

ACCESO AL NUEVO AEROPUERTO DE QUITO

INFORME FINAL (BORRADOR)

OBRAS DE ARTE MAYOR ESTRUCTURAS DE PUENTES, INTERCAMBIADORES, PASOS SUPERIORES Y PASOS INFERIORES

1.- CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES DE TIPO GENERAL

- Este proyecto no puede ser conceptualizado como un proyecto vial que sirva únicamente para unir la ciudad de Quito con el área donde se construirá su nuevo aeropuerto. La importancia de las áreas por las que atraviesa el proyecto y la magnitud de los problemas ya existentes en esta zona, obligan a los técnicos y a las autoridades a considerar esta obra, fundamentalmente, como parte de un sistema vial que a más de resolver los problemas específicos de acceso al nuevo aeropuerto y al valle de Cumbayá y Tumbaco, sienta las bases para convertirse en un instrumento eficiente de desarrollo integral, armónico y sostenido de un área que en poco tiempo se convertirá en el Quito del futuro.
- Por esta razón los estudios para la selección de una vía de acceso al nuevo aeropuerto de Quito, han tomado como referencia fundamental, una evaluación y análisis de todos los sistemas viales existentes en el área de influencia del proyecto. Es que cualquier sistema vial que se construya para acceder al nuevo aeropuerto va a tener una enorme influencia e impacto en los lugares por los que atraviesa la vía y en la misma ciudad de Quito. Razón por la cual cualquier obra de infraestructura importante de tipo vial que se planifique y se construya en estas áreas debe ser concordante y parte de una planificación vial general de utilización territorial de estos espacios dentro del Distrito Metropolitano de Quito.
- Para visualizar de una manera objetiva la forma como se canalizará el tráfico vehicular desde la ciudad de Quito a los valles orientales, es necesario tomar en consideración que la Ave Simón Bolívar es actualmente y con mayor razón seguirá siendo en el futuro, cuando se termine la construcción de sus extensiones norte y sur, el último y obligado escalón vial longitudinal sur-norte de la ciudad.
- La Ave Simón Bolívar es el escalón obligado para todo el tráfico vehicular que originándose en cualquiera de los sectores de la ciudad de Quito (sur, centro o norte) se dirige a los valles de Cumbayá, Tumbaco o los Chillos y, también, al área donde se construirá el nuevo aeropuerto de Quito.
Existen ocho lugares por los cuales se puede acceder desde la ciudad de Quito a la Ave Simón Bolívar y sus extensiones sur y norte, actualmente en construcción:
 - * Desde la Panamericana Sur, en el sector de Tambillo, se podrá acceder a la Extensión Sur de la Ave Simón Bolívar, actualmente en construcción.
 - * Desde la Ave Pedro Vicente Maldonado y Moran Valverde, a la altura del Mercado Mayorista, se puede acceder a la Ave Simón Bolívar.
 - * Desde la Ave Oriental en el origen de la Autopista Rumiñahui, en el sector del trébol, se puede acceder a la Ave Simón Bolívar.

* Desde la Ave González Suárez, en el sector del Hotel Quito por la vía que desciende a Guápulo, se puede acceder a la Ave Simón Bolívar.

* Desde la Ave 6 de Diciembre, en la Plaza Argentina, por la Interoceánica se puede acceder a la Ave Simón Bolívar.

* Desde la Ave Eloy Alfaro y Gaspar de Villaroel, en el sector de Monte Olivo, se puede acceder a la Ave Simón Bolívar.

* Desde la Ave Eloy Alfaro y El Inca, por la nueva vía de acceso a Zámiza, se podrá acceder a la Extensión Norte de la Ave Simón Bolívar, actualmente en construcción.

* Desde la Panamericana Norte y Diego de Vásquez, Intercambiador de Carcelen, se podrá acceder a la Extensión Norte de la Ave Simón Bolívar actualmente en construcción, en su intersección con la Panamericana Norte a la altura de la recta de Calderón.

- Las enormes inversiones que se necesitan realizar para la construcción de un proyecto como el que nos compete, deben ser cuidadosamente analizadas velando para que a través de este proyecto se beneficien el mayor número de ecuatorianos. Los principales beneficiarios de esta obra deben ser, la ciudad de Quito y los actuales y futuros pobladores de los valles ubicados al este de Quito.
- Desgraciadamente, como siempre ocurre en el desarrollo de proyectos de envergadura e importancia comunitaria, siempre habrá algunos afectados directamente por el trazado de cualquier proyecto vial de estas características, los mismos que deberán ser justa, oportuna y adecuadamente compensados por las autoridades correspondientes.

2.- CONSIDERACIONES DE TIPO ESTRUCTURAL Y CONSTRUCTIVO

- En razón de las especiales y accidentadas características topográficas del terreno, por el cual se desarrollan las diferentes alternativas de acceso al área del nuevo aeropuerto, ha sido necesaria la utilización de numerosos puentes, túneles y estructuras de importantes dimensiones y nivel de complejidad constructiva, que pasan a conformar el rubro más importante dentro de la composición presupuestaria del proyecto. Muchos de los cauces de ríos y quebradas son de grandes dimensiones en longitud y en profundidad, alcanzando luces horizontales de alrededor de 1.000 m. de ancho y profundidades superiores a los 300 m.
- La particular importancia y magnitud que tienen los puentes y estructuras en este proyecto justifica que, para tomar las decisiones técnicas y económicas más convenientes en cada uno de los casos, se realice un análisis detenido y especial de los diferentes sistemas constructivos y estructurales que pueden ser utilizados en cada una de las situaciones, con especial atención en sus complicaciones constructivas y sus implicaciones económicas.

3.- ESTRUCTURAS DE LA VÍA ZÁMBIZA

3.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA VÍA ZÁMBIZA

- Longitud de la vía: 13.533 m
- Ancho total de vía: 26.3 m
- Número de carriles: 4 de 3.65 m cada uno
- Pendiente longitudinal máxima de la vía 7.5%
- Longitud total de estructuras 2.051 m
- Longitud total de puentes, intercambiadores, pasos superiores e inferiores 1251 m
- Longitud de túneles 800 m
- Costo total puentes, intercambiadores, pasos superiores e inferiores 65.391.544 USD
- Costo total túneles 13.200.000 USD
- Costo total estructuras 78.591.544 USD

3.2.- VÍA ZÁMBIZA. PUENTES

- Número de puentes 2, sobre los Ríos Guayllabamba y Guambi.
(Ver detalle con la descripción de estos puentes a continuación).
- Sistema constructivo: Los dos son puentes atirantados, Cable Stayed Bridges, con tableros de hormigón y acero de 410 m y 510 m de longitud, respectivamente.
- Longitud total de los puentes: 920 m
- Ancho del tablero: 22 m
- Área total del tablero de los dos puentes 20.240 m²
- Costo total de los dos puentes: 60.339.221 USD
- Costo promedio por m²: 2.981 USD/m²
- Costo promedio por ml: 65.586 USD/ml

3.3.- VÍA ZÁMBIZA. TÚNELES

- Longitud total de túneles: 800m, dos túneles paralelos de 400m de longitud cada uno.
- Número de carriles: 2 de 3.50m cada uno
- Sección transversal tipo herradura: cajón es de 12x2.90 y bóveda de 6m de radio, incluidos revestimientos con un espesor de 0.50m
- Ancho de cada túnel: 12m
- Altura de los túneles: 8.9m
- Número de carriles 4, de 3.65 m cada uno
- Costo total de túneles: 13.200.000 USD
- Costo por ml: 16.500 USD/ml

3.4.- VÍA ZÁMBIZA. INTERCAMBIADORES, PASOS SUPERIORES Y PASOS INFERIORES

a.- VÍA ZÁMBIZA. RESUMEN DE INTERCAMBIADORES, PASOS SUPERIORES Y PASOS INFERIORES

- Número total de intercambiadores, pasos superiores y pasos inferiores 9
- Longitud total de tableros 331m
- Área total de tableros: 6.905 m²
- Costo total: 5.052.323 USD
- Costo promedio por m²: 732 USD/m²

b.- VÍA ZÁMBIZA. INTERCAMBIADORES

- Número de intercambiadores 4

- Longitud total de tableros 160m
- Sistema constructivo, tablero isostáticos de hormigón con vigas pre fabricadas de hormigón postensado.
- Área total de tableros: 4.800 m²
- Costo total: 3.840.000 USD
- Costo por m²: 800USD/m²

c.- VÍA ZÁMBIZA. PASOS SUPERIORES

- Número de pasos superiores 4
- Longitud total de tableros:160m
- Sistema constructivo, tablero isostáticos de hormigón con vigas pre fabricadas de hormigón postensado.
- Área total de tableros: 1.808 m²
- Costo total: 1.337.920 USD
- Costo por m²: 740 USD/m²

d.- VÍA ZÁMBIZA. PASOS INFERIORES

- Número de pasos inferiores 1
- Longitud total de tableros 11.3 m
- Sistema constructivo, estructura de hormigón armado tipo cajón.
- Área total de tableros: 297 m²
- Costo total: 208.033 USD
- Costo por m²: 700 USD/m²

3.5.- DESCRIPCIÓN DE LOS PUENTES ESPECIALES DE LA VÍA ZÁMBIZA:

a.- VÍA ZÁMBIZA. PUENTE ATIRANTADO SOBRE EL RÍO GUAYLLABAMBA.

- Longitud del puente: 410 m
- Número de tramos 3: de 100m, 210m y 100m
- Luz libre máxima: 210 m
- Altura de pilas y pylons (torres): 100m+ 53m= 153m
- Geometría de los cables: cables verticales en semi-arpa con espaciamento vertical de 3m y espaciamento horizontal de 10m
- Número de cables: 10 cables en dos planos en cada pylon
- Número de carriles: 4 de 3.65m cada uno
- Ancho del tablero: 22 m
- Abscisa inicial: 6.574
- Abscisa final: 6.984
- Cota del tablero: 2213.25 m
- Área del tablero: 9.020 m²
- Costo del puente: 25.842.097 USD
- Costo por m²: 2.865 USD/m²
- Costo por ml: 63.030 USD/ml

Sistema Constructivo del puente: Puente Atirantado (Cable Stayed Bridge) con tablero de hormigón construido en volados sucesivos. La estructura básica de los puentes atirantados esta conformada por una serie de triángulos superpuestos conformados por los cables, el tablero y la torre (pylon). Estos tres elementos estructurales están sometidos, básicamente, a fuerzas axiales: los cables a tensión y el tablero y la torre (pylon) a compresión, razón por la cual los puentes atirantados son, para luces libres superiores a 200m, mucho más eficientes

estructuralmente y más económicos, que los puentes cuyos elementos estructurales trabajan fundamentalmente o de manera importante a flexión.

Con el objeto de cubrir grandes luces, los elementos estructurales que proporcionan apoyos intermedios al tablero del puente atirantado son los cables, ubicados en dos planos y que se elevan a diferentes alturas sobre el pylon en espaciamientos uniformes, de aproximadamente 3m, que configuran la geometría denominada de semi-arpa. Los anclajes de los cables, convenientemente y uniformemente espaciados sobre el tablero sujetan al tablero en sus extremos.

El arreglo geométrico de los cables que hemos adoptado para este puente es el de semi-arpa. Los puentes atirantados tienen, generalmente, tres tramos. Los dos tramos laterales tienen luces equivalentes al 50% del tramo central.

Tablero. Alternativa Constructiva I. El tablero de los puentes es de hormigón, construido en volados sucesivos mediante la utilización de cables pos-tensados que pueden ser de carácter provisional y/o definitivo. La sección transversal es constante y en forma de una caja hueca con múltiples celdas. El espaciamiento de los anclajes de los dos cables que soportan el tablero en sus extremos, es de 10m.

Tablero. Alternativa Constructiva II. El tablero del puente es construido en hormigón y está conformado por dos vigas cajón de hormigón postensado de aproximadamente 2.50m de ancho en su base, ubicadas en los dos extremos laterales de la sección transversal del tablero. Las dos vigas cajón que definen el ancho del puente serán construidas en volados sucesivos en segmentos de 10m de longitud. Transversalmente, uniendo las dos vigas de hormigón postensado cada 10 metros, se anclan vigas prefabricadas de hormigón en forma de T, en posición invertida. Las alas de la viga T sirven de apoyo a las vigas longitudinales prefabricadas de hormigón tipo I de 10m de longitud, espaciadas a aproximadamente 2.30m, sobre las cuales se funde una losa de hormigón armado que sirve de superficie de rodadura del tablero del puente.

Las pilas son de hormigón armado, con sección transversal cajón de dos celdas y 100m de altura medida desde la cimentación hasta la cota del tablero. Los pylons son de hormigón armado, tipo H, con dos hileras de cables verticales para soportar el tablero en segmentos de 10m. Altura del pylon 53 m desde el nivel del tablero a la parte más alta del pylon.

Cables. Los cables son de acero tipo "locked-coil cables" distribuidos verticalmente desde el pylon al tablero en una configuración de semi-arpa. Los cables se disponen en dos hileras, de 10 cables cada una, espaciados verticalmente a 3m de distancia sobre el pylon, con anclajes al tablero cada 10m en distancia horizontal, generándose segmentos de tablero apoyados en los cables cada 10m de longitud. Cada 10m en los dos extremos del tablero del puente se localizan los anclajes de los cables desde donde serán tesados y anclados los cables que soportan el puente. Los últimos cables de los tramos laterales del puente, ubicados en los extremos exteriores del puente, deben ser reforzados y anclados en los estribos del puente con el objeto de evitar que las cargas vivas que pasan por el tramo central únicamente, produzcan desplazamientos verticales hacia arriba, en los apoyos del puente sobre los estribos.

b.- VÍA ZÁMBIZA. PUENTE ATIRANTADO SOBRE EL RÍO GUAMBI.

- o Longitud del puente: 510 m
- o Número de tramos 3: de 125m, 260m y 125m
- o Luz libre máxima: 260 m
- o Altura de pilas y pylons (torres): $100\text{m} + 63\text{m} = 163\text{m}$
- o Geometría de los cables: cables verticales en semi-arpa con espaciamiento vertical de 3m y espaciamiento horizontal de 10m
- o Número de cables: 12 cables en dos planos en cada pylon
- o Número de carriles: 4 de 3.65m cada uno
- o Ancho del tablero: 22 m

- Abscisa inicial: 12.370
- Abscisa final: 12.880
- Cota del tablero: 2408.85 m
- Área del tablero: 11.220 m²
- Costo del puente: 34.497.124 USD
- Costo por m²: 3.075 USD/m²
- Costo por ml: 67.541 USD/ml

Sistema Constructivo del puente: Puente Atirantado (Cable Stayed Bridge) con tablero de hormigón construido en volados sucesivos. La estructura básica de los puentes atirantados esta conformada por una serie de triángulos superpuestos conformados por los cables, el tablero y la torre (pylon). Estos tres elementos estructurales están sometidos, básicamente, a fuerzas axiales: los cables a tensión y el tablero y la torre (pylon) a compresión, razón por la cual los puentes atirantados son, para luces libres superiores a 200m, mucho más eficientes estructuralmente y más económicos, que los puentes cuyos elementos estructurales trabajan fundamentalmente o de manera importante a flexión.

Con el objeto de cubrir grandes luces, los elementos estructurales que proporcionan apoyos intermedios al tablero del puente atirantado son los cables, ubicados en dos planos y que se elevan a diferentes alturas sobre el pylon en espaciamientos uniformes, de aproximadamente 3m, que configuran la geometría denominada de semi-arpa. Los anclajes de los cables, convenientemente y uniformemente espaciados sobre el tablero sujetan al tablero en sus extremos.

El arreglo geométrico de los cables que hemos adoptado para este puente es el de semi-arpa. Los puentes atirantados tienen, generalmente, tres tramos. Los dos tramos laterales tienen luces equivalentes al 50% del tramo central.

Alternativa Constructiva I. El tablero de los puentes es de hormigón, construido en volados sucesivos mediante la utilización de cables pos-tensados que pueden ser de carácter provisional y/o definitivo. La sección transversal es constante y en forma de una caja hueca con múltiples celdas. El espaciamiento de los anclajes de los dos cables que soportan el tablero en sus extremos, es de 10m.

Alternativa Constructiva II. El tablero del puente es construido en hormigón y está conformado por dos vigas cajón de hormigón postensado de aproximadamente 2.50m de ancho en su base, ubicadas en los dos extremos laterales de la sección transversal del tablero. Las dos vigas cajón que definen el ancho del puente serán construidas en volados sucesivos en segmentos de 10m de longitud. Transversalmente, uniendo las dos vigas de hormigón postensado cada 10 metros, se anclan vigas prefabricadas de hormigón en forma de T, en posición invertida. Las alas de la viga T sirven de apoyo a las vigas longitudinales prefabricadas de hormigón tipo I de 10m de longitud, espaciadas a aproximadamente 2.30m, sobre las cuales se funde una losa de hormigón armado que sirve de superficie de rodadura del tablero del puente.

Las pilas son de hormigón armado, con sección transversal cajón de dos celdas y 100m de altura medida desde la cimentación hasta la cota del tablero. Los pylons son de hormigón armado, tipo H, con dos hileras de cables verticales para soportar el tablero en segmentos de 10m. Altura del pylon 53 m desde el nivel del tablero a la parte más alta del pylon.

Los cables son de acero tipo "locked-coil cables" distribuidos verticalmente desde el pylon al tablero en una configuración de semi-arpa. Los cables se disponen en dos hileras, de 10 cables cada una, espaciados verticalmente a 3m de distancia sobre el pylon, con anclajes al tablero cada 10m en distancia horizontal, generándose segmentos de tablero apoyados en los cables cada 10m de longitud. Anclajes de los cables. Cada 10m en los dos extremos del tablero del puente se localizan los anclajes de los cables desde donde serán tesados y anclados los cables que soportan el puente. Anclajes externos del puente. Los últimos cables de los tramos laterales del puente, ubicados en los extremos exteriores del puente, deben ser reforzados y anclados en los estribos del puente con el objeto de evitar que las cargas vivas que pasan por el tramo central únicamente, produzcan desplazamientos verticales hacia arriba, en los apoyos del puente sobre los estribos.

4.- ESTRUCTURAS DE LA VÍA SUR

4.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA VÍA SUR

- Longitud de la vía: 15.763 m
- Ancho total de vía: 26.3m y 33.70 m
- Número de carriles: 4 y 6 de 3.65 m cada uno
- Pendiente longitudinal máxima de la vía 7.45%
- Longitud total de estructuras 1.485 m
- Costo total de estructuras 31.938.607 USD

4.2.- VÍA SUR. PUENTES

- Número de puentes 3, sobre los Ríos San Pedro, Chiche y Guambi. (Ver detalle con la descripción de estos puentes a continuación).
- Sistemas constructivos: El San Pedro tablero isostático de vigas postensadas pre fabricadas; el Chiche y el Guambi pórticos con tableros de hormigón postensada construidos en volados sucesivos. (Alternativa arcos de hormigón construidos en volados sucesivos)
- Longitud total de los puentes: 700 m
- Ancho del tablero: 23m el Chiche y el Guambi y 33m el San Pedro
- Área total de los tres puentes 18.100 m²
- Costo total de los tres puentes:22.944.053 USD
- Costo promedio por m²: 1.268 USD/m²
- Costo promedio por ml: 32.777 USD/ml

4.3.- VÍA SUR. INTERCAMBIADORES, PASOS SUPERIORES Y PASOS INFERIORES

a.- VÍA SUR. RESUMEN DE INTERCAMBIADORES, PASOS SUPERIORES Y PASOS INFERIORES

- Número total de intercambiadores, pasos superiores y pasos inferiores 21
- Longitud total de tableros 785m
- Área total de tableros: 12.233 m²
- Costo total: 8.994.554 USD
- Costo promedio por m²: 735 USD/m²

b.- VÍA SUR. INTERCAMBIADORES

- Número de intercambiadores 3
- Longitud total de tableros 130m
- Sistema constructivo, tablero isostáticos de hormigón con vigas pre fabricadas de hormigón postensado.
- Área total de tableros: 3.900 m²
- Costo total: 2.886.000 USD
- Costo por m²: 740 USD/m²

c.- VÍA SUR. PASOS SUPERIORES

- Número de pasos superiores 14
- Longitud total de tableros: 610m

- Sistema constructivo. tablero de hormigón con vigas pre fabricadas de hormigón postensado.
- Área total de tableros: 6.898 m²
- Costo total: 5.100.820 USD
- Costo por m²: 739 USD/m²

d.- VÍA SUR. PASOS INFERIORES

- Número de pasos inferiores 4
- Longitud total de tableros 45.2 m
- Sistema constructivo, estructura de hormigón armado tipo cajón.
- Área total de tableros: 1.440 m²
- Costo total: 1.007.734 USD
- Costo por m²: 700 USD/m²

4.4.- DESCRIPCIÓN DE LOS PUENTES ESPECIALES DE LA VÍA SUR:

a.- VÍA SUR. PUENTE ISOSTÁTICO CON VIGAS PRE FABRICADAS DE HORMIGÓN POSTENSADO SOBRE EL RÍO SAN PEDRO.

- Longitud del puente: 200 m
- Número de tramos 5: de 16m; 52m; 64m; 52m; 16m
- Luz libre máxima: 64 m
- Altura de estribos y pilas: 5m; 15m; 35m; 35m; 15m; 5m
- Viaducto con tablero de hormigón conformado por vigas isostáticas de hormigón postensado.
- Pilas tipo cajón con volados de 12m en la cabeza
- Número de vigas de Hormigón Postensado 14, a espaciamientos de 2,40m.
- Características de las vigas de HPT: longitud 40m; altura 2.3m; peso 67t; fuerza de pretensión 522t.
- Número de carriles: 6 de 3.65m cada uno
- Ancho del tablero: 33 m
- Abscisa inicial: 5.420
- Abscisa final: 5.620
- Cota del tablero: 2.300,9 m
- Área del tablero: 6.600 m²
- Costo del puente: 5.890.500 USD
- Costo por m²: 850 USD/m²
- Costo por ml: 29.453 USD/ml

Sistema Constructivo del puente. Puente isostático, tipo viaducto, con tableros conformados por vigas tipo I pre-fabricadas de Hormigón Pos-Tensado (HPT) de 40 m y 16m de longitud, simplemente apoyadas sobre las pilas y los estribos. Por dificultades de transporte y lanzamiento de estas vigas pre-fabricadas de hormigón postensado y debido a la altura de las pilas que existe en el proyecto, la longitud máxima de las vigas debe ser de 40m.

En este puente se han utilizado pilas con volados de 12m a cada lado de la cabeza desde el eje, con el objeto de alcanzar 64m y 52m de luz entre los ejes de las pilas.

Para un ancho de tablero de 33m el puente están constituidos por 14 vigas tipo I, pre-fabricadas de hormigón pos-tensado, de sección transversal constante, espaciadas a 2.40m entre sí. La viga de 40m de longitud tienen una altura aproximada de 2.30m y un peso cercano a las 70 toneladas y es utilizada en los tramos de 64m y de 52m. La viga de 16m de

longitud es utilizada en los tramos de 16m y tienen 1.05m de altura y pesa aproximadamente 16t.

Las pilas de los viaductos con alturas que varían entre 15m y 35m, sobre las cuales se asientan los tableros con las vigas simplemente apoyadas, son estructuras espaciales tipo cajón de 18m x 8m (dos pilas) con volados de 12m de longitud medidos desde el eje.

Este tipo de estructuras mejora el comportamiento sísmico resistente y la estabilidad de las pilas altas. Adicionalmente de esta manera, en los viaductos, se incrementan las distancias entre los ejes de las pilas en cada tramo. Por ejemplo para vigas de 40m de longitud, se incrementan en 24m, obteniéndose en esta forma tramos de 64m. de longitud.

b.- VÍA SUR. PUENTE EN VOLADOS SUCESIVOS SOBRE EL RÍO CHICHE.

- Longitud del puente: 300 m
- Número de tramos 3: de 75m, 150m y 75m
- Luz libre máxima: 150 m
- Altura de pilas: 65m
- Ancho total del puente: 23 m.
- Dos tableros paralelos de hormigón postensado construidos en volados sucesivos, de 11m de ancho y separados 1m entre sí.
- El tablero está conformado de una viga tipo cajón con sección transversal variable desde 10m de altura en los apoyos a 2m en el centro.
- Abscisa inicial: 11.948
- Abscisa final: 12.248
- Cota del tablero: 2.433 m
- Área del tablero: 18.100 m²
- Costo del puente: 10.903.091 USD
- Costo por m²: 1.580 USD/m²
- Costo por ml: 36.344 USD/ml

Sistema Constructivo del puente. El puente está conformado por un tablero de sección transversal variable fabricado en dovelas en hormigón pos-tensado y construidos en volados sucesivos.

La sección transversal del tablero corresponde a una viga en forma de caja hueca de una sola celda en la cual varían, a lo largo de la longitud del puente, la altura total de la viga y los espesores de las paredes y la losa inferior de la caja y tiene la altura máxima en los apoyos sobre las pilas.

Es importante destacar la gran capacidad y eficiencia que tienen estas secciones transversales para absorber momentos flectores y momentos torsores, lo cual resulta de fundamental importancia en esta clase de puentes en que el peso propio del tablero es la carga predominante de diseño.

La construcción de este tipo de puentes es simétrica con respecto a las pilas centrales y utiliza para la fabricación de las dovelas que conforman el tablero (cuando estas no son pre-fabricadas) encofrados deslizantes y auto-soportantes, que en forma de volados sucesivos avanza simétricamente hacia uno y otro lado de la pila. La construcción del tablero se continúa siguiendo de manera sucesiva estas mismas etapas hasta alcanzar simultáneamente el centro del tramo central por un lado y el estribo del puente, que debe estar terminado con anterioridad, por otro. En el centro del tramo central se unen los tableros construidos en volados sucesivos desde las dos pilas adyacentes. Las pilas son de hormigón armado de sección transversal rectangular en forma de caja hueca.

De fundamental importancia en el diseño de este tipo de puentes es el análisis dinámico sísmico resistente de la estructura. Las enormes cargas que bajan por las pilas así como también la gran altura de las mismas definen procedimientos analíticos que utilicen teoría de segundo orden.

Los puentes en volados sucesivos se adaptan a las difíciles y especiales condiciones topográficas de los profundos cauces. Debido a las pendientes fuertes que tienen las laderas, es especialmente importante el definir los lugares adecuados para la implantación de las pilas del puente. Esta implantación de las pilas simultáneamente, también, define la dimensión de las luces entre apoyos y de las alturas de las pilas, variables que son fundamentales para establecer el costo del puente.

c.- VÍA SUR. PUENTE EN VOLADOS SUCESIVOS SOBRE EL RÍO GUAMBL

- Longitud del puente: 200 m
- Número de tramos 3: de 60m, 110m y 30m
- Luz libre máxima: 110 m
- Altura de pilas: 50m
- Ancho total del puente: 23 m.
- Dos tableros paralelos de hormigón postensado construidos en volados sucesivos, de 11m de ancho y separados 1m entre sí.
- El tablero esta conformado de una viga tipo cajón con sección transversal variable desde 8m de altura en los apoyos a 2m en el centro.
- Abscisa inicial: 15.325
- Abscisa final: 15.525
- Cota del tablero: 2.510 m
- Área del tablero: 4.600 m²
- Costo del puente: 6.150.462USD
- Costo por m²: 1.337 USD/m²
- Costo por ml: 30.752 USD/ml

Sistema Constructivo del puente. El puente está conformado por un tablero de sección transversal variable fabricado en dovelas en hormigón pos-tensado y construidos en volados sucesivos.

La sección transversal del tablero corresponde a una viga en forma de caja hueca de una sola celida en la cual varían, a lo largo de la longitud del puente, la altura total de la viga y los espesores de las paredes y la losa inferior de la caja y tiene la altura máxima en los apoyos sobre las pilas.

Es importante destacar la gran capacidad y eficiencia que tienen estas secciones transversales para absorber momentos flectores y momentos torsores, lo cual resulta de fundamental importancia en esta clase de puentes en que el peso propio del tablero es la carga predominante de diseño.

La construcción de este tipo de puentes es simétrica con respecto a las pilas centrales y utiliza para la fabricación de las dovelas que conforman el tablero (cuando estas no son pre-fabricadas) encofrados deslizantes y auto-soportantes, que en forma de volados sucesivos avanza simétricamente hacia uno y otro lado de la pila. La construcción del tablero se continúa siguiendo de manera sucesiva estas mismas etapas hasta alcanzar simultáneamente el centro del tramo central por un lado y el estribo del puente, que debe estar terminado con anterioridad, por otro. En el centro del tramo central se unen los tableros construidos en volados sucesivos desde las dos pilas adyacentes. Las pilas son de hormigón armado de sección transversal rectangular en forma de caja hueca.

De fundamental importancia en el diseño de este tipo de puentes es el análisis dinámico sismo resistente de la estructura. Las enormes cargas que bajan por las pilas así como también la gran altura de las mismas definen procedimientos analíticos que utilicen teoría de segundo orden.

Los puentes en volados sucesivos se adaptan a las difíciles y especiales condiciones topográficas de los profundos cauces. Debido a las pendientes fuertes que tienen las laderas, es especialmente importante el definir los lugares adecuados para la implantación de las pilas del puente. Esta implantación de las pilas simultáneamente, también, define la dimensión de las luces entre apoyos y de las alturas de las pilas.

5.- ESTRUCTURAS DE LA VÍA NORTE

5.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA VÍA NORTE

- Longitud de la vía: 13.646 m
- Ancho total de vía: 13m y 17.25 m
- Número de carriles: 2 y 3, de 3.65 m cada uno
- Pendiente longitudinal máxima de la vía 8.8%
- Longitud total de puentes 760 m
- Longitud total de puentes, intercambiadores, pasos superiores e inferiores 170 m
- Costo total puentes, intercambiadores, pasos superiores e inferiores 29.577.141 USD

5.2.- VÍA NORTE. PUENTES

- Número de puentes 2, sobre los Ríos Guayllabamba y Uravía.
(Ver detalle con la descripción de estos puentes a continuación).
- Sistema constructivo: El Guayllabamba puente atirantado y el Uravía es un puente isostático con vigas de HPT .
- Longitud total de los puentes: 760 m
- Ancho del tablero: 17.25m y 13m
- Área total del tablero de los dos puentes 11.793 m²
- Costo total de los dos puentes: 27.447.041 USD
- Costo promedio por m²: 2.327 USD/m²
- Costo promedio por ml: 36.115 USD/ml

5.3.- VÍA NORTE. INTERCAMBIADORES, PASOS SUPERIORES Y PASOS INFERIORES

a.- VÍA NORTE. RESUMEN DE INTERCAMBIADORES, PASOS SUPERIORES Y PASOS INFERIORES

- Número total de intercambiadores, pasos superiores y pasos inferiores 6
- Longitud total de tableros 170m
- Área total de tableros: 3.043 m²
- Costo total: 2.130.100 USD
- Costo promedio por m²: 700 USD/m²

b.- VÍA NORTE. INTERCAMBIADORES

- Número de intercambiadores 2
- Longitud total de tableros 60m
- Sistema constructivo, tablero isostáticos de hormigón con vigas pre fabricadas de hormigón postensado.
- Área total de tableros: 1.800 m²
- Costo total: 1.260.000 USD
- Costo por m²: 700USD/m²

c.- VÍA NORTE. PASOS SUPERIORES

- Número de pasos superiores 4
- Longitud total de tableros: 110m
- Sistema constructivo, tablero isostáticos de hormigón con vigas pre fabricadas de hormigón postensado.
- Área total de tableros: 1.244 m²
- Costo total: 870.100 USD
- Costo por m²: 700 USD/m²

5.4.- DESCRIPCIÓN DE LOS PUENTES ESPECIALES DE LA VÍA NORTE:

a.- VÍA NORTE. PUENTE ATIRANTADO SOBRE EL RÍO GUAYLLABAMBA.

- Longitud del puente: 450 m
- Número de tramos 3: de 110m, 230m y 110m
- Luz libre máxima: 230 m
- Altura de pilas y pylons (torres): 110m+ 60m= 170m
- Geometría de los cables: cables verticales en semi-arpa con espaciamiento vertical de 3m y espaciamiento horizontal de 10m
- Número de cables: 12 cables en dos planos en cada pylon
- Número de carriles: 3 de 3.65m cada uno
- Ancho del tablero: 17.25 m
- Abscisa inicial: 200
- Abscisa final: 650
- Cota del tablero: 2148 m
- Área del tablero: 7.763 m²
- Costo del puente: 22.781.812 USD
- Costo por m²: 2.935 USD/m²
- Costo por ml: 50.626 USD/ml

Sistema Constructivo del puente: Puente Atirantado (Cable Stayed Bridge) con tablero de hormigón construido en volados sucesivos. La estructura básica de los puentes atirantados esta conformada por una serie de triángulos superpuestos conformados por los cables, el tablero y la torre (pylon). Estos tres elementos estructurales están sometidos, básicamente, a fuerzas axiales: los cables a tensión y el tablero y la torre (pylon) a compresión, razón por la cual los puentes atirantados son, para luces libres superiores a 200m, mucho más eficientes estructuralmente y más económicos, que los puentes cuyos elementos estructurales trabajan fundamentalmente o de manera importante a flexión.

Con el objeto de cubrir grandes luces, los elementos estructurales que proporcionan apoyos intermedios al tablero del puente atirantado son los cables, ubicados en dos planos y que se elevan a diferentes alturas sobre el pylon en espaciamientos uniformes, de aproximadamente 3m, que configuran la geometría denominada de semi-arpa. Los anclajes de los cables, convenientemente y uniformemente espaciados sobre el tablero sujetan al tablero en sus extremos.

El arreglo geométrico de los cables que hemos adoptado para este puente es el de semi-arpa. Los puentes atirantados tienen, generalmente, tres tramos. Los dos tramos laterales tienen luces equivalentes al 50% del tramo central.

Tablero. Alternativa Constructiva I. El tablero de los puentes es de hormigón, construido en volados sucesivos mediante la utilización de cables pos-tensados que pueden ser de carácter provisional y/o definitivo. La sección transversal es constante y en forma de una caja hueca con múltiples celdas. El espaciamiento de los anclajes de los dos cables que soportan el tablero en sus extremos, es de 10m.

Tablero. Alternativa Constructiva II. El tablero del puente es construido en hormigón y está conformado por dos vigas cajón de hormigón postensado de aproximadamente 2.50m de ancho en su base, ubicadas en los dos extremos laterales de la sección transversal del tablero. Las dos vigas cajón que definen el ancho del puente serán construidas en volados sucesivos en segmentos de 10m de longitud. Transversalmente, uniendo las dos vigas de hormigón postensado cada 10 metros, se anclan vigas prefabricadas de hormigón en forma de T, en posición invertida. Las alas de la viga T sirven de apoyo a las vigas longitudinales prefabricadas de hormigón tipo I de 10m de longitud, espaciadas a aproximadamente 2.30m,

sobre las cuales se funde una losa de hormigón armado que sirve de superficie de rodadura del tablero del puente.

Las pilas son de hormigón armado, con sección transversal cajón de dos celdas y 110m de altura medida desde la cimentación hasta la cota del tablero. Los pylons son de hormigón armado, tipo H, con dos hileras de cables verticales para soportar el tablero en segmentos de 10m. Altura del pylon 60 m desde el nivel del tablero a la parte más alta del pylon.

Cables. Los cables son de acero tipo "locked-coil cables" distribuidos verticalmente desde el pylon al tablero en una configuración de semi-arpa. Los cables se disponen en dos hileras, de 12 cables cada una, espaciados verticalmente a 3m de distancia sobre el pylon, con anclajes al tablero cada 10m en distancia horizontal, generándose segmentos de tablero apoyados en los cables cada 10m de longitud. Cada 10m en los dos extremos del tablero del puente se localizan los anclajes de los cables desde donde serán tesados y anclados los cables que soportan el puente. Los últimos cables de los tramos laterales del puente, ubicados en los extremos exteriores del puente, deben ser reforzados y anclados en los estribos del puente con el objeto de evitar que las cargas vivas que pasan por el tramo central únicamente, produzcan desplazamientos verticales hacia arriba, en los apoyos del puente sobre los estribos.

b.- VÍA NORTE. PUENTE ISOSTÁTICO CON VIGAS PRE FABRICADAS DE HORMIGÓN POSTENSADO SOBRE EL RÍO URAVÍA.

- Longitud del puente: 310 m
- Número de tramos 6: de 40m; 60m; 60m; 60m; 60m; 30m
- Luz libre máxima: 60 m
- Altura de estribos y pilas: 5m; 50m; 70m; 70m; 70m; 30m; 5m
- Viaducto con tablero de hormigón conformado por vigas isostáticas de hormigón postensado.
- Pilas tipo cajón con volados de 10m en la cabeza
- Número de vigas de Hormigón Postensado 6, a espaciamientos de 2,40m.
- Características de las vigas de HPT: longitud 40m; altura 2.3m; peso 67t; fuerza de pretensión 522t.
- Número de carriles: 2 de 3.65m cada uno
- Ancho del tablero: 13 m
- Abscisa inicial: 4.850
- Abscisa final: 5.160
- Cota del tablero: 2.170 m
- Área del tablero: 4.030 m²
- Costo del puente: 4.665.229 USD
- Costo por m²: 1.158 USD/m²
- Costo por ml: 15.049 USD/ml

Sistema Constructivo del puente. Puente isostático, tipo viaducto, con tableros conformados por vigas tipo I pre-fabricadas de Hormigón Pos-Tensado (HPT) de 40m, 30m y 20m y 16m de longitud, simplemente apoyadas sobre las pilas y los estribos. Por dificultades de transporte y lanzamiento de estas vigas pre-fabricadas de hormigón pos-tensado y debido a la altura de las pilas que existe en el proyecto, la longitud máxima de las vigas debe ser de 40m.

En este puente se han utilizado pilas con volados de 10m a cada lado de la cabeza desde el eje, con el objeto de alcanzar 60m de luz entre los ejes de las pilas.

Para un ancho de tablero de 13m el puente están constituidos por 6 vigas tipo I, pre-fabricadas de hormigón pos-tensado, de sección transversal constante, espaciadas a 2.40m entre sí. La viga de 40m de longitud tienen una altura aproximada de 2.30m y un peso cercano a las 70 toneladas y es utilizada en los tramos de 60m. La viga de 30m de longitud es utilizada en los

tramos de 40m y tienen 2.30m de altura y pesa aproximadamente 67t . La viga de 20m de longitud es utilizada en los tramos de 30m y tienen 1.25m de altura y pesa aproximadamente 23t

Las pilas de los viaductos con alturas que varían entre 50m y 70m, sobre las cuales se asientan los tableros con las vigas simplemente apoyadas, son estructuras espaciales tipo cajón de 13m x 8m con volados de 10m de longitud medidos desde el eje.

Este tipo de estructuras mejora el comportamiento sísmico resistente y la estabilidad de las pilas altas. Adicionalmente de esta manera, en los viaductos, se incrementan las distancias entre los ejes de las pilas en cada tramo. Por ejemplo para vigas de 40m de longitud, se incrementan en 20m, obteniéndose en esta forma tramos de 60m. de longitud.

6.- ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOS PUENTES, INTERCAMBIADORES, PASOS SUPERIORES Y PASOS INFERIORES.

6.1.- INFORMACIÓN BÁSICA.

El análisis y diseño de las estructuras para puentes debe tomar en consideración, entre otra, la siguiente información básica:

- Geometría del trazado de la vía, en planimetría y en altimetría, en el lugar donde se va a implantar el puente;
- Longitud, profundidad y geometría de los cauces de los ríos, quebradas o depresiones topográfica que atraviesa el puente;
- Condiciones sísmológicas del área del proyecto, sismo de diseño y sismo de verificación. El proyecto se halla en una zona de alta sismicidad, similar a la de California en los Estados Unidos. En términos de los estándares de la AASHTO pertenece a la categoría D o sea la de más alto nivel;
- Características hidrológicas de los ríos que atraviesan los puentes, niveles de crecidas máximas y mínimas, erosión y socavación en pilas y estribos;
- Características geológicas del área donde están ubicados los puentes, fallas geológicas, zonas de deslizamientos, estratigrafías, buzamientos, etc;
- Características geotécnicas de los lugares de implantación de las pilas y los estribos;
- Condiciones de estabilidad de los taludes que conforman los causes en los cuales están localizados los puentes;
- Aspectos relacionados con las tecnologías y sistemas constructivos y con los materiales estructurales que son más conveniente utilizar en la construcción de los diferentes puentes de acuerdo a las particulares y especiales condiciones que tiene el proyecto Autopista al Nuevo Aeropuerto de Quito.

6.2.- NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

De manera general, el diseño de los puentes debe realizarse de acuerdo a las normas vigentes que se encuentran establecidas en documentos como:

- Standard Specifications for Highway Bridges de la American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO y las
- Normas para el Diseño y Construcción de Puentes del MOP.

Se debe tomar también en consideración como referencia los siguientes códigos y normas vigentes:

- American Concrete Institute (ACI),
- Pre-stress Concrete Institute PCI,
- Pos Tension Institute PTI,
- American Segmental Bridge Institute ASBI,
- American Institute of Steel Construction(AISC),
- American Iron and Steel Institute (AISI),
- American Welding Society (AWS),
- American Society of Testing and Materials” (ASTM).

6.3.- SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TABLERO DE LOS PUENTES.

- La geometría de la sección transversal de los tableros o sea el número de carriles, viene definida por los estudios de tráfico y las proyecciones futuras al año 2030 de los volúmenes de tráfico que circularán por la vía donde esta localizado el puente.

- Es esta la razón por la cual en el proyecto tenemos diferentes anchos de puentes. Para 6 carriles 33m de ancho, para 4 carriles 22m, para 3 carriles 17.25m y para 2 carriles 13m. Cada carril tiene por norma 3.65m y la diferencia esta distribuida entre vereda, espaldones y protecciones.

6.4.- LAS PILAS DE LOS PUENTES Y EL DISEÑO SISMO RESISTENTE.

- En general en las diferentes alternativas existen puentes que tienen altura de pilas muy importantes. Esta situación impone que en el diseño y en la construcción de los puentes se tomen precauciones especiales para tomar en consideración el impacto que la gran altura de las pilas tienen en el comportamiento sismo resistente de las estructuras de los puentes, en su complejidad constructiva y en sus costos de construcción

6.5 .- TIPOS DE PUENTES

- De manera general, para las diferentes vías han sido utilizados o tomadas en consideración, para análisis comparativo de diferentes alternativas de sistemas constructivos y costos, los tipos de puentes que a continuación se describen, con el propósito de que, inclusive puedan ser tomados en cuenta como alternativas a ser más profunda y detenidamente analizadas, en la etapa de los diseños definitivos del proyecto.

A.-PUENTES Y VIADUCTOS CON TABLEROS SIMPLEMENTE APOYADOS.

PUENTES CONVENCIONALES

PUENTE ISOSTÁTICO CONFORMADO POR VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS, PREFABRICADAS DE SECCIÓN TRANSVERSAL CONSTANTE.

a.- Características generales de los tableros.

- Los puentes isostáticos con tableros conformados por vigas tipo I pre-fabricadas de Hormigón Pos-Tensado (HPT), simplemente apoyadas sobre las pilas y los estribos, se utilizan para luces libres entre apoyos no mayores a 40.
- Por dificultades de transporte y lanzamiento de estas vigas pre-fabricadas de hormigón pos-tensado y debido a la gran altura de las pilas que existe en el proyecto, la longitud máxima de las vigas debe ser de 40m.
- Para luces de 40m y espaciamientos entre vigas de 2.4m, las vigas prefabricadas de hormigón postensado tienen una altura aproximada de 2.30m y un peso cercano a las 70 toneladas.

b.- Características generales de las pilas e incremento en la longitud de los tramos.

- Las pilas de los viaductos con alturas que varían entre 15m y 70m, sobre las cuales se asientan los tableros con las vigas simplemente apoyadas, deben ser diseñadas como una estructura espacial en forma de torre, con pórticos aproximadamente de por lo menos 10m x10m o también pilas con secciones transversales en forma de cajón con varias celdas.
- Este tipo de estructuras mejora el comportamiento sísmico resistente y la estabilidad de las pilas altas. Adicionalmente de esta manera, en los viaductos, se incrementan las distancias entre los ejes de las pilas en cada tramo. Cuando la pila termina en volados en su parte superior, las distancias libres entre ejes de pilas pueden incrementarse hasta en 20m

c.- Clasificación y costo de los puentes isostáticos.

- Los diseños estructurales de los tableros y de las pilas de este tipo de puentes, deben corresponder a diseños tipo, de acuerdo a la longitud libre entre apoyos que tenga el tablero y a la altura de la pila, adaptados a las características particulares de la planimetría y altimetría del proyecto vial.
- Por sus características estructurales y constructivas, para el análisis estimado de costos, los puentes conformados por vigas pre-fabricadas simplemente apoyadas han sido clasificados como **puentes convencionales**.
- Los costos unitarios y totales de estos puentes convencionales se incorporan en los anexos correspondientes que contienen la ubicación, características técnicas y costos estimados de cada uno de los puentes, para cada una de las alternativas viales analizadas.
- Se debe considerar incrementos escalonados en los costos de los tableros por efecto del incremento en el costo de las pilas cuando la altura de las pilas sea mayor a 25m y menor de 40m; cuando sea mayor de 40m y menor de 50m y cuando sea mayor de 50m.

**B.- PUENTES CONSTRUIDOS EN VOLADOS SUCESIVOS
PUENTES ESPECIALES**

(“SEGMENTAL BRIDGE CONSTRUCTION”)

**PUENTE HIPERESTÁTICO CON TABLERO DE SECCIÓN VARIABLE, CONSTRUIDO EN
VOLADOS SUCESIVOS.**

a.- Características generales de los puentes

- Los puentes hiperestáticos construidos en volados sucesivos, conformados por tableros de sección transversal variable fabricada en hormigón pos-tensado son utilizados para luces libres entre apoyos superiores a 70m, hasta un máximo de 220m.
- Estos puentes tienen generalmente tres tramos, teniendo los dos tramos laterales luces mas o menos equivalentes al 60% del tramo central.
- La sección transversal del tablero corresponde a una viga en forma de caja hueca de una o varias celdas en las cuales varían, a lo largo de la longitud del puente, la altura total de la viga y los espesores de las paredes y la losa inferior de la caja y tiene la altura máxima en los apoyos sobre las pilas.
- Es importante destacar la gran capacidad y eficiencia que tienen estas secciones transversales para absorber momentos flectores y momentos torsores, lo cual resulta de fundamental importancia en esta clase de puentes en que el peso propio del tablero es la carga predominante de diseño.
- La construcción de este tipo de puentes es simétrica con respecto a las pilas centrales y utiliza para la fabricación de las dovelas que conforman el tablero (cuando estas no son pre-fabricadas) encofrados deslizantes y auto-soportantes, que en forma de volados sucesivos avanza simétricamente hacia uno y otro lado de la pila. La construcción del tablero se continúa siguiendo de manera sucesiva estas mismas etapas hasta alcanzar simultáneamente el centro del tramo central por un lado y el estribo del puente, que debe estar terminado con anterioridad, por otro. En el centro del tramo central se unen los tableros construidos en volados sucesivos desde las dos pilas adyacentes. Cuando las distancias desde el eje de la pila no son simétricas se utilizan contrapesos y/o anclajes para balancear los efectos de momentos desequilibrantes sobre las pilas.

b.- Características generales de las pilas

- Las pilas son de hormigón armado de sección transversal rectangular en forma de caja hueca de sección constante o sección variable, con dimensiones máximas en la parte inferior de la pila.
- De fundamental importancia en el diseño de este tipo de puentes es el análisis dinámico sismo resistente de la estructura. Las enormes cargas que bajan por las pilas así como también la gran altura de las mismas definen procedimientos analíticos que utilicen teoría de segundo orden.
- Los puentes en volados sucesivos son estructuras que se adaptan muy bien a las difíciles y especiales condiciones topográficas de los profundos cauces (más de 100m de profundidad) en los cuales han sido utilizados. Debido a las pendientes fuertes que tienen las laderas, es especialmente importante el definir los lugares adecuados para la implantación de las pilas del puente. Esta implantación de las pilas simultáneamente, también, define la dimensión de las luces entre apoyos y de las alturas de las pilas, variables que son fundamentales para establecer el costo del puente.

c.- Clasificación y costo de los puentes en volados sucesivos.

- Por sus condiciones estructurales y constructivas tan especiales, los puentes en volados sucesivos, requieren de un análisis y diseño estructural: exhaustivo, completo e individual, inclusive para puentes de grandes luces es conveniente, en la etapa de diseños definitivos, realizar un estudio sísmico especial del comportamiento dinámico del puente bajo cargas sísmicas. Por estas particulares características estructurales y constructivas, para el análisis estimado de costos, los puentes en volados sucesivos han sido clasificados como **puentes especiales**.
- Para la determinación de los costos unitarios referenciales de los puentes de grandes luces, en esta etapa de estudio de alternativas, se han desarrollado algunas curvas que incorporan un análisis comparativo de las tendencias y del costo relativo referencial de diferentes puentes de acuerdo a la luz libre máxima entre apoyos y el sistema estructural y constructivo utilizado.
- Los costos unitarios y los costos totales de estos puentes en volados sucesivos se incorporan en los anexos correspondientes que contienen la ubicación, características técnicas y costos estimados de cada uno de los puentes, para cada una de las alternativas viales analizadas.

C.- PUENTES ATIRANTADOS.

PUENTES MUY ESPECIALES

(“CABLE STAYED BRIDGE”)

PUENTE CON TABLERO DE SECCIÓN CONSTANTE CONSTRUIDOS CON CABLES ATIRANTADOS EN VOLADOS SUCESIVOS.

a.- Características generales de los tableros

- Los puentes atirantados son utilizados en puentes con luces libres entre pilas que varían entre 200m y 400m. Estos puentes tienen, generalmente, tres tramos, en los cuales los dos tramos laterales tienen luces equivalentes al 50% del tramo central.
- En los puentes atirantados, con el objeto de cubrir grandes luces, los cables convenientemente espaciados, son los elementos estructurales que proporcionan apoyos intermedios al tablero del puente. Cada uno de estos apoyos está conformado por dos cables que sujetan el tablero en sus extremos. El tablero de los puentes puede ser de hormigón o de acero, construido en volados sucesivos mediante la utilización de cables pos-tensados que pueden ser de carácter provisional y/o definitivo. La sección transversal puede tener diferentes geometrías de acuerdo al ancho del tablero y el sistema constructivo que se defina. Su geometría generalmente es constante a lo largo del puente. El espaciamiento de los apoyos conformados por los dos cables que soportan el tablero, es de aproximadamente 10m. medidos horizontalmente sobre el tablero.
- La estructura básica de los puentes atirantados esta conformada por una serie de triángulos superpuestos conformados por los cables, el tablero y la torre (“pylon”). Estos tres elementos estructurales están sometidos, básicamente, a fuerzas axiales: los cables a tensión y el tablero y la torre (“pylon”) a compresión, razón por la cual los puentes atirantados son, para luces libres superiores a 200m mucho más eficientes estructuralmente y más económicos, que los puentes cuyos elementos estructurales trabajan fundamentalmente o de manera importante a flexión. El arreglo geométrico de los cables que hemos adoptado para el proyecto es en forma de semi-arpa, pero pueden tener otras geometrías.

b.- Características generales de las pilas y pylons.

- El “pylon” es una estructura aporricada en forma de H, que soporta a compresión, fundamentalmente, las cargas que transmiten los cables ubicados espaciadamente a diferente altura a lo largo de las dos columnas que conforman el “pylon”. Las columnas que conforman el “pylon” se integran y conectan con la estructura de la pila del puente, de sección transversal rectangular hueca, en un nivel inmediatamente debajo del tablero.
- El “pylon” tiene una altura libre sobre el nivel del tablero de, aproximadamente, 25% la dimensión de la luz libre máxima del puente.

c.- Clasificación y costo de los puentes atirantados.

- Por sus condiciones estructurales y constructivas tan especiales, los puentes atirantados, requieren de un análisis y diseño estructural: exhaustivo, completo e individual, inclusive para puentes de grandes luces es conveniente, en la etapa de diseños definitivos, realizar un estudio sísmico y aerodinámico especial del comportamiento dinámico del puente bajo la acción de cargas sísmicas y de viento. Por estas particulares características estructurales y constructivas, para el análisis

estimado de costos, los puentes atirantados han sido clasificados como **puentes muy especiales**.

- Los costos unitarios y totales de estos puentes muy especiales se incorporan en los anexos correspondientes que contienen la ubicación, características técnicas y costos estimados de cada uno de los puentes, para cada una de las alternativas viales analizadas.

D.- PUENTES COLGANTES

PUENTES MUY ESPECIALES

("SUSPENSION BRIDGES")

**TABLEROS DE SECCIÓN CONSTANTE SUSPENDIDOS EN DOS CABLES PRINCIPALES
APOYADOS EN DOS TORRES INTERMEDIAS Y ANCLADOS EN LOS EXTREMOS.**

a.- La geometría.

- Los puentes colgantes son la solución más conveniente para puentes de grandes luces con luces libres entre pilas superiores a 600m. Estos puentes tienen, generalmente, tres tramos, en los cuales los dos tramos laterales tienen luces de aproximadamente el 35% del tramo central. Entre el 25% y 40% es lo recomendable con el objeto de evitar desbalances importantes en las tensiones de los cables al pasar sobre las torres.

b.- Los cables

- Los dos cables principales del puente colgante, que soportan todo el peso del tablero, tienen en el tramo central una relación entre la flecha de la catenaria y la luz del tramo de aproximadamente 1/10. La relación generalmente recomendada varía entre 1/8 y 1/12, con el objeto de mantener las tensiones en los cables, las cargas verticales en las torres y las fuerzas en los anclajes en niveles convenientes. Esta relación geométrica define también la altura de los torres sobre el nivel del tablero.

c.- El tablero.

- El tablero de los puentes colgantes son construidos en acero con secciones transversales en forma de caja, conformada por sistemas de celosías o placas, con el objeto de alcanzar, con el menor peso posible, la mayor rigidez torsión y las mejores características aerodinámicas. El tablero se encuentra suspendido por medio de tensores de los dos cables principales del puente. A más de transmitir su peso propio y las cargas vivas y muertas que actúan sobre el puente a los dos cables principales, tiene la importante función de actuar como elemento rigidizante del sistema de cables principales y secundarios, para garantizar un correcto comportamiento de la estructura bajo la acción de cargas no-simétricas en el puente, así como también un adecuado comportamiento aerodinámico del puente bajo la acción del viento y comportamiento dinámico sismo resistente bajo la acción de las cargas producidas por los sismos. La gran flexibilidad, inherente de los puentes colgantes, hace particularmente sensible y complejo el diseño de este tipo de puentes para soportar los efectos aerodinámicos del viento.

d.- Las torres.

- La principal función de las torres es proporcionar apoyo a los cables principales, a una altura que sea suficiente, para producir en el cable una flecha adecuada sobre el nivel del tablero. Las cargas principales que debe soportar la torre son: la carga vertical transmitida por los cables principales en el tope de la torre, las cargas de viento y sísmicas que actúan sobre la estructura del puente y las fuerzas horizontales producidas por el desbalanceo en las tensiones de los cables al aplicar cargas desbalanceadas en tramos adyacentes. La sección transversal de las torres del puente es generalmente tipo cajón de dimensiones variables según la altura y que pueden ser construidas en hormigón o en acero. También se utilizan torres con sección transversal tipo H.

e.- Los anclajes.

- Los anclajes del puente resisten toda la fuerza transmitida por los cables principales y la transfieren al suelo. La dirección exacta de las fuerzas en los anclajes esta dada por la geometría del cable en los tramos externos del puente y son generalmente de

manera predominante horizontales con una componente vertical bastante más pequeña.

f.- Referencias.

- Como referencia, el puente colgante que tiene actualmente la luz libre más grande en el mundo es el Akashi Kaikyo en Japón construido en 1998 y tiene 1.991 m de longitud en el tramo central y 960m en cada uno de sus tramos laterales.
- El conocido puente Golden Gate en San Francisco fue construido en 1937 y tiene un tramo central de 1280m de longitud y dos tramos laterales de 370m.
- El Tacoma Narrow Bridge construido en 1940, con una luz central de 853m, colapso en medio de una violenta oscilación torsional ocurrida bajo la acción de vientos de 20m/s.

g.- Clasificación y costo de los puentes colgantes.

- Por sus condiciones estructurales y constructivas tan especiales, los puentes colgantes, requieren de un análisis y diseño estructural: exhaustivo, completo e individual. Inclusive el comportamiento aerodinámico de este tipo de puentes debe ser comprobado en modelos físicos a escala construidos en laboratorio, mediante la utilización del túnel de viento. Por sus particulares características estructurales y constructivas, para el análisis estimado de costos, los puentes colgantes han sido clasificados como **puentes muy especiales**.
- Los costos unitarios y totales de estos puentes muy especiales se incorporan en los anexos correspondientes que contienen la ubicación, características técnicas y costos estimados de cada uno de los puentes, para cada una de las alternativas viales analizadas.

**E.- PUENTES EN ARCO CONSTRUIDOS EN VOLADOS SUCESIVOS
PUENTES MUY ESPECIALES
("ARCH BRIDGES")**

ARCOS CONSTRUIDOS EN HORMIGÓN Y EN ACERO

a.- Características del cauce.

- Una estructura en arco, circular o parabólico, con luces hasta de 275m de longitud, en cauces estrechos y profundos, con laderas geológicamente estables y con el tablero ubicado en la parte superior del arco, podría ser otra alternativa estructural para este tipo de cauces encontrados en el proyecto. Sin embargo, por la profundidad de los mismos, más de 100m de altura, el costo de encofrados y/o apuntalamientos para la construcción del arco, utilizando esta metodología tradicional, lo hace prácticamente imposible.
- La alternativa constructiva para el arco sería la utilización de un proceso constructivo de alta tecnología, un tanto costoso y difícil, como es la construcción de los arcos en volados sucesivos, sea que la estructura se construya en hormigón armado o en acero.

b.- Geometría del arco.

- La geometría del arco puede ser circular o parabólica de acuerdo a la mayor o menor altura del arco. La relación flecha del arco distancia entre los apoyos más usual en los puentes en arco varía entre $1/4.5$ y $1/6$.
- El puente utiliza dos arcos idénticos paralelos, que reciben las cargas que trasmite el tablero que se encuentra ubicado en la parte superior del arco y que trasmite sus cargas a los arcos mediante columnas adecuadamente ubicadas de acuerdo al diseño del tablero. A lo largo del puente existen elementos estructurales de amarre y arrostramiento, tanto a nivel de los arcos en los lugares donde las columnas descargan los efectos del tablero, como a nivel del tablero mismo.

c.- Referencia de arcos en hormigón y en acero.

- En hormigón armado el puente en arco más grande del mundo es el Wanxian Yangtze Bridge en la China, con una luz de 425m y una flecha de 85m que da una relación flecha/luz de $1/5$. Primero se construyó una celosía, formada con tubos rellenos de hormigón, para formar los cordones superior e inferior del arco. Posteriormente esta celosía se convierte en el acero de refuerzo del arco de hormigón, convirtiéndose en realidad en una estructura compuesta de acero y hormigón.
- En acero el puente en arco más grande del mundo es el New River Gorge en West Virginia, construido en 1977, con una luz de 518m y una flecha de 112m, que da una relación flecha/luz de $1/4.6$. Tanto el arco como el tablero están formados por estructuras en celosía.

7.- ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COSTO RELATIVO REFERENCIAL DE PUENTES. (VER DETALLES EN CUADROS ANEXOS)

- Para poder obtener costos referenciales más confiables de los diferentes tipos de puentes, que son utilizados en las diferentes alternativas del proyecto, fue necesario realizar una amplia investigación sobre el costo de puentes construidos a nivel mundial en los últimos años, que siendo de dimensiones similares a los definidos en las diferentes alternativas, utilicen sistemas constructivos que permitan dar una solución técnica y económica adecuada a cada uno de los puentes planteados.
- La información básica recopilada, a través de los últimos años de ejercicio profesional y de participación en múltiples eventos académicos y profesionales de tipo internacional, proviene de instituciones y organizaciones especializadas en el diseño y construcción de puentes. Las instituciones con las cuales hemos mantenido relaciones profesionales y de las cuales hemos obtenido diferente tipo de información sobre el diseño y construcción de puentes, son entre otras las siguientes: ASBI American Segmental Bridge Institute, BE Bridge Engineering, ASCE American Society of Civil Engineering, ACI American Concrete Institute, PTI Pre-stressed Concrete Institute, ICE Institute of Civil Engineers.
- Con la información básica obtenida, hemos desarrollado una serie de curvas referenciales que nos dan el campo de variación de las tendencias de los costos de los diferentes tipos puentes y sirven para realizar estudios comparativos de costos entre: diferentes sistemas estructurales, diferentes materiales constructivos y diferentes dimensiones de puentes. La dimensión del puente viene definida por la dimensión de la luz libre máxima entre apoyos, que tengan los tableros. Estas curvas de costos referenciales no son de los valores absolutos del costo de una estructura. Como su nombre lo indica son valores referenciales de cómo varían los diferentes parámetros asumidos en forma relativa entre sí, asumiendo condiciones más o menos normales de construcción.
- Con el objeto de tomar en cuenta la influencia que tiene en los costos de los puentes las situaciones especiales y particulares, de mayor o menor complejidad, se introducen factores de corrección para tomar en cuenta en el costo final del puente: las dimensiones especialmente grandes de algunos puentes, la gran altura de las pilas, la curvatura en los tableros de las estructuras especiales, los problemas geotectónicos y geosísmicos de la zona del proyecto, los diferentes tipos de cimentación de las pilas y estribos, etc
- Para el desarrollo de las curvas de costos referenciales se ha tomado en consideración los sistemas estructurales y constructivos que ha continuación se mencionan.
 - a.- **Vigas isostáticas de hormigón postensado.** Tableros conformados por vigas simplemente apoyadas, pre-fabricadas en hormigón postensado, con longitudes máximas de 40m.
 - b.- **Vigas continuas de hormigón postensado, lanzadas en forma progresiva.** (Segmental Construction. Incremental Launching)
 - c.- **Vigas isostáticas de acero.** Tableros conformados por vigas simplemente apoyadas, fabricadas en acero, con longitudes máximas de 40m.
 - d.- **Vigas continuas de acero, lanzadas en forma progresiva.** (Segmental Construction. Incremental Launching)
 - e.- **Arcos de acero construidos en volados sucesivos.** (Segmental Construction)

- f.- Arcos de hormigón postensado construidos en volados. (Segmental Construction)**
- g.- Puentes continuos de hormigón postensado construidos en volados sucesivos. (Segmental Construction)**
- h.- Puentes atirantados costruidos en volados sucesivos. (Cable Stayed Bridges. Segmental Construction)**
- i.- Puentes colgantes. (Suspensión Bridges)**

8.- CONCLUSIONES.

8.1.- CONCLUSIONES DE TIPO GENERAL.

- El Proyecto no puede ser conceptualizado como un proyecto vial que una, únicamente, la ciudad de Quito con el área donde se construirá el nuevo aeropuerto.
- Por su ubicación geográfica dentro del Distrito Metropolitano de Quito, los estudios para la selección de una vía de acceso al nuevo aeropuerto de Quito, deben tomar como referencia fundamental, una planificación macro de todos los sistemas viales en el área de influencia del proyecto.
- Cualquier sistema vial que se construya para acceder al nuevo aeropuerto va a tener una enorme influencia en los lugares por los que atraviesa y en la misma ciudad de Quito. Cualquier obra de infraestructura importante de tipo vial que se planifique y se construya en estas áreas debe ser concordante y parte integral de una planificación vial general y de utilización territorial del Distrito Metropolitano de Quito.
- Por razones de seguridad y operatividad, el acceso a una facilidad estratégica para la vida económica y social del país, como es el aeropuerto de la capital de la República, no puede estar condicionada a la utilización de una sola vía. Es necesario que existan vías alternas de fácil acceso y utilización, en vista de que se trata de una facilidad que no puede dejar de operar ante eventuales falta de funcionamiento de las vías de acceso.
- La importancia de las áreas por las que atraviesa el proyecto y la magnitud de los problemas viales ya existentes en estas zonas, obligan a los técnicos y a las autoridades a considerar este proyecto, fundamentalmente, como un sistema vial que a más de resolver los problemas específicos de acceso al nuevo aeropuerto y al valle de Cumbayá y Tumbaco, sienta las bases para convertirse en parte de un instrumento eficiente de desarrollo integral, armónico y sostenido de un área que en poco tiempo se convertirá en el Quito del futuro.
- Las enormes inversiones que se requiere para crear una infraestructura de estas características deben ser analizadas cuidadosamente, velando por que de ellas se beneficien el mayor número de ecuatorianos. Los principales beneficiarios de esta obra deben ser la ciudad de Quito y los actuales y futuros pobladores de los valles del este de Quito.
- Desgraciadamente, como siempre ocurre en el desarrollo de proyectos de envergadura e importancia comunitaria, siempre habrá individualmente algunos afectados directamente por el trazado de cualquiera de las alternativas que se seleccione, que deberán ser justa, oportuna y adecuadamente compensados por las autoridades correspondientes.

8.2.- CONCLUSIONES SOBRE LAS ESTRUCTURAS DE LOS PUENTES.

- Si analizamos los rubros más importantes que conforman el presupuesto total de cada una de las alternativas viales presentadas observamos que el costo de las estructuras de puentes, intercambiadores, pasos inferiores y superiores, constituye un componente sumamente alto del costo total de cada una de las vías.

- Esta situación se produce debido a las especiales características topográficas del terreno por el cual se desarrollan las diferentes vías que demandan la utilización de numerosos puentes de importantes dimensiones y nivel de complejidad constructiva, con el objeto de salvar topografías muy accidentadas existentes en el área del proyecto.
- En los estudios de pre-factibilidad de los puentes realizados, de acuerdo a nuestro compromiso y tiempo disponible, hemos llegado a definir de manera general pero lo más precisa posible, los sistemas constructivos y características técnicas de cada uno de los puentes con el propósito fundamental de llegar a determinar la factibilidad técnica y constructiva de estos puentes, las formas estructurales y sistemas constructivos más convenientes y los costos aproximados referenciales de construcción de estas obras.
- Para algunas situaciones especiales, se dejan también planteadas, alternativas a las formas estructurales y sistemas constructivos de diferentes puentes, que siendo soluciones también válidas y factibles técnica y económicamente, deberán ser consideradas y analizadas de una manera mucho más detenida y profunda en la etapa de diseños definitivos del proyecto, tanto desde un punto de vista técnico como económico.
- Estos procesos finales de afinamiento y perfeccionamiento de los aspectos técnicos, constructivos y económicos son siempre necesarios en proyectos de esta envergadura y de este nivel de complejidad técnica y constructiva. Tienen por objeto, con más tiempo disponible, agotar todas las posibles variantes técnicas y económicas en cada una de las estructuras principales y llegar a determinar las características más convenientes para el proyecto. Sin embargo las soluciones técnicas y constructivas y el orden de magnitud de las inversiones necesarias estarán dentro de los términos planteados en este informe.
- Obviamente, para esta etapa de los estudios definitivos se deberá contar ya con una información de campo e información técnica y económica más amplia, detallada y justificada, para cada uno de los puentes de acuerdo a los sistemas constructivos definidos. Información de campo como: topografía de detalle, geología, estudio de riesgo sísmico, estudio de estabilidad de taludes y capacidad portante de los suelos a nivel de cimentación, niveles máximos de crecida y arrastre de materiales, etc. Información técnica y económica sobre sistemas constructivos, materiales de alta tecnología, encofrados especiales, sistemas de pretensado, sistemas de anclaje, maquinaria constructiva de especiales características, etc, que se necesitan para la construcción de puentes de este nivel de complejidad.