

**RESUMEN EJECUTIVO**  
**ESTUDIO TÉCNICO, ECONÓMICO Y SOCIO AMBIENTAL (TESA)**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE OBRAS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA AUTOPISTA  
LA PAZ – EL ALTO**

**1. INTRODUCCION**

La Administradora Boliviana de Carreteras, es la institución encargada de planificar la conservación y el mejoramiento de las rutas pertenecientes a la Red Vial Fundamental, por tal razón y viendo la necesidad que se tiene de vincular dos ciudades importantes como son La Paz y El Alto, ha decidido priorizar el proyecto de Rehabilitación y mejora de la Autopista “La Paz – El Alto”, tramo perteneciente a la ruta F - 02 de la Red Vial Fundamental del País

El Estudio de Rehabilitación comprende el sector de la Autopista entre el Distribuidor Montes y la intersección Calle Echeverría – Av. Montes y el tramo entre el peaje y la intersección Calle N° 2 con la Av. 6 de Marzo.

La ABC el 22.10.2010, invitó a empresas consultoras a presentar propuestas de interés para ofrecer servicios de Consultoría para el Estudio y Diseño de Obras para la Rehabilitación de la Autopista La Paz – El Alto. A este respecto las empresas consultoras presentan sus ofertas de acuerdo a la invitación efectuada por la ABC.

El proceso de contratación se llevó a cabo mediante SPN°CPI 005/2010 y CUCE 10-0291-00-197-205-1-1

**2. ORDEN DE PROCEDER**

El 08.02.2011 mediante nota ABC/GRN/JT/T/2011-0070, la Administradora Boliviana de Carreteras, mediante la Gerencia Regional Norte en base al contrato ABC N° 39/11 GTCT-SER-BID emitieron la Orden de Proceder para dar el inicio a los servicios para el Estudio y Diseño de las Obras para la Rehabilitación de la Autopista La Paz – EL Alto adjudicada al Consorcio Accidental TRANSTEC - I.P.A. El Consorcio Accidental TRANSTEC - IPA inicio los servicios en fecha 08.02.2011 en atención a la nota ABC/GRN/JT/T/2011-0070.

**3. UBICACIÓN**

El proyecto se encuentra localizado en la región occidental de Bolivia, en la Provincia Murillo del Departamento de La Paz, en la Ciudad de La Paz a los 16°29'19" de latitud sur y 68°08'37" de longitud oeste, en la ciudad de El Alto a los 16°30'06" de latitud sur y 68°09'45" de longitud oeste.

Conforme establece el Decreto supremo DS 25134 del Sistema Nacional de Carreteras, la denominada Autopista forma parte de la ruta fundamental N° 2 (F - 02) de la Red Vial Fundamental del país.

La vía actual tiene una longitud aproximada de 11.37 Km. desde el Distribuidor de la Montes en la Ciudad de La Paz hasta el puesto de peaje en El Alto, se desarrolla sobre una topografía predominantemente empinada, con alturas que oscilan entre los 3600 m.s.n.m. a los 4100 m.s.n.m. El clima es árido y seco, típico de la zona altiplánica.

#### 4. SITUACION ACTUAL DEL PROYECTO

En función a la información disponible y las inspecciones visuales realizadas se ha podido determinar las siguientes características principales de la vía.

La Autopista La Paz – El Alto tiene entre sus características principales una superficie de rodadura de hormigón simple, un ancho de calzada variable de 6.10 y 6.70 m., con bermas de Tratamiento Superficial Doble de 3.00 y 1.50 m. a cada lado de la vía.

La estructura del pavimento rígido se encuentra configurada por losas de H°S° de 3.05 m. x 5.00 m. y 3.35 m. x 5.00 m.

Armadura para temperatura conformada por veinte (20) barras longitudinales de 4.90 m, con un diámetro de 6.0 mm., y diecisiete (17) barras transversales de 2.95 m, con el mismo diámetro. Estas barras longitudinales y transversales forman una parrilla de 30 x 15 y está colocada a 5.0 cm. de la superficie de la losa.

De acuerdo a la información proporcionada por la Administradora Boliviana de Carreteras, considerando el tiempo transcurrido desde la puesta en servicio de la misma (32 años), podemos decir:

- La Autopista prácticamente ha cumplido su vida útil, fundamentalmente en lo que se refiere al *pavimento, sistema de drenaje e iluminación*.
- El limitado mantenimiento de las juntas y fisuras en el pavimento, han originado la infiltración de aguas superficiales (en la época de lluvias), teniendo como resultado la erosión de la capa sub base. Este efecto hace que exista una pérdida de los finos del material granular de la sub base, originando cárcavas debajo de las losas, principalmente en las juntas.
- Al crearse vacíos debajo de la losa, las cargas que transitan por el pavimento (vehículos livianos y fundamentalmente pesados), originan la rotura de la losa, porque la misma ha sufrido pérdida de apoyo, puesto que la sub base, por el efecto del bombeo de finos ha perdido su capacidad de sustentación, situación

que en el caso de los pavimentos rígidos es crítica, puesto que es fundamental la uniformidad de la capa sub base.

- Se ha podido observar en las losas que han colapsado, que existe el efecto de bombeo de finos y alabeo, por ello en la mayor parte de los casos se observan roturas de las losas en las esquinas.
- El efecto de las erosiones de la sub base, han originado deformaciones diferenciales, que se pueden observar a simple vista, en la mayor parte de los casos en coincidencia con la ubicación de las alcantarillas.
- Por otra parte se ha observado que los carriles con mayores daños, son los que se encuentran a la derecha de la vía, tanto en los carriles de subida, y fundamentalmente en el carril derecho de bajada.

## 5. IMPORTANCIA DEL PROYECTO

La Autopista desde sus inicios, hace mas de 30 años es considerada como una de las vías más importantes del país, constituyéndose en la única vía diseñada con el concepto de “Autopista” y en la primera vía con estas características. Posteriormente a la puesta en servicio poco a poco la Autopista fue alterada en su concepción inicial, permitiéndose accesos vehiculares no previstos y la utilización de pasos peatonales a nivel, hechos que causan una serie de accidentes frecuentes, disminuyendo la capacidad vehicular de la vía que se constituye en la principal carretera de vinculación entre la ciudad de La Paz y El Alto.

En este entendido, considerando el rol fundamental de vinculación que tiene la Autopista La Paz - El Alto, se establece la necesidad de efectuar los trabajos de rehabilitación a dicho proyecto de vital importancia. Más aun si se tiene en cuenta que el periodo para el cual fue diseñada ha sido superado ampliamente sin tomar en cuenta además que el crecimiento vehicular que atraviesa este sector tiene TPDA que superan los 30.000 vehículos día, y tiende a crecer según las proyecciones realizadas.

## 6. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Utilizando la Autopista como ruta principal de la Red Fundamental N° 2 y considerando que se desplazan desde y hacia las ciudades de La Paz y El Alto aproximadamente 300.000 personas en forma diaria, este movimiento refleja una estrecha relación social, económica y productiva que existe entre ambas ciudades constituye uno de los objetivos de la Autopista La Paz – El Alto, razón por la cual es considerada como prioridad nacional dentro del plan vial de mejoramiento de la ABC.

En este sentido la Rehabilitación de la Autopista La Paz – El Alto es vital para coadyuvar el desarrollo del Departamento de La Paz y consecuentemente para el país más aun si se tiene en cuenta que el desarrollo que genera frente al costo que demandará la Rehabilitación y mejoramiento son ampliamente justificados.

El objetivo del Proyecto es contar con una Autopista de adecuadas características respecto a seguridad, diseño geométrico, sistema de drenaje, taludes estables y superficie pavimentada, mejorando sustancialmente las condiciones de transitabilidad de la Autopista La Paz – El Alto.

Recuperar y mejorar el estado funcional y estructural de la Autopista para lograr la transitabilidad permanente en condiciones seguras y económicas.

Implementar un tercer carril de circulación por vía, realizando las modificaciones necesarias para el efecto.

Facilitar el tránsito de vehículos durante todo el año y el acceso a los mercados y centros de venta y acopio de bienes y servicios de salud y educación.

Reducir los costos de operación y mantenimiento de los vehículos; del transporte de pasajeros y carga.

Reducir el tiempo y costo de traslado de la población y su producción haciendo más accesible el servicio a los usuarios.

Reducir el costo de mantenimiento de la Autopista.

Mejorar las condiciones de seguridad en la vía actual, mejorando la geometría horizontal y vertical de la Autopista.

Creación de fuentes de trabajo e ingresos durante el estudio, construcción y operación del Proyecto.

Como objetivo fundamental de esta consultoría, se tiene el Estudio de Identificación (EI) y la presentación en esta oportunidad del Estudio Técnico, Económico, Social y Ambiental (TESA), que demuestra la mejor alternativa de inversión para el proyecto en función a las definiciones realizadas.

## **7. ESTUDIO TOPOGRÁFICO**

De acuerdo a las condiciones y características detalladas en las normas de diseño de carreteras emanadas por la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) se vio la necesidad de implementar una red de par de puntos GPS (Red Principal par de puntos cada 10 Km y Red Secundaria par de puntos cada 2 Km) utilizando receptores GPS geodésicos de precisión.

El objetivo principal de la implementación de la red geodésica implantada a lo largo de la Autopista con los pares de puntos cada 2 km es proporcionar a los pares de puntos coordenadas absolutas referidos al sistema de coordenadas “Transversal de Mercator

(UTM), Datum WGS-84", los cuales a su vez servirán como puntos de partida y cierre de las poligonales base de levantamiento de la faja.

La georeferenciación consiste en dotar de coordenadas absolutas relacionadas al sistema de coordenadas WGS-84 por medio de receptores GPS geodésicos mediante el método de Posicionamiento Diferencial, relativo o diferido a los puntos de la red para lo cual se utilizó cuatro receptores GPS, uno de los cuales debe estar estacionado en el punto base de control con datos conocidos y a partir del cual diseñar una red GPS a lo largo de la faja del levantamiento.

En el presente proyecto y previo a los trabajos de campo se determinó realizar una red principal de pares de puntos cada 10 Km., y una red secundaria cada 2 km, con tiempos de observación de hasta una hora y media por estación a lo largo de la faja de levantamiento.

Una vez ubicado los primeros pares e identificado el punto base de partida se procedió a realizar las observaciones. Mediante el método de posicionamiento diferencial para lo cual uno de los receptores deben estar en un punto conocido y los demás en puntos por conocer, los tiempos de observación varían desde los 30 minutos hasta las 2 horas o más y según la distancia de la línea a medir o la red que se esté observando.

El objetivo principal del levantamiento de la faja topográfica realizado a lo largo del eje preliminar del proyecto, es la obtención de datos que permitan la elaboración de los planos Planta Perfil – Secciones Transversales y que además permitan realizar el trazado del diseño geométrico de la Autopista, y así también diseñar, planificar, ejecutar los demás proyectos de ingeniería requeridos para el presente proyecto, circunscrito en dos actividades o etapas importantes, las cuales son:

- Trabajos topográficos de campo
- Trabajos topográficos de gabinete

La poligonal principal se realizó tomando como puntos de partida y cierre los puntos implementados en la etapa de la georeferenciación, utilizando el método de reiteración de dos series.

Los puntos de Poligonal principal se materializaron con estacas de madera o clavos de calamina empotrados en aceras, jardineras u otros lugares según el lugar donde se realizan los trabajos o como también la necesidad de estos, para lo cual se utilizaron estaciones totales SET-610 SOKKIA, SET 630RK SOKKIA, cuyos datos se registraron en el colector interno de los equipos para su posterior proceso.

El levantamiento topográfico se realizó paralelamente a la medición de la poligonal principal implementando a su vez una poligonal auxiliar de cuyos puntos de estación

se realizó el levantamiento topográfico por radiación y por el método de secciones transversales aproximados al eje de la faja a levantar.

La nivelación se realizó con Nivel digital SOKKIA SDL-50 y empleando el método de ida y vuelta y control de cierre en BMs, o puntos de poligonal, de esa manera se implementaron del BM00 al BM01. Estos bancos de nivel se materializaron por medio de mojones de hormigón vaciados en sitio. Estos BMs están distribuidos a lo largo de la faja de levantamiento a una distancia de 500 m. aproximadamente entre BM y BM y ubicados en lo posible fuera del área de construcción de la Autopista.

Paralelamente a la nivelación de bancos de nivel BMs se realizó la nivelación de los puntos de la poligonal base y auxiliares de todo el tramo con la finalidad de proporcionar cota geométrica a estos puntos.

Una vez determinado la cota base que se utilizara se realizó el arrastre de cota del banco de nivel PC 04, BML 4R hasta los puntos de partida GPS001 y GPS002, a partir del cual se diseña una red de nivelación implementando bancos de nivel aproximadamente a cada 500 metros. Obteniendo de esta forma del BM01 al BM021.

Paralelamente al cálculo de la poligonal principal, auxiliar y del levantamiento topográfico se fueron también enlazando los bancos de nivel (BMs.), obteniendo coordenadas referenciales para la ubicación de estos.

Una vez obtenido datos independientes de cálculo de coordenadas de la poligonal principal, auxiliar y cotas de la nivelación. Se procede a la verificación de las cotas trigonométricas con las geométricas y si las diferencias están dentro las tolerancias exigidas se adopta las cotas geométricas para el cálculo final del levantamiento de la faja topográfica por lo que todos los datos de coordenadas UTM obtenidos estarían referidos a cota geométrica de medición. El cálculo de la nube de puntos se lo realiza mediante una hoja de cálculo Excel diseñado especialmente para ello.

Se procesaron los planos Topográficos, desarrollado con la ayuda del Programa LAND DESKTOP.

Se realizaron los dibujos de los planos del proyecto, con los datos de la Topografía, sobre todo, planos de Planta y Perfil Longitudinal y Secciones Transversales, cada uno con las características a escalas convencionales, la planta a escala horizontal 1:1000 y la vertical 1:100

## **8. DISEÑO GEOMÉTRICO**

La actual carretera fue habilitada al tráfico vehicular en el año 1977, su percepción inicial de “autopista” ha cambiado a partir de la década del 90, debido al crecimiento

de la demografía de las Ciudades de La Paz y El Alto mediante la habilitación de zonas urbanas en el recorrido de esta vía. Por otra parte esta situación generó el ingreso del transporte público en diversos tipos de servicio que generan paradas de estos vehículos ante la demanda de los usuarios habitantes en las diversas urbanizaciones asentadas a lo largo de la vía, desvirtuando por completo la categoría de “autopista”, convirtiéndola en una vía urbana que permite el desplazamiento de usuarios principalmente entre las ciudades de La Paz y el Alto, además de los usuarios asentados en el desarrollo de esta vía.

- Existe un deterioro en el nivel de la rasante debido a deformaciones en el acabado de la superficie de Rodadura, que se debe al uso prolongado de la vía en más de 30 años de servicio.
- La presencia de Estructuras de Hormigón (pasarelas) que fueron construidas adyacentes a la plataforma, siendo estos elementos fijos de alto riesgo para la Seguridad Vial, generando posibles accidentes fatales.
- Las normas actuales del Diseño Geométrico recomiendan insertar longitudes de transición entre tangentes y curvas circulares.
- La apertura de accesos; tanto de entrada y salida a nuevas urbanizaciones que se encuentran adyacentes a la autopista, generando riesgo a los usuarios e incidiendo en la disminución de la capacidad de circulación.
- La disposición de pasarelas sin ninguna planificación por parte del Gobierno Municipal de la Paz, sin considerar la categoría de la carretera; implanto parada de buses y acceso a ferias.
- Sin ninguna planificación, actualmente se utiliza la berma como parada de minibuses, prácticas deportivas, así como un tercer carril por el volumen de tráfico existente.

### **Tramificación del Proyecto**

En función a las características actuales de la vía se ha establecido la siguiente tramificación:

1. Tramo 1 :	Km	0+000 al	Km 1+200	Sección de Calzadas Unidireccional
2. Tramo 2 :	Km	1+200 al	Km 3+500	Sección de Calzadas Independiente
3. Tramo 3 :	Km	3+500 al	Km 11+120	Sección de Calzadas Unidireccional

### **Alineamiento Horizontal**

El alineamiento horizontal mantiene sus tangentes en el inicio y final (Km 0+000-Km 1+160 y Km 10+300-Km 11+100) del eje de la vía actual. Este alineamiento en la parte central (Km 1+160-km 10+300) se ajusta a una sección en “ladera completa” de forma que la plataforma encaje en una superficie estable, evitando rellenos y/o la construcción de muros de contención.

En el Tramo 2, el alineamiento se divide en dos calzadas independientes (derecha e izquierda), razón por la que el alineamiento de cada calzada se ajusta de forma independiente.

Las características geométricas del alineamiento horizontal presentan en el **Anexo No. 5. - Características Geométricas-Alineamiento Horizontal**, del Informe Diseño Geométrico.

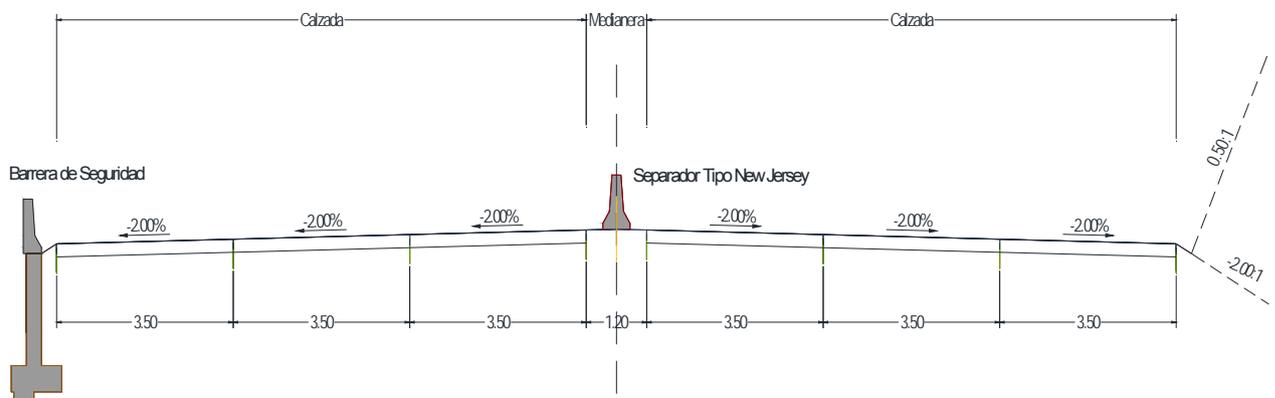
### Alineamiento Vertical

El Alineamiento Vertical, fue ajustado de acuerdo a la rasante actual, ajustando los niveles en función a los niveles de las estructuras existentes, con el fin de preservarlos.

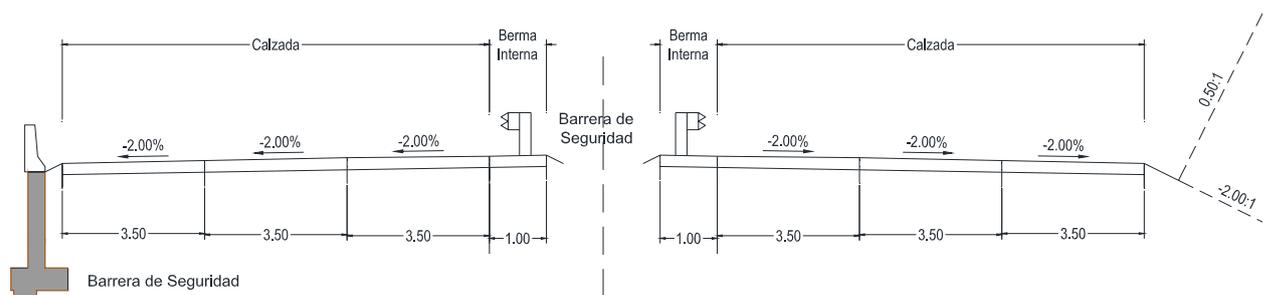
En algunos puntos fijos fue ajustado la rasante en función galibo vertical necesario que debe tener las estructuras existentes.

### Sección Transversal Tipo

#### Sección Transversal Tipo Tramos 1 y 3



#### Sección Transversal Tipo Tramo 2



La sección transversal de cada calzada de circulación de 3 carriles de 3.5 m. sin berma, con una medianera de 1.2 m. en el que se incorpora un separador rígido tipo “New Jersey” en los tramos 1 y 3.

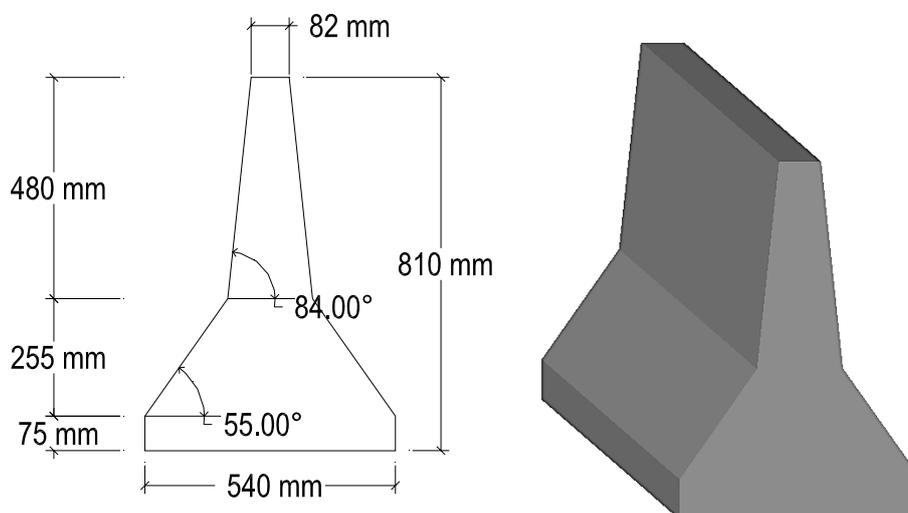
En el tramo 2 se tiene una sección dividida por el río Choqueyapu, en el que se adiciona una berma interna de 1.0 m. con una barrera de seguridad metálica tipo Flex Beem.

### Separador Central Rígido Tipo “New Jersey”

En función de las características de funcionamiento de este tipo de barrera, se ha determinado utilizar una barrera construida de hormigón rígido, con la capacidad de absorber energía de impacto.

El modelo de barrera de hormigón tipo “New Jersey” presenta un perfil con las siguientes dimensiones:

#### Separador Rígido tipo New Jersey

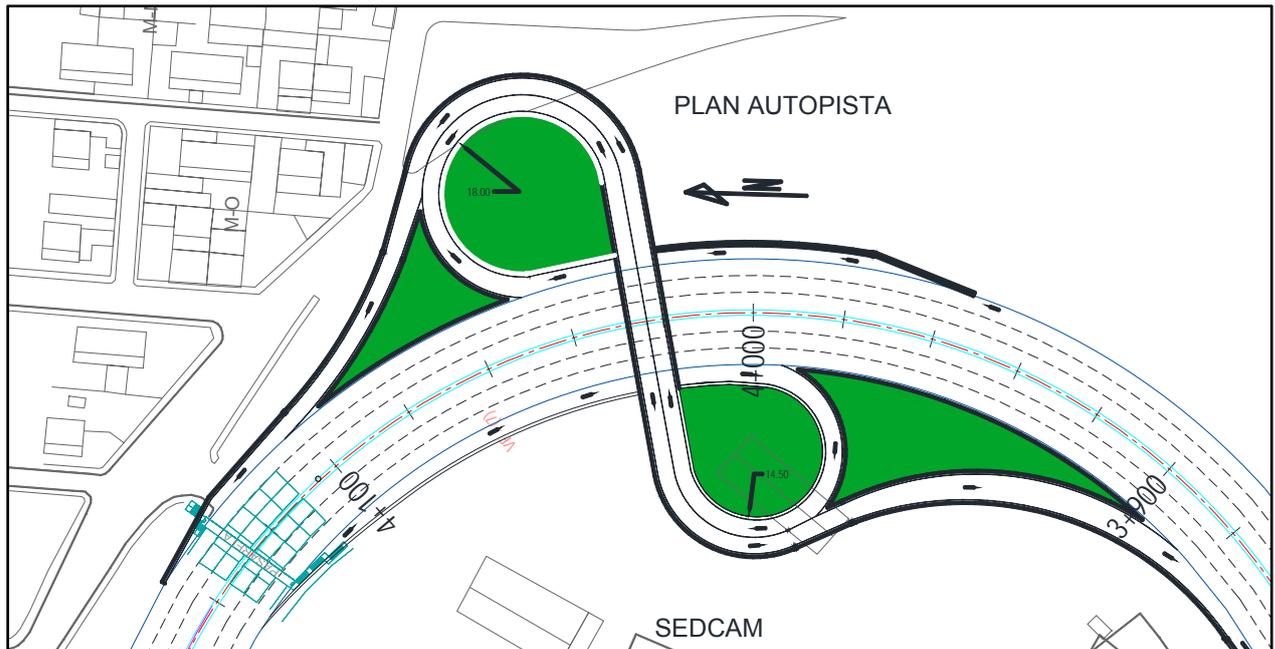


### Distribuidor PLAN AUTOPISTA

Este distribuidor se ubica en el Km. 4+020, permitiendo el ingreso y salida de la vía principal al tráfico local de las urbanizaciones: plan autopista.

Es un distribuidor con ingreso en un carril en un solo sentido de circulación (salida y entrada).

### Distribuidor Plan Autopista



El comportamiento que se pretende en el distribuidor de "Plan Autopista" son los siguientes:

- Retorno para ambos sentidos de circulación (Bajada y Subida).
- Salida a la Urbanización Plan Autopista del carril de subida.
- Ingreso de la Urbanización Plan Autopista al carril de Bajada.

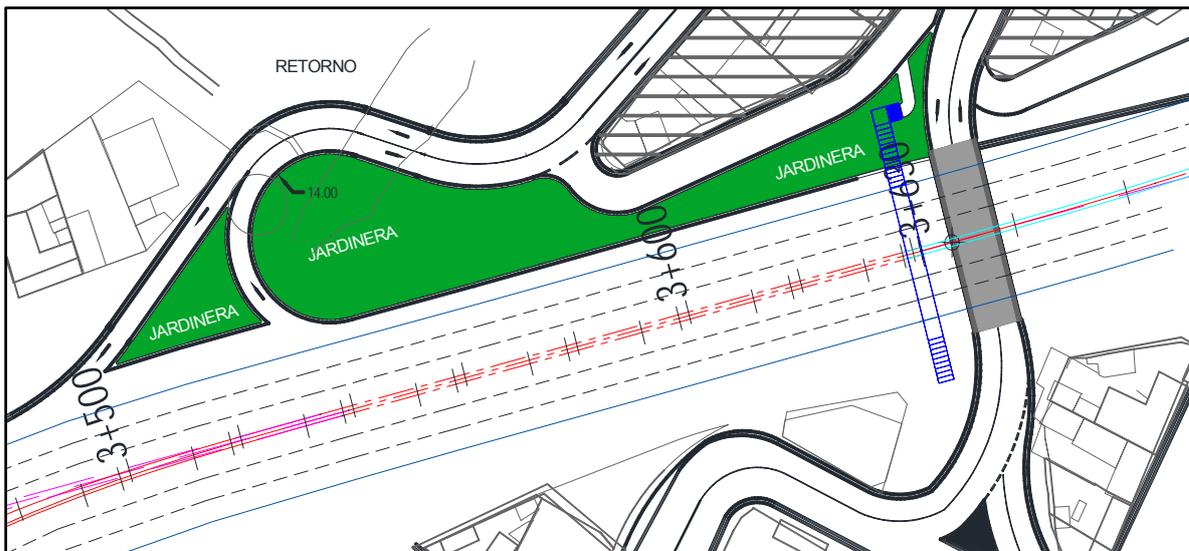
Con el distribuidor se pretende evitar el cruce directo de vehículos del "Plan Autopista" al carril de bajada, actualmente pasan transversalmente la calzada y además con esta estructura se cumple con la demanda de usuarios de las urbanizaciones asentadas al norte de este distribuidor.

### Distribuidor SEDCAM

Adicionalmente se ha considerado un distribuidor que permita el retorno para el carril de bajada en el Km. 3+550 y el uso del viaducto nuevo de 2 carriles ubicado en el Km. 3+660; permitiendo el ingreso al carril de subida o a la zona de Achachicala por la Avenida Chacaltaya, como se muestra en la siguiente figura:

Es un distribuidor con ingreso en el carril de bajada con conexión de calles aledañas al viaducto ubicado en el Km 3+660.

### Distribuidor SEDCAM.



El comportamiento que se pretende en el distribuidor de "Sedcam" son los siguientes:

- Retorno para el carril de subida a través de Viaducto de "Sedcam".
- Ingreso a la zona de Achachicala a través del viaducto "Sedcam".
- Ingreso al carril de bajada a través del Viaducto "Sedcam".

Con el distribuidor "Sedcam" se pretende dar alternativa de flujo vehicular a zonas de Achachicala, evitando el ingreso directo a la avenida Montes.

### Accesos a la Avenida Panorámica Norte y Sur (ciudad de El Alto)

Estos accesos fueron considerados luego de analizar el Plan de Desarrollo Municipal con la Gobernación Municipal de la Ciudad de El Alto, quien tiene un proyecto vial que se encuentra en la etapa de estudio.

En el proyecto se ha incorporado geográficamente el diseño preliminar, considerando dos accesos o conexiones con la avenida Panorámica. Esta avenida pasa transversalmente a la autopista mediante un paso a desnivel en el Km. 10+680, conectando la avenida Panorámica Sur y Norte, por lo tanto se conciben dos

conexiones; tanto de salida de la vía (Av. Panorámica Norte) e ingreso (Av. Panorámica Sur).

Las características de estos accesos se describen en forma resumida en la tabla N° 15 del Diseño Geométrico.

### Parada de Buses y Carriles Auxiliares

Habiéndose evaluado y analizado el comportamiento de los peatones que utilizan el transporte público, se determinaron lugares de Paradas de Buses para ser incorporadas en el Proyecto en las progresivas que se presentan en la siguiente tabla:

#### Ubicación de Parada de Buses

No.	Prog. (Km.)	Ubicación
1	0+260.00	Av. Montes
2	1+325.00	Instituto Pedro domingo Murillo
3	4+125.00	Plan Autopista
4	4+590.00	Plan Ferroviario
5	5+600.00	Zona San José
6	8+540.00	Zona Muñaypata
7	10+700.00	Ceja

En estas Paradas de Buses, se considera carriles auxiliares de aceleración y desaceleración en una longitud 150 m y con un ancho mínimo de 3.0 m. emplazadas en curvas y en rectas como se muestra en las figuras N° 18 y 19, indicadas en el Informe de Diseño Geométrico.

La disposición del emplazamiento de las Paradas de Buses estarán ubicadas en lugares cercanos a: pasarelas existentes, nuevas pasarelas, distribuidores, y considerando las condiciones topográficas que permita su funcionalidad.

### Diseño Geométrico

Una vez definida la Sección Tipo, utilizando el programa Land Desktop se introdujeron las características indicadas a la plantilla tipo, para su posterior corrida y reporte de Secciones Transversales.

Observando las Secciones Transversales se verifico la adecuada interrelación entre secciones transversales, alineamiento horizontal, alineamiento vertical, asignación de peraltes, taludes de corte, taludes en terraplén y sobrecanchos a lo largo del Proyecto.

Una vez verificado el correcto comportamiento se procedió al cálculo del movimiento de tierras a través de la plantilla asignada al programa con las características de la Sección Transversal Tipo.

El reporte obtenido se representó en planos de: Secciones Transversales obtenidas cada 20 m. incluyendo los reporte de volúmenes de corte y terraplén, valores que permitieron elaborar el diagrama de masas y el respectivo análisis de distancias de transporte libre de material de corte a una distancia de 300 m; también se ha considerado la identificación de los buzones más cercanos, véase Anexo No. 7 - Movimiento de Tierras, Informe Diseño Geométrico.

En el **Anexo No. 8**, en Informe Diseño Geométrico, se presenta: Planos de Planta - Perfil y Secciones Transversales del Diseño.

La base de datos del Diseño reportan de las características más importantes, a través de planillas de control geométrico que se presenta en el Anexo No. 6, en Informe Diseño Geométrico.

## 9. SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El Documento resume los conceptos principales y criterios de diseño de la instalación eléctrica para la Iluminación de la Autopista La Paz – El Alto.

La Autopista cuenta con redes de distribución eléctrica de media y baja tensión, ELECTROPAZ es la empresa local que abastece de energía al sistema eléctrico.

En general las tensiones nominales para la Autopista son las siguientes:

- Media Tensión : 7200 v, 50 Hz monofásica
- Baja Tensión : 230 v, 50 Hz monofásica

La red de Media Tensión de la Autopista es aérea, los transformadores están colgados de los postes y llevan protección contra sobrecorrientes y sobretensiones. En el distribuidor Montes, se tiene una caseta de transformación con un transformador trifásico, trabajando con carga monofásica.

La red de Baja Tensión parte del secundario de los transformadores colgados en los postes a los equipos de medición y pasa por el tablero de distribución que contiene interruptores termomagnéticos, de los cuales se llevan alimentadores subterráneos a las luminarias que se encuentran instaladas en los postes simples y dobles a lo largo de la Autopista.

De acuerdo a inspecciones y lo observado en trabajo de campo y coordinando con técnicos de I.P.A., se consideran dos alternativas para el sistema eléctrico:

- Alternativa 1 : Realizar un nuevo diseño de la red para el sistema eléctrico.
- Alternativa 2 : Desarrollar un trabajo para la readecuación del sistema eléctrico actual.

Según el análisis del diagnóstico, se recomienda el desarrollo de la *Primera Alternativa*, porque consideramos que es la más conveniente para el desarrollo del proyecto.

El actual sistema eléctrico presenta muchas fallas y no se tiene continuidad adecuada del servicio eléctrico, lo cual resulta peligroso para los usuarios, esto se debe al tiempo de uso de sus componentes eléctricos de media y baja tensión. Por tanto, una renovación total permitirá el uso de las instalaciones eléctricas por mayor cantidad de años.

Los equipos y/o materiales en una gran parte han cumplido su vida útil y la falta de mantenimiento, trae como consecuencia disminución en niveles de iluminación, pérdida de aislación, daños en la obra civil, ductos, rotura de luminarias, etc., lo cual se traduce en una falta de calidad de servicio.

La renovación del sistema eléctrico mejorará la prestación del servicio de alumbrado a los usuarios.

Los sistemas de iluminación en las vías, disminuyen los peligros para los usuarios y ayudan a tener una protección ciudadana contra la delincuencia, por tanto, una instalación nueva será recomendable para el buen funcionamiento de la Autopista.

La Autopista representa una ruta de ingreso principal a la ciudad de La Paz y debido a su importancia a nivel nacional, consideramos que debe mostrar una buena presentación para turistas nacionales y extranjeros, lo que obliga a tener calidad en el servicio de alumbrado y esto se logrará con una renovación del alumbrado.

Si bien el costo de inversión para la renovación total del sistema representa una importante suma de dinero, la relación beneficio costo consideramos que será positiva con un cambio total del sistema.

El proyecto de Instalación Eléctrica para la Autopista La Paz – El Alto, considera el nuevo diseño de las vías para el desarrollo del trabajo.

## 10. ESTUDIO DE TRÁFICO Y TRANSPORTE

El objetivo del presente “Estudio de Tráfico” es el de identificar y determinar información básica para el diseño de la vía, la superficie de rodadura, recomendar el número de carriles en la autopista producto de la determinación del nivel de servicio y

datos para la evaluación de la factibilidad de la vía en estudio. Por esta razón es imprescindible la determinación de volúmenes de tráfico que actualmente transitan por la autopista, las características de ese tráfico y su proyección para un periodo de tiempo de 20 años posteriores a la apertura de la autopista a la circulación vehicular.

### **Clasificación Vehicular**

Tanto para los aforos vehiculares como para las encuestas origen – destino y registro de tiempos de recorrido, se utilizó la clasificación vehicular establecida en los Términos de Referencia por la Administradora Boliviana de Carreteras – ABC.

### **Identificación de Tramos en la Autopista para el Estudio**

Durante la Fase I del Cronograma del Estudio, se han desarrollado dos actividades para el estudio de tráfico, primero efectuar conteos de prueba y segundo un recorrido de inspección en el cual se han identificado las siguientes intersecciones con otras vías de barrios residenciales aledaños a la Autopista.

- Intersección 1: Cruce del Barrio Achachicala
- Intersección 2: Cruce del Barrio Pura Pura Norte
- Intersección 3: Cruce con el Barrio Plan Autopista
- Intersección 4: Cruce con el Barrio Ciudadela Ferroviaria

### **Ubicación de Estaciones para el Estudio de Tráfico**

Debido a las características que tiene para alojar a los diferentes grupos de aforadores y que se cuenta con el resguardo de autoridades policiales, se ha establecido como la principal estación de Conteo vehicular a la Estación del Peaje en la Ceja de El Alto.

Adicional a la Estación del Peaje y en base a la identificación de los tramos del cuadro anterior se ha determinado ubicar estaciones de Conteo Vehicular en los siguientes puntos:

- Estación de Control 1. Peaje Ceja El Alto
- Estación de Control 2. En el cruce de Achachicala
- Estación de Control 3: En el cruce de Pura Pura Norte
- Estación de Control 4: En el cruce del Plan Autopista
- Estación de Control 5: En el Cruce de Barrio Ferroviario
- Estación de Control 6: En el cruce de la Bajada de la Av. Perú
- Estación de Control 7: En la esquina de la CBN.

## **Análisis del Tráfico Vehicular en la Estación del Peaje**

El aforo vehicular clasificado permite identificar las características del comportamiento del tráfico vehicular que circula por la Autopista, teniendo los siguientes valores promedio del tráfico diario en la semana de estudio:

- Sentido Av. Montes – Estación del Peaje = 14.676 veh.
- Sentido Estación del Peaje – Av. Montes = 15.085 veh.
- Suma Ambos Sentidos = 29.761 veh

## **Encuestas Origen – Destino (vehículos y pasajeros)**

En la semana del 9 al 14 de mayo/11, se procedió a realizar las encuestas origen-destino en los puntos de parada de la Av. 6 de marzo, Av. Montes, Plaza Alonso de Mendoza, Obelisco y Plaza Isabel La católica, se extrae la matriz de Origen y Destino de transporte.

Procesada la base de datos de las encuestas realizadas a los pasajeros que se encuentran en fila para abordar los vehículos que se dirigirán hacia El Alto, realizadas en la semana del 9 al 14 de mayo/11, en los puntos de parada de la Av. 6 de marzo, Av. Montes, Plaza Alonso de Mendoza, Obelisco y Plaza Isabel La católica, se extrae la matriz de Origen y Destino de Pasajeros.

## **EXPANSIÓN Y PROYECCIÓN DEL TRÁFICO**

### **Determinación del Tráfico Normal**

Para los propósitos de proyección del tráfico y por la variación que presentan los aforos efectuados por el Consultor en relación a datos históricos de tráfico de la autopista, se ha optado por tomar en cuenta como datos base el tráfico determinado por los conteos volumétricos efectuados por encargo de la Administradora Boliviana de Carreteras en los últimos años.

### **Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)**

Mediante los factores estacionales se calcula el TPDA a partir de la siguiente expresión:

$$TPDA_j = FE \times TPDM_j$$

Donde:

- TPDA<sub>j</sub>: Tráfico promedio diario anual para el tipo de vehículo “j”
- FE: Factor de estacionalidad
- TPDM<sub>j</sub>: Tráfico promedio diario mensual para el tipo de vehículo “j”

Como valor más probable para el factor de estacionalidad se empleará el promedio que corresponde a la gestión 2010, por ser este donde presenta el mayor tráfico.

### **Composición Vehicular Utilizada para el TPDA del Proyecto**

La Composición Vehicular del Tráfico en la Autopista La Paz – El Alto fue extraída de los datos proporcionados por la Administradora Boliviana de Carreteras correspondiente a la gestión 2010.

### **Análisis de Parámetros para la Proyección del TPDA**

En los proyectos relacionados con el transporte carretero, el primer parámetro que debe ser analizado es el Tráfico Promedio Diario Anual, más concretamente su evolución histórica. Esto permite observar la tendencia que ha seguido el TPDA en años anteriores. Una primera suposición es que los volúmenes futuros puedan crecer siguiendo la tendencia de años anteriores.

### **Selección de Tasas de Crecimiento para la Proyección**

La determinación y/o selección de las tasas de crecimiento a ser adoptadas no siempre son directas debido a que la evolución de los volúmenes de tráfico están en función de variables (Población, PIB, Parque vehicular, Combustible, etc.) con poca y mucha influencia.

Se ha visto por conveniente considerar todos los parámetros de manera que su influencia este reflejada en una sola tasa de crecimiento. Para este efecto se han asignado tasas de crecimiento relacionadas con el crecimiento de un determinado grupo vehicular.

En resumen se adopta las siguientes tasas de crecimiento en función del grupo Vehicular:

- **Tasa de Crecimiento para Vehículos Livianos (Pasajeros) = 4.9%**
- **Tasa de crecimiento para Vehículos Pesados (Carga) = 4.2%**

### **Proyección del Tráfico Normal**

Para la proyección del Tráfico Futuro se toma en cuenta 3 periodos en el tiempo:

1 año para la elaboración del Diseño Final, su revisión y aprobación.

2 años para el tiempo de ejecución establecido  
20 años para el periodo de servicio de la autopista.

### Estudio de Velocidades

(1) La velocidad es la relación de movimiento del tránsito, expresada en (Km/hora). Existen tres tipos diferentes de medidas de velocidad promedio para expresar la relación de movimiento.

- El primer tipo es la velocidad media con base en el tiempo o **Velocidad Media de Punto**, que es la velocidad de un vehículo a su paso por un determinado punto de la vía. Como dicha velocidad se toma en el preciso instante del paso por el punto, también se le denomina de velocidad instantánea
- La segunda expresión de Velocidad Promedio, es la velocidad con base en la Distancia o **Velocidad de Recorrido**, que se calcula como la distancia recorrida entre el tiempo medio recorrido de varios viajes, sobre un tramo determinado.
- La tercera expresión de Velocidad Promedio es la velocidad también basada en la distancia o **Velocidad de Marcha o Crucero**, que es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento. Para obtener la velocidad de marcha en un viaje normal, se descontará del tiempo total de recorrido, todo aquel tiempo que el vehículo se hubiese detenido, por cualquier causa.

### Análisis de la Capacidad y Niveles de Servicio

En el servicio que presta la Autopista La Paz – El Alto, una medida de eficiencia es la “Capacidad” con la que satisface la demanda de tránsito.

#### Análisis de la Capacidad

Se define como capacidad de una instalación al máximo flujo horario al que se puede razonablemente esperar que las personas o vehículos atraviesen un punto o sección uniforme de un carril o carretera durante un periodo de tiempo dado sometido a las condiciones prevalecientes de la carretera, la circulación y los sistemas de control.

#### Niveles de Servicio

El concepto de nivel de servicio utiliza medidas cualitativas que caracterizan tanto las condiciones de explotación del tráfico vial como su percepción por los conductores y pasajeros. La descripción de los niveles de servicio individuales caracteriza estas

condiciones en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, las interrupciones a la circulación, el confort y la conveniencia.

### **Determinación de la Capacidad y Nivel de Servicio de la Autopista La Paz El Alto Sin Proyecto.**

Para la determinación de la capacidad y nivel de servicio de la autopista se ha utilizado el manual de capacidad HCM 2000, tomando además las siguientes consideraciones:

La autopista actualmente funciona como una carretera multicarril. El diseño final contempla que la autopista funcionara con más pasarelas y paraderos de vehículos de pasajeros. Por lo que, se han analizado segmentos de carretera que actualmente tengan estas características.

De la tabla indicada en el Estudio de Tráfico, se puede concluir que la hora pico se produce en el sentido de bajada de 07:00 a 08:00 y en el sentido de subida de 19:00 a 20:00.

### **Determinación de la Capacidad y Nivel de Servicio de la Autopista La Paz - El Alto, Con Proyecto.**

(1) En el escenario con proyecto, se contarán con paraderos adecuados y la berma se podrá utilizar como un tercer carril. Bajo estas condiciones se tienen los siguientes resultados indicados en el Estudio.

(2) Se nota un incremento significativo del nivel de servicio. En el sentido de bajada la capacidad aumenta a 4.983 veh/h y en el de subida aumenta a 4.126 veh/h. En el año 2025 ambos sentidos de circulación funcionarían en un nivel de servicio E.

(3) Para mejorar la capacidad y el nivel de servicio de la Autopista se debe minimizar el efecto de las paradas en los carriles de circulación.

## **CENSO DE CARGAS**

### **Antecedentes**

La etapa correspondiente al “Censo de Cargas” del *Estudio de Tráfico del Proyecto Estudio y Diseño de Obras para la Rehabilitación de la Autopista La Paz El Alto*, está referida a la realización del pesaje de vehículos pesados en *balanzas dinámicas* en las estaciones definidas por el Consultor y según la clasificación que figura en la Ley de Cargas y su decreto reglamentario y posterior configuración de ejes.

### **Ubicación de Estaciones**

La ubicación de estaciones para realizar el “Censo de Cargas”, estuvo condicionada a las balanzas de pesaje, las mismas que deben estar instaladas en lugares planos con pendiente cero y alineamiento horizontal. Asimismo el área donde debe realizarse el

pesaje de camiones pesados y encuestas a los conductores, debe contar con libre transitabilidad en una distancia mínima de 30 metros antes y después del lugar donde está ubicado las balanzas y mallas de pesaje, para permitir el ingreso y salida de camiones.

Considerando lo anterior, la ubicación de las estaciones en la Autopista La Paz - El Alto fueron las siguientes:

**Estación No. 1** Ceja El Alto, altura viaducto vehicular (Sentido de bajada).

**Estación No. 2** Ceja El Alto, altura viaducto vehicular (Sentido de subida).

### **Objetivo y Metodología del Censo**

El **objetivo principal** del presente estudio es el de recolectar información primaria reciente de una muestra representativa, referida al tipo de vehículos pesados y capacidad de carga que llevan los camiones que transitan por la Autopista, así como el origen y destino de esa carga, para que, sobre la base de estos datos se pueda efectuar los estudios y justificación tanto técnico como socioeconómico.

## **11. ESTUDIO DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA**

En este documento, se resumen los conceptos para el diseño de las obras de Drenaje del proyecto “Estudio y Diseño de las Obras para la Rehabilitación de la Autopista La Paz - El Alto”.

### **HIDROLOGÍA**

La ubicación del proyecto se enmarca en su totalidad en el área urbana, entre las ciudades de La Paz y El Alto, con mayor influencia de la ciudad de La Paz.

Prácticamente toda la descarga, tanto de drenaje sanitario como pluvial, desembocan en el Río Choqueyapu, principal Río de la ciudad de La Paz pues cruza por debajo de su eje troncal. Tanto el estudio, control y mantenimiento de la canalización y embovedado del Río Choqueyapu está bajo la tuición del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz, bajo la Dirección Especial de Gestión Integral de Riesgos.

Con el fin de contar con datos actualizados del estado de los principales cursos de agua de la ciudad de La Paz y las medidas a tomar para reducir riesgos, el año 2007 se terminó la *Revisión y Actualización del Plan Maestro de Drenaje Para El Área Urbana de La Paz*, encargado por el entonces Gobierno Municipal de La Paz, con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (B.I.D.) y realizado por la asociación consultora Nippon Koei Co.,Ltd. - P.C.A., en cuyo documento final se detallan las obras y medidas estructurales que debe implementar el Gobierno Municipal en

distintos ríos, canalizaciones, embovedados, etc. Obviamente, el río Choqueyapu y sus aportantes están incluidos en dicho documento.

Por tal motivo, el Estudio de Hidrología para la Rehabilitación de la Autopista La Paz – El Alto, ésta apoyada en los estudios del *Plan Maestro de Drenaje Para El Área Urbana de La Paz*.

Para determinar los caudales de diseño para las obras hidráulicas, se ha recopilado, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la información meteorológica correspondiente a las precipitaciones máximas en 24 horas (P24max), de las estaciones Central La Paz y Aeropuerto El Alto.

## HIDRÁULICA

### Alcantarillas

Las alcantarillas pueden tener forma circular, rectangular o elíptica. Las alcantarillas pueden prefabricarse o construirse en el sitio, a criterio del Contratista. Por lo general, aquellas construidas en el sitio tienen forma cuadrada o rectangular, mientras que las prefabricadas son circulares o elípticas.

De acuerdo al inventario realizado, se verificó la existencia de alcantarillas de tubos de hormigón, alcantarillas metálicas y alcantarillas tipo cajón de mampostería de piedra.

En función a los datos obtenidos en el Informe de HIDROLOGÍA, se verificaron las capacidades de las diferentes alcantarillas, utilizando el modelo hidráulico para resolución de alcantarilla HY8.

Realizada la evaluación de estas obras, se llegó a la conclusión de que se tienen que *mantener o conservar nueve (9) alcantarillas tipo cajón* con las mejoras indicadas; *renovar trece (13)* con tubería de hormigón armado con junta elástica por haber cumplido con su vida útil y aumentar el diámetro de éstas para un mejor mantenimiento.

### Sub Drenaje

De acuerdo al inventario y diagnóstico realizado y por el tiempo de vida útil que tienen las tuberías perforadas de hormigón, se determinó la renovación total del sub – drenaje, tanto en el carril de subida como en el carril de bajada, su ubicación está

indicada en los planos y también se consideró las recomendaciones del estudio Geológico, el material a ser utilizado será el PVC ASTM 3034.

El propósito del drenaje subterráneo es eliminar el exceso de agua del suelo a fin de garantizar la estabilidad de la plataforma y de los taludes de la carretera. Ello se consigue interceptando los flujos subterráneos, y haciendo descender el nivel freático con el objeto de disminuir las presiones de poro o impedir que estas aumenten.

### **Drenaje Superficial**

De acuerdo al inventario y evaluación realizada, la mayoría de las cunetas presenta grietas, desprendimientos de la capa de hormigón y en algunas cunetas trapezoidales erosión de la solera, por lo que se recomienda construir nuevas cunetas, su ubicación está indicada en los planos, el material para la construcción será el hormigón armado.

En varios sectores de la Autopista han desaparecido los bordillos y en otros no se colocaron, por lo que se recomienda construir bordillos de cuneta, su ubicación están indicados en los planos.

Se ha previsto el emplazamiento de bordillos de cuneta en las curvas internas de los tramos en terraplén a fin de proteger el talud, conduciendo el agua proveniente de la plataforma por medio de canales de salida.

En las zanjas de coronamiento, la mayoría presenta grietas, algunas han desaparecido por pequeños deslizamientos o nuevos asentamientos humanos (Urbanizaciones), por lo que se recomienda construir nuevas zanjas de coronamiento, su ubicación está indicada en los planos, el material para la construcción será la mampostería de piedra.

Las zanjas de coronamiento así como los canales en banquetas son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas de lluvia, evitando su escurrimiento por el talud.

Existen bajantes que provienen de las zanjas de coronamiento, las cuales se encuentran en la mayoría de los casos en malas condiciones de funcionamiento, por lo que se recomienda renovarlas ya no con mampostería de piedra sino con hormigón armado, su ubicación está indicada en los planos.

Existen cámaras interceptoras a lo largo de la Autopista que serán renovadas por haber cumplido con su vida útil y nueva ubicación, el material para la construcción será el hormigón armado por ser parte de la plataforma de la Autopista.

Existen desarenadores que serán renovados por haber cumplido con su vida útil y por nueva ubicación de acuerdo a proyecto, el material de construcción a ser utilizado será el hormigón armado.

### Tuberías Pluviales

Según evaluación y diseño de las alcantarillas pluviales, se recomienda renovarlas con tuberías de Hormigón Simple de diámetro nominal (DN) 400 mm., que coincide con los diámetros indicados en las Norma de la ABC, Drenaje de la Plataforma – Diseño de Colectores; además de que el caudal considerado para estas alcantarillas es inferior a 0,50 m<sup>3</sup>/s (con una media de 0,097 m<sup>3</sup>/s), es por esta razón que se determinó adoptar el diámetro de 400 mm., con junta elástica.

### Hidrología e Hidráulica del río Choqueyapu

Para la modelación hidrológica de la cuenca del río Choqueyapu, se utilizó el Método HEC-HSM y el Método HEC-RAS para la modelación hidráulica, en Anexo 8 del Estudio de Hidrología e Hidráulica, se adjunta el cálculo.

Realizando combinaciones con los diferentes métodos y con las consideraciones y criterios antes descritos, se ha obtenido un caudal máximo de 82,1 m<sup>3</sup>/s, **ver Anexo 8.1**, del Informe de Hidrología e Hidráulica.

El valor obtenido mediante el HEC-HMS es menor a los que presenta la *REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE DRENAJE PARA EL ÁREA URBANA DE LA PAZ*, en el cual se tiene un caudal de 106,2 m<sup>3</sup>/s para el mismo punto de control del modelo.

La variación en los caudales se puede deber a la falta de información existente, que si fue conseguida y tomada en cuenta por el estudio específico, en las áreas hidrológica e hidráulica, como es el Plan Maestro.

Se ha realizado el estudio hidrológico de las cuencas de aporte al sector de la autopista, dándose énfasis en el modelado hidráulico (HEC-RAS) de la cuenca alta del Choqueyapu que descarga al canal principal que atraviesa la autopista y que a la vez se constituye en el emisario de las aguas residuales de las urbanizaciones aledañas.

Puesto que el estudio, control y mantenimiento de la canalización y embovedado del Río Choqueyapu está bajo la tuición del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz, bajo la Dirección Especial de Gestión Integral de Riesgos, se ha consultado la *Revisión y Actualización del Plan Maestro de Drenaje Para El Área Urbana de La Paz (Octubre – 2007)*, en cuyo documento se plantea la ampliación de la capacidad hidráulica del conducto abierto del río Choqueyapu en el sector Autopista hasta la Av. Perú con una

sobre elevación de muros con zampeado de piedra, en una longitud aproximada de 1544 metros.

### **Quebradas Mayores**

Existen seis quebradas “mayores” que atraviesan el eje de la Autopista La Paz – El Alto, identificadas como mayores principalmente por su morfología y profundidad. La mayoría de estas quebradas cuentan con obras de ingreso realizadas por parte del Gobierno Municipal de La Paz, puesto que por su influencia y extensión, que involucra a zonas del municipio paceño, son de competencia municipal.

Sin embargo se ha realizado inspecciones a las obras que atraviesan el eje de la vía pertenecientes a estas quebradas constatando lo mencionado en el párrafo anterior y el buen estado de las mismas.

Además se ha modelado el flujo en las alcantarillas (que en su totalidad son de chapa metálica), con el programa HY8, de la Federal Highway Administration de los E.E.U.U., verificando la suficiencia de las dimensiones y características en general.

## **12. ESTUDIO GEOLÓGICO**

La Autopista La Paz – El Alto, se encuentra ubicado en el sector Norte de la ciudad, considerándose una vía principal que vincula dos ciudades muy importantes de Bolivia entre La Paz y El Alto.

El diseño actual quedó reducido debido al constante aumento del tráfico vehicular, registrándose innumerables accidentes, condiciones meteorológicas adversas que afectan el tránsito vehicular asociados a la imprudencia de los conductores, que en las diferentes épocas del año la neblina impide la visibilidad y la de nevada forma una capa hielo sobre la pista. Asimismo, existe deterioro en el pavimento formando baches. Geológicamente existen tres zonas críticas que se encuentran temporalmente en equilibrio y pequeños deslizamientos superficiales en algunos sectores de los taludes con cortes altos que no amerita mayor importancia.

Por las razones señaladas se estableció el “Estudio y Diseño de las obras para la Rehabilitación de la Autopista La Paz-El Alto”, de aproximadamente 12 km de longitud, que posibilita desarrollar un trazado vial con mejores características técnicas. El nuevo diseño de las obras para la rehabilitación de la autopista, comprende el ensanche con cortes de talud, terraplenes en el lado izquierdo como en el lado derecho para adicionar dos carriles a la existente, uno el sentido de subida y otro en el sentido de bajada, así conformando tres carriles en ambos sentidos y la construcción de viaductos, distribuidores y alcantarillas. Para realizar estas obras mencionadas anteriormente el estudio Geológico-Geotécnico es de mucha importancia que a continuación se dará las características geológicas brevemente del valle de la paz y un

resumen de la geología que atraviesa la autopista, mediante un cuadro y un mapa geológico.

La geología del valle de La Paz y sus alrededores es compleja, la topografía accidentada que la caracteriza, con fuertes desniveles en distancias cortas y la presencia de materiales con sedimentos poco consolidados, hace que muchos sectores sea muy vulnerable a los fenómenos naturales.

Remontándose al pasado geológico; se depositaron materiales fluvio-glaciales provenientes de la erosión ocasionada por los deshielos y arrastres de materiales cuyo descenso fue desde la Cordillera Real. Estos materiales fueron erosionados por la acción hídrica de los ríos provenientes del deshielo de la Cordillera y sus afluentes.

Intervienen en la constitución geológica sedimentos arcillosos de origen lacustre de la Formación La Paz, ceniza volcánica “Cinerita Chijini”, sedimentos glaciales y fluvio-glaciales de las Formaciones Calvario, Pura Purani, Milluni, las gravas del Altiplano, gravas Miraflores, torrentes de barro, coluvios deslizamientos, etc. El conjunto de estas formaciones y depósitos forman parte del área de estudio autopista La Paz-El Alto.

## **Geomorfología**

La geomorfología participa de la Cordillera Oriental en su tramo norte, caracterizado por un relieve complejo y muy variado. Con serranías relativamente empinadas y escarpadas, donde intercalan valles fluviales encajonadas con llanuras aluviales estrechas.

La estructura geológica es un factor dominante en el desarrollo de las formas del terreno, entre estas se reconocen a dos grandes grupos el litológico y el estructural, el segundo no se manifiesta en la zona. La litología comprende rocas duras competentes y compactas como ser areniscas y conglomerados, constituyen serranías y altos estructurales. Por el contrario rocas blandas e incompetentes como arenas, limos y arcillas se presentan en las partes bajas.

En consecuencia el control litológico de la zona de estudio presenta rasgo intermedio, en las que tenemos, las gravas de origen fluvio-glaciario, representada por clastos subangulares de cuarcita, arenisca y granito dentro de un matrix arenoso con pedrones de diferentes diámetros de la Formación Calvario y la Formación Purapurani, susceptible a la erosión otorgándole un relieve suave. Otro aspecto intermedio lo constituye los limos y arenas de la Formación La Paz, si bien esta litología es susceptible a la erosión, sin embargo, dada su compacidad la encontramos en ambas ubicaciones topográficas, en los altos y en las partes bajas con típicos paisajes

angulosos y con mayor susceptibilidad a la erosión son las de torrentes de barro, cuya rápida formación no ha permitido tener una compacidad, siendo por lo tanto materiales inconsistentes e incoherentes.

Lo mencionado anteriormente es el resultado de los agentes y procesos geomórficos exógenos y endógenos, entre los primeros tenemos a la erosión, la remoción en masa y la meteorización. En el segundo caso es la orogénesis la responsable del levantamiento de la Cordillera, a partir de la cual los procesos y agentes han intervenido en la degradación de la zona. Por último la acción biótica, donde se incluye la actividad del hombre ha modificado substancialmente el relieve.

### **Aguas Subterráneas**

Las aguas subterráneas tienen notable influencia en la sociedad, a veces favorables cuando se destina al consumo doméstico, usos industriales, riego y perjudicial para la estabilidad de construcciones.

Para realizar un estudio de aguas subterráneas, es de mucha importancia el mapeo geológico. Donde se muestra la distribución en superficie de los afloramientos de las diferentes formaciones y sedimentos cuaternarios. En el área de estudio posee un buen desarrollo de estos sedimentos, en las que se les puede mencionar a las gravas del Altiplano; las formaciones geológicas, Milluni, Purapurani y Calvario; las que tienen una composición gravosa, con fragmentos de granito, subredondeados a bien redondeados; su tamaño varía desde partículas milimétricas hasta pedrones de ½ metro de diámetro y con predominancia de fragmentos de 5 a 15 cm de diámetro, estos sedimentos se comportan como acuíferos y capas permeables.

A lo largo de la autopista se ha inventariado 50 vertientes y sectores húmedos, en 10 de estas vertientes se pudo medir los caudales y en los 40 restantes no se pudo medir los caudales por presentar flujos esparcidos en el talud o puntos húmedos, lo que en épocas de lluvias aumentan los flujos de agua y caudales. Estas se encuentran principalmente en los cortes de talud y terrazas aluviales como las gravas Miraflores. Algunas de estas vertientes son captadas para suministro de aguas en algunas viviendas aledañas a la autopista y otras no cuentan con ningún tipo de obra civil y son utilizadas para el lavado de autos causando riesgo para el tráfico vehicular.

Se excavaron 53 calicatas manualmente para muestreos de suelos a cada 250 metros con profundidad promedio de 2 metros, en las que se aprovechó para verificar los niveles freáticos, se evidenció en 3 calicatas, ver tabla en Informe Geológico.

Cabe mencionar que evidentemente se observa filtraciones en la plataforma en algunos sectores del tramo, aproximadamente 80 % de estas son causadas por roturas de los tubos de drenaje subterráneo por que cumplieron su ciclo y por las infiltraciones de las aguas superficiales que se introducen por las juntas o por sectores donde se encuentra la losa deteriorada.

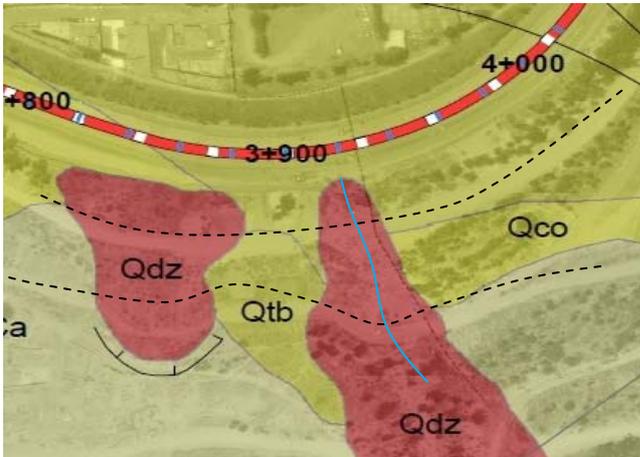
## **Riesgos Geológicos.**

Los factores que constituyen a crear una situación de inestabilidad en una ladera son múltiples: rara vez actúa uno solo, estos se dividen en factores condicionantes y factores desencadenantes. Existen una variedad de factores condicionantes que inciden en los procesos de inestabilidad de laderas y son relativos a la propia naturaleza o características de las laderas, estos factores pueden ser: geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos, geomorfológicos y climáticos.

Con lo mencionado a lo anterior a lo largo de la autopista se identificó 3 sectores críticos a las que se les describe los riesgos geológicos y de amenazas, que están orientadas a elaborar un tratamiento acorde al análisis de campo.

### **Progresiva 3+830 a 4+044.**

Deslizamientos en material poco consolidado, constituido por una mezcla heterogénea de pedrones, gravas, arena y arcillas, presenta una altura aproximadamente de 80 metros, con una pendiente de 50 grados y una extensión de aproximadamente 130 metros, cuenta con dos banquetas que sirve como acceso al plan autopista y el otro al barrio Tangani, en la corona y en los escarpes presentan una erosión retrograda y en cárcavas. El origen de la remoción en masa se produjo por la fuerte pendiente, socavamiento de la base, sobresaturación y la actividad del hombre, la presencia del agua superficial constante, surgencias localizadas de agua, remoción en masa con rumbo al Oeste, desfavorable para la carretera y al tráfico vehicular, puede constituir peligro a largo plazo para el tráfico. Se recomienda reforzar los muros de gaviones existentes y si se realiza movimiento de tierra en la zona deslizada se debe recorrer el muro de gavión hacia el talud en corte, para evitar posibles activación de la masa deslizada, en cuanto al flujo constante de agua se debe encausar mediante alcantarilla o bajante acorde a la cantidad del flujo de agua en época de lluvias y realizar un muro de gavión a la altura del camino de acceso a Tangani, para evitar posibles flujos de material detríticos. Este sector crítico se encuentra en el mapa geológico y sus características y foto en la ficha N° 1.

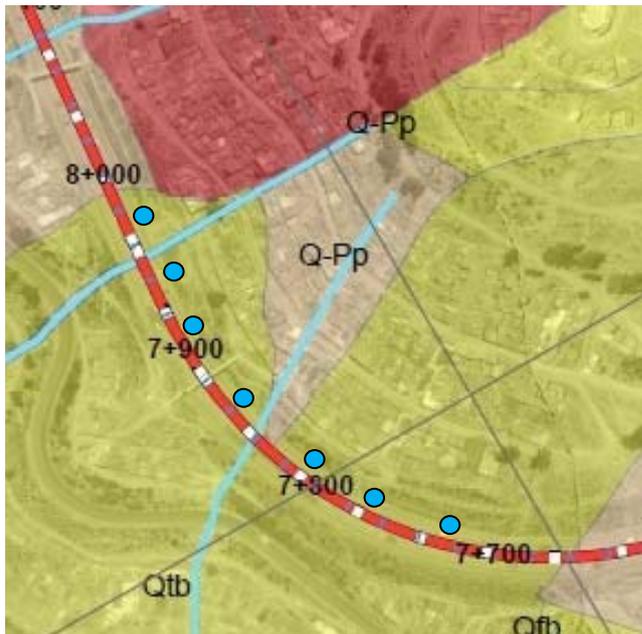


*Figura 1.* Primer sector crítico en la que se observa dos deslizamientos en un estado de equilibrio temporal ver mapeo geológico. En época de lluvia se debe tomar muy en cuenta el mantenimiento de estos caminos que cruzan a estos deslizamientos debido a que en los taludes existen filtraciones las que pueden provocar inestabilidad y colapso.

#### **Progresiva 7+600 a 8+000.**

Deslizamiento y torrente de barro en material poco consolidado constituido por una mezcla caótica de materiales como ser grava, pedrones, arenas, arcillas y limos, altura aproximadamente 35 metros, con una pendiente de 55°, una extensión de 280 metros, con una banquina que actualmente ya no existe debido a la erosión, quedando en algunos sectores pequeños relictos, el sector presenta una erosión retrograda en los sectores de las quebradas de los antiguos ríos intermitentes producto de las aguas servidas de las urbanizaciones y en los laterales del carril de subida del autopista presenta una erosión en carcavas, el origen de la remoción en masa es por la fuerte pendiente, sobresaturación de agua del material caótico y principalmente por la acción antrópica. Se vuelve a recalcar la presencia de agua que es uno de los factores desencadenante, mediante vertiente y humedad en el talud en la mayoría de los casos producidas por el hombre que desestabilizan el talud. Estos sectores de remoción en masa y deslizamientos son desfavorables para la autopista y el tráfico vehicular, se recomienda no realizar cortes de talud en el sector para no desestabilizar y realizar muros de gaviones y sub drenes para evacuar el agua.

*Figura 2.* Segundo sector crítico, en la que se observa puntos de vertientes de agua y humedad en el contacto torrente de barro con la formación Purapurani, **estas vertientes y humedades en el talud es por efecto de las aguas servidas producidas en las**

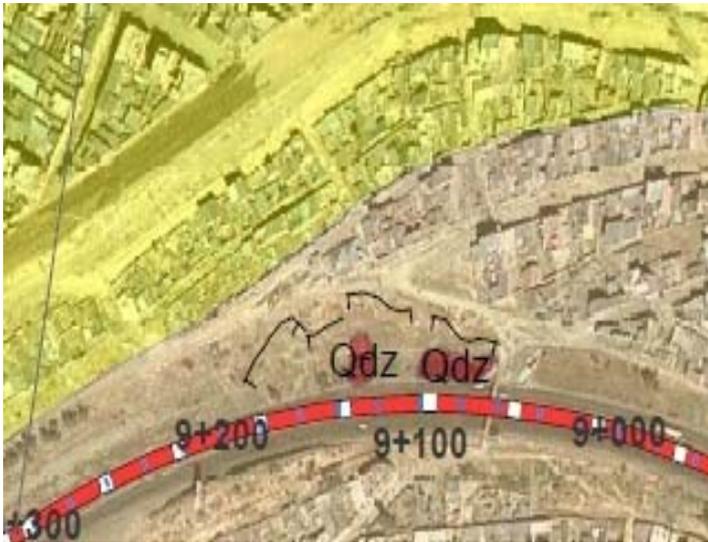


**zonas urbanizadas que utilizan pozos absorbentes y echando aguas indiscriminadamente al talud.** Ver mapa geológico y plano de ubicación de los puntos de vertientes.

● Puntos de vertientes y humedades en el talud.

#### Progresiva. 9+080 a 9+200.

Material poco consolidado, constituido por gravas, arenas, arcillas y pedrones. En este sector se evidencia la presencia un deslizamiento, en que la gran parte de la masa deslizada fue evacuada, quedando en la parte media y el pie algunos relictos de esta masa, ver figura y mapa geológico. La altura aproximadamente de este deslizamiento es 35 metros, con una pendiente de  $50^\circ$  y una extensión de 70 metros, originalmente contaba con una banquina que actualmente no existe debido a la remoción en masa. Actualmente se observa poca erosión en el talud y un estado en equilibrio temporalmente. En este sector en la parte superior del deslizamiento y en los laterales existe material gravoso de la formación Purapurani que actualmente se encuentra saturándose de agua por la actividad antropica, que es el factor desencadenante en la desestabilización, mediante la realización de pozos absorbentes y echando agua a la superficie y a los taludes, saturando el material gravoso que a lo posterior tendría efectos negativos produciendo remoción en masa, en la que se constituirse un peligro a largo plazo para el tráfico vehicular, viviendas y urbanización del sector. A todo lo mencionado anteriormente se recomienda construir muros de gaviones a la altura de la plataforma de la autopista como medio de prevención e instruir a los habitantes del sector no echar agua al talud y concientizar en el uso adecuado del agua.



*Figura 3.* Tercer sector crítico, en la que se evidencia de los escarpes de un deslizamiento, en la que la masa deslizada fue evacuada, quedando así una pequeña parte de la masa. Este sector actualmente se encuentra temporalmente en un estado de equilibrio, de manera que en la corona del deslizamiento el material gravoso de la formación Purapurani actualmente se encuentra saturándose de agua por la actividad antropica, adicionando las aguas de la época de lluvia llegaría a producir una remoción en masa.

Ante todo lo mencionada anteriormente, se debe concientizar a los habitantes de la zona sobre el manejo de las aguas.

### 13. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

La rehabilitación de la Autopista La Paz – El Alto generará algunos impactos ambientales que deberán ser mitigados en la fase constructiva del proyecto.

La Rehabilitación de la Autopista comprende la construcción de tres carriles en los dos sentidos (bajada y subida), cada uno de los carriles tendrá un ancho de 3.5 metros, por lo tanto se tendrá que realizar ensanchamientos de algunos sectores que afectaran a los suelos, taludes de la montaña, vegetación y algunas viviendas. Adicionalmente se construirán varias obras de infraestructura como paraderos, pasarelas y distribuidores.

Para la construcción de la Autopista se contempla la realización de las siguientes actividades:

**a) Campamento:** Se propone la instalación de un campamento y áreas industriales en una explanada existente en el Km 6+200, donde se plantea la construcción de oficinas de la empresa Constructora y la Supervisión, talleres mecánicos para la maquinaria de la empresa contratista, planta mezcladora de cemento para la producción de concreto rígido, tinglado para reparación de maquinaria y depósito de

materiales. Se plantea una serie de medidas de mitigación para evitar la contaminación del aire, aguas, suelos y la vegetación.

**b) Operación de planta de Hormigón:** Esta actividad se realizará en el Campamento del Km 6+200 de la Autopista. Se utilizará los agregados del río Kaluyo, cemento y unos 7.200 m<sup>3</sup> de agua que será provista de una fuente que se encuentra en la “Quebrada Campamento” Se plantean medidas para evitar la contaminación de aguas, aire y suelos.

**c) Bancos de Préstamo en ríos y canteras:** Se plantea utilizar un banco de préstamo ya establecido en la cuenca del río Kaluyo (nacientes del río Choqueyapu) a unos 7 km de la Autopista en dirección NO, que sería el sitio más cercano a la Autopista. Se estima que se utilizarán unos 40.000 m<sup>3</sup> de áridos para el proceso constructivo. Para la producción de los agregados en las plantas trituradoras se estima utilizar unos 600 m<sup>3</sup> de agua del río Kaluyo que finalmente desemboca en el río Choqueyapu. Un plan de manejo se plantea para minimizar los impactos de la extracción de áridos.

**d) Liberación de Derecho de Vía de infraestructura pública y privada.** Una visita a terreno nos indica que serán 25 las infraestructuras afectadas por la obra vial ya que gran parte del nuevo trazado estará ubicado en el actual derecho de vía. Algunas de las afectaciones serán muros y cercos que tendrán que desplazarse como máximo un par de metros. En la construcción de los distribuidores, serán afectadas 4 viviendas particulares y una infraestructura del Servicio Departamental de Caminos.

**e) Excavaciones, movimientos de tierras y corte de talud:** Se realizarán actividades de corte de algunos taludes para ampliar la Autopista con un tercer carril tanto de subida como de bajada. Se estima que en las progresivas de los Km 6 al 7 y entre las progresivas del Km 9 al 10 se realizarán principalmente las excavaciones al lado derecho del carril de subida. Se calcula que serán unos 109.000 m<sup>3</sup> los que serán llevados a buzones de descarga;

**f) Disposición de final de material sobrante en buzones de descarga:** Se prevé generar materiales de corte sobrante de los taludes de corte, los que serán dispuestos en buzones de descarga o botaderos que fueron definidos por el Gobierno Municipal de La Paz.

**g) Afectaciones a cuerpos de agua y construcción de obras de drenaje:** En el río Kaluyo donde se extraerán áridos.

Para las obras de drenaje, de un total de 22 alcantarillas, 9 serán mejoradas y 13 se renovarán con tuberías de hormigón armado con junta elástica, en todo el trayecto de la Autopista. También se tendrán, cunetas, zanjas de coronamiento, bajantes, etc.

**h) Factor Flora:** Para los taludes intervenidos por la ampliación de un tercer carril tanto en la vía de subida como de bajada, se planteará un proceso de Re-vegetación de taludes de corte, terraplén y campamento con especies nativas adaptadas al ecosistema de la Puna.

**j) Señalización y obras complementarias:** Para la señalización se espera construir o instalar: ojos de gato reflectivos, separadores flex been, separador tipo New Jersey, señalización vertical y horizontal, información de presencia del mirador.

**k) Se construirán:**

i) **Paraderos:** Se construirán 7 paraderos con iluminación, basureros, techos de protección del sol y la lluvia, asientos, accesos adecuados, señalización y paneles informativos;

ii) **Pasarelas:** Se construirán dos pasarelas nuevas, 17 serán reconstruidas o reacondicionadas.

iii) **Miradores:** Se construirá un mirador, en el Km 10+138. Esta infraestructura tendrá todas las comodidades para disfrutar del paisaje de la ciudad de La Paz y las montañas de la Cordillera Real.

**l) Se realizarán una serie de cursos de capacitación para los obreros de la construcción vial sobre los siguientes temas:**

- Área protegida municipal.
- Seguridad vial y seguridad industrial.
- Para la población local se plantea capacitación se seguridad peatonal.

## 14. ESTUDIO GEOTÉCNICO

### Introducción

(1) El Estudio Geotécnico, tiene el objetivo de identificar las diferentes unidades de suelos existentes a lo largo de la Vía existente. El Estudio contempla la realización de trabajos en Campo y en Laboratorio, con el fin de determinar la calidad y cantidad de los suelos existentes.

(2) La investigación geotécnica, permitió identificar los diferentes materiales que constituyen los suelos del terreno de fundación, subrasante y sub base de la actual Vía, de manera que puedan obtenerse la suficiente información técnica para la reconstrucción de la vía. Para este cometido se prestó especial atención a la caracterización, distribución y clasificación de suelos en la sub base, subrasante y terreno de fundación.

(3) En el presente informe se presentan los resultados de las **53 calicatas** efectuada en la calzada, 46 calicatas según la metodología de 3 bolillos y se ha incluido 7 calicatas adicionales para completar el número mínimo indicado en los Términos de Referencia y comparar resultados, el detalle se puede observar en el Cuadro 1 del Informe de Geotecnia.

(4) Se estudiaron también los materiales de sectores que pueden ser utilizados como Yacimientos y/o Bancos de Préstamos que permitan obtener materiales de buena calidad, los cuales servirán para la obtención de materiales destinados a cubrir las necesidades en la construcción de las capas de Terraplén, Sub Base y Base; como también para los agregados que conforman la Estructura del Pavimento, estos generalmente se encuentran a distancias relativamente cercanas y dentro del área de influencia del proyecto.

### **Trabajos de Campo y Laboratorio**

(1) Esta fase de trabajo consistió en la apertura o excavación de 53 calicatas, las ubicaciones fueron consensuadas con el Analista de Geotecnia de la Gerencia Región Norte de la ABC, cada doscientos cincuenta metros (250 m.), tienen como finalidad conocer el tipo de material y su distribución en cada punto de sondeo, además establecer las condiciones de humedad, consistencia, compacidad de los suelos, además de la disposición estructural de la sub base, subrasante y terreno natural existente.

(2) Establecidos los puntos de sondeo se procedió al correspondiente muestreo y traslado a Laboratorio de Suelos y Materiales ubicado en la población de Patacamaya, para proceder a la ejecución de los ensayos correspondientes. Se realizaron los ensayos a las 124 muestras obtenidas, puesto que cada calicata constaba de más de una capa.

### **Características de los Suelos en la Vía**

(1) Los suelos identificados que constituyen el perfil de la actual vía consistente en: sub base, subrasante y terreno natural, son resumidos en los cuadros N° 2, 3, 4 y 5 del Estudio de Geotecnia.

(2) Las características de los grupos de suelos señalados anteriormente son descritos a continuación:

**Suelos Granulares**, los suelos de naturaleza granular (A-1 y A-2) representan el 100 % de las muestras analizadas para las Capas C1 y C2, el 93.75 % para la Capa C3 y 50% para la capa C4.

**Suelos Finos**, estos materiales de granulometría fina (A-6 y A-7) están representados por limos y arcillas, representan el 6.25 % para C4 (A-7-5 (9)) y con 50 % para C4 (A-6 (1) ).

### Tipo de Materiales Predominantes

De acuerdo a los análisis efectuados de los materiales constituidos en la vía se muestra el material predominante por capa que constituye el paquete estructural actual:

- En la capa sub base el material predominante es el A-1-a
- En la capa subrasante el material predominante es el A-2-4
- En el terreno natural, el material predominante es el A-2-6

### Yacimientos y/o Bancos de Préstamo

(1) Se tienen identificados tres (3) Yacimientos y dos (2) Bancos de Préstamo Lateral cuya aplicación resultara adecuada para distintas alternativas de diseño estructural que se plantean.

(2) En el siguiente cuadro se resumen algunas características de los mismos:

**Cuadro 2**

**Resumen de ensayos de Yacimientos y/o Bancos**

Yacimiento y/o Banco	PROFUNDIDAD (m.)		CLASIF. DE SUELOS	C.B.R. AASHTO T - 193	
	DE	A		C.B.R. (0.1 Pulg)	
			AASHTO	100%	95%
YACIMIENTO SAN ROQUE	0.00	1.80	A-1-a (0)	63	39
YACIMIENTO RIO KALUYO	0.00	1.30	A-1-a(0)	51	34
YACIMIENTO RIO SECO	0.00	1.40	A-1-a (0)	64	42
BANCO DE PRESTAMO Km 7+250	0.00	1.50	A-2-4 (0)	43	28
BANCO DE PRESTAMO Km 7+500	0.00	1.50	A-1-a (0)	49	36

(3) Estos materiales también fueron sometidos a ensayos complementarios de Equivalencia de Arena, Ensayo de Desgaste (Los Ángeles) y de Durabilidad, los que constituyen un complemento a los ensayos de Caracterización, Compactación y C.B.R.

### Estabilidad de Taludes en Sectores de Corte

Para el cálculo de estabilidad de taludes se determinaron parámetros geotécnicos, para los que se tomaron muestras inalteradas de las cuales se procedió a ensayar al corte obteniéndose los valores de Peso Especifico, Cohesión y Angulo de fricción interna como se aprecia en el cuadro 6 del Estudio de Geotecnia.

### Análisis de Estabilidad de Taludes de Corte

(1) El valor mínimo aceptable para el Factor de Seguridad (FS) fue adoptado en 1,1 para todos los análisis, con altura crítica de cada sector.

(2) Para los taludes que no cumplieron con el mínimo valor de FS para una determinada pendiente de corte, se procedió a realizar un análisis adicional mediante una nueva propuesta de pendiente hasta cumplir con la seguridad requerida. Las alturas críticas de los taludes al ser en la mayoría de los casos mayores a 10 metros requieren el empleo de banquetas, para los taludes estudiados se recomienda banquetas de 3.0 m a 3.5 m, como se puede apreciar en las graficas de estabilidad de cada uno de los Taludes.

(3) En el cuadro N° 7, del Estudio de Geotecnia, se muestra resumen de cálculos efectuados.

### **Puentes, Viaductos y Pasarelas**

(1) En el desarrollo del Tramo se procedió a la evaluación de las Obras de Arte Mayor. Estas estructuras fueron verificadas desde sus fundaciones por medio del Ensayos de Penetración Estándar (SPT) con la finalidad de obtener la Capacidad Portante del suelo y así poder verificar la condición actual y poder tomar acciones correctivas y/o de mantenimiento.

(2) Las estructuras proyectadas contaron con estudios y análisis para el establecimiento de la capacidad portante de los suelos a nivel de fundaciones, así como de sus niveles previstos de asentamiento mínimo. Los Viaductos por tratarse de obras de mayor envergadura contaron con un estudio más a detalle y caracterización geológica y geomecánica de los suelos de fundación que servirán de soporte a estas estructuras.

(3) El Estudio contempla la toma de muestras inalteradas in situ y la realización de ensayos de Mecánica de Suelos en Laboratorio, con el fin de determinar las propiedades y la calidad de los suelos existentes.

(4) La investigación fue realizada según la siguiente identificación de Puntos de Ensayos para las estructuras proyectadas para el Proyecto la Autopista La Paz – El Alto, véase el Informe de Geotecnia, **Anexo 1 Plano de Ubicación de Ensayos**.

### **Capacidad de Soporte Admisible de los Suelos (Método Hough)**

(1) A partir del  $N_{SPT}$  corregido y a la clasificación de suelos la carga admisible del terreno se obtuvo utilizando los ábacos ampliamente utilizados de B.K.Hough del libro Basic Soil Engineering, que es tanto para suelos plásticos como no plásticos.

(2) Los resultados que se obtuvieron se muestran a detalle en la Tabla N° 5 en el Estudio de Geotecnia.

### **Fundaciones Superficiales, Capacidad de Carga y Asentamientos.**

(1) Mediante los ensayos de SPT para las estructuras del Proyecto de la Autopista La Paz El Alto, se obtuvieron valores de capacidad portante de los suelos, mediante correlaciones usando ábacos de B.K. Houg, es así que se realizara el cálculo de la capacidad portante del suelo tomando como datos necesarios a la cohesión, Angulo de fricción, dimensiones, nivel de fundación y asentamientos que pueden tener las cimentaciones.

### **Introducción.**

(1) Se define a la parte inferior de una estructura que se denomina generalmente cimentación y su función es transferir la carga de la estructura al suelo en que esta descansa. Al incrementar la carga o peso conduce al suelo a un asentamiento excesivo o bien a una falla cortante del suelo, provocando daños a la estructura. Es por estas razones donde se debe realizar evaluaciones y ensayos al terreno de fundación con respecto a las capacidades del suelo.

(2) Dependiendo del tipo de fundación y suelos identificados se deberá identificar el tipo de cimentaciones de diferentes tipos. La figura N° 3, en el Informe de Geotecnia, nos muestran tipos de cimentaciones más comunes.

### **Capacidad de Carga Última de Cimentaciones Superficiales**

(1) Terzagui (1943) fue el primero en presentar una teoría para evaluar la capacidad última de carga de cimentaciones superficiales, la cual manifiesta que una cimentación es superficial, si la profundidad  $D_f$ . (Figura N° 4, en Informe de Geotecnia) de la cimentación, es menor que ó igual al ancho de la misma. Sin embargo, otros investigadores han sugerido que cimentaciones con  $D_f$ . sean igual a 3 o 4 veces el ancho de la cimentación, y se definen como cimentaciones superficiales.

(2) El efecto del suelo arriba del fondo de la cimentación, se supone remplazado por el efecto de una sobrecarga equivalente  $q = \gamma D_f$ . (Donde  $\gamma$  = peso específico del suelo). La zona de falla bajo la cimentación se separa en tres partes como muestra la figura N° 4, en Informe de Geotecnia.

Para el análisis de las fundaciones de las Estructuras de la Autopista se realizo mediante el análisis de equilibrio, Terzagui, expreso la capacidad de carga ultima en las cimentaciones corridas es decir de un ancho "B" y una longitud "L", de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \quad (\text{cimentación corrida})$$

Donde:

C = Cohesión de suelo

$\gamma$  = Peso específico del suelo

$q = \gamma D_f$ .

$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_y$  = factores de capacidad de carga adimensionales que están únicamente en función del Angulo “ $\phi$ ” de fricción del suelo.

(2) Los factores de capacidad de carga  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_y$ , se definen según la tabla 3.1 indicada en Informe de Geotecnia, factores de capacidad de carga según kumbhojkar (1993) véase *Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja. M. Das*.

### Factor de Seguridad

(1) El cálculo de la capacidad de carga admisible total para cimentaciones superficiales, requiere la aplicación de un factor de seguridad (**FS**) a la capacidad de carga última, mediante la siguiente relación:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

(2) El factor de seguridad adoptado para el cálculo de análisis de capacidad portante del suelo y sus asentamientos será el valor de 3 que garantice la seguridad de las estructuras que se diseñan.

(3) Sin embargo la capacidad de carga ultima neta se define como la presión ultima por unidad de área de la cimentación que es soportada por el suelo en exceso de la presión, causada por el suelo que rodea el nivel de la cimentación y el peso específico del suelo, para lo cual se utilizo la siguiente ecuación:

$$q_{neta(u)} = q_u - q$$

donde  $q_{neta(u)}$  = capacidad de carga última neta

$$q = \gamma D_f$$

Entonces

$$q_{adm(neta)} = \frac{q_u - q}{FS}$$

### Cálculo de Asentamientos

(1) Para el análisis de asentamientos para las estructura proyectadas en el diseño final de la Autopista se realizaron cálculos que toman en cuenta el asentamiento que puedan tener las estructuras, esto para el buen funcionamiento de los mismos, es por este motivo que utilizamos el cálculo de asentamientos usando la teoría de la elasticidad, para cimentaciones superficiales aplicando como referencia la figura N° 5, indicada en Informe de Geotecnia, que nos muestra el asentamiento elástico en fundaciones superficiales y la ley de Hooke.

(2) El asentamiento inmediato para cimentaciones rígidas se expresa en la siguiente ecuación:

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha, \quad (\text{cimentación rígida})$$

*Véase Principios de Ingeniería de Cimentaciones Braja. M. Das.*

Los valores de  $\alpha$  para varias relaciones L/B de cimentaciones, se muestran en la figura N° 6, en Informe de Geotecnia.

## 15. ESTUDIO SOCIO ECONÓMICO

Este estudio fue realizado, tomando en cuenta las características técnicas de la Autopista La Paz – El Alto, con el antecedente que esta vía ha sido Diseñada y Construida desde la gestión 1973 hasta 1978, más de 30 años, con una vida útil a la fecha ya superada.

Se justifico el Proyecto de Rehabilitación de la Autopista La Paz – El Alto debido a que las vías de comunicación terrestre son fundamentales para promover el crecimiento y desarrollo. Las principales Instituciones de fomento a Nivel Nacional, Departamental y Municipal, priorizan el mejoramiento de esta infraestructura.

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo, en el sector de Transporte y Comunicación denominado “Desarrollo y Mantenimiento Vial”, cuyo objetivo principal es la integración física del país y de los mercados internos y externos, de igual manera la Autopista La Paz – El Alto es prioridad en el Plan Departamental de Desarrollo de La Paz, debido a que se alinea en uno de los planes la Ruta No. 1 “Caminos – La Paz Integrada”, que coadyuvará a mejorar la deficiente integración vial de La Paz a nivel Departamental, Nacional e Internacional.

Dentro de los objetivos, se indica, un Objetivo General y los Objetivos Específicos. Como General se indica que se debe contar con una Autopista de adecuadas características Técnicas, que ofrezca seguridad a los usuarios, con un Diseño Geométrico que optimice los Sistemas de Drenaje y Sub-drenaje, con taludes estables y con una capa de rodadura que garantice las condiciones de transitabilidad. Como objetivos Específicos, todos los aspectos que garanticen una transitabilidad permanente en condiciones técnicas y económicas aceptables, reduciendo el tiempo y costo de traslado de la población.

El Estudio Socioeconómico detalla y describe los actuales problemas por sectores que se presentan, recomendando soluciones puntuales como los Viaductos a la altura del Plan Autopista, Ciudadela Ferroviaria y Achachicala y las Pasarelas Pedro Domingo Murillo y Munaypata y dos Viaductos en El Alto, pasando el peaje.

El Estudio sobre los Planes y Proyectos del Sector Transporte del Municipio de La Paz y del Municipio de El Alto. En general se sugiere para el Proyecto “un sistema integrado de Transporte Público El Metro Bus La Paz, con un modelo de rutas. Estos los relaciona con los planes de Transporte Público, Plan vial y plan peatonal (es necesario considerar estas sugerencias), de igual manera apoyar al proyecto “Nayrir Punku” que pretende crear un distribuidor de tráfico en la ceja de la urbe alteña.

Definición del área de Influencia de la Autopista La Paz – El Alto, que en general se define como la delimitación de la zona geográfica, sobre la cual de manera directa o indirecta la Rehabilitación de la Autopista La Paz – El Alto influirá, en su economía y ahorro de tiempo de la población.

Sobre el área de influencia directa, todos los habitantes de las ciudades de La Paz y El Alto, tendrán una participación directa en el uso y beneficio que ofrecerá la Autopista, a través de la zona norte y sus correspondientes Rutas de Acceso.

Los indicadores Socio Económico, fueron analizados por el Especialista que tiene a su cargo este estudio, con las respectivas estadísticas e Indicadores extractados de las diferentes fuentes (INE, GAMLP, GAMEA, etc.).

Las principales características del Municipio de La Paz y del Alto fueron analizadas desde su ubicación Geográfica, División Política Administrativa, Aspectos Socio Culturales, Etnográficos, Educación, Salud, Saneamiento Básico, Vivienda, Uso de Energía, Estructura Vial y Transporte y Recursos Turísticos.

Sobre el área de Influencia Indirecta, se considera que el resto del Departamento de La Paz y el Estado Plurinacional de Bolivia, se beneficiará de manera indirecta del Proyecto así como las rutas interdepartamentales que concluyen a la red fundamental N° 2. En igual forma se puede mencionar las vías alternas a la Autopista que tiene origen y destino entre la ciudad de El Alto y la ciudad de La Paz.

Se hicieron análisis detallados de los Distritos 9, 10 y 11. El INE realizó una proyección de la población de la sección Capital – La Paz, a partir de la gestión 2001 al 2010, de la misma se obtuvo la tasa de crecimiento promedio del 0.14%, la misma que fue utilizada para la proyección del crecimiento poblacional de los distritos 9, 10 y 11, donde se encuentra la Autopista La Paz – El Alto.

La Paz está entre los departamentos con más bajo crecimiento, menos que la economía nacional, y eso es un signo “de estancamiento de la región”. Las exportaciones del departamento también disminuyeron desde los años 80. Originaba el 37,8 por ciento de las exportaciones nacionales; éstas alcanzaron en 1988 sólo el 2,9 por ciento. En los años 90 se recuperaron y en 2000 ascendieron a 11,9 por ciento. En 2005, otra vez bajaron, a 7,5 por ciento, las ventas aún no llegan a los 397 millones

de dólares de 1980, tomando en cuenta que son dólares corrientes, y en 2007, sólo alcanzaron a 363 millones.

En el primer cuatrimestre de 2008, el valor total de las importaciones de Bolivia alcanzó los \$us 1.406 millones, monto mayor en \$us 407 millones a los registrados en similar periodo de 2007, de los cuales el principal incremento se explica por el aumento de un 46,2% en las importaciones de vehículos automotores que fueron introducidos por los departamentos de La Paz en un 36,8%, Cochabamba 26,7% y Santa Cruz 23,2%, regiones en las que se proyecta un vertiginoso crecimiento del parque automotor y que puede provocar más caos vehicular en las ciudades.

Por su parte, la Superintendencia de Pensiones, Valores y Seguros (SPVS) registra en su base de datos que el parque automotor del país creció un 16,2%, porcentaje que fue corroborado por el Registro Único para la Administración Tributaria Municipal.

## 16. ESTUDIO ESTRUCTURAS

### REACONDICIONAMIENTO

#### DATOS GENERALES DE LAS ESTRUCTURAS MAYORES

(1) Para la evaluación de estructuras y obras de arte existentes, se ha recabado información y realizado un inventario de las estructuras mayores donde se indica el estado actual de cada puente, viaducto o pasarela, habiéndose realizado un listado general y llenado las correspondientes fichas para el "Inventario de Obras de Arte Mayor", en las que se detalla su disposición, medidas generales, referencia geográfica, diagnóstico y esquemas de su ubicación en general sobre las que se basa todo el análisis, sobre las cuales se presentan las recomendaciones iniciales.

(2) En las descripciones de cada obra resalta los siguientes puntos:

**a) Proyecto Original.-** Si se mantiene el proyecto original realizado en 1977, o fue modificado totalmente o parcialmente.

**b) Infraestructura.-** Se describió los estribos siendo estos de hormigón armado, la altura de los mismos, el tipo de la pila central, su altura, las fundaciones si son directas, los apoyos si son neoprenos simples, en general si la infraestructura presenta buen aspecto, se tiene buen acabado.

**c) Superestructura.-** Si es mixto, su longitud, si es o no esviado, si los tramos son isostáticos, de igual longitud, si las vigas principales fueron prefabricadas en hormigones pretensado, con encofrados metálicos, si

estructuralmente son de tipo VPR y presentan buenos aspectos, si tiene buen acabado.

(3) Fichas de Inventario de Puentes y fotos se complementan para dar una idea completa del estado real de la estructura que se resume en función al siguiente cuadro.

### **ESTUDIOS DE EVALUACIÓN REALIZADOS**

Para realizar en forma adecuada la evaluación de todas las estructuras existentes se ha establecido realizar ensayos con el esclerómetro para determinar la resistencia de las estructuras existentes (Anexo 2, Informe de Estructuras), de igual forma para la evaluación de la capacidad portante de los suelos y los parámetros de cohesión y ángulos de fricción de los suelos en lugares donde se ha considerado implementar o modificar las estructuras existentes se ha establecido realizar ensayos de corte directo, y los ensayos de penetración estándar (SPT) resultados con los cuales se realizó la valoración adecuada de las estructuras existentes.

### **Resultados Obtenidos de los ensayos de Esclerómetro**

En función a los estudios realizados se ha podido determinar que la resistencia del hormigón en prácticamente todos los casos es superior a la establecida en el diseño, presentando deterioros puntualizados en la capa rodadura de losas, por el desgaste de las mismas, los resultados obtenidos por elementos de este análisis se encuentran adjuntos al informe en el Anexo 2 para cada una de las estructuras propuestas.

### **Resultados Obtenidos de los Ensayos de Suelos**

En el desarrollo del Tramo se procedió a la evaluación de las Obras de Arte Mayor. Estas estructuras fueron verificadas desde sus fundaciones por medio de los Ensayos de Penetración Estándar (SPT) con la finalidad de obtener la Capacidad Portante del suelo, dentro del estudio para las estructuras proyectadas se realizaron análisis para el establecimiento de la capacidad portante de los suelos a nivel de fundaciones, así como de sus niveles previstos de asentamiento mínimos. Los Viaductos por tratarse de obras de mayor envergadura contaron con un estudio más a detalle y caracterización geológica y geomecánica de los suelos de fundación que servirán de soporte a estas estructuras, el detalle de los estudios realizados se presentan en el Informe de Geotecnia referente a Puentes, Viaductos y Pasarelas.

### **OBRAS DE REHABILITACION DE ESTRUCTURAS EN FUNCION AL DISEÑO GEOMETRICO**

(1) Se debe tener en cuenta en el análisis que se realizó para cada una de las estructuras, que se optimizaron al máximo la infraestructura existente, en este entendido para la rehabilitación de las estructuras se consideraron los siguientes aspectos:

- 1) Se toma en cuenta el ancho de la estructura en función a la sección obtenida de acuerdo al diseño geométrico con la incorporación de carriles de aceleración y desaceleración en puntos de parada y se evaluó si existe el espacio suficiente entre apoyos para determinar si las estructuras se mantienen o tiene que ser reconstruidas o readecuadas.
- 2) Se estableció que las estructuras que se mantendrán debido a que se ajustan al ancho de la sección típica propuesta en cada una de las alternativas deben tener un galibo superior a 4.2 m que corresponde al vehículo de diseño de la normativa, considerando la sobre carpeta de hormigón no adherida como solución óptima para el diseño de pavimentos.
- 3) Para todas las estructuras que no cumplan con el galibo mínimo de 4.2 m se propuso suspender las mismas a una altura de 5.5 m, debido a que las mismas ya cuentan con graderías de acceso, se reacondicionan los accesos a cada una de las pasarelas.
- 4) Por último se determinó que todas las estructuras nuevas propuestas deberán ser proyectadas con un galibo de 5.5 metros.
- 5) Se consideró que en el perfil longitudinal la rasante actual al inicio y al final de proyecto es coincidente con la rasante existente, ya que todo el sistema de drenaje principalmente de la ciudad del alto conjuntamente con el nivel de las calles ya se encuentra definido.
- 6) Al igual que en el caso anterior es importante establecer que en los puentes que se encuentran al nivel de la rasante del proyecto como es el caso de los viaductos VP-2 y VP-6 el perfil longitudinal mantiene nivel actual de la rasante.

(2) Se presenta un cuadro resumen, en Informe de Estructuras, página 40, de las actividades que deben realizarse para poder reacondicionar las estructuras existentes

(3) Del cuadro indicado en Informe de Estructuras, página 40, podemos determinar que a la cantidad total de estructuras se deben realizar los siguientes trabajos:

- *Mantener las estructuras.*- Realizando trabajos menores que implican limpieza, cambio de aparatos de apoyo, reparación de aparatos de apoyo o la reposición de la carpeta de rodadura en un total de 9 estructuras.
- *Ampliar.*- Realizando trabajos que implican reformular la configuración estructural incrementando vigas o ampliando la losa en un total de 2 estructuras.
- *Suspender.*- Realizando trabajos que implican reformular la altura de los apoyos y mejorar los accesos a las estructuras en un total de 5 estructuras.
- *Demoler.*- Realizando enteramente trabajos de demolición sin que se considere la reconstrucción de la obra por que la misma dentro de la concepción de la autopista no sea requerida en un total de 6 estructuras.
- *Reconstruir.*- Que implica la demolición y reconstrucción de nuevas estructuras sin poder reutilizar las estructuras existentes debido a que las luces requieren ser incrementadas de acuerdo a las nuevas disposiciones de la vía en un total de 4 estructuras.

(4) En función a los resultados obtenidos de la evaluación técnica y los ensayos de laboratorio se determino que de un total de 26 estructuras existentes *16 pueden ser reacondicionadas en función a sus características existentes, 10 estructuras deben ser desechadas y de estas se deben reconstruir 3* para generar los pasos peatonales establecidos desde ya por el uso de la población.

#### **IMPLEMENTACION DE PASARELAS Y PASOS A DESNIVEL PARA ACCESO A CENTROS POBLADOS.**

Dentro del alcance establecido del proyecto se considera rehabilitar estructuras que se encuentran inmersas dentro del radio urbano bajo la administración de los municipios de La Paz y principalmente El Alto, motivo por el cual en el diseño de las obras que son propuestas se presenta una subdivisión de las mismas considerando dos tramos, el primero que abarca de la Prog. 0+000 a la 10+480 que corresponde a la ubicación del peaje de la autopista, y un segundo tramo que se abarca de la Prog. 10+480 a la progresiva 11+100 que se encuentra prácticamente inmersa dentro del radio urbano del municipio de El Alto con lo que se establecen las cantidades de obra.

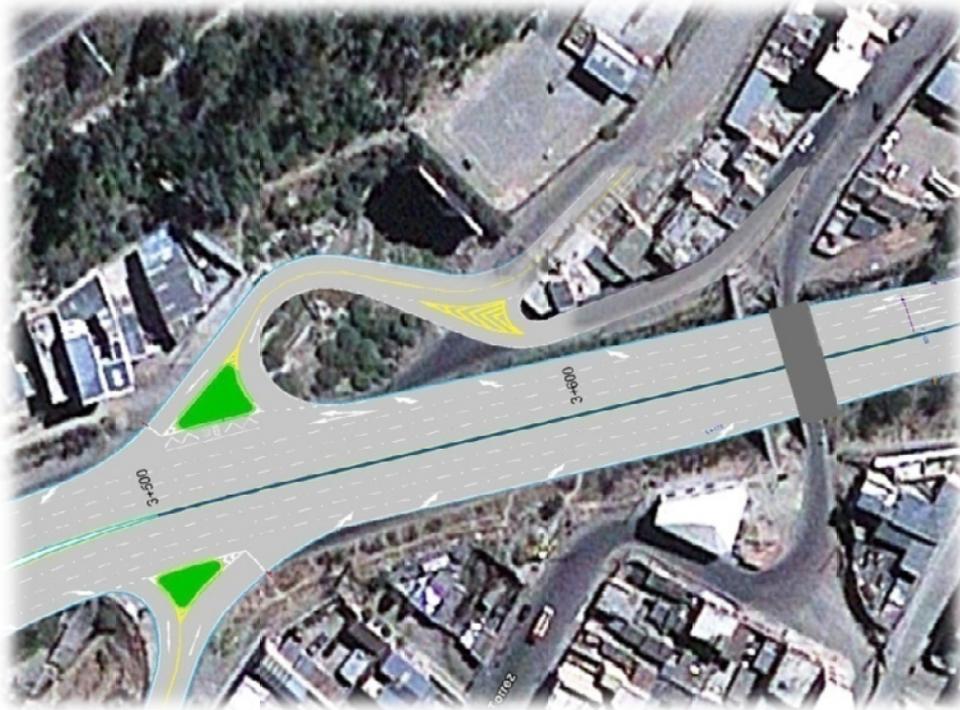
#### **OBRAS NUEVAS A SER IMPLEMENTADAS**

Una vez realizado el Estudio de Identificación se determino la creación de las siguientes estructuras.

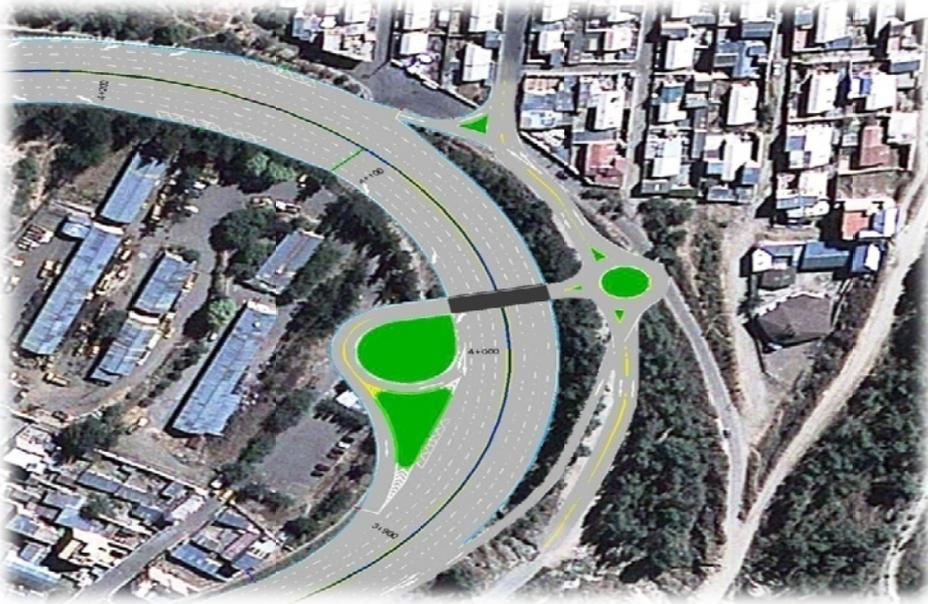
<b>Estructura</b>	<b>Ubicación</b>	<b>L. Total (m)</b>	<b>Tipología de Obra Propuesta</b>
<b>Pasarela</b>	1+300	48.00	Pasarela Recta de Dos Tramos y una Rampa de Acceso (Pa -1 Desechada)
<b>Viaducto</b>	3+650	35.60	Puente Mixto Recto de un tramo isostatico Infraestructura H <sup>º</sup> A <sup>º</sup> , Vigas H <sup>º</sup> P <sup>º</sup> , Losa H <sup>º</sup> A <sup>º</sup>
<b>Viaducto</b>	4+025	41.20	Puente Mixto Recto de Dos tramo isostatico Infraestructura H <sup>º</sup> A <sup>º</sup> , Vigas H <sup>º</sup> P <sup>º</sup> , Losa H <sup>º</sup> A <sup>º</sup> con rampas de acceso en ambos carriles
<b>Viaducto</b>	4+680	25.60	Puente de H <sup>º</sup> A <sup>º</sup> esviado 75 <sup>º</sup> de un tramo
<b>Pasarela</b>	8+700	30.60	Pasarela Recta de Un tramo con graderías de acceso hacia la autopista
<b>Viaducto</b>	10+640	30.60	Puente Mixto Recto de dos tramos isostatico Infraestructura H <sup>º</sup> A <sup>º</sup> , Vigas H <sup>º</sup> P <sup>º</sup> , Losa H <sup>º</sup> A <sup>º</sup>
<b>Viaducto</b>	10+924	37.20	Puente Mixto Recto de dos tramos isostatico Infraestructura H <sup>º</sup> A <sup>º</sup> , Vigas H <sup>º</sup> P <sup>º</sup> , Losa H <sup>º</sup> A <sup>º</sup>

(2) En resumen, en el presente estudio además de realizar la rehabilitación de las estructuras existentes se *pretende implementar 2 pasarelas y 5 estructuras nuevas*. Las pasarelas están ubicadas en las progresivas 1+300 (Instituto Pedro Domingo Murillo) y 8+700 (Munaypata) por el flujo peatonal que existe en el sector y cinco viaductos ubicados en las progresivas 3+650 (Achachicala), 4+025 (Plan Autopista), 4+680 (Ciudadela), 10+640 (La ceja) y 10+924 (La Ceja) como se observa en los casos específicos de el viaducto en Achachicala y en el plan autopista esquematizados en las figuras siguientes:

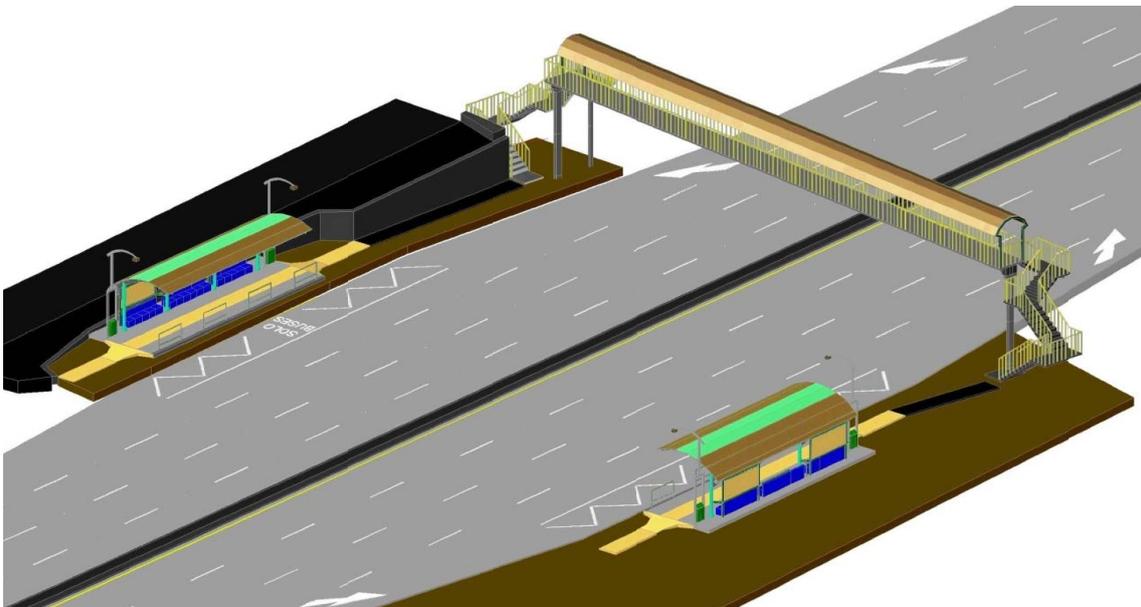
Viaducto Progresiva 3+650 (Achachicala).- Esta estructura sustituirá a las estructuras existentes Pa – 5 (Prog 3+635) y V-P 4 (Prog 3+645) mismas que se encuentran a la altura del campamento del S.E.D.C.A.M y deben ser demolidas debido a que en el caso de la pasarela no cumple con el ancho de calzada requerido, y en el caso del viaducto el mismo tiene un ancho insuficiente para el tráfico que circula por el mismo. La estructura propuesta presenta dos carriles y aceras peatonales en ambos extremos.



Viaducto Progresiva 4+025 (Plan Autopista).- La estructura propuesta presenta dos carriles y aceras peatonales en ambos extremos, la misma cruza en forma transversal a la autopista, permitiendo el acceso al carril de bajada de la zona denominada Plan Autopista, la misma estructura presenta rampas de acceso en ambos carriles que permiten el retorno de vehículos en ambos sentidos.



(3) Independientemente a la incorporación de las nuevas estructuras en el proyecto, también se prevé realizar la rehabilitación de las estructuras existentes, suspendiendo las estructuras existentes y mejorando las condiciones de acceso y desplazamiento a los puntos de parada que ahora son incorporados al proyecto en función al siguiente esquema.



## DISEÑO DE OBRAS COMPLEMENTARIAS

(1) En el “Estudio y Diseño de Obras para la Rehabilitación de la Autopista La Paz - El Alto” se incluyen las obras complementarias y de seguridad, mediante la implantación de muros de contención, que tienen la finalidad de mejorar el trazado geométrico, ensanchando y estabilizando la plataforma en sectores críticos.

(2) La presente memoria de cálculo hace referencia a los procedimientos utilizados para el cálculo estructural de los Muros de Contención de Hormigón Armado y los Muros de Tierra Estabilizada Mecánicamente.

### Ubicación

(1) De acuerdo al trazo geométrico se requieren la creación de 38 muros de contención a lo largo del sub tramo 1 y 6 muros de contención en el sub tramo 2, en total 44 muros de contención con una configuración tipo de las estructuras reforzadas con la denominación de bordillos de Hormigón Armado, Muros de Hormigón Armado y Muros MSE que se distribuyen a lo largo del trayecto del proyecto, esto tomando en cuenta algunos muros adicionales requeridos para la conformación de rampas de acceso y salida de la autopista, mismos que acompañan al ancho de la calzada en forma paralela al trazo definiendo la ubicación y el tipo de estructura más conveniente en función a la topografía del terreno, como se observa en el Anexo 10 Planos de Diseño de Obras Complementarias.

(2) La disposición de los muros así como los materiales empleados se basan en el alineamiento horizontal del diseño geométrico y obedece a una clasificación de tres tipos de estructuras en general: Muros de Hormigón Armado para estructuras comprendidas entre alturas de 3 a 5 metros, bordillos de Hormigón Armado para estructuras que se encuentran al borde del camino y tienen una altura comprendida entre 1 y 5 metros y por último Muros de Tierra Estabilizada Mecánicamente que son utilizados para estructuras donde no existe una superficie de apoyo al borde del camino para alturas comprendidas de 6 a 15 metros, dispuestos en función a los cuadros indicados en Informe de Estructuras.

### Concepción Estructural

(1) Las acciones consideradas para el cálculo están en función al tipo de vehículo de diseño HS-20+25% de la norma AASHTO, y el criterio para la estimación de los coeficientes de empuje están dados por la teoría de Coulomb.

(2) La definición de la geometría de los muros obedece a las condiciones de carga específicas consideradas y las propiedades de los suelos, considerando para el cálculo las propiedades geotécnicas del material de relleno que está compuesto por material granular con  $\phi \geq 30$  grados y una cohesión igual a cero, parámetros que

resultan de la media obtenida en los análisis de corte directo sobre taludes inestables sobre el tramo, valores que representan en general la condición media de los suelos, teniendo en cuenta que en los sectores donde no presenten esta característica se realizara el cambio de material de relleno. Esta analogía nos permite presentar diseños tipo de estructuras que sean aplicables en todos los sub tramos analizados, donde la mejora de las propiedades geotécnicas del suelo se traducirá en un factor de seguridad adicional para cada uno de los diseños considerados, garantizando la estabilidad de las estructuras.

(3) Dentro del análisis efectuado, se ha considerado una resistencia del suelo admisible de  $2.1 \text{ km/cm}^2$  para las estructuras de Hormigón Armado, condiciones que necesariamente serán verificadas durante el proceso de construcción para cada una de las obras propuestas.

### **Muros de Hormigón Armado**

(1) La idealización estructural para el cálculo, se la concibe como un muro pantalla sometido a esfuerzos de flexión con una fundación directa que se apoya sobre el terreno natural, el peso específico establecido para el hormigón es de  $24 \text{ KN/m}^3$ .

(2) La aplicación de este tipo de estructura está condicionada para alturas comprendidas en los 3 m y 5 m. de altura, para contener principalmente terraplenes y taludes al borde de la autopista que se generan a raíz de la generación de paraderos o la inclusión de carriles de auxiliares a lo largo del proyecto.

## **17. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS**

En este documento se presenta el diseño final del pavimento del proyecto “Estudio y Diseño de las Obras para la Rehabilitación y Refuerzo de la Autopista La Paz-El Alto”. Este reporte forma parte de la serie de documentos del Estudio Técnico, Económico y Socio Ambiental (TESA).

De acuerdo a lo presentado en el Estudio de Identificación (EI), se propuso que se consideraran 5 alternativas para la rehabilitación del pavimento existente, indicadas en Informe Diseño de Pavimentos.

Así pues, durante el estudio EI, se concluyó que las Alternativas 1 y 5 tenían algunas inconveniencias de tipo técnico o económico o ambos. Fue de este modo que en base a los estudios realizados y empleando los resultados del análisis con el software HDM-4 que se concluyó que la rehabilitación más viable incluiría una combinación de las Alternativas 2 y 4, esto es, que se empleará tanto una sobrecapa de hormigón no adherida, como una reconstrucción empleando una losa de hormigón con espesor de

pavimento nuevo. Por otro lado, esta combinación de alternativas fue la que a juicio del contratista tendría menos efectos ambientales negativos en la zona del proyecto y un mayor beneficio para la comunidad en general.

## **FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO**

Existen distintos factores que tienen una gran influencia en el diseño de pavimentos. Estos factores tuvieron que ser tomados en cuenta para obtener los diseños óptimos de la nueva estructura y garantizar de este modo su desempeño durante la vida de diseño. Algunos de los factores más importantes que se han considerado son los siguientes:

- Características de la capas de hormigón, subbase y subrasante existentes
- Capacidad estructural del pavimento
- Características del tránsito – histórico y actual
- Condiciones ambientales
- Factibilidad de técnicas constructivas locales
- Disponibilidad de materiales
- Características geométricas y geotécnicas
- Características de rugosidad superficial
- Características de fricción superficial
- Comprobación de características del pavimento por medio del empleo de georadar.

La descripción de estos factores, está indicado en Informe Diseño de Pavimentos.

## **INFORMACIÓN ADICIONAL AL PROYECTO**

### ***Clima y Suelos***

El clima en la zona del proyecto es considerado de montaña con condiciones extremas durante todo el año. La temperatura promedio anual es de 6 °C y se tienen vientos fríos y granizadas y nevadas ocasionales. El promedio de precipitación pluvial anual es de 600 mm y las lluvias se concentran entre los meses de Diciembre a Marzo. El proyecto está localizado sobre una zona de lomerío moderado a fuerte y los suelos que se tienen varían desde arcillas a arenas limosas, siendo estas últimas las que predominan.

En cuanto a los suelos encontrados en el terreno natural los datos de laboratorio procesados a la fecha muestran que se tiene materiales tipo A-6 y A-2-4, la capa subrasante consiste en suelos A-2-6 y A-2-4 y la capa de subbase se clasificó como A-2-4 y en casos A-1-a. Anteriormente se presentó un resumen con la clasificación de las capas del pavimento y del suelo, el informe de geotecnia presenta todos los detalles relacionados con las pruebas realizadas en los materiales del pavimento.

### **Consideraciones Adicionales de Diseño**

La Tabla 11, indicada en el Informe Diseño de Pavimentos, resume los parámetros de diseño adicionales seleccionados para esta etapa del estudio. Estos fueron considerados para el diseño de las alternativas de rehabilitación del pavimento. Como se observa en esta tabla, se han propuesto algunos valores como la resistencia del hormigón y su módulo de elasticidad. Estos valores propuestos en la tabla corresponden a valores que se pueden considerar estándar para el tipo e importancia de la carretera en estudio y de acuerdo a la metodología AASHTO. La guía de diseño AASHTO 1993 empleada en este estudio describe con más detalle las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para la determinación de los valores de entrada en el diseño. Asimismo, los valores de los parámetros de entradas han sido refinados para reflejar las condiciones encontradas comúnmente en los pavimentos Bolivianos.

## **DESARROLLO DE ALTERNATIVAS**

### **ALTERNATIVA DE UBO**

En esta alternativa se requirió calcular la vida remanente del pavimento actual, el espesor efectivo actual de la losa de hormigón existente, el espesor de losa requerido para soportar las cargas de tránsito futuro, y finalmente determinar el espesor de la sobrelosa de hormigón no adherida. Para determinar la vida remanente del pavimento actual se empleó la metodología AASHTO 1993, la cual se obtiene a partir de la Ecuación 1:

$$RL = 100 \left[ 1 - \left( \frac{N_p}{N_{1.5}} \right) \right] \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

RL = vida remanente, porcentaje

$N_p$  = tráfico total a la fecha de análisis, ESALs

$N_{1.5}$  = tráfico total para llevar el pavimento a la falla, ESALs

Para obtener el dato de ESAL acumulado a la fecha ( $N_p$ ) se empleó la información histórica de tránsito disponible, desde la época de antes de la construcción de la carretera, esta información está contenida en el acápite 2 SITUACIÓN ACTUAL DEL TRAMO de los términos de referencia o DBC, en esa sección se tienen datos históricos que fueron considerados en el cálculo de los ESAL. De este modo se obtuvieron los valores de ESAL desde la puesta en operación de la vía hasta la fecha. Estos valores se presentan en la Tabla 12, indicada en el Informe Diseño de Pavimentos.

De acuerdo a esta recomendación y considerando los valores de tránsito históricos disponibles con sus tasas de crecimiento, se estimó que el tráfico total acumulado a la fecha desde el inicio de operaciones de la carretera es de 40.958,468 ESAL.

Por otro lado, el valor de ESAL para llevar el pavimento a la falla es aquel en el cual la serviciabilidad final llega a un valor ponderado de 1.5. De este modo y con los valores presentados en la Tabla 13, indicados en Informe Diseño de Pavimentos, es que se determinó el valor de ESAL para esta condición. Esta metodología se apega a lo descrito en la guía AASHTO 1993. Como se observa en esta tabla, los valores del módulo de ruptura y módulo de elasticidad varían de los listados en la Tabla 11. La razón de esto es que los valores de la Tabla 13 representan las condiciones del hormigón del pavimento existente, el cual con el paso de los años ha adquirido una cierta resistencia, que es mayor a la de un hormigón joven.

Así pues, el tráfico estimado para llevar al pavimento a la falla es de 49.850,371 ESAL. Con estos dos parámetros de ESAL y usando la Ecuación 1 mostrada anteriormente se calculó que el pavimento actual tiene un 18% de vida remanente.

$$RL = 100 \left[ 1 - \left( \frac{40958468}{49850371} \right) \right] \approx 18\%$$

Por otro lado el espesor efectivo de la losa actual del pavimento se estima en base con la Ecuación 2:

$$D_{eff} = CF \times D \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$D_{eff}$  = espesor efectivo actual de la losa de hormigón

CF = factor de condición estimado en base a la vida remanente, ESALs

D = espesor actual de la losa de hormigón

De acuerdo a la metodología AASHTO 1993, el valor del factor de condición se obtiene a partir del valor de vida remanente previamente calculado (18%) y por medio del empleo de la Figura 26, la cual se puede encontrar dentro de la guía AASHTO mencionada y en Informe Diseño de Pavimentos.

Para las condiciones del pavimento de este estudio y con conocimiento de que se tiene una vida remanente de 18%, el procedimiento de la AASHTO arroja un factor de condición (CF) de 0.76, de modo tal que el espesor total de la losa existente (18 a 20 cm) corresponde a un espesor efectivo resultante de entre 13.7 cm y 15.2 cm. Para efectos del prediseño se considerará el mayor de estos como válido.

$$D_{\text{eff}} = 13.7 \text{ a } 15.2 \text{ cm}$$

El siguiente parámetro a determinar en el diseño es el espesor requerido de losa para soportar el tráfico futuro estimado ( $D_f$ ). Este valor se determina utilizando el método AASHTO para pavimento rígido, empleando los valores de entrada mostrados en la Tabla 11 y con el valor de tránsito futuro proyectado para la carretera. Así, la Tabla 14, indicada en Informe Diseño de Pavimento, muestra los valores de entrada para la determinación de este espesor así como el resultado obtenido para  $D_f$ .

$$D_f = 27.3 \text{ cm}$$

En base a los parámetros calculados anteriormente y en base al método predicho, el espesor de losa de hormigón no adherida se calcula en base a la Ecuación 3:

$$D_{OL} = \sqrt{D_f^2 - D_{\text{eff}}^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$D_{OL}$  = espesor requerido de losa de hormigón no adherida

$D_f$  = espesor requerido de losa de hormigón para soportar cargas de tránsito futuro

De tal modo, y racionalizando los valores obtenidos, el espesor de losa no adherida requerido para soportar las cargas del tránsito para los próximos 20 años es de 23.0 cm (9.0 pulgadas).

$$\underline{D_{OL} = 23.0 \text{ cm}}$$

Para reducir los efectos de alabeo de las losas y por tanto los esfuerzos que se desarrollan en las mismas, se recomienda el uso de espaciamientos de juntas de la siguiente manera:

En el sentido longitudinal:

- Carriles de 3.50 m de ancho, usar 2 losas cortas de 1.75 m cada una.

En el sentido transversal:

- En todos los casos emplear espaciamientos de 2.40 m

Con estas recomendaciones se reduce ampliamente el riesgo de agrietamiento aleatorio, ocurrido en el pasado. De la misma manera, el uso de una capa rompedora de fricción ayudará a reducir los esfuerzos de tensión generados en la nueva losa de concreto. Cuando se realice la construcción del pavimento se recomienda realizar corridas con el programa HIPERPAV utilizando como entrada la información actualizada del diseño, materiales, procedimientos constructivos y la información climática durante la construcción para minimizar el riesgo de agrietamiento aleatorio.

### **ALTERNATIVA DE RECONSTRUCCIÓN CON PAVIMENTO RÍGIDO**

Este tipo de estructura de pavimento será colocado a todo lo largo del tercer carril, que estará ubicado a lo largo de la berma existente en ambos sentidos del cadenamiento. Para el diseño de esta alternativa se considera que el material existente en la berma será removido y desechado, para ser posteriormente reciclado. Así, la metodología en este caso se enfoca básicamente en el diseño de un pavimento (losa de hormigón) básicamente nuevo, el cual sería colocado sobre una capa de base estabilizada con cemento de 15 cm de espesor. Los detalles para la construcción de esta capa están contenidos en las especificaciones particulares correspondientes. Igualmente, debajo de la capa de base se deberá de conformar una capa con calidad de subrasante y con un espesor mínimo de 30 cm. La construcción de una capa de base estabilizada con cemento tendrá amplios beneficios para la estructura del pavimento. Algunas de las bondades de esta capa son las siguientes:

- El cemento incorporado al material de base mejora propiedades como la resistencia mecánica, la resistencia a las condiciones del clima (especialmente ante altos índices de saturación).
- En muchos casos permite el uso de materiales que en instancias no cumplen con las especificaciones técnicas para base granular.
- En climas lluviosos aporta una alta resistencia a la socavación en bordes y esquinas en las losas de los pavimentos de hormigón.
- En condiciones de alta saturación la resistencia de la base tiende a aumentar, lo que la hace muy apropiada en zonas de alto nivel freático o de alta precipitación.

### **DETERMINACIÓN DE ESPESOR DE LOSA REQUERIDO**

Con el valor estimado de  $k$  y con los valores de entrada de diseño antes mencionados en la Tabla 11, se empleó la metodología AASHTO para el diseño del espesor. La Tabla 15, indicado en Informe Diseño de Pavimento, muestra el resultado obtenido.

Como se observa en la Tabla 15, el espesor de losa de hormigón requerido para soportar las cargas del tránsito para los próximos 20 años es de 29.5 cm. Así pues, el espesor final recomendado para emplearse en la construcción del tercer carril es de 30.0 cm.

### **D = 30.0 cm**

Del análisis realizado, esta alternativa arroja como resultado la construcción de una losa de hormigón con espesor de 30.0 cm. Este espesor sería el que corresponde a la losa de hormigón reconstruida, en el caso de que se decida remover la losa existente en tramos debido a su alto deterioro y en el caso del tercer carril. Esta losa debe ser construida sobre una capa de base estabilizada con cemento encima de la cual se colocará una membrana rompedora de fricción, que puede estar formada por una capa asfáltica de 2.0 a 3.0 cm de espesor. De manera alternativa, se puede emplear como capa rompedora de fricción un riego de sello que podrá ser elaborado por medio de emulsión asfáltica o con cemento asfáltico en caliente.

Como se mencionó en el caso del diseño de la UBO, esta alternativa de diseño también considera que se deben colocar barras de amarre a lo largo de la junta longitudinal. De igual manera, en las juntas transversales se colocarían pasajuntas de acero que cumplan con los requisitos de la norma ASTM A615 – Grado 60 con 1.5” (38.1 mm) de diámetro por 46.0 cm de longitud y espaciadas a cada 30.0 cm a lo largo de las juntas. Estas barras pasajuntas podrán ser cubiertas por un esmalte epóxico anticorrosivo.

Se recomienda el uso de espaciamientos de juntas de la siguiente manera:

En el sentido longitudinal:

- Carriles de 3.50 m de ancho, usar 2 losas cortas de 1.75 m cada una.

En el sentido transversal:

- En todos los casos emplear espaciamientos de 2.40 m

### **RECOMENDACIONES**

Este reporte presenta las opciones de rehabilitación de pavimento más factibles para el proyecto de La Paz - El Alto. El diseño de las alternativas propuestas se llevo a

cabo empleando la metodología AASHTO y se utilizaron hojas de cálculo electrónicas para la realización de cómputos. Es importante señalar que los aspectos señalados en este documento y en las especificaciones particulares preparadas para el proyecto son fundamentales para garantizar el comportamiento adecuado del pavimento durante el periodo de diseño. De este modo se enuncian las siguientes recomendaciones:

- Las alternativas de pavimento de hormigón presentan la opción más viable desde puntos de vista técnicos y económicos para el proyecto.
- En base a los análisis realizados del estado actual del pavimento existente (deterioros, georadar y deflexiones) se encontró que es necesario el empleo de alternativas diferentes de rehabilitación según corresponda.
- Se determinó que el pavimento será de hormigón hidráulico, el cual se construirá a manera de sobrecapa no adherida en el caso del pavimento existente y como un pavimento nuevo en el caso del tercer carril (sobre la berma existente, que será ampliada si la geometría lo permite).
- Se ha recomendado que en algunas zonas de remoción de losas del pavimento existente y para el pavimento nuevo (tercer carril), se construya una capa de base estabilizada con cemento. Esta capa estabilizada tiene varias funciones como lo es el proporcionar una capa de material de muy buena calidad que sirva para reducir el potencial de los efectos negativos de la humedad en el pavimento mismo. Asimismo, esta capa proporcionará una mayor rigidez al pavimento nuevo y de este modo habrá una compatibilidad de materiales entre la plataforma existente y el nuevo paquete estructural que se construirá en el caso del tercer carril.
- En general, cuando se haga la construcción del pavimento, se aconseja seguir aquellos procedimientos constructivos que garanticen un índice de servicio inicial alto del mismo, lo cual resultará en una mejor calidad de recorrido y un mejor comportamiento de la estructura de pavimento a largo plazo.
- Es indispensable contar con un programa de conservación el cual evite el envejecimiento prematuro de la superficie de rodamiento, evite que el pavimento trabaje en estado de saturación de humedad, y mantenga una elevada calidad de recorrido.
- Se deberá verificar que la calidad de los materiales en campo cumple con las consideraciones utilizadas en este diseño mediante las pruebas de laboratorio pertinentes.
- En caso necesario, y sobretodo en la construcción de las ampliaciones (tercer carril), se recomienda dar tratamiento a los suelos con características arcillosas a través de su estabilización o remoción en un espesor considerable, a modo que se disminuya el riesgo de asentamientos diferenciales que puedan afectar el índice de servicio futuro.
- Se ha observado en las pruebas de campo y laboratorio que la calidad de los materiales del pavimento existente se ha deteriorado por efectos de la

humedad excesiva presente de manera continua, por lo que habrá que tomar medidas precautorias para reducir estos efectos dañinos del agua.

- Es sumamente importante evitar que el pavimento trabaje en estado de saturación de humedad y mantenga una elevada calidad de recorrido. Para esto se construirán las obras de drenaje y subdrenaje requeridas para facilitar los escurrimientos de agua de lluvia y del subsuelo.
- Es importante considerar el empleo de acero de refuerzo en zonas críticas como son terraplenes altos, zonas de paraderos, y quizás algunas zonas de ampliación lateral. Para esto se debe consultar el diseño geométrico final de este estudio.
- Se tiene conocimiento de que la municipalidad de la Ciudad de La Paz tiene la intención de introducir un sistema de tránsito masivo con autobuses articulados (gusano o metrobús) que circularía hasta la zona de El Alto, haciendo uso de la autopista. Será necesario emplear una losa de hormigón reforzada en las zonas donde se tengan paraderos de este tipo de vehículos y cualquier otro vehículo de pasajeros.
- Es importante mencionar que al aceptar tramos construidos se asegure que cumple la calidad en los procesos de construcción, materiales y criterios de desempeño especificados por la ABC.
- El empleo del acero de refuerzo en las zonas recomendadas contribuirá en la obtención de un pavimento con mejor capacidad de transferencia de carga en zonas de grietas y zonas con potencial de asentamientos diferenciales, así como en zonas de terraplenes.
- En el Apéndice D, se encuentra una descripción del tipo de barrera central de hormigón Tipo New Jersey, que se requerirá en algunos tramos de la carretera. Ahí se detalla el tipo de sección transversal de la barrera empleada internacionalmente, la cual puede ser modificada en algunos casos por el fabricante para acomodar básicamente las pendientes transversales de la carretera.

## 18 PRESUPUESTO

En cuadros adjuntos, se indica el Costo Total del Tramo I y del Tramo II:

<b>COSTO TOTAL TRAMO I</b>		
<b>PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO DE LAS OBRAS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA AUTOPISTA LA PAZ - EL ALTO</b>		
Moneda: Dolares Americanos		
Longitud TRAMO I: 10.560 Km.		
<b>RUBRO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1.	OBRAS PRELIMINARES	574,812.29
2.	MOVIMIENTO DE TIERRAS	860,519.25
3.	PAVIMENTACIÓN	14,446,013.45
4.	OBRAS DE DRENAJE	2,758,725.88
5.	PUENTES, VIADUCTOS Y PASARELAS	2,513,947.96
6.	ILUMINACIÓN	1,773,036.49
7.	OBRAS COMPLEMENTARIAS	3,123,628.50
8.	SEGURIDAD Y SEÑALIZACIÓN VIAL	1,264,911.60
9.	SERV. CAMPO SUP. Y FISCALIZACIÓN	496,743.80
<b>a</b>	<b>COSTO DE CONSTRUCCION (1+2+3+4+5+6+7+8)</b>	<b>27,812,339.22</b>
9	<b>AMBIENTAL</b>	
	PRP	352,295.55
	PASA	20,175.04
	PPM	179,882.93
<b>b</b>	<b>COSTO AMBIENTAL</b>	<b>552,353.51</b>
<b>c</b>	<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO (a+b)</b>	<b>28,364,692.73</b>
<b>d</b>	<b>Costo de supervisión 7% (7% de c)</b>	<b>1,985,528.49</b>
<b>e</b>	<b>Costo de Fiscalización 1% (1% de c)</b>	<b>283,646.93</b>
<b>f</b>	<b>Imprevistos 5% (5% de c)</b>	<b>1,418,234.64</b>
<b>g</b>	<b>COSTO TOTAL \$US (c+d+e+f)</b>	<b>32,052,102.79</b>
	<b>COSTO \$US/Km.</b>	<b>3,035,237.01</b>

<b>COSTO TOTAL TRAMO II</b>		
<b>PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO DE LAS OBRAS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA AUTOPISTA LA PAZ - EL ALTO</b>		
Moneda: Dólares Americanos		
Longitud TRAMO II: 0.544 Km.		
RUBRO	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL
1.	OBRAS PRELIMINARES	71,659.01
2.	MOVIMIENTO DE TIERRAS	16,513.38
3.	PAVIMENTACIÓN	922,437.88
4.	OBRAS DE DRENAJE	45,450.31
5.	PUNTES, VIADUCTOS Y PASARELAS	1,044,919.37
6.	ILUMINACIÓN	70,020.92
7.	OBRAS COMPLEMENTARIAS	276,801.66
8.	SEGURIDAD Y SEÑALIZACIÓN VIAL	20,093.49
<b>a</b>	<b>COSTO DE CONSTRUCCION (1+2+3+4+5+6+7+8)</b>	<b>2,467,896.02</b>
9	<b>AMBIENTAL</b>	
	PRP	0.00
	PASA	0.00
	PPM	0.00
<b>b</b>	<b>COSTO AMBIENTAL</b>	<b>0.00</b>
<b>c</b>	<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO (a+b)</b>	<b>2,467,896.02</b>
<b>d</b>	<b>Costo de supervisión 7% (7% de c)</b>	<b>172,752.72</b>
<b>e</b>	<b>Costo de Fiscalización 1% (1% de c)</b>	<b>24,678.96</b>
<b>f</b>	<b>Imprevistos 5% (5% de c)</b>	<b>123,394.80</b>
<b>g</b>	<b>COSTO TOTAL \$US (c+d+e+f)</b>	<b>2,788,722.50</b>
	<b>COSTO \$US/Km.</b>	<b>5,126,328.13</b>