

CAPÍTULO I DISEÑO TEÓRICO METODOLÓGICO

1.1.- INTRODUCCIÓN

Las redes de carreteras son una pieza clave para el desarrollo económico de cualquier país, siendo fundamental proyectar una expansión estratégica y sostenida, así como un adecuado mantenimiento de las mismas para garantizar unas conexiones de calidad entre las diferentes partes de un territorio geográfico.

En Bolivia la evolución de la red vial a partir de 1975 ha sido lenta, fundamentalmente debido a las condiciones socio - económicas que atraviesa nuestro país.

En base a este problema se vio la necesidad de realizar un estudio a diseño final de ingeniería para el tramo “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”, realizando todos los estudios necesarios para el diseño de esta vía, como ser: levantamiento topográfico, estudio de tráfico, estudio geológico, estudio hidrológico, diseño geométrico, diseño del paquete estructural, diseño de obras de arte menor, cómputos métricos, análisis de precios unitarios y presupuesto general.

De esa manera con el presente proyecto de ingeniería civil, se pretende realizar el estudio tomando las mejores decisiones en base a la aplicación de criterios técnicos y que esta obra en un futuro pueda ser de mucho beneficio para todos los habitantes de la comunidad “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”.

1.2.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El desarrollo de un país mediante la integración de sus carreteras es de vital importancia para la misma, ya que a través de ella los departamentos, las comunidades y demás sectores afines pueden ir desarrollándose y creciendo de forma social, económica y culturalmente.

Razón por el cual se ve la necesidad de integrar a la comunidad “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO” a la red departamental de Chuquisaca, para mejorar ciertos aspectos de gran relevancia en el lugar como ser el desarrollo y potencialización de

agricultura, turismo, así como también se quiere mejorar el tránsito vial diseñando una mejor capa de rodadura, taludes más estables, alcantarillados, pendientes optimas, etc. Que mejoren y optimicen la transitabilidad de los vehículos y transeúntes.

En vista de toda esta problemática y haciendo un análisis a fondo se puede decir que es más que justificativo la elaboración de un proyecto a diseño final de ingeniería para dicha comunidad con el fin de solucionar y mejorar la calidad de vida de la zona.

1.3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problemática

En la provincia Nor-Cinti del departamento de Chuquisaca, la gobernación viene ejecutando varias obras de apertura, mejoramiento y asfaltado de varias vías camineras que permiten la integración de la provincia. Las comunidades de “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”, se integran a través de un camino vecinal que es utilizado por los comunarios para traer sus productos agrícolas a comercializarlos a la población de Camargo y además proveerse de productos de primera necesidad, pero la vía presenta la necesidad de pavimentarse y de adecuar el camino actual (rodadura de tierra), a un diseño geométrico donde sus características técnicas relacionadas con el alineamiento vertical y horizontal, ancho de plataforma, drenaje y otras características se adecuen a las normas técnicas de carreteras en Bolivia. Además, otro problema que se presenta es el polvo y la tierra que dejan los vehículos en algunos sectores del tramo y que son un perjuicio para los mismos vehículos que circulan por la carretera y para los comunarios de la zona que se ven afectados por esto; otra justificación para el diseño de ingeniería de esta vía es que las carreteras adyacentes a ésta son parte de la red departamental Tarija – Potosí, (tramo de pavimento rígido) por estos motivos se tiene la necesidad de presentar alternativas de solución y diseño de ingeniería para el camino vecinal “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”, (progresiva 0+000 hasta la progresiva 6+580).

1.3.2. Problema

¿El proyecto vial a diseño final de ingeniería podrá mejorar los problemas y necesidades actuales tramo “SAN PEDRO – HIGUERAHUAYCO”?

1.4.- OBJETIVOS

1.4.1.- Objetivo general

Realizar el proyecto a diseño de ingeniería para el tramo vial “SAN PEDRO – HIGUERAHUAYCO” con normas viales vigentes, para mejorar la transitabilidad y calidad de vida de los comunarios del lugar.

1.4.2. Objetivos específicos

- Seleccionar la mejor alternativa de diseño de ingeniería, para el tramo vial “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”.
- Realizar los estudios previos al diseño (levantamiento topográfico, estudio de tráfico, estudios hidrológicos y estudio geológico).
- Diseñar el paquete estructural para pavimento flexible y para tratamiento superficial doble, por el método AASHTO – 93.
- Realizar un análisis de costo para el diseño geométrico y estructural, con su correspondiente análisis de precios unitarios y presupuesto general.

1.5.- ALCANCE DEL PROYECTO

Al realizar el diseño de ingeniería para el camino vecinal “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO” se llevaran a cabo actividades de inspección y reconocimiento del sitio del proyecto para luego efectuar estudios como ser: levantamiento topográfico, estudio de tráfico, estudio geológico y estudio hidrológico la cual nos permitan conocer las características de la zona.

La parte ingenieril del proyecto se inicia desarrollando una revisión en la normativa vigente para el diseño de vías, en esta parte del proyecto se establecerán los parámetros de diseño, una vez realizados los estudios mencionados anteriormente, se procede al diseño geométrico de la vía, que es un diseño planimétrico y altimétrico del camino

también se diseñaran las secciones transversales y se obtendrá el cálculo de volúmenes de corte como de relleno.

En la etapa de diseño del drenaje se examinarán las características climatológicas del lugar, así como caudales de crecidas y otros factores de importancia para el diseño de obras que permitan un adecuado sistema de drenaje en la vía, para su protección y correcto servicio.

Durante el diseño estructural se hará un análisis de dos tipos de diseño tales como: pavimento flexible y tratamiento superficial doble para la vía, se utilizaran los resultados de los estudios de tráfico y geotécnico para así efectuar el diseño del espesor del pavimento flexible y tratamiento superficial doble.

Luego se determinan los cómputos métricos de los ítems del proyecto y presupuestos del mismo, el análisis de precios unitarios de ítems que se ejecutarán en el proyecto, así como las especificaciones técnicas que se deberán cumplir con el objetivo del proyecto.

Y finalmente se hará un análisis de cuál de los 2 tipos de pavimentos, cual es más rentable y económico para su construcción en el tramo “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”.

1.6.- CRONOGRAMA.

FIGURA N°1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES



2.1. REVISIÓN

El sistema de carreteras en Bolivia se clasifica en tres grupos de vías de acuerdo a su importancia y nivel de servicio:

La red fundamental, la complementaria y la vecinal. Según el tipo de superficie de rodadura se tienen carreteras con pavimento, grava y de tierra.

El transporte por carretera juega un rol preponderante en el crecimiento económico de Bolivia, particularmente por constituir un factor crítico para el desarrollo de los sectores productivos, en especial los de agricultura e industria. Así mismo por constituir un medio incuestionable para el desarrollo de la integración física entre los países de la subregión.

2.1.1 Categoría de la vía

La clasificación para diseño consulta seis categorías divididas en dos grupos, ellas son:

– Carreteras:

Autopistas, autorrutas y primarias

– Caminos:

Colectores, locales y desarrollo

Cada Categoría se subdivide según las velocidades del proyecto consideradas al interior de la categoría. Las “Vp” más altas corresponden a trazados en terrenos Llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas en terreno montañoso.

TABLA N°1 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA EL DISEÑO DE
CARRETERAS Y CAMINOS RURALES

Categoría		Sección transversal	N° calzadas	Velocidad de proyecto (km/h)
		N° carriles		
Autopista	(O)	4 + UD	2	120-100-80
Autorruta	(I.A)	4 + UD	2	100-90-80

Primario	(I.B)	4+ UD	2	100-90-80
		2 BD	1	100-90-80
Colector	(II)	4+ UD	2	80-70-60
		2BD	1	80-70-60
Local	(III)	2BD	1	70-60-50-40
Desarrollo	(IV)	2BD	1	50-40-30

Fuente: Manual de carreteras ABC

Se clasificará de acuerdo a las condiciones topográficas y el estudio de tráfico.

Terreno llano

Está constituido por amplias extensiones libres de obstáculos con pocas obras construidas por el hombre.

El relieve puede incluir ondulaciones moderadas de la rasante para minimizar las alturas de corte y terraplenes; la rasante de la vía estará comprendida entre el más o menos 3%.

Terreno ondulado

Esta construido por un relieve con frecuencia cambios de cota, son repetitivos los constantes cambios de pendientes que pueden fluctuar entre 3 al 6% según la categoría de la ruta.

Terreno montañoso

Está constituido por cordones montañosos o cuestas en las cuales el trazado salva desniveles considerables en términos absolutos. La rasante del proyecto presenta pendientes sostenidas de 4 a 9% según la categoría del camino

2.1.2 Velocidad en el diseño del proyecto

De acuerdo a la clasificación del camino se adoptara las velocidades recomendadas por la norma la cual se muestran en el cuadro siguiente:

TABLA N°2 VELOCIDAD DEL PROYECTO

Caminos colectores - locales - desarrollo

Vp (km/h)	emax (%)	Rmin (m)
30	7	25
40	7	50
50	7	80
60	7	120
70	7	180
80	7	250

Fuente: Manual de carreteras ABC

Para el camino local las velocidades recomendadas por la norma son las siguientes:

- Terreno llano o ondulado medio 70 (km/h)
- Terreno ondulado fuerte 60 (km/h)
- Terreno montañoso 30 (km/h)

2.1.3 Distancia de visibilidad y maniobras asociadas

$$D_f = (V \cdot t) / 3.60 +$$

Dónde:

D_f = Distancia de frenado (m)

V = Velocidad del proyecto (km/h)

f_l = Coeficiente de roce rodante

i = Pendiente longitudinal de la rasante (m/m)

La fórmula considera un tiempo de percepción y reacción de 2.50 segundos

En el cuadro siguiente correspondiente se indican las distancias mínimas de frenado en horizontal:

TABLA N°3 DISTANCIA MÍNIMA DE FRENADO EN HORIZONTAL “ D_f ”

Vp (km/h)	t (s)	f -	Df (m)	Df(m)	
				Dt+Df	Adoptado
30	2	0.42	16.70	25.10	25
40	2	0.41	15.20	37.40	38
50	2	0.41	24	51.80	52
60	2	0.46	35.50	68.80	70
70	2	0.38	50.80	89.70	90
80	2	0.36	70	114.40	115

Fuente: Manual de carreteras ABC

Para el proyecto se consideran los valores dados en la tabla anterior de acuerdo a la velocidad de diseño adoptada

2.1.4 Distancia de adelantamiento

La distancia de adelantamiento "Da", equivale a la distancia mínima que requiere el conductor para adelantar a un vehículo que se desplaza a velocidad inferior a la del proyecto; esto es abandonar su carril, sobrepasar el vehículo adelantado y retomar su carril de forma segura, sin afectar la velocidad del vehículo adelantado ni la de un vehículo que se desplace en sentido contrario por el carril utilizado para adelantamiento.

El siguiente cuadro se muestra la distancia mínima de visibilidad de adelantamiento en función de la velocidad del proyecto.

TABLA N°4 DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO

Vp (km/h)	Distancia mínima de adelantamiento
30	180
40	240
50	300

60	370
70	440
80	500

Fuente: Manual de carreteras ABC

Para el proyecto se utiliza las recomendaciones de acuerdo a la velocidad de diseño adoptada.

2.1.5 Alineamiento horizontal

2.1.5.1 Longitud máxima en rectas

Se procurará evitar longitudes en rectas superiores a:

$$L_{rmin}=20*V_p$$

Código de campo cambiado

Dónde:

L_r = Largo en m de la alineación recta (m)

V_p = Velocidad de proyecto de la carretera (Km/h)

En caminos bidireccionales de dos carriles, a diferencia de lo que ocurre en carreteras unidireccionales, la necesidad de proveer secciones con visibilidad para adelantar justifica una mayor utilización de rectas importantes. Sin embargo, rectas de longitudes comprendidas entre $8V_p$ y $10V_p$ enlazadas por curvas cuya “ V_e ” cubren adecuadamente esta necesidad.

2.1.5.2 Longitud mínima en recta

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido o curva en “S” de aquellas correspondientes a curvas en el mismo sentido.

-En nuevos trazados deberá existir coincidencia entre el término de la primera curva y el inicio de la segunda curva.

- Tramos rectos intermedios de mayor longitud, deberá alcanzar o superar los mínimos que se señalan en el siguiente cuadro, los que responden a una mejor definición óptica del conjunto que ya no opera como una curva en “S” propiamente tal, ya están dados por :

$$L_{rmin}=20*V_p$$

Dónde:

V_p = Velocidad del proyecto

TABLA N°5 LONGITUD DE RECTAS MÍNIMAS ENTRE CURVAS DE DIFERENTE SENTIDO

V_p (km/h)	30	50	60	70	80
L (m)	56	70	84	98	112

Fuente: Manual de carreteras ABC

2.1.5.3 Coeficiente de fricción transversal

El coeficiente de roce entre pavimento y neumático es, por consiguiente, uno de los factores más importantes en la seguridad vial, y su auscultación rutinaria debe ser parte primordial de cualquier sistema de gestión vial.

Se adoptan los valores máximos admisibles del coeficiente de roce “f” mostrados a continuación:

TABLA N°6 COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL

Coeficiente	
V_p (km/h)	f
30	0.21
40	0.19

50	0.18
60	0.16
70	0.14
80	0.13

Fuente: Manual de carreteras ABC

2.1.5.4 Radio mínimo

El radio mínimo ($R_{\text{mín}}$) es el valor límite de curvatura para una velocidad específica de acuerdo con el peralte máximo ($e_{\text{máx}}$) y el coeficiente de fricción transversal máxima (f).

El radio mínimo de la curva horizontal, calculado con el criterio de seguridad al deslizamiento, responde al modelo matemático:

$$R_{\text{mín}} = \frac{V^2}{127 * (e_{\text{máx}} + f)}$$

Dónde:

R = Radio mínimo absoluto en (m)

V = Velocidad del proyecto, en (Km/h)

$e_{\text{máx}}$ = Peralte máximo correspondiente a la carretera o camino, en (m/m)

TABLA N°7 RADIOS MÍNIMOS EN METROS



Caminos colectores locales - desarrollo	
Vp	Rmín
(km/h)	(m)
30	25
40	50
50	80
60	120
70	180
80	250

Fuente: Manual de carreteras ABC

Los valores adoptados para el proyecto están de acuerdo a la velocidad del proyecto.

2.1.5.5 Peralte máximo

El peralte máximo que será adoptado esta restringido por diversos factores:

- Velocidad de proyecto de categoría del proyecto.
- Longitud de transición del peralte que resulte prácticamente viables, principalmente en los casos de dos curvas sucesivas. De sentido opuesto o en calzadas con muchos carriles.
- Condiciones climáticas de la zona donde se desarrolla el trazado, principalmente cuando existe la probabilidad de formación de hielo o de acumulación de nieve sobre la calzada.

Por razones de homogeneidad, el peralte máximo adoptado debe ser mantenido a lo largo de un tramo considerable del trazado de la carretera, ya que ese valor servirá de base para la adopción de radios de curva circular superiores al mínimo, las que obviamente estarán dotadas de un peralte menor.

TABLA N°8 VALORES MÁXIMOS PARA PERALTE Y FRICCIÓN
TRANSVERSAL

Velocidades	e _{max}	f
30-80 (km/h)	7%	0.26
80 - 120 (km/h)	8%	0.19

Fuente: Manual de carreteras ABC

2.1.6 Alineamiento vertical

2.1.6.1 Pendiente de la rasante

2.1.6.1.1 Pendientes máximas

El siguiente cuadro establece las pendientes máximas admisibles según la categoría de la carretera o camino.

TABLA N°9 PENDIENTE MÁXIMA SEGÚN CATEGORÍA DE CARRETERA O CAMINO

Categoría	Velocidad de proyecto (km/h)					
	30	40	50	60	70	80
Desarrollo	12	10	9	-	-	-
Local	-	9	9	8	8	-
Primario	-	-	-	8	8	8
Auto rutas	-	-	-	-	6	5
Autopistas	-	-	-	-	5	4.50

Fuente: Manual de carreteras ABC

2.1.6.1.2 Pendientes mínimas

Es deseable proveer una pendiente longitudinal mínima del orden de 0.50% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales. Se distinguirán los siguientes casos particulares:

Si la calzada posee un bombeo o inclinación transversal del 2% y no existen soleras o cunetas, se podrá excepcionalmente aceptar sectores con pendientes longitudinales desde hasta 0.20%.

Si el bombeo es de 2.50% excepcionalmente se podrán aceptar pendientes longitudinales iguales a cero.

Si al borde del pavimento existen soleras la pendiente longitudinal mínima deseable será de 0.50% y mínima absoluta 0.35%.

En zonas de transición de peralte en que la pendiente transversal se anula, la pendiente longitudinal mínima deberá ser de 0.50% y en lo posible mayor.

2.1.6.2 Curvas verticales

El ángulo de deflexión entre dos rasantes que se cortan, queda definido por la expresión:

$$\theta = (i_1 - i_2)$$

Código de campo cambiado

Es decir θ se calcula como el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida, expresadas en m/m. Las pendientes deberán considerarse con su signo, según la definición:

(+) Pendiente de Subida según el avance de (Dm)

(-) Pendiente de Bajada según avance de (Dm)

Toda vez que la deflexión θ es igual o mayor que $0.5\% = 0.005$ (m/m), se deberá proyectar una curva vertical para enlazar las rasantes. Bajo esta magnitud se podrá prescindir de la curva de enlace ya que la discontinuidad es imperceptible para el usuario.

El desarrollo de la curva de enlace se identifica con:

$$L = 2 \cdot T$$

Código de campo cambiado

Siendo $2 \cdot T$ la proyección horizontal de las tangentes a la curva de enlace.

Criterios de diseño para curvas verticales

Las curvas verticales deben asegurar en todo punto del camino la visibilidad de frenado, ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales.

En calzadas bidireccionales, si las condiciones lo permiten, el proyectista podrá diseñar curvas de enlace por criterio de visibilidad de adelantamiento, con lo que se asegura sobradamente la visibilidad de frenado.

El cálculo de curvas verticales presenta dos situaciones posibles, a saber:

$$D_v > 2*T \quad D_v < 2*T$$

La presente norma considera como situación general el caso $D_v < 2*T$ ya que: representa el caso más corriente, implica diseños más seguros y la longitud de curva de enlace resultante de $D_v > 2*T$, normalmente debe ser aumentada por criterio de comodidad y estética.

Parámetros mínimos por visibilidad de frenado

En curvas convexas la distancia de frenado sobre un obstáculo fijo situado sobre el carril de tránsito y la altura de los ojos del conductor sobre la rasante de este carril.

En curvas cóncavas, se considera la distancia de frenado nocturna sobre un obstáculo fijo que debe quedar dentro de la zona iluminada por los faros del vehículo.

TABLA N°10 PARÁMETROS MÍNIMOS EN CURVAS VERTICALES POR
CRITERIO DE VISIBILIDAD DE FRENADO

Vp	Kv	Kc
(km/h)	-	-
30	300	400
40	40	500
50	700	1000
60	1200	1400
70	1800	1900
80	3000	2500

Fuente: Manual de la ABC “diseño geométrico”

Parámetros mínimos por visibilidad de adelantamiento

En este caso, a considerar en caminos bidireccionales, tienen relevancia las curvas verticales convexas, ya que en las cóncavas las luces del vehículo en sentido contrario son suficientes para indicar su posición y no existe obstáculo a la visual durante el día a causa de la curva.

TABLA N°11 PARÁMETRO MÍNIMO DE CURVAS VERTICALES CONVEXAS
PARA ASEGURAR VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

V _p (km/h)	30	40	50	60	70	80
K _a (m)	350	630	980	14900	21000	27200

Fuente: Manual de la ABC “diseño geométrico”

Los valores de K_a que figuran en la Tabla N° 11 precedente están calculados por $Da < 2 * T$, que será el caso real toda vez que se tenga $V \geq 60$ Km/h. eventualmente, para velocidades muy bajas y θ moderados se cumplirá que $Da > 2 * T$ y calculando con la expresión correspondiente, se logra reducir el parámetro requerido para asegurar Da.

2.1.7 Sección transversal

La Sección Transversal de una carretera o camino describe las características geométricas de éstas, según un plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera.

Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.

2.1.8 La plataforma

Se llama “plataforma” a la superficie visible de una vía formada por su(s), calzada(s), sus bermas, los sobrecanchos de plataforma (SAP) y su cantero central, en caso de existir esta última como parte de la sección transversal.

El ancho de la plataforma será entonces la suma de los anchos de sus elementos constitutivos.

2.1.9 La calzada

Una calzada es una banda material y geoméricamente definida, de tal modo que su superficie pueda soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los mismos.

En el cuadro se resumen los anchos de calzadas, dados en función de la categoría de la vía y de la velocidad de proyecto que le corresponde.

TABLA N°12 ANCHOS DE CALZADA SEGÚN CATEGORÍAS

	Vp (km/h)	30 - 70	80 - 120
Para tránsito lento	Ancho (m)	3	3.50
Para tránsito rápido	Ancho (m)	3.50	3.50

Fuente: Manual de la ABC “diseño geométrico”

2.1.10 Bombeo

En tramos rectos o en aquellos cuyo radio de curvatura permite el contra peralte, las calzadas deberán tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura

En el cuadro siguiente especifica estos valores indicando en algunos casos un rango dentro del cual el proyectista deberá moverse, afinando su elección según los matices de la rugosidad de las superficies y de los climas imperantes.

TABLA N°13 BOMBEO DE LA CALZADA

Tipo de superficie	Pendiente transversal	
	$I \leq 15$ (mm/h)	$I \leq 15$ (mm/h)

Pav. de asfalto	2	2.50
Trat. superficial	3	3.50

Fuente: Manual de la ABC “diseño geométrico”

- Determinar mediante estudio hidrológico
- En climas definitivamente desérticos, se pueden rebajar los bombeos hasta un valor límite de 2.50 %

2.1.11 Berma

Las bermas son las franjas que flanquean el pavimento de las calzadas. Ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados.

TABLA N°14 ANCHO DE BERMAS SEGÚN CATEGORÍA y V_p .

Categoría	V_p (km/h)	Ancho de pista (m)	Ancho de berma (m)
Desarrollo	30	3	0.50

Fuente: Manual de la ABC “diseño geométrico”

2.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

2.2.1 Análisis de tráfico

El tráfico es uno de los parámetros más importantes para el diseño de pavimentos. Para obtener este dato es necesario determinar el número de repeticiones de cada tipo de eje durante el periodo de diseño, a partir de un tráfico inicial medido en el campo a través de aforos.

2.2.2 Período de diseño

Se define como el tiempo elegido al iniciar el diseño, para el cual se determinan las características del pavimento, evaluando su comportamiento para distintas alternativas

a largo plazo, con el fin de satisfacer las exigencias del servicio durante el periodo de diseño elegido a un costo razonable.

TABLA N°15 PERIODOS DE DISEÑO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CARRETERA

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Interurbana tránsito elevado	20 a 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 a 25

Fuente: AASHTO, guide for design of pavement structures 1993

2.2.3 Factor distribución direccional

A menos que existan consideraciones especiales, se considera una distribución del 50% del tránsito para cada dirección.

2.2.4 Factor de crecimiento

Los valores del factor de crecimiento para diferentes tasas anuales y periodos de diseño se muestran en la tabla siguiente, de acuerdo al criterio de la AASHTO:

TABLA N°16 FACTOR DE CRECIMIENTO

Periodo de diseño	Tasa de crecimiento anual en porcentaje						
	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	4.01	5.42	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	5.20	6.63	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	6.12	6.63	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	7.43	7.90	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	5.85	9.21	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	9.75	10.58	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	10.95	12.01	11.03	11.49	11.98	12.29	13.58
10	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
11	13.41	15.03	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	14.68	16.63	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	15.97	18.29	17.71	18.88	20.14	21.5	24.52
14	17.29	20.02	19.81	21.01	22.55	24.21	27.92
15	18.64	21.82	21.58	23.58	25.13	27.15	31.77

16	20.01	23.70	23.66	25.56	27.89	30.32	35.95
17	21.41	25.65	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	22.84	27.67	28.13	30.91	34	37.45	45.6
19	23.10	24.30	30.54	33.76	37.68	41.45	51.56
20	24.30	29.78	33.06	36.79	41	45.76	57.62

Fuente: AASHTO, guide for design of pavement structures 1993

2.2.5 Factor de distribución por carril

En una carretera de dos carriles, uno en cada dirección, el carril de diseño es uno de ellos, por lo tanto el factor de distribución por carril es 100%.

TABLA N°17 FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL

N° de carriles	Porcentaje de ejes equivalentes
1	100
2	80 a 100
3	60 a 80
4	50 a 75

Fuente: AASHTO, guide for design of pavement structures 1993

2.2.6 Factores equivalentes de carga (lef)

La conversión del tráfico a un número de ESAL's de 18 kips (carga de eje equivalente simple) se realiza utilizando factores equivalentes de carga LEFs (factor equivalente de carga). Estos factores fueron determinados por la AASHTO en sus tramos de prueba, donde pavimentos similares se sometieron a diferentes configuraciones de ejes y cargas, con el fin de analizar el daño producido y la relación existente entre estas configuraciones y cargas a través del daño que producen. El factor equivalente de carga LEF es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad ocasionada por una determinada carga de un tipo de eje y la producida por el eje patrón de 18 kips.

$$LEF = (N^{\circ} \text{ de ESALs de } 18)$$

Los factores equivalentes de carga de la AASHTO están tabulados en función a cuatro parámetros: tipo de eje (simple, tandem, tridem), índice de serviciabilidad final

(2, 2.50 y 3), carga por eje, y número estructural SN del pavimento (de 1 a 6”).

2.2.7 Factor de camión

Para expresar el daño que produce el tráfico, en términos del deterioro que produce un vehículo en particular, hay que considerar la suma de los daños producidos por cada eje de ese tipo de vehículo. De este criterio nace el concepto de factor de camión, que se define como el número de ESAL's por número de vehículo en general. Este factor puede ser calculado para cada tipo de camión, o para todos los vehículos como un promedio de una determinada configuración de tráfico.

$$\text{Factor camión} = (\text{N}^{\circ} \text{de ESALs} / \text{N}^{\circ} \text{de camiones})$$

2.2.8 Número total de ejes simples equivalentes (esal's)

Se calcula para el carril de diseño utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{ESALs} = \text{TPDA} * \text{GF} * \text{DD} * \text{LD} *$$

Dónde:

TPD = Tránsito promedio diario anual

GF = Factor de crecimiento (se lo obtiene de tabla entrando con la tasa de crecimiento)

DD = Factor de distribución direccional

LD = Factor de distribución por carril

TF = Factor de camión

2.2.9 Pavimento

El diseño del el pavimento flexible, según la AASHTO, está basado en la determinación del número estructural “SN” que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto.

A continuación se describen las variables que se consideran en el método AASHTO.

Código de campo cambiado

2.2.10 Módulo de resiliencia

Dado que no siempre se cuenta con equipos para ejecutar un ensayo de módulo resiliente, es conveniente relacionarlo con otras propiedades de los materiales, por ejemplo, con respecto al CBR.

2.2.11 Índice de serviciabilidad

Se define el índice de serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento. Antes de diseñar el pavimento se deben elegir los índices de servicio inicial y final. El índice de servicio inicial “po” depende del diseño y de la calidad de la construcción. En los pavimentos flexibles estudiados por la AASHTO, el pavimento nuevo alcanzó un valor medio de $po = 4.20$.

El índice de servicio final pt representa al índice más bajo capaz de ser tolerado por el pavimento, antes de que sea imprescindible su rehabilitación mediante un refuerzo o una reconstrucción. El valor asumido depende de la importancia de la carretera, se sugiere para carreteras de mayor tránsito un valor de $pt \geq 2.50$ y para carreteras de menor tránsito $pt = 2$.

2.2.12 Pérdida o disminución del índice de serviciabilidad

Los valores anteriormente descritos permiten determinar la disminución del índice de servicio, que representa una pérdida gradual de la calidad de servicio de la carretera, originada por el deterioro del pavimento.

Por tanto:

$$\Delta PSI = po - pt$$

Dónde:

PSI = Índice de servicio presente

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado

p_o = Índice de servicio inicial

p_t = Índice de servicio final

2.2.13 Nivel de confianza y desviación estándar

El nivel de confianza es uno de los parámetros más importante introducido por la AASHTO para el diseño de pavimentos, porque establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las sollicitaciones exteriores. La confiabilidad se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto, bajo las sollicitaciones de carga e intemperismo, o la probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles. Para elegir el valor de este parámetro se considera la importancia del camino, la confiabilidad de la resistencia de cada una de las capas y el tránsito de diseño pronosticado.

TABLA N°18 VALORES DEL NIVEL DE CONFIANZA R DE ACUERDO AL TIPO DE CAMINO

Tipo de camino	Zona urbana	Zona rural
Autopistas	85 a 99	80 a 99
Carreteras secundarias	80 a 95	75 a 95
Carreteras vecinales	50 a 80	50 a 80

Fuente: AASHTO, guide for design of pavement structures 1993

El rango de la desviación estándar sugerido por la AASTHO se encuentra entre los siguientes valores $0.40 \leq S_o \leq 0.50$.

2.2.14 Coeficiente de drenaje "cd"

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento; y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje; la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la siguiente tabla:

TABLA N°19 CAPACIDAD DEL DRENAJE

Calidad de drenaje	Tiempo en que tarda el agua en ser evacuado
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drena

Fuente: AASHTO, guide for design of pavement structures 1993

De acuerdo a las capacidades de drenaje la AASHTO establece los factores de corrección m² (bases) y m³ (sub-bases granulares sin estabilizar), en función del porcentaje de tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

TABLA N°20 VALORES “mi” PARA MODIFICAR LOS COEFICIENTES ESTRUCTURALES O DE CAPA DE BASES Y SUB-BASES SIN TRATAMIENTO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Capacidad de drenaje	% en que el pavimento es sometido a humedad			
	Menos del 1%	1 a 5 %	5 a 25 %	Más del 25 %
Excelente	1.40 a 1.35	1.35 a 1.30	1.3 a 1.2	1.20
Bueno	1.35 a 1.25	1.25	1.15 a 1	1
Regular	1.25 a 1.15	1.15 a 1.05	1 a 0.80	0.80
Malo	1.15 a 1.05	1.05 a 0.8	0.80 a 0.60	0.60
Muy malo	1.05 a 0.95	0.95 a 0.75	0.75 a 0.40	0.40

Fuente: AASHTO, guide for design of pavement structures 1993

2.3 Obras de drenaje

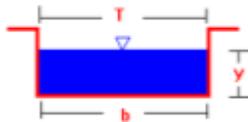
El drenaje transversal de la carretera tiene como objetivo evacuar adecuadamente el agua superficial que intercepta su infraestructura, la cual discurre por cauces naturales o artificiales, en forma permanente o transitoria, a fin de garantizar su estabilidad.

El elemento básico del drenaje transversal se denomina alcantarilla, considerada como una estructura menor; su densidad a lo largo de la carretera resulta importante e incide en los costos, por ello, se debe dar especial atención a su diseño.

Alcantarillas

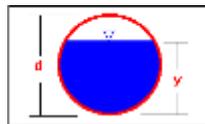
En el presente estudio se proyecta la construcción de alcantarillas de sección circular de chapa ARMCO; además, en los causes de mayor caudal se proyecta la construcción de alcantarillas cajón prefabricadas de acuerdo al caudal de diseño a evacuar.

FIGURA N°2 SECCIÓN TIPO DE ALCANTARILLAS DE PASO



Fuente : Elaboracion propia

FIGURA N°3 SECCIÓN TIPO DE ALCANTARILLAS DE ALIVIO



Fuente : Elaboracion propia

Cunetas

Secciones tipo

Esta sección fue diseñada observando las condiciones constructivas bajo las cuales la misma será materializada.

FIGURA N°4 SECCIÓN TIPO DE LAS CUNETAS



Fuente : Elaboracion Hcanales

Caudal de diseño (m^3 / s)

$$Q = (C * I * A) / 360$$

Ancho superficial

$$T = 2 * Z * Y$$

Dónde:

A = Área de aporte (ha)

T = Ancho superficial (m)

Q = Caudal (m^3 / s)

Y = tirante de nivel de agua (m)

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Tiempo de concentración

Para la determinación del tiempo de concentración, se debe utilizar las siguientes fórmulas para luego obtener una media entre aquellos valores de tiempo de concentración más relevantes.

Chereke:

$$t_c = ((0.87 * (L/H)))^{0.38}$$

Q

California:

$$t_c = ((0.87 * (L/H)))^{0.38}$$

Ventura y Heras:

$$t_c = 0.05 * (\sqrt{A/J})$$

Giandotti:

$$t_c = (4 * \sqrt{A + 1.5 * L}) / (25.3 * J * L)$$

Donde:

L = Longitud de río principal (m)

A = Área de la cuenca (ha)

H = diferencia de cotas (m)

J = Pendiente (m/m)

Código de campo cambiado

Método racional

La ecuación del método racional responde a la siguiente expresión:

$$Q = (C * I * A) / 360$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/s).

C = Coeficiente de escorrentía (relación entre la cantidad de agua que escurre entre el total de agua que se precipita).

I = Intensidad media máxima de precipitación (mm/hora)

A = Área de la cuenca o superficie drenada (km^2).

Código de campo cambiado

Coeficientes de escurrimiento C

Con relación al coeficiente de escurrimiento C, éste depende, entre otros factores, de la pendiente de la cuenca y del río, del tipo de suelo, de la geología de la vegetación.

La norma A.B.C. nos proporciona ciertos valores de acuerdo al tipo del terreno.

TABLA N°21 COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO "C"

Tipo de terreno	Coeficiente de escurrimiento
Pavimento adoquín	0.5 a 0.70
Pavimento asfáltico	0.70 a 0.95
Pavimento de concreto	0.80 a 0.95
Suelo arenoso con vegetación	0.15 a 0.20
Suelo arcilloso	0.25 a 0.65
Zona de cultivo	0.20 a 0.40

Fuente: Manual de la A.B.C.

Coeficiente de rugosidad

De acuerdo al material de las alcantarillas se obtendrán los coeficientes de rugosidad de la tabla siguiente:

TABLA N°22 COEFICIENTES DE RUGOSIDAD

Materiales	n
Hormigón	0.01
Metal corrugado	0.02

Ondulaciones estándar	0.02
Ondulaciones medianas	0.03
Ondulaciones grandes	0.26

Fuente: Manual de la ABC.

El cálculo hidráulico considerado para establecer las dimensiones mínimas de la sección para las alcantarillas a proyectarse, es el establecido por la fórmula de Robert Manning para canales abiertos.

$$V = 1/n * (Rh)^{2/3} * S^{0.5}$$

Dónde:

Rh = Radio Hidráulico

S = Pendiente de la Cuenca (m/m)

A = Área de la Cuenca (km^2)

n = Coeficiente de Manning

Debido a que el tubo trabaja al 0.50 del diámetro ($y = 0.50 d$).

$$R =$$

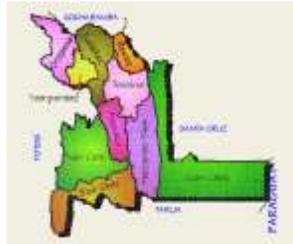
$$\emptyset = (\emptyset * \pi) / 180$$

$$R =$$

CAPÍTULO III INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1. UBICACIÓN

FIGURA N°5 MAPA DE CHUQUISACA



Fuente: I.N.E

FIGURA N°6 MAPA DE LA PROVINCIA NOR - CINTI



Ubicación del proyecto
vial
"SAN PEDRO -
HIGUERAHUAYCO"

Fuente: E.D.U.C.A.

3.1.1 Ubicación física del proyecto.

País: Bolivia

Departamento: Chuquisaca

Provincia: Nor - Cinti

Municipio: Camargo - Distrito 2

3.1.2. Ubicación geográfica.

Geográficamente, el proyecto inicia en la comunidad de San Pedro en los 20°44'42.72"S de latitud sud y 65°14'0.33"O de longitud oeste y finaliza en los 20°46'59.03"S latitud sud y 65°13'19.70"O longitud oeste, por la comunidad de Higuerahuayco.

FIGURA N°7 UBICACIÓN IMAGEN SATELITAL



Fuente: Google earth

3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DEL PROYECTO

Aspectos productivos

La producción agrícola y vitivinícola se da especialmente en las comunidades de “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”, siendo éstas las principales actividades desde el punto de vista económico. A pesar de contar con terrenos comunales de pastoreo y los terrenos de cultivo, se tiene un porcentaje considerable de productividad.

Infraestructura

Las comunidades mencionadas no cuentan con infraestructura vial y de transitabilidad estable todo el año, se tiene red eléctrica en casi la totalidad de la zona de área del proyecto y el sistema de telecomunicaciones es telefónico de tipo móvil.

3.3. ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO

3.3.1. Estudio topográfico

Para la ejecución de un diseño geométrico es necesario partir de las características del terreno del lugar donde va a ser ejecutada la obra, para ello se recurre a la topografía la cual nos ayudará a realizar un levantamiento topográfico del lugar para obtener la

representación gráfica de las características del terreno del lugar de emplazamiento del proyecto.

3.3.1.1. Levantamiento topográfico

El estudio topográfico fue realizado de manera conjunta con el apoyo de un topógrafo especializado en dicha actividad.

FIGURA N°8 IMAGEN SATELITAL, CROQUIS PARA EL LEVANTAMIENTO TRAMO “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”



Fuente: Google earth

3.3.1.2. Trabajo de gabinete y procesamiento de datos

Teniendo los datos de campo del levantamiento topográfico se procede a la modelación del terreno en forma digital; para esto se empleó el software AutoCAD Civil 3D land desktop compatióon 2016, para la modelación hasta reproducir las curvas de nivel de terreno y modelar la superficie del campo virtualmente en el ordenador. La gran cantidad de datos (puntos) provenientes de la Estación Total creados en varios trabajos, deben ser ordenados y clasificados en excel para una correcta modelación.

Un total de 4933 puntos levantados. A continuación tenemos la siguiente tabla de resumen de BM.

TABLA N°23 RESUMEN DE BMS

Resumen de "BM" en el tramo vial "San Pedro – Higuerahuayco"					
N°	Punto	Norte	Este	Elevación	Descripción
1	76	7706872.67	267806.53	2338.97	A1
3	377	7706647.35	268065.48	2339.04	A2
2	376	7706597.44	267962.56	2338.34	A3
4	610	7706379.31	267913.66	2341.31	A4
5	2785	7706224.31	267888.52	2332.44	A5
6	2808	7706056.53	268013.83	2334.49	A6
7	892	7705978.92	268122.23	2344.42	A7

8	893	7705819.31	268063.22	2333.69	A8
9	1039	7705766.36	268126.50	2327.62	A9
10	1072	7705763.61	268217.09	2334.83	A10
11	1123	7705455.38	268266.56	2341.44	A11
12	1305	7705226.89	268272.98	2332.70	A12
13	1404	7704939.66	267940.01	2326.55	A13
14	1559	7704876.70	267918.64	2330.21	A14
15	1605	7704798.57	267953.68	2323.67	A15

Fuente: Elaboración propia

Las coordenadas geográficas del levantamiento topográfico (punto, norte, este, elevación, más su respectiva descripción) se muestran a continuación. Se hace notar que debido a la gran cantidad de puntos levantados se presentará una tabla parcial con dichos puntos y el detalle completo de coordenadas geográficas estará en el ANEXO 1 estudio topográfico.

TABLA N°24 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Diseño de ingeniería para el tramo vial San Pedro - Higuerahuayco				
Datos topográficos				
Punto	Norte	Este	Elevación	Descripción
1	7707411.44	267437.58	2332.61	EJE
2	7707412.39	267435.81	2332.76	BORDE
3	7707413.45	267433.59	2332.66	CERCO
4	7707414.15	267433.92	2332.79	POSTE
5	7707408.44	267441.24	2332.56	BORDE
6	7707407.84	267443.95	2335.44	TN
7	7707403.92	267452.86	2340.16	TN
8	7707400.85	267460.44	2344.03	TN
9	7707383.20	267455.75	2344.10	TN
10	7707383.78	267446.56	2339.75	TN
11	7707385.55	267437.46	2334.64	TN
12	7707386.87	267434.50	2331.62	BORDE
13	7707387.45	267431.37	2331.75	EJE
14	7707387.86	267429.28	2331.94	BORDE
15	7707387.47	267428.56	2332.15	CERCO
16	7707369.98	267426.05	2331.60	CERCO
17	7707370.14	267426.81	2331.21	BORDE
18	7707369.77	267432.32	2330.97	BORDE

19	7707370.60	267429.58	2331.17	EJE
20	7707369.67	267436.17	2334.29	TN
21	7707369.50	267443.39	2338.22	TN
22	7707367.68	267455.76	2342.64	TN
23	7707348.86	267455.15	2338.93	TN
24	7707351.87	267443.88	2336.63	TN
25	7707352.96	267436.01	2334.00	TN
26	7707354.75	267429.33	2330.40	BORDE
27	7707355.77	267423.52	2330.64	BORDE

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Estudio hidrológico.

Este acápite trata el estudio hidrológico del tramo “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”, la parte correspondiente al análisis pluviométrico, determinación de las intensidades de lluvia para distintos periodos de retorno y la intensidad en los 10 min de máxima concentración para el diseño hidráulico de las obras de drenaje de carreteras.

La determinación de las curvas de intensidad - duración - frecuencia se basa en registros continuos de las lluvias a lo largo de un período de registro relativamente largo como para poder realizar un análisis estadístico de las intensidades de lluvia para diferentes intervalos de tiempo. En el caso del presente proyecto se tiene tan solo el registro continuo de la lluvia en la zona de influencia del proyecto de la estación “La Palca”, por lo que sólo se trabajará con dicha estación para determinar las curvas de intensidad - duración - frecuencia para la zona de influencia del proyecto.

La metodología del estudio hidrológico y drenaje considera la evaluación de las variables hidrológicas que se pueden obtener de la zona, a partir del cual se propone el sistema de drenaje, para lo cual se realizó la siguiente tarea:

Análisis del estudio hidrológico existente

Se consideró necesario el realizar una evaluación pluviométrica de la red existente en la zona a partir de las precipitaciones máximas extremas en 24 horas. De este modo, se lograron obtener resultados que posteriormente fueron confrontados con los valores de alturas máximas que se pueden obtener de levantamientos de la zona. Realizando un análisis pluviométrico se tiene los siguientes criterios de análisis:

Los registros de precipitación máxima diaria anual (máxima precipitación diaria medida durante un año), se someten a una evaluación probabilística para obtener funciones de distribución teórica que mejor se ajusten al campo muestral de las precipitaciones registradas.

Los valores muestrales permiten calcular los parámetros estadísticos, caracterizados en parámetros de:

- Tendencia central
- Dispersión (desviación estándar)
- Asimetría (sesgo)

Los parámetros estadísticos calculados a partir de los registros de precipitación máxima diaria anual (precipitación máxima anual en 24 hr, es el valor máximo durante un año medido durante un día) se muestran a continuación:

TABLA N°25 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LOS VALORES DE
PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL

Descripción	Valor
Media	96.61
Desviación	32.98
Moda	81.77
Característica	0.72
Nro. de datos	13
Moda ponderada	81.77
Característica ponderada	0.72

Fuente: Elaboración propia

Ley de distribución de probabilidades de Gumbel de acuerdo a las relaciones de las leyes de ajuste probabilística realizado en varias partes del mundo; las lluvias máximas registradas se distribuyen de acuerdo al ajuste de Gumbel.

Aplicando la expresión de Gumbel modificada se obtienen las precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno.

$$HdT = Ed * (1 + Kd * \text{Log}T)$$

Las lluvias máximas de duración menor al valor diario, se pueden estimar a partir de la ley de regresión de los valores modales, conociéndose el valor de la lluvia diaria.

Donde: $hdt = Fd *$

HdT = Lluvia máxima diaria para un periodo de retorno (mm)

Ed = Moda (mm).

Kd = Característica de la distribución.

T = Periodo de retorno (años).

Ed = 81.77

Kd = 0.72

La altura de lluvia máxima diaria para diferentes periodos de retorno se muestra en la siguiente tabla:

TABLA N°26 ALTURA DE LLUVIA MÁXIMA DIARIA

T (años)	HdT (mm)
10	59.93
25	69.94
50	77.52
100	85.10
500	102.69
1000	110.27

Fuente: Elaboración propia

El tiempo que corresponde a la lluvia diaria no es igual a la correspondiente a la de 24 hr, adoptándose el tiempo para una lluvia diaria de acuerdo a la región, tomándose para el área de acuerdo a relaciones encontradas por el proyecto a un tiempo igual a 2 horas, es decir:

Adoptando: $\alpha=2$ $\beta=0.2$

Los valores de intensidad calculada con las ecuaciones explicadas en el presente inciso, fueron los utilizados para el dimensionamiento de alcantarillas a lo largo de la ruta.

TABLA N°27 INTENSIDADES MÁXIMAS PARA PERÍODOS DE DURACIÓN MENORES A 24 HORAS.

Duración de la lluvia (hrs)	Periodo de retorno (años)					
	10	25	50	100	500	1000
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	98.52	114.98	127.43	139.89	168.81	181.26
4	113.16	132.08	146.38	160.69	193.91	208.22
6	122.72	143.23	158.75	174.26	210.29	225.80
8	129.99	151.72	168.15	184.58	222.74	239.18
10	135.92	158.64	175.82	193.01	232.91	250.09
12	140.97	164.53	182.35	200.18	241.56	259.38
14	145.39	169.68	188.06	206.44	249.12	267.50
24	161.93	189.00	209.47	229.94	277.48	297.95

100

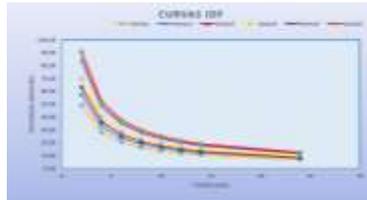


Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°9 LLUVIAS MENORES A 2 HRS PERÍODO DE RETORNO AÑOS

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N°10 CURVAS IDF



Fuente: Elaboración propia

Para determinar el tiempo de concentración existen fórmulas que dan el mismo sin tener en cuenta la intensidad de la lluvia.

Datos:

A =	24.150 (ha)	Área de la cuenca
L =	8.660 (km)	Longitud del río principal
$\Delta H =$	388.990 (m)	Diferencia de cotas
S =	0.04 %	Pendiente media del río principal

Se adoptó como tiempo de concentración de la cuenca el promedio de los distintos métodos, descartando aquel que se dispara mucho que es el Temez y Giandotti:

Dando un tiempo de concentración de 1.161 hr.

Intensidad de precipitación en los 10 min. de máxima concentración: $t_c = 1.161$ horas.

TABLA N°28 INTENSIDAD DE LLUVIA TC DE 10 MIN.

T(años)	htT(mm)	Imax (mm)
10	59.93	359.59
25	69.93	419.69
50	77.50	465.15
100	85.13	510.61
500	102.69	616.17
1000	110.27	661.64

Fuente: Elaboración propia

Entonces tenemos una intensidad máxima de 465.15 (mm/hr) (Para 10 min de máxima concentración) y un período de retorno $T = 50$ años (Valor de T fue adoptado de la TABLA 1.2-2 PERÍODOS DE RETORNO PARA DISEÑO, manual de hidrología y drenaje de la administradora boliviana de carreteras, ABC).

Se hace notar que el periodo de retorno $T = 50$ años será tanto para drenaje transversal y drenaje de plataforma, esto se justifica porque para éste período de retorno la intensidad máxima no varía considerablemente en relación a la intensidad máxima para un período de retorno $T = 50$ años (Ver TABLA N° 27).

El detalle de cálculo del estudio hidrológico estará en ANEXO 2 (estudio hidrológico).

3.3.3. Estudio geotécnico.

El presente acápite se refiere al estudio en detalle de la geotecnia del proyecto, comprendido entre las comunidades de "SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO", circunscrita en la provincia (Nor - Cinti) del departamento de Chuquisaca y abarca la mecánica de suelos; por ende comprende el estudio de suelos, más sus propiedades físico-mecánicas.

La investigación geotécnica, se subdividió en tres Etapas:

1ª etapa de campo, seguidamente 2ª etapa de laboratorio y finalmente 3ª etapa de gabinete.

El trabajo de campo consistió en la excavación manual de 13 apiques, cada 500 m del tramo vial "SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO", con una profundidad mínima de entre 40 y 90 cm, obteniendo de cada apique una cantidad aproximada de muestra de 50 Kg, con la finalidad de conocer la distribución de los diferentes materiales determinados en cada punto de exploración y así establecer las condiciones de humedad, densidad natural y las situaciones estructurales de la subrasante. Se obtuvieron un total de 13 muestras.

TABLA N°29 RESUMEN MUESTREO DE SUELO.

Nro.	Progresiva	Muestreo
1	0+000	M1
2	0+500	M2
3	1+000	M3
4	1+500	M4
5	2+000	M5
6	2+500	M6
7	3+000	M7
8	3+500	M8
9	4+000	M9
10	4+500	M10
11	5+000	M11
12	5+500	M12
13	6+000	M13

Fuente: Elaboración propia

Las muestras obtenidas se llevaron al laboratorio para su respectivo análisis especializado de mecánica de suelos.

Los ensayos de laboratorio son:

- Distribución granulométrica de los materiales constitutivos del suelo, mediante la vía del tamizado según ASTM. (este proceso se realizó desde el tamiz de 3" hasta el tamiz N° 200).

TABLA N°30 NÚMERO DE TAMICES CON SU RESPECTIVO DIÁMETRO.

Tamices	Tamaño (mm)
3"	7.,20
2"	50
1 1 /2"	37.52
1"	25
3/4"	19
3/8"	9.53
Nº4	4.75
Nº10	2
Nº40	0.42
Nº200	0.07

Fuente: Crespo,
cimentaciones 4ª

“mecánica de suelos y
edición”

Para empezar con el ensayo de granulometría, se procedió a pesar 5000 gr aproximadamente para material granular y 300 gr para material fino, entonces se comenzó el tamizado de manera manual, luego se pesó el retenido de material, si hubiere, en cada tamiz y anotando los valores de pesos retenidos en planillas para éste ensayo, a continuación presentamos la granulometría para la muestra M1 progresiva 0+000.

FIGURA Nº 11 CÁLCULO DE GRANULOMETRÍA DE UNA MUESTRA DE
SUELO PARA LA PROGRESIVA 0+000

GRANULOMETRIA					
Proyecto: TRAMO VIAL SAN PEDRO-HIGUERAHUAYCO			Identificación: Pozo		
Procedencia: SAN PEDRO-HIGUERAHUAYCO			Laboratorista: Tec: CARACOLÉS CAYHUARA PABLO		
Fecha: 22/08/2017					
Peso Total (gr.)		5027.8		A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret.	%Que Pasa del Total
3"	75	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1.18"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	125.00	125.00	2.49	97.51
3/4"	19.00	280.00	385.00	7.66	92.34
3/8"	9.50	705.00	1090.00	21.68	78.32
Nº4	4.75	595.00	1685.00	33.51	66.49
Nº10	2.00	505.00	2190.00	43.56	56.44
Nº40	0.425	60.00	60.00	20.00	45.15
Nº200	0.075	210.00	270.00	90.00	5.64

Clasificación:		
S.U.C.S.:	SW. Contiene poco o casi nada arena fina y limos, además tiene una buena capacidad de drenaje	A.A.S.H.T.O.:
		A-1-b(0), bien graduado predomina las arenas gruesas y casi no tiene ligante

Fuente: Elaboración propia

La granulometría para cada una de las muestras estará presentada en el ANEXO 3.

- Establecimiento de los límites de consistencia o límites de Atterberg:
- Límite líquido (LL).

Para la determinación del límite líquido, primero se tamizo una cantidad de muestra (300gr.) por el tamiz N°40, el material que pasó por este tamiz se lo utilizó en el ensayo, primero se dio a la muestra una determinada humedad mojándola hasta que la misma tenga forma de pasta o masa, esta masa fue colocada en el equipo casagrande y fue separada a la mitad con el ranurador, luego se procedió a dar los golpes y contarlos hasta que la ranura realizada se uniera aproximadamente un centímetro, se sacó la muestra de la parte que se unió, se la pesó, se identificó la tara y se puso a secar en el horno 24hr, se realizó esto tres veces (por muestra) variando la cantidad de agua y siguiendo el procedimiento descrito párrafos más arriba, se anotaron todos los datos en la planilla correspondiente a este ensayo, haciendo mención que el suelo presente en todo el tramo no presenta límites líquido.

Límite plástico (LP).

Para determinar el límite plástico se emplea una base de vidrio y con la muestra que pasa el Tamiz N°40, se la humedece y se hacen rollitos en la base de vidrio hasta que tengan un diámetro aproximado de 3mm y presenten agrietamientos, se toma la muestra se la pesa y se la coloca en el horno, luego de 24 hr se la vuelve a pesar para obtener el peso del agua y contenido de humedad, haciendo mención que el suelo presente en todo el tramo no presenta límites plástico.

- Índice de plasticidad (IP). Es la diferencia entre LL y el LP.

$$IP = LL - LP$$

Los límites para cada una de las muestras se presentaran en el ANEXO 3.

TABLA N°31 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

N°	Progresiva	Clasificación
----	------------	---------------

		AASTHO	S.U.C.S.
1	0+000	A-1-b	SW
2	0+500	A-1-b	SW
3	1+000	A-1-b	SW
4	1+500	A-1-b	SW
5	2+000	A-3	SW-SM
6	2+500	A-1-b	SW
7	3+000	A-1-b	SW
8	3+500	A-3	SW-SM
9	4+000	A-1-b	SW
10	4+500	A-3	SW-SM
11	5+000	A-1-b	SW
12	5+500	A-1-b	SW
13	6+000	A-3	SW-SM

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla podremos ver el resumen de los suelos en el trazo del camino.

TABLA N°32 RESUMEN DE SUELOS SOBRE EL TRAZO DEL CAMINO

Suelo	Grupo	Sub grupo	N° de muestras	Porcentaje
Granular	A-1	A-1-b	9	69.23 %
	A-3	A-3	4	30.77 %
Total de muestras			13	100%

Fuente: Elaboración propia

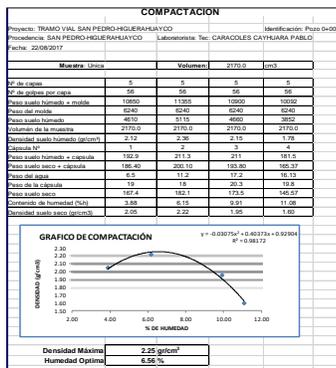
Teniendo dos tipos de suelo distintos en todo el desarrollo del camino se hará un ensayo de compactación y CBR para cada uno de estos.

Determinación de la relación humedad-densidad mediante el ensayo proctor modificado. AASHTO T 180.

Para la compactación se utilizó el proctor T-180 para lo cual se tomaron 3 muestras que fueron tamizadas por el tamiz N° ¾ y N° 4 para luego compensar con el retenido del N° 4, luego se humedeció la muestra y se colocó en la probeta normalizada para este ensayo en 5 capas, se procedió a compactar con un martillo también normalizado

en una cantidad de 56 golpes cada capa, se desarma la probeta y se extrae la muestra del corazón de la misma, es pesada y puesta en el horno, luego se fue incrementando un pequeño porcentaje de agua a cada muestra para ir cambiando su densidad de acuerdo a sus cambios de humedad, todo este proceso es anotado en planilla para este tipo de ensayo. A continuación mostraremos la planilla de datos y resultados.

FIGURA N°12 COMPACTACIÓN PARA EL TIPO DE SUELO (A-1-b)



Fuente: Elaboración propia

Derivando la ecuación del gráfico y despejando “x” que es CHO (contenido de humedad óptimo) se obtiene este valor, con el CHO reemplazamos en la ecuación sin derivar y tenemos la densidad máxima.

TABLA N°33 DENSIDAD MÁXIMA Y CHO PARA CADA SUELO PRESENTE EN EL DESARROLLO DEL CAMINO

N°	Muestra	Clasificación		Próctor	
		A.A.S.T.H.O	S.U.C.S	Dmax	%CHO
1	M1	A-1-b	SW	2.25	6.56
2	M2	A-3	SW-SM	2.27	6.20

Fuente: Elaboración propia

Ver el detalle de ensayos para los cuatro tipos de suelos encontrados en ANEXO 3.

- Determinación de la capacidad soporte CBR programada según los resultados de clasificación de los suelos investigados.
- Densidad máxima = 2.25 gr/cm³ humedad optima = 6.56%

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material.

Se realizó el tamizado por el tamiz N°3/4 y N°4 para luego compensar con el retenido del N° 4, para el cálculo del CBR se confeccionaron 3 probetas, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 56, 25 y 12 golpes). El suelo al cual se aplica el ensayo.

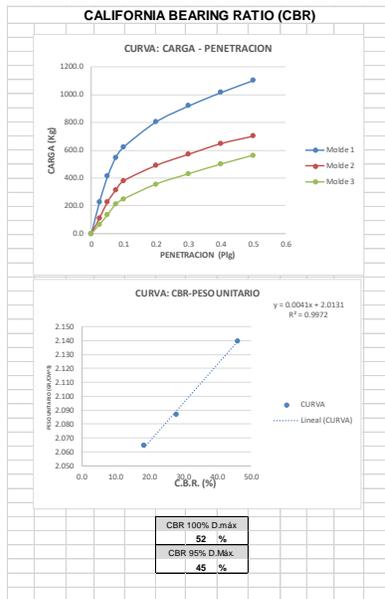
Antes de determinar la resistencia a la penetración, se saturaron las probetas durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorables y para determinar su posible expansión.

A continuación mostraremos el cálculo del CBR para un suelo A-1-b.

FIGURA N°13 CÁLCULO DEL CBR PARA UN SUELO (A-1-B)

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)																
Proyecto: DISEÑO DE INGENIERIA PARA EL TRAMO SAN PEDRO-HIGUERAHUAYCO											Muestra	LL	IP	Clasific.	H. Opt.	D. Máx
											1	-	-	A-+b	6,56	2,25
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO																
Nº capas	5			5			5									
Nº golpes por capa	12			25			56									
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M								
Peso muestra húm.+molde	12675	12860		10910	11085		11820	11990								
Peso Molde	8035	8035		6250	6250		7040	7040								
Peso muestra húmeda	4640	4825		4660	4835		4780	4950								
Volumen de la muestra	2040.0	1451.5		2045.0	1558.0		2051.0	1558.2								
Peso Unit. Muestra Húm.	2.275	3.324		2.279	3.103		2.331	3.177								
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2º sup.	Fondo	Superf.	2º sup.	Fondo	Superf.	2º sup.	Hum.	Peso					
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Opt.	Unit.					
Peso muestra húm + tara	71	70.5	68.4	54.3	64.3	63.5	64	77.8	79.5	%	gr/cm3					
Peso muestra seca + tara	66.4	64.7	48.56	51.2	59.8	49.56	60.7	72.2	58.56	6.56	2.25					
Peso del agua	4.6	5.8	19.84	3.1	4.5	13.94	3.3	5.6	20.94							
Peso de tara	14.6	13.9	13.8	14.4	14.3	13.3	20.4	13.9	14							
Peso de la muestra seca	51.8	50.8	34.76	36.8	45.5	36.26	40.3	58.3	44.56							
Contenido humedad %	8.88	11.417	57.077	8.4239	9.8901	38.445	8.1886	9.605	46.99							
Promedio cont. Humedad	10.15		57.077	9.16		38.445	8.90		46.99							
Peso Unit.muestra seca	2.065		2.1162	2.088		2.2415	2.140		2.161							
EXPANSION																
FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE Nº1			MOLDE Nº2			MOLDE Nº3			C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm3			
			LECT.	EXPANSION	%	LECT.	EXPANSION	%	LECT.	EXPANSION	%					
25-sep	18:00	1	26.76	2.676	0	20.99	2.099	0	24.55	2.455	0	18.3	2.065			
26-sep	18:00	2	27.57	2.757	0.6983	21.18	2.118	0.1652	25.17	2.517	0.549	27.9	2.088			
27-sep	18:00	3	27.65	2.765	0.069	21.25	2.125	0.0609	25.38	2.538	0.186	46.0	2.140			
28-sep	18:00	4	27.67	2.767	0.0172	21.29	2.129	0.0348	25.39	2.539	0.009					
C.B.R.																
PENETRACION	CARGA NORMAL	MOLDE Nº 1					MOLDE Nº 2				MOLDE Nº 3					
		CARGA ENSAYO	C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO	C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO	C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO	C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO	C.B.R. CORREG	CARGA ENSAYO	C.B.R. CORREG			
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	Kg	%	Kg	Kg/cm2	Kg	%	Kg	Kg/cm2	Kg	%		
0	0		0.0	0			0.0	0			0.0	0				
0.025	0.63		64.6	3.3			111.6	5.8			229.1	11.8				
0.05	1.27		135.1	7.0			229.1	11.8			413.7	21.4				
0.075	1.9		212.3	11.0			313.0	16.2			547.9	28.3				
0.1	2.54	1360	249.2	12.9		18.3	380.1	19.6		27.9	625.1	32.3		46.0		
0.2	5.08	2040	356.6	18.4		17.5	490.8	25.4		24.1	806.3	41.7		39.5		
0.3	7.62		430.4	22.2			571.4	29.5			920.4	47.6				
0.4	10.16		500.9	25.9			648.6	33.5			1017.7	52.6				
0.5	12.7		564.7	29.2			702.3	36.3			1105.0	57.1				

FIGURA N°14 GRÁFICOS DE “CURVAS CARGA-PENETRACIÓN” Y “CBR-PESO ESPECÍFICO UNITARIO”



Fuente: Elaboración propia

De esta manera se obtiene el CBR para los cuatro tipos de suelos encontrados en el desarrollo del camino

Ver el detalle de ensayos para los dos tipos de suelos encontrados en ANEXO 3.

TABLA N°34 RESUMEN DE "COMPACTACIÓN" Y "CBR" EN CADA PROGRESIVA

N°	Procedencia	Progresiva	Proctor		C.B.R	
			Dmax	% Hop	100%	95%
1	Subrasante	0+000	2.25	6.56	52	45
2	Subrasante	0+500	2.25	6.56	52	45
3	Subrasante	1+000	2.25	6.56	52	45
4	Subrasante	1+500	2.25	6.56	52	45
5	Subrasante	2+000	2.27	6.20	56	48
6	Subrasante	2+500	2.25	6.56	52	45
7	Subrasante	3+000	2.25	6.56	52	45
8	Subrasante	3+500	2.27	6.20	56	48
9	Subrasante	4+000	2.25	6.56	52	45
10	Subrasante	4+500	2.27	6.20	56	48
11	Subrasante	5+000	2.25	6.56	52	45
12	Subrasante	5+500	2.25	6.56	52	45
13	Subrasante	6+000	2.27	6.20	56	48

Fuente: Elaboración propia.

Durante la prospección geotécnica se consideró la ubicación de los yacimientos y bancos de préstamo tratando en lo posible de determinar aquellos que se encuentren próximos al eje de diseño, para minimizar los costos de movimientos de tierra y transporte, además como se puede ver en el estudio de suelo de la TABLA N°31 en el tramo los suelos más predominantes son granulares (A-1-b) que hacen un 69.23 % del total de las muestras con valores de CBR entre los 58% y 23%, entonces se pretende utilizar este material como capa base ya que según la granulometría que mostraremos a continuación podemos calificar como base entre buena y excelente. Se tomara material de la chancadora que se encuentra en la localidad de Vivicha en el sector "La Redonda" a 3 Km del tramo.

TABLA N°36 RANGOS DE CBR DE MATERIALES SEGÚN CLASIFICACIÓN Y USO

CBR (%)	Clasificación general	Usos	SUCS	AASHTO
0 a 3	Muy pobre	Sub rasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3 a 7	Pobre a regular	Sub base	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 a 20	Regular	Sub base	OL,CL,ML,SC	A2,A4,A6,A7
20 a 50	Bueno	Sub base y base	GM,GC,SW,SM,SP	A-1-b,A-2-5,A-3
mayor a 50	Excelente	Base	GW,GM	A-1-b,A-2-b,A-3

Fuente: Manual de diseño de AASHTO 93

A continuación se presentara las características del material para la conformación de la capa de rodadura obtenido de la chancadora "La Redonda".

Características del agregado para capa base

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO

Proyecto: San Pedro - Higuerahuayco
Procedencia: Chancadora "La Redonda"
Solicitante: Univ. Caracoles Pablo
Laboratorista: Ing.carlos

Peso Total (gr.)	500 gr
------------------	--------

Tamices	Tamaño	Peso retenido		Retenido acumulado		% que pasa del total	% que pasa según especificaciones ASTM
				gr.	%		
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0	100	100	100
1"	25.4	0.00	0.00	0	100	100	0
3/4"	1.05	0.00	0.00	0	100	100	0
1/2"	12.50	49.00	49.00	0.98	99	90	0
3/8"	9.50	1277.20	132.20	26.52	73.50	40	70
4	4.80	2943.9	4270.10	85.40	14.60	0	15
8	2.36	721.50	4991.6	99.83	0.20	0	5
Base	0	7.80	4999.40	99.99	0.0	-	-



3.3.4. Estudio de tráfico

Los aforos de tránsito que se realizan para las carreteras consideran varias categorías o tipos de vehículos, como

podemos observar en la siguiente tabla:

TABLA N°37 TIPO DE VEHÍCULOS

1	Automoviles y vagonetas
2	Camionetas (hasta 2 m)

3	Mini buses (hasta 15 pasajeros)
4	Micro buses medianos (hasta 21 pasajeros)
5	Buses grandes (hasta 35 pasajeros)
6	Camiones grandes (hasta 35 pasajeros)
7	Camiones medianos (de 2.5 a 10 toneladas)
8	Camiones grandes (más de 10 toneladas)
9	Camiones más grandes (más de 10 toneladas)
10	Camiones semi remolque

Fuente: Manual de carreteras de la ABC

Los aforos han sido calculados para once tipos de vehículos: 1: automóvil, vagoneta, jeep, 2: camioneta, 3: minibús, 4: microbús, 5: bus mediano, 6: bus grande, 7: camión mediano, 8: camión grande dos ejes, 9: camión grande tres ejes, 10: camión semirremolque, se realizó el aforo manual por cuenta propia en la comunidad de “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”, en un periodo de diez días de aforo.

3.3.4.1. Trabajo de gabinete y procesamiento de datos

Se presenta la TABLA N°38 del total de aforos en 10 días de aforo (06:00 – 19:00).

TABLA N°38 AFOROS DE 10 DÍAS EN UN MES

Tipo de vehículo	Planilla de aforos en horas (06:00 - 19:00 pm)									
	Días (06:00-19:00)									
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles
LIVIANOS	7	6	7	5	9	5	7	9	10	10
MEDIANOS	4	2	2	3	2	3	2	2	2	2
PESADOS	3	1	3	1	0	2	2	1	1	0
	0	0	0	2	1	2	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene con estos valores el TPD
y se muestra a continuación en la
siguiente tabla.

TABLA N°39 TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL

Volumen de tráfico total		
Tipo de vehículo	TPD (veh/día)	% TPD
Livianos	19	83
Medianos	2	9
Pesados	2	9
Total	23	100

Fuente: Elaboración propia

La proyección del tráfico consiste en la predicción del tránsito futuro en la red del proyecto. Para los estudios de transporte en los países en vías de desarrollo, al estimar la magnitud de la demanda de transporte, es conveniente examinar por separado las siguientes fuentes generadoras de tráfico, el tráfico normal, el tráfico inducido y el tráfico generado.

El tráfico normal corresponde al tráfico existente y su proyección; el tráfico inducido, al que se atraería de otras vías próximas por las ventajas que se ofrecerán con la nueva carretera como ser el ahorro en la distancia recorrida, ahorro en el tiempo de viaje, confort, etc. El tráfico generado consiste en: a) tráfico que se origina exclusivamente por la construcción de la nueva vía, sin necesidad de cambio en el uso de la tierra, es decir el tráfico por la novedad o mayor comodidad y b) El tráfico de desarrollo, debido al desarrollo del uso de la tierra adyacente al camino.

Los proyectos de nuevas carreteras, o el mejoramiento de las existentes, no deben basarse solamente en las características del volumen del tráfico actual, sino que se debe

tomar en cuenta también los tráficos probables en años futuros. De esta manera el volumen de proyecto ha de corresponder al del año escogido para proyectar dicho proyecto, en este caso se proyectó para 20 años (Para concreto asfáltico).

Entonces para proyectar al tráfico futuro en 20 años, será el producto del TPD * (FC)ⁱ que será el tráfico normal, así se tiene:

$$TC_i = \left[1 + \frac{FC_i}{100} \right]^{(N)}$$

Dónde:

(FC)_i = Factor de crecimiento del vehículo tipo i.

(IC)_i = Índice de crecimiento del vehículo tipo i.= 3.22

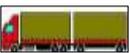
(N) = Número de años hasta el período de diseño: (20 años).

Hacemos notar que el valor de (IC)_i = 3.22, fue obtenido del RUAD 2014 de la provincia Nor - Cinti Chuquisaca.

El tráfico Inducido será un 5% del tráfico normal, y el tráfico generado será un 10% del tráfico normal, estos porcentajes se adoptan en función a lo que se espera ocurra en el camino durante la proyección que se realizó para 20 años, estos porcentajes podrán variar de acuerdo al criterio del proyectista y de lo que el mismo espera ocurra en la proyección futura de tráfico.

La siguiente tabla muestra la proyección de tráfico, incluido el normal, el inducido y el generado.

TABLA N°40 TRÁFICO TOTAL.

Año	N°	Livianos	Medianos	Pesados	Total
					
		5% Del tráfico normal			
2017	0	22	2	2	26
2018	1	23	2	2	27
2019	2	24	2	2	28

2020	3	24	2	2	29
2021	4	25	2	2	30
2022	5	26	2	2	31
2023	6	27	2	2	32
2024	7	28	3	3	33
2025	8	29	3	3	34
2026	9	30	3	3	36
2027	10	31	3	3	37
2028	11	32	3	3	38
2029	12	34	3	3	40
2030	13	35	3	3	41
2031	14	36	3	3	43
2032	15	37	3	3	44
2033	16	39	4	4	46
2034	17	40	4	4	47
2035	18	42	4	4	49
2036	19	43	4	4	51
2037	20	45	4	4	53

Fuente: Elaboración propia

A partir de éstos resultados, el TPDA en los 20 años de tráfico proyectado para el camino se puede ver en la siguiente tabla:

TABLA N°41 TPDA PROYECTADO PARA 20 AÑOS

Tipo de Vehículo	TPD [veh/día]	Porcentaje (%) TPD
Livianos	45	84.90
Medianos	4	7.50
Pesados	4	7.50
Total	53	100

Fuente: Elaboración propia

Estos valores serán utilizados en el diseño estructural para la conversión de los vehículos a N° ESALs.

Ver detalle de cálculo completo de tráfico y proyección de tráfico futuro, inducido y generado en ANEXO 4. (estudio de tráfico).

Concluidos los estudios previos al diseño presentamos la siguiente tabla de parámetros que serán utilizados para el diseño geométrico, diseño estructural y las obras complementarias.

TABLA N°42 PARAMETROS DE ESTUDIOS PREVIOS

Estudios previos	Parámetros	
Topográfico	Total de puntos	4933
Total de BM	33	
Hidrológico	Intensidad max.	465,16 mm/hr
Período retorno	50 años	
Geotécnico	N° de muestras	14
Tipos de suelo en el tramo	2	
CBR de diseño	45 %	
Tráfico	TPDA livianos	45 [veh/día]
TPDA medianos	4 [veh/día]	
TPDA pesados	4 [veh/día]	

Fuente: Elaboración propia

3.4. DISEÑO DE INGENIERÍA.

3.4.1. Análisis y elección de alternativas

El análisis y elección de alternativas consiste en escoger el trazo preliminar más adecuado, utilizando mapas o planos levantados. En este caso se utilizaron imágenes satelitales de google earth y el modelo de superficie realizado a partir del levantamiento topográfico. Se realizaron dos trazados preliminares para así obtener los planos sobre los cuales se puedan comparar y escoger el más conveniente.

FIGURA N°15 ALTERNATIVAS DE TRAZO VIAL
“SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”



Fuente: Google earth

ALTERNATIVA 1

El trazo de la alternativa 1 presenta una longitud de aproximadamente 6580 m, el trazo realizado se apega al trazo existente. En esta alternativa se tendría que realizar el diseño de 1 puentes nuevos porque la vía atraviesa por dos quebradas de gran longitud; además se encuentran alrededor de 26 alcantarillas, entre alcantarillas de alivio y de cruce. Presenta una pendiente máxima de 11.28 % y una pendiente mínima 0.25 %. En este trazado no se tiene puentes existentes.

FIGURA N°16 TRAZO ALTERNATIVA VIAL N°1
“SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”

Fuente: Google earth

ALTERNATIVA 2

Esta alternativa presenta un trazo de mayor longitud, de aproximadamente 6490 m, al igual que en el trazo de la alternativa 1, se apega al trazo existente pero se hace una variante importante para salvar el paso de quebradas; con una pendiente máxima de 12.83 % y con una pendiente mínima de 0.88 % pero se cuenta con 30 alcantarillas entre alcantarillas de alivio y de cruce.



FIGURA N°17 TRAZO ALTERNATIVA VIAL N°2
“SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”



Fuente: Google earth

TABLA N°43 COMPARACIÓN
DE ALTERNATIVAS

Alternativa	Longitud (m)	Pendientes		Obras de Arte		
		Max.	Min.	Puentes a construir	Puentes existentes	Alcantarillas
1	6580	11.28 %	0.25 %	0	0	26
2	6490	12,83 %	0.88 %	0	0	30

Fuente: Elaboración propia

La alternativa de trazo más conveniente para esta vía es la número 1, a pesar de tener una mayor distancia $L = 6580$ m, en comparación a la alternativa número 2; atraviesa por menores ríos o quebradas que no requieran la construcción de algún puente nuevo; presenta problemas técnicos para el trazo de las curvas horizontales subsanables, la pendiente se encuentra próxima a la norma establecida; no presenta gran cantidad de movimiento de tierras. El número de obras de arte es mayor, con relación a la otra alternativa, aunque no en una cantidad considerable. Es por estos criterios técnicos que la alternativa elegida es la (ALTERNATIVA VIAL N°1). Para esta opción se tomará en cuenta el eje del camino existente, en su mayoría, pero se tendrá una variante importante, adecuando y respetando las normas vigentes según la administradora boliviana de carreteras.

3.4.2. Diseño geométrico

El diseño geométrico es el primer aspecto que se considera al diseñar una carretera o camino, es la parte más importante del proyecto de una carretera estableciendo, en base a las condicionantes y factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto que supone, para satisfacer al máximo los objetivos de funcionalidad, seguridad, comodidad, integración en su entorno, armonía o estética y economía de la

vía. El presente proyecto adquiere mayor relevancia con el fin de facilitar la incorporación de conceptos a la práctica habitual de diseño de carreteras.

3.4.2.1. Parámetros de diseño geométrico

Tienen un papel muy importante ya que se toman en cuenta los diferentes factores como los funcionales, físicos, factores de costo y otros que son adoptados del manual de diseño geométrico de la ABC.

3.4.2.2. Categoría de la vía

Para definir la categoría se utiliza la norma ABC y la topografía. Como consecuencia de un análisis mecánico, se obtuvo la siguiente clasificación funcional:

TABLA N°44 CLASIFICACIÓN PARA DISEÑO DE CARRETERAS Y CAMINOS RURALES

Categoría		Sección transversal	N° Calzadas	Velocidad de proyecto (Km/h)
		N° Carriles		
Autopista	(O)	4 + Ud	2	120-100-80
Autorruta	(I.A)	4 + Ud	2	100-90-80
Primario	(I.B)	4+ Ud	2	100-90-80
		2 BD	1	100-90-80
Colector	(II)	4+ Ud	2	80-70-60
		2BD	1	80-70-60
Local	(III)	2bd	1	70-60-50-40
Desarrollo	(IV)	2bd	1	50-40-30

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC (2009, Bolivia)

De acuerdo a la TABLA N°43, se utilizan las normas de diseño correspondientes a la categoría camino de desarrollo rural, teniendo en cuenta la cantidad de tráfico proyectado y principalmente a la topografía (ondulado fuerte a montañoso), ya que está dada para las condiciones para un alineamiento, tanto en lo horizontal como en lo vertical.

3.4.2.3. Velocidad de proyecto (V_p)

Es la velocidad de proyecto que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado, bajo condiciones de seguridad y comodidad.

Previamente y clasificado el camino con la TABLA N°43, consideramos las condiciones del terreno para seleccionar la velocidad del proyecto; entonces, del manual de diseño geométrico ABC (2009), se tienen como velocidades referenciales las siguientes:

- Terreno llano a ondulado medio 50 y 40 (Km/h).
- Terreno ondulado fuerte a montañoso 30 (Km/h).

Entonces la velocidad del proyecto $V_p = 30$ (Km/h).

3.4.2.4. Características según categoría

Se tiene la siguiente categoría D (2)-30 (camino de desarrollo rural de dos carriles y velocidad de 30 Km/h).

3.4.2.5. Distancia de visibilidad

La distancia de visibilidad es la longitud continúa hacia adelante del camino, que es visible al conductor del vehículo.

En diseño se consideran dos distancias: la de visibilidad suficiente para detener el vehículo (distancia de frenado) y la necesaria para que un vehículo adelante a otro (distancia de visibilidad para sobrepaso) que viaje a una velocidad inferior, en el mismo sentido.

3.4.2.5.1. Distancia de frenado

Las distancias mínimas de frenado en función de la velocidad directriz, están unificadas en la TABLA N°45 para rasantes horizontales.

TABLA N°45 DISTANCIA DE FRENADO

Velocidad directriz										
Km/h	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Df (m)	25	38	52	70	90	115	145	175	210	250

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC (2009, Bolivia)

3.4.2.5.2. Distancia de visibilidad de sobrepaso

Llamada también distancia de adelantamiento “Da” se requiere solo en caminos con carriles para tránsito bidireccional. A continuación se muestran los valores mínimos a considerarse en el diseño como visibilidades adecuadas para adelantar.

TABLA N°46 DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO

Vp (km/h)	Distancia mínima de adelantamiento (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC (2009, Bolivia)

Se hace notar que por las condiciones topográficas de la zona no hay longitudes mayores en recta a 180 m, entonces en la carretera misma las zonas de no adelantar se señalarán, y en aquellas zonas con visibilidad adecuada para adelantar, los conductores actuarán en conformidad con la situación particular que enfrenten.

3.4.2.6. Diseño planimétrico

- Las curvas horizontales pueden ser de dos tipos: de curvas circulares y curvas clotoide. Para este proyecto sólo se trazó un solo tipo de curva, curva circular, debido a la categoría del camino (de desarrollo y con velocidad de 30 km/hr) y la topografía, ya que la misma es de características de terreno montañoso a ondulado fuerte; por esto está compuesto de diferentes tipos de radios de curvaturas.
- Curvas circulares según la norma del manual de diseño geométrico ABC (2009, Bolivia) se aplican curvas circulares cuando; los caminos de desarrollo tienen una velocidad de proyecto igual a 30 (km/h).

Podemos ver como en la FIGURA N°18 se ilustran los diversos elementos asociados a una curva circular.

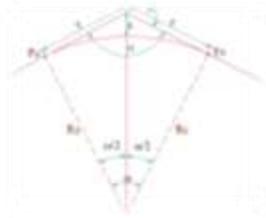


FIGURA N°18 ELEMENTOS ASOCIADOS A UNA CURVA CIRCULAR.

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC (2009, Bolivia).

A continuación se muestra el cálculo que se realizó utilizando las formulas empíricas para una curva circular.

CURVA HORIZONTAL N°1 PI.1

Tangente: $T = R \cdot \tan(\omega/2) = 25 \cdot \tan(22^\circ 7' 12.72''/2) = 4.90$

Externa: $E = R \cdot (\sec(\omega/2) - 1) = 25 \cdot (\sec(22^\circ 7' 12.72''/2) - 1) = 0.47$

Desarrollo: $D = \pi \cdot R \cdot \omega / 180 = \pi \cdot 25 \cdot 22^\circ 7' 12.72'' / 180 = 9.62$ (m)

Longitud: $L = 2 \cdot R \cdot \sec(\omega/2) = 2 \cdot 25 \cdot \sec(22^\circ 7' 12.72''/2) = 9.68$ (m)

En la TABLA N°47 se mostrarán los elementos de las curvas horizontales correspondientes al tramo “SAN PEDRO – HIGUERHUAYCO”.

TABLA N°47 ELEMENTOS DE CURVAS HORIZONTALES

Curva	Radio	Longitud	Inicio de Curva		Fin de curva		G.
C1	30	16.77	(267423.3 3	7704365.16)	(267424.2 0	7704348.63)	57.29
C2	100	13.43	(267439.0 7	7704305.44)	(267442.5 8	7704292.48)	17.18
C3	100	15.15	(267450.1 9	7704254.43)	(267454.2 8	7704239.85)	17.17
C4	50	18.8	(267464.0 5	7704212.99)	(267467.0 4	7704194.54)	34.35
C5	70	25.58	(267466.0 4	7704157.46)	(267469.9 8	7704132.33)	24.55
C6	70	7.55	(267480.2 0	7704103.26)	(267482.3 2	7704096.01)	24.55
C7	25	24.14	(267489.7 9	7704064.17)	(267504.9 8	7704046.61)	68.75
C8	100	21.57	(267522.5 5	7704039.70)	(267541.6 1	7704029.70)	17.18
C9	50	23.24	(267553.8 4	7704021.51)	(267575.4 1	7704013.43)	34.37
C10	100	19.75	(267583.4 7	7704012.41)	(267602.7 0	7704008.02)	17.18
C11	25	25.98	(267646.7 4	7703993.27)	(267671.0 9	7703998.11)	68.75

Fuente: Elaboración propia

Los radios mínimos para cada velocidad de proyecto, calculados bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, están unificados en la TABLA N°48 que servirá para adoptar un radio mínimo de curvatura, para curvas horizontales.

TABLA N°48 RADIOS MÍNIMOS EN CURVAS HORIZONTALES

Caminos colectores - locales - desarrollo		
Vp	emax	Rmin
(km/h)	(%)	(m)
30	7	25
40	7	50
50	7	80
60	7	120
70	7	180
80	7	250

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC (2009, Bolivia)

De acuerdo a lo indicado, entonces $R_{\min} = 25$ m.

- El peralte constituye una elevación de la calzada; debido a esto el vehículo sigue una trayectoria de una recta o tangente y pasa a una curva; durante su trayectoria aparece la fuerza centrífuga que origina peligros de estabilidad del vehículo en movimiento. De acuerdo a la velocidad de proyecto se define el peralte máximo.

TABLA N°49 PERALTE SEGÚN LA VELOCIDAD DE PROYECTO

Vp	emáx
(Km/h)	(%)
30	7
40	7
50	7
60	7
70	7
80	7

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC (2009, Bolivia)

De acuerdo a lo indicado, $e_{\text{máx}} = 7 \%$.

3.4.2.7. Diseño altimétrico.

Es la proyección sobre un plano vertical del trazado en planta. A esta línea se la denomina subrasante. Las pendientes que se adopten para subrasante no deben sobrepasar las especificadas en el manual, correspondiendo a la pendiente máxima; es necesario que el cambio se realice gradualmente; para esto se usan las llamadas curvas verticales.

3.4.2.7.1. Rasante

Las cotas del eje en planta de una carretera o camino, al nivel de la superficie del pavimento o capa de rodadura, constituyen la rasante o línea de referencia del alineamiento vertical. La representación gráfica de esta rasante recibe el nombre de perfil longitudinal del proyecto.

La rasante determina las características en el alineamiento vertical de la carretera y está constituida por sectores que presentan pendientes de diversa magnitud y/o sentido, enlazadas por curvas verticales que normalmente serán parábolas de segundo grado.

3.4.2.7.2. Pendientes máximas en rectas

La Tabla N°50 establece las pendientes máximas admisibles según la categoría de la carretera o camino.

TABLA N°50 PENDIENTES MÁXIMAS DE LA RASANTE

Categoría	Velocidad de proyecto (km/hr)					
	30	40	50	60	70	80
Desarrollo	12	10	9	-	-	-
Local	-	9	9	8	8	-
Primario	-	-	-	8	8	8
Autorrutas	-	-	-	-	6	5
Autopistas	-	-	-	-	5	4.50

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC (2009, Bolivia)

Debido a todo lo expuesto en este acápite, se adoptó una pendiente máxima admisible comprendida en un rango de entre 10 y 12% para el proyecto.

3.4.2.7.3. Enlaces de rasantes

Después de haber definido la subrasante en el perfil longitudinal, corresponde el diseño de curvas verticales, que sirven para pasar gradualmente de un tramo a otro con diferente pendiente. Toda vez que la deflexión (θ) es igual o mayor que $0.5\% = 0.005$ (m/m), se deberá proyectar una curva vertical para enlazar las rasantes. Bajo esta magnitud se podrá prescindir de la curva de enlace ya que la discontinuidad es imperceptible para el usuario.

En la TABLA N°51 se resumen los valores de K_v y los valores K_c solo en función de V_p , entonces según lo expuesto:

TABLA N°51 PARÁMETROS MÍNIMOS EN CURVAS VERTICALES POR CRITERIOS DE VISIBILIDAD DE FRENADO

V_p (km/h)	K_v	K_c
30	300	400
40	40	500
50	700	1000
60	1200	1400
70	1800	1900
80	3000	2500

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC (2009, Bolivia)

3.4.2.7.4. Curvas verticales

Para curvas verticales el diseño geométrico en el alineamiento vertical se han previsto curvas verticales parabólicas de segundo orden, para asegurar un trazado seguro, buena apariencia estética, comodidad a los usuarios, para pasar gradualmente entre dos pendientes adyacentes del perfil longitudinal, proporcionando, como mínimo una distancia de visibilidad igual a la distancia mínima de frenado. A continuación se mostrara la tabla resumen de las curvas verticales (para la primera curva).

TABLA N°52 CURVAS VERTICALES.

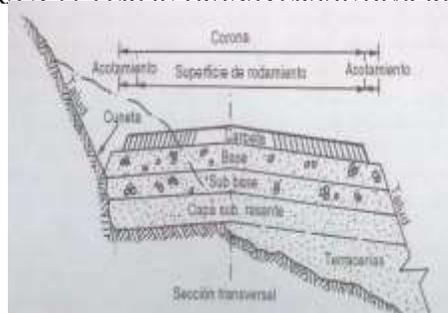
Alineamiento vertical			
Descripción:	Proyecto vial San Pedro -Higuerahuayco		
Rango de curva : Inicio: 0+000.00, Final: 6+648.97			
Inicio de la curva vertical			
PVC Estación:	0+115.00	Elevación:	2,328.58m
PVI Estación:	0+140.00	Elevación:	2,327.71 m
PVT Estación:	0+165.00	Elevación:	2,328.58 m
Punto bajo:	0+140.00	Elevación:	2,328.15 m
Grado:	-3.50%	Grado:	3.50%
Cambio:	7.00%	K:	7.14 m
Longitud:	50.000m	Radio de curva	714.28 m
Distancia:	71.367m		
Curva vertical información			
PVC Estación:	0+215.00	Elevación:	2,330.33 m
PVI Estación:	0+240.00	Elevación:	2,331.21 m
PVT Estación:	0+265.00	Elevación:	2,330.58 m
Altura de punto:	0+244.17	Elevación:	2,330.84 m
Grado de curvatura:	3.50%	Grado:	-2.50%
Cambio:	6.00%	K:	8.33 m

Fuente: AutoCAD civil3d el reporte completo está en ANEXO 5 (diseño geométrico).

3.4.2.7.5. Sección transversal

La sección transversal de una carretera o camino describe las características geométricas de éstas, según un plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera. Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.

FIGURA N°19 PERFIL TRANSVERSAL DESCRIPTIVO



Fuente: Manual de diseño geométrico ABC (2009, Bolivia)

TABLA N° 53 RESUMEN DE SECCIONES TRANSVERSALES TIPO

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC (2009, Bolivia)

N° de calzada		Velocidad del proyecto (km/hr)	Ancho de pista (m)	Berma exterior (m)	Ancho "SAP" (m)	Ancho total de plataforma (m)
Calzada unidireccional	Autopista	120	3.50	2.50	1.50	14
		100	3.50	2.50	1	14
		80	3.50	2.50	0.80	14
	Primaria y autorruta	100	3.50	2.50	1	14
		90	3.50	2.50	1	14
		80	3	2.50	0.90	14
	Desarrollo	50	3 - 3.50	0.50	0.50	8.00 - 10.00
		40	3	0.50	0.50	7.00 - 8.00
		30	2 - 3.00	0.50	0.50	5.00 - 6.00

3.4.2.7.6. Calzadas

Una calzada es una banda material y geoméricamente definida de tal modo que su superficie pueda soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los vehículos; la misma está formada por dos o más carriles. Un carril será entonces cada una de las divisiones de la calzada que pueda acomodar una fila de vehículos transitando en un mismo sentido

3.4.2.7.7. Bermas

Las bermas son las franjas que flanquean el pavimento de las calzadas; ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados.

Para el proyecto tenemos una berma de 0.50m de acuerdo a la TABLA N°53

3.4.2.7.8. Sobre ancho de plataforma SAP

La plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0.50m que permita confinar las capas de sub-base y base, de modo que en el extremo exterior de la berma sea posible alcanzar el nivel de compactación especificado.

Hacemos notar que de la TABLA N°53, se ve que los caminos de desarrollo no tienen sobre ancho interno ni externo, pero para fines académicos se adoptara un sobre ancho de 0.5m.

3.4.2.7.9. Bombeos

Las calzadas deberán tener bombeo con la finalidad de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo que depende del tipo de superficie de rodadura y la intensidad de la lluvia de 1 hora de duración con periodo de retorno de 10 años (I_{10}) (mm/h).

TABLA N°54 BOMBEO DE LA CALZADA.

Tipo de superficie	Pendiente transversal	
	I ≤ (mm/h)	I ≤ (mm/h)
Pav. de asfalto	2	2.50
Trat.superficial	3	3.50

Fuente: Manual de diseño geométrico ABC

Entonces de esta TABLA N°54 se tiene un bombeo del 2%.

TABLA N°55 RESUMEN DE PARÁMETROS

Característica	Parámetro
Categoría de la carretera	Desarrollo
Calzada (m)	6
Carril (m)	3
Berma (m)	0.50
Topografía	Montañosa
Velocidad de proyecto (km/h)	30
Peralte máximo (%)	7
Radio mínimo (m)	25
Pendiente máxima (%)	12

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.8.9. Movimiento de tierras.

Cálculo de volumen de excedentes:

$$E_c = \Sigma \text{Excedente de corte}$$

$$E_r = \Sigma \text{Excedente de relleno}$$

$$V_c = \text{Volumen de excedente} = E_c + E_r$$

A continuación en la siguiente tabla se mostrara el movimiento parcial (la tabla completa se la mostrara en el ANEXO 5 diseño geométrico).

TABLA N°56 MOVIMIENTO DE TIERRAS

Volúmenes de corte y rellano			
Progresiva	Volumen de corte	Volumen de relleno	Volumen neto
0+000.00	0	0	0
0+020.00	21.13	0	21.13
0+040.00	56.35	0	56.35
0+070.00	161.78	0	161.78
0+080.00	232.63	5.55	227.08
0+100.00	399.71	20.91	378.8
0+120.00	518.36	26.30	492.06
0+140.00	632.3	30.94	601.36
0+160.00	691.63	145.12	546.52
0+180.00	691.69	272.87	418.82
0+190.00	716.78	281.80	434.98
0+200.00	782.33	281.80	500.53
0+220.00	951.25	281.80	669.46
0+230.00	1,057.53	281.80	775.73
0+240.00	1,175.86	281.80	894.06
0+260.00	1,323.55	281.80	1,041.75
0+280.00	1,398.28	281.80	1,116.48
0+300.00	1,454.89	281.80	1,173.10
0+320.00	1,497.86	281.80	1,216.06
0+340.00	1,544.19	281.80	1,262.39
0+360.00	1,588.00	281.810	1,306.19
0+380.00	1,627.06	285.00	1,341.36
0+400.00	1,713.07	292.09	1,420.97
0+420.00	1,810.67	313.87	1,496.80
0+450.00	1,897.69	393.93	1,503.76

Fuente: AutoCAD civil3d

Volumen de excedencia = $43,065.53 - 37,464.06 = 5061.05 \text{ m}^3$

Volumen de excedencia = $5,601.48 \text{ m}^3$

3.4.3. Diseño estructural.

3.4.3.1. Alternativas de rodadura

Se realizará el análisis de diferentes alternativas por el tipo de rodadura, que será:

- Alternativa 1: el diseño para un pavimento flexible.
- Alternativa 2: el diseño para un tratamiento superficial doble.

Para llegar a determinar la mejor alternativa, se analizan todas las características técnicas necesarias para el tipo de proyecto que tratamos. El resultado estará expresado en las conclusiones.

3.4.3.2 Parámetros de entrada comunes para el diseño

Los parámetros de entrada comunes al diseño para el pavimento flexible y tratamiento superficial son:

- Características geotécnicas de los suelos de la subrasante, que se detallan en el estudio de suelos.
- Tráfico vehicular, el mismo que ha sido definido anteriormente

El espesor del pavimento depende fundamentalmente de la subrasante por lo que esta debe cumplir con los requisitos de consistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

Material de la subrasante, tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, en general los materiales apropiados para la subrasante, son los suelos de preferencia granulares.

3.4.3.3. Pavimento flexible

El pavimento flexible, al contar con una carpeta estructural formada por capas debe también tomar en cuenta para el diseño el material para dichas capas, las cuales son: capa base, capa sub base y capa de rodadura.

3.4.3.4. Métodos para el diseño de espesores

Existen varios métodos para el diseño de espesores en pavimentos flexibles, entre éstos tenemos:

- El método AASHTO - 93.
- El método de CBR.
- El método de índice de grupo.

En este proyecto se diseñarán los espesores del paquete estructural con el método AASHTO - 93, esto debido a que este método tiene mayores datos de entrada que los anteriores y toma en cuenta varios factores.

$$\text{Log}_{10} W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \text{Log}_{10} (\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right)}{\frac{0.40 + 1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10} M_r - 8.07$$

Método AASHTO – 93

Dónde:

W_{18} = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 Kips. (80 KN) calculadas conforme al tráfico vehicular.

Z_r = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

S_o = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad (serviciabilidad inicial menos serviciabilidad final).

M_r = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN = Número estructural.

El valor de M_R la relación es:

$$M_R = 22.1 * CBR^{0.55} \text{ (MPa)}$$

Expresada en [MPa], fórmula empírica según AASTHO.

Las variables a considerarse en el método AASTHO son:

En función al tiempo existen dos variables que deben tomarse en cuenta y son:

El periodo de diseño

Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.

La vida útil del pavimento

Es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad.

El periodo de diseño puede llegar a ser igual a la vida útil de un pavimento. Se recomiendan periodos de diseño en la siguiente forma:

TABLA N°57 PERÍODO DE DISEÑO

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Autopista regional	20 a 40 años
Troncales rurales	15 a 30 años
Colectores suburbanos	10 a 20 años
colectores rurales	

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASTHO 1993

Se adoptó un periodo de diseño de 20 años.

Confiabilidad (R)

Este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su periodo de diseño en buenas condiciones.

TABLA N°58 NIVELES DE CONFIABILIDAD

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad "R"	
	Suburbanas	Rurales
Autopista regional	85-99.9	80-99.9
Troncales	80-99	75-95
Colectoras o locales	80-95	50-80

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993

Se asumirá una confiabilidad $R = 80\%$, de acuerdo a este valor se tiene $Z_r = 0.84$.

Serviciabilidad.- Los criterios para determinar la serviciabilidad de una estructura de pavimento, se basan en la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto).

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad (PSI) inicial y la serviciabilidad final; el PSI inicial es función directa de la estructura del pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, el PSI final, va en función de la categoría del camino.

Serviciabilidad inicial.

PSI = 4.50 para pavimentos rígidos.

PSI = 4.20 para pavimentos flexibles.

Serviciabilidad final.

PSI = 2.50 o más para caminos principales.

PSI = 2 para caminos de tránsito menor.

Entonces tenemos P_i inicial= 4.2 y P_t final= 2.0

Drenaje.- Un buen drenaje mantiene la capacidad soporte de la subrasante (mantiene el módulo de resiliencia cuando la humedad es estable), lo que hace un camino de mejor calidad, así como permite, en determinado momento, el uso de capas de soporte de menor espesor. En la tabla a continuación, se dan los tiempos de drenaje que recomienda AASHTO:

TABLA N°59 TIEMPO DE DRENAJE

Calidad de drenaje	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 Horas	2 Horas
Bueno	1 Día	2 a 5 Horas
Regular	1 Semana	5 a 10 Horas
Pobre	1 Mes	10 a 15 Horas
Muy pobre	El agua no drena	Mayor de 15 horas

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993

La calidad del drenaje es expresado en la fórmula del número estructural, por medio del coeficiente de drenaje "m" que toma en cuenta las capas no ligadas. A continuación tenemos los coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles:

TABLA N°60 COEFICIENTES DE DRENAJE

Calidad de drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.3	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.2	1
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75	0.40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993

Estos valores son coeficientes de capa que se ajustan a valores mayores o menores a la unidad para tomar en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de humedad cerca de la saturación.

Para desviación estándar

Se recomienda usar los valores comprendidos entre los intervalos siguientes:

Para pavimentos flexibles 0.40 - 0.50

Para pavimentos rígidos 0.30 - 0.40

El valor recomendado que utiliza la varianza del tránsito futuro es $S_o = 0.49$

3.4.3.5. Diseño de espesores

- Diseño de pavimento flexible

Anteriormente presentamos la fórmula AASTHO de diseño para pavimentos flexibles y las variables que intervienen en ella, esta fórmula puede resolverse en forma manual a través de iteraciones para obtener el número estructural SN y en función del mismo se determinan los distintos espesores de las capas que conforman el paquete estructural. Para empezar el cálculo iniciamos con la conversión de los vehículos a ESAL's/vehículo para transformar cada tipo de carga que actuará sobre el pavimento se determina el factor de equivalencia de carga LEF (load equivalent factor). Entonces se comenzó de la siguiente manera:

Calculo del factor camión. LEF, es una manera de expresar los ejes en ESAL's, pero es necesario saber el daño que producen los diferentes tipos de vehículos en el pavimento con los varios tipos de ejes que posee. Factor camión es el número de ESAL's que equivale un vehículo.

TABLA N°61 CONFIGURACIÓN DE EJES

		Peso por ejes
--	--	---------------

Medio de transporte	Peso total (Tn)	Eje	Nomenclatura	Carga por eje
Vehículo	3	Del.	1	1
Camioneta	3.5	Del.	1	1
Minibus	5	Del.	1	3
Bus mediano	7	Del.	1	4
Bus grande	18	Del.	1	7
Mediano C1-1	14	Del.	1	5.60
Grande C1-1	18	Del.	2	5.60
Grande C1-1-1	25	Del.	2	5.60
Camion semi remolque	36	Del.	2	5.60
Camion grande	40	Del.	2	11.20

Fuente: Teoría flujo de tráfico en vías

Entonces tenemos la siguiente tabla de tipo de vehículo:

TABLA N°62 TIPOS DE VEHÍCULO

Tipo de vehículo	TPD [veh/día]	Tipo de vehículo
Livianos	45	Camioneta
Medianos	4	Bus mediano
Pesados	4	Camión grande

Fuente: Elaboración propia

Para las cargas de los ejes, según el decreto Ley N°11771, los límites de la ley de cargas para los diferentes tipos de ejes se pueden ver en la tabla N°63

TABLA N°63 LÍMITES DE CARGAS POR EJE DECRETO LEY N°11771

Carga máxima para eje delantero	7 Tn.
Carga máxima para eje trasero simple	11 Tn.
Carga máxima para eje trasero tadem	18 Tn
Carga máxima para eje trasero tridem	25 Tn.

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993

Con estos datos de tipo de vehículo y límites de cargas por eje (ley de cargas), obtenemos el factor de carga equivalente, con la ayuda del programa DIPAV 2.0, tenemos:

TABLA N°64 FACTOR DE CARGA EQUIVALENTE

Tipo de vehículo	Tipo de vehículo	Factor de carga equiv.
Livianos	Camioneta	0.03
Medianos	Bus mediano	1.13
Pesados	Camión grande	1.55

Fuente: DIPAV 2.0

Entonces con los datos completos aplicamos la fórmula:

$$W18 = \sum (TPD)_i *(FC)_i *(FCE)_i^{365}$$

Dónde: W18 = Número de ejes equivalentes

$(TPD)_i$ = Tráfico promedio diario del vehículo tipo i, en el primer año de circulación

$(FC)_i$ = Factor de crecimiento del vehículo tipo i

$(IC)_i$ = Índice de crecimiento del vehículo tipo i

(N) = Número de años hasta el período de diseño: (20 años)

$(FCE)_i$ = Factor de carga equivalente del vehículo tipo i

Se tiene la siguiente tabla de resultados.

TABLA N°65 RESULTADOS W18

Tipo de vehículo	Nº de Ejes equivalentes
Livianos	9,455.98
Medianos	36,918.01
Pesados	50,611.14

Fuente: Elaboración propia.

El número de ejes equivalentes es: $W_{18} = 96985.13$

Aplicando con este valor la fórmula AASHTO 93.

$$\text{Log}_{10} W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \text{Log}_{10} (\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right)}{\frac{0.40 + 1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10} M_r - 8.07$$

Del proceso iterativo se obtiene $\text{SN} = 1.43$ (Plg)

A continuación se calcula los espesores de capas en base al número estructural SN con la siguiente expresión:

$$\text{SN} = a_1 * h_1 + a_2 * m_2 * h_2 + a_3 * m_3 * h_3$$

$a_1 = 0.44$ Coeficiente estructural capa rodadura (pav. flexible)

$a_2 = 0.12$ Coeficiente estructural de capa base

$a_3 = 0.1$ Coeficiente estructural de capa sub base

$m_2 = 0.8$ Coeficiente de drenaje de la capa base

$m_3 = 0.7$ Coeficiente de drenaje de la capa sub base

h_i = Espesores del paquete estructural

Los valores de los coeficientes estructurales fueron obtenidos del IBCH diseño de pavimentos AASHTO-93, pág. 166 tabla 8.3 propiedades de los materiales.

Remplazando en la fórmula se obtiene los espesores mínimos:

$h_1 = 50$ (mm) Carpeta de rodadura

$h_2 = 320$ (mm) Capa base

Con CBR diseño de 45 %.

Espesores adoptados:

$h_1 = 50$ (mm)

$h_2 = 320$ (mm)

TABLA N°66 PAQUETE ESTRUCTURAL PAVIMENTO FLEXIBLE.

Tramo	Progresiva	CBR % diseño	Pavimento flexible			
			Método de diseño AASTHO 93			
			C. rodad (cm)	C. base (cm)	C. sub-base (cm)	Total(cm)
San Pedro - Higuerahuayco	0+000 – 6+580	45	5	32	-	37

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.6 Tratamiento superficial doble (TSD)

Para el diseño del tratamiento superficial doble, se tiene en cuenta que los espesores de la capa base serán los mismos de los del paquete para pavimento flexible igual a 320cm y se aplicará la misma fórmula de número estructural SN variando únicamente el coeficiente de la capa de rodadura para TSD que es $a_1 = 0.27$ obtenido el dato de la guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993.

Entonces aplicando la fórmula reemplazando los datos y despejando el h_1 , espesor de la capa de rodadura, se tiene:

Reemplazando en la fórmula se obtiene los espesores mínimos:

$h_1 = 25$ (mm) Carpeta de rodadura

$h_2 = 320$ (mm) Capa base

TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE

Espesores adoptados:

h1 = 30 (mm) Capa de tratamiento

h2 = 320 (mm) Capa base

ht = 35 (cm) Altura del paquete

TABLA N°67 PAQUETE ESTRUCTURAL TSD.

Tramo	Progresiva	CBR % diseño	Tratamiento superficial doble			
			Método de diseño AASTHO 93			
			C. rodad (cm)	C. base (cm)	C. sub- base (cm)	Total(cm)
San Pedro - Higuerahuayco	0+000 – 6+580	45	3	32	-	35

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Diseño de drenaje

El drenaje transversal de la carretera tiene como objetivo evacuar adecuadamente el agua superficial que intercepta su infraestructura, la cual discurre por cauces naturales o artificiales, en forma permanente o transitoria, a fin de garantizar su estabilidad y permanencia.

El elemento básico del drenaje transversal se denomina alcantarilla, considerada como una estructura menor; su densidad a lo largo de la carretera resulta importante e incide en los costos, por ello, se debe dar especial atención a su diseño.

3.4.4.1. Alcantarilla

En el presente estudio se proyecta la construcción de alcantarillas de sección circular de chapa ARMCO; además, en los cauces de mayor caudal se proyecta la construcción de alcantarillas cajón de acuerdo al caudal de diseño.

Alcantarillas de alivio

Construcción de 29 alcantarillas de alivio para los cursos de agua que se encuentran los siguientes tramos:

TABLA N°68 RESUMEN UBICACIÓN ALCANTARILLAS DE ALIVIO

Tramo vial "San Pedro - Higuerahuayco"	
prog. 0+060	prog. 4+020
prog. 0+260	prog. 4+160
prog. 0+380	prog. 4+460
prog. 1+140	prog. 5+420
prog. 1+800	prog. 5+960
prog. 2+760	prog. 6+160
prog. 3+920	prog. 6+540

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, mostraremos el diseño hidráulico de una alcantarilla de Alivio, el resto de los cálculos se encuentran en el ANEXO 7 (Diseño Hidráulico).

DISEÑO DE INGENIERÍA PARA EL TRAMO VIAL
"SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO" DISEÑO DE ALCANTARILLA DE
ALIVIO

Progresiva 0+141.

Ecuación Racional:

$$Q = (C \cdot I \cdot A) / 360$$

Q = Caudal (m³/seg)

i = Intensidad de precipitación en los 10 min. de máxima concentración (mm/h)

C = Coeficiente de escorrentía (C=0.55 zona con vegetación media)

A = Área de aporte (ha)

n = Coeficiente de rugosidad.

Datos:

i = 15.74 (mm/h)

$$C = 0.55$$

$$A = 2.51 \text{ (ha)}$$

$n = 0.025$ Coeficiente de rugosidad ($n=0.03$ acueductos semicirculares, metálicos corrugados)

Reemplazando tenemos:

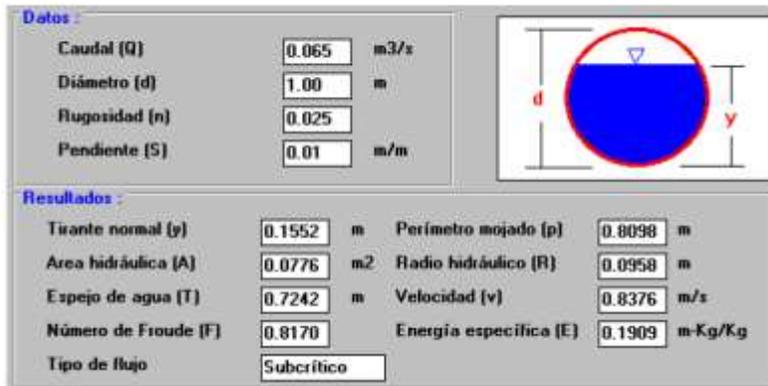
$$Q = 0.060 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Sumando el caudal de las cunetas del tramo: 0+141 - 0+262 $Q=0.0048 \text{ m}^3/\text{seg.}$

$$Q = 0.065 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Calculando el tirante normal aplicando el programa de "Hcanales" de (Máximo Villón Béjar) se tiene los siguientes resultados:

FIGURA N°20 SECCIÓN DE DISEÑO TIPO CIRCULAR.



Fuente: Hcanales

Se tiene como resultado un tirante normal de: $y = 0.1552$

$$Y + \text{borde libre} = 0.26 \text{ m}$$

Se asume un diámetro mínimo comerciable tubo de chapa ARMCO de $D = 1 \text{ m}$.

Alcantarillas de tipo cajón

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Construcción de 15 alcantarillas tipo cajón para los cursos de agua que se encuentran en los siguientes tramos:

TABLA N°69 UBICACIÓN ALCANTARILLAS TIPO CAJÓN

Tramo vial "San Pedro - Higuerahuayco"	
prog. 0+160	prog. 2+885
prog. 0+078	prog. 3+060
prog. 1+310	prog. 3+385
prog. 1+670	prog. 4+725
prog. 2+100	prog. 4+925
prog. 2+340	prog. 6+360

Fuente: Elaboración propia.

A continuación mostraremos el diseño hidráulico de una alcantarilla tipo cajón.

DISEÑO DE INGENIERÍA PARA EL TRAMO VIAL
"SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO" DISEÑO DE ALCANTARILLA DE TIPO
CAJÓN

Progresiva 0+015.00

Ecuación Racional:

$$Q = (C \cdot I \cdot A) / 360$$

Q = Caudal (m³/seg)

i = Intensidad de precipitación en los 10 min. de máxima concentración (mm/h)

C = Coeficiente de escorrentía (C=0.55 Zona con vegetación media)

A = Área de aporte (Ha)

Datos:

i = 15.74 (mm/h)

C = 0.55

A = 3.31 (ha)

$n = 0.013$ Coeficiente de rugosidad ($n = 0.013$ canales revestidos con concreto)

$b = 2.50$ (m)

Como resultados tenemos $Q = 16.42 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Código de campo cambiado

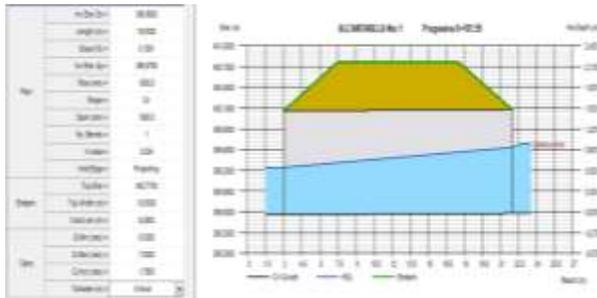
Sumando el caudal de aporte de la cuneta del tramo 0+000 - 0+141 $Q = 1.52 \text{ m}^3/\text{seg}$

Código de campo cambiado

$Q = 18 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Calculando el tirante normal aplicando el programa de "Hydraflow" se tiene los siguientes resultados:

FIGURA N° 21 SECCIÓN DE DISEÑO "TIPO CAJÓN"



Fuente: Hcanales

Se tiene como resultado un tirante normal de: $y = 0.92$ m

Se asume una sección de alcantarilla de: $y + \text{borde libre} = 1$ m

Se asume una sección de alcantarilla de: $b = 2.50$ m $h = 1.60$ m

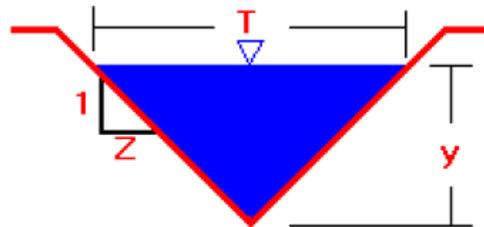
El resto de los cálculos se encuentran en el ANEXO 7 (diseño hidráulico).

3.4.4.2 Cunetas.

Las cunetas pueden ser de sección en forma triangular, trapezoidal, rectangular y semicircular. El drenaje longitudinal comprende básicamente una sección tipo, triangular. Debido a la facilidad constructiva, considerando que el drenaje longitudinal

será construido paralelamente que el paquete estructural se adopta una sección de tipo triangular con taludes simétricos 1:2.

FIGURA N°22 SECCIÓN DE DISEÑO TIPO TRIANGULAR.



Fuente: Hcanales

A continuación mostraremos el diseño hidráulico de una cuneta

DISEÑO DE CUNETAS PARA EL TRAMO VIAL "SAN PEDRO -
HIGUERAHUAYCO" MANPOSTERIA DE PIEDRA

Progresiva 0+240 - 0+360

Ecuación Racional:

$$Q_d = \frac{C * i * A}{360}$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/seg)

i = Intensidad de precipitación en los 10 min. de máxima concentración (mm/h)

C = Coeficiente de escorrentía (C = 0.55 Zona con vegetación media)

A = Área de aporte (Ha)

Datos:

i = 15.74 (mm/h)

C = 0.55

A = 2 (ha)

$n = 0.013$ Coeficiente de rugosidad ($n = 0.013$ canales revestidos con concreto)

De los cálculos tenemos que el $Q = 0.1731 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Sumando el caudal de aporte de la cuneta del tramo 0+240 - 0+360

$$Q = 0.02 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q = 0.20 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Calculando el tirante normal aplicando el programa de "Hcanales" de (Máximo Villón Bésar) se tiene los siguientes resultados:

FIGURA N° 23 CÁLCULO DE CUNETAS TRIANGULARES.



Fuente: Hcanales

Se tiene como resultado un tirante normal de: $y = 0.21 \text{ m}$

Se asume una sección de alcantarilla de: $y + \text{borde libre} = 0.25 \text{ m}$

Se asume una sección de la cuneta triangular de: $T = 0.850 \text{ m}$ $y = 0.30 \text{ m}$

La siguiente tabla presenta el resumen de cunetas.

TABLA N°70 RESUMEN DE CUNETAS

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

Fuente: Elaboración propia.

Ubicación de cunetas para el tramo vial San Pedro - Higuerahuayco							
Lado izquierdo				Lado derecho			
P. Inicial	-	P. Final	Longitud (m)	P. Inicial	-	P. Final	Longitud (m)
0+020	-	0+070	50	0+120	-	0+140	20
0+070	-	0+120	50	0+190	-	0+240	50
0+120	-	0+140	0	0+240	-	0+360	120
0+190	-	0+240	50	0+380	-	0+415	35
0+240	-	0+380	140	0+490	-	0+500	10
0+380	-	0+560	180	0+600	-	0+610	10
0+560	-	0+660	60	0+850	-	0+910	60
0+700	-	0+760	60	1+015	-	1+180	165
0+830	-	0+920	90	1+230	-	1+280	50
0+920	-	1+080	160	1+385	-	1+410	25

Longitud total de cunetas 4850 m todas de T=0.85cm y h=30cm (Ver cálculo de cunetas en ANEXO 7 (diseño hidráulico)).

3.5. CÓMPUTOS MÉTRICOS.

El objeto que cumplen los cálculos métricos dentro de una obra son:

- Determinar la cantidad de material necesario para ejecutar una obra.
 - Establecer volúmenes de obra y costos parciales con fines de pago por avance de obra.
- Los cálculos métricos son problemas de medición de longitudes, áreas y volúmenes que requieren el manejo de fórmulas geométricas. El cálculo métrico requiere del conocimiento de procedimientos constructivos.

Los cálculos métricos realizados para el proyecto, se detallan en el ANEXO 8. (cálculos métricos y presupuesto).

TABLA N°71 RESUMEN DE CÓMPUTOS MÉTRICOS PAV. FLEXIBLE

Planilla de cómputos métricos para pavimento flexible								
Proyecto: Diseño de ingeniería para el tramo vial San Pedro - Higuerahuayco								
N°	Descripción de Item	Unid.	N° Veces	Unidad			Cantidades	
				Largo	Alto	Ancho	Parcial	Total
M01 - OBRAS PRELIMINARES								
1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN	glb	1				1	1
2	INSTALACION DE FAENAS	glb	1				1	1
3	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRÁFICO	km						
	Tramo vial San Pedro-higuerahuayco 0+000 - 6+580		1	6.58			6.58	6.58
4	LIMPIEZA, DESBROCE, DESBOSQUE Y DESTRONQUE	km ²						
			1	6.6		0.03		0.198
5	PROVICIÓN Y COLOCACIÓN DE LETRERO	pza	2				2	2
M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS								
6	EXCAVACIÓN (SUELO SEMI DURO)	m ³						
	volumen total de excavación		1				43003.86	43003.86
7	CONFORMACIÓN DE TERRAPLEN	m ³						
	volumen total de terraplen		1				37401.05	37401.05
8	SOBREACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	m ³						
	volumen de sobreacarreo		1				5061.5	5061.5
M03 - COMFORMADO DEL PAQUETE								
9	PROVICIÓN Y CONFORMACIÓN DE CAPA BASE	m ³						
	volumen total de capa base		1	6580	0.25	3	4935.00	4935.00
10	IMPRIMACIÓN BITUMINOSA (EJEC. Y SUMINIS.)	m ²	1	6580		4	26320	26320
11	CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO (SUM. EJEC. Y TRA)	m ³	1	6580	0.5	3	9870	9870

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°72 RESUMEN DE CÓMPUTOS MÉTRICOS TRATAMIENTO SUP.
DOBLE

Planilla de cómputos métricos para trat. sup. doble								
Proyecto: Diseño de ingeniería para el tramo vial San Pedro - Higuerahuayco								
N°	DESCRIPCIÓN DE ITEM	UNID.	N° Veces	UNIDAD			Cantidades	
				Largo	Alto	Ancho	Parcial	Total
M01 - OBRAS PRELIMINARES								
1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN	glb	1				1	1
2	INSTALACION DE FAENAS	glb	1				1	1
3	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRÁFICO	km						
	Tramo vial SanPedro-higuerahuayco 0+000 - 6+580		1	6.58			6.58	6.58
4	LIMPIEZA, DESBROCE, DESBOSQUE Y DESTRONQUE	km ²						
			1	6.6		0.03		0.20
5	PROVICIÓN Y COLOCACIÓN DE LETRERO	pza	2				2	2
M02 -MOVIMIENTO DE TIERRAS								
6	EXCA VACIÓN (SUELO SEMI DURO)	m ³						
	volumen total de excavación		1				43003.86	43003.86
7	CONFORMACIÓN DE TERRAPLEN	m ³						
	volumen total de terraplen		1				37401.05	37401.05
8	SOBREACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	m ³						
	volumen de sobreacarreo		1				5061.5	5061.5
M03 - COMFORMADO DEL PAQUETE								
9	PROVICIÓN Y CONFORMACIÓN DE CAPA BASE	m ³						
	volumen total de capa base		1	6580	0.25	3	4935.00	4935.00
10	IMPRIMACIÓN BITUMINOSA (EJEC. Y SUMINIS.)	m ²	1	6580		4	26320	26320
11	CAPA DE RODADURA (TRAT SUPERFICIAL DOBLE)	m ³	1	6580	0.5	3	9870	9870

Fuente: Elaboración propia.

3.6. PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO

El análisis de precios unitarios, según las NB-SABS (normas básicas del sistema de administración de bienes y servicios), se realiza llenando el formulario B-2 por actividad o ítem y se encuentran detallados en ANEXO 8. (cómputos métricos, precios unitarios y presupuesto). Además, se utilizó hojas excel para cada ítem del proyecto.

Descripción de los componentes de los precios unitarios

A continuación se desglosará todos los componentes que influyen en el análisis de precios unitarios.

Materiales.

Es el primer componente que tiene su importancia en la estructura de costos, su magnitud y cantidad dependen de la definición técnica y las características propias de cada uno de los materiales que integran el ítem.

La mano de obra, se halla condicionada a dos factores:

- El precio que pagan por ella o salario.
- El tiempo de ejecución de la unidad de obra o rendimiento y a tres sistemas de trabajo, a jornal, a contrato y destajo.

Los costos indirectos de la mano de obra se calculan basados en varios criterios, englobados en las cargas sociales, que incluyen rubros como: aportes, vacaciones, licencias y enfermedad, días efectivamente trabajados, costos de campamento y alimentación. Todas estas incidencias fueron convertidas en días efectivamente pagados y en porcentajes de incidencia que sirvieron para determinar los factores de mayoraciones correspondientes.

TABLA N° 73 CATEGORIZACIÓN DEL MERCADO LOCAL PARA LA MANO DE OBRA DESTINADA A LA CONSTRUCCIÓN

Categoría	Descripción	Jornales (Bs.)
No calificada		
1	Peón	86
2	Ayudante	100
3	Contra maestro	150
4	Maestro	156
Calificada		
5	Especialista	156
6	Operador liviano	130
7	Operador pesado	160
8	Capataz	170
9	Técnico	176

Fuente: Elaboración propia (en función a análisis de costos cámara departamental de la construcción –Tarija 2018)

Cargas sociales.

Las cargas sociales relacionadas con la mano de obra se dividen en dos categorías:

- Cargas de aplicación directa (inmediata)
- Cargas de aplicación diferida

Las cargas de aplicación directa comprenden los aportes que efectúa el empleador al sistema del seguro social y a los beneficios que recibe el empleado de acuerdo a las disposiciones legales vigentes.

Las cargas de aplicación diferida se refieren a los compromisos que el empleador asume con el empleado, en forma voluntaria o forzosa, de acuerdo a circunstancias especiales como: rescisión del contrato de trabajo, días no trabajados por feriados, licencias, y otros.

Para el cálculo de las cargas sociales se confeccionó primero la tabla siguiente que muestra el precio de la mano de obra, expresado en bolivianos este precio son los que se presentan en las revistas de la cámara de la construcción y se añadió el costo de la

alimentación considerando el precio de almuerzo desayuno y cena.15Bs, 10Bs y 5Bs respectivamente sumando el costo diario y dividiendo entre 8 horas laborales obtenemos 3.75 Bs que serán añadidos a los precios horarios finales.

TABLA N° 74 PRECIO PROMEDIO DE LA MANO DE OBRA EN EL
MERCADO LOCAL

Categoría	Descripción	Jornal	Precio (Bs.)
1	Peón	86	10.75
2	Ayudante	100	12.5
3	Contra maestro	150	18.75
4	Maestro	156	19.5
5	Especialista	156	19.5
6	Operador liviano	130	16.5
7	Operador pesado	160	20
8	Capataz	170	21.25
9	Técnico	176	22

Fuente: Elaboración propia (en función a análisis de costos cámara departamental de la construcción –Tarija 2018)

Incidencia por subsidios

A partir del 1 de enero de 1993 en cumplimiento a las previsiones contenidas en el artículo 2do. Del D. S. No. 23410 del 16 de febrero de 1993, que modifica la cuantía del salario mínimo nacional, los subsidios, prenatal, natalidad, lactancia y sepelio, cuya obligación está a cargo de la empresa o los empleadores, según lo dispuesto por el D. S. 21637 en su art. 25 de junio de 1987 deben considerarse dentro de la estructura de costos.

Incidencia por seguridad industrial e higiene.

En la ley general del trabajo, existe la LEY GENERAL DE HIGIENE, SEGURIDAD OCUPACIONAL Y BIENESTAR (decreto Ley N° 16998 del 2 de agosto de 1979), la cual recomienda la utilización de implementos de seguridad.

Maquinaria y equipo

Para seleccionar el equipo y la maquinaria a utilizar en la construcción del proyecto, se toman en cuenta la potencia, capacidad de trabajo y condiciones de operabilidad del equipo.

Herramientas y equipos menores.

Por lo general para este rubro, se adoptan un porcentaje de la mano de obra teniéndose como racional el 5% dependiendo de la actividad.

Gastos generales y administrativos.

Otro de los porcentajes con el que se mayor el precio unitario es el de los gastos generales, este considera todos los gastos operacionales indirectos como ser los administrativos, seguros, garantías, etc.

Utilidades.

Es el beneficio que busca la empresa en la realización de las obras, y por consiguiente su fijación en porcentaje es difícil de determinar. normalmente se suele utilizar el valor del 10% del costo parcial del ítem (costo parcial más gastos generales) y ese es el referente que se utiliza en el presente proyecto

Impuestos.

El impuesto aplicable es el impuesto al valor agregado iva, el que incide en un 13% del costo de la mano de obra que, determinado del subtotal de la mano de obra más las cargas sociales, corresponde al 14.94% (resultante de la división $100\%/0.87-100\% = 14.94\%$), el impuesto a las transacciones, por su carácter global, se aplica al total del precio unitario correspondiente al 3% del mismo correspondiendo al 3.09% (resultante de la división $100\% / 0.97 - 100\% = 3.09$) de los subtotales de los costos directos e indirectos, y el impuesto a la utilidad de las empresas, que es parte de los gastos generales y administrativos, por lo que no es tomado en cuenta como porcentaje directo de ningún rubro.

A continuación se mostrara la tabla de un ítem del proyecto.

TABLA N°75 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO				
DISEÑO DE INGENIERIA PARA EL TRAMO VIAL "SANPEDRO-HIGUERAUAYCO"				
Actividad: N°8 SOBRECARRERO DE MATERIAL EXCEDENTE				
Unitario: m ³				
Cantidad: 5061.5				
Moneda: Bolivianos				
Descripción	Und.	Cantidad	Precio Productiv.	Costo Total
1. MATERIALES				
		0.00000	0.00	0.00
TOTAL MATERIALES				0.00
2. MANO DE OBRA				
OPERADOR DE EQUIPO	HR.	0.05	20	1.00
CHOFER	HR.	0.00650	16.25	0.11
PEON	HR.	0.00650	12.00	0.08
SUBTOTAL MANO DE OBRA				1.18
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA			55.00%	0.10
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES			14.94%	0.04
TOTAL MANO DE OBRA				1.33
3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS				
CARGADOR FRONTAL SOBRE RUEDAS	HR.	0.05	276	13.8
VOLQUETA >= 12	HR.	0.020	225.06	4.50112
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5.00%	0.02
TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS				18.32
4. GASTOS GENERALES				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			10.00%	1.86
TOTAL GASTOS GENERALES				1.86
5. UTILIDAD				
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4			10.00%	0.67
TOTAL UTILIDAD				0.67
6. IMPUESTOS				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3.09%	0.23
TOTAL IMPUESTOS				0.23
TOTAL PRECIO UNITARIO				22.41

Fuente: Elaboración propia

PRESUPUESTO GENERAL PARA PAVIMENTO FLEXIBLE.

TABLA N°76 PRESUPUESTO GENERAL PAVIMENTO FLEXIBLE

N° ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	CANTIDAD	PRECIO PARCIAL (Bs.)
M01 - OBRAS PRELIMINARES					
1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPO Y MAQUINARIA	glb	44.810,22	1,00	44.810,22
2	INSTALACIÓN DE FAENAS	glb	34.175,45	1,00	34.175,45
3	REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRÁFICO	km	4.869,59	6,58	32.041,90
4	LIMPIEZA, DESBROCE, DESBOSQUE Y DESTRONQUE	km ²	6.592,48	0,20	1.305,31
5	PROVISIÓN Y COLOCACIÓN DE LETRERO	pza	2.336,19	2,00	4.672,38
M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS					
6	EXCAVACIÓN (SUELO SEMIDURO)	m ³	48,51	43.003,86	181.4324,94
7	CONFORMACIÓN DE TERRAPLEN	m ³	28,52	37.401,05	106.6677,95
8	SOBRECARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	m ³	22,41	5.061,50	113.428,22
M03 - COMFORMADO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL					
9	PROVISIÓN Y CONFORMACIÓN DE CAPA BASE	m ³	334,00	4.935,00	1.648.290,00
10	IMPRIMACIÓN BITUMINOSA (EJEC. Y SUMINIS.)	m ²	20,31	26.320,00	534.559,20
11	CARPEA DE CONCRETO ASFÁLTICO (SUM. EJEC. Y TRANS.)	m ³	2.719,59	9.870,00	26.842.553,30
M04 - OBRAS DE ARTE MENOR					
12	EXCAVACIÓN COMÚN PARA ESTRUCTURAS DE DRENAJE	m ³	140,36	5.392,00	75.6821,12
13	RELLENO Y COMPACTADO DE ALCANTARILLAS	m ²	40,36	96,00	3.874,56
14	HORMIGÓN PARA ESTRUCTURAS DE DRENAJE	m ³	1.048,80	2.535,00	2.658.708,00
15	TUBERÍA ARMCO (Ø=1 M.) PARA ALCANTARILLA DE ALIVIO	ml	1.689,87	110,20	186.223,67
16	ALCANTARILLAS PREF. DE H ² A° (2.5x1.5) m. PARA ALC. DE PASO	pza	2.542,45	16,00	40.679,20
17	ALCANTARILLAS PREF. DE H ² A° (2.5x1.5) m. PARA ALC. DE PASO	pza	2.399,00	24,00	57.576,00
18	ALCANTARILLAS PREF. DE H ² A° (1.5x1.5) m. PARA ALC. DE PASO	pza	1.918,76	20,00	38.375,20
19	PROVISIÓN TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE GAVIONES	m ³	454,62	156,00	70.920,72
20	CAMA DE ARENA PARA ALCANTARILLAS DE ALIVIO	m ³	131,68	36,37	4.788,67
21	CUNETAS DE DRENAJE	ml	100,02	4.850,00	48.5097,00
M05 - SEÑALIZACIÓN					
22	PINTADO DE CALZADA (Ø1.15) m. de ancho blanco	ml	9,61	13.160,00	126.467,60
23	PINTADO DE CALZADA (Ø1.12) m. de ancho amarillo	ml	9,27	6.580,00	60.996,60
24	SEÑALES DE PREVENCIÓN CUADRANGULAR (80x80) cm.	pza	1.292,34	16,00	20.677,44
25	SEÑALES REGLAMENTARIAS (75x110) cm.	pza	1.561,96	2,00	3.123,92
26	SEÑALES INFORMATIVAS DE LOCALIZACIÓN (160x55) cm.	pza	2.044,37	3,00	6.133,11
M06 - ENTREGA DE OBRA					
27	LIMPIEZA GENERAL DE LA OBRA	glb	12.868,10	1,00	12.868,10
28	PLACA ENTREGA DE OBRA	pza	270,72	1,00	270,72
COSTO TOTAL BOLIVIANOS Bs.					3.667.024.50

Fuente: Elaboración propia

PRESUPUESTO GENERAL PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE.

TABLA N°77 PRESUPUESTO GENERAL TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE

N° ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs.)	CANTIDAD	PRECIO PARCIAL (Bs.)
PRESUPUESTO POR ITEMS Y GENERAL DE LA OBRA TRAMO VIAL "SANPEDRO-HIGUERAHUAYCO" (En Bolivianos)					
M01 - OBRAS PRELIMINARES					
1	Movilización y desmovilización de equipo y maquinaria	gb	44.810,22	1.00	44810,22
2	Instalación de faenas	gb	34.175,45	1.00	34175,45
3	Replanteo y control topográfico	km	4.869,59	6,58	32041,90
4	Limpieza, desbroce, desbroque y destronque	km ²	6.592,48	0,20	1305,31
M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS					
5	Provisión y colocación de letrero	pza	2.336,19	2,00	4672,38
6	Excavación (suelo semi duro)	m ³	48,51	43.003,86	2086117,25
7	Conformación de terraplen	m ³	28,52	37.401,05	1066677,95
8	Sobrecarreo de material excedente	m ³	22,41	5.061,50	113428,22
M03 - CONFORMADO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL					
9	Provisión y conformación de capa base	m ³	334,00	4.935,00	1648290,00
10	Imprimación bituminosa (EBC. Y SUMINIS.)	m ²	20,31	26.320,00	534559,20
11	Capa de rodadura (trat superficial doble)	m ²	75,75	46.060,00	3489045,00
M04 - OBRAS DE ARTE MENOR					
12	Excavación común para estructuras de drenaje	m ³	140,36	5.392,00	756821,12
13	Relleño y compactado de alcantarillas	m ³	40,36	96,00	3874,56
14	Hormigón para estructuras de drenaje	m ³	1.048,80	2.535,00	2658708,00
15	Tuberia armco (Ø=1 m.) para alcantarilla de alivio	ml	1.689,87	110,20	186223,67
16	Alcantarillas pref. de H°A° (2.5x2.5) m. para alc. de paso	pza	2.542,45	16,00	40679,20
17	Alcantarillas pref. de H°A° (2.5x1.0) m. para alc. de paso	pza	2.399,00	24,00	57576,00
18	Alcantarillas pref. de H°A° (1.5x1.5) m. para alc. de paso	pza	1.918,76	20,00	38375,20
19	Provisión transporte y colocación de gaviones	m ³	454,62	156,00	70920,72
20	Cama de arena para alcantarillas de alivio	m ³	131,68	36,37	4788,67
21	Cunetas de drenaje	ml	100,02	4.580,00	458091,60
M05 - SEÑALIZACIÓN					
22	Pintado de calzada (0.15) m de ancho blanco	ml	9,61	13.160,00	126467,60
23	Pintado de calzada (0.12) m de ancho amarillo	ml	9,27	6.580,00	60996,60
24	Señales de prevención cuadrangular (80x80) cm	pza	1.292,34	16,00	20677,44
25	Señales reclamatorias (75x110) cm	pza	1.561,96	2,00	3123,92
26	Señales informativas de localización (160x55)cm.	pza	2.044,37	3,00	6133,11
M06 - ENTREGA DE OBRA					
27	Limpieza general de la obra	gb	12.868,10	1,00	12868,10
28	Placa entrega de obra	pza	270,72	1,00	270,72
COSTO TOTAL BOLIVIANOS Bs.					13561719,11

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES.

Realizado el análisis de todos los componentes de estudio del diseño de ingeniería para el tramo vial “SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO”, presentamos las siguientes conclusiones:

- Se concluyó con la mejor alternativa de trazado para el diseño geométrico del tramo vial, haciendo una comparación de alternativas desde el punto de vista (técnico y económico); así de esa manera, seleccionar la alternativa más adecuada a las características de la zona del proyecto y utilizando la normativa vigente en el país para el diseño de carreteras.

- Se identificaron 2 tipos de suelo en el desarrollo de la carretera (granular del tipo A-1-b y A-3) se optó por el CBR de diseño más bajo cuyo valor es 45% con el que se diseñó el paquete estructural que cumplieron con las especificaciones mínimas para subrasante.

- Se diseñó el paquete estructural de pavimento flexible, haciendo mención que solo para este tramo vial se tendrá una capa base y capa de rodadura debido al buen resultado en los ensayos de CBR, concluyendo así con una capa de rodadura de pavimento flexible de 5 cm y una base granular de 32 cm.

- Así mismo se diseñó el paquete estructural para el tratamiento superficial doble, donde se mantiene la capa granular base para este tipo de pavimento, concluyendo así con una capa de rodadura de tratamiento superficial doble de 3 cm y una base granular de 32 cm.

- En base al cálculo realizado de estos dos tipos de paquetes estructurales y habiendo realizado el presupuesto general para cada una de las alternativas, se hizo una comparación de precios dando como mejor la alternativa el tratamiento superficial doble desde un punto de vista económico, social y técnico, ya que el lugar o tramo vial

está clasificada como categoría de desarrollo y el flujo de tránsito es bajo garantizando así de esa manera su vida útil.

- Del presupuesto general se observa la diferencia de precios entre el pavimento flexible y el tratamiento superficial doble de 35.313.521,39 Bs mostrando que el tratamiento superficial doble es más económico que el pavimento flexible.

- Al tener ambos presupuestos de pavimento flexible y tratamiento superficial doble se deja abierta la elección de la alternativa a usar por parte de la institución responsable de la ejecución de proyectos, según ésta lo viera conveniente, de acuerdo a su presupuesto disponible.

4.2. RECOMENDACIONES.

- Realizar los ensayos de laboratorio como: granulometría, compactación, límites de Atterberg, ensayo de "CBR", siguiendo estrictamente las indicaciones de la norma ya que de estos resultados dependerá el cálculo de los espesores del pavimento flexible y tratamiento superficial doble.

- Recomendamos que para todo diseño de ingeniería, los datos obtenidos en laboratorio, datos de instituciones como SENAMI y otros, deben presentarse en forma clara y precisa en las planillas de cálculo realizadas.

- En cuanto al diseño geométrico y estructural, se recomienda el correcto uso de tablas, índices, ábacos y otros que nos presenta la Normativa vigente en el país para el diseño de carreteras (normas de la administradora boliviana de carreteras y la guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993).

- Tomando en cuenta estas recomendaciones se realizó el diseño de ingeniería para el tramo vial "SAN PEDRO - HIGUERAHUAYCO", dentro de los parámetros y normas establecidas en nuestro país, dando la mejor opción constructiva y de diseño al momento de ejecutarla, construirla y mantenerla, para alcanzar el número de años de vida útil proyectados.

