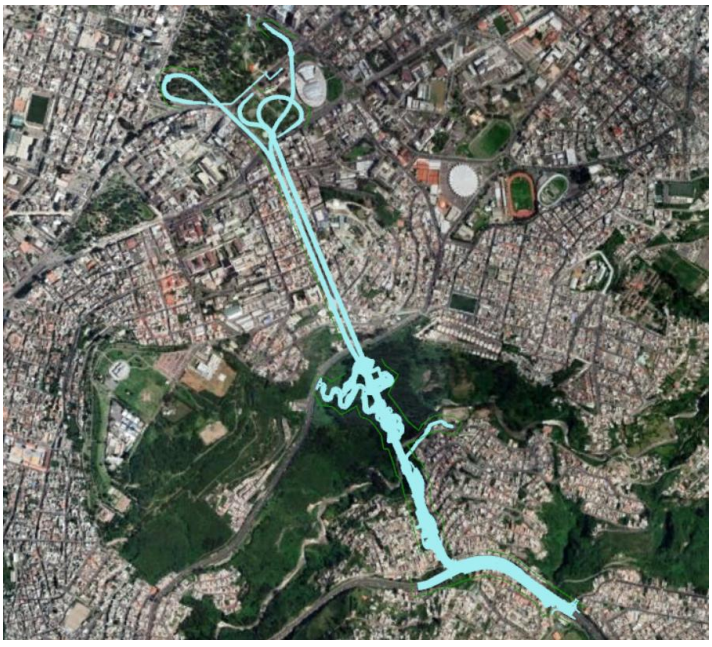

Figura 5-2Esquema general vial de la alternativa 1

Fuente: Casado, C. 2020

Finalmente, en el cuadro anterior puede apreciarse cómo se adaptan los ingresos y salidas de los túneles a la configuración urbanística del entorno del parque de El Arbolito, lo que en realidad sea mantenido común a todas las alternativas:

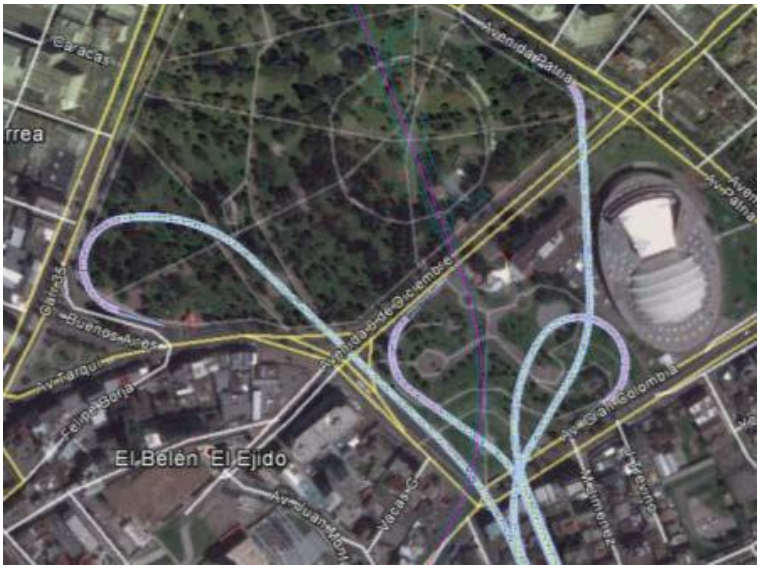

Figura 5-3 Características de trazado

Fuente: Casado, C. 2020

5.1.2 SISTEMA ESTRUCTUAL DEL PUENTE. ALTERNATIVA DE TRAZO 1

Partiendo de diferentes tipologías estructurales, cuyo estudio se incluye en la memoria de estructuras del presente documento, el sistema estructural que se propone para la alternativa de trazo 1 consiste en un doble atirantamiento con una distribución simétrica de luces de 220 m en su vano central principal, 7 vanos de 65 m a cada lado y un vano extremo de 50 m a cada lado, según puede apreciarse en el siguiente esquema:

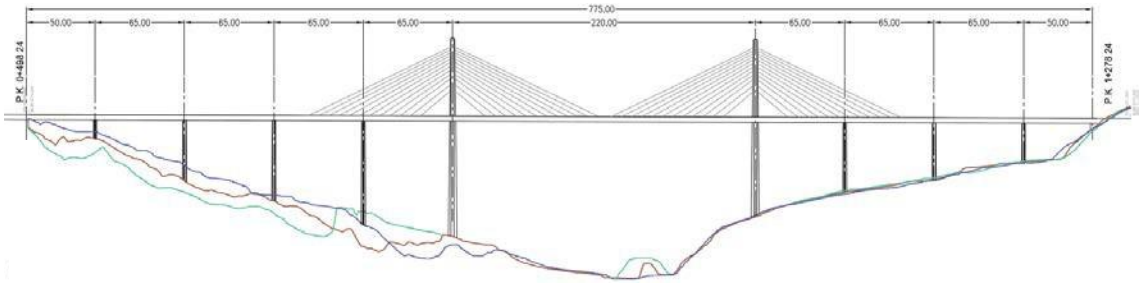

Figura 5-4 Alzado lateral alternativa 1A. Puente Atirantado

Fuente: Casado, C. 2020

Esta estructura se levanta a gran altura desde la superficie del río, con pilonos principales de hasta 140 m de altura, lo que confiere al paisaje de un hito de gran importancia arquitectónica para representar el acceso a Quito, como se aprecia en las siguientes tipologías de sección transversal:

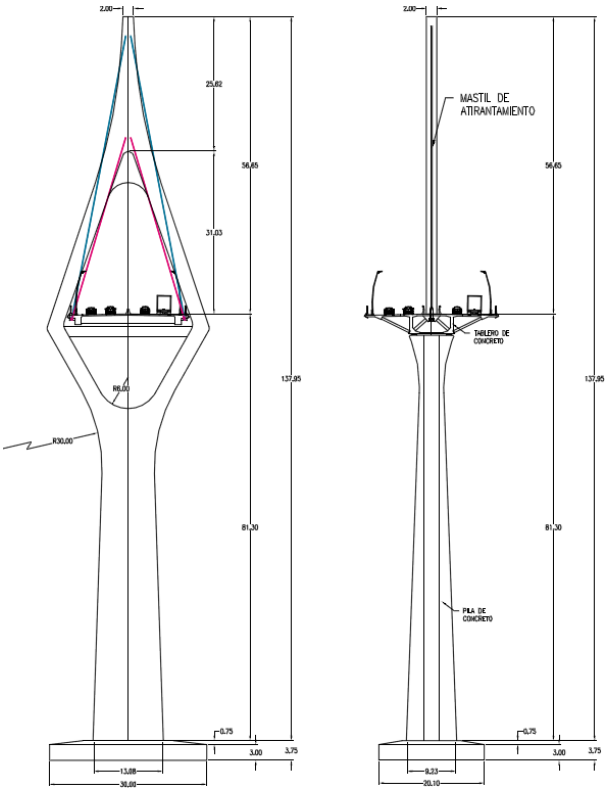

Figura 5-5 Posibles soluciones para las torres principales. Alternativa 1A. Puente Atirantado

Fuente: Casado, C. 2020

De igual manera, el tablero puede resolverse con diferentes tipologías:

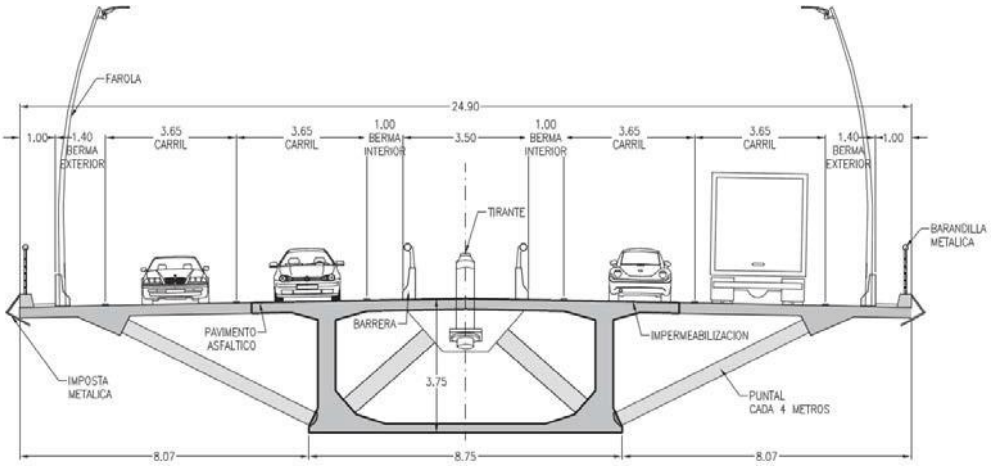

Figura 5-6 ***Sección transversal tipo 1 para puente atirantado***

Fuente: Casado, C. 2020

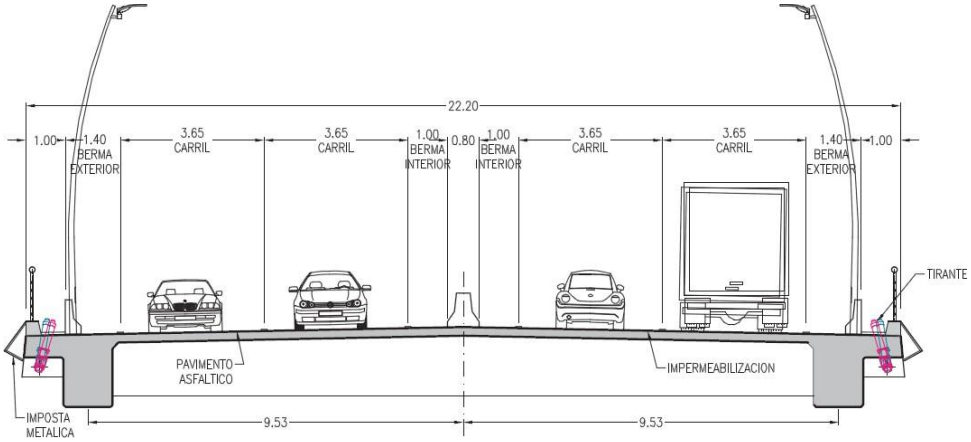

Figura 5-7*Sección transversal tipo 2 para puente atirantado*

Fuente: Casado, C. 2020

5.2 ALTERNATIVA 2

La alternativa 2 da comienzo mediante un entronque con la Avenida General Rumiñahui situado a 200m tras el ingreso al barrio de Las Orquídeas y a 1.50 km de la intersección de El Trébol. De esta manera, se definen dos rampas con 2 carriles de entrada y salida respecto al sur que van a dar al puente que cruza el río Machángara.

Esta estructura posee una longitud aproximada de 400.00 m y cuatro carriles, con espaldones de 1.00 m, aceras de 1.00 m y mediana de 5.00 m, lo que configura un ancho total, junto con los pretiles, de 28.40 m. La ubicación en planta de este puente, en la zona oeste del Barrio Paluco, trata de aprovechar la existencia de pequeños campos de cultivo o recreo que existen en la zona para ubicar eje longitudinal, disminuyendo en la medida de lo posible la afección sobre parcelas privadas, especialmente sobre las superficies edificadas.

Figura 5-8 ***Tramo inicial de la alternativa 2***

Fuente: Casado, C. 2020

Figura 5-9Vista lateral del espacio ocupado por el puente de la alternativa 2

Fuente: Casado, C. 2020

5.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA VIAL DE LA ALTERNATIVA 2

El conjunto vial de rampas, puente y túneles se resume en la siguiente tabla:

Tabla 5-2 Sistema vial alternativa 2

Alineamiento	Abscisas		Longitud (m)	Sección típica	Tipo de elemento
	Inicio	Final			
Eje 1 AGR – acceso puente	0+000.000	0+127.132	127.13	Dos carriles	Carriles de desaceleración
	0+127.132	0+268.179	141.05	Dos carriles	Rampa a cielo abierto acceso a puente
	0+268.179	0+339.877	71.70	Dos carriles	Paso deprimido, cajón
Eje 2	0+000.000	0+131.615	131.62	Dos carriles	Carriles de aceleración
AGR - acceso puente	0+131.615	0+278.738	147.12	Dos carriles	Rampa a cielo abierto salida paso deprimido
	0+278.738	0+366.040	87.30	Dos carriles	Paso deprimido, cajón
Eje 3 Puente	0+366.040	0+400.000	33.96	Dos carriles	Paso deprimido, cajón
	0+400.000	0+800.000	400.00	Cuatro carriles	Puente
	0+800.000	0+850.000	50.00	Dos carriles	Túnel
Eje 4 Puente - El Arbolito	0+850.000	2+119.555	1,269.56	Dos carriles	Túnel
	2+119.555	2+216.222	96.67	Un carril	Túnel
	2+216.222	2+343.831	127.61	Un carril	Rampa a cielo abierto salida túnel
	2+343.831	2+403.831	60.00	Un carril	Carril de aceleración
Eje 5 Puente - El Ejido	0+850.000	2+059.560	1,209.56	Dos carriles	Túnel
	2+059.560	2+495.680	436.12	Un carril	Túnel

Alineamiento	Abscisas		Longitud (m)	Sección típica	Tipo de elemento
	Inicio	Final			
	2+495.680	2+622.872	127.19	Un carril	Rampa a cielo abierto ingreso túnel
	2+622.872	2+672.862	49.99	Un carril	Carril de desaceleración
Eje 6 Túnel - El Arbolito	0+120.070	0+308.434	188.36	Un carril	Túnel
	0+308.434	0+438.167	129.73	Un carril	Rampa a cielo abierto salida túnel
	0+438.167	0+488.167	50.00	Un carril	Carril de aceleración
Eje 7 Túnel - El Ejido	0+060.067	0+591.361	531.29	Un carril	Túnel
	0+591.361	0+723.699	132.34	Un carril	Rampa a cielo abierto ingreso túnel
	0+723.699	0+773.699	50.00	Un carril	Carril de desaceleración
Eje 8 Túnel - plaza Brasilia	0+000.000	1+233.230	1,233.23	Un carril	Túnel
	1+233.230	1+358.230	125.00	Un carril	Rampa a cielo abierto salida túnel
	1+358.230	1+408.230	50.00	Un carril	Carril de aceleración

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.2.2 ALTERNATIVA ESTRUCTURAL 2

La configuración inclinada de las laderas del cruce se muestra muy adecuada para la solución estructural en arco para el puente, en tanto esto favorece que los empujes transmitidos por el arco en sus arranques se dirijan sensiblemente normales a ésta sin provocar problemas de estabilidad en ella.

La luz de 192 m se establece para que los arranques del arco estén a la misma altura, estando fijada esta por la ladera del lado de la ciudad que es más abrupta y necesita realizarse sobre la zona más abrupta de ésta, salvando un pequeño resalto a media altura.

La presencia del arco permite disponer los apoyos que sean necesarios para recoger el tablero que discurre sobre él. Por ello es posible reducir al máximo la luz de los vanos de éste a los valores que impongan las condiciones fuera del arco. En nuestro caso los accesos con alturas de pilas de unos 35 m se modulan bien con luces de alrededor de este valor.

La disposición finalmente prevista adopta vanos de 32 m con una distribución 24- 9x32-24, con un arco con una flecha 55 m, que, sin ser muy esbelto, si se encaja de forma muy ordenada en el entorno.

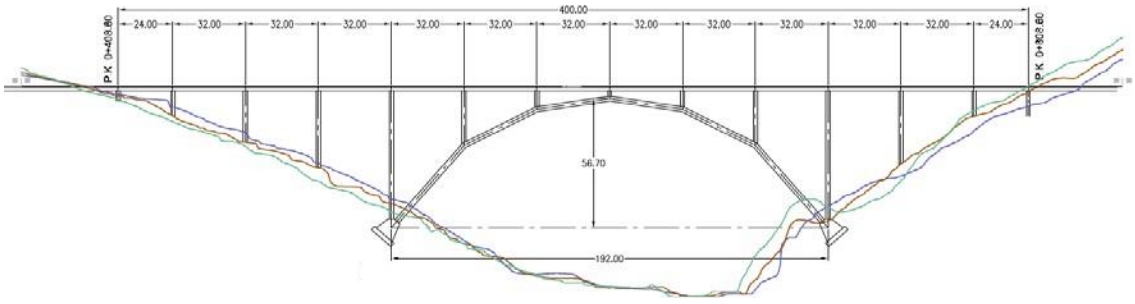

Figura 5-10 ***Alzado lateral puente arco. Alternativa de trazado 2***

Fuente: Casado, C. 2020

Se han estudiado las alternativas en concreto y acero/mixtas tanto para el tablero como para el arco. A este nivel del estudio no es posible precisar claramente cuál de las dos será la más ventajosa en tanto los costes de referencia de una y otra según experiencias recientes son muy similares. Por costes de materiales la solución en concreto en principio tiene ventaja, sin embargo, las soluciones constructivas que se podrían plantear para la solución metálica del arco que simplificarían esta así como el plazo, dejan abierta las opciones de esta solución también.

Para la solución mixta se ha previsto el empleo de un tablero en sección cajón con vuelos laterales sobre costillas. El arco es único con una sección rectangular con los bordes achaflanados.

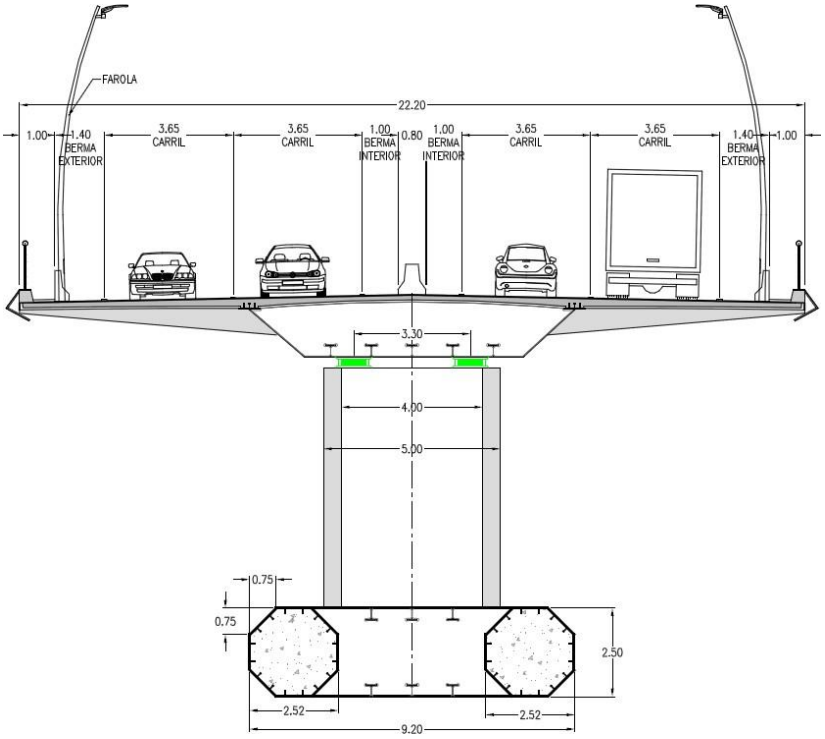

Figura 5-11 Sección transversal en arco. Tablero y arco mixtos. Alternativa de trazado 2.

Fuente: Casado, C. 2020

Para la solución en concreto se ha previsto una solución con tablero con doble viga de borde y tejido transversal de vigas. Se trata de una solución muy económica para el rango de luces de 32 m previsto en la obra. El arco en este caso es doble, con sendas roscas bajo cada una de las vigas longitudinales.

5.3 ALTERNATIVA 3

La alternativa 3 da comienzo unos 350 m después del ingreso al barrio Las Orquídeas y a 1.30 km de la intersección de El Trébol, mediante un entronque con la Avenida General Rumiñahui definido con dos rampas con 2 carriles de entrada y salida respecto al sur que van a dar al puente que cruza el río Machángara.

Esta estructura posee una longitud aproximada de 200.00 m y cuatro carriles, con espaldones de 1.00 m, aceras de 1.00 m y mediana de 5.00 m, lo que configura un ancho total, junto con los pretiles, de 28.40 m. La ubicación en planta de este puente se encuentra fuera del ámbito directo del Barrio Paluco, con lo que no se prevé que se produzcan afecciones directas a la población.

Figura 5-12 ***Tramo inicial de la alternativa 3***

Fuente: Casado, C. 2020

Figura 5-13 Tramo inicial de la alternativa 3

Fuente: Casado, C. 2020

Seguidamente al puente sigue un tramo de unos 700 m de viaducto paralelo al Machángara que va a requerir de cierto movimiento de tierras a media ladera y, posiblemente, trabajos de estabilización de taludes, a tenor de las características del terreno en el entorno.

Figura 5-14 Tramo de viaducto de la alternativa 3

Fuente: Casado, C. 2020

Finalmente, se configura un sistema de túneles similar al de la alternativa 1:

Figura 5-15 Tramo final de túneles de la alternativa 3

Fuente: Casado, C. 2020

5.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA VIAL DE LA ALTERNATIVA 3

El conjunto vial de rampas, puente y túneles se resume en la siguiente tabla:

Tabla 5-3 Sistema vial alternativa 3

Alineamiento	Abscisas		Longitud (m)	Sección típica	Tipo de elemento
	Inicio	Final			
Eje 1 AGR - viaducto	0+000.000	0+100.000	100.00	Dos carriles	Carriles de desaceleración
	0+100.000	0+280.000	180.00	Dos carriles	Rampa a cielo abierto acceso a puente

Alineamiento	Abscisas		Longitud (m)	Sección típica	Tipo de elemento
	Inicio	Final			
	0+280.000	0+338.993	58.99	Dos carriles	Puente
Eje 2 AGR - viaducto	0+000.000	0+100.000	100.00	Dos carriles	Carriles de aceleración
	0+100.000	0+215.062	115.06	Dos carriles	Rampa a cielo abierto salida paso deprimido
	0+215.062	0+300.000	84.94	Dos carriles	Paso deprimido, cajón
	0+300.000	0+356.620	56.62	Dos carriles	Puente
Eje 3 Puente - viaducto	0+356.620	0+600.000	243.38	Cuatro carriles	Puente
	0+600.000	0+655.232	55.23	Cuatro carriles	Rampa a cielo abierto acceso a viaducto
	0+655.232	1+261.776	606.54	Cuatro carriles	Viaducto
Eje 4 Viaducto - El Arbolito	1+261.776	1+294.086	32.31	Dos carriles	Viaducto
	1+294.086	2+201.733	907.65	Dos carriles	Túnel
	2+201.733	2+298.401	96.67	Un carril	Túnel
	2+298.401	2+426.009	127.61	Un carril	Rampa a cielo abierto salida túnel
	2+426.009	2+486.009	60.00	Un carril	Carril de aceleración
Eje 5	1+261.776	1+284.086	22.31	Dos carriles	Viaducto
Viaducto - El Ejido	1+284.086	2+131.074	846.99	Dos carriles	Túnel
	2+131.074	2+567.194	436.12	Un carril	Túnel
	2+567.194	2+694.386	127.19	Un carril	Rampa a cielo abierto ingreso túnel
	2+694.386	2+744.376	49.99	Un carril	Carril de desaceleración
Eje 6 Túnel - El Arbolito	0+102.249	0+290.612	188.36	Un carril	Túnel
	0+290.612	0+420.346	129.73	Un carril	Rampa a cielo abierto salida túnel

Alineamiento	Abscisas		Longitud (m)	Sección típica	Tipo de elemento
	Inicio	Final			
	0+420.346	0+470.346	50.00	Un carril	Carril de aceleración
Eje 7 Túnel - El Ejido	0+031.582	0+562.878	531.30	Un carril	Túnel
	0+562.878	0+695.216	132.34	Un carril	Rampa a cielo abierto ingreso túnel
	0+695.216	0+745.216	50.00	Un carril	Carril de desaceleración
Eje 8 Túnel - plaza Brasilia	0+000.000	0+050.000	50.00	Un carril	Viaducto
	0+050.000	0+712.037	662.04	Un carril	Túnel
	0+712.037	0+837.037	125.00	Un carril	Rampa a cielo abierto salida túnel
	0+837.037	0+887.037	50.00	Un carril	Carril de aceleración

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.3.2 ALTERNATIVA ESTRUCTURAL 3

La configuración de las laderas ha resultado que el encaje de la solución arco es prácticamente el mismo que el de la alternativa 2. En este emplazamiento los arranques se sitúan prácticamente en el inicio de las laderas con lo que en principio será algo más sencillo la ejecución de sus cimentaciones.

Todas las demás consideraciones indicadas en el punto anterior son de aplicación (efecto favorable de las laderas para los empujes, luces reducidas del tablero, procedimientos constructivos, secciones tipo de tablero y arco)

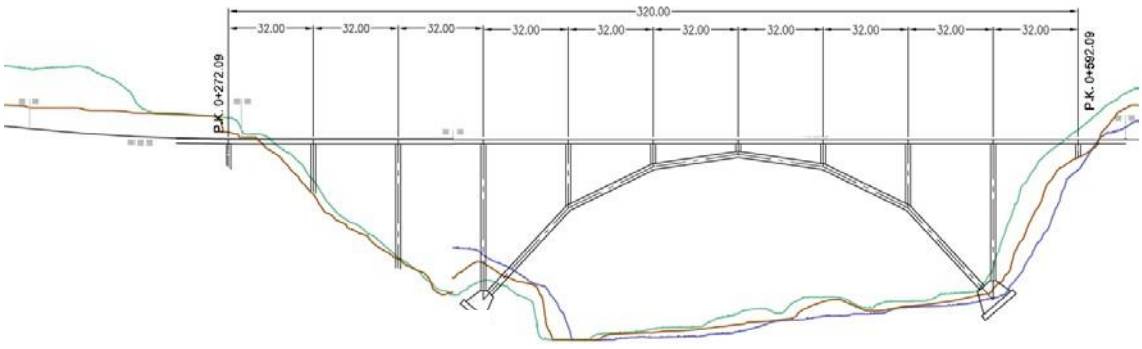

Figura 5-16 ***Alzado lateral puente arco. Alternativa de trazado 3***

Fuente: Casado, C. 2020

5.4 CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

5.4.1 OBJETIVO

Identificar los impactos ambientales positivos y negativos que se generarán durante el desarrollo de las alternativas a fin de evaluar la magnitud e importancia de estos.

5.4.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para la valoración ambiental, se ha utilizado la Matriz de Leopold original. Este método consiste en un cuadro de doble entrada, en el que se disponen como filas los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las principales acciones requeridas para la ejecución del proyecto y que serían las generadoras de los impactos.

Para la valoración, cada cuadrícula de interacción ha sido dividida en dos niveles. En la parte superior, en una escala de 1 a 10, se ha calificado la Magnitud, es decir la extensión del impacto, la cual puede ser positiva (+) o negativa (-), en tanto que en la parte inferior, bajo la misma escala, se ha calificado la Importancia, es decir la intensidad o grado de incidencia de los impactos.

Cabe señalar que las calificaciones dadas a la Magnitud y a la Importancia responden a la mayor o menor intervención del proyecto dentro de los factores ambientales considerados.

5.4.2.1 FACTORES AMBIENTALES

En el siguiente cuadro, se muestran los factores ambientales considerados de acuerdo con la metodología de análisis multicriterio.

5.4.3 FACTORES AMBIENTALES

Tabla 5-4 Factores ambientales

Factor Ambiental	Definición
Calidad del Aire	Se refiere a la potencial modificación de las concentraciones de material particulado y gases presentes en el aire, debido principalmente al tránsito de maquinaria y equipos
Ruido	Se refiere a la potencial modificación del nivel sonoro en las inmediaciones al sitio del proyecto, debido principalmente al tránsito de maquinaria y equipos.
Geología	Se refiere a las características geológicas de la zona del proyecto, las mismas que podrían verse alteradas con su ejecución, principalmente debido a los taludes que presenta la quebrada por la que corre el río Machángara y la posibilidad de que queden al descubierto formaciones sensibles a la erosión.
Suelo	Se refiere a las características del suelo que pueden ser modificadas como resultado de las acciones que se realizarán, principalmente durante la construcción del proyecto.
Hidrología superficial	Se refiere a las características del río Machángara, las mismas que podrían verse afectadas durante la construcción principalmente durante el movimiento de tierras.

Factor Ambiental	Definición
Hidrología subterránea	Se refiere a las características hidrogeológicas del subsuelo a intervenir, las mismas que podrían verse afectadas durante la construcción de los túneles previstos en las tres alternativas.
Vegetación	Se enfoca principalmente a aquellas zonas que cuentan con cobertura vegetal y que corresponden a la quebrada por la que corre el río Machángara.
Fauna	Se enfoca principalmente a la fauna asociada a la vegetación existente en la zona del proyecto, la misma que como se manifestó en el literal anterior corresponde a la quebrada por la que corre el río Machángara
Espacios de interés natural	Se enfoca principalmente a la quebrada por donde corre el río Machángara, la misma que se considera como parte del Sistema Distrital de Áreas Protegidas y corredores ecológicos del DMQ.
Paisaje	Si bien se trata de una zona intervenida, la ejecución del proyecto alterará, sin lugar a duda, el paisaje circundante al mismo.
Patrimonio cultural	No obstante desarrollarse el proyecto en una zona intervenida, queda claro que la presencia de cualquier vestigio cultural o arqueológico estaría asociado a las áreas que forman parte de la quebrada.
Planeamiento	La normativa vigente, enmarca a la quebrada por la que corre el río Machángara, está dentro del Sistema Distrital de Áreas Protegidas y corredores ecológicos del DMQ.
Población	Involucra los inconvenientes que puede generar la ejecución del proyecto de manera particular en los habitantes próximos a los frentes de trabajo

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.4.3.1 ACCIONES DEL PROYECTO

Para la realización de la evaluación ambiental de las alternativas se ha conformado un registro de acciones de tal manera que sean las más representativas del proyecto.

En el cuadro siguiente constan las acciones consideradas y su respectiva definición.

5.4.3.1.1 Acciones consideradas

Tabla 5-5 Acciones consideradas

Acción	Definición
Instalaciones provisionales	Campers y otras construcciones provisionales de apoyo a la ejecución del proyecto.
Generación de residuos	Generación de residuos sólidos y líquidos, producto de las labores a desarrollarse al interior de los campers y otras instalaciones provisionales de apoyo a la ejecución del proyecto.
Excavaciones en superficie	Excavaciones en superficie relacionadas con la construcción de puentes y viales.
Excavaciones bajo superficie	Excavaciones subterráneas relacionadas con la construcción de los túneles
Acumulación de materiales de construcción y restos/rechazos	Acumulación de materiales de construcción y de aquellos que resulten luego de las excavaciones y/o preparación de materiales.

Acción	Definición
Transporte de materiales de construcción y restos/rechazo	Transporte de materiales de construcción y de materiales sobrantes luego de las excavaciones y rellenos efectuados.
Preparación de materiales	Preparación de hormigones y otros materiales durante el proceso constructivo de los diferentes componentes del proyecto.
Sitios de bote	Sitios en donde se dispondrá el material sobrante de las excavaciones en superficie y subterráneas
Mantenimiento de equipos	Generación de lubricantes usados provenientes del mantenimiento de los equipos empleados en la construcción del proyecto.

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.4.4 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

En las siguientes matrices se muestra la interrelación entre las acciones del proyecto y los factores ambientales considerados para cada una de las alternativas.

Caber señalar que dicha interrelación está definida por la Importancia y la Magnitud de los impactos ambientales.

Tabla 5-6 Identificación de impactos alternativa 1

FACTORES AMBIENTALES	ACCIONES DEL PROYECTO									Agregación de impactos
	Instalaciones provisionales	Generación de residuos	Excavaciones en superficie	Excavaciones bajo superficie	Acumulación de materiales	Transporte de materiales	Preparación de materiales	Sitios de bote	Mantenimiento de equipos	
Calidad del aire		1	2		3	3	3	4	1	21
Ruido	1		2		3	3	3	4		20
Geología			2							2
Suelo	1	1	2		3			4	2	35
Hidrología superficial	1	1	2		3			4	2	24
Hidrología subterránea				4						20
Vegetación	1	1	2		3		3	4	2	36
Fauna	1	1	2		3		3	4	2	38
Espacios de interés natural	1	1	2		3		3		2	34
Paisaje	1	1	2		3	3	3	4		39
Patrimonio cultural	1		2							5
Planeamiento		1	2		3		3		2	33
Población		1	2		3	3			1	28
Agregación de impactos	8	18	32	20	84	24	45	68	36	
CALIFICACION DELIMPACTO	-335									

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Tabla 5-7 Identificación de impactos alternativa 2

FACTORES AMBIENTALES	ACCIONES DEL PROYECTO									Agregación de impactos
	Instalaciones provisionales	Generación de residuos	Excavaciones en superficie	Excavaciones bajo superficie	Acumulación de materiales	Transporte de materiales	Preparación de materiales	Sitios de bote	Mantenimiento de equipos	
Calidad del aire		1	1		4	4	2	5	1	23
Ruido	1		1		4	4	2	5		22
Geología			1							1
Suelo	1	1	1		5			5	2	44
Hidrología superficial	1	1	1		5			5	2	30
Hidrología subterránea				5						25
Vegetación	1	1	1		5		2	5	2	42
Fauna	1	1	1		5		2	5	2	44
Espacios de interés natural	1	1	1		5		2		2	37
Paisaje	1	1	1		5	5	2	5		46
Patrimonio cultural	1		1							3
Planeamiento		1	1		5		2		2	38
Población		1	1		5	5			1	41
Agregación de impactos	8	18	16	25	138	38	32	85	36	
CALIFICACION DELIMPACTO	-396									

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Tabla 5-8 Identificación de impactos alternativa 3

FACTORES AMBIENTALES	ACCIONES DEL PROYECTO									Agregación de impactos
	Instalaciones provisionales	Generación de residuos	Excavaciones en superficie	Excavaciones bajo superficie	Acumulación de materiales	Transporte de materiales	Preparación de materiales	Sitios de bote	Mantenimiento de equipos	
Calidad del aire		1	3		4	4	5	4	1	26
Ruido	1		3		4	4	5	4		25
Geología			3							6
Suelo	1	1	3		4			4	3	43
Hidrología superficial	1	1	3		4			4	3	33
Hidrología subterránea				4						20
Vegetación	1	1	3		4		5	4	3	48
Fauna	1	1	3		4		5	4	3	51

FACTORES AMBIENTALES	ACCIONES DEL PROYECTO									Agregación de impactos
	Instalaciones provisionales	Generación de residuos	Excavaciones en superficie	Excavaciones bajo superficie	Acumulación de materiales	Transporte de materiales	Preparación de materiales	Sitios de bote	Mantenimiento de equipos	
Espacios de interés natural	1	1	3		4		5		3	58
Paisaje	1	1	3		4	4	5	4		57
Patrimonio cultural	1		3							11
Planeamiento		1	3		4		5		3	56
Población		1	3		4	4			1	37
Agregación de impactos	15	25	63	20	120	32	75	68	53	
CALIFICACION DELIMPACTO	-471									

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Bajo lo expuesto, los valores obtenidos (Nivel 2 de la metodología utilizada) señalan que la alternativa 1 es la más favorable desde el punto de vista medioambiental (Valor del impacto de -335).

5.4.5 DESCRIPCIÓN DE LAS AFECTACIONES AL MEDIO AMBIENTE

Si se integra los valores de agregación en un solo cuadro, los resultados son los siguientes:

Tabla 5-9 Afectaciones al medio ambiente

FACTORES AMBIENTALES	AGREGACION DE IMPACTOS		
	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3
Calidad del aire	-21	-23	-26
Ruido	-20	-22	-25
Geología	-2	-1	-6
Suelo	-35	-44	-43
Hidrología superficial	-24	-30	-33
Hidrología subterránea	-20	-25	-20
Vegetación	-36	-42	-48
Fauna	-38	-44	-51
Espacios de interés natural	-34	-37	-58
Paisaje	-39	-46	-57
Patrimonio cultural	-5	-3	-11
Planeamiento	-33	-38	-56
Población	-28	-41	-37

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.4.6 OBTENCIÓN DE INDICADORES

Se realiza el escalado de los valores obtenidos en la evaluación ambiental, obteniendo valores comprendidos en el intervalo 0 a 1. Los valores correspondientes se muestran a continuación:

Tabla 5-10 Obtención de indicadores

Escalado de alternativa		
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1,00	0,82	0,59

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

A la vista de los resultados obtenidos, la Alternativa 1 resulta la más favorable desde el punto de vista ambiental, siguiéndole en orden de prelación, la Alternativa 2.

No obstante, lo señalado, las tres alternativas estudiadas son compatibles con la conservación del entorno analizado, no habiéndose detectado ningún impacto crítico.

En cualquier caso, los impactos detectados son mitigables con la aplicación de medidas preventivas y correctoras. Las ventajas ambientales que ofrecen las Alternativas 1 y 2 respecto a la alternativa 3 se fundamentan básicamente en el hecho de que son más cortas y por tanto demandan menor área a intervenir. Por otro lado, está el hecho de que la alternativa 3 se desarrolla en un 50% sobre superficie por lo que los efectos sobre los elementos ambientales considerados son directos y evidentes.

5.5 FACTORES TÉCNICO-OPERATIVOS DE EVALUACIÓN

Los diferentes factores que van a permitir evaluar, desde un punto de vista objetivo, los aspectos funcionales de cada una de las alternativas planteadas son las siguientes:

- Velocidad de planeamiento.
- Trazado en planta.
- Trazado en alzado.
- Seguridad vial.
- Afección al usuario.
- Longitud total

5.5.1 VELOCIDAD DE PLANEAMIENTO

En este caso, todas las alternativas están planteadas para la misma velocidad de proyecto, por lo que este factor no constituye en sí mismo un elemento de distinción entre cada una de las soluciones planteadas. Por este motivo, las tres alternativas poseen la misma puntuación:

Tabla 5-11 Velocidad de planeamiento

ALTERNATIVA	1	2	3
VEL. PROYECTO (km/h)	50	50	50
PUNTUACIÓN	1.00	1.00	1.00

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.5.2 TRAZADO EN PLANTA

Para la evaluación de este factor se considerará tanto los radios mínimos con los que cuenta cada una de las alternativas como el número de curvas que constituyen cada solución, ya que son elementos básicos que afectan directamente el confort en el usuario que circula por la conexión vial. Así, tenemos los siguientes datos para cada una de las alternativas:

Tabla 5-12 Trazado en planta alternativa 1

ALTERNATIVA 1				
Alineamiento	**Abscisa**	**Radio**	**Delta**	**Longitud**
Eje 1 AGR -puente	0+000.000			
	0+302.432	190.900	58° 25' 53.3223"	194.684
	0+458.448	67.300	90° 40' 08.6727"	106.500
	0+496.857			
Eje 2 AGR - puente	0+000.000			
	0+297.030	167.600	62° 19' 38.2118"	182.318
	0+444.177	60.000	94° 33' 53.5622"	99.028
	0+509.624			
Eje 3 Puente	0+509.624			
	1+311.130			
Eje 4 Puente - El Arbolito	1+311.130			
	1+361.931	0.000	0° 48' 04.99"	0.000
	2+210.024	96.350	32° 40' 54.5182"	54.959
	2+392.168	48.650	103° 10' 38.4622"	87.608
	2+478.420			
Eje 5 Puente - El Ejido	1+311.130			
	1+368.554	999.998	06° 34' 23.2013"	114.722
	1+481.723	1000.000	06° 23' 44.6377"	111.627
	2+181.610	121.350	53° 25' 49.4900"	113.163
	2+354.092	153.650	34° 06' 40.2666"	91.476
	2+606.469	48.650	56° 45' 56.8791"	48.200
	2+749.102			
Eje 6 Túnel - El Arbolito	0+000.000			
	0+167.348	160.000	56° 16' 42.2701"	157.159
	0+016.857	48.650	204° 42' 46.8555"	173.822
	0+462.757			
Eje 7 Túnel - El Ejido	0+000.000			
	0+095.680	350.000	24° 14' 03.4060"	148.039

ALTERNATIVA 1				
Alineamiento	**Abscisa**	**Radio**	**Delta**	**Longitud**
	0+502.015	153.650	53° 03' 54.8504"	142.305
	0+795.087	48.650	155° 51' 24.8943"	132.339
	0+749.942			

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Tabla 5-13 Trazado en planta alternativa 2

ALTERNATIVA 2				
Alineamiento	**Abscisa**	**Radio**	**Delta**	**Longitud**
Eje 1 AGR - puente	0+000.000			
	0+128.598	161.500	34° 03' 28.1096"	95.999
	0+306.482	82.300	49° 54' 52.8097"	71.697
	0+339.877			
Eje 2 AGR - puente	0+000.000			
	0+133.244	179.500	34° 03' 28.1096"	106.699
	0+313.643	75.000	49° 54' 52.8097"	65.338
	0+366.040			
Eje 3 Puente	0+366.040			
	0+850.000			
Eje 4 Puente - El Arbolito	0+850.000			
	1+073.848	307.300	42° 42' 03.4987"	229.022
	1+809.706	325.250	33° 12' 46.1804"	188.539
	2+135.435	96.350	32° 40' 54.5182"	54.959
	2+317.578	48.650	103° 10' 38.4622"	87.608
	2+403.831			
Eje 5 Puente - El Ejido	0+850.000			
	1+095.946	325.250	42° 42' 03.4987"	242.400
	1+814.570	303.650	33° 12' 46.1804"	176.018
	2+105.370	121.350	53° 25' 49.4900"	113.163
	2+277.852	153.650	34° 06' 40.2666"	91.476
	2+530.229	48.650	56° 45' 56.8791"	48.200
	2+672.862			
Eje 6 Túnel - El Arbolito	0+000.000			
	0+192.759	160.000	56° 16' 42.2700"	157.159
	0+042.268	48.650	204° 42' 46.8556"	173.822

ALTERNATIVA 2				
Alineamiento	**Abscisa**	**Radio**	**Delta**	**Longitud**
	0+488.167			
Eje 7 Túnel - El Ejido	0+000.000			
	0+119.439	350.500	24° 14' 03.4060"	148.250
	0+525.772	153.650	53° 03' 54.8506"	142.305
	0+818.844	48.650	155° 51' 24.8942"	132.339
	0+773.699			
Eje 8 Túnel - plaza Brasilia	0+000.000			
	0+108.635	150.000	42° 42' 03.4987"	111.791
	0+527.473	230.000	48° 39' 35.1532"	195.333
	1+047.876	500.000	22° 11' 00.0167"	193.586
	1+408.230			

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Tabla 5-14 Trazado en planta alternativa 3

ALTERNATIVA 3				
Alineamiento	**Abscisa**	**Radio**	**Delta**	**Longitud**
Eje 1 AGR - acceso puente	0+000.000			
	0+142.203	230.500	42° 10' 08.2758"	169.645
	0+301.455	67.300	98° 46' 10.6089"	116.015
	0+338.993			
Eje 2 AGR - acceso puente	0+000.000			
	0+138.425	210.500	44° 01' 16.0314"	161.730
	0+299.410	70.000	100° 37' 18.3645"	122.933
	0+356.620			
Eje 3 Puente - viaducto	0+356.620			
	0+621.479	66.400	53° 43' 57.7360"	62.271
	1+261.776			
Eje 4 Viaducto - El Arbolito	1+261.776			
	1+319.540	60.000	50° 44' 58.1150"	53.145
	2+217.613	96.350	32° 40' 54.5182"	54.959
	2+399.757	48.650	103° 10' 38.4622"	87.608
	2+486.009			
Eje 5 Viaducto - El Ejido	1+261.776			
	1+293.683	67.300	50° 43' 53.1562"	59.589

ALTERNATIVA 3				
Alineamiento	**Abscisa**	**Radio**	**Delta**	**Longitud**
	2+176.884	121.350	53° 25' 49.4900"	113.163
	2+349.366	153.650	34° 06' 40.2666"	91.476
	2+601.743	48.650	56° 45' 56.8791"	48.200
	2+744.376			
Eje 6 Túnel - El Arbolito	0+000.000			
	0+174.937	160.000	56° 16' 42.2700"	157.159
	0+024.446	48.650	204° 42' 46.8556"	173.822
	0+470.346			
Eje 7 Túnel - El Ejido	0+000.000			
	0+090.954	350.000	24° 14' 03.4060"	148.039
	0+497.289	153.650	53° 03' 54.8505"	142.305
	0+790.361	48.650	155° 51' 24.8942"	132.339
	0+745.216			
Eje 8 Túnel - plaza Brasilia	0+000.000			
	0+193.985	700.000	08° 57' 28.1607"	109.440
	0+887.037			

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

RESUMEN DE RESULTADOS:

Tabla 5-15 Resumen de resultados

ALTERNATIVA	1	2	3
RADIO MÍNIMO	48.65 m	48.65 m	48.65 m
N.º CURVAS	19	21	18

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Teniendo en consideración que el radio mínimo no constituye un elemento diferencial, y que la puntuación en función del número de curvas se otorga de la siguiente manera:

- N.º curvas con puntuación 1.00: El mínimo de los que poseen las alternativas
- N.º curvas con puntuación 0.00: El doble que el anterior

El resto de las soluciones puntuarán proporcionalmente entre ambos valores máximos.

Tabla 5-16 Número de curvas

PUNTUACIÓN	1.00	0.00
N.º CURVAS	18	36

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Se tienen las siguientes puntuaciones para las alternativas:

Tabla 5-17 Puntuación para las alternativas

ALTERNATIVA	1	2	3
PUNTUACIÓN	0.94	0.83	1.00

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.5.3 TRAZADO EN ALZADO

El criterio que se seguirá para la evaluación de este factor es, de manera análoga al análisis en planta, es la elección de menores valores de LCV[1] como más ventajoso, así como un número menor de cambios de rasante. Además, se penalizará a las alternativas que tengan pendientes mayores:

Tabla 5-18 Trazado en alzado alternativa 1

ALTERNATIVA 1					
Alineamiento	**PIV**	**Abscisa**	**Elevación**	**Pendiente**	**LCV**
Eje 1 AGR - puente	1	0+000.000	2,812.01	-5.98%	0
	2	0+082.000	2,807.11	-10.00%	60
	3	0+417.000	2,773.60	-0.35%	80
	4	0+496.857	2,773.32		
Eje 2 AGR - puente	1	0+000.000	2,811.92	-6.10%	0
	2	0+120.000	2,804.60	-10.00%	60
	3	0+430.000	2,773.60	-0.35%	80
	4	0+509.624	2,773.32		
Eje 3 Puente	1	0+509.624	2,773.34	-0.35%	0
	2	1+311.130	2,770.54		
Eje 4 Puente - El Arbolito	1	1+311.130	2,770.52	-0.35%	0
	2	1+375.000	2,770.30	1.62%	120
	3	2+141.000	2,782.71	5.16%	100
	4	2+386.000	2,795.35	-2.50%	60
	5	2+478.353	2,793.04		
Eje 5 Puente - El Ejido	1	1+311.130	2,770.52	-0.35%	0
	2	1+375.000	2,770.30	-1.28%	120
	3	2+324.000	2,758.15	10.00%	120
	4	2+651.000	2,790.85	1.42%	60
	5	2+749.102	2,792.25		
Eje 6 Túnel - El Arbolito	1	100	2,780.35	1.62%	0

[1] LCV: Longitud de curva vertical, es un término que determina el valor en longitud en el cual se da el cambio de pendiente del alineamiento.

ALTERNATIVA 1					
Alineamiento	**PIV**	**Abscisa**	**Elevación**	**Pendiente**	**LCV**
	2	0+041.000	2,782.63	5.16%	100
	3	0+162.000	2,788.88	2.72%	60
	4	0+462.757	2,797.06		
Eje 7 Túnel - El Ejido	1	0+000.000	2,761.02	-1.28%	0
	2	0+224.000	2,758.15	10.00%	120
	3	0+371.000	2,772.85	7.37%	100
	4	0+666.000	2,794.59	2.40%	60
	5	0+749.942	2,796.61		

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Tabla 5-19 Trazado en alzado alternativa 2

ALTERNATIVA 2					
Alineamiento	**PIV**	**Abscisa**	**Elevación**	**Pendiente**	**LCV**
Eje 1 AGR - puente	1	0+000.000	2,785.40	-6.03%	0
	2	0+045.000	2,782.69	-10.53%	60
	3	0+299.000	2,755.93	0.00%	80
	4	0+339.877	2,755.93		
Eje 2 AGR - puente	1	0+000.000	2,784.79	-5.45%	0
	2	0+080.000	2,780.43	-10.00%	60
	3	0+325.000	2,755.93	0.00%	80
	4	0+366.040	2,755.93		
Eje 3 Puente	1	0+366.040	2,755.95	0.00%	0
	2	0+850.000	2,755.95		
Eje 4 Puente - El Arbolito	1	0+850.000	2,755.93	0.00%	0
	2	0+910.000	2,755.93	1.99%	120
	3	1+950.000	2,776.62	5.40%	120
	4	2+302.000	2,795.63	-2.50%	80
	5	2+403.831	2,793.08		
Eje 5 Puente - El Ejido	1	0+850.000	2,755.93	0.00%	0
	2	0+910.000	2,755.93	0.28%	120
	3	2+277.000	2,759.82	10.00%	120
	4	2+586.000	2,790.72	1.76%	60
	5	2+672.862	2,792.24		
Eje 6 Túnel - El Arbolito	1	100	2,775.55	1.99%	0

ALTERNATIVA 2					
Alineamiento	**PIV**	**Abscisa**	**Elevación**	**Pendiente**	**LCV**
	2	0-50.000	2,776.55	5.40%	60
	3	0+172.000	2,788.54	2.70%	60
	4	0+488.167	2,797.07		
Eje 7 Túnel - El Ejido	1	0+000.000	2,758.93	0.29%	0
	2	0+277.000	2,759.74	8.39%	120
	3	0+691.000	2,794.46	2.71%	60
	4	0+773.699	2,796.70		
Eje 8 Túnel - plaza Brasilia	1	0+000.000	2,755.78	0.00%	0
	2	0+087.765	2,755.78	1.99%	120
	3	0+600.000	2,765.98	2.98%	100
	4	1+135.000	2,781.92	7.54%	100
	5	1+310.000	2,795.11	-2.09%	60
	6	1+402.811	2,793.18		

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Tabla 5-20 Trazado en alzado alternativa 3

ALTERNATIVA 3					
Alineamiento	**PIV**	**Abscisa**	**Elevación**	**Pendiente**	**LCV**
Eje 1 AGR - acceso puente	1	0+000.163	2,770.64	-5.06%	0
	2	0+032.000	2,769.03	-10.36%	60
	3	0+233.000	2,748.20	0.00%	80
	4	0+338.993	2,748.20		
Eje 2 AGR - acceso puente	1	0+000.000	2,770.43	-5.10%	0
	2	0+030.000	2,768.90	-10.00%	60
	3	0+237.000	2,748.20	0.00%	80
	4	0+356.620	2,748.20		
Eje 3 Puente - viaducto	1	0+356.620	2,748.22	0.00%	0
	2	0+660.000	2,748.22	3.50%	100
	3	1+261.776	2,769.29		
Eje 4 Viaducto - El Arbolito	1	1+261.776	2,769.28	3.50%	0
	2	1+360.000	2,772.71	1.12%	120
	3	2+120.000	2,781.20	5.45%	100
	4	2+384.000	2,795.59	-2.49%	80
	5	2+486.009	2,793.05		

ALTERNATIVA 3					
Alineamiento	**PIV**	**Abscisa**	**Elevación**	**Pendiente**	**LCV**
Eje 5 Viaducto - El Ejido	1	1+261.776	2,769.26	3.50%	0
	2	1+360.000	2,772.69	-1.55%	120
	3	2+330.000	2,757.66	9.94%	120
	4	2+664.000	2,790.86	1.72%	60
	5	2+744.376	2,792.24		
Eje 6 Túnel - El Arbolito	1	100	2,779.79	1.12%	0
	2	0+020.000	2,781.13	5.45%	100
	3	0+157.000	2,788.60	2.71%	60
	4	0+470.346	2,797.09		
Eje 7 Túnel - El Ejido	1	0+000.000	2,761.22	-1.55%	0
	2	0+230.000	2,757.66	8.40%	120
	3	0+670.000	2,794.62	2.69%	60
	4	0+745.216	2,796.64		
Eje 8 Túnel - plaza Brasilia	1	0+000.000	2,768.51	3.50%	0
	2	0+115.914	2,772.57	1.49%	120
	3	0+545.000	2,778.96	6.46%	100
	4	0+795.000	2,795.10	-2.09%	80
	5	0+887.037	2,793.18		

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Resumen de resultados:

Tabla 5-21 Resumen de resultados

ALTERNATIVA	1	2	3
LCV máximo	120	120	120
N.º cambios rasantes	18	19	19
Pte. Máxima	10%	10.53%	10.36%

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Al igual que en el criterio de planta, se desecha la puntuación correspondiente al LCV máximo y se considera el promedio de las puntuaciones parciales que proporcionan valores diferenciados para cada una de las tres alternativas. Además, se consideran los siguientes criterios para cada uno de los sub-factores (N.º cambios de rasante):

- Máxima puntuación (1.00) para la alternativa con menor número de cambios de rasante.
- Mínima puntuación (0.00) para el doble de cambios de rasante.
- El resto número de cambios de pendiente comprendidas entre ambos valores anteriores se puntuarán proporcionalmente.

Tabla 5-22 Cambios de rasante

ALTERNATIVA	1	2	3
N.º Cambios Rasante	18	19	19
Puntuación Parcial	1.00	0.94	0.94

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Pendiente Máxima

- Máxima puntuación (1.00) para la alternativa con la pendiente máxima de menor valor.
- Mínima puntuación (0.00) para una pendiente máxima del 12.00%.
- El resto de las pendientes comprendidas entre ambos valores se puntuarán proporcionalmente.

Tabla 5-23 Pendiente Máxima

ALTERNATIVA	1	2	3
Pte. Máxima	10%	10.53%	10.36%
Puntuación parcial	1.00	0.87	0.91

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

La puntuación final será el promedio de las puntuaciones anteriores:

Tabla 5-24 Puntuación final

ALTERNATIVA	1	2	3
Puntuación	1.00	0.91	0.93

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.5.4 SEGURIDAD VIAL

Este factor se evalúa de forma cualitativa, valorando la existencia de elementos exteriores a la propia obra que pudiera ser constitutivo de riesgo para la seguridad vial. De esta manera, las alternativas 1 y 2 son equivalentes y no se aprecia elementos singulares que generen una especial situación de riesgo. No así ocurre con la alternativa 3, que presente un tramo de unos 700 m de viaducto en una zona que se encuentra a media ladera, lo que generará la necesidad de obras de excavación y, por lo tanto, la potencial activación de riesgos de desprendimientos localizados sobre la carretera en fase de servicio. De esta manera, las puntuaciones que se otorgan a las diferentes alternativas son las siguientes:

Tabla 5-25 Puntuación para seguridad vial

ALTERNATIVA	1	2	3
Puntuación	1.00	1.00	0.50

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.5.5 AFECCIÓN AL USUARIO

Se reconoce como afección al usuario a la probabilidad de que en cada una de las alternativas existan circunstancias que sean susceptibles de provocar efectos negativos en la conducción. En este sentido, se identifica la proximidad con el trébol como elementos negativos de cara a la proximidad a puntos negros de congestión. En este sentido, se otorgará una puntuación de 1.00 a la alternativa más lejana y una puntuación de 0.00 a la ubicación del trébol, puntuando proporcionalmente a las distancias intermedias al trébol del resto de alternativas:

Tabla 5-26 Afectación al usuario

ALTERNATIVA	1	2	3
Distancia al trébol	1.55	1.30	1.05
Puntuación	1.00	0.84	0.68

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.5.6 LONGITUD TOTAL DE LA SOLUCIÓN

El último de los criterios funcionales a considerar se trata de la longitud total de cada alternativa, debido a la afección directa que tiene sobre el tiempo total de desplazamiento entre entrada y salida de proyecto. De esta manera, se asignará la mejor puntuación (1.00) a la alternativa con una longitud total menor, correspondiendo la peor puntuación (0.00) al doble de esta longitud. La puntuación otorgada a las longitudes del resto de alternativas se cuantificará de manera lineal entre las dos anteriores y en caso de que hubiera longitudes superiores a la indicada como pésima, también recibirá una puntuación de cero:

Tabla 5-27 Longitud total de la solución

ALTERNATIVA	1	2	3
Longitud (m)	6344.97	7056.53	6276.37
Puntuación	0.99	0.88	1.00

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.5.7 VALORACIÓN FUNCIONAL GLOBAL

Para la valoración global de cada una de las alternativas desde un punto de vista funcional, y siguiendo la metodología planteada, se ponderan todas las puntuaciones de segundo nivel asignadas en los sub-epígrafes anteriores, obteniendo así la puntuación de primer nivel que se empleará en el análisis global de las alternativas:

Tabla 5-28 Valoración funcional global

ALTERNATIVA	1	2	3
Puntuación	0.99	0.91	0.85

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.6 CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA VERTEBRACIÓN Y OCUPACIÓN TERRITORIAL

5.6.1 FACTORES DE EVALUACIÓN

Los diferentes factores que van a permitir evaluar, desde un punto de vista objetivo, los aspectos de cada una de las alternativas planteadas relativos a la vertebración y ocupación territorial son las siguientes:

- Expropiaciones necesarias en el proyecto.
- Afección y conectividad.
- Movimiento de tierras.
- Valor estético de la solución.

5.6.2 EXPROPIACIONES NECESARIAS EN EL PROYECTO

Para la evaluación de este efecto negativo sobre el proyecto se cuantificará la superficie susceptible de afectar propiedades privadas, tanto edificadas como no edificadas.

De esta manera, tenemos que en la alternativa 1 la principal afección se produce en la zona de las rampas iniciales, quedando el puente ubicado en la zona de la quebrada; por tanto, ya no afectada de expropiaciones.

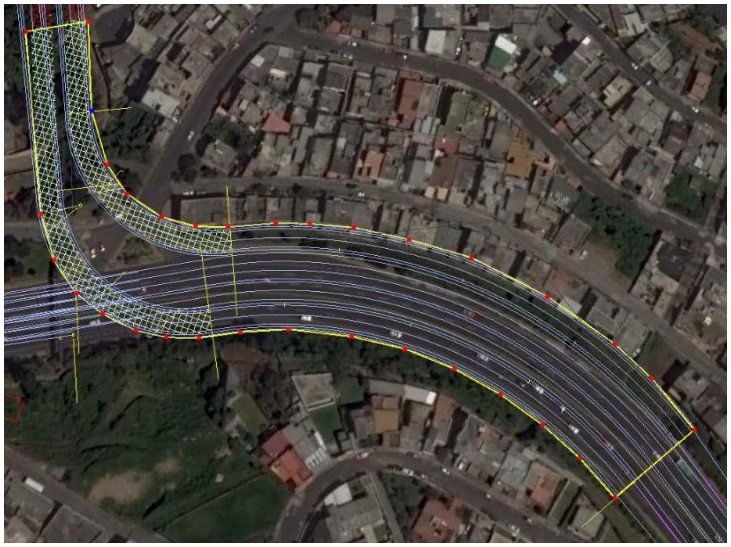

Figura 5-17 Zona susceptible de expropiación temporal y/o definitiva de la alternativa 1

Fuente: Casado, C. 2020

Respecto a la alternativa 2, es la que presenta una mayor superficie de ocupación, ya que hasta llegar al cruce con el río Machángara se puede apreciar cómo el puente avanza por encima de propiedades edificadas y zonas de cultivo o recreo.

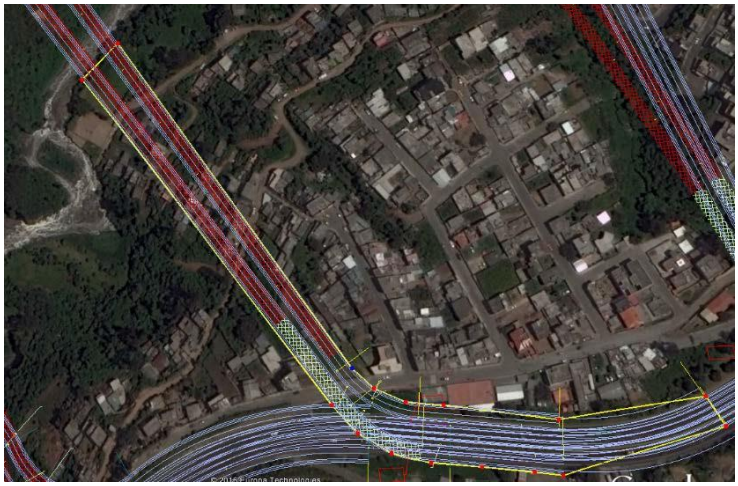

Figura 5-18 Zona susceptible de expropiación temporal y/o definitiva de la alternativa 2

Fuente: Casado, C. 2020

Finalmente, la alternativa 3 es la que presenta menos inconvenientes de expropiaciones, tal como se muestra en la siguiente imagen:

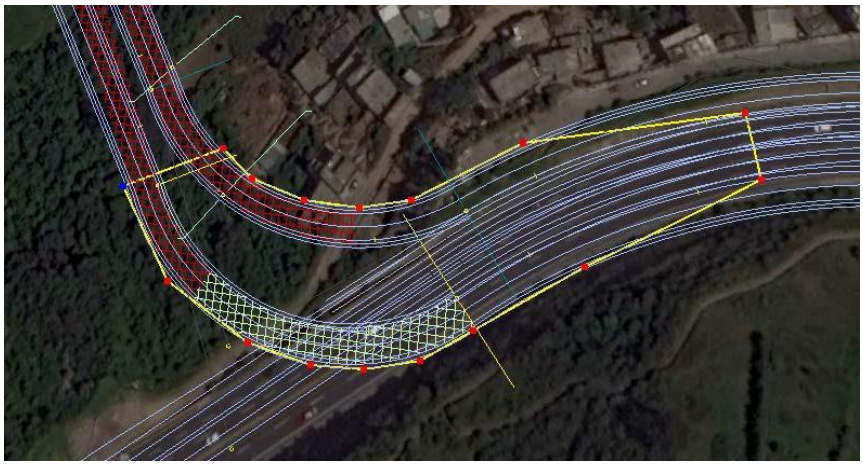

Figura 5-19 Zona susceptible de expropiación temporal y/o definitiva de la alternativa 2

Fuente: Casado, C. 2020

Las diferentes áreas afectadas se han cuantificado según los diagramas anteriores, y para su evaluación se ha aplicado el siguiente criterio:

- A la alternativa con un área menor se le otorga una puntuación de 1.00.
- A la alternativa con un área mayor se le otorga una puntuación de 0.00.
- A la alternativa restante se la puntúa proporcionalmente según la correspondiente área.

Tabla 5-29 Resultados expropiaciones necesarias

ALTERNATIVA	1	2	3
Área ocupada (m^2)	13500	17300	6700
Puntuación	0.36	0.00	1.00

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.6.3 AFECCIÓN Y CONECTIVIDAD

Este factor es análogo a la afección al usuario evaluada en los aspectos funcionales, por lo que el parámetro a considerar será también la distancia al trébol. Por lo tanto, si bien este aspecto ya ha sido evaluado anteriormente, posee una gran importancia respecto a la utilidad de cara al usuario y a la conectividad con Quito, pudiendo convertirse en uno de los principales accesos en el futuro. Por este motivo, se vuelve a tener en consideración en este punto de la evaluación multicriterio:

Tabla 5-30 Distancia al Trébol

ALTERNATIVA	1	2	3
Distancia al trébol	1.55	1.30	1.05
Puntuación	1.00	0.84	0.68

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.6.4 MOVIMIENTO DE TIERRAS

Este factor se considera como negativo por todas las implicaciones que tiene sobre la fase de ejecución y durante la fase de servicio, por lo que se considera que debe intervenir también en la elección de la alternativa más adecuada.

Durante la fase de ejecución, a mayor movimiento de tierras mayores incomodidades para los habitantes del entorno, por la cantidad de ruido, vibraciones y contaminación generados. Además, también hay que considerar los costos ambientales del traslado de excedentes a depósitos, las afecciones en el tráfico del entorno.

Durante la fase de servicio, la existencia de grandes movimientos de tierra puede ser debida a la generación de taludes de corte, lo que lleva asociados problemas de inestabilidad que deben ser prevenidos y corregidos de manera continua, con las correspondientes operaciones de conservación y mantenimiento.

En esta etapa de redacción no se puede determinar con precisión la cantidad de movimiento de tierras que va a generar cada alternativa. Sin embargo, sí es posible realizar una doble valoración, en función de tres componentes principales generadores de movimiento de tierras, que son:

N.º de apoyos del puente.

Se dará una puntuación de 1.00 a la solución que menor número de apoyos intermedios tenga, 0.00 a la solución que mayor número de apoyos intermedios tenga, y la alternativa restante puntuará proporcionalmente entre ambos valores extremos.

Tabla 5-31 Números de apoyos puente

ALTERNATIVA	1	2	3
N.º apoyos puente	9	2	4
Puntuación	0.00	1.00	0.71

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Longitud de tramos a media ladera.

Se dará una puntuación de 1.00 a la solución o soluciones que tenga menor longitud de tramo a media ladera, 0.00 a la que tenga mayor longitud de tramo a media ladera y la alternativa restante, si proceda, puntuará proporcionalmente entre ambos valores.

Tabla 5-32Longitud a media ladera

ALTERNATIVA	1	2	3
Long media ladera	0	0	700
Puntuación	1.00	1.00	0.00

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Longitud y sección de túnel.

Considerando que la sección de túnel de 2 carriles es aproximadamente 1.6 veces la sección para 1 carril. Se dará una puntuación de 1.00 a la que menor longitud equivalente de túnel tenga, 0.00 a la mayor longitud de túnel tenga y la alternativa restante, si procede, puntuaría proporcionalmente entre ambos valores.

Tabla 5-33 Longitud y sección de túnel

ALTERNATIVA	1	2	3
Long. Eq. Túnel (m)	6285.82	7809.60	6156.15
Puntuación	0.92	0.00	1.00

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Debido a la importancia creciente de cada aspecto, al tener en cuenta los tres en conjunto se le otorgará al primero un peso del 20%, al segundo un peso del 30% y al tercero un peso del 50%.

Tabla 5-34 Puntuación movimiento de tierras

ALTERNATIVA	1	2	3
Puntuación	0.76	0.50	0.64

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.6.5 VALOR ESTÉTICO DE LA SOLUCIÓN

En este caso se evalúa, de manera cualitativa, la solución estética dada, es decir, su valor como elemento representativo e hito urbanístico. De esta manera, el elemento que mayor repercusión tiene en todas las soluciones es el puente, por lo que esta valoración afectará únicamente a este elemento.

De las alternativas planteadas, la alternativa 1 alberga una solución de puente de tablero inferior, con dos sistemas de doble atirantamiento apoyados en sendos pilonos principales, lo que puede ser fácilmente apreciado por el usuario de la vía y por el espectador del paisaje.

Las alternativas 2 y 3, por el contrario, se resuelven mediante tipologías de tablero superior con un sistema de arco central con tramos de aproximación, lo que si bien posee también un gran valor para el espectador externo al sistema vial, el usuario de este apenas es capaz de apreciarlo. Finalmente, entre estas dos alternativas, se le debe aportar una mayor valoración a la alternativa 2, ya que es la que se presenta más ligera al poseer distancias, luces y alturas superiores.

De esta manera, las puntuaciones que se otorgan desde un punto de vista cualitativo, como se indicaba al comienzo del presente apartado, son las siguientes:

Tabla 5-35 Puntuación valor estético de la solución

ALTERNATIVA	1	2	3
PUNTUACIÓN	1.00	0.75	0.50

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.6.6 VALORACIÓN GLOBAL EN CUANTO A VERTEBRACIÓN Y OCUPACIÓN TERRITORIAL

Para la valoración global de cada una de las alternativas desde el punto de vista de la vertebración y la ocupación territorial, y siguiendo la metodología planteada, se ponderan todas las puntuaciones de segundo nivel asignadas en los sub-epígrafes anteriores, obteniendo así la puntuación de primer nivel que se empleará en el análisis global de las alternativas:

Tabla 5-36 Puntuación valoración global en cuanto a vertebración y ocupación territorial

ALTERNATIVA	1	2	3
PUNTUACIÓN	0.78	0.52	0.71

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.7 PRESUPUESTOS DE LAS ALTERNATIVAS

De cara a poder realizar una valorización cuantitativa simplificada de las tres alternativas descritas y evaluadas en el presente documento, se muestran a continuación los correspondientes presupuestos de ejecución y mantenimiento, así como las estimaciones de los ingresos calculadas previamente en el estudio de tráfico.

Cabe tener presente que el alcance de los presupuestos que se indican a continuación es proporcional al avance de la ingeniería en la presente fase de redacción de proyecto.

5.7.1 PRESUPUESTOS DE EJECUCIÓN

5.7.1.1 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN ALTERNATIVA 1

El presupuesto de ejecución para la alternativa 1 se estima de la siguiente manera:

Tabla 5-37 Presupuesto de ejecución alternativa 1

PRESUPUESTO EJECUCIÓN					ALTERNATIVA 1	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
01	Capítulo		TRABAJOS PRELIMINARES	1	3,149,725.29	3,149,725.29
01.01	Partida	u	Movilización y desmovilización de equipos	1.00	2,000,000.00	2,000,000.00
01.02	Partida	m²	Topografía	620,588.00	1.20	744,705.60
01.03	Partida	mes	Seguridad Vial durante la obra	26.00	15,000.00	390,000.00
01.04	Partida	m²	Desbroce del terreno	60,078.75	0.25	15,019.69

PRESUPUESTO EJECUCIÓN					ALTERNATIVA 1	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
			01	1	3,149,725.29	3,149,725.29
02	Capítulo		PUENTE	1	58,054,287.50	58,054,287.50
02.01	Partida	m²	Puente	19,813.75	2,930.00	58,054,287.50
			02	1	58,054,287.50	58,054,287.50
03	Capítulo		TUNELES Y RAMPAS	1	113,600,390.92	113,600,390.92
03.01	Partida	m	Rampa a cielo abierto 2 carriles	376.92	11,742.62	4,426,028.33
03.02	Partida	m	Rampa a cielo abierto 1 carril	641.87	8,430.01	5,410,970.52
03.03	Partida	m	Paso deprimido cajón 2 carriles	238.21	18,256.14	4,348,795.11
03.04	Partida	m	Túnel en mina 2 carriles calidad media	1,278.81	22,722.47	29,057,721.86
03.05	Partida	m	Túnel en mina 2 carriles calidad mala	428.87	36,162.47	15,508,998.51
03.06	Partida	m	Túnel en mina 1 carril calidad media	375.00	13,953.50	5,232,562.50
03.07	Partida	m	Túnel en mina 1 carril calidad mala	1,552.45	22,602.00	35,088,474.90
03.08	Partida	m	Tratamientos de mejora del terreno en zonas de riesgo: Eje 4/Metro, Casa Cultura, inicio túnel principal (unidad)	3.00	500,000.00	1,500,000.00
03.09	Partida	m	Control geotécnico adicional en zonas de riesgo: Eje 4/Metro, Casa Cultura, inicio túnel	4.00	50,000.00	200,000.00
03.10	Partida	m	principal, Av. Velasco Ibarra (unidad) Telescopio para bifurcación de túneles	3.00	250,000.00	750,000.00
03.11	Partida	m	Galerías conexión de emergencia 18 m peatonales	1.00	180,000.00	180,000.00
03.12	Partida	m	Galerías conexión de emergencia vehiculares 220 m	1.00	2,200,000.00	2,200,000.00
03.13	Partida	m	Galería de emergencia con pozo	3.00	750,000.00	2,250,000.00
03.14	Partida	m	Bahías de estacionamiento	2.00	400,000.00	800,000.00
03.15	Partida	m	Instalaciones electromecánicas e ITS	4,892.13	1,358.68	6,646,839.19
			03	1	113,600,390.92	113,600,390.92
04	Capítulo		OBRAS COMPLEMENTARIAS	1	15,000,000.00	15,000,000.00

PRESUPUESTO EJECUCIÓN					ALTERNATIVA 1	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
04.01	Partida	u	Iluminación del puente	1.00	200,000.00	200,000.00
04.02	Partida	u	Intervención en el sector El Trébol	1.00	2,000,000.00	2,000,000.00
04.03	Partida	u	Sistema de peaje electrónico	1.00	300,000.00	300,000.00
04.04	Partida	u	Parqueaderos sector El Arbolito	1.00	12,500,000.00	12,500,000.00
			04	1	15,000,000.00	15,000,000.00
05	Capítulo		PAVIMENTACION	1	1,015,754.35	1,015,754.35
05.01	Partida	m²	Riego de liga	53,042.04	1.15	60,998.35
05.02	Partida	m³	Pavimento MBC 5 cm	2,652.10	360.00	954,756.00
			05	1	1,015,754.35	1,015,754.35
06	Capítulo		SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL	1	1,750,255.48	1,750,255.48
06.01	Partida	m²	Señalización horizontal	13,260.51	2.90	38,455.48
06.02	Partida	glb	Señalización vertical	1.00	400,000.00	400,000.00
06.03	Partida	glb	Balizamientos	1.00	350,000.00	350,000.00
06.04	Partida	m	Pretiles metálicos	3,206.00	300.00	961,800.00
			06	1	1,750,255.48	1,750,255.48
07	Capítulo		INTERFERENCIAS	1	3,000,000.00	3,000,000.00
07.01	Partida	glb	Reposición de servicios afectados	1.00	3,000,000.00	3,000,000.00
			07	1	3,000,000.00	3,000,000.00
08	Capítulo		PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	1	4,000,000.00	4,000,000.00
08.01	Partida	glb	Monitoreo ambiental	1.00	120,000.00	120,000.00
08.02	Partida	glb	Comunicación y señalización ambiental	1.00	80,000.00	80,000.00
08.03	Partida	glb	Restitución ambiental del proyecto	1.00	3,600,000.00	3,600,000.00
08.04	Partida	glb	Control de la contaminación	1.00	200,000.00	200,000.00
			08	1	4,000,000.00	4,000,000.00
TOTAL, ALTERNATIVA 1				1	199,570,413.54	199,570,413.54

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

El presupuesto de ejecución de la Alternativa 1 asciende a la cantidad de CIENTO NOVENTA Y NUEVE MILLONES QUINIENTOS SENTENTA MIL CUATROCIENTOS TRECE DÓLARES CON CINCUENTA Y CUATRO CENTAVOS.

5.7.1.2 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN ALTERNATIVA 2

El presupuesto de ejecución para la alternativa 2 se estima de la siguiente manera:

Tabla 5-38 Presupuesto ejecución alternativa 2

Presupuesto ejecución					Alternativa 2	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
01	Capítulo		TRABAJOS PRELIMINARES	1	3,251,811.20	3,251,811.20
01.01	Partida	u	Movilización y desmovilización de equipos	1.00	2,000,000.00	2,000,000.00
01.02	Partida	m²	Topografía	711,926.00	1.20	854,311.20
01.03	Partida	mes	Seguridad Vial durante la obra	26.00	15,000.00	390,000.00
01.04	Partida	m²	Desbroce del terreno	30,000.00	0.25	7,500.00
			01	1	3,251,811.20	3,251,811.20
02	Capítulo		PUENTE	1	26,635,920.00	26,635,920.00
02.01	Partida	m²	Puente	10,324.00	2,580.00	26,635,920.00
			02	1	26,635,920.00	26,635,920.00
03	Capítulo		TUNELES Y RAMPAS	1	139,287,144.13	139,287,144.13
03.01	Partida	m	Rampa a cielo abierto 2 carriles	288.17	11,742.62	3,383,870.81
03.02	Partida	m	Rampa a cielo abierto 1 carril	641.87	8,430.01	5,410,970.52
03.03	Partida	m	Paso deprimido cajón 2 carriles	159.00	18,256.14	2,902,726.26
03.04	Partida	m	Túnel en mina 2 carriles calidad media	2,165.42	22,722.47	49,203,690.99
03.05	Partida	m	Túnel en mina 2 carriles calidad mala	313.70	36,162.47	11,344,166.84
03.06	Partida	m	Túnel en mina 1 carril calidad media	705.23	13,953.50	9,840,426.81
03.07	Partida	m	Túnel en mina 1 carril calidad mala	1,780.44	22,602.00	40,241,504.88
03.08	Partida	m	Tratamientos de mejora del terreno en zonas de riesgo: Eje 4/Metro, Casa Cultura, inicio túnel principal (unidad)	3.00	500,000.00	1,500,000.00
03.09	Partida	m	Control geotécnico adicional en zonas de riesgo: Eje 4/Metro, Casa Cultura, inicio túnel principal, Av. Velasco Ibarra (unidad)	4.00	50,000.00	200,000.00

Presupuesto ejecución					Alternativa 2	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
03.10	Partida	m	Telescopio para bifurcación de túneles	3.00	250,000.00	750,000.00
03.11	Partida	m	Galerías conexión de emergencia 18 m peatonales	2.00	180,000.00	360,000.00
03.12	Partida	m	Galerías conexión de emergencia vehiculares 220 m	1.00	2,200,000.00	2,200,000.00
03.13	Partida	m	Galería de emergencia con pozo	4.00	750,000.00	3,000,000.00
03.14	Partida	m	Bahías de estacionamiento	2.00	400,000.00	800,000.00
03.15	Partida	m	Instalaciones electromecánicas e ITS	6,053.83	1,346.22	8,149,787.02
			03	1	139,287,144.13	139,287,144.13
04	Capítulo		OBRAS COMPLEMENTARIAS	1	14,960,000.00	14,960,000.00
04.01	Partida	u	Iluminación del puente	1.00	160,000.00	160,000.00
04.02	Partida	u	Intervención en el sector El Trébol	1.00	2,000,000.00	2,000,000.00
04.03	Partida	u	Sistema de peaje electrónico	1.00	300,000.00	300,000.00
04.04	Partida	u	Parqueaderos sector El Arbolito	1.00	12,500,000.00	12,500,000.00
			04	1	14,960,000.00	14,960,000.00
05	Capítulo		PAVIMENTACION	1	1,059,661.37	1,059,661.37
05.01	Partida	m²	Riego de liga	55,334.76	1.15	63,634.97
05.02	Partida	m³	Pavimento MBC 5 cm	2,766.74	360.00	996,026.40
			05	1	1,059,661.37	1,059,661.37
06	Capítulo		SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL	1	1,380,117.70	1,380,117.70
06.01	Partida	m²	Señalización horizontal	13,833.69	2.90	40,117.70
06.02	Partida	glb	Señalización vertical	1.00	460,000.00	460,000.00
06.03	Partida	glb	Balizamientos	1.00	400,000.00	400,000.00
06.04	Partida	m	Pretiles metálicos	1,600.00	300.00	480,000.00
			06	1	1,380,117.70	1,380,117.70
07	Capítulo		INTERFERENCIAS	1	3,000,000.00	3,000,000.00
07.01	Partida	glb	Reposición de servicios afectados	1.00	3,000,000.00	3,000,000.00
			07	1	3,000,000.00	3,000,000.00

Presupuesto ejecución					Alternativa 2	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
08	Capítulo		PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	1	4,000,000.00	4,000,000.00
08.01	Partida	glb	Monitoreo ambiental	1.00	120,000.00	120,000.00
08.02	Partida	glb	Comunicación y señalización ambiental	1.00	80,000.00	80,000.00
08.03	Partida	glb	Restitución ambiental del proyecto	1.00	3,600,000.00	3,600,000.00
08.04	Partida	glb	Control de la contaminación	1.00	200,000.00	200,000.00
			08	1	4,000,000.00	4,000,000.00
TOTAL, ALTERNATIVA 2				1	193,574,654.40	193,574,654.40

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

El presupuesto de ejecución de la Alternativa 2 asciende a la cantidad de CIENTO NOVENTA Y TRES MILLONES QUINIENTOS SETENTA Y CUATRO MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO DÓLARES CON CUARENTA CENTAVOS.

5.7.1.3 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN ALTERNATIVA 3

El presupuesto de ejecución para la alternativa 3 se estima de la siguiente manera:

Presupuesto ejecución				Alternativa 3		
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
01	Capítulo		TRABAJOS PRELIMINARES	1	3,173,911.36	3,173,911.36
01.01	Partida	u	Movilización y desmovilización de equipos	1.00	2,000,000.00	2,000,000.00
01.02	Partida	m²	Topografía	635,404.00	1.20	762,484.80
01.03	Partida	mes	Seguridad Vial durante la obra	26.00	15,000.00	390,000.00
01.04	Partida	m²	Desbroce del terreno	85,706.25	0.25	21,426.56
01				1	3,173,911.36	3,173,911.36
02	Capítulo		PUENTE	1	62,486,170.00	62,486,170.00
02.01	Partida	m²	Puente	23,759.00	2,630.00	62,486,170.00
			02	1	62,486,170.00	62,486,170.00
03	Capítulo		TUNELES Y RAMPAS	1	109,830,343.09	109,830,343.09
03.01	Partida	m	Rampa a cielo abierto 2 carriles	410.85	11,742.62	4,824,455.43
03.02	Partida	m	Rampa a cielo abierto 1 carril	641.87	8,430.01	5,410,970.52
03.03	Partida	m	Paso deprimido cajón 2 carriles	84.38	18,256.14	1,540,453.09
03.04	Partida	m	Túnel en mina 2 carriles calidad media	1,445.28	22,722.47	32,840,331.44

Presupuesto ejecución				Alternativa 3		
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
03.05	Partida	m	Túnel en mina 2 carriles calidad mala	309.36	36,162.47	11,187,221.72
03.06	Partida	m	Túnel en mina 1 carril calidad media	358.16	13,953.50	4,997,585.56
03.07	Partida	m	Túnel en mina 1 carril calidad mala	1,556.33	22,602.00	35,176,170.66
03.08	Partida	m	Tratamientos de mejora del terreno en zonas de riesgo: Eje 4/Metro, Casa Cultura, inicio túnel principal (unidad)	2.50	500,000.00	1,250,000.00
03.09	Partida	m	Control geotécnico adicional en zonas de riesgo: Eje 4/Metro, Casa Cultura, inicio túnel principal, Av. Velasco Ibarra (unidad)	4.00	50,000.00	200,000.00
03.10	Partida	m	Telescopio para bifurcación de túneles	3.00	250,000.00	750,000.00
03.11	Partida	m	Galerías conexión de emergencia 18 m peatonales	1.00	180,000.00	180,000.00
03.12	Partida	m	Galerías conexión de emergencia vehiculares 220 m	1.00	2,200,000.00	2,200,000.00
03.13	Partida	m	Galería de emergencia con pozo	3.00	750,000.00	2,250,000.00
03.14	Partida	m	Bahías de estacionamiento	2.00	400,000.00	800,000.00
03.15	Partida	m	Instalaciones electromecánicas e ITS	4,806.23	1,294.81	6,223,154.67
			03	1	109,830,343.09	109,830,343.09
04	Capítulo		OBRAS COMPLEMENTARIAS	1	15,000,000.00	15,000,000.00
04.01	Partida	u	Iluminación del puente	1.00	200,000.00	200,000.00
04.02	Partida	u	Intervención en el sector El Trébol	1.00	2,000,000.00	2,000,000.00
04.03	Partida	u	Sistema de peaje electrónico	1.00	300,000.00	300,000.00
04.04	Partida	u	Parqueaderos sector El Arbolito	1.00	12,500,000.00	12,500,000.00
			04	1	15,000,000.00	15,000,000.00
05	Capítulo		PAVIMENTACION	1	1,754,852.28	1,754,852.28
05.01	Partida	m^2	Riego de liga	91,637.11	1.15	105,382.68
05.02	Partida	m^3	Pavimento MBC 5 cm	4,581.86	360.00	1,649,469.60
			05	1	1,754,852.28	1,754,852.28
06	Capítulo		SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL	1	2,024,744.11	2,024,744.11

Presupuesto ejecución				Alternativa 3		
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
06.01	Partida	m²	Señalización horizontal	22,909.28	2.90	66,436.91
06.02	Partida	glb	Señalización vertical	1.00	410,000.00	410,000.00
06.03	Partida	glb	Balizamientos	1.00	360,000.00	360,000.00
06.04	Partida	m	Pretiles metálicos	3,961.02	300.00	1,188,307.20
			06	1	2,024,744.11	2,024,744.11
07	Capítulo		INTERFERENCIAS	1	3,000,000.00	3,000,000.00
07.01	Partida	glb	Reposición de servicios afectados	1.00	3,000,000.00	3,000,000.00
			07	1	3,000,000.00	3,000,000.00
08	Capítulo		PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	1	4,000,000.00	4,000,000.00
08.01	Partida	glb	Monitoreo ambiental	1.00	120,000.00	120,000.00
08.02	Partida	glb	Comunicación y señalización ambiental	1.00	80,000.00	80,000.00
08.03	Partida	glb	Restitución ambiental del proyecto	1.00	3,600,000.00	3,600,000.00
08.04	Partida	glb	Control de la contaminación	1.00	200,000.00	200,000.00
			08	1	4,000,000.00	4,000,000.00
TOTAL, ALTERNATIVA 3				1	201,270,020.84	201,270,020.84

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

El presupuesto de ejecución de la Alternativa 3 asciende a la cantidad de DOSCIENTOS UN MILLONES DOSCIENTOS SETENTA MIL VEINTE DÓLARES CON OCHENTA Y CUATRO CENTAVOS.

5.7.2 PRESUPUESTO DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO ALTERNATIVA 1

5.7.2.1 PRESUPUESTO DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO ALTERNATIVA 1

El presupuesto de conservación y mantenimiento para la alternativa 1 en los 20 primeros años de servicio se estima de la siguiente manera:

Tabla 5-39 Presupuesto de conservación y mantenimiento alternativa 1

Presupuesto mantenimiento 20 años					Alternativa 1	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
01	Capítulo		MANTENIMIENTO TÚNELES	1	6,424,711.01	6,424,711.01
01.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario de túneles	16.00	305,938.62	4,895,017.91
01.02	Partida	u	Mantenimiento periódico de túneles	4.00	382,423.27	1,529,693.10
			01	1	6,424,711.01	6,424,711.01
02	Capítulo		MANTENIMIENTO PUENTES	1	5,381,632.45	5,381,632.45

Presupuesto mantenimiento 20 años					Alternativa 1	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
02.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario de puentes	16.00	261,244.29	4,179,908.70
02.02	Partida	u	Mantenimiento periódico de puentes	4.00	300,430.94	1,201,723.75
			02	1	5,381,632.45	5,381,632.45
03	Capítulo		MANTENIMIENTO VIAL	1	1,101,687.17	1,101,687.17
03.01	Partida	u	Mantenimiento vial rutinario	16.00	50,076.69	801,227.03
03.02	Partida	u	Mantenimiento vial periódico	4.00	75,115.03	300,460.14
03				1	1,101,687.17	1,101,687.17
04	Capítulo		MANTENIMIENTO SEGURIDAD VIAL	1	843,273.09	843,273.09
04.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario seg. vial	16.00	38,330.60	613,289.52
04.02	Partida	u	Mantenimiento periódico seg vial	4.00	57,495.89	229,983.57
			04	1	843,273.09	843,273.09
05	Capítulo		INGRESOS PEAJE (r=0%)	1	0.00	0.00
05.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario seg vial	0.00	12,254,000.00	0.00
			04	1	0.00	0.00
COMPARACIÓN ALTERNATIVAS				1	13,751,303.72	13,751,303.72

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.7.2.2 PRESUPUESTO DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO ALTERNATIVA 2

El presupuesto de conservación y mantenimiento para la alternativa 2 en los 20 primeros años de servicio se estima de la siguiente manera:

Tabla 5-40 Presupuesto de conservación y mantenimiento alternativa 2

Presupuesto mantenimiento 20 años					Alternativa 2	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
01	Capítulo		MANTENIMIENTO TÚNELES	1	8,207,874.53	8,207,874.53
01.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario de túneles	16.00	390,851.17	6,253,618.69
01.02	Partida	u	Mantenimiento periódico de túneles	4.00	488,563.96	1,954,255.84
			01	1	8,207,874.53	8,207,874.53
02	Capítulo		MANTENIMIENTO PUENTES	1	2,469,149.78	2,469,149.78
02.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario de puentes	16.00	119,861.64	1,917,786.24
02.02	Partida	u	Mantenimiento periódico de puentes	4.00	137,840.89	551,363.54
			02	1	2,469,149.78	2,469,149.78

Presupuesto mantenimiento 20 años					Alternativa 2	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
03	Capítulo		MANTENIMIENTO VIAL	1	1,149,308.72	1,149,308.72
03.01	Partida	u	Mantenimiento vial rutinario	16.00	52,241.31	835,860.89
03.02	Partida	u	Mantenimiento vial periódico	4.00	78,361.96	313,447.83
			03	1	1,149,308.72	1,149,308.72
04	Capítulo		MANTENIMIENTO SEGURIDAD VIAL	1	664,940.71	664,940.71
04.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario seg vial	16.00	30,224.58	483,593.24
04.02	Partida	u	Mantenimiento periódico seg vial	4.00	45,336.87	181,347.47
			04	1	664,940.71	664,940.71
05	Capítulo		INGRESOS PEAJE (r=0%)	1	0.00	0.00
05.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario seg vial	0.00	11,864,000.00	0.00
			04	1	0.00	0.00
COMPARACIÓN ALTERNATIVAS				1	12,491,273.74	12,491,273.74

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.7.2.3 PRESUPUESTO DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO ALTERNATIVA 3

El presupuesto de conservación y mantenimiento para la alternativa 3 en los 20 primeros años de servicio se estima de la siguiente manera:

Tabla 5-41 Presupuesto de conservación y mantenimiento alternativa 3

Presupuesto mantenimiento 20 años					Alternativa 3	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
01	Capítulo		MANTENIMIENTO TÚNELES	1	6,096,549.02	6,096,549.02
01.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario de túneles	16.00	290,311.86	4,644,989.73
01.02	Partida	u	Mantenimiento periódico de túneles	4.00	362,889.82	1,451,559.29
			01	1	6,096,549.02	6,096,549.02
02	Capítulo		MANTENIMIENTO PUENTES	1	5,792,467.96	5,792,467.96
02.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario de puentes	16.00	281,187.77	4,499,004.24
02.02	Partida	u	Mantenimiento periódico de puentes	4.00	323,365.93	1,293,463.72
			02	1	5,792,467.96	5,792,467.96
03	Capítulo		MANTENIMIENTO VIAL	1	1,903,312.78	1,903,312.78
03.01	Partida	u	Mantenimiento vial rutinario	16.00	86,514.22	1,384,227.48
03.02	Partida	u	Mantenimiento vial periódico	4.00	129,771.33	519,085.30
			03	1	1,903,312.78	1,903,312.78

Presupuesto mantenimiento 20 años					Alternativa 3	
Código	Nat	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres
04	Capítulo		MANTENIMIENTO SEGURIDAD VIAL	1	975,521.71	975,521.71
04.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario seg vial	16.00	44,341.90	709,470.34
04.02	Partida	u	Mantenimiento periódico seg vial	4.00	66,512.84	266,051.38
			04	1	975,521.71	975,521.71
05	Capítulo		INGRESOS PEAJE (r=0%)	1	0.00	0.00
05.01	Partida	u	Mantenimiento rutinario seg vial	0.00	11,526,000.00	0.00
			04	1	0.00	0.00
COMPARACIÓN ALTERNATIVAS				1	14,767,851.47	14,767,851.47

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.7.3 COMPARACIÓN ENTRE LA CAPACIDAD DE RENTABILIDAD DE LAS ALTERNATIVAS

El objeto del presente apartado no es el de proporcionar, de manera absoluta, la rentabilidad de cada una de las alternativas. En cambio, lo que se pretende mostrar es la comparación entre los resultados de rentabilidad de las diferentes alternativas bajo unas mismas hipótesis. Estas hipótesis son:

1. **Coste de peaje para el usuario de 1.00$, según el estudio de tráfico.**

Tabla 5-42Coste de peaje para el usuario

Alternativa 1		
Peaje	TPDA2	Ingresos (Miles $/año)
0.75	42.781	11.711
1	33.572	12.254
0.25	25.019	11.415
1.5	17.814	9.753
Alternativa 2		
Peaje	TPDA	Ingresos (Miles $/año)
0.75	41.690	11.413
1	32.503	11.864
1.25	24.088	10.990
1.5	17.058	9.339
Alternativa 3		
Peaje	TPDA	Ingresos (Miles $/año
0.75	40.691	11.139

[2] TPDA: Unidad de medida en el tráfico de una carretera es el volumen del tráfico promedio diario anual cuya

Alternativa 1		
Peaje	TPDA2	Ingresos (Miles $/año)
1	31.577	11.526
1.25	23.300	10.631
1.5	16.431	8.996

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

2. **Tasa de descuento ficticia, idéntica para las tres alternativas.**

Bajo estas premisas, los resultados que se obtienen son los siguientes:

Tabla 5-43 Capacidad rentabilidad alternativa 1

ALTERNATIVA 1				
Año	Inversión	Mantenimiento	Beneficio neto anual	Valor Actual Neto (VAN)
0	-199,570,413.54		0.00	-199,570,413.54
1		-655,590.20	11,480,044.41	-188,090,369.13
2		-655,590.20	11,422,929.76	-176,667,439.38
3		-655,590.20	11,366,099.26	-165,301,340.11
4		-655,590.20	11,309,551.50	-153,991,788.61
5		-815,465.14	11,097,347.75	-142,894,440.86
6		-655,590.20	11,197,298.59	-131,697,142.28
7		-655,590.20	11,141,590.63	-120,555,551.64
8		-655,590.20	11,086,159.83	-109,469,391.81
9		-655,590.20	11,031,004.81	-98,438,387.00
10		-815,465.14	10,824,027.49	-87,614,359.51
11		-655,590.20	10,921,516.61	-76,692,842.90
12		-655,590.20	10,867,180.70	-65,825,662.20
13		-655,590.20	10,813,115.13	-55,012,547.08
14		-655,590.20	10,759,318.53	-44,253,228.54
15		-815,465.14	10,557,438.93	-33,695,789.61
16		-655,590.20	10,652,526.95	-23,043,262.66
17		-655,590.20	10,599,529.30	-12,443,733.36
18		-655,590.20	10,546,795.33	-1,896,938.03
19		-655,590.20	10,494,323.71	8,597,385.68
20		-815,465.14	10,297,416.26	18,894,801.94

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Tabla 5-44 Capacidad rentabilidad alternativa 2

ALTERNATIVA 2				
Año	**Inversión**	**Mantenimiento**	**Beneficio neto anual**	**VAN**
0			0.00	-193,574,654.40
1		-593,178.69	11,214,747.57	-182,359,906.83
2		-593,178.69	11,158,952.81	-171,200,954.02
3		-593,178.69	11,103,435.63	-160,097,518.39
4		-593,178.69	11,048,194.66	-149,049,323.74
5		-882,539.92	10,710,994.06	-138,338,329.68
6		-593,178.69	10,938,535.83	-127,399,793.85
7		-593,178.69	10,884,115.26	-116,515,678.59
8		-593,178.69	10,829,965.43	-105,685,713.16
9		-593,178.69	10,776,085.01	-94,909,628.16
10	-193,574,654.40	-882,539.92	10,447,189.43	-84,462,438.73
11		-593,178.69	10,669,127.01	-73,793,311.72
12		-593,178.69	10,616,046.77	-63,177,264.95
13		-593,178.69	10,563,230.62	-52,614,034.33
14		-593,178.69	10,510,677.23	-42,103,357.09
15		-882,539.92	10,189,882.14	-31,913,474.95
16		-593,178.69	10,406,353.54	-21,507,121.41
17		-593,178.69	10,354,580.64	-11,152,540.78
18		-593,178.69	10,303,065.31	-849,475.47
19		-593,178.69	10,251,806.28	9,402,330.81
20		-882,539.92	9,938,912.15	19,341,242.96

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Tabla 5-45 Capacidad rentabilidad alternativa 3

ALTERNATIVA 3				
Año	**Inversión**	**Mantenimiento**	**Beneficio neto anual**	**VAN**
0			0.00	-201,270,020.84
1		-702,355.74	10,769,795.29	-190,500,225.55
2		-702,355.74	10,716,214.22	-179,784,011.34
3		-702,355.74	10,662,899.72	-169,121,111.62
4	-201,270,020.84	-702,355.74	10,609,850.47	-158,511,261.15
5		-882,539.92	10,381,318.77	-148,129,942.38
6		-702,355.74	10,504,542.43	-137,625,399.96
7		-702,355.74	10,452,281.02	-127,173,118.93

ALTERNATIVA 3				
Año	Inversión	Mantenimiento	Beneficio neto anual	VAN
8		-702,355.74	10,400,279.62	-116,772,839.31
9		-702,355.74	10,348,536.94	-106,424,302.37
10		-882,539.92	10,125,633.83	-96,298,668.54
11		-702,355.74	10,245,822.57	-86,052,845.98
12		-702,355.74	10,194,848.33	-75,857,997.65
13		-702,355.74	10,144,127.69	-65,713,869.96
14		-702,355.74	10,093,659.39	-55,620,210.57
15		-882,539.92	9,876,246.23	-45,743,964.34
16		-702,355.74	9,993,474.81	-35,750,489.53
17		-702,355.74	9,943,756.03	-25,806,733.51
18		-702,355.74	9,894,284.60	-15,912,448.90
19		-702,355.74	9,845,059.31	-6,067,389.60
20		-882,539.92	9,633,000.89	3,565,611.29

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.8 VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS

Para considerar todos los aspectos económicos de mayor relevancia para la evaluación de la alternativa más adecuada, se tendrá en cuenta tanto el coste de inversión como la rentabilidad del proyecto, obtenidos ambos anteriormente. De esta forma, para ambos aspectos se evaluará de la siguiente manera:

PRESUPUESTO DE INVERSIÓN INICIAL

- La alternativa con menor presupuesto de ejecución tendrá la máxima puntuación, en este caso 1.00.
- La alternativa con mayor presupuesto de ejecución tendrá la mínima puntuación, en este caso 0.50.
- Las alternativas intermedias puntuarán de manera promediada entre ambos valores.

Tabla 5-46 Presupuesto de inversión inicial

ALTERNATIVA	1	2	3
PRESUPUESTO en miles de $	199,570	193,575	201,270
PUNTUACIÓN	0.61	1.00	0.50

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

RENTABILIDAD

- La alternativa con mayor valor del VAN tendrá la máxima puntuación, en este caso 1.00.
- La alternativa con menor valor del VAN tendrá la mínima puntuación, en este caso 0.50.

- Las alternativas intermedias puntuarán de manera promediada entre ambos valores.
- Si hubiera alguna alternativa con VAN negativo, de manera simultánea a otras alternativas con VAN positivo, la puntuación asignada sería de 0.00.

Tabla 5-47 Rentabilidad 20 años

ALTERNATIVA	1	2	3
VAN (20 AÑOS) en miles de $	18,895	19,341	3,566
PUNTUACIÓN	1.00	0.95	0.50

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

VALORACIÓN ECONÓMICA

La puntuación asignada a cada alternativa será el promedio de ambas puntuaciones:

Tabla 5-48 Valoración económica

ALTERNATIVA	1	2	3
PUNTUACIÓN	0.80	1	0.50

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.9 EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Con la puntuación asignada a cada factor en cada una de las alternativas, puede procederse a la realización de la evaluación multicriterio, a través de la definición de los correspondientes modelos de robustez, sensibilidad y de preferencias. Los valores que se emplean para la definición de dichos modelos matemáticos son, de manera resumida:

Tabla 5-49 Evaluación multicriterio

FACTOR	ALT 1	ALT 2	ALT 3
MEDIO AMBIENTE	1.00	0.82	0.59
ECONÓMICO	0.80	1	0.50
VERTEBRACIÓN Y OCUPACIÓN TERRITORIAL	0.78	0.52	0.71
FUNCIONALIDAD	0.99	0.91	0.85

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

5.9.1 OBTENCIÓN DEL MODELO

Los índices anteriores, que definen la valoración parcial de las alternativas con respecto a los cuatro criterios considerados, suponen el primer paso para la obtención de un modelo numérico que pueda emplearse como herramienta básica del análisis multicriterio.

El modelo que se emplea está basado en la matriz numérica que se emplea en el método PATTERN[3], que permite sintetizar las valoraciones obtenidas por las alternativas para cada criterio en un sólo

[3] Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers.

parámetro llamado IP (Índice de Pertinencia[4]), cuyos valores están comprendidos en el intervalo [0,1], correspondiendo el 1 a la óptima y el 0 a la pésima, mediante la aplicación de pesos o coeficientes de ponderación, creando un modelo que permite la comparación directa. De esta forma, se obtiene una matriz alternativas –criterios con la que se obtiene el IP para cada alternativa de la siguiente forma:

Donde:

$$IP_i = 1 - \frac{Max - \sum_j \beta_j \cdot a_{ij}}{Max - Min}$$

- aij es la calificación obtenida por la alternativa i para el criterio j
- βj es el coeficiente de ponderación del criterio j, cumple la condición $\sum \beta j = 1$
- MAX es el valor máximo de $\sum \beta j \cdot aij$ de entre los obtenidos por todas las alternativas.
- MIN es el valor mínimo de $\sum \beta j \cdot aij$ de entre los obtenidos por todas las alternativas.

Con este modelo se pueden desarrollar diversos métodos de análisis multicriterio que, empleando diferentes criterios de aplicación de pesos, permitan alcanzar los objetivos del proceso de análisis de alternativas.

Tras la obtención del modelo numérico se plantea la necesidad de evaluar las alternativas de forma global, empleando procedimientos que permitan aplicar los coeficientes de ponderación necesarios sin distorsionar los resultados. Estos procedimientos son los siguientes:

- Análisis de robustez: consiste en aplicar todas las combinaciones posibles de pesos a todos los indicadores comprendidos en el modelo numérico anterior, obteniéndose el número de veces que cada alternativa resulta ser óptima. Este procedimiento es el más desprovisto de componentes subjetivos, y pone de relieve qué alternativas presentan mejor comportamiento general con los criterios marcados.
- Análisis de sensibilidad: consiste en aplicar el mismo procedimiento que en el análisis de robustez, pero limitando los valores posibles de cada peso a un cierto rango, de manera que se evita tomar en consideración en el análisis ponderaciones extremas que podrían distorsionarlo.
- Análisis de preferencias: es el método PATTERN tradicional, y consiste en aplicar pesos a cada criterio de tal forma que respondan a un orden de preferencias relativas.

5.9.2 ANÁLISIS DE ROBUSTEZ

Para efectuar el análisis de robustez se parte del modelo numérico desarrollado anteriormente, sin coeficientes de ponderación. Este modelo se tratará mediante una hoja de cálculo que le aplique todas las posibilidades de combinación de pesos (es decir, aquellas cuya suma es 1), en incrementos que barran todas las posibilidades de pesos de 0 a 1. Dadas las características del modelo, se considerarán diferencias de peso de 0.10 para la definición de las diferentes combinaciones de pesos:

[4] Esto supone una modificación con respecto al método PATTERN clásico, en el cual el índice IP no se limita al intervalo mencionado; con esto se facilita la comparación de alternativas

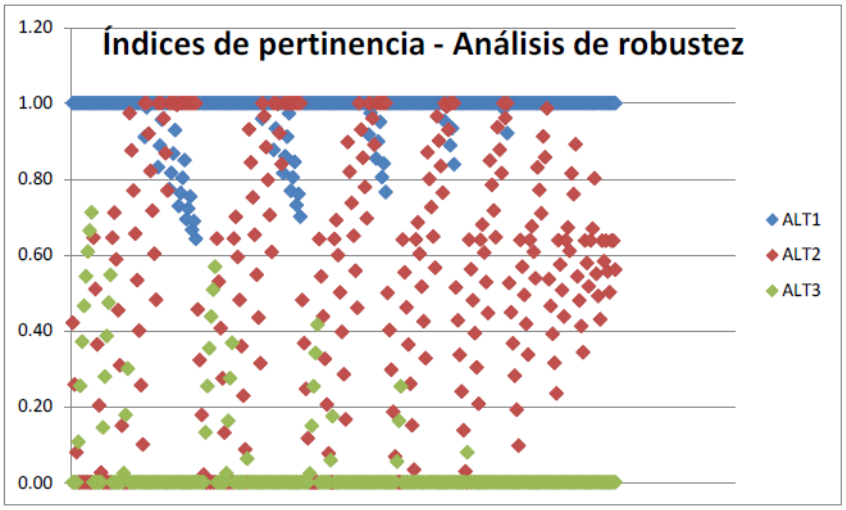

Figura 5-20 Gráfica análisis de robustez

Fuente: Casado, C. 2020

El resultado que se obtiene es el número de veces que cada alternativa obtiene la máxima calificación, en este caso (para mayor detalle se detalla en la sección de Anexos\B. Información técnica del proyecto\Evaluación de las alternativas):

Tabla 5-50 Resultados análisis de robustez

ALTERNATIVA	01	02	03
REPETICIONES	240	47	0

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Según el modelo de robustez, la solución más adecuada sería la alternativan1.

5.9.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Al igual que en el análisis de robustez, se han aplicado todas las combinaciones posibles de pesos a los diferentes criterios, pero limitando el rango de variación de éstos a un intervalo que evite los extremos, de manera tal que se evitan las valoraciones en las cuales algún criterio recibe peso 0 y aquellas en las que algún criterio tiene una ponderación superior al 50 %.

En nuestro caso, y según estas premisas, obtenemos los siguientes resultados (para mayor detalle se detalla en la sección de Anexos\B. Información técnica del proyecto\Evaluación de las alternativas):

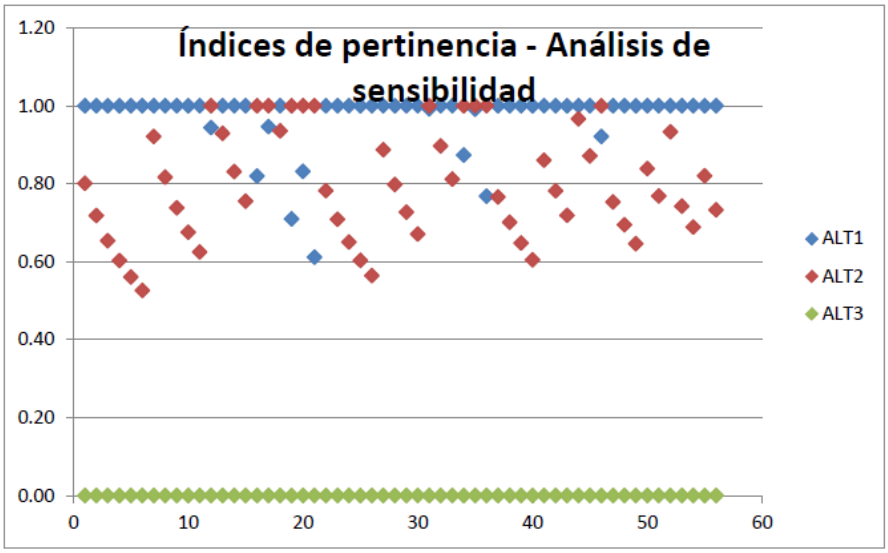

Figura 5-21 Gráfica análisis de sensibilidad

Fuente: Casado, C. 2020

En este caso, las repeticiones para las soluciones más adecuadas han sido:

Tabla 5-51Resultados análisis de sensibilidad

ALTERNATIVA	01	02	03
REPETICIONES	45	11	0

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Según el modelo de sensibilidad, la solución más adecuada sigue siendo la alternativa 1.

5.9.4 ANÁLISIS DE PREFERENCIAS

El último procedimiento de análisis aplicado, llamado habitualmente método PATTERN, tiene en cuenta el orden de importancia relativa entre criterios más apropiados para las características de la actuación, señalado al principio de este apartado.

El resultado permite asegurar el diagnóstico dado para cada alternativa por los demás análisis con respecto al grado de cumplimiento de los objetivos de la actuación y su nivel de integración en el entorno.

En nuestro análisis específico, adoptaremos los siguientes pesos para el análisis de preferencias, definiendo diez combinaciones diferentes:

Tabla 5-52 Matriz de peso

MATRIZ DE PESOS				
B1	B2	B3	B4	S bj
0.25	0.25	0.25	0.25	1.00
0.30	0.30	0.20	0.20	1.00
0.30	0.40	0.20	0.10	1.00

MATRIZ DE PESOS				
B1	B2	B3	B4	S bj
0.30	0.50	0.10	0.10	1.00
0.20	0.50	0.15	0.15	1.00
0.50	0.20	0.15	0.15	1.00
0.20	0.40	0.00	0.40	1.00
0.20	0.40	0.10	0.30	1.00
0.20	0.40	0.20	0.20	1.00
0.20	0.40	0.30	0.10	1.00

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

β1 = peso a aplicar con la puntuación del factor MEDIO AMBIENTE

β2 = peso a aplicar con la puntuación del factor EVALUACIÓN ECONÓMICA

β3 = peso a aplicar con la puntuación del factor VERTEBRACIÓN Y OCUPACIÓN TERRITORIAL

β4 = peso a aplicar con la puntuación del factor FUNCIONALIDAD

Los índices de pertinencia obtenidos para estas combinaciones son los siguientes:

Tabla 5-53 Índices de pertenencia

COMBINACIÓN	ÍNDICES DE PERTINENCIA		
	IP1	P2	IP3
1	1.00	0.59	0.00
2	1.00	0.65	0.00
3	1.00	0.73	0.00
4	1.00	0.90	0.00
5	1.00	0.88	0.00
6	1.00	0.61	0.00
7	1.00	0.92	0.00
8	1.00	0.82	0.00
9	1.00	0.74	0.00
10	1.00	0.68	0.00

Elaboración: SAICA-GROUP CIA. LTDA., 2021.
Fuente: Casado, C. 2020

Como se puede apreciar, la **alternativa 1** se sigue considerando la más adecuada según la metodología aplicada.

5.10 CONCLUSIONES

A partir de los diferentes análisis realizados en cada una de las alternativas, en los que se han evaluado desde un punto de vista objetivo cada uno de los factores determinantes que las definen, se concluye

que **la opción más aconsejable para el desarrollo de la Conexión Vial entre la avenida General Rumiñahui y el sector de El Arbolito es la ALTERNATIVA 1**.