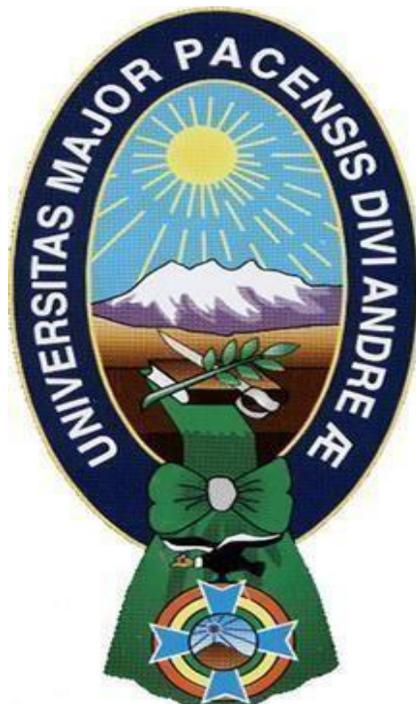


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE TECNOLOGÍA CARRERA CONSTRUCCIONES CIVILES



TRABAJO DE APLICACIÓN

**DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE SEGÚN EL MÉTODO AASHTO - 93 TRAMO
“TIHUANACU – CATAVI “**

POSTULANTE:

ROXANA SANGALLI HUANCA

PARA OPTAR AL GRADO LICENCIATURA

TRIBUNAL:

M.SC. ING. CARLOS ANDRADEMALLEA

LIC. WILFREDO ARRATIA GUACHALLA

DEDICATORIA

A mis padres Eulogio S. y Marta H.
por brindarme su amor y constante
apoyo incondicional.

A la Carrera de Construcciones Civiles,
por hacer que los sueños se pueden hacer
realidad por todo el conocimiento
adquirido durante esta etapa.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien ilumina mi sendero y me acompaña con su en el trascurso de mi vida.

A mis padres, Eulogio S. y Marta H. por todo el cariño, apoyo que me brindan por cada consejo y palabras de aliento.

A mis hermas Verónica, Milenca y Cristian por todo el apoyo que me brindan por enseñarme a no rendirme por estar apoyándome en cada locura por enseñarme a que siempre se puede salir adelante.

A la Universidad Mayor de San Andrés - Facultad de Tecnología, por la formación por darme herramientas para enfrentar al mundo con servicio, ética y amor.

A mis Docentes que son unas grandes personas excelentes profesionales que con toda la paciencia nos enseñan sus conocimientos adquiridos en la vida profesional, por la entrega incondicional de sus conocimientos. Por tenerme paciencia

A un mi ángel Kadir quien me enseñó que siempre saldrá la luz en la oscuridad.

RESUMEN

El presente trabajo de aplicación es para diseño de una estructura pavimento asfáltico empleando el método AASTHO – 93. Para diseño de estructura de pavimento flexible, se presenta una ecuación a través de la cual se obtiene el número estructural total requerido del pavimento. Para la determinación de este parámetro se utiliza normalmente un Abaco en el cual se ingresan los valores de confiabilidad y conociendo los valores de los demás parámetros como son el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad y el índice de serviciabilidad. Las obras viales son la construcción en las carreteras con pavimento asfáltico o concreto, caminos rurales, puentes, túneles, líneas ferroviarias, son un acceso de una vía de comunicaciones, son importantes y determinantes para el desarrollo integral de un país. Bajo esos conocimientos se realizará la aplicación de conocimientos adquiridos en la carrera de Construcciones Civiles. Se desenvuelve la planificación y el proyecto diseño de la Carretera Tihuanacu- Catavi de 55.54 km de longitud; cuyo servicio es mantener la actividad económica productiva de la zona de altiplano, la intercomunicación de la población, comunidades adyacentes y la ciudad de La Paz. El proceso de planificación justifica, la necesidad de mejoramiento de la carretera principalmente por el área de influencia poblacional y las características del tránsito. El proyecto, se centra en dar soporte y verificar el desarrollo del diseño geométrico de la vía (alineamiento horizontal, alineamiento vertical y secciones transversales), fundamentado bajo los criterios y recomendaciones del Manual AASTHO -93.

INDICE
CAPITULO I

1.1	INTRODUCCION A LA APLICACIÓN.....	8
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.3	OJETIVOS.....	9
1.3.1	OBJETIVO GENERAL.....	9
1.3.2	OBJETIVO ESPECIFICO.....	9
1.4	JUSTIFICACIÓN.....	9

CAPITULO II

2.1	MARCO TEORICO.....	10
2.2	PAVIMENTOS.....	10
2.3	CARACTERÍSTICAS QUE DEBE CUMPLIR TODO PAVIMENTO.....	11
2.4	TIPOS DE PAVIMENTO	12
2.4.1	PAVIMENTO ORÍGIDO.....	13
2.4.2	PAVIMENTO FLEXIBLE.....	13
2.4.3	PAVIMENTO ARTICULADO.....	13
2.5	TRASMISIÓN DE CARGA SEGÚN EL TIPO DE PAVIMENTO.....	13
2.6	INDICADORES DE COMPORTAMIENTO.....	13
2.7	FALLAS VISIBLES	13
2.7.1	FALLAS EN PAVIMENTO RÍGIDO	13
2.7.2	LAS FALLAS MÁS COMUNES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	14
2.8	INGENIERO.....	15
2.9	USUARIO.....	16
2.10	ESPEJOR.....	16
2.11	SERVICIABILIDAD.....	16
2.12	SUELOS Y MATERIALES.....	17
2.13	ANÁLISIS DE SUELOS.....	17
2.14	GRANULOMETRIA.....	18
2.15	SUELOS DE CLASE GRUESA.....	19
2.16	CLASE DE SUELOS FINOS.....	19
2.17	CONTENIDO DE HUMEDAD	20
2.18	LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO.....	20
2.18.1	LIMITE LIQUIDO	20
2.18.2	LIMITE PLÁSTICO.....	21
2.19	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	22

CAPITULO III

3.1	MARCO PRACTICO	23
3.1.2	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	23
3.1.3	LOCALIZACIÓN POLÍTICA.....	23
3.1.4	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	24
3.2	CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS.....	24
3.2.1	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	24
3.3	TRAMOS DEL PROYECTO TIHUANACU CATIVÍ	24
3.4	ESTUDIOS BÁSICOS DE INGENIERÍA.....	26
3.4.1	ESTUDIO TOPOGRÁFICO.....	26

3.6	ESTUDIO GEOLÓGICO.....	29
3.7	ASPECTOS GEOTÉCNICOS.....	29
3.8	TIPO DE SUELOS.....	29
3.9	TRABAJO DE CAMPO	30
3.10	EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE NATURAL.....	30
3.11	TOMA DE MUESTRA DE LA SUBRASANTE NATURAL.....	30
3.12	ESTUDIO DE BANCOS Y PRETAMOS	31
3.13	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	31
3.14	SUBRASANTE NATURAL.....	32
3.15	HUMEDAD NATURAL.....	32
3.16	GRANULOMETRIA.....	32
3.17	LIMITES DE CONSISTENCIA.....	32
3.18	CLASIFICACION.....	33
3.19	COMPACTACION.....	33
3.20	TIPOS DE SUELOS DE LA SUBRASANTE NATURAL.....	33
3.21	ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	33
3.22	DISEÑO DEL PAVIMENTO CON EL MÉTODO DE AASHTO – 93.....	34
	3.26.1 DETERMINACIÓN DEL CBR.....	35
	3.26.2 DETERMINACIÓN DE EJES EQUIVALES ESALS.....	36
3.23	SERVICIABILIDAD.....	36
	3.27.1 SERVICIABILIDAD INICIAL: (PO).....	37
	3.27.2 SERVICIABILIDAD FINAL: (PT).....	38
3.24	NIVEL DE CONFIANZA.....	39
3.25	DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL: (SO).....	39
3.26	MÓDULO RESILIENTE EFECTIVO DE LA SUBRASANTE.....	40
3.27	NÚMERO ESTRUCTURAL.....	40
3.28	DISEÑO DE CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	41
3.29	COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CAPA	41
3.30	MÓDULOS DE DEFORMACIÓN ELÁSTICOS DE CADA CAPA.....	42
3.31	COEFICIENTE DE DRENAJE.....	43
3.32	DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	44
3.33	TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE (TSD).....	45
3.34	PAVIMENTO CON CONCRETO ASFALTICO (CA).....	46
3.35	CARPETA DE RIPIO (CR).....	47
3.36	DISEÑO DEL PAVIMENTO POR EL MÉTODO AASHTO 93.....	48
3.37	CUNETAS.....	49
3.38	DIMENCINAMIENTO DE CUNETAS.....	50
3.39	CAPACIDAD HIDRAULICA DE LAS CUNETAS.....	50
	3.39.1 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS.....	51
	3.39.2 EMPLEANDO LA ECUACIÓN DE MANNING	52
	3.39.3 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS CUNETAS.....	53
	3.39.4 DIMENSIÓN DE CUNETAS.....	54
	3.39.5 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS ZANJAS	54
	3.39.6 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS ZANJAS	55

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....

BIBLIOGRAFÍA.....

ANEXOS.....

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN DE LA APLICACIÓN

El presente trabajo de aplicación es un caso de diseño de una estructura pavimento través de la cual se obtiene el parámetro denominado número estructural el cual es fundamentalmente para la determinación de los espesores de las capas que conforman el pavimento la cual son capas asfálticas, la capa base y la capa sub base.

Para el asfalto empleando el método AASTHO – 93. Para diseño de estructura de pavimento flexible, se presenta una ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro total requerido del pavimento. Para la determinación de este parámetro se utiliza normalmente un Abaco en el cual se ingresan los valores de confiabilidad y conociendo los valores de los demás parámetros como son el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad y el índice de serviacibilidad.

Debido a que existen dos tipos de metodologías para el diseño de pavimento flexible, una empírica y la otra mecanicista, el método empírico consiste en datos experimentales y el mecanicista consiste en fundamentos teóricos que son más confiables.

El método de AASHTO – 93 se basa en datos experimentales por lo que se pretende determinar sus parámetros de diseño.

En la metodología AASHTO-93 para el diseño de estructuras de pavimento flexible, se presenta un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro llamado número estructural cuyo valor además de ser un indicativo del espesor total requerido del pavimento, es función del tránsito y la confiabilidad entre otros.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a que existen dos tipos de metodologías para el diseño de pavimento flexible, una empírica y la otra mecanicista, el método empírico consiste en datos experimentales y el mecanicista consiste en fundamentos teóricos que son más confiables. El método de AASHTO – 93 se basa en datos experimentales por lo que se pretende determinar sus parámetros de diseño.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar los conocimientos adquiridos en la Carrera de Construcciones Civiles, para la verificación y cálculo del proyecto “PAVIMENTO FLEXIBLE SEGÚN LA MÉTODOAASHTO - 93 TRAMOTIHUANACU – CATAVI “

1.3.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar el tipo de tránsito, volumen y las cargas a las que el pavimento serán sometido durante el periodo de diseño para su puesta en servicio.
- Determinar los espesores de las capas de pavimento, por medio del método AASHTO

1.4 JUSTIFICACIÓN

El propósito de diseño del pavimento flexible método de AASHTO – 93 es hallar los espesores mínimos del pavimento que sea adecuado para soportar el peso de los vehículos.

- El Estudio y Evaluación Económica del Proyecto “diseño pavimento flexible según el método de la ASSHTO-93 tramo Tihuanacu - Catavi” se realizó sobre la base de un Diagnóstico Socioeconómico, Productivo, Competitivo, Turístico y de Línea Base de toda el Área de influencia directa del Proyecto, la misma que comprende lo siguiente:
- Los cantones de: Tihuanacu, San Agustín Pillapi, Taraco, Santa Rosa de Taraco, Huacullani, Cohana, Chojasivi, Lacaya, Catavi, San Juan Rosario y Tambillo.

Un total de 19.953 habitantes en toda el Área con una producción principalmente agropecuaria y minera, los cuales generan un PIB anual de 1.978.853,4 \$us (un millón novecientos setenta y ocho mil ochocientos cincuenta y tres dólares americanos), con índices de autoconsumo entre el 30 y 50% de su producción.

CAPITULO II

2.1 MARCO TEORICO

2.2 PAVIMENTOS

El pavimento es una estructura que está compuesta por diferentes capas de suelos y materiales apropiados y debidamente compactados, que recibe de forma directa las cargas producidas por el transporte de vehículos y los trasmite a las capas inferiores en forma proporcional obteniendo una superficie uniforme de rodamiento. Según el tipo de rodadura que puede ser de concreto hidráulico, cemento asfáltico, elementos de hormigón que deben de funcionar correctamente y eficientemente. La colocación de las diferentes capas de un pavimento se hace siguiendo un factor económico, porque cuando diseñamos un pavimento damos el grosor de las diferentes capas tomando en cuenta las características sean las adecuadas y el costo de esta sea económico, la resistencia de las capas de un pavimento no depende solamente de la clase de este si no del grado de compactación se le da a cada una y del procedimiento constructivo, tomando parámetros fundamentales la humedad y la compactación.

La superficie sobre la que se empieza a construir con varias especificaciones que van desde la plasticidad y cantidad de los materiales (suelos), hasta el valor soporte superficial que determina si resiste o no las cargas que le están llegando con el paso del tráfico.

El pavimento puede estar formado por varias de las siguientes capas: sub - base y base, que suelen ser de origen natural de banco de materias que cumplan con sus especificaciones, o de agregados triturados ya sea de origen de cato rodado o cantera combinadas con materiales cohesivos. Cuando se diseñan pavimentos flexibles se puede colocar tratamientos superficiales, capa de base negra, concreto asfáltico; y cuando se diseñan pavimentos rígidos se podrá colocar capa de base estabilizada con Cemento Portland, concreto.

El diseño de un pavimento se hace en función de la cantidad de tráfico que circula y que circulara dentro del periodo de diseño y basado en el total de ejes equivalentes de 80kh (ESAL, es la cantidad pronosticada de repeticiones del eje patrón de carga equivalente de 80KN (18000libras), para el periodo de diseño analizado) que tendrá que soportar la estructura. Con base a lo anterior, se determinarán los diferentes espesores y la combinación de capas que conforman la estructura del pavimento, así como también el tipo de superficie de rodadura que le será colocada. un pavimento puede ser como la capacidad estructura o funcional medible a lo largo de su

periodo de diseño. El público usuario le asigna valores subjetivos de acuerdo a su calidad de rodadura, aspecto y conveniencia.

La capacidad fundamental comprende:

- Calidad aceptable de rodadura
- Adecuada fricción superficial
- Geometría apropiada para seguridad
- Aspecto estético

La capacidad estructural del pavimento implica soportar las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales.

La capacidad estructural y funcional están íntimamente relacionadas. En efecto, un deterioro estructural de un pavimento se manifiesta por una disminución de su capacidad funcional ya que hay un incremento en rugosidad, ruido, y un riesgo para los vehículos y ocupantes que lo trasmite. No obstante, hay otros tipos de fallas estructurales que pueden progresar sin los usuarios lo noten hasta etapas muy avanzadas. También puede haber una pérdida de capacidad funcional sin que esto implique pérdida de capacidad estructural.

2.3 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE CUMPLIR TODO PAVIMENTO

De manera general se puede decir que un pavimento debe reunir las siguientes características:

- a) Debe de presentar una adecuada textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad al momento de desplazarse sobre ella, también debe de ser resistente al desgaste que sufrirá por el efecto abrasivo de las llantas del vehículo.
- b) Debe de presentar una regularidad superficial tanto transversal como longitudinal que permita una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las llantas de los vehículos.
- c) Ser resistente a las cargas impuestas por el tránsito.
- d) El ruido que se produce al momento de desplazarse debe de ser bajo para no afectar a los usuarios tanto interior del vehículo como a los del exterior.
- e) Debe de ser durable en el tiempo.

2.4 TIPOS DE PAVIMENTO

Los pavimentos que se emplean en la construcción de carreteras, caminos y vías urbanas son:

- a) Pavimento Rígido
- b) Pavimento Flexible
- c) Pavimento Articulado

2.4.1 PAVIMENTO RÍGIDO

Los pavimentos rígidos son aquellos que están constituidos por una losa de concreto hidráulico que le da una alta resistencia a la flexión, además de los esfuerzos de flexión y compresión apoyada directamente sobre la sub rasante o sobre la sub base de material seleccionado, denominado generalmente como sub base del pavimento rígido.

2.4.2 PAVIMENTO FLEXIBLE

El pavimento flexible está compuesto por una carpeta de material asfáltico que es la capa de rodadura, las cargas que se le aplican hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas interiores sin que su estructura se rompa.

2.4.3 PAVIMENTO ARTICULADO

El pavimento articulado consiste en un sistema de pavimentación que es rígido a la vez flexible, por lo que se lo denomina semi - rígido compuesto por una capa de rodadura de bloques de hormigón prefabricados que se colocan en diferentes formas y diseños. Esta puede ir sobre una capa de arena la cual se apoya a su vez sobre una capa de base granular o directamente sobre la sub rasante dependiendo de la calidad de esta capa y de la magnitud de tráfico vehicular que circulara sobre ella.

2.5 TRASMISIÓN DE CARGA SEGÚN EL TIPO DE PAVIMENTO

Los pavimentos se pueden dividir en flexión y rígidos. Las cargas que trasmite a la función son muy diferentes.

2.6 INDICADORES DE COMPORTAMIENTO

Hay características del pavimento que pueden medirse cuantitativamente y correlacionarse con las consideraciones subjetivas de los usuarios. Estas características se llaman indicadores de comportamiento y son:

- Fallas visibles

- Capacidad estructural
- Fricción superficial
- Rugosidad – serviciabilidad

2.7 FALLAS VISIBLES

Las fallas tienen lugar en los pavimentos como resultado de internación complejas de diseño, construcción, materiales, transito, medio ambiente y procedimientos de mantenimiento. Las fallas visibles deben ser cuantificadas de acuerdo a estos parámetros.

- Tipo
- Severidad
- Cantidad

2.7.1 FALLAS EN PAVIMENTO RÍGIDO

a) Pandeo

El pandeo tiene lugar en las juntas o fisuras de un pavimento de hormigón cuando tiene lugar a altas temperaturas, infiltración de material incomprensible dentro de las juntas y fisuras o la presencia de áridos reactivos que produzcan expansiones en el hormigón. Debido a estas causas se desarrollan grandes presiones en el hormigón, las que se liberan por quebradura o pandeo de la losa hacia arriba en correspondencia con la fisura o grieta.

En general los pandeos tienen lugar durante la primavera o principios del verano, ocurren avanzadas horas de la tarde cuando la temperatura del pavimento alcanza su valor más alto.

b) Fisuras de esquinas

Una fisura de esquina es aquella que se intercepta una junta transversal y el borde de la calzada en un pavimento de hormigón simple. La distancia es menor de 1,8 m (6pies) a ambos lados de la esquina de la losa. Esta fisura se extiende verticalmente en todo el espesor de la losa. No debe ser confundida con el descaramiento de esquina, que es una fisura que forma un ángulo en el espesor de la losa y está dentro de los 0.3 m (1pie) de la esquina.

La causa de las fisuras de esquina es: cargas repartidas pesadas, pérdida de soporte, transferencia de carga deficiente a lo largo de la junta.

c) Fisuras de durabilidad

Las fisuras de durabilidad consisten en una serie de fisuras muy próximas en forma de media luna que aparecen en la superficie del pavimento en forma adyacente y aproximadamente paralela a las juntas transversales y longitudinal del pavimento y al borde libre. Estas fisuras

están causadas por congelamiento y descongelamiento de agregados saturados en el hormigón. En general, las fisuras de durabilidad son más severas en la parte inferior del pavimento que en la superior, por lo que cuando estas son visibles, el daño es notorio en la parte interna del pavimento. Aparecen en primer lugar en correspondencia con juntas y fisuras y progresan luego hacia el centro de la losa.

d) Desplazamientos verticales diferenciales o escalonamiento

tiene lugar en correspondencia con fisuras y juntas. Las causas son una pérdida de soporte en una de las losas o trozo de losa que desciende con respecto al otro. La causa de estos es el bombeo. El problema se agrava cuando no existe mecanismos de transferencia de cargas o los mismos son pocos eficientes.

e) Daños en el sellado de las juntas

Ocurren este problema cuando entran materiales incomprensibles y/o agua dentro de las juntas. Las fallas en el sellado pueden deberse a una durabilidad baja, forma inadecuada del reservorio para el sellante, o las propiedades de este último. Las fallas más comunes dentro de esta clase son:

- Extrusión del sellante de la junta
- Sellante de baja calidad
- Endurecimiento del sellante (oxidación)
- Pérdida de adherencia entre el sellante y los bordes del reservorio
- Ausencia de sellante
- Fisuras de sellante (falla cohesiva)

f) Fisuras longitudinales

Las fisuras longitudinales van en general paralelas a la línea central del pavimento. Las causas son: construcción inadecuada de juntas longitudinales, alabeo de la losa y movimiento de la subrasante por suelos expansivos o por hinchamiento debido a congelamiento.

2.7.2 LAS FALLAS MÁS COMUNES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

a) Pie de cocodrilo

Es una falla por fatiga que está formada por fisuras interconectadas. Este tipo de fallas comienzan en la parte inferior de la capa de concreto asfáltico o de la base estabilizada, cuando la hay, donde las tensiones y deformaciones causadas por las cargas de tránsito alcanzan sus

mayores valores. Las fisuras se propagan a la superficie en forma de fisuras longitudinales más o menos paralelas. Luego la rotura evoluciona, se unen las fisuras y forman trozos de tamaño más o menos uniforme con bordes agudos y quebrados en aspecto que hace recordar a la piel de cocodrilo. Las piezas tienen menos de 30 cm en el lado más largo. Tienen lugar en las zonas más sometidas a repetición de cargas.

Exudación

Es el desarrollo de una película de material bituminoso en la superficie del pavimento que crea una superficie brillante y muy lisa. La causa es la excesiva cantidad de asfalto de la mezcla o el bajo contenido

b) Exudación

Es el desarrollo de una película de material bituminoso en la superficie de pavimento que crea una superficie brillante y muy lisa. La causa es la excesiva cantidad de asfalto de la mezcla o el bajo contenido de vacíos en la misma. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla durante la época de calor y se expande sobre la superficie del pavimento. En general, se lo puede considerar como un problema de diseño de mezcla. Dado que este proceso no se revierte con tiempo frío, se va acumulando cada vez más asfalto en superficie.

c) Fisuras en bloques

Consisten en fisuras interconectadas que forman una serie de grandes polígonos con borde agudo y quebrado. La causa es la rigidez y contracción del asfalto o una subrasante que se vuelve inestable. Si no es corregido, este tipo de falla deriva en pie de cocodrilo por la entrada de agua en la estructura y ablandamiento de la subrasante.

Según la guía AASHTO – 93 (American Association of State Highway and Transportation Officials 2010) existen dos definiciones de pavimento:

- De juntas
- Usuario

2.8 INGENIERO

El concepto que la ingeniería es que el pavimento es una estructura que va sobre la superficie sobre la subrasante, el cual estará sujeta a soportar las diferentes cargas del paquete estructural el cual es proyectado para soportar cargas externas en un tiempo establecido.

2.9 USUARIO

El concepto que le da el usuario es que la pavimentación debe brindar seguridad, comodidad y

servicio de calidad para sus vehículos, el cual influirá en la forma de vida en los individuos. En la metodología AASHTO-93 para el diseño de estructuras de pavimento flexible, se presenta un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro llamado número estructural cuyo valor además de ser un indicativo del espesor total requerido del pavimento, es función del tránsito y la confiabilidad entre otros. Para la determinación de este parámetro se utiliza normalmente un ábaco en el cual se ingresa con el valor de la confiabilidad y conociendo los valores de los demás parámetros como son el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad y el índice de serviciabilidad, se obtiene el cual es un valor fundamental para la determinación de los espesores finales de las diferentes capas que conforman la estructura de p Para la obtención del SN, generalmente se usan ábacos en los cuales las escalas no corresponden debido a que han sido reproducidos o fotocopiados muchas veces a tamaños de acuerdo a la necesidad de cada usuario, lo que conlleva a la obtención de valores con desviaciones importantes. De igual manera se hace tedioso realizar los cálculos propios del método por lo que surge la necesidad de emplear algún tipo de herramienta computacional para agilizar dichos cálculos y obtener una mayor precisión.

Las variables que intervienen en el diseño de los pavimentos constituyen en realidad la base del diseño del pavimento por lo que es necesario conocer las consideraciones más importantes tienen que ver con cada una de ellas para así poder realizar diseños confiables y óptimos al mismo tiempo.

2.10 ESPESOR

El espesor del pavimento de concreto es la variable que pretendemos determinar al realizar un diseño, el resultado del espesor se ve afectado por todas las demás variables que intervienen en los cálculos. Es importante especificar lo que se diseña, ya que a partir de espesores regulares una pequeña variación en el espesor puede significar una variación importante en la vida útil.

2.11 SERVICIABILIDAD

Se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía. Se mide en una escala del 0 al 5 donde 0 (cero) significa una calificación para pavimento intransitable y 5 (cinco) para un pavimento excelente.

2.12 SUELOS Y MATERIALES

Para la construcción de un pavimento es necesario saber la conformación del suelo como material de construcción por lo que es necesario conocer las características que este tiene, tanto para el diseño sobre el terreno de fundación o sub rasante, así también sobre las diferentes capas que compondrá este pavimento, es por ello que se da a conocer las características de los suelos desde el punto de vista de la construcción de vías de comunicación.

Para conocer las características del suelo como estudio geotécnico este debe de ser analizado tanto en laboratorio como en el sitio, que determinen su distribución y propiedades físicas, es por tal razón que un estudio geotécnico comprende de la determinación del perfil del suelo mediante perforaciones en el terreno sean estas manual o mecánicamente, en el sitio donde se construirá el proyecto, con el objeto de determinar la cantidad y extensión de los diferentes tipos de suelo existentes, la forma como estos están dispuestas las capas y la determinación del nivel de aguas freáticas. Para lo cual la ubicación, profundidad y número de perforaciones debe de ser tales que permitan determinar toda variación importante de la calidad de los suelos.

Toma de muestras de las diferentes capas de los suelos: en cada perforación deberá de tomarse muestras representativas de las diferentes capas que se encuentre. Las muestras que se obtienen y que para qué tipo de ensayo serán empleados pueden ser alteradas e inalteradas.

2.13 ANÁLISIS DE SUELOS

Para el presente proyecto se efectuaron las respectivas perforaciones a 0.50 metros de profundidad llevadas a cabo a mano cada 100 metros de distancia, de los cuales se sacó las respectivas cantidades para los ensayos respectivos de clasificación.

Todas las muestras obtenidas del lugar de proyecto fueron llevadas a laboratorio para sus respectivos ensayos, tanto de la sub rasante como de la sub base para determinar su granulometría, límite líquido y plástico, ensayos de compactación, peso específico, valor relativo de soporte california y finalmente la densidad por el método del cono de arena. De igual manera sobre los especímenes se podrían efectuar otros análisis como ser químicos, físicos o mecánicos: con los exámenes químicos nos permitirán conocer la composición de suelos, los exámenes físicos su contenido de humedad, granulometría, permeabilidad y capilaridad y finalmente los físicos mecánicos el comportamiento del suelo bajo la acción de las fuerzas exteriores.

2.14 GRANULOMETRIA

Mediante el ensayo de granulometría nos permite determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños que se encuentran presentes en el suelo.

Para una mayor confianza de seguridad se deberá de hacer un mayor número de ensayos recomendándose sacar muestras de suelo donde se vea que cambie la composición del material apreciablemente.

Como no es posible determinar el tamaño real de cada partícula independientemente de suelo la práctica agrupa los materiales por rangos de tamaños. Para lograr lo anterior se obtiene una cantidad de material que pasa a través de una serie de tamices, pero una cierta cantidad es retenida en el tamiz anterior que tiene una abertura diferente lo que se relaciona con el total de la muestra.

En el proyecto se llevó los ensayos de granulometría en las progresivas 0+020 y la progresiva 0+100 respectivamente del cual se sacó una cantidad para el ensayo.

Los respectivos ensayos de granulometría en laboratorio se hicieron para la construcción de carreteras, para conocer las características de la capa base, sub base y sub rasante, los tamices empleados en la serie gruesa y serie fina son los siguientes:

- a) Serie gruesa: 21/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", N°4 y N°10 de abertura cuadrada.
- b) Serie fina: N°10, N°20, N°40, N°50, N°140 Y N°200.



Representación gráfica del ensayo de granulometría

2.15 SUELOS DE CLASE GRUESA

La distribución granulométrica de los suelos se la encuentra mediante un sistema de cribado en una serie de tamices normalizados de aberturas cuadradas. Las partículas que son retenidas en cada una dependerán el tamaño que estas tiene para posteriormente anotarlas los retenidos en cada tamiz.

Los resultados del ensayo de distribución granulométrica se los representa en formularios debidamente elaborados. Es así que se denomina suelo bien graduado a aquel suelo que posee una amplia gama de tamaños, mientras que los mal graduados poseerán una distribución granulométrica de una forma discontinua o de una forma muy ascendente.

Los suelos de granulometría bien graduada son los que se compactan de mejor forma a que los suelos mal graduados o muy uniformes, a la misma energía de compactación que se le aplica.

Todo debido a que las partículas menores son las que ocupan los vacíos de las partículas de mayor tamaño de manera que el conjunto adquiere una mayor concentración de sólidos en un volumen determinado, lo que no se da en los suelos mal graduados o muy uniformes.

El ensayo de granulometría de los suelos para conocer la distribución granulométrica se haya normalizado bajo las siguientes normas:

AASHTO T-87, ASTM D421-58 Y ASTM D422-63.

2.16 CLASE DE SUELOS FINOS

Para conocer la acción granulométrica distribución de la fracción más finas de los suelos es necesario recurrir a otros métodos como lo son métodos basados en La Ley de Stokes llamados Hidrometría o Principio de Sedimentación que se basan bajo el principio de la sedimentación de las partículas de un suelo.

Para conocer la distribución granulométrica de la fracción fina se basa en las normas especiales ASTM D-422.

2.17 CONTENIDO DE HUMEDAD

La determinación de la humedad de los suelos es uno de los ensayos básicos de laboratorio, para determinar la cantidad de agua presente en una muestra de suelo, este valor es muy importante especialmente en lo que es suelos cohesivos.

La relación que más se emplea en suelo es la humedad que es el peso del agua dividido por el peso de las partículas sólidas de la muestra de suelos.

2.18 LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO

Se entiende por consistencia de un suelo al grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia a fuerzas exteriores que tienden a deformar o destruir su estructura, los diferentes tipos de suelos pueden tener diferentes grados de consistencia donde cada de las cuales depende de la cantidad de agua presente en sus vacíos.

Para la clasificación de los suelos se realiza los límites de Atterberg, el cual debe su nombre al científico Sueco Albert Mauritz Atterberg con ellos es posible clasificar los suelos que posteriormente fueron normalizados por Arthur Casagrande.

Hace ya unos 70 años Atterberg definió las fronteras entre los diferentes estados de consistencia de los suelos y los llamo Límites, las normas y ensayos de los límites están señalados como siempre en las plantillas de cálculo respectivas.

Los límites líquidos y plásticos tiene un gran uso en la clasificación de los suelos, por el contrario, el límite de contracción es usado en lugar donde el suelo sufre cambios de volumen entre su estado y húmedo, el límite líquido a la vez es usado en algunas ocasiones en problemas de asentamiento por consolidación.

Para la determinación de los límites de consistencia se hayan normados bajo las normas siguientes:

- LIMITE LIQUIDO (ASTM 4318 – AASHTO T89)
- LIMITE PLASTICO (ASTM D4318 – AASHTO T92)
- LIMITE DE CONTRACCION (ASTM D427 – AASHTO T92)

2.18.1 LIMITE LIQUIDO

Se denomina como el límite líquido al contenido de humedad con el cual una masa de suelo colocada en un recipiente en forma de cuchara (aparato de Casagrande), luego de haber sido separado por una herramienta patrón conocido como ranurador se deja caer desde una altura de 10 m m después de 25 golpes se cierra en su centro de 12.7mm sobre una base de cuchara duro.

La diferencia entre las normas A.S.T.M y la A.A.S.H.T.O. acerca de la determinación del líquido es que la primera instrucción señala un espesor mínimo en la cazuela de bronce de 3/8 de pulgadas en el fondo, por el contrario, la segunda instrucción señala un espesor mínimo de 1 centímetro ambos la utilización de un ranurador normalizado.

2.18.2 LIMITE PLÁSTICO

Es determinar en contenido de humedad para el cual se fractura en rodillos de 1/8 de pulgadas o lo que es mismo de 3 milímetros de diámetro, cuando se hace rodar el suelo amasado con un determinado contenido de humedad sobre la palma de la mano y una superficie que puede ser vidrio con la ayuda de la mano en una superficie liza. Se determina en laboratorio el límite plástico y a continuación el índice de plasticidad si se conoce el límite líquido. El índice de plasticidad entre el límite líquido y el límite plástico.

Índice de plasticidad

Se denomina el índice de plasticidad en función a los datos del límite líquido y el límite plástico, si no se puede determinar el índice de plasticidad se toma como suelo no plástico, si la diferencia entre ambos sale negativa se toma como suelo no plástico.

El índice de plasticidad no es otra cosa que la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo y está representado por la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP$$

Se tiene como referencia los siguientes tabales acerca de la plasticidad del suelo:

BAJA PLASTICIDAD	MODERADA PLASTICIDAD	MEDIANA PLASTICIDAD	ALTA PLASTICIDAD
Arena con un % de arcilla	Arena con arcilla y limo	Arena con arcilla	Arcilla

2.19 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

El departamento de carreteras y caminos USA introdujo una de los primeros sistemas de clasificación de suelos para evaluar los suelos sobre los cuales se construirán las carreteras luego en 1945 fue modificado y a partir de entonces se conoce como sistema de clasificación de suelos AASHTO (Asociación Americana del Estado de Carreteras y Transporte Oficiales), que clasifica el material para las sub rasantes, bases y sub bases de caminos de tipo granular.

Esta clasificación reconoce dos tipos de suelos:

- Suelos granular
- Suelos finos

GRÁFICO DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...	...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.	N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			



CAPITULO III

3.1 MARCO PRACTICO

3.1.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

3.1.3 LOCALIZACIÓN POLÍTICA

El proyecto se encuentra ubicado entre la Provincia Ingavi, con municipios de Tihuanacu y Taraco, Provincia Los Andes, con municipios de Pucarani y Laja.

3.1.4 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El tramo carretero Tihuanacu- Catavi se encuentra ubicado en el Estado Plurinacional de Bolivia, en el Departamento de La Paz, en los Municipios de Pucarani y Laja de la Provincia Los Andes y los Municipios de Taraco y Tihuanacu de la Provincia Ingavi. Distante a 71 Km de la ciudad de La Paz.

La Península de Taraco se encuentra ubicado al Oeste de la ciudad de La Paz, corresponde a la Séptima Sección Municipal de la Provincia Ingavi del Departamento de La Paz. Este Municipio limita al Norte, Sur y oeste con el Lago Titicaca y al Este con el Municipio de Tihuanacu, se encuentra ubicado en las coordenadas geodésicas 68° 51'36'' de longitud Oeste y 16° 27'20'' de latitud Sur

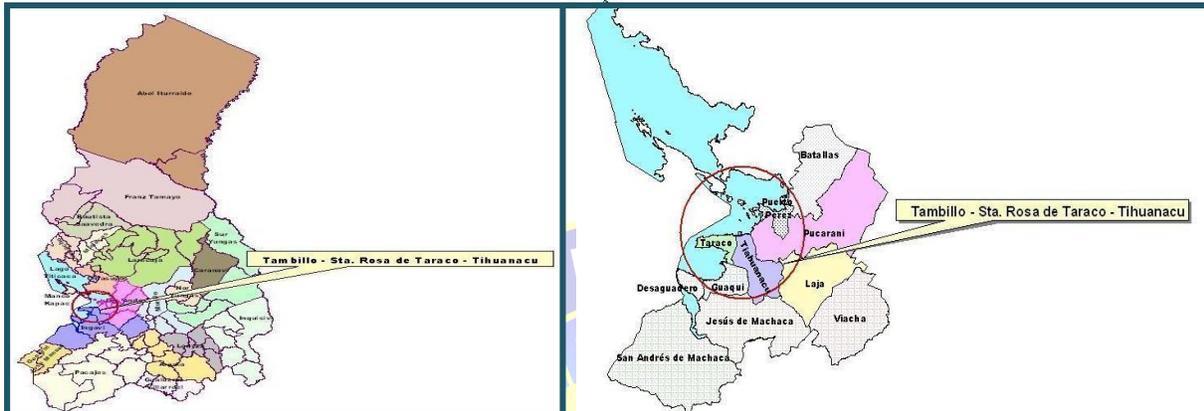


Ubicación del proyecto
www.google.com/searchclient=mapa

TIHUANACU	533.956 E	8.169.892 S	3.864 msnm
TARACO	515.084 E	8.180.328 S	3.864 msnm
CATAVI	544.346 E	8.176.265 S	3.841 msnm

Cuadro de las coordenadas elaboración propi

A continuación, se detalla una ubicación referencial de las poblaciones del tramo:
Ubicación del lugar de trabajo



Esquema del comportamiento de pavimento flexible y rígido fuente www.academia.edu/34103801/diseño de

3.2 CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS

En lo que se refiere a las características fisiográficas, la zona del proyecto bordea la Serranía de



Sihuicoma con alturas promedio de 4.100 m.s.n.m. para luego recorrer por orillas de Lago Titicaca. Al llegar a la localidad de Tihuanacu, el tramo bordea la Serranía de Lacaya Pata.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

La zona donde se emplazará el proyecto pertenece a la región según el Sistema Thornthwaite que corresponde a Subhúmedo Húmedo según el índice de humedad, y una zona megatérmica según la eficiencia térmica.

La zona donde se emplazará el proyecto pertenece a la región C2 según el Sistema Thornthwaite que corresponde a Subhúmedo Húmedo según el índice de humedad, y una zona megatérmica según la eficiencia térmica.

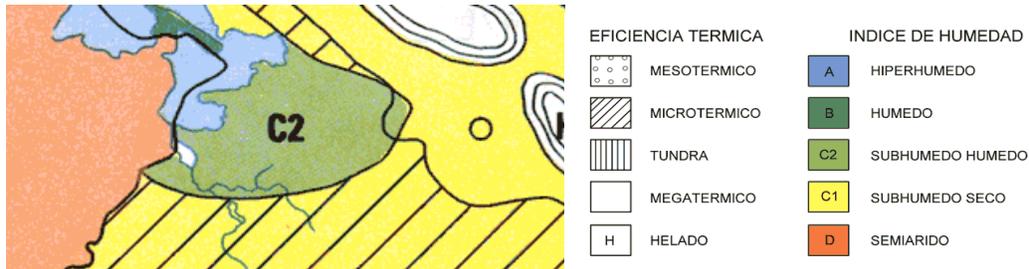


Gráfico donde se elabora el proyecto weatherpark.com

El área de Tihuanacu se localiza en el Altiplano Norte. Afloran sedimentitos y rocas metamórficas asociadas a magmatismo básico, atribuidas a un desarrollo Proterozoico – Paleozoico Inferior. Las rocas del Paleozoico se depositaron en ámbitos de trasarco y antepaís; las del Mesozoico corresponden a ámbitos alternativos de trasarco y retroarco.

La deposición Paleo-Neógena tuvo lugar en ámbitos interaltimontanos, habiendo sido controlada por procesos tectónicos. Intrusiones subvolcánicas ocurren en el sector sur. A lo largo de la zona del proyecto se pueden observar las siguientes formaciones geológicas:

Qa. Depósitos aluviales formados principalmente por cantos, gravas, arenas, limos y arcillas. Qcf.

Depósitos coluvio – fluviales formados principalmente por gravas, arenas, limos y arcillas. Qfl.

Depósitos fluvio – lacustres formados principalmente por gravas, arenas, limos y arcilla.

Ttc. Formación Taraco compuestas principalmente por conglomerados y areniscas rojizas anaranjadas.

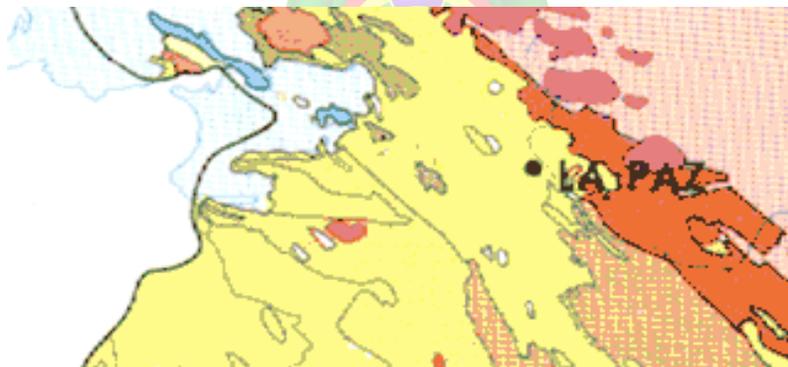


Gráfico de la ubicación del proyecto weatherpark.com

3.3 TRAMOS DEL PROYECTO TIHUANACU CATIVÍ

El proyecto vial, ha sido dividido, en los siguientes tramos según se detallan en el siguiente cuadro:

TABLA 1. LONGITUD DEL PROYECTO

TRAMO	DESCRIPCION	INICIO	FIN	L (Km)
I	Tihuanacu – Cruce Taraco	0+000	23+89	23.89
II	Cruce Taraco – Huacullani	23+89	36+80	12.91
III	Huacullani – Catavi	36+80	55+54	18.74
LONGITUD TOTAL				55.54

Fuente elaboración propia

3.4 ESTUDIOS BÁSICOS DE INGENIERÍA

3.4.1 ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

El levantamiento Topográfico fue desarrollado como un levantamiento GEODESICO, referenciado al sistema de coordenadas UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR (UTM), datum WGS-84 zona 19, con tecnologías y metodologías modernas de carácter internacional. Por esta situación, en la etapa de construcción, debe utilizarse una Estación Total que tome en cuenta el factor escala y combinado. Entonces el replanteo podrá realizarse sin inconvenientes desde los puntos de control horizontal y vertical del proyecto (par de THs cada 2 km. y BMs cada 500 m.).

Según las tolerancias de error y normas técnicas especificadas en el manual NAVSTAR GLOBAL POSITIONING SYSTEM SURVEYING EM 110-1-1003, la clasificación del estudio topográfico es el siguiente:

Nivelación – Control Vertical, segundo orden clase II < a 8 mm km.

Relevamiento Taquimétrico – Control Horizontal, segundo orden clase II < a 5'' = 3 cm km.

A partir de estas consideraciones se concluye que el levantamiento topográfico; garantiza la buena ejecución, tanto en la construcción de la vía como de sus obras de arte mayor y menor, al certificar los ítems relacionados a la topografía, como el movimiento de tierras



TRAMO I: TIHUANACU 0+000 – CRUCE 23+890

En este tramo el camino actual se desarrolla por una topografía llana a ondulado medio, con un desnivel de aproximadamente 40 m. Siendo la cota más elevada en cercanías de la población de Taraco prog. 23+040 (3859.56 m.s.n.m.). Y la más baja entre las comunidades de Pillapi y Chivo 15+800 (3817.07 m.s.n.m.).

Durante el recorrido, en los primeros 5.0 km se desarrolla un leve ascenso con una gradiente promedio de 1.8 %, posteriormente se tiene un descenso hasta (10+070) con una gradiente promedio de -1.09% para entrar en un terreno completamente llano hasta la progresiva 20+500 donde nuevamente se presenta un ascenso hasta llegar a la entrada de la comunidad de Taraco (22+060) para luego descender hasta el fin del tramo 1 (23+890).

El ancho promedio del camino actual se encuentra entre 6 m. a 7 m. teniendo este una superficie de rodadura de tierra, que se encuentra en condiciones aceptables de transitabilidad en época de estiaje, notándose ciertas inundaciones en verano (época de lluvias). Por tanto, este tramo se caracteriza por ser susceptible a inundaciones por falta de sistemas de drenaje y afectaciones a la plataforma por el río Tihuanacu emplazamiento de obras de arte.

3.5.2 TRAMO II: CRUCE 23+890 – HUACULLANI 36+800

Este tramo presenta una topografía ondulada entre las progresivas 23+870 a 29+040 con la presencia de árboles de Eucalipto de diámetro de tronco promedio de 0.6 m. a ambos lados del camino, de los cuales se tiene un convenio de talado e inventariado de dichos árboles para poder proyectar el nuevo eje del camino.

Posteriormente se presenta una topografía llana hasta el fin del tramo (36+800).

La calzada varía desde 5 a 6 m. de ancho con una superficie de rodadura de tierra, que encuentra en condiciones de transitabilidad aceptables.

3.5.3 TRAMO III: HUACULLANI 36+800 – CATAVI 55+540

En este tramo se mantiene las características de topografía ondulado leve, entre el inicio 36+800 a 49+000, con cotas máximas 3843.89 y mínimas 3818.20, continuando con una topografía llana hasta el fin del tramo prog. 55+540.

Así mismo el ancho promedio de la calzada en este tramo varía de 6 a 7 m. con una superficie de rodadura, de tierra, encontrándose en condiciones transitables.

3.6 ESTUDIO GEOLÓGICO.

Para el estudio geológico – geotécnico se utilizaron como base topográfica Cartas elaboradas por el Instituto Geográfico Militar a Escala 1:50.000. En el plano geológico resultado de estos estudios están delimitadas las unidades litológicas que corresponden a rocas y a depósitos de suelos sobre todo en un corredor por donde se desarrollara el Proyecto de la Carretera.

3.7 ASPECTOS GEOTÉCNICOS.

En el trazo de la vía se contempla cortar taludes en tramos cortos y alturas no mayores a 10 metros y generalmente están proyectados en los conglomerados de la Formación Taraco; las características geomecánicas de estos materiales son buenas; puesto que corresponde a suelos clasificados como GW y GP; o sea, son gravas con buena o pobre gradación respectivamente; tienen buena resistencia portante que esta alrededor de 2 a 2.5 Kg./ cm²; la cohesión esta aproximadamente entre 0.10 a 0.15 Kg./cm² y el ángulo de fricción interna es de 38 a 39°.

3.8 TIPO DE SUELOS

Los suelos como material de construcción son necesario conocer las características que este tiene, tanto para el diseño sobre el terreno de fundación o sub rasante, así también sobre las diferentes capas que compondrá este pavimento, es por ello que se da a conocer las características de los suelos desde el punto de vista de la construcción de vías de comunicación.

Para conocer las características del suelo como estudio geotécnico este debe de ser analizado tanto en laboratorio como en el sitio, que determinen su distribución y propiedades físicas, es portal razón que un estudio geotécnico comprende de la determinación del perfil del suelo mediante perforaciones en el terreno sean estas manual o mecánicamente, en el sitio donde se construirá el proyecto, con el objeto de determinar la cantidad y extensión de los diferentes tipos de suelo existentes, la forma como estos esta dispuestos las capas y la determinación del nivel de aguas freáticas. Para lo cual la ubicación, profundidad y número de perforaciones debe de ser tales que permitan determinar toda variación importante de la calidad de los suelos.

Los suelos y materiales del tramo Tihuanacu – catavi en base al alineamiento geométricodefinitivo, para lo cual se ha efectuado la caracterización de los materiales con el fin de conocera profundidad los tipos de suelos constitutivos de la traza y efectuar un análisis determinando su

humedad natural, granulometría, límites de consistencia, clasificación, compactación y CBR.

3.9 TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de en la ejecución de sondeos, que son perforaciones de área superficial pequeña, hasta una profundidad promedio de 1.50 m por debajo de la subrasante, si el suelo es propicio y homogéneo. El espaciamiento longitudinal de los sondeos, está en función de la uniformidad del suelo; se realizó un sondeo cada 500 metros aproximadamente.

Los ensayos que se realizan son:

- Determinación de las humedades naturales e higroscópicas.
- Análisis granulométrico por tamizado.
- Determinación de los límites de consistencia.
- Clasificación de suelos según los sistemas AASHTO y SUCS.
- Compactación T-180.
- Ensayo de Valor Soporte California.

3.10 EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE NATURAL

Se presenta un cuadro resumen del número de pozos excavados y el número de muestra todas por tramos.

TRAMO	DISTAN CIA(KM)	No. DE POZOS	No. DE MUESTRAS
I: Tihuanacu - Cruce Taraco	23.89	32	33
II: Cruce Taraco – Huacullani	12.91	22	23
III: Huacullani – Catavi	18.74	23	24

Cuadro Resumen fuente elaboración propia

3.11 TOMA DE MUESTRA DE LA SUBRASANTE NATURAL

Por el principio técnico de lo que se debe hacer en un estudio de sondeos, se prescribe definir algunos ensayos, para poder identificar el tipo de suelo predominantes y determinar algunas de sus características principales, como ser la humedad y plasticidad, y así tener una mejor orientación sobre el comportamiento de los suelos a lo largo de todo el tramo.

Estos ensayos pueden estimar muchas de las propiedades de los suelos, cuyos resultados brindan

de manera cualitativa y cuantitativa, valores sobre el estado actual del suelo y por ende, saber cuáles son los puntos críticos que puede tener la sub rasante a lo largo de todo el tramo.

3.12 ESTUDIO DE BANCOS Y PRESTAMOS

Se realizó la identificación de posibles lugares de bancos de préstamo de material, tanto para la conformación de las capas estructurales del pavimento como para los agregados para hormigones y asfaltos. Posteriormente se tomaron muestras provenientes de estos bancos de préstamo para someterlas a los ensayos correspondientes para considerar su idoneidad y también la capacidad de explotación de cada banco.

3.13 ENSAYOS DE LABORATORIO

HUMEDAD Y ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZ

En el proyecto se llevó los ensayos de granulometría en las progresivas respectivamente del cual se sacó una cantidad para el ensayo.

Los respectivos ensayos de granulometría en laboratorio se hicieron para la construcción de carreteras, para conocer las características de la capa base, sub base y sub rasante, los tamices empleados en la serie gruesa y serie fina son los siguientes:

- a) Serie gruesa: 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", N°4 y N°10 de abertura cuadrada.
- b) Serie fina: N°10, N°20, N°40, N°50, N°140 Y N°200.

La caracterización de las muestras obtenidas en el tramo ha sido procesada íntegramente en el Laboratorio del Consultor ubicado en la ciudad de La Paz.

Los métodos y normas de ensayos que se han utilizado para caracterizar geotécnicamente los materiales son los siguientes.

Resumen de Ensayos de Laboratorio

ENSAYO	METODO	
	AASHTO	ASTM
Humedad y Análisis Granulométrico por Tamizado	T27	D2216
	T88	D422
Determinación del Límite Líquido de los suelos	T89	D4318
Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos	T90	D4318
Relaciones de peso unitario – Humedad en los suelos – Método modificado	T180	D422
Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)	T193	D1883

3.18 SUBRASANTE NATURAL

Se han procesado 140 muestras, habiéndose realizado de todas ellas los ensayos indicados en la tabla anterior. Para la correcta identificación, el consultor etiquetó tanto las muestras extraídas para humedad, así como las muestras obtenidas para granulometría, límites, clasificación, compactación y CBR.

3.19 HUMEDAD NATURAL

Una vez extraído el material de las calicatas se lo colocó en bolsas plásticas, de esta forma se evitó la pérdida de humedad o la contaminación del espécimen con otros materiales. Posteriormente las muestras fueron procesadas en el laboratorio central del consultor en la ciudad de La Paz.

3.20 GRANULOMETRIA

Los ensayos de granulometría fueron realizados de las muestras extraídas de los pozos en el laboratorio central del consultor en la ciudad de La Paz. Estos resultados serán necesarios para poder hacer la clasificación del material.

3.21 LIMITES DE CONSISTENCIA

Luego de haber realizado las granulometrías se obtuvieron los límites líquidos y límites plásticos de cada una de las muestras. Con estos resultados se efectuará la clasificación del material.

3.21 CLASIFICACION

Después de realizado los ensayos de Laboratorio se efectuó la clasificación de los materiales por el método AASHTO M 145-91 (2000) como figuran en los formularios contenidos en el Anexo 4 en el caso de los suelos de la traza y Anexo 10 en el caso de los yacimientos.

3.22 COMPACTACION

De los resultados de clasificación de suelos se extrajeron los tipos de suelos predominantes en la carretera, de ellos se realizaron las compactaciones correspondientes obteniendo de esta manera sus densidades máximas y humedades óptimas.

Este trabajo se realizó en dos fases, las cuales se muestran a continuación:

3.23 TIPOS DE SUELOS DE LA SUBRASANTE NATURAL

Tramo I: Tihuanaco – Cruce Taraco. - Los suelos predominantes de este tramo son los A-4 (33.33%) y los A-6 (30.30%). En el caso de los suelos A-6 se tiene previsto reemplazarlos por suelos A-2-4 o mejores.

Tramo II: Cruce Taraco – Huacullani.- Los suelos predominantes de este tramo son los A-4 (30.43%) y los A-2-4 (17.39%).

Tramo III: Huacullani – Catavi. - Los suelos predominantes de este tramo son los A-2-4 (33.33%) y los A-4 (20.83%).

Tramo IV: Catavi – Tambillo. - Los suelos predominantes de este tramo son los A-4 (32.14%) y los A-6 (21.43%). En el caso de los suelos A-6 se tiene previsto reemplazarlos por suelos A-2-4 o mejores.

3.24 ESTUDIO HIDROLÓGICO

Los resultados obtenidos en el estudio hidrológico para el diseño de la carretera Tihuanaco- Catavi tiene como finalidad obtener, utilizando la mayor cantidad de información disponible y los diferentes métodos existentes, los caudales

La elaboración del estudio hidrológico, en el tramo carretero Tihuanaco – Catavi, se inició con la recopilación de información tanto cartográfica como meteorológica con el fin de determinar los caudales para diferentes periodos de recurrencia, necesarios éstos para el diseño del sistema de drenaje de la vía. Para el estudio se

El estudio está basado en la información meteorológica de los registros de SENAMHI desde el

año 1990 hasta el año 2005, contando con registros de hasta 16 años en el caso de la estación Tihuanaco, de información pluviométrica de precipitaciones máximas diarias de las estaciones Taraco, Tihuanaco y Catavi ; debido a la distancia entre la zona en estudio y la estación Pucarani y por la falta de información de un año intermedio en el registro de los últimos años según SENAMHI, se ha trabajado con las estaciones antes mencionadas, además de ser estas las más próximas y las de mejor información meteorológica. Para la discretización de la precipitación en períodos menores a 24 horas se ha utilizado información pluviográfica de la estación San Calixto por ser la estación, con esta información, más próxima a la zona y por contar con un registro confiable de precipitación.

Con la información disponible de las estaciones mencionadas se completó el estudio hidrológico y se determinaron los caudales de diseño para el análisis hidráulico del tramo en estudio, resultados que se muestran en el Anexo Estudios Hidrológicos.

3.25 DISEÑO DEL PAVIMENTO CON EL MÉTODO DE AASHTO – 93

Para el diseño del pavimento se ha considerado el Método AASHTO 1993, el cuál es el método de uso oficial en Bolivia.

El método está basado en tres parámetros que determinan; mediante una expresión matemática, el Número Estructural Ponderado Requerido. Los parámetros básicos son:

- El valor de soporte del suelo, que es correlacionado con el CBR de la sub rasante, según un ábaco proporcionado por la AASHTO.
- El número de repeticiones del eje simple patrón de 18 Kips

3.14.1 DETERMINACIÓN DEL CBR

Se utilizó el método estadístico, el mismo que permite determinar el valor del índice de soporte de California, considerando la media característica y la desviación estándar de los valores obtenidos. Para el análisis se han considerado todos los datos obtenidos de laboratorio en el que se detalla el número de pozo, el tipo de suelo encontrado y el CBR característico del tipo de suelo. Estos valores son base para aplicar el método estadístico que consiste en hallar la media aritmética de los valores de CBR, posteriormente obtener su desviación estándar y con estos datos se obtiene el valor de CBR característico del tramo.

A continuación, se muestran los CBR, de diseño por tramo obtenidos

TRAMO I: TIAHUANACU - TARACO - CR. TR.

Pozo	Tipo	n	a	\bar{a}	a- \bar{a}	(a- \bar{a}) ²
001 M1	A-4(8)	1	8.60	15.37	-6.77	45.82
002 M1	A-6(8)*	2	13.30	15.37	-2.07	4.28
003 M1	A-7-6(14)*	3	13.30	15.37	-2.07	4.28
004 M1	A-1-b(0)	4	22.20	15.37	6.83	46.67
005 M1	A-6(10)*	5	13.30	15.37	-2.07	4.28
006 M1	A-4(5)	6	9.40	15.37	-5.97	35.63
007 M1	A-6(10)*	7	13.30	15.37	-2.07	4.28
008 M1	A-6(11)*	8	13.30	15.37	-2.07	4.28
009 M1	A-4(2)	9	9.40	15.37	-5.97	35.63
010 M1	A-6(4)*	10	13.30	15.37	-2.07	4.28
011 M1	A-1-a(0)	11	32.00	15.37	16.63	276.60
012 M1	A-4(2)	12	9.40	15.37	-5.97	35.63
013 M1	A-6(5)*	13	13.30	15.37	-2.07	4.28
014 M1	A-1-a(0)	14	32.00	15.37	16.63	276.60
015 M1	A-4(2)	15	9.80	15.37	-5.57	31.01
016 M1	A-4(0)	16	9.40	15.37	-5.97	35.63
017 M1	A-6(6)	17	13.30	15.37	-2.07	4.28
018 M1	A-4(7)	18	8.60	15.37	-6.77	45.82
019 M1	A-1-a(0)	19	30.60	15.37	15.23	231.99
020 M1	A-6(12)*	20	13.30	15.37	-2.07	4.28
021 M1	A-2-4(0)	21	15.40	15.37	0.03	0.00
022 M1	A-4(2)	22	9.40	15.37	-5.97	35.63
023 M1	A-1-a(0)	23	32.00	15.37	16.63	276.60
024 M1	A-2-4(0)	24	14.90	15.37	-0.47	0.22
025 M1	A-1-a(0)	25	30.60	15.37	15.23	231.99
026 M1	A-4(1)	26	9.80	15.37	-5.57	31.01
027 M1	A-7-6(16)*	27	13.30	15.37	-2.07	4.28
028 M1	A-2-4(0)	28	14.90	15.37	-0.47	0.22
029 M1	A-4(0)	29	9.40	15.37	-5.97	35.63
030 M1	A-6(12)*	30	13.30	15.37	-2.07	4.28
031 M1	A-2-4(0)	31	18.30	15.37	2.93	8.59
032 M1	A-4(0)	32	9.40	15.37	-5.97	35.63
		Σ	491.80			1,799.59

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (a - \bar{a})^2}{n - 1}} = 7.62$$

$$CBR \text{ Diseño} = \bar{a} - \frac{1.29 \cdot \sigma}{\sqrt{n}} = 13.63$$

TRAMO II: CR. TR. - HUACULLANI

Pozo	Tipo	n	a	\bar{a}	a- \bar{a}	(a- \bar{a}) ²
033 M1	A-6(3)*	1	13.30	14.36	-1.06	1.12
034 M1	A-2-6 (0)	2	13.70	14.36	-0.66	0.43
035 M1	A-2-7(1)	3	9.60	14.36	-4.76	22.65
036 M1	A-4 (3)	4	8.10	14.36	-6.26	39.18
037 M1	A-2-4(0)	5	15.40	14.36	1.04	1.08
038 M1	A-4(3)	6	9.80	14.36	-4.56	20.79
039 M1	A-4 (6)	7	8.10	14.36	-6.26	39.18
040 M1	A-2-4(0)	8	15.40	14.36	1.04	1.08
041 M1	A-4(6)	9	8.60	14.36	-5.76	33.17
042 M1	A-2-4 (0)	10	13.30	14.36	-1.06	1.12
043 M1	A-1-b(0)	11	22.20	14.36	7.84	61.48
044 M1	A-4 (0)	12	8.10	14.36	-6.26	39.18
045 M1	A-6(5)*	13	13.30	14.36	-1.06	1.12
046 M1	A-1-a(0)	14	32.00	14.36	17.64	311.20
047 M1	A-2-6(0)	15	13.70	14.36	-0.66	0.43
048 M1	A-1-b (0)	16	22.30	14.36	7.94	63.06
049 M1	A-2-6(1)	17	13.70	14.36	-0.66	0.43
050 M1	A-1-a(0)	18	32.00	14.36	17.64	311.20
051 M1	A-7-6 (17)*	19	13.30	14.36	-1.06	1.12
052 M1	A-4(8)	20	8.60	14.36	-5.76	33.17
053 M1	A-6(9)*	21	13.30	14.36	-1.06	1.12
054 M1	A-4 (0)	22	8.10	14.36	-6.26	39.18
		Σ	315.90			1,022.49

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (a - \bar{a})^2}{n - 1}} = 6.98$$

$$CBR \text{ Diseño} = \bar{a} - \frac{1.29 \cdot \sigma}{\sqrt{n}} = 12.44$$

CBR adoptado = 12.5

TRAMO III: HUACULLANI - CATAVI

Pozo	Tipo	n	a	\bar{a}	a- \bar{a}	(a- \bar{a}) ²
055 M1	A-6(3)*	1	13.30	15.31	-2.01	4.03
056 M1	A-1-a(0)	2	32.00	15.31	16.69	278.60
057 M1	A-2-7 (3)	3	9.60	15.31	-5.71	32.59
058 M1	A-6(12)*	4	13.30	15.31	-2.01	4.03
059 M1	A-4(3)	5	8.30	15.31	-7.01	49.12
060 M1	A-1-a (0)	6	30.60	15.31	15.29	233.82
061 M1	A-2-4(0)	7	15.40	15.31	0.09	0.01
062 M1	A-2-4(0)	8	15.40	15.31	0.09	0.01
063 M1	A-2-4 (0)	9	13.30	15.31	-2.01	4.03
064 M1	A-7-6(10)*	10	13.30	15.31	-2.01	4.03
065 M1	A-2-4(0)	11	14.90	15.31	-0.41	0.17
066 M1	A-4 (0)	12	8.10	15.31	-7.21	51.97
067 M1	A-1-a(0)	13	32.00	15.31	16.69	278.60
068 M1	A-2-6(1)	14	13.70	15.31	-1.61	2.59
069 M1	A-4 (2)	15	8.10	15.31	-7.21	51.97
070 M1	A-7-6(9)*	16	13.30	15.31	-2.01	4.03
071 M1	A-2-4(0)	17	15.40	15.31	0.09	0.01
072 M1	A-4 (0)	18	8.10	15.31	-7.21	51.97
073 M1	A-4(5)	19	8.60	15.31	-6.71	45.01
074 M1	A-2-4(0)	20	14.90	15.31	-0.41	0.17
075 M1	A-2-4 (0)	21	5.20	15.31	-10.11	102.19
076 M1	A-1-a(0)	22	32.00	15.31	16.69	278.60
077 M1	A-2-4 (0)	23	13.30	15.31	-2.01	4.03
		Σ	352.10			1,481.58

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (a - \bar{a})^2}{n - 1}} = 8.21 \quad CBR \text{ Diseño} = \bar{a} - \frac{1.29 \cdot \sigma}{\sqrt{n}} = 13.10$$

CBR adoptado = 13

SECTORES DONDE DEBEN REALIZARSE CAMBIOS DE SUELO DE SUB RASANTE

En algunos sectores dentro de los tramos correspondientes se han encontrado suelos de sub rasante de tipo arcillo-limoso (A-6 ó A-7) y de características plásticas, suelos que son susceptibles a cambios de volumen ante la presencia de agua, es por este motivo que se presenta en las siguientes tablas un resumen de los sectores mencionados y la longitud aproximada de incidencia.

TRAMO I: Tihuanacu – Cruce Taraco (KM 0+000 – 23+890)

Progresiva (desde – hasta)	Tipo de suelo	Longitud de incidencia (m)
0+250 – 1+050	SUELO (A-6) (A-7-6)	800
2+550 – 3+050	SUELO (A-6)	500
3+550 – 5+050	SUELO (A-6)	1500
5+550 – 6+050	SUELO (A-6)	500
7+550 – 8+050	SUELO (A-6)	500
10+250 – 11+050	SUELO (A-6)	800
12+550 – 13+050	SUELO (A-6)	500
17+550 – 18+050	SUELO (A-7-6)	500
19+550 – 20+050	SUELO (A-6)	250
TOTAL		5,850

TRAMO II: Cruce Taraco–Huacullani (KM 23+890 – KM 36+800)

Progresiva (desde – hasta)	Tipo de suelo	Longitud de incidencia (m)
23+550 – 24+050	SUELO (A-6)	500
30+550 – 31+050	SUELO (A-6)	500
35+050 – 35+550	SUELO (A-7-6)	500
TOTAL		1,500

TRAMO III: Huacullani – Catavi (KM 36+800 – 55+540)

Progresiva (desde – hasta)	Tipo de suelo	Longitud de incidencia (m)
37+550 – 38+050	SUELO (A-6)	500
39+800 – 40+050	SUELO (A-6)	500
43+550 – 44+050	SUELO (A-7-6)	500
47+550 – 48+050	SUELO (A-7-6)	500
51+050 – 51+550	SUELO (A-6)	500
TOTAL		2,500

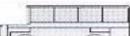
3.14.2 DETERMINACIÓN DE EJES EQUIVALES ESALS.

En el método AASHTO, los pavimentos se proyectan para que resistan un determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes. El efecto de estos ejes es acumulativo durante la vida del pavimento, ya que este fallará por fatiga a causa de cierto número de repeticiones de cargas. Por tanto, se ha desarrollado un concepto teórico de comparar el daño que se origina debido a diferentes configuraciones de ejes con el daño que se origina con un eje estandarizado el cual se denomina “Eje Equivalente Simple” que en inglés se expresó como “Equivalent Single Axle Load” o ESAL.

La carga tipo o patrón fue determinada como la correspondiente a una carga de 18,000 lb (8.2 ton) por eje sencillo, estableciéndose además factores de equivalencia de cargas para correlacionar la diversidad de cargas actuantes.

La clasificación vehicular adoptada para los conteos (y para las encuestas O-D) así como para la determinación del TPDA, considera 12 tipos de acuerdo al siguiente list

DESCRIPCION DE LOS TIPOS DE VEHICULOS

1	Automóviles, Vagonetas y Jeep	
2	Camionetas	
3	Minibuses	
4	Microbuses (dos ejes)	
B2	Buses Medianos (dos ejes)	
B3	Buses Grandes (dos o mas ejes)	
CM2	Camiones Medianos (dos ejes)	
C2	Camiones Grandes (dos ejes)	
C3	Camiones Grandes (tres ejes)	
T-S	Camiones Semiremolque	
C-R	Camiones Remolque	
12	Otros Vehículos (Maq. Construcción)	

Con los resultados de tráfico proporcionados por el Especialista de Tráfico, que se detalló en el primer informe de avance, se ha determinado los ESALS (Anexo 2 y Anexo 3) considerando las diferentes alternativas de pavimento y para cada uno de los tramos considerados en el proyecto, los mismos que obedecen al siguiente detalle:

TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE (TSD)

Período de diseño de 5 años

	TRAMO I	TRAMO II	TRAMO III
TPDA ACUMULADO (VEH/DÍA)	5,323	1,385	3,883
TOTAL VEHICULOS AÑO	1,942,895	505,525	1,417,295
EJES ACUMULADOS	285,268	479,499	883,794
TRAFICO EN EL CARRIL DISEÑO	60 %	60 %	60 %
ESALS	171,162	287,699	530,278

Dentro del tramo V se considera el Ramal Desvío a Taraco – Desvío a Santa Rosa de Taraco.

PAVIMETO CON CONCRETO ASFALTICO (CA)

CARPETA DE RIPIO (CR)

	TRAMO II*
TPDA ACUMULADO (VEH/DÍA)	1,385
TOTAL VEHICULOS AÑO	505,525
EJES ACUMULADOS	479,499
TRAFICO EN EL CARRIL DISEÑO	60 %
ESALS	287,699

En este tramo se prevé que desde la progresiva 25+660 se mantendrán las características actuales de la carretera y se incorporará una carpeta de ripio de 30 cm de espesor debido a las características arqueológicas de la zona.

3.26 DISEÑO DEL PAVIMENTO CON EL MÉTODO DE AASHTO – 93

Para el diseño del pavimento se ha considerado el Método AASHTO 1993, el cuál es el método de uso oficial en Bolivia.

El método está basado en tres parámetros que determinan; mediante una expresión matemática, el Número Estructural Ponderado Requerido. Los parámetros básicos son:

- El valor de soporte del suelo, que es correlacionado con el CBR de la subrasante, según un ábaco proporcionado por la AASHTO.
- El número de repeticiones del eje simple patrón de 18 Kips

3.14.3 DETERMINACIÓN DEL CBR

Se utilizó el método estadístico, el mismo que permite determinar el valor del índice de soporte de California, considerando la media característica y la desviación estándar de los valores obtenidos.

Para el análisis se han considerado todos los datos obtenidos de laboratorio en el que se detalla el número de pozo, el tipo de suelo encontrado y el CBR característico del tipo de suelo. Estos valores son base para aplicar el método estadístico que consiste en hallar la media.

aritmética de los valores de CBR, posteriormente obtener su desviación estándar y con estos datos se obtiene el valor de CBR característico del tramo.

3.14.4 SERVICIABILIDAD INICIAL: (PO)

Es una medida de la suavidad del pavimento o facilidad de conducción inmediatamente después de la construcción. La serviciabilidad tiene un rango de 0 a 5. El valor 5 es el pavimento perfectamente suave y 0 sería un pavimento impasable. El valor recomendado por AASHTO para pavimentos flexibles carreteros nuevos es 4.2, valor que se ha adoptado para el presente caso.

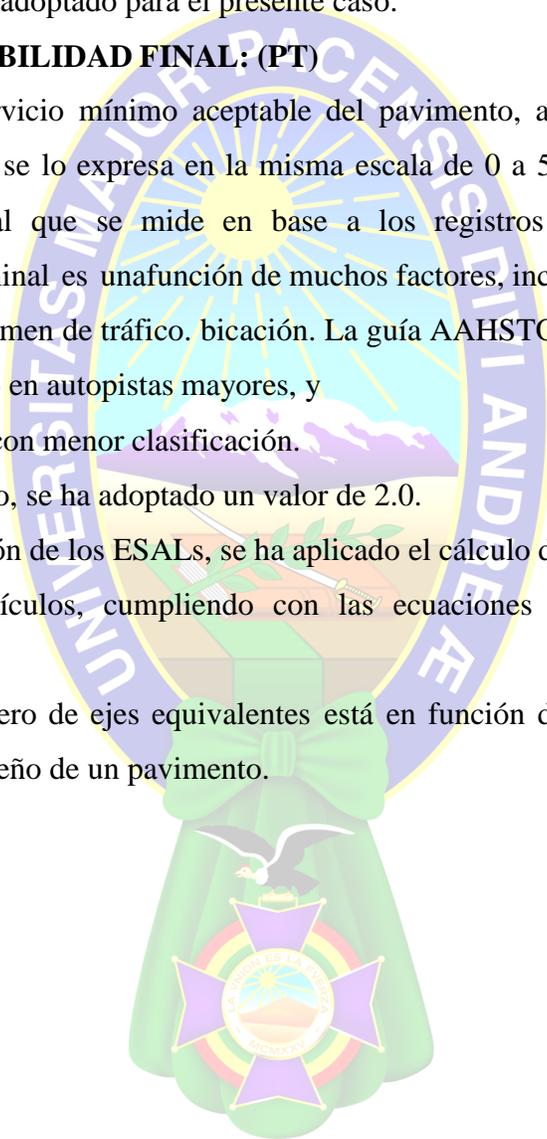
3.14.5 SERVICIABILIDAD FINAL: (PT)

Es el índice de servicio mínimo aceptable del pavimento, antes de que requiera una rehabilitación y se lo expresa en la misma escala de 0 a 5. En contraste con la serviciabilidad inicial que se mide en base a los registros de construcción, la serviciabilidad terminal es una función de muchos factores, incluyendo clasificación del pavimento, volumen de tráfico, bicación. La guía AAHSTO sugiere un índice de 2.5 o 3.0 para el uso en autopistas mayores, y 2.0 para autopistas con menor clasificación.

Para el presente caso, se ha adoptado un valor de 2.0.

Para la determinación de los ESALs, se ha aplicado el cálculo de los factores camión para todos los vehículos, cumpliendo con las ecuaciones desarrolladas por la AASHTO.

El cálculo del número de ejes equivalentes está en función de varios factores que intervienen en el diseño de un pavimento.



3.14.5 NIVEL DE CONFIANZA:

Como se define por la Guía de Diseño AASHTO, la confianza (R) es la probabilidad (expresada como porcentaje) de que una estructura de pavimento sobreviva al tráfico del período de diseño. Generalmente, a medida que los volúmenes de tráfico se incrementan, las consecuencias de la falla prematura son mayores, por tanto, las rutas de alto volumen de tráfico deben construirse con un mayor nivel de confianza. Las recomendaciones AASHTO para la selección de los valores de confianza son:

Clasificación Funcional	Urbana	Rural
Interestatal y Otras Autopistas	85.0	80.0
	99.9	99.9
Arterias Principales	80.0	75.0
	99.0	95.0
Colectores	80.0	75.0
	95.0	95.0
Local	50.0	50.0
	80.0	80.0

Elaboración propia

Ref. AASHTO Guía de diseño Parte II tabla

La carretera Tambillo – Santa Rosa de Taraco – Tihuanacu según el manual técnico para el diseño de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras Tabla 1.3-3 pertenece a la descripción de camino local, por lo cual se utilizará un nivel de confianza del 80%, considerado tres etapas de construcción para la alternativa de Tratamiento Superficial Doble en un periodo de análisis de 5 años, dos etapas de construcción para un período de análisis de 10 años en el caso de la alternativa con Carpeta Asfáltica. Esto puede observarse en la corrida del software “DIPAV - IBCH”.

3.14.6 DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL: (SO)

Toma en cuenta todos los errores o variabilidad asociada con los datos de diseño y construcción, incluyendo la variabilidad en las propiedades de materiales, suelo de fundación, estimaciones de tráfico, condiciones climáticas y calidad de construcción. En la ausencia de valores nacionales, la Guía de Diseño AASHTO provee valores recomendados para pavimentos flexibles. Para el caso donde la variación del tráfico futuro proyectado no se considera, la Guía de Diseño AASHTO recomienda un valor de 0.44. El presente caso que no cuenta con datos de pesaje adopta un valor de 0.49.

3.14.7 MÓDULO RESILIENTE EFECTIVO DE LA SUBRASANTE

El módulo resiliente (MR), es la propiedad del material usado para representar las características de soporte del suelo natural en el diseño de pavimentos flexibles. En términos generales, es una medida de la deformación del suelo en respuesta a aplicaciones cíclicas de cargas mucho menores que la carga de falla. Este módulo resiliente efectivo es una medida que representa el efecto combinado de todos los valores de módulos estacionales en una media ponderada.

En la Guía AASHTO se menciona que ante la imposibilidad de contar con los equipos para realizar ensayos con el módulo de resiliencia, se puede utilizar la correlación establecida por el Corps of Engineers, para valores de CBR menores a 10% y suelos finos, la misma que también está mencionada en la Guía AASHTO.

Otras ecuaciones de correlación, desarrolladas en Sudáfrica y de amplio uso en Latinoamérica son las siguientes:



Las mismas son más aplicables a suelos granulares, motivo por el cual se utilizarán en el presente estudio. Tomando los valores de CBR obtenidos en el párrafo 2.2.1 se obtienen los siguientes valores del valor de MR:

TRAMO	CBR (95%)	MR (KPa)
1	14	94,355
2	12.5	104,988
3	13	98,004
4	15	108,341
5 y Ramal	12.5	104,988

3.14.8 NÚMERO ESTRUCTURAL.

El número estructural (SN por sus siglas en inglés) es un valor originalmente concebido como adimensional, que representa la capacidad requerida por un pavimento flexible para soportar las cargas impuestas por el tráfico y bajo las condiciones que expresan los datos de diseño. El valor no tiene un significado físico, tratándose más bien de una medida relativa de comparación.

Para el cálculo de espesores de las capas del paquete estructural, es necesario determinar previamente el Número Estructural SN, para este propósito se utilizó el Software DIPAV - IBCH, que está fundamentado en el método AASHTO versión 1993.

3.14.9 DISEÑO DE CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.

En el procedimiento de diseño AASHTO, el cálculo del diseño del pavimento produce el número estructural antes explicado. Este valor, que es resultado de la ecuación de diseño AASHTO, se convierte a espesores individuales de capas en el pavimento a través de la siguiente relación:

a_i = coeficiente estructural actual para la

capa i d_i = espesor de la capa i

m_i = coeficiente de drenaje para la capa i

La ecuación provista por el método AASHTO puede resolverse para determinar los espesores de las varias capas de un pavimento flexible empleando el Diseño de Espesores con Verificación por Capas y luego realizando un Ajuste de Espesores sin Verificación. A continuación, se indican los coeficientes adoptados y posteriormente el cálculo de espesores.

3.14.10 COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CAPA.

De la Guía de Diseño AASHTO-93, Parte II y las figuras 2.5 carpeta de asfalto, 2.6 para base granular y 2.7 para sub base granular respectivamente se han obtenido los coeficientes estructurales de capa de: 0.42, para carpeta de concreto asfáltico en caliente; 0.134 para base granular con un CBR de 80 % y 0.12 para una sub base de suelo granular con un CBR de 40%.

Es importante aclarar que el espesor de una capa de Tratamiento Superficial es despreciable en cuanto se refiere al porcentaje de SN absorbido, motivo por el cual se desprecia su aporte estructural, pero tiene gran efecto en la base y sub base, ya que reduce la entrada de agua en la estructura del pavimento.

3.14.11 MÓDULOS DE DEFORMACIÓN ELÁSTICOS DE CADA CAPA.

Para cada una de las capas se ha calculado su módulo elástico. Para el caso del concreto asfáltico un Módulo de 400,000 psi es un valor normal. Para las capas base y sub-base, se han realizado estimaciones a partir de los ábacos 2.6 y 2.7, adoptando valores de 200,000 KPa para la capa base de CBR 80% y de 114,667 KPa para la sub-base granular.

3.14.12 COEFICIENTE DE DRENAJE.

El efecto del drenaje en la vida de un pavimento para pavimentos flexibles se cuantifica a través del uso de un coeficiente de drenaje (m_i). Este factor ha sido integrado en las ecuaciones de número estructural como un modificador al coeficiente de capa (a_i) y al espesor de la capa (d_i).

El coeficiente de drenaje sólo tiene sentido al considerar los efectos de drenaje en bases y sub bases no tratadas. El posible efecto del drenaje en la superficie de una pista de concreto

asfáltico y en cualquier capa estabilizada no se considera. De este modo, se ha considerado para todas las capas un valor $m_i = 1$.

3.14.1 DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Para todo diseño del paquete estructural es importante determinar el tráfico y los correspondientes ejes equivalentes. Un detalle del cálculo para cada uno de los tramos del mismo se encuentra en los Anexos 2 y 3.

Para el diseño de la plataforma con pavimento flexible se han considerado dos soluciones dependiendo del tramo en análisis:

Para los tramos I, II, III y V se ha considerado como capa de rodadura el Tratamiento Superficial Doble y un tiempo de diseño de 5 años, el TSD está constituido por dos capas de mezcla asfáltica y agregados chancados y cribados, las mismas que están distribuidas una sobre otra de acuerdo al diámetro del agregado, es decir de mayor a menor, quedando en la parte inferior el material con diámetro mayor. El TSD estará sobre una capa base granular y una capa sub base granular.

Para mayor referencia en relación al diseño, los datos empleados en los cálculos y los resultados obtenidos, éstos se encuentran adjuntos en los Anexos 2 al 4.

Para el tramo IV se ha considerado como capa de rodadura el Concreto Asfáltico, para un período de diseño de 10 años. Este corresponde a un terraplén conformado por una sub base y una base granular que proviene de los yacimientos de materiales del proyecto.

Para mayor referencia en relación al diseño, los datos empleados en los cálculos y los resultados obtenidos, éstos se encuentran adjuntos en los Anexos 2 al 4.

Para el tramo IV se ha considerado como capa de rodadura el Concreto Asfáltico, para un período de diseño de 10 años. Este corresponde a un terraplén conformado por una sub base y una base granular que proviene de los yacimientos de materiales del proyecto.

Para mayor referencia en relación al diseño, los datos empleados en los cálculos y los resultados obtenidos, éstos se encuentran adjuntos en los Anexos 2 al 4.

En la tabla siguiente se resumen las características principales del diseño estructural de pavimentos de la carretera Tambillo – Santa Rosa de Taraco – Tihuanacu.

RESUMEN DE DISEÑO DE PAVIMENTOS: TAMBILLO - SANTA ROSA DE T			
Datos de diseño	Tramo I	Tramo II	Tramo III
CBR de Subrasante	13.63 (14)	12.44 (12.5)	13.10 (13)
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2	4.2	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	2	2	2
Modulo resiliente de subrasante (Mr, Kpa)	94,355	88,653	90,586
Nivel de confiabilidad (R, %)	80	80	80
Desviación Estandar (So)	0.49	0.49	0.49
ESAL'S (W18)	171,162	287,699	530,278
Número de etapas de construcción	3	3	3
Número Estructural Requerido (mm)	54	60	66
Número Estructural Alcanzado (mm)	54.4	60.4	66.4
Espesores (mm)	TSD	TSD	TSD
TSD o Carpeta Asfáltica	20	20	20
Capa Base granular	200	200	200
Capa Subbase granular	230	280	330

(mm)	°				
Espesores (mm)	T S D	T S D	T S D	C A	T S D
TSD o Carpeta Asfáltica	20	20	20	50	20
Capa Base granular	200	200	200	200	200
Capa Sub base granular	230	280	330	270	310

Con los resultados de tráfico proporcionados por el Especialista de Tráfico, que se detalló en el primer informe de avance, se ha determinado los ESALS (Anexo 2 y Anexo 3) considerando las diferentes alternativas de pavimento y para cada uno de los tramos considerados en el proyecto, los mismos que obedecen al siguiente detalle:

3.17 TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE (TSD) Período de diseño de 5 años

	TRAM OI	TRAM O II	TRAM O III	TRAM O V
TPDA ACUMULADO (VEH/DÍA)	5,323	1,385	3,883	1,698
TOTAL, VEHICULOS AÑO	1,942,895	505,525	1,417,295	619,770
EJES ACUMULADOS	285,268	479,499	883,794	687,783
TRAFICO EN EL CARRILDISEÑO	60 %	60 %	60 %	60 %
ESALS	171,162	287,699	530,278	412,670

Dentro del tramo V se considera el Ramal Desvío a Taraco – Desvío a Santa Rosa de Taraco.



3.18 DISEÑO DEL PAVIMENTO POR EL MÉTODO AASHTO 93

Para el diseño del pavimento se ha considerado el Método AASHTO 1993, el cuál es el método de uso oficial en Bolivia.

El método está basado en tres parámetros que determinan, mediante una expresión matemática, el Número Estructural Ponderado Requerido. Los parámetros básicos son:

- El valor de soporte del suelo, que es correlacionado con el CBR de la subrasante, según un ábaco proporcionado por la AASHTO.

Drenaje longitudinal de la carretera

El agua que fluye a lo largo de la superficie de la plataforma, debe ser encauzada y evaluada para que no se produzca daños a la carretera. En esta sección se considera tipos de obras necesarias para captar y eliminar las aguas acumuladas en la plataforma de la carretera.

- Periodo de retorno: es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible
- Riesgo de obstrucción
- Velocidad máxima del agua

$$0.5 \% < i < 2 \%$$

3.19 CUNETAS

Las cunetas son zanjas longitudinales revestidas o sin revestir abiertas en el terreno, con el objeto de captar, conducir y evacuar adecuadamente los flujos del agua superficial. Será del tipo triangular, trapezoidal o rectangular.

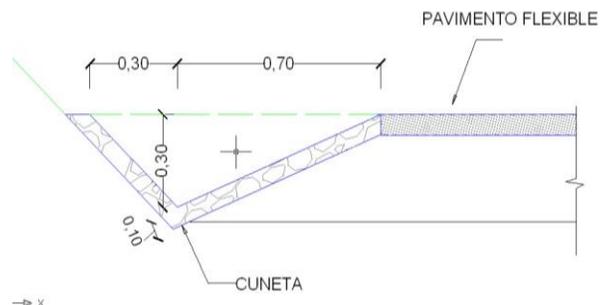
TABLA 304.12
INCLINACIONES MÁXIMAS DEL TALUD (V:H)
INTERIOR DE LA CUNETA

V.D. (Km/h)	I.M.D.A (VEH./DIA)	
	< 750	> 750
≤ 70	1:2	(*)
	1:3	1:3
> 70	1:3	1:4

(*) Sólo en casos muy especiales

La inclinación del talud exterior de la cuneta (v/h) será adecuada al tipo de inclinación considerada en el talud de corte.

3.22.1 DIMENSIONAMIENTO DE CUNETAS GEOMETRIA



3.22.2 CAPACIDAD HIDRAULICA DE LAS CUNETAS

DATOS:

$$Z_a = 0.70 \text{ m}$$

$$Z_b = 0.30 \text{ m}$$

$$H = 0.30$$

3.22.3 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS

$A = 0.0$

E45 m²

R = 0.066 m

3.22.4 EMPLEANDO LA ECUACIÓN DE MANNING:

Donde:

- Q: Caudal [m³/s]
- n: Coeficiente de rugosidad de Manning
- A: Área de la sección [m²]
- R: Radio hidráulico del escurrimiento
- I: Pendiente longitudinal [m/m]

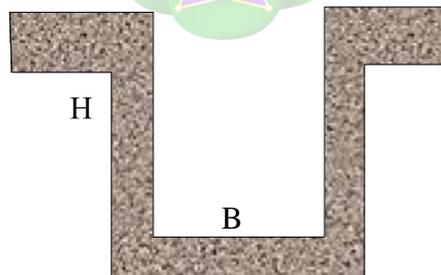
Evaluando la ecuación para diferentes pendientes longitudinales tenemos las diferentes capacidades hidráulicas de las cunetas, estas capacidades se resumen en la tabla siguiente:

3.22.5. CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS CUNETAS

i [m/m]	Q [m ³ /s]	i [m/m]	Q [m^{3}/s]	i [m/m]	Q [m^{3}/s]	i [m/m]	Q [m^{3}/s]
0.005	0.04	0.023	0.09	0.041	0.11	0.059	0.14
0.007	0.05	0.025	0.09	0.043	0.12	0.061	0.14
0.009	0.05	0.027	0.09	0.045	0.12	0.063	0.14
0.011	0.06	0.029	0.10	0.047	0.12	0.065	0.14
0.013	0.06	0.031	0.10	0.049	0.13	0.067	0.15
0.015	0.07	0.033	0.10	0.051	0.13	0.069	0.15
0.017	0.07	0.035	0.11	0.053	0.13	0.071	0.15
0.019	0.08	0.037	0.11	0.055	0.13	0.073	0.15
0.021	0.08	0.039	0.11	0.057	0.14	0.075	0.16

3.23. DIMENSIÓN DE CUNETAS

GEOMETRÍA



3.23.1 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS ZANJAS

Datos

$$B = 0.40 \text{ m}$$

$$H = 0.60 \text{ m}$$

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS

$$A = 0.240 \text{ m}^2$$

$$H = 0.120 \text{ m}$$

Emplea miento de la ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

- Q: Caudal [m³/s]
- n: Coeficiente de rugosidad de Manning
- A: Área de la sección [m²]
- R: Radio hidráulico del escurrimiento
- I: Pendiente longitudinal [m/m]

Evaluando la ecuación para diferentes pendientes longitudinales tenemos las diferentes capacidades hidráulicas de las zanjas, estas capacidades se resumen en la tabla siguiente:

3.23.2 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS ZANJAS

i [m/m]	Q [m^{3}/s]	i [m/m]	Q [m^{3}/s]	i [m/m]	Q [m^{3}/s]	i [m/m]	Q [m ³ /s]
0.005	0.32	0.024	0.69	0.042	0.91	0.060	1.10
0.008	0.39	0.026	0.72	0.044	0.94	0.062	1.11
0.010	0.44	0.028	0.74	0.046	0.96	0.064	1.13
0.012	0.48	0.030	0.77	0.048	0.98	0.066	1.15
0.014	0.52	0.032	0.80	0.050	1.00	0.068	1.17
0.016	0.56	0.034	0.82	0.052	1.02	0.070	1.18
0.018	0.59	0.036	0.85	0.054	1.04	0.072	1.20
0.020	0.63	0.038	0.87	0.056	1.06	0.074	1.22
0.022	0.66	0.040	0.89	0.058	1.08	0.076	1.23

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proceso de planificación justifica, la necesidad de mejoramiento de la carretera principalmente por el área de influencia poblacional y las características del tránsito. El proyecto, se centra en dar soporte y verificar el desarrollo del diseño geométrico de la vía (alineamiento horizontal, alineamiento vertical y secciones transversales), fundamentado bajo los criterios y recomendaciones del Manual AASTHO -93. Para diseño de estructura de pavimento flexible, se presenta una ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro total requerido del pavimento. Para la determinación de este parámetro se utiliza normalmente un Abaco en el cual se ingresan los valores de confiabilidad y conociendo los valores de los demás parámetros como son el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad y el índice de serviacibilidad.

Debido a que existen dos tipos de metodologías para el diseño de pavimento flexible, una empírica y la otra mecanicista, el método empírico consiste en datos experimentales y el mecanicista consiste en fundamentos teóricos que son más confiables.

BIBLIOGRAFÍA

- Diseño constructivo y mantenimiento de pavimento de concreto Cipriano A. Londaño Colombia 2004
- Bibliografía James Cárdenas Grisales, 2013, Diseño Geométrico de Carreteras, 2da Edición, Editorial Ecoe, Bogotá Colombia
- Jacob Carciente, Carreteras estudio y proyecto, Venezuela, Editorial Vega S.R.L.
- Jorge Mendoza Dueñas, 2015, Topografía Técnicas Modernas, 2da Edición, Editorial Segrin EIRL, Lima Perú
- Raúl Valle Rodas, 1999, Carreteras, Calles y Aeropistas, 6ta Edición, Editorial El Ateneo, Buenos Aires
- Manual de Diseño Geométrico de Carreteras – Diseño Geométrico de Carreteras, 2007, Administradora Boliviana de Carreteras, Volumen I, Bolivia
- Escuela de ingeniería de caminos de montaña
Facultad de ingeniería universidad nacional de san juan

ANEXOS

	REGISTRO	R-2314
	SONDEO DE POZOS	

PROYECTO: "TAMBILLO-SANTA ROSA -TIHUANACU" TRAMO: TIHUANACU - CRUCE TARACO PROGRESIVA: 0+100 CLIENTE: PREFECTURA DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ LADO: IZQUIERDO	FECHA : 15-09-09 Nº DE POZO: 001 M1 PROF. 0,00 - 1,50m
--	---

DATOS DE CAMPO				PERFIL GEOTÉCNICO DEL POZO			FOTOGRAFÍA
Horizonte Nº:	1	2		Prof. (cm.)	Nº	Descripción	
Profundidad (cm)	0-010	010-150		0			
Espesor (cm)	10	140		5		Material vegetal	
Capa				10			
Cobertura Vegetal	(X)	()		15			
Material granular selecciona	()	()		20			
Empedrado	()	()		25			
Empedrado y contrapiso	()	()		30			
Pavimento	()	()		35			
Otros materiales	()	(X)		40			
Contenido				45		Material fino limoso arenoso, color marron oscuro	
Natural	(X)	(X)		50			
Orgánico	()	()		55			
Olor	()	()		60			
Escombros y/o Rellenos	()	()		65			
Humedad				70			
Seco	()	()		75	M1		
Poco húmedo	(X)	()		80			
Húmedo	()	(X)		85			
Muy húmedo	()	()		90			
Saturado	()	()		95			
Rocas				100			
Tipo de Roca				105			
Piedras (φ Máximo cm.)				110			
Angularidad				115			
Angular	()			120			
Sub. angular	()			125			
Sub. redondeada	()			130			
Redondeada	()			135			
G = Gravas, S = Arenas, M = Limos, C = Arcillas				140			
Bastante > 50 %	M	M		145			
Abundante 35-50%				150			
Algo 20-35%				155			
Poco 10-20%				160			
Indicios 0-10%				165			
Grueso > 50%	()			170			
Fino > 50 %	()			175			
Suelos				180			
Compacidad				185			
Muy suelta	()	()		190			
Suelta	(X)	()		195			
Poco compacta	()	(X)		200			
Media compacta	()	()		205			
Compacta	()	()		210			
Muy compacta	()	()		215			
Color		MARRON		220			
Clasificación				225			
				230			
				235			
				240			
				245			
				250			

OBSERVACIONES

**REGISTRO
SONDEO DE POZOS**

R-2314

PROYECTO: "TAMBILLO-SANTA ROSA -TIHUANACU"
TRAMO: TIHUANACU - CRUCE TARACO
PROGRESIVA: 0+800
CLIENTE: PREFECTURA DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ
LADO: DERECHO

FECHA : 15-09-09
Nº DE POZO: 003 M1
PROF. 0,00 - 1,50m

DATOS DE CAMPO				PERFIL GEOTÉCNICO DEL POZO			FOTOGRAFÍA
Horizonte Nº:	1	2		Prof. (cm.)	Nº	Descripción	
Profundidad (cm)	0-010	010-150		0			
Espesor (cm)	10	140		5		Material vegetal	
Capa				10			
Cobertura Vegetal	(X)	()		15			
Material granular seleccionada	()	()		20			
Empedrado	()	()		25			
Empedrado y contrapiso	()	()		30			
Pavimento	()	()		35			
Otros materiales	()	(X)		40			
Contenido				45			
Natural	(X)	(X)		50			
Orgánico	()	()		55			
Olor	()	()		60			
Escombros y/o Rellenos	()	()		65			
Humedad				70			
Seco	()	()		75	M1	Material fino limoso arcilloso color marron oscuro	
Poco húmedo	(X)	()		80			
Húmedo	()	(X)		85			
Muy húmedo	()	()		90			
Saturado	()	()		95			
Rocas				100			
Tipo de Roca				105			
Piedras (φ Máximo cm.)				110			
Angularidad				115			
Angular	()			120			
Sub. angular	()			125			
Sub. redondeada	()			130			
Redondeada	()			135			
G = Gravas, S = Arenas, M = Limos, C = Arcillas				140			
Bastante > 50 %	M	M		145			
Abundante 35-50%				150			
Algo 20-35%				155			
Poco 10-20%				160			
Indicios 0-10%				165			
Grueso > 50%	()			170			
Fino > 50 %	()			175			
Suelos				180			
Compacidad				185			
Muy suelta	()	()		190			
Suelta	(X)	()		195			
Poco compacta	()	(X)		200			
Media compacta	()	()		205			
Compacta	()	()		210			
Muy compacta	()	()		215			
Color		MARRON		220			
				225			
Clasificación				230			
				235			
				240			
				245			
				250			

OBSERVACIONES

REGISTRO		R - 2301	1
ANALISIS GRANULOMETRICO - LIMITES DE CONSISTENCIA CLASIFICACION DE SUELOS (ASTM D421 - ASTM D4318 - ASTM D2487)			
		Nº	

PROYECTO: CARRETERA "TAMBILLO - TIHUANACU"

TRAMO: TIHUANACU - CRUCE TARACO	FECHA: 14/10/2009
PROGRESIVA: 00+100	Nº DE REGISTRO: P 001
PROCEDENCIA: LATERAL	PROFUNDIDAD: 0.10 - 1.50 m.
LADO: IZQUIERDO	MUESTRA: M-1
CLIENTE: PREFECTURA DE LA PAZ	LABORATORISTA: RENE

DATOS DE LA MUESTRA TOTAL	
PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA	2,433 gr
PESO > TAMIZ No 10	0 gr
PESO < TAMIZ No 10 HUMEDO	4,500 gr
PESO < TAMIZ No 10 SECO	4,449 gr
PESO TOTAL MUESTRA SECA	4,449 gr

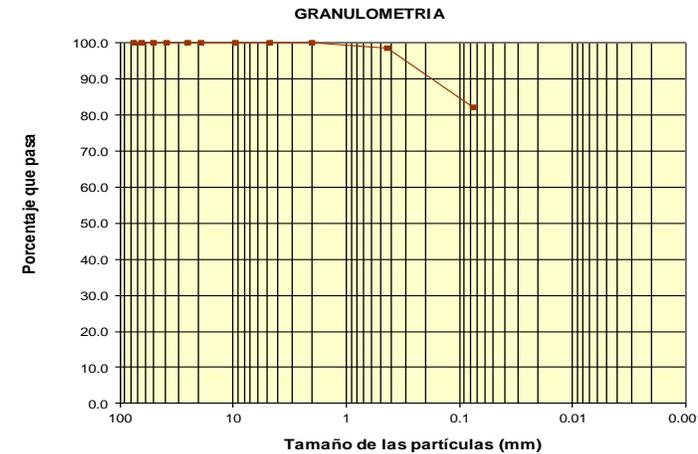
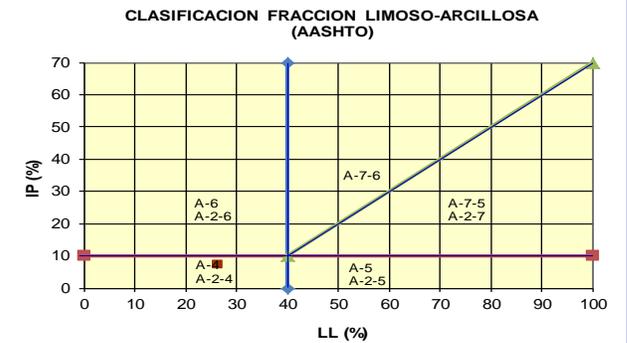
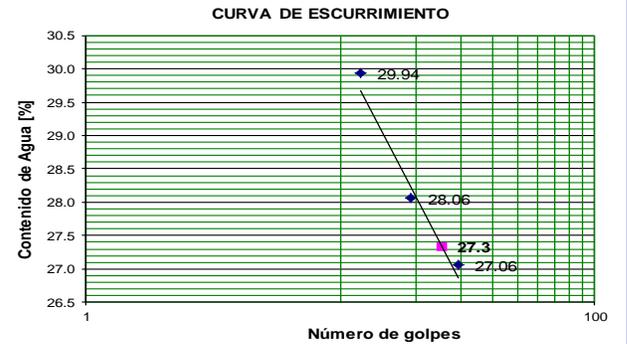
DATOS DEL AGREGADO FINO	
PASA No 10 HUMEDO	300.0 gr
PASA No 10 SECO	296.6 gr

DETERMINACION DE HUMEDADES		
	NATURAL	HIGROS.
TARA No	245	228
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	313.60	313.60
PESO TARA + MUESTRA SECA	261.00	310.50
PESO DEL AGUA	52.60	3.10
PESO DE LA TARA *	50.70	41.60
PESO MUESTRA SECA	210.30	268.90
CONTENIDO DE AGUA %	25.0	1.2

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO			
TARA No	41	15	4
NUMERO DE GOLFES	12	19	29
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	51.57	50.90	52.50
PESO TARA + MUESTRA SECA	46.74	46.32	47.83
PESO DEL AGUA (gr)	4.83	4.58	4.67
PESO DE LA TARA (gr)	30.61	30.00	30.57
PESO MUESTRA SECA (gr)	16.13	16.32	17.26
CONTENIDO DE AGUA %	29.94	28.06	27.06
LIMITE LIQUIDO %			

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO		
TARA No	70	20
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA (gr)	22.63	21.92
PESO TARA + MUESTRA SECA (gr)	21.55	20.95
PESO DEL AGUA (gr)	1.08	0.97
PESO DE LA TARA (gr)	16.04	15.92
PESO MUESTRA SECA (gr)	5.51	5.03
CONTENIDO DE AGUA %	19.6	19.3

Tamiz Nro.	Abertura (mm)	Retenido acumulado (gr)	Pasa (%)	Retenido acumulado (%)
3"	76.2		100.0	0.0
2 1/2"	63.5		100.0	0.0
2"	50.8		100.0	0.0
1 1/2"	38.1		100.0	0.0
1"	25.4		100.0	0.0
3/4"	19.05		100.0	0.0
3/8"	9.53		100.0	0.0
No 4	4.75		100.0	0.0
No 10	2		100.0	0.0
No 40	0.43	5.0	98.3	1.7
No 200	0.075	52.8	82.2	17.8



RESUMEN

PROPIEDADES DEL SUELO	
Límite líquido LL	27.3%
Límite plástico LP	19.4%
Índice plasticidad IP	7.9%
Humedad natural	25.0%

CLASIFICACION AASHTO	
Material limoso-arenoso	
Pobre a malo como subgrado	
A-4 Suelo limoso	
Valor del índice de grupo (IG):	5

CLASIFICACION UNIFICADA (S.U.C.S.)	
Suelo de partículas finas.	
Arcilla baja plasticidad con arena CL	

REGISTRO
ANALISIS GRANULOMETRICO - LIMITES DE CONSISTENCIA
CLASIFICACION DE SUELOS (ASTM D421 - ASTM D4318 - ASTM D2487)

R - 2301

2

Nº

PROYECTO: CARRETERA "TAMBILLO - TIHUANACU"

TRAMO: TIHUANACU - CRUCE TARACO
 PROGRESIVA: 0+500
 PROCEDENCIA: LATERAL
 LADO: DERECHO
 CLIENTE: PREFECTURA DE LA PAZ

FECHA: 14/10/2009
 Nº DE REGISTRO: P 002
 PROFUNDIDAD: 0.00 - 1.50 m.
 MUESTRA: M-1
 LABORATORISTA: RENE

DATOS DE LA MUESTRA TOTAL

PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA	2,433	gr
PESO > TAMIZ No 10	195	gr
PESO < TAMIZ No 10 HUMEDO	3,210	gr
PESO < TAMIZ No 10 SECO	3,188	gr
PESO TOTAL MUESTRA SECA	3,383	gr

DATOS DEL AGREGADO FINO

PASA No 10 HUMEDO	300.0	gr
PASA No 10 SECO	297.9	gr

DETERMINACION DE HUMEDADES

	NATURAL	HIGROS.
TARA No	45	25
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	428.50	232.20
PESO TARA + MUESTRA SECA	364.60	230.90
PESO DEL AGUA	63.90	1.30
PESO DE LA TARA *	92.10	42.00
PESO MUESTRA SECA	272.50	188.90
CONTENIDO DE AGUA %	23.4	0.7

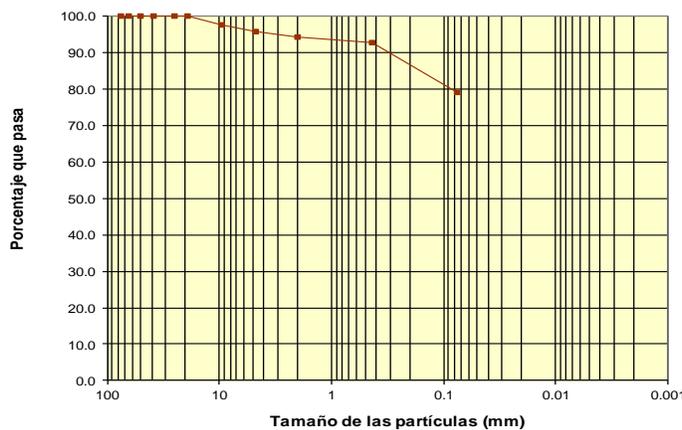
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

	33	32	36
TARA No	33	32	36
NUMERO DE GOLPES	32	22	17
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	38.96	41.29	41.78
PESO TARA + MUESTRA SECA	33.08	34.61	34.93
PESO DEL AGUA (gr)	5.88	6.68	6.85
PESO DE LA TARA (gr)	13.57	12.88	13.15
PESO MUESTRA SECA (gr)	19.51	21.73	21.78
CONTENIDO DE AGUA %	30.14	30.74	31.45
LIMITE LIQUIDO %			

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

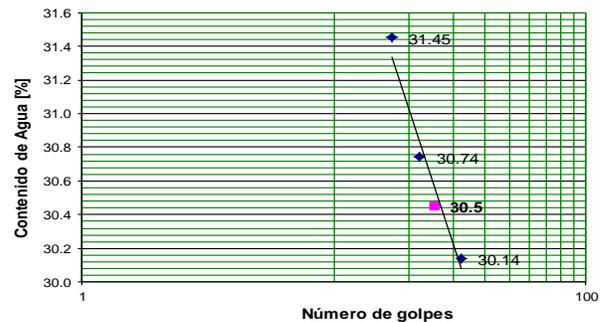
	29	28
TARA No	29	28
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA (gr)	24.35	24.11
PESO TARA + MUESTRA SECA (gr)	22.65	22.46
PESO DEL AGUA (gr)	1.70	1.65
PESO DE LA TARA (gr)	13.29	13.40
PESO MUESTRA SECA (gr)	9.36	9.06
CONTENIDO DE AGUA %	18.2	18.2

GRANULOMETRIA

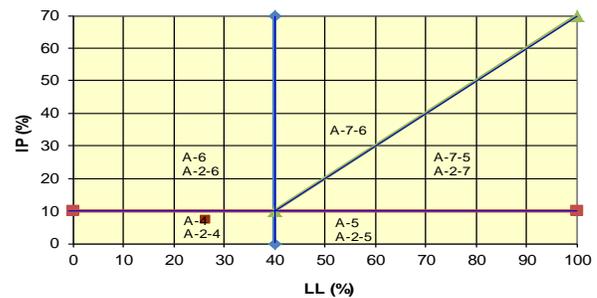


Tamiz Nro.	Abertura (mm)	Retenido acumulado (gr)	Pasa (%)	Retenido acumulado (%)
3"	76.2		100.0	0.0
2 1/2"	63.5		100.0	0.0
2"	50.8		100.0	0.0
1 1/2"	38.1		100.0	0.0
1"	25.4		100.0	0.0
3/4"	19.05		100.0	0.0
3/8"	9.53	83.9	97.5	2.5
No 4	4.75	149.1	95.6	4.4
No 10	2	194.5	94.3	5.7
No 40	0.43	5.0	92.7	1.7
No 200	0.075	47.8	79.1	16.0

CURVA DE ESCURRIMIENTO



CLASIFICACION FRACCION LIMOSO-ARCILLOSA (AASHTO)



RESUMEN

PROPIEDADES DEL SUELO	
Límite líquido LL	30.5%
Límite plástico LP	18.2%
Índice plasticidad IP	12.3%
Humedad natural	23.4%

CLASIFICACION AASHTO

Material limoso-arenoso	
Pobre a malo como subgrado	
A-6 Suelo arcilloso	
Valor del índice de grupo (IG):	8

CLASIFICACION UNIFICADA (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas.
Arcilla media plasticidad con arena CL

REGISTRO
ANALISIS GRANULOMETRICO - LIMITES DE CONSISTENCIA
CLASIFICACION DE SUELOS (ASTM D421 - ASTM D4318 - ASTM D2487)

R - 2301

3

Nº

PROYECTO: CARRETERA "TAMBILLO - TIHUANACU"

TRAMO: TIHUANACU - CRUCE TARACO
 PROGRESIVA: 00+800
 PROCEDENCIA: LATERAL
 LADO: IZQUIERDO
 CLIENTE: PREFECTURA DE LA PAZ

FECHA: 14/10/2009
 Nº DE REGISTRO: P 003
 PROFUNDIDAD: 0.00 - 1.50 m.
 MUESTRA: M-1
 LABORATORISTA: RENE

DATOS DE LA MUESTRA TOTAL

PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA	3,109	gr
PESO > TAMIZ No 10	0	gr
PESO < TAMIZ No 10 HUMEDO	3,109	gr
PESO < TAMIZ No 10 SECO	3,000	gr
PESO TOTAL MUESTRA SECA	3,000	gr

DATOS DEL AGREGADO FINO

PASA No 10 HUMEDO	300.0	gr
PASA No 10 SECO	289.5	gr

DETERMINACION DE HUMEDADES

	NATURAL	HIGROS.
TARA No	301	210
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	329.60	285.70
PESO TARA + MUESTRA SECA	269.50	277.50
PESO DEL AGUA	60.10	8.20
PESO DE LA TARA *	55.10	51.00
PESO MUESTRA SECA	214.40	226.50
CONTENIDO DE AGUA %	28.0	3.6

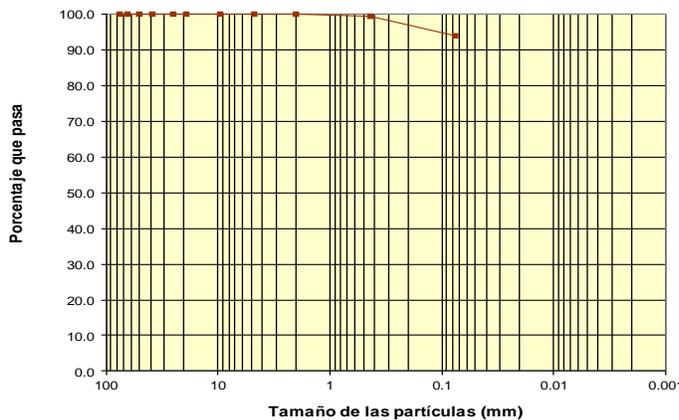
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

	36	13	59
TARA No	36	13	59
NUMERO DE GOLPES	20	26	40
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	53.57	54.11	54.50
PESO TARA + MUESTRA SECA	46.27	46.70	47.06
PESO DEL AGUA (gr)	7.30	7.41	7.44
PESO DE LA TARA (gr)	30.51	30.53	30.30
PESO MUESTRA SECA (gr)	15.76	16.17	16.76
CONTENIDO DE AGUA %	46.32	45.83	44.39
LIMITE LIQUIDO %			

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

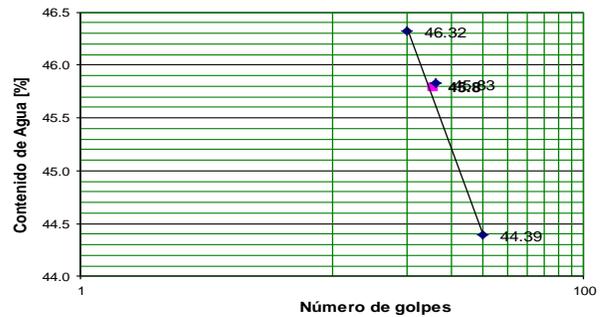
	14	13
TARA No	14	13
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA (gr)	20.97	22.72
PESO TARA + MUESTRA SECA (gr)	19.76	21.40
PESO DEL AGUA (gr)	1.21	1.32
PESO DE LA TARA (gr)	14.33	15.65
PESO MUESTRA SECA (gr)	5.43	5.75
CONTENIDO DE AGUA %	22.3	23.0

GRANULOMETRIA

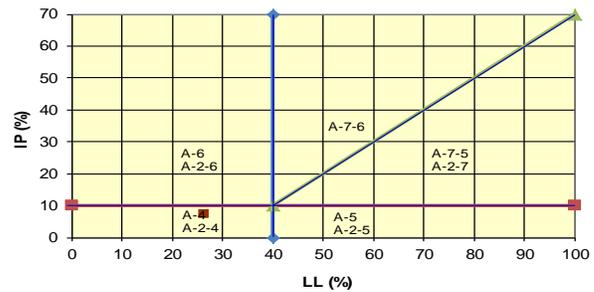


Tamiz Nro.	Abertura (mm)	Retenido acumulado (gr)	Pasa (%)	Retenido acumulado (%)
3"	76.2		100.0	0.0
2 1/2"	63.5		100.0	0.0
2"	50.8		100.0	0.0
1 1/2"	38.1		100.0	0.0
1"	25.4		100.0	0.0
3/4"	19.05		100.0	0.0
3/8"	9.53		100.0	0.0
No 4	4.75		100.0	0.0
No 10	2		100.0	0.0
No 40	0.43	1.7	99.4	0.6
No 200	0.075	17.8	93.9	6.1

CURVA DE ESCURRIMIENTO



CLASIFICACION FRACCION LIMOSO-ARCILLOSA (AASHTO)



RESUMEN

PROPIEDADES DEL SUELO	
Límite líquido LL	45.83%
Límite plástico LP	22.61%
Índice plasticidad IP	23.22%
Humedad natural	28.01%

CLASIFICACION AASHTO

Material limoso-arenoso	
Pobre a malo como subgrado	
A-7-6 Suelo arcilloso	
Valor del índice de grupo (IG):	24

CLASIFICACION UNIFICADA (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas.	
Arcilla media plasticidad CL	

REGISTRO
ANALISIS GRANULOMETRICO - LIMITES DE CONSISTENCIA
CLASIFICACION DE SUELOS (ASTM D421 - ASTM D4318 - ASTM D2487)

R - 2301

5

Nº

PROYECTO: CARRETERA "TAMBILLO - TIHUANACU"

TRAMO: TIHUANACU - CRUCE TARACO
 PROGRESIVA: 02+800
 PROCEDENCIA: LATERAL
 LADO: IZQUEIRDO
 CLIENTE: PREFECTURA DE LA PAZ

FECHA : 14/10/2009
 Nº DE REGISTRO: P 005
 PROFUNDIDAD: 0.10 - 1.50 m.
 MUESTRA: M-1
 LABORATORISTA : RENE

DATOS DE LA MUESTRA TOTAL

PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA	5,789	gr
PESO > TAMIZ No 10	214	gr
PESO < TAMIZ No 10 HUMEDO	5,575	gr
PESO < TAMIZ No 10 SECO	5,465	gr
PESO TOTAL MUESTRA SECA	5,679	gr

DATOS DEL AGREGADO FINO

PASA No 10 HUMEDO	300.0	gr
PASA No 10 SECO	294.1	gr

DETERMINACION DE HUMEDADES

	NATURAL	HIGROS.
TARA No	108	210
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	431.00	257.70
PESO TARA + MUESTRA SECA	389.70	253.80
PESO DEL AGUA	41.30	3.90
PESO DE LA TARA *	42.70	60.20
PESO MUESTRA SECA	347.00	193.60
CONTENIDO DE AGUA %	11.9	2.0

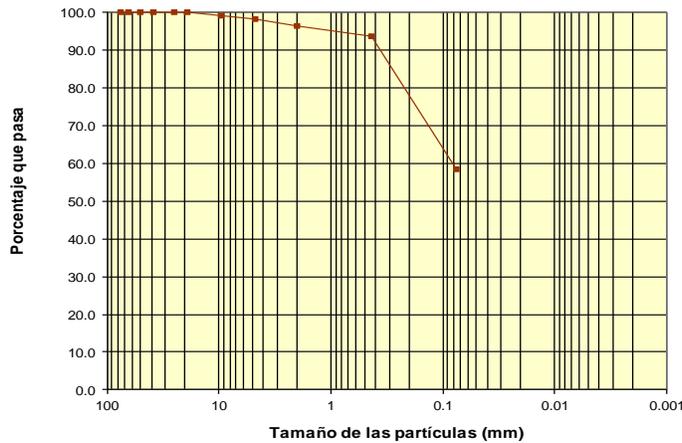
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

TARA No	16	13	15
NUMERO DE GOLPES	18	23	36
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	55.04	54.11	49.30
PESO TARA + MUESTRA SECA	48.34	47.60	44.11
PESO DEL AGUA (gr)	6.70	6.51	5.19
PESO DE LA TARA (gr)	31.51	30.50	30.04
PESO MUESTRA SECA (gr)	16.83	17.10	14.07
CONTENIDO DE AGUA %	39.81	38.07	36.89
LIMITE LIQUIDO %			

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

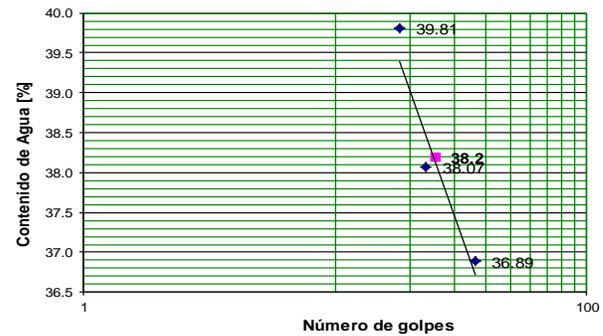
TARA No	50	70
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA (gr)	22.36	21.40
PESO TARA + MUESTRA SECA (gr)	21.53	20.67
PESO DEL AGUA (gr)	0.83	0.73
PESO DE LA TARA (gr)	16.25	16.04
PESO MUESTRA SECA (gr)	5.28	4.63
CONTENIDO DE AGUA %	15.7	15.8

GRANULOMETRIA

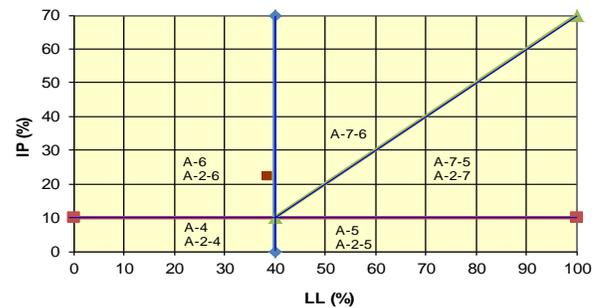


Tamiz Nro.	Abertura (mm)	Retenido acumulado (gr)	Pasa (%)	Retenido acumulado (%)
3"	76.2		100.0	0.0
2 1/2"	63.5		100.0	0.0
2"	50.8		100.0	0.0
1 1/2"	38.1		100.0	0.0
1"	25.4		100.0	0.0
3/4"	19.05		100.0	0.0
3/8"	9.53	57	99.0	1.0
No 10	4.75	103	98.2	1.8
No 4	2	214	96.2	3.8
No 40	0.43	7.7	93.7	2.6
No 200	0.075	115.7	58.4	39.3

CURVA DE ESCURRIMIENTO



CLASIFICACION FRACCION LIMOSO-ARCILLOSA (AASHTO)



RESUMEN

PROPIEDADES DEL SUELO	
Límite líquido LL	38.2%
Límite plástico LP	15.7%
Índice plasticidad IP	22.5%
Humedad natural	11.9%

CLASIFICACION AASHTO

Material limoso-arenoso	
Pobre a malo como subgrado	
A-6 Suelo arcilloso	
Valor del índice de grupo (IG):	10

CLASIFICACION UNIFICADA (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas.	
Arcilla media plasticidad arenosa CL	

REGISTRO
ANALISIS GRANULOMETRICO - LIMITES DE CONSISTENCIA
CLASIFICACION DE SUELOS (ASTM D421 - ASTM D4318 - ASTM D2487)

R - 2301

6

Nº

PROYECTO: CARRETERA "TAMBILLO - TIHUANACU"

TRAMO: TIHUANACU - CRUCE TARACO
 PROGRESIVA: 03+500
 PROCEDENCIA: LATERAL
 LADO: IZQUIERDO
 CLIENTE: PREFECTURA DE LA PAZ

FECHA : 14/10/2009
 Nº DE REGISTRO: P 002
 PROFUNDIDAD: 0.00 m.
 MUESTRA: M-1
 LABORATORISTA : RENE

DATOS DE LA MUESTRA TOTAL

PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA	2,909	gr
PESO > TAMIZ No 10	14.0	gr
PESO < TAMIZ No 10 HUMEDO	2,895	gr
PESO < TAMIZ No 10 SECO	2,870	gr
PESO TOTAL MUESTRA SECA	2,884	gr

DATOS DEL AGREGADO FINO

PASA No 10 HUMEDO	300.0	gr
PASA No 10 SECO	297.4	gr

DETERMINACION DE HUMEDADES

	NATURAL	HIGROS.
TARA No	4	19
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	254.10	270.20
PESO TARA + MUESTRA SECA	237.00	268.40
PESO DEL AGUA	17.10	1.80
PESO DE LA TARA *	64.70	65.80
PESO MUESTRA SECA	172.30	202.60
CONTENIDO DE AGUA %	9.9	0.9

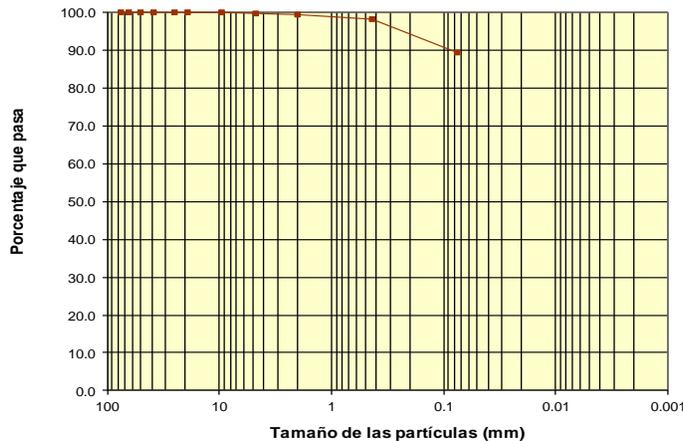
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

TARA No	39	38	37
NUMERO DE GOLPES	39	29	17
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	38.23	39.07	44.91
PESO TARA + MUESTRA SECA	33.22	33.71	38.18
PESO DEL AGUA (gr)	5.01	5.36	6.73
PESO DE LA TARA (gr)	12.93	12.83	13.20
PESO MUESTRA SECA (gr)	20.29	20.88	24.98
CONTENIDO DE AGUA %	24.69	25.67	26.94
LIMITE LIQUIDO %			

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

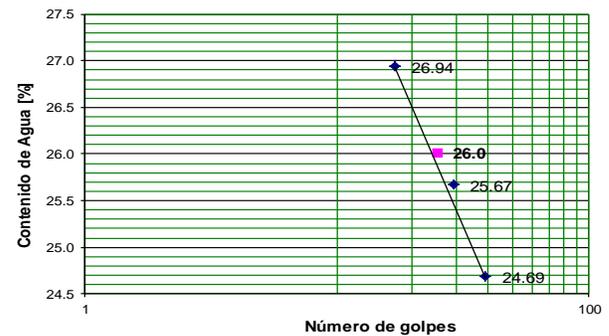
TARA No	48	46
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA (gr)	32.36	29.37
PESO TARA + MUESTRA SECA (gr)	29.41	26.90
PESO DEL AGUA (gr)	2.95	2.47
PESO DE LA TARA (gr)	13.72	13.27
PESO MUESTRA SECA (gr)	15.69	13.63
CONTENIDO DE AGUA %	18.8	18.1

GRANULOMETRIA

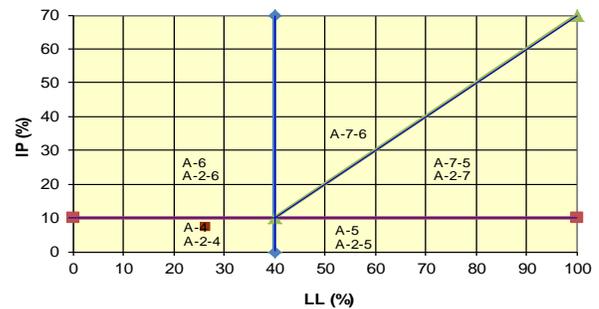


Tamiz Nro.	Abertura (mm)	Retenido acumulado (gr)	Pasa (%)	Retenido acumulado (%)
3"	76.2		100.0	0.0
2 1/2"	63.5		100.0	0.0
2"	50.8		100.0	0.0
1 1/2"	38.1		100.0	0.0
1"	25.4		100.0	0.0
3/4"	19.05		100.0	0.0
3/8"	9.53		100.0	0.0
No 4	4.75	10.7	99.6	0.4
No 10	2	14.0	99.5	0.5
No 40	0.43	4.2	98.1	1.4
No 200	0.075	30.0	89.5	10.1

CURVA DE ESCURRIMIENTO



CLASIFICACION FRACCION LIMOSO-ARCILLOSA (AASHTO)



RESUMEN

PROPIEDADES DEL SUELO	
Límite líquido LL	26.0%
Límite plástico LP	18.5%
Índice plasticidad IP	7.6%
Humedad natural	9.9%

CLASIFICACION AASHTO

Material limoso-arenoso	
Pobre a malo como subgrado	
A-4 Suelo limoso	
Valor del índice de grupo (IG):	5

CLASIFICACIÓN UNIFICADA (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas.
Arcilla baja plasticidad CL

REGISTRO
ANALISIS GRANULOMETRICO - LIMITES DE CONSISTENCIA
CLASIFICACION DE SUELOS (ASTM D421 - ASTM D4318 - ASTM D2487)

R - 2301

8

Nº

PROYECTO: CARRETERA "TAMBILLO - TIHUANACU"

TRAMO: TIHUANACU - CRUCE TARACO
 PROGRESIVA: 04+800
 PROCEDENCIA: LATERAL
 LADO: IZQUIERDO
 CLIENTE: PREFECTURA DE LA PAZ

FECHA: 15/10/2009
 Nº DE REGISTRO: P 008
 PROFUNDIDAD: 0.10 - 1.50 m.
 MUESTRA: M-1
 LABORATORISTA: RENE

DATOS DE LA MUESTRA TOTAL

PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA	3,832	gr
PESO > TAMIZ No 10	74.0	gr
PESO < TAMIZ No 10 HUMEDO	3,758	gr
PESO < TAMIZ No 10 SECO	3,699	gr
PESO TOTAL MUESTRA SECA	3,773	gr

DATOS DEL AGREGADO FINO

PASA No 10 HUMEDO	300.0	gr
PASA No 10 SECO	295.3	gr

DETERMINACION DE HUMEDADES

	NATURAL	HIGROS.
TARA No	248	253
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	319.00	281.50
PESO TARA + MUESTRA SECA	281.20	277.90
PESO DEL AGUA	37.80	3.60
PESO DE LA TARA *	52.30	52.20
PESO MUESTRA SECA	228.90	225.70
CONTENIDO DE AGUA %	16.5	1.6

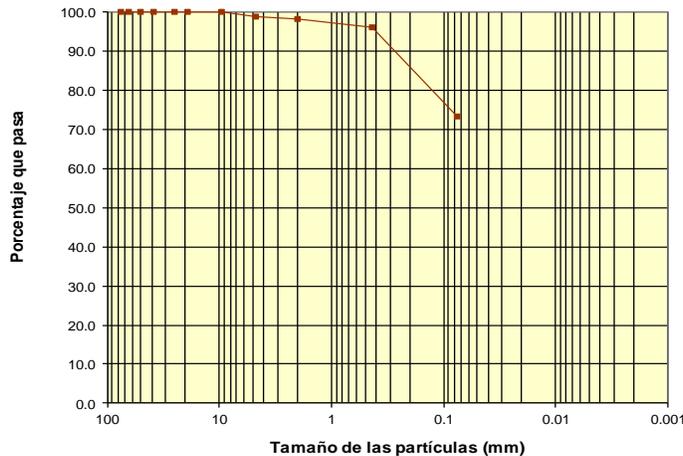
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

TARA No	40	42	215
NUMERO DE GOLPES	12	22	31
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	58.67	55.80	53.50
PESO TARA + MUESTRA SECA	51.85	49.91	48.31
PESO DEL AGUA (gr)	6.82	5.89	5.19
PESO DE LA TARA (gr)	30.94	30.70	30.71
PESO MUESTRA SECA (gr)	20.91	19.21	17.60
CONTENIDO DE AGUA %	32.62	30.66	29.49
LIMITE LIQUIDO %			

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO

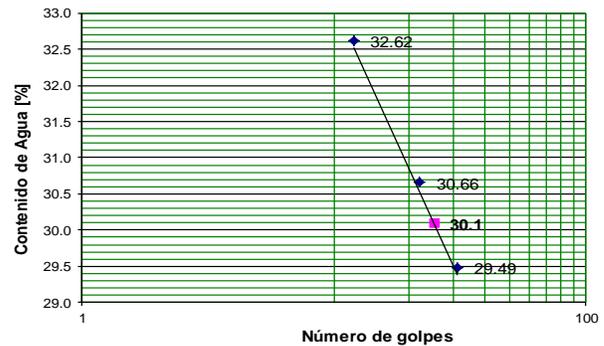
TARA No	60	50
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA (gr)	20.96	22.67
PESO TARA + MUESTRA SECA (gr)	20.15	21.88
PESO DEL AGUA (gr)	0.81	0.79
PESO DE LA TARA (gr)	14.47	16.25
PESO MUESTRA SECA (gr)	5.68	5.63
CONTENIDO DE AGUA %	14.3	14.0

GRANULOMETRIA

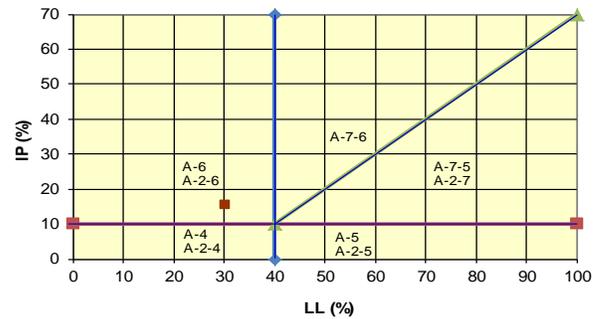


Tamiz Nro.	Abertura (mm)	Retenido acumulado (gr)	Pasa (%)	Retenido acumulado (%)
3"	76.2		100.0	0.0
2 1/2"	63.5		100.0	0.0
2"	50.8		100.0	0.0
1 1/2"	38.1		100.0	0.0
1"	25.4		100.0	0.0
3/4"	19.05		100.0	0.0
3/8"	9.53		100.0	0.0
No 4	4.75	44.0	98.8	1.2
No 10	2	74.0	98.0	2.0
No 40	0.43	6.2	96.0	2.1
No 200	0.075	74.7	73.2	25.3

CURVA DE ESCURRIMIENTO



CLASIFICACION FRACCION LIMOSO-ARCILLOSA (AASHTO)



RESUMEN

PROPIEDADES DEL SUELO	
Límite líquido LL	30.1 %
Límite plástico LP	14.1 %
Índice plasticidad IP	16.0 %
Humedad natural	16.5 %

CLASIFICACION AASHTO

Material limoso-arenoso
 Pobre a malo como subgrado
A-6 Suelo arcilloso
 Valor del índice de grupo (IG): 9

CLASIFICACIÓN UNIFICADA (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas.
Arcilla media plasticidad con arena CL