

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA
VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA
AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR DE LA CIUDAD DE
ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”**

PRESENTADO POR:

CHURA ZEA FREDY AURELIO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2014

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
ARQUITECTURA**

**'MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE
AVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR DE LA
CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO''**

TESIS

Presentada por:

BACH. FREDY AURELIO CHURA ZEA

Para Optar el Título de:

INGENIERO CIVIL

APROBADO POR EL JURADO DICTAMINADOR:

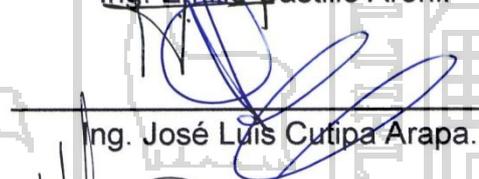
RESIDENTE

:


Ing. Emilio Castillo Aroni.

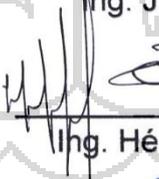
PRIMER JURADO

:


Ing. José Luis Cutipa Arapa.

SEGUNDO JURADO

:


Ing. Héctor Aroquipa Velásquez.

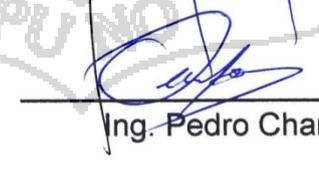
DIRECTOR DE TESIS

:


Ing. Arturo Quintanilla Anyaipoma.

asesor de tesis

:


Ing. Pedro Chambi Apaza.

**PUNO - PERÚ
2014**

**TEMA: INFRAESTRUCTURA VIAL
ÁREA: TRANSPORTES**



DEDICATORIA

A mis queridos padres Gil y Valentina, a mis hermanos, Armando (†), Efraín, a mi linda esposa Elida y mi hija tesoro de mi vida Gianira y todos mis familiares, por todo su cariño y apoyo constante e incondicional en mi formación como profesional y en la realización de éste proyecto, con el objetivo de alcanzar mis metas.

Fredy Aurelio Chara Zea

AGRADECIMIENTO

A mi asesor y a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por cuanto nos impartieron sus enseñanzas y experiencias para nuestra formación como profesional.

Un especial agradecimiento al Ing. Jorge Palomino Cordero, Ing. Juan Carlos Almonte Burgos, por sus aportes y apoyo en la realización de la presente tesis.

Agradecer a mis amigos Renzo, José, Midwar y Santos por su apoyo incondicional y su aliento verdadero para no poder decaer.

Fredy Aurelio Chara Zea

ÍNDICE

RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. ANTECEDENTES	13
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL	18
2.1. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1.1. PAVIMENTOS.....	18
2.2. MARCO CONCEPTUAL	20
CAPÍTULO III.....	25
ESTUDIOS PRELIMINARES	25
3.1. DESCRIPCION DEL DISTRITO EN GENERAL	25
3.1.1. ANTECEDENTES	25
3.1.2. CARACTERISTICAS SOCIO - ECONOMICAS.....	25
3.1.2.1. POBLACION.....	25
3.1.3. INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS BASICOS DE LA POBLACION	26
3.1.3.1. VIVIENDA	26
3.1.3.2. ELECTRIFICACIÓN	26
3.1.3.3. AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO.....	26
3.1.3.4. SALUD Y EDUCACIÓN	26
3.1.3.5. MEDIOS DE TRANSPORTE	27
3.1.4. CARACTERISTICAS AGRO – ECONOMICAS.....	27
3.1.4.1. TENENCIA DE LA TIERRA.....	27
3.1.4.2. ACTIVIDAD AGROPECUARIA.....	27
3.1.5. COMERCIALIZACIÓN	28
3.1.6. CONDICIONES GEOGRAFICAS	28
3.1.7. GEOLOGIA	29
3.1.8. FISIOGRAFIA	30
3.2. DESCRIPCION DE LA ZONA DEL PROYECTO	30
31	
CAPÍTULO IV.....	34
ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS	34
4.1. GENERALIDADES	34
4.2. CONSIDERACIONES GENERALES DEL TRAZO.....	34
4.3. TOPOGRAFIA	34
4.4. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL	35
4.4.1. TRABAJOS REALIZADOS	35
4.4.2. EQUIPOS EMPLEADOS.....	35
4.5. PUNTOS TOPOGRÁFICOS	35
4.6. RESULTADOS	38
4.7. PANEL FOTOGRÁFICO	38



CAPÍTULO V	40
ESTUDIO DE TRAZO	40
5.1. CONSIDERACIONES GENERALES DEL TRAZO	40
5.1.1. TOPOGRAFÍA Y TRAZADO:.....	41
5.1.2. EL TRAZO DIRECTO:.....	42
5.1.3. EL TRAZADO INDIRECTO:.....	43
5.1.4. SISTEMA DE UNIDADES:.....	44
5.1.6. TOLERANCIAS EN LA UBICACIÓN DE PUNTOS:.....	46
5.1.7. TRABAJOS TOPOGRÁFICOS:.....	46
5.2. SISTEMA DE INFORMACION	50
5.2.1. CARACTERISTICAS GENERALES.....	50
5.2.2. METODOS E INFORMACIÓN CARTOGRAFICA Y GEODESICA USADA.....	51
5.3. PROCESAMIENTO DE DATOS, DIBUJO E IMPRESIÓN DE PLANOS	52
5.3.1. EQUIPOS.....	52
5.3.2. SOFTWARE UTILIZADOS:.....	52
5.3.3. PLANOS.....	52
CAPÍTULO VI	54
ESTUDIO DE TRÁNSITO VEHICULAR	54
6.1. GENERALIDADES.....	54
6.2. ALCANCES.....	54
6.3. VOLUMEN DE TRANSITO VEHICULAR.....	55
6.4. INDICE MEDIO DIARIO (IMD).....	63
6.5. INDICE MEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).....	63
6.5.1. CALCULO DEL TPDS.....	63
6.5.2. CÁLCULO DEL TPDA.....	64
6.5.3. TASA ANUAL DE CRECIMIENTO DE TRANSITO.....	67
6.6. FACTOR DE CRECIMIENTO (FC).....	72
6.6.1. FACTOR CAMIÓN.....	73
CAPÍTULO VII	75
DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA	75
7.1. INTRODUCCIÓN.....	75
7.2. PARÁMETROS DE DISEÑO VINCULADOS A LA CLASIFICACION DE VÍAS URBANAS.....	76
7.3. CRITERIOS BÁSICOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO.....	78
7.3.1. VELOCIDAD DIRECTRIZ O DE DISEÑO.....	78
7.3.2. VISIBILIDAD.....	78
7.4. DISEÑO EN PLANTA.....	80
7.4.1. ALINEAMIENTO RECTO.....	80
7.4.2. CURVAS HORIZONTALES.....	80
7.4.3. SECCIÓN TRANSVERSAL.....	81
7.4.4. BOMBEO.....	82
7.4.5. VEREDAS.....	83
7.4.6. CUNETAS.....	83
CAPÍTULO VIII	87
ESTUDIOS GEOTÉCNICOS	87
8.1. GENERALIDADES.....	87
8.2. TOMA DE MUESTRAS EN EL CAMPO.....	87
8.3. NÚMERO DE MUESTRAS.....	88
8.4. EXPLORACIONES EN EL CAMPO.....	88
8.5. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	89
8.5.1. CUARTEO DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO.....	89
8.5.1.1. GENERALIDADES.....	89
8.5.1.2. OBJETIVO.....	90
8.5.1.3. HERRAMIENTAS Y/O MATERIALES.....	90



8.5.1.4. PROCEDIMIENTO	90
8.5.2. CONTENIDO DE HUMEDAD	91
8.5.2.1. GENERALIDADES.....	91
8.5.2.2. OBJETIVO	92
8.5.2.3. EQUIPO.....	92
8.5.2.4. PROCEDIMIENTO	92
8.5.2.5. CÁLCULO.....	92
8.5.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.....	93
8.5.3.1. GENERALIDADES.....	93
8.5.3.2. OBJETIVO	93
8.5.3.3. EQUIPO.....	93
8.5.3.4. PROCEDIMIENTO	94
8.5.3.5. CÁLCULO.....	94
8.5.4. LIMITES DE ATTERBERG O DE CONSISTENCIA.....	95
8.5.4.1. GENERALIDADES.....	95
8.5.4.2. LIMITE LIQUIDO	96
8.5.4.3. LIMITE PLÁSTICO	98
8.5.4.4. ÍNDICE DE PLASTICIDAD	99
8.5.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	99
8.5.5.1. GENERALIDADES.....	99
8.5.5.2. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS).....	100
8.5.5.3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO.....	103
8.6. PROCTOR MODIFICADO	106
8.6.1. GENERALIDADES.....	106
8.6.2. OBJETIVO	107
8.6.3. EQUIPOS.....	108
8.6.4. PROCEDIMIENTO	108
8.6.5. CÁLCULOS.....	109
8.7. VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR).....	110
8.7.1. GENERALIDADES.....	110
8.7.2. OBJETIVO	111
8.7.3. EQUIPO.....	111
8.7.4. PROCEDIMIENTO	111
8.7.5. CÁLCULOS.....	113
8.7.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
8.8. ESTUDIO Y CRITERIOS EN LA SELECCIÓN DE CANTERAS	115
8.8.1. GENERALIDADES.....	115
8.8.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	115
8.8.3. CANTERAS PROYECTADAS	115
CAPÍTULO IX.....	121
ESTUDIOS HIDROLÓGICOS	121
9.1. INTRODUCCION.....	121
9.2. OBJETIVOS	121
9.3. INFORMACIÓN BASICA	121
9.3.1. CARTOGRAFIA.....	121
9.3.2. CLIMA	122
9.3.3. HIDROMETEROLOGÍA.....	122
9.3.4. HIDROMETRÍA.....	123
9.3.5. ESTUDIOS ANTERIORES Y DOCUMENTOS TÉCNICOS	123
9.3.6. RECONOCIMIENTO DE CAMPO.....	123
9.4. DESCRIPCIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RIO LULIPUNCO.....	123
9.5. EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN METEREOLÓGICA.....	123
9.5.1. PRECIPITACIÓN, REGISTROS E INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	126
9.5.2. ANÁLISIS DE LAS PRINCIPALES VARIANTES METEOROLÓGICAS.....	127
9.5.3. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN	127
9.5.4. TEMPERATURA.....	128
9.5.5. EVAPORACIÓN	128
9.5.6. PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS.....	128
9.6. CAUDAL	135



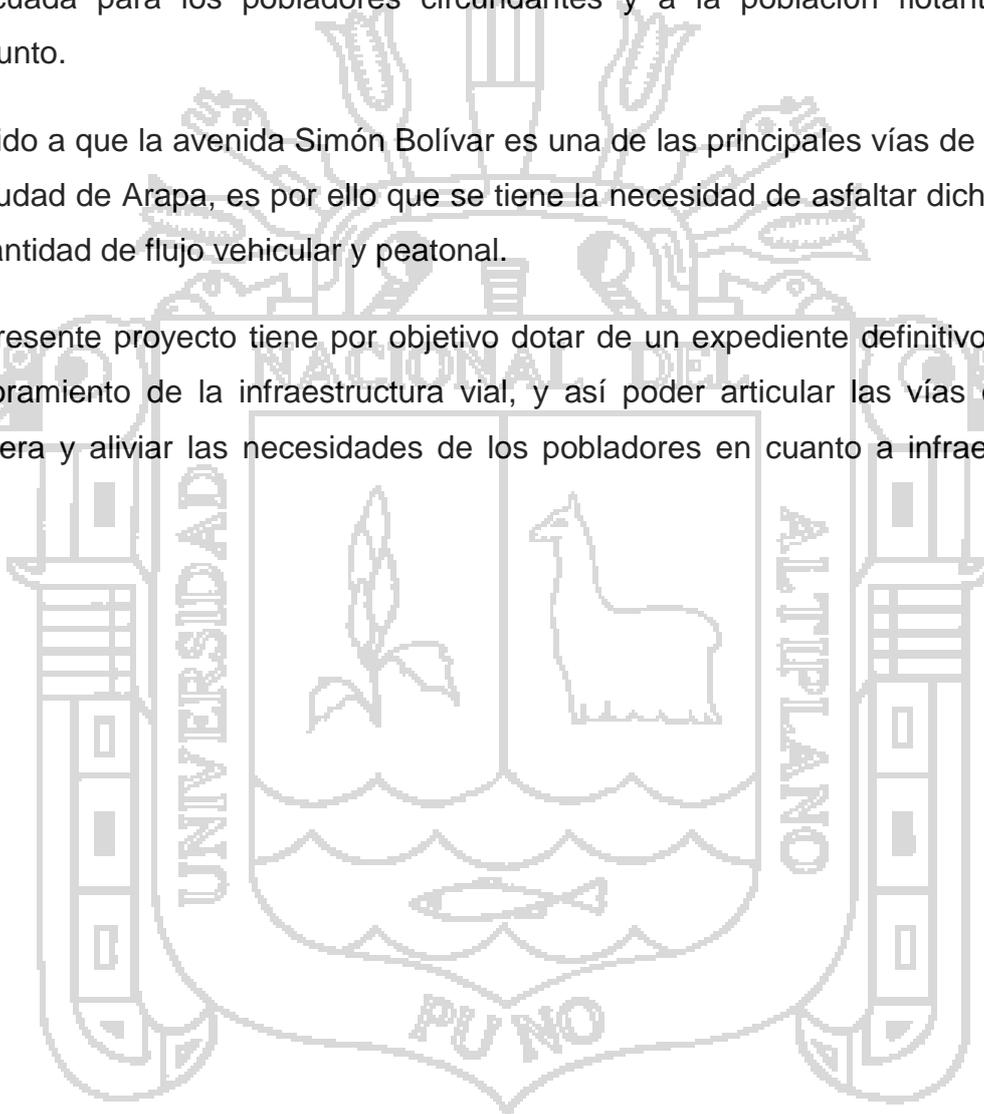
9.6.1. METODO RACIONAL	135
CAPÍTULO X.....	145
DISEÑO DE PAVIMENTO	145
10.1. PAVIMENTO	145
10.2. TIPOS DE PAVIMENTO	145
10.2.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	145
10.2.2. PAVIMENTOS RIGIDOS.....	145
10.3. DISEÑO DE PAVIMENTO MÉTODO AASHTO 1993	146
10.4. METODOLOGÍA DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA)	162
10.4.1. FACTORES DE DISEÑO	162
10.4.2. ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO	172
10.5. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO	178
10.5.1. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO (SLUMP).....	179
10.5.2. SELECCIÓN DE TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO.....	180
CAPÍTULO XI.....	182
DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE	182
11.1. DRENAJE PLUVIAL URBANO.....	182
11.2. CONSIDERACIONES DE LA N.T. O.S. 060 DRENAJE PLUVIAL URBANO	182
11.2.1. ORIENTACIÓN DEL FLUJO	182
11.2.2. CAPTACIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS PLUVIALES DE CALZADA Y ACERAS	
183	
11.3. ECUACIÓN DE MANNING PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES EN	
CUNETAS TRIANGULARES	184
11.3.1. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	184
11.4. DISEÑO DE CUNETA.....	185
CAPÍTULO XII.....	187
ESTUDIO DE SEÑALIZACIÓN DE TRÁNSITO.....	187
12.1. SEÑALES VERTICALES.....	187
12.1.1. SEÑALES REGULADORAS DE REGLAMENTACIÓN	187
12.1.2. SEÑALES DE PREVENCIÓN	188
FUENTE: 2005, MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, CAP 14	
SEÑALIZACIÓN	188
12.1.3. SEÑALES DE INFORMACIÓN	189
FUENTE: 2005, MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, CAP 14	
SEÑALIZACIÓN	189
12.2. MARCAS EN EL PAVIMENTO	189
12.2.1. LINEA CENTRAL	189
12.2.2. LINEA DE BORDE DE PAVIMENTO.....	189
12.2.3. LINEAS DE «PARE»	190
12.2.4. LINEA DE PASOS PEATONALES	190
12.3. DISPOSITIVOS CONTROL DE TRÁNSITO A TRAVÉS DE ZONAS DE TRABAJO ...	190
191	
FUENTE: 2005, MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, CAP 14	
SEÑALIZACIÓN	191
CONCLUSIONES.....	192
RECOMENDACIONES.....	194
BIBLIOGRAFÍA.....	195

RESUMEN

La presente investigación que lleva por título “Mejoramiento de la Infraestructura Vial a Nivel de Pavimento Flexible de la Avenida Simón Bolívar de la Ciudad de Arapa – Provincia de Azángaro - Puno” surge a partir de la necesidad de poder llevar a cabo una investigación que permita sus efectos prácticos y poniendo a disponibilidad un estudio técnico que posibilite dotar de una infraestructura vial adecuada para los pobladores circundantes y a la población flotante en su conjunto.

Debido a que la avenida Simón Bolívar es una de las principales vías de salida de la ciudad de Arapa, es por ello que se tiene la necesidad de asfaltar dicha vía por la cantidad de flujo vehicular y peatonal.

El presente proyecto tiene por objetivo dotar de un expediente definitivo para el mejoramiento de la infraestructura vial, y así poder articular las vías de mejor manera y aliviar las necesidades de los pobladores en cuanto a infraestructura vial.

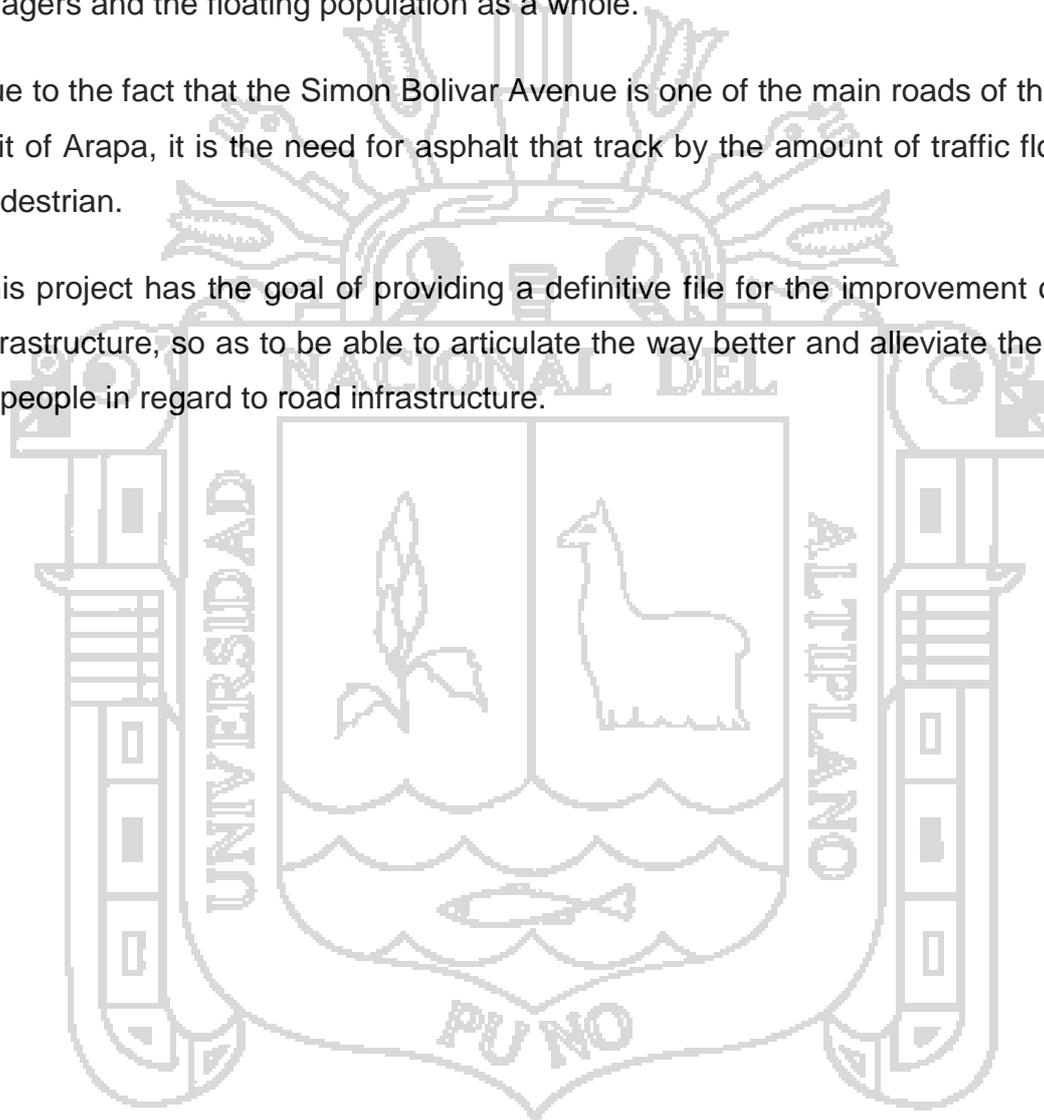


ABSTRACT

The present investigation that bears the title "Improvement of road infrastructure at the level of flexible pavement of the Simon Bolivar Avenue in the City of Arapa - Province of Azángaro - Puno" arises from the need to be able to carry out an investigation that will enable their practical effects, and putting to availability a technical study that allows provide road infrastructure suitable for the surrounding villagers and the floating population as a whole.

Due to the fact that the Simon Bolivar Avenue is one of the main roads of the city's exit of Arapa, it is the need for asphalt that track by the amount of traffic flow and pedestrian.

This project has the goal of providing a definitive file for the improvement of road infrastructure, so as to be able to articulate the way better and alleviate the needs of people in regard to road infrastructure.



INTRODUCCIÓN

Todos hemos tenido la oportunidad de observar un pavimento, ya sea caminando o simplemente conduciendo nuestro vehículo, sin embargo solo vemos una inmensa capa asfáltica o de concreto, pero un pavimento no solo es esa capa externa y observable, es toda un estructura compleja.

La vida de las vías de comunicación de transporte terrestre, parece estar sometida a un ciclo repetitivo de construcción. Esto se debe a la conservación insuficiente que durante muchos años sufrieron dichas vías, dando lugar así a la degradación de las mismas. Bajo la necesidad de volver a proveer una nueva condición adecuada para el tráfico y con la limitante de la carencia relativa de agregados (con sus altos costos); es necesario volver la vista hacia la recuperación de caminos a través de los métodos que nos beneficien en carreteras durables.

Es por eso, que en esta tesis, se revisó la Mejoramiento de la Infraestructura Vial a Nivel de Pavimento Flexible de la Avenida Simón Bolívar de la Ciudad de Arapa – Provincia de Azángaro - Puno.

El Capítulo I de la tesis trata lo referente al planteamiento del problema, justificación y objetivos de la investigación.

En el Capítulo II, contiene el Marco Teórico y Marco Conceptual de la Investigación, en donde se engloban aspectos como pavimentos flexibles. Se define un camino. Se describe lo referente al cuerpo del terraplen, a la subrasante, a la sub - base, a la base, a la carpeta asfáltica y trata con rebajados, emulsiones y fallas comunes en un pavimento flexible.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las vías del distrito de Arapa no tienen una intervención concreta en cuanto a infraestructura vial moderna que permita el tráfico vehicular y peatonal segura y adecuado confort.

Actualmente la avenida Simón Bolívar, presenta una deteriorada superficie de rodadura y en muchos casos bacheos, pendientes irregulares, falta de cunetas laterales, falta de veredas laterales y bombeos superficiales lo que hace una necesidad urgente la de poder plantear un solución técnica y adecuada que pueda suplir las necesidades de la población en cuanto a infraestructura vial, ver Fig N° 1.1

Figura N° 1.1: Situación Actual del Proyecto



Las condiciones inadecuadas de transitabilidad vehicular y peatonal afecta en forma permanente no sólo a la población circundante a esta vía, sino también

a la población flotante que hace uso de esta vía para poder llegar al Centro de Salud de Arapa, Complejo Deportivo Arapa e Institución Educativa Inicial N° 41 de Arapa, y que peor aún en tiempo de lluvias se hace imposible el tránsito vehicular y peatonal por esta vía.

La infraestructura necesaria en esta vía tanto en áreas verdes, señalización, drenaje superficial longitudinal y transversal, hacen que esta vía sea de carácter primordial y fundamental para la población de Arapa en su conjunto.

De los problemas expuestos, intentamos dar respuestas a las siguientes interrogantes:

1.1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera una alternativa técnica-económica a nivel de estudio definitivo permitirá mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en la avenida Simón Bolívar?

PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cómo elegir una alternativa que sea técnica y económicamente viable, y que esté acorde a las necesidades de la población vehicular y peatonal que hace uso de la avenida Simón Bolívar?

¿En qué medida el expediente técnico según la alternativa y técnica elegida permitirá la construcción posterior a mediano plazo?

¿Cómo los planes de desarrollo mejoran y amplían la infraestructura vial urbana?

1.2. ANTECEDENTES

Como antecedentes a este trabajo de investigación podemos citar algunas de ellas y son:

(Barraza, 2010), en su investigación "*Diseño de Pavimentos para las Avenidas Teodomiro Gutierrez y Francisco Choquehuanca de la Localidad de Puno*", arribó a las siguientes conclusiones:

- ✓ Se ha elaborado el diseño de pavimento rígido por los métodos AASHTO del año 1993 y PCA del año 1984, siendo metodologías aceptables y vigentes para los parámetros de diseño dados.
- ✓ Se emplea un valor del 14% para el CBR de la sub rasante, dato obtenido del estudio de mecánica de suelos, habiéndose correlacionado con la ecuación $M_r = 4326 \ln(\text{CBR}) + 241$, a efectos de determinar el modulo de elasticidad correspondiente.
- ✓ El espesor de diseño adoptado para la sub-base granular es de 8" (20cm). El trafico es definido para el método de la AASHTO por los ESAL's acumulados para el periodo de diseño siendo este valor igual a 3.14×10^4 . Indicado debidamente en el estudio de tráfico.
- ✓ El tráfico es definido para el método de la PCA por el número de repeticiones esperadas por tipo de vehículo al final del periodo de diseño, siendo este valor igual a 25054, para ejes simples, del único tipo de camión que circula por dicha zona. Indicado debidamente en el estudio de tráfico.
- ✓ El modulo de reacción del suelo se ha determinado por medio del procedimiento AASHTO, para el cual se ha obtenido el valor de 55pci (pág. 113).
- ✓ Los módulos de elasticidad y ruptura del concreto han sido obtenidos por medio de las correlaciones para un concreto de resistencia a la compresión uniaxial de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Siendo estos $E_c = 3112348 \text{ lb/pulg}^2$ y $f_r = 412 \text{ lb/pulg}^2$.
- ✓ El espesor de diseño obtenido por el método AASHTO es de 12.5 cm y por el método PCA es de 21.6cm, habiéndose optado por un valor de 20.00 cm, por proceso constructivo (pág. 114).
- ✓ Para un correcto funcionamiento del tránsito urbano hay que ceñirse necesariamente a las normas legales vigentes, así también en la actualidad debe preverse un mantenimiento continuo a la señalización con el fin de regular y control de tránsito, de acuerdo al número de tránsito no

será aún necesaria la utilización de semáforos en intersecciones de vías (pág. 151).

(Muñico, 2010), en su tesis “*Estudio Definitivo Para la Construcción de Infraestructura Vial en el Jr. San Martín, Cuadras 6 al 12 - llave*”, de la UNA – PUNO, en el cual tuvo como objetivos: Mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en el centro de la ciudad de llave, además Dotar de un expediente técnico que cuente con los estudios de ingeniería que permita la construcción de la infraestructura vial en el Jirón San Martín, cuadras 6 al 12 de la ciudad de llave, el cual llego a las siguientes conclusiones:

- ✓ El jirón San Martín en sus cuadras 6 al 12 constituye una calle de suma importancia para la ciudad de llave, por encontrarse dentro de la zona céntrica de la ciudad y por constituir una calle principal que parte desde la plaza de armas.
- ✓ La zona de estudio presenta un TPDS de 120 Veh/día y un TPDA de 88 Veh/día, el tránsito principalmente está constituido por autos y camionetas así como camionetas rurales y se calculó tomando en cuenta el Reglamento Nacional de Vehículos, aprobado por D.S. N° 058-2003- MTC, el ESAL de diseño hallado es de 537712.
- ✓ El CBR de diseño del terreno de Fundación se halló tomando en cuenta el percentil a seleccionar para hallar la resistencia, En nuestro caso para un ESAL de diseño hallado de 537712 = $.54 \times 10^6$ correspondiente a un percentil de 75%, con lo que se obtiene un CBR de diseño de 22.
- ✓ El caudal crítico corresponde al área tributaria 2 y corresponde a 24.981 Litros/seg. Dato usado para el diseño de cunetas, con lo que se obtiene, adoptando una cuneta de sección rectangular, una ancho superficial igual a 0.30 y un tirante de agua de 0.125m.
- ✓ Con la aplicación de programas de computo como el KENLAYER se facilita el diseño de pavimentos flexibles mediante la metodología Racional, en donde se puede realizar un análisis multicapa de cualquier pavimento.
- ✓ Se ha considerado el Estudio de Señalización de Transito con el objetivo de minimizar la posibilidad de accidentes que podrían ocurrir, los mismos que tendrían repercusiones económicas y sociales (pág. 352).

Al respecto (Rosello & Layme, 2004), en su investigación “Alternativas de Pavimentación de la Localidad de Arapa”, UNA – PUNO, en el cual señalaron como objetivos: Plantear Alternativas de Pavimento Acorde a Las Necesidades de La Población de Arapa, así también el de Evaluar la alternativa elegida técnica y económicamente para satisfacer las necesidades de carencia infraestructura Vial en el Distrito de Arapa, teniendo como conclusiones:

- ✓ Los distintos de pavimento como son pavimento rígido, flexible y articulado son alternativas de solución pero no son planteados por falta de especialistas.
- ✓ El pavimento adoquinado es más económico a largo plazo, por requerir poco mantenimiento y ser resistente a los fenómenos climatológicos y de tráfico.
- ✓ Además el pavimento adoquinado no garantiza un óptimo flujo vehicular en el tiempo por su deterioro en el tiempo.
- ✓ Se deberá hacer un estudio más exhaustivo para poder determinar la vida útil en las vías del distrito de Arapa.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La población urbana del Distrito de Arapa es de 1425 Habitantes, y esta vía es una salida a los distritos de Chupa y Provincia de Azángaro y Huancané, lo que hace una necesidad para la población vehicular y peatonal en su conjunto.

Con el planteamiento técnico de este estudio se pretende mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal, mejorando así el grado de seguridad y confort, que también pueda articular a las demás vías de una manera adecuada.

El resultado de del presente estudio se tendrá una solución práctica, puesto que a partir de los estudios de básicos e ingeniería se podrá tomar como solución inmediata y poder realizar la ejecución de obra y así poder solucionar el problema planteado en la presente investigación.

Las cuadras 1 a 5 de la avenida Simón Bolívar se encuentran con tratamiento superficial a nivel de afirmado, lo cual afecta directamente a la población vehicular y peatonal y además a la población urbana que se da cita a

las Instituciones como son el Centro de Salud de Arapa, Institución Educativa Inicial N° 41 de Arapa y a los pobladores que se dan cita al complejo Arapa.

En épocas de lluvia se tiene el gran problema por el empozamiento de agua lo que hace que se generen lodos y se tenga dificultad el tránsito vehicular y peatonal.

La contaminación del aire debido a las emisiones de partículas en suspensión que se da por el tránsito vehicular ayudado por el viento hace que se tenga enfermedades respiratorias en la población que habitan en la zona.

La falta de una adecuada infraestructura vial adecuada, trae como consecuencia las restricciones en el tránsito de vehículos motorizados.

La falta de una adecuada infraestructura vial hace también que se tenga un cierto aislamiento con los centros de servicios y comercio..

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una alternativa técnica - económica a nivel de estudio definitivo que permita mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en la avenida Simón Bolívar.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Plantear y elegir una alternativa que sea técnica y económicamente viable, y que esté acorde a las necesidades de la población vehicular y peatonal que hace uso de la avenida Simón Bolívar.
- Desarrollar la alternativa y técnica elegida que permita la construcción posterior a mediano plazo.
- Definir los planes de desarrollo que corresponde a mejorar y ampliar la infraestructura vial urbana.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. PAVIMENTOS

Capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de los vehículos, el intemperismo producidos por los agentes naturales y de cualquier otro agente perjudicial.

También se llama Pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior.

La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

Tipos de pavimentos

- a) Flexibles.- Tienen carpetas asfálticas.
- b) Rígidos.- Carpeta de concreto hidráulico.
- c) Otros.- Empedrados, adoquín, estampado.

a) PAVIMENTOS RÍGIDO

El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

b) PAVIMENTOS FLEXIBLES

(Rico & Del Castillo, 1984), citan que sobre la capa subrasante se construye el pavimento flexible, que está compuesto por sub - base, base y carpeta asfáltica. El pavimento flexible debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir a las terracerías los esfuerzos por las cargas del tránsito.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento esta compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base.

En general los pavimentos flexibles consisten en una superficie bituminosa soportada por una capa de material granular y una capa de

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

- Resistencia estructural.
- Deformabilidad.
- Durabilidad.
- Costo.
- Requerimientos de conservación.
- Comodidad.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

AFORO DE VOLUMEN VEHICULAR

Es el método de conteo mecánico se adapta para el estudio estadístico de tránsito vehicular que es la más práctica para poder predecir la cantidad de vehículos que han de poder circular por las vías.

AGREGADO

Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

ALCANTARILLA

Cualquier estructura por debajo de la subrasante de una carretera u otras obras viales, con el objeto de evacuar las aguas superficiales y profundas.

BALASTO

Capa superficial de material selecto consistiendo por lo general de material granular natural o agregado triturado, que se coloca sobre la subrasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla y que sirva de superficie de rodadura, para permitir el libre tránsito durante todas las épocas del año.

CÁLCULO DE TPDA

Es el promedio aritmético del flujo de tránsito diario, para todos los días del año para una sección de vía y que nos sirve para predecir el número de vehículos para un periodo de diseño, la información sobre el tráfico inicial puede

obtenerse mediante medidas directas en el campo, datos estadísticos o medidas en alguna vía con características de tránsito parecidas a la del estudio.

DEFLEXIÓN

El desplazamiento vertical temporal de un pavimento proveniente de la aplicación de cargas de las ruedas de los vehículos.

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

Un pavimento lo definiremos como “la estructura que aporta a una superficie adecuada para operar un vehículo a una velocidad determinada en forma cómoda y segura en cualquier circunstancia”, o bien se define como “una estructura y como tal capaz de absorber, como energía elásticas potencial, el trabajo de deformación impuesto por la carga circulante durante la vida útil”.

DISEÑO GEOMÉTRICO

Es una parte importante del proyecto de una vía, estableciendo, con base en los condicionantes o factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto conformado por la futura vía y su entorno.

DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezclas consiste en aplicar técnicamente los conocimientos sobre sus componentes para obtener requerimientos particulares del concreto requerido en el proyecto u obra.

ENVEJECIMIENTO DEL ASFALTO

Es un proceso complejo, consiste principalmente en la evaporación de ciertos componentes y la oxidación por oxígeno de aire. La modificación química se traduce en una alteración de su estructura, aumentando su dureza, rigidez y fragilidad; como consecuencia pierde la capacidad de ser un ligante adecuado para el concreto asfáltico.

ESTUDIO DE TRÁFICO

Es la diversidad en las características de los vehículos que circulan sobre un pavimento, representa en un amplio espectro de ejes de carga con diferentes espacios entre llantas y distintas presiones de inflado, en función de estos se obtiene la estructura del pavimento.

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Son aquellas propiedades físicas y mecánicas de los suelos, que nos permiten entender sus características generales y su comportamiento y son:

- Contenido de humedad
- Análisis granulométrico por tamizado.
- Límites de Atterberg o de consistencia.
- Clasificación de suelos.
- Próctor Modificado
- Valor Relativo de Soporte (CBR).
- Ensayo de Abrasión por medio de la Máquina de Los Ángeles.
- Terreno de fundación.

ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

La hidrología es la ciencia que investiga, estudia, analiza la ocurrencia, distribución. Circulación y calidad del agua en la tierra.

FACTOR DE CRECIMIENTO (Fc)

Es un factor que nos permite proyectar mediante el crecimiento anual (Tc) y el periodo de diseño (n), el número de vehículos que transitan por la zona de estudio.

FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA

Es el número de aplicaciones de eje simple equivalente a 18,000 libras aportadas por el pesaje de un eje denominado "carga tipo".

FACTOR CAMIÓN

Es el método de conteo y pesaje de los vehículos, lo cual está plasmado por instituciones a nivel institucional.

FACTOR POR PRESIÓN NEUMÁTICA (FPN)

Es la presión ejercida de los neumáticos, siendo de mayor grado perjudicial a medida que estas se incrementan.

INTENSIDAD MEDIO DIARIO ANUAL (IMDA)

Es para la determinación del tránsito promedio diario anual (TPDA), se ha desarrollado un método alternativo, que consiste en relacionar un proceso

estadístico TPDA y tránsito promedio diario semanal (TPDS), también se obtiene un volumen de tránsito los días no laborables de la semana y el volumen de aforo los días sábado y domingo.

MANTENIMIENTO

Conjunto de tareas de limpieza, reemplazo y reparación que se realizan de manera regular y ordenada en una carretera, para asegurar su buen funcionamiento y la prolongación de su vida de servicio, al máximo compatible con las previsiones de diseño y construcción de la obra.

MEJORAMIENTO

Ejecución de las actividades constructivas necesarias para dotar a una carretera existente, en bueno, regular o mal estado, de mejores condiciones físicas y operativas de las que disponía anteriormente, para ampliar su capacidad o simplemente ofrecer un mejor servicio al usuario.

MÉTODOS EMPÍRICOS – EXPERIMENTALES

Entre los cuales se encuentra el método AASHTO 1993, entre otros.

MÉTODOS EMPÍRICOS – ESTADÍSTICOS

Entre los cuales se encuentran la Metodología Racional de Diseño de Pavimentos ó AASHTO 2002.

PAVIMENTO

Un pavimento es un elemento estructural monocapa o multicapa, apoyado en toda su superficie, diseñado y construido para soportar cargas estáticas y/o móviles durante un periodo de tiempo determinados, durante el que necesariamente deberá recibir algún tipo de tratamiento para prolongar su “vida de servicio”.

PAVIMENTO FLEXIBLE

Está formado por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base, las cuales se apoyan en el terreno de fundación.

PLANIMETRÍA O CONTROL HORIZONTAL

La planimetría sólo tiene en cuenta la proyección del terreno en un plano horizontal imaginario (vista en planta).

REHABILITACIÓN

Ejecución de las actividades constructivas necesarias para restablecer las condiciones físicas de la carretera a su situación como fue construida originalmente.

RUGOSIDAD

La desviación vertical del perfil de un pavimento de su forma tal como fue diseñado y que resulta en incomodidades en el manejo del vehículo. Por lo general, la rugosidad se mide para fines de mantenimiento vial por medio de IRI.

VELOCIDAD DIRECTRIZ DE DISEÑO

Es la velocidad adoptada en el proyecto de una vía correlacionado con sus factores de proyecto geométrico tales como las curvas verticales y distancia de visibilidad, de la cual depende la circulación segura de los vehículos. Es también definida como la velocidad más elevada, en la cual los vehículos individualmente pueden transitar con seguridad en la vía.

VISIBILIDAD

Es la longitud continúa hacia delante del camino, que es visible al conductor del vehículo.

CAPÍTULO III

ESTUDIOS PRELIMINARES

3.1. DESCRIPCION DEL DISTRITO EN GENERAL

3.1.1. ANTECEDENTES

El Distrito de Arapa actualmente cuenta con una población de 2,750 habitantes, los mismos que no disponen de vías pavimentadas, sistema de evacuación de aguas pluviales, lo que perjudica a la calidad de vida de los pobladores produciendo inundaciones, presencia de charcos de agua y esta situación en muchas oportunidades produce enfermedades que se focaliza especialmente en la población de menores recursos económicos.

3.1.2. CARACTERISTICAS SOCIO - ECONOMICAS

3.1.2.1. POBLACION

La población de Arapa de acuerdo a la proyección para el año 2013 es de 550 familias (Fuente Censo Local de la Municipalidad Distrital de Arapa), y el promedio de individuos por familia es de 5, por lo que se estima el número de habitantes en la localidad de 2750 personas.

Analizando la estructura poblacional por edad y sexo se tiene que la población comprendida entre los 15 y 65 años constituye el 50% de la población total y es la población económicamente activa (PEA) susceptible de intercambiar su fuerza de trabajo mediante las formas tradicionales de reciprocidad y de trabajo colectivo.

La población comprendida entre los 6 y 14 años representa el 30% de la población. De acuerdo a la división del trabajo en la producción agropecuaria, este grupo cumple diferentes labores en cada familia; especialmente en el pastoreo y cuidado de los animales. El 20% comprende la población entre menores de 6 años y la población senil.

La población es bilingüe, hablándose el castellano y el quechua.

La actividad predominante en la zona es la agricultura en un 40%, el comercio 20% complementado con la ganadería en 40 % las mismas que constituyen la fuente principal de sus ingresos, no obstante esto existe una población migratoria que realiza trabajos en las minas de la rinconada. El nivel de vida de la localidad de Arapa es de regular a bajo, que puede mejorarse con la implementación de un plan de desarrollo agropecuario.

3.1.3. INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS BASICOS DE LA POBLACION

3.1.3.1. VIVIENDA

La infraestructura de las viviendas en la comunidad es del tipo andino rústico, es decir los muros son de adobe, los techos de calamina y la distribución de su construcción es con ambientes construidos en forma perimetral y un patio al centro de la vivienda.

3.1.3.2. ELECTRIFICACIÓN

La localidad de Arapa cuenta con servicio de alumbrado público y domiciliario, la misma que es administrada por Electro Puno.

3.1.3.3. AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Con Apoyo del Ministerio de Vivienda Construcción se ha logrado construir el Sistema de Agua Potable del Distrito de Arapa en el año de 2010, el cual beneficia a 550 familias, en referencia al servicio de alcantarillado existe el mismo que viene prestando servicio a la población.

3.1.3.4. SALUD Y EDUCACIÓN

En el Sector Educación existe los servicios en el nivel Inicial, Primario y Secundario.

La infraestructura de los ambientes estudiantiles de Inicial, Primaria y Secundaria son de Material Noble así como aulas de adobe con techo calaminas con el servicio de agua potable en forma parcial.

La comunidad cuenta con un Centro de Salud el mismo que realiza las atenciones a toda la población Distrital de Arapa.

3.1.3.5. MEDIOS DE TRANSPORTE

Existe una trocha car rozable que une la ciudad de Juliaca con Caminaca y Arapa en una longitud de 40.00 km., así mismo tiene otra trocha que conduce a su Capital Provincial de Azángaro en una longitud de 35.00 km., las mismas que están mal conservadas y requieren un mantenimiento urgente, materia de estudio del presente trabajo.

Los buses que transitan la ruta Juliaca Chupa, así como las empresas de Combis de transporte interdistrital, hacen servicio diario y horario de Arapa hacia su Capital de Provincia Azángaro y hacia la ciudad de Juliaca, transportando a los ciudadanos que requieren de este servicio.

3.1.4. CARACTERÍSTICAS AGRO – ECONÓMICAS

3.1.4.1. TENENCIA DE LA TIERRA

La tenencia de la tierra es mixta, por un lado es comunal pero también existen pequeños propietarios, los mismos que son usufructuados por los comuneros y pequeños propietarios quienes conducen sus cultivos en forma individual.

3.1.4.2. ACTIVIDAD AGROPECUARIA

La principal actividad es la agricultura la pecuaria es la segunda en importancia, pero también es importante indicar que una parte de la población se dedica a la truchicultura alentada por la iglesia de la zona.

La crianza y manejo del ganado es de forma tradicional, los animales son alimentados con pastos naturales existentes en el área del proyecto y alrededores así como los restos de la cosecha.

3.1.5. COMERCIALIZACIÓN

La comercialización de la producción agropecuaria es realizada en la capital del Distrito así como en los mercados de Juliaca y Azángaro.

De otro lado en cuanto a las actividades agrícolas, esta población el 60% es de autoconsumo, llevando lo restante a los centros de comercialización como son Juliaca y Azángaro.

La mayor comercialización existente en la zona es en la capital de Distrito, donde ingresan productos de importación y también los que traen de la ciudad de Juliaca.

3.1.6. CONDICIONES GEOGRAFICAS

La población del Distrito de Arapa está emplazada en una zona típicamente de sierra.

Geográficamente el proyecto se encuentra entre:

SISTEMA DE COORDENADAS U.T.M.-WGS 84 ZONA 19S.

- 📍 Este : 380,773.803
- 📍 Norte : 8' 325,972.964
- 📍 Altitud : 3,841.80 m.s.n.m. y a 10 m. sobre el nivel del Lago Arapa.

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRAFICAS:

- 📍 Longitud Oeste : 70°06' 34"
- 📍 Latitud Sur : 15°08' 21"
- 📍 Altitud : 3,841.80 m.s.n.m. y a 10 m. sobre el nivel del Lago Arapa.

UBICACIÓN POLÍTICA DE LA ZONA DEL PROYECTO:

- 📍 Barrios : Barrio Central
- 📍 Distrito : Arapa
- 📍 Provincia : Azángaro
- 📍 Región : Puno

3.1.7. GEOLOGIA

El Área de estudio se encuentra en la unidad geomorfológica denominada altiplano que se desarrolla hasta los 4,800 m.s.n.m. dentro de esas se localiza la sub unidad denominado de presión central del Lago Titicaca que se desarrolla entre los 3,800 hasta los 4,000 m.s.n.m.

La evolución geomorfológica local del área del proyecto está relacionada con tres sistemas (Antropico, fluvial y sedimentario).

SISTEMA ANTROPICO: Está constituido por las construcciones y/o modificaciones efectuadas en la superficie tales como:

Edificaciones urbanas de la localidad de Arapa y vías de Acceso

Excavaciones para la obtención de materiales de construcción

SISTEMA FLUVIAL: Cauce Fluvial que corresponde a las zonas de escorrentía de las quebradas en los periodos de precipitaciones pluviales con el incremento del caudal y predominio de los procesos de inundación que comprende la localidad de arapa

TERRAZAS ALUVIALES: Se localizan en ambas márgenes del cauce de los cauces de las quebradas. Se caracteriza por presentar un relieve igual a los cauces con pendientes subhorizontales (inferior a $\pm 1^\circ$). Esta sub unidad geomorfológica se halla limitada hacia sus márgenes laterales pro al llanura aluvial

PLANICIE SUB HORIZONTAL: Corresponde a las zonas relacionadas con los depósitos aluviales y coluviales, se observa un relieve variable con gradientes entre 0.5° a 1° que se encuentra disectada por los cauces de las quebradas principales y otras de menor magnitud

DEPÓSITOS ALUVIALES: En general predominan los relieves subhorizontales con pequeñas ondulaciones como consecuencia de las acumulaciones aluviales

SISTEMA SEDIMENTARIO VOLCÁNICO: Está constituido por geoformas originarias por edificación tectónica sedimentaria y volcánica, así como originadas por denudación muy relacionada con la composición litológica.

3.1.8. FISIOGRAFIA

El relieve donde está localizado la ejecución de la obra tiene el aspecto típico de una zona topográficamente mixta es decir accidentada en la zona donde se ejecutarán las obras de captación, Esta caracterizada por la presencia de colinas altas y bajas que gradualmente pasan a superficies subhorizontales y planas disectadas por quebradas que confluyen la cuenca endorreica del lago de Arapa.

3.2. DESCRIPCION DE LA ZONA DEL PROYECTO

El mal estado en que se encuentra la salida a Chupa (Av. Simón Bolívar) de Arapa, en la actualidad crea una serie de deficiencias en cuanto a que genera problemas de tránsito de las unidades vehiculares que circulan por esta avenida, presentándose al deterioro de los mismos y el tiempo en que se pueden trasladarse.

Uno de los principales es que en la cuarta cuadra se encuentra ubicado en centro de salud de Arapa, en el cual la población de Arapa y población circundante a esta se dan cita para la atención que ellos requieran, por lo que tienen que transitar por una vía llena de baches, charcos de lodo, el polvo y hace que se dificulte la transitabilidad de los peatones, así como se puede apreciar en la Figura N° 3.1.

Asimismo en la tercera cuadra se encuentra la infraestructura educativa secundaria Arapa en el cual también son afectados por el mal estado de la vía, sobre todo en época de lluvias en cual esta vía se hace intransitable por falta de drenaje y evacuación de aguas pluviales.

Figura N° 3.1: Vista del Proyecto



Figura N° 3.2: Vista satelital del Proyecto

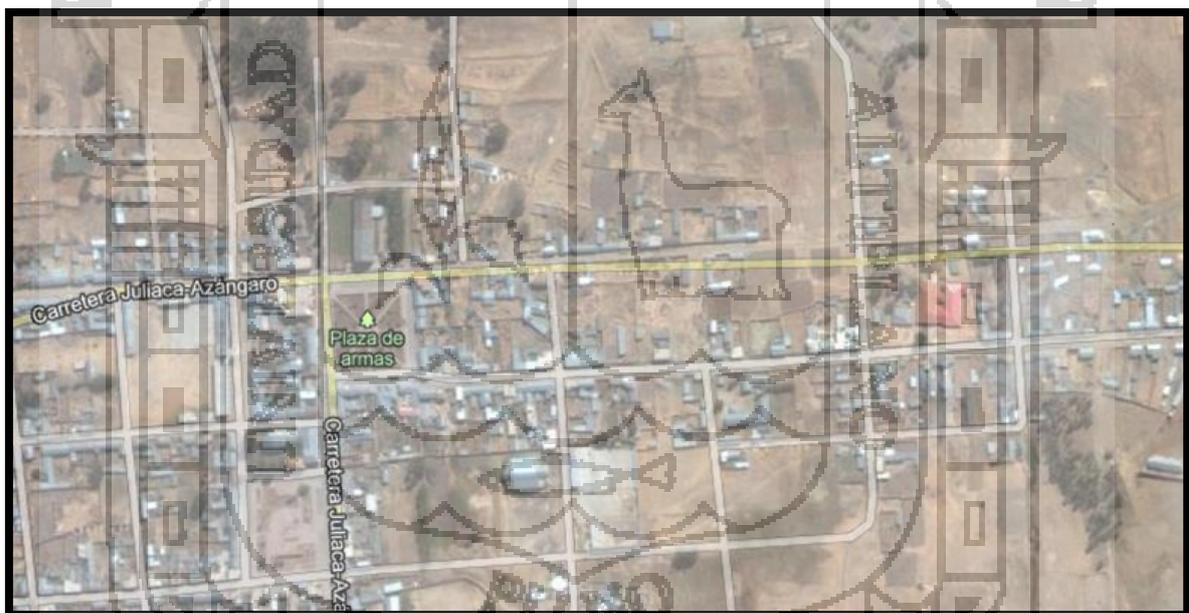
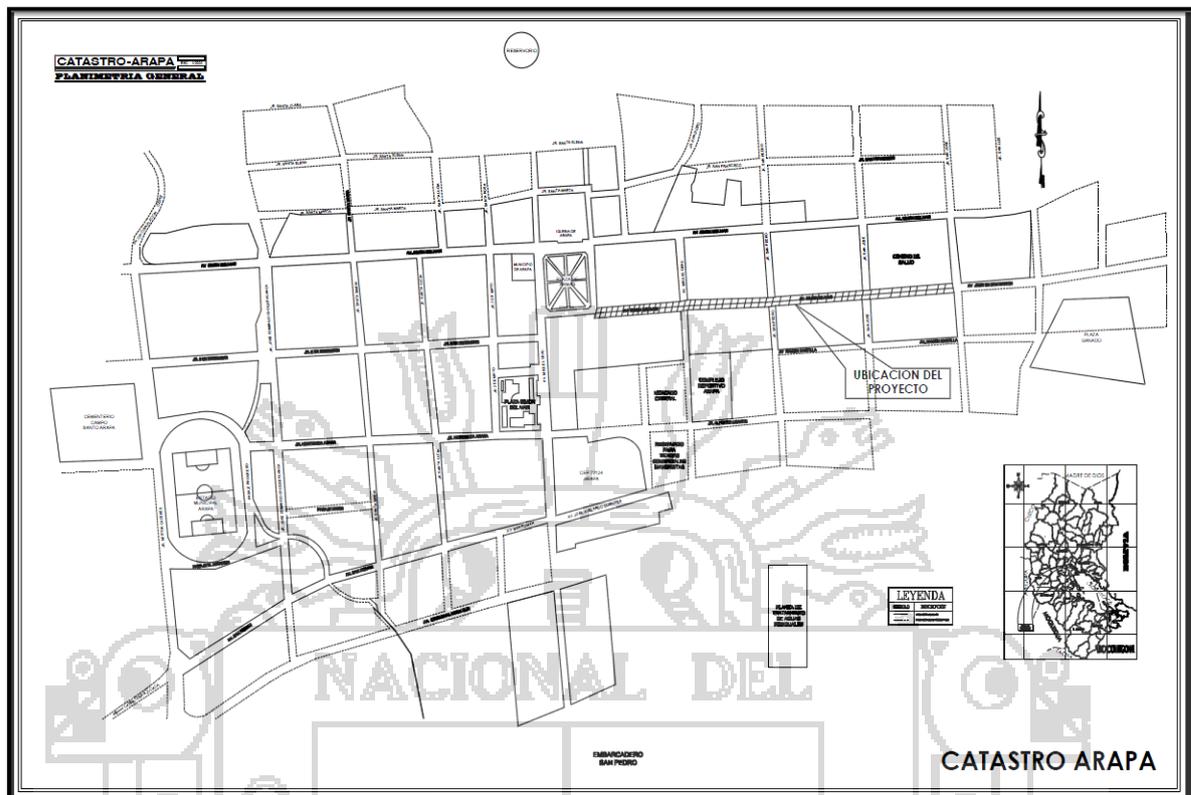


Figura N° 3.3: Ubicación Específica del Proyecto

OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto consiste en ejecutar la Infraestructura Vial en la Avenida Simón Bolívar del Distrito de Arapa a fin de que las mismas brinden un optimó servicio de transitabilidad en beneficio de los pobladores en general de la zona. Por ser de competencia de los gobiernos locales.

- Mejorar la Infraestructura Vial
- Lograr el beneficio social de la zona
- Mejorar la calidad de vida de los pobladores del lugar
- Contribuir a mejorar la imagen de la ciudad
- Interconexión rápida y adecuada con otros distritos.

INGENIERIA DEL PROYECTO

El presente proyecto comprende trabajos de pavimentación con pavimento Flexible desde la primera cuadra de la Avenida Simón Bolívar que es colindante la plaza de armas como inicio Km 0+00 hasta la salida al distrito de Chupa consta de 745.146 m. de doble sentido efectuándose los trabajos siguientes:

De acuerdo a los estudios de suelos efectuados, al estudio de tráfico y al estudio topográfico se ha podido establecer la Construcción del Pavimento Flexible de la vía del Km. 0+000 al km 0+745.146 con un ancho de 6.00 mts. (Tramo Av. Simón Bolívar – Salida al Distrito de Chupa), se realizará el corte de material de acuerdo al área de las secciones transversales, posteriormente se colocara una Sub rasante de 0.20 mts. De espesor de material seleccionado (enrocado), Luego una capa de material anticontaminante 0.10 mts de espesor, para luego colocar la capa de sub base de espesor de 0.20 mts, para luego colocar el Pavimento Flexible, construcción de veredas laterales variables desde 0.60 hasta 1.80m.

El diseño de la estructura del pavimento que se calculará se basa en los estudios de mecánica de suelos realizado en el laboratorio, condiciones de drenaje y la capacidad de carga del tránsito vehicular in-situ principalmente, la misma que se ejecutará respetando estrictamente a las especificaciones técnicas y normas constructivas que para tal fin existen.

Para el caso de la evacuación de aguas pluviales se ha planteado cunetas laterales, Que permita la evacuación de aguas pluviales, evitando así aniegos, sedimentación y arrastre de sólidos los cuales perjudican a la estabilidad y durabilidad del pavimento proyectado.

META DEL PROYECTO

La meta física de éste proyecto contempla:

- Pavimento (Pavimento Flexible) con una sección transversal de 6.0 m
- Veredas de concreto $f'c=140$ Kg/cm² con un ancho variable de 0.60 hasta 1.80 m.
- Cuneta de concreto $f'c=175$ Kg/cm² con un ancho de 0.40m cuneta de concreto $f'c=210$ Kg/cm² con un ancho de 0.50m
- Señalización en sardinel.
- Señalización en pavimento.

CAPÍTULO IV

ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

4.1. GENERALIDADES

Las actividades relacionadas al levantamiento topográfico han sido modificadas tremendamente durante las pasadas décadas por la incorporación de instrumentos de última tecnología entre los que se puede mencionar el GPS y la Estación Total. Es necesario resaltar que la característica de mayor importancia en esta modificación se evidencia en el proceso de captura, almacenamiento, cálculo y transmisión de los datos de campo, así como en la representación gráfica de los mismos; esto ha traído como consecuencia la posibilidad de obtener un producto final con mayor precisión y rapidez.

4.2. CONSIDERACIONES GENERALES DEL TRAZO

En el trazado de una carretera se presentan diferentes etapas, siendo algunas de estas imprescindibles, mientras que otras dependen de factores tales como la topografía, alcances e importancia del proyecto, disponibilidad de recursos, información disponible e inclusive la premura de los diseños. Como uno de los factores que más influye en la metodología a seguir en el trazado de una carretera es la topografía.

La localización de una ruta entre dos puntos, uno inicial y otro terminal, establecidos como condición previa, implica encontrar una franja de terreno cuyas características topográficas y factibilidad de uso, permita asentar en ella una carretera de condiciones operativas previamente determinadas.

4.3. TOPOGRAFIA

En la ciudad de Azángaro distinguimos dos clases de relieve topográfico:

- Relieve plano: Constituido por extensas pampas con ligeras ondulaciones, que constituye la mayor extensión de su superficie.
- Relieve saliente: Constituido por pequeñas y medianas elevaciones

o cerros agrupados en el mayor de los casos.

La zona del proyecto, la Avenida Simón Bolívar de la Ciudad de Arapa presenta una topografía llana y en pendiente como + y -.

4.4. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL

Una de las grandes ventajas de levantamientos con estación total es que la toma y registro de datos es automático, eliminando los errores de lectura, anotación, transcripción y cálculo; ya que con estas estaciones la toma de datos es automática (en forma digital) y los cálculos de coordenadas se realizan por medio de programas de computación incorporados a dichas estaciones.

4.4.1. TRABAJOS REALIZADOS

Los trabajos efectuados fueron los siguientes:

- Reconocimiento de terreno.
- Delimitación de las áreas de interés
- Control geodésico con GPS
- Levantamiento topográfico con Estación total del área para el proyecto y zonas adyacentes.
- Procesamiento de Información.

4.4.2. EQUIPOS EMPLEADOS

Para estos trabajos se emplearon los siguientes equipos:

- 01 GPS
- 01 Estación total
- 02 Porta prismas y prismas simples
- 03 Radios intercomunicadores portátiles

4.5. PUNTOS TOPOGRÁFICOS

Estos fueron los puntos obtenidos del levantamiento topográfico verificados en la hoja Excel.



Cuadro N° 04.1: Puntos Topográficos

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA		PUNTO	NORTE	ESTE	COTA
1	8225358	440544,1	3,840,437		51	8225815	440601,9	3,844,606
2	8225493	440637,2	3,840,754		52	8225818	440600,7	3,844,85
3	8225493	440637,1	3,840,754		53	8225793	440602,6	3,844,695
4	8225335	440600,5	3,838,22		54	8225792	440601,8	3,844,522
5	8225287	440586,1	3,837,057		55	8225896	440537,1	3,847,033
6	8225429	440615,1	3,839,788		56	8225905	440531,8	3,847,469
7	8225260	440561,7	3,836,706		57	8225712	440646	3,841,649
8	8225414	440622	3,839,504		58	8225709	440639,2	3,841,957
9	8225290	440525,7	3,837,815		59	8226007	440479,5	3,843,169
10	8225405	440530,3	3,841,283		60	8226008	440481,5	3,843,29
11	8225357	440504,1	3,852,908		61	8226006	440482,9	3,842,387
12	8225401	440527,5	3,841,345		62	8225936	440616,7	3,845,511
13	8225392	440530,2	3,840,705		63	8225933	440612,2	3,845,814
14	8225380	440480,1	3,835,909		64	8225955	440508,7	3,849,412
15	8225370	440529,6	3,840,667		65	8225939	440612	3,845,564
16	8225402	440480,3	3,841,486		66	8225954	440639,6	3,845,758
17	8225349	440513,5	3,841,552		67	8225939	440611,9	3,845,545
18	8225414	440482,6	3,848,415		68	8225997	440617,6	3,849,475
19	8225325	440521,2	3,840,977		69	8226062	440581,2	3,847,984
20	8225423	440459,6	3,843,67		70	8225997	440617,6	3,849,463
21	8225441	440456,5	3,831,626		71	8226076	440585,3	3,845,644
22	8225438	440507,4	3,842,373		72	8226033	440613,5	3,842,666
23	8225459	440454,9	3,847,9		73	8226081	440602,1	3,852,779
24	8225438	440500,1	3,842,535		74	8226033	440596,2	3,843,236
25	8225472	440457,2	3,846,247		75	8226100	440611,4	3,841,345
26	8225496	440456	3,843,9		76	8226030	440667,9	3,847,106
27	8225489	440483,9	3,842,564		77	8226055	440635,3	3,849,171
28	8225495	440476,3	3,843,166		78	8226055	440635,2	3,849,149
29	8225505	440468,3	3,843,555		79	8226000	440756	3,844,555
30	8225525	440441,3	3,843,906		80	8225996	440754,6	3,844,416
31	8225549	440443,8	3,843,836		81	8226034	440801,5	3,844,297
32	8225848	440441,6	3,849,535		82	8225945	440780,3	3,842,389
33	8225705	440496,4	3,845,19		83	8225943	440783,6	3,842,353
34	8225702	440500,7	3,844,259		84	8226022	440800,7	3,843,689
35	8225856	440446,4	3,849,913		85	8225934	440784,6	3,842,498
36	8225852	440450,6	3,849,113		86	8226021	440804	3,843,524
37	8225837	440449,4	3,847,466		87	8225977	440752,2	3,844,161
38	8225700	440503,4	3,844,979		88	8225969	440757,1	3,843,819
39	8225806	440470,2	3,847,461		89	8225933	440784,1	3,842,498
40	8225706	440516,8	3,845,018		90	8225911	440789,5	3,842,047
41	8225787	440484,9	3,846,582		91	8225912	440782,5	3,842,412
42	8225790	440494,9	3,846,951		92	8225905	440786,3	3,842,063
43	8225659	440541,3	3,843,791		93	8225915	440783,5	3,842,209
44	8225768	440505,5	3,846,471		94	8225883	440740,8	3,842,735
45	8225764	440496,9	3,846,358		95	8225882	440798,1	3,841,806
46	8225650	440545,7	3,843,602		96	8225890	440741	3,842,774
47	8225756	440499,8	3,846,194		97	8225878	440799,5	3,841,492
48	8225805	440596,2	3,844,796		98	8225883	440809,9	3,841,503
49	8225809	440583,3	3,845,535		99	8225884	440729,1	3,842,72
50	8225811	440583,9	3,845,486		100	8225883	440740	3,842,751

Fuente: Elaboración propia



PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	PUNTO	NORTE	ESTE	COTA
101	8225885	440731,4	3.842.701	151	8225809	440847,8	3.840.217
102	8225885	440731,5	3.842.694	152	8225815	440844,7	3.840.339
103	8225889	440732,3	3.842.585	153	8225870	440804,9	3.841.083
104	8225856	440753,3	3.841.585	154	8225873	440788,7	3.841.372
105	8225852	440744,3	3.841.646	155	8225810	440834,2	3.840.152
106	8225876	440732,9	3.842.639	156	8225863	440945,4	3837,14
107	8225865	440706,2	3.843.144	157	8225870	440943,4	3837,08
108	8225869	440704,4	3843,18	158	8225870	440943,4	3.837.049
109	8225842	440660,7	3.843.078	159	8225937	440909,3	3.838.596
110	8225828	440620,9	3.844.143	160	8225837	440898,4	3.838.327
111	8225828	440621	3.844.113	161	8225935	440920,6	3.837.908
112	8225766	440699,9	3.840.705	162	8225830	440903,1	3.837.584
113	8225766	440699,9	3840,63	163	8225918	440929,5	3837,62
114	8225740	440723,4	3.839.917	164	8225846	440926,5	3.837.494
115	8225742	440724,2	3.839.901	165	8225846	440938,1	3.837.108
116	8225750	440719,9	3.840.166	166	8225932	440958,8	3.837.957
117	8225750	440718,1	3.840.204	167	8225886	440989,9	3.836.394
118	8225745	440709,6	3.840.449	168	8225890	440997,9	3.836.365
119	8225746	440710,1	3.840.451	169	8225895	440995,3	3.836.666
120	8225738	440715,1	3840,22	170	8225914	440982,5	3.836.803
121	8225713	440647,8	3.841.819	171	8225895	440995,2	3.836.632
122	8225705	440652,3	3.841.747	172	8225950	440950	3.837.914
123	8225707	440644,7	3.841.599	173	8225959	440951,9	3.838.221
124	8225708	440638,1	3.841.991	174	8225965	440959,6	3.838.115
125	8225700	440643,5	3.841.836	175	8225913	440985,9	3.836.879
126	8225709	440639,1	3.842.009	176	8225917	440984,2	3.836.858
127	8225680	440588,9	3.843.615	177	8225922	440994,2	3836,73
128	8225688	440600,5	3.843.833	178	8225935	441029,5	3.836.519
129	8225688	440600,5	3.843.878	179	8225935	441029,5	3.836.506
130	8225687	440597,1	3843,84	180	8225935	441029,5	3.836.505
131	8225664	440549,4	3.843.665	181	8225934	441026,9	3.836.393
132	8225642	440511,4	3.844.273	182	8225919	440996,6	3.836.609
133	8225660	440540,8	3.843.805	183	8225918	441035	3.836.334
134	8225639	440510,3	3844,26	184	8225921	440999,7	3.836.428
135	8225634	440513,3	3.843.587	185	8225931	441013,6	3.836.719
136	8225646	440514,1	3.844.479	186	8225901	441006,5	3836,58
137	8225638	440514,1	3.844.258	187	8225947	441005,5	3.836.747
138	8225638	440519,1	3.844.534	188	8225918	440986,5	3.836.756
139	8225643	440507,9	3.844.176	189	8225944	440999,6	3.836.774
140	8225842	440660,8	3.843.077	190	8225934	440978,7	3.836.713
141	8225761	440745,2	3.839.973	191	8225946	440998,7	3.837.194
142	8225786	440785,4	3.839.723	192	8225937	440974,5	3.836.783
143	8225785	440787,3	3.839.734	193	8225954	441015,9	3.837.213
144	8225779	440776,3	3.840.007	194	8225938	440978	3.837.294
145	8225782	440777	3.839.994	195	8225935	440979,7	3.836.777
146	8225781	440797,4	3.840.062	196	8225956	441018,8	3.836.904
147	8225787	440774,5	3.840.034	197	8225965	440964,6	3.837.578
148	8225811	440844,7	3.840.052	198	8225981	441002,1	3.837.428
149	8225803	440839,1	3.840.222	199	8225970	440976,9	3.837.508
150	8225803	440839,1	3.840.221	200	8225972	440975,8	3.837.561

Fuente: Elaboración propia

4.6. RESULTADOS

Como resultado de todo el estudio topográfico realizado para el presente proyecto se tiene:

- Ⓢ Plano en planta general a una escala de 1/500.
- Ⓢ Plano del perfil longitudinal a una escala de V:1/50; H:1/500
- Ⓢ Plano de secciones transversales de la vía a una escala de 1/75

Por otro lado se tienen las siguientes pendientes del perfil longitudinal:

- Ⓢ Avenida Simón Bolívar: 0.35% hasta -8.40%.

Asimismo se tiene las siguientes longitudes de vía:

- Ⓢ Avenida Simón Bolívar: 745.146 m.

4.7. PANEL FOTOGRÁFICO

Figura N° 04.1: Vistas del Levantamiento Topográfico con Estación Total en la Avenida Simón Bolívar.



Figura N° 04.2: Vistas del Levantamiento Topográfico con Estación Total en la Avenida Simón Bolívar.



CAPÍTULO V

ESTUDIO DE TRAZO

5.1. CONSIDERACIONES GENERALES DEL TRAZO

La localización de una ruta entre dos puntos, uno inicial y otro terminal, establecidos como condición previa, implica encontrar una franja de terreno cuyas características topográficas y factibilidad de uso, permita asentar en ella un camino de condiciones operativas previamente determinadas.

El procedimiento de localización empieza tradicionalmente, con la determinación de un trazado tentativo mediante la señalización de una línea de banderas a través del territorio, cuando éste es de topografía plana u ondulada, siguiendo en lo posible la ruta más directa entre los extremos fijado para el camino, con la condición de ir salvándolos accidentes naturales y las edificaciones o instalaciones que revistan un carácter relativamente intangible por su importancia de topografía plana u ondulada, siguiendo en lo posible la ruta más directa entre los extremos fijados para el camino, con la condición de ir salvándolos accidentes naturales y las edificaciones o instalaciones que revistan un carácter relativamente intangible por su importancia en los puntos de inflexión de la poligonal que se va formando, se señala el trazado con algún elemento, tal

Cuando el territorio es accidentado, el trazo resulta controlado por las inclinaciones del terreno. En estos casos, además de la necesidad, de salvar los accidentes importantes, el trazo se enfrenta a la necesidad de salvar la diferencia de alturas en los tramos en que se requiere ascender o descender para pasar por puntos obligados de la ruta.

Para estos casos se traza en el terreno una "línea de gradiente". Se trata de un alineamiento de dirección variable, que tiene la particularidad de ascender o descender el terreno, con una pendiente constante para el tramo, elegida o calculada previamente en razón a dos parámetros principales: la altura por salvar y la pendiente máxima promedio, aceptable para el camino. La

pendiente seleccionada deberá estar algunos puntos por debajo de esa pendiente máxima, como criterio previsor dado que hay que asegurar que en el trazo definitivo se requiere no sobrepasar las pendientes máximas permitidas.

La materialización de este trazado tentativo o preliminar, tradicionalmente se hace con la ayuda de un eclímetro.

Este es un instrumento manual que permite señalar la horizontalidad mediante un nivel y la pendiente deseada mediante un visor graduado respecto a la horizontal. De esta manera el operador señala a quien porta la mira, su ubicación en el terreno en una poligonal que asciende o desciende con la pendiente establecida. En cada punto se estaca el terreno para no perder la referencia y se mide la distancia entre estacas y con una brújula el azimut de cada alineamiento. Este procedimiento es similar tanto para el trazado de la línea de banderas, como de la línea de gradiente.

En la actualidad, además del método tradicional, para la localización de una ruta, se emplean la fotografía aérea, y la modelación digital del terreno, así como los modelos de elevaciones. En estos casos siempre es necesario un reconocimiento detallado previo, de lo contrario se requerirán grandes franjas con recubrimiento aerofotográfico y extensos modelos.

5.1.1. TOPOGRAFÍA Y TRAZADO:

El plano topográfico es la representación gráfica del terreno, de sus accidentes, del sistema hidrográfico, y de las instalaciones y edificaciones existentes, puestas por el hombre. El elevamiento topográfico muestra las distancias horizontales y las diferentes cotas o elevaciones de los elementos representados en el plano mediante curvas de nivel, a escalas convenientes para la interpretación del plano por el Ingeniero y para la adecuada representación del camino y de las diversas estructuras que lo componen.

Los planos topográficos para proyectos definitivos de gran magnitud deben estar referidos a los controles terrestres de la cartografía oficial, tanto en ubicación geográfica como en elevación, para lo cual deberá señalarse en el plano el hito Datum o BM tomado como referencia.

El trazado deberá ser referido a las coordenadas señaladas en el plano, mostrando en las tangentes, el azimut geográfico y las coordenadas referenciales de PIs, PCs y PTs, etc.

El levantamiento topográfico puede hacerse usualmente en dos formas alternativas. La más común resulta ser el levantamiento ejecutado en una estrecha franja del territorio, a lo largo de la localización proyectada para el camino y su derecho de vía. La alternativa es hacer levantamientos topográficos sobre un área más amplia que permitirá el estudio en gabinete de variantes en el trazo para optimizar el diseño y minimizar los costos.

En el caso del levantamiento restringido a prácticamente el derecho de vía del camino, el trabajo se realizara simultáneamente con el estacado preliminar en el terreno y seguramente definitivo. Este trazado constituye lo que se denomina el "trazado directo". El sistema alternativo se denomina "trazado indirecto".

5.1.2. EL TRAZO DIRECTO:

Definida la ruta y fijado el punto de partida y los puntos obligados de paso, que definen tramos de la ruta, se ejecuta un estacado preliminar señalando la ruta y se calcula el nivel del terreno en cada estaca.

Mediante el seccionamiento transversal del terreno, en cada estaca, midiendo longitudes con cinta métrica o cadena y elevaciones con el eclímetro, el nivel o el teodolito, se realiza el levantamiento topográfico de la sección transversal que deberá cubrir un área suficientemente amplia para diseñar el camino, sus diversas estructuras y obras de arte y para acondicionar el derecho de vía. Los datos de cada sección transversal deberán ser suficientes para permitir la representación de las curvas de nivel en la franja que ocupara el camino. En la actualidad el levantamiento de la sección transversal también se realiza con la Estación Total.

En los tramos en que la pendiente es condicionante principal, se necesita fijar una pendiente en el trazo que garantice llegar al próximo punto obligado de paso. La llamada línea de gradiente corresponde a ese trazo. Para este efecto se fija la pendiente promedio requerida para la distancia entre puntos de paso y se

utiliza cuando menos un eclímetro para señalar los puntos, con banderas. La pendiente promedio de la línea de gradiente en tramos críticos debe ser como máximo un 60% de la pendiente máxima de la rasante en tramo recto para la clase correspondiente de camino.

Conocida la ruta preliminar en el terreno, la brigada de trazo, fija el eje, mediante tangentes y un estacado y calcula y traza las curvas entre tangentes.

En cada estaca se levanta la sección transversal en un ancho que depende de la naturaleza del proyecto y del terreno.

En el gabinete se reconstruye la planta de la franja del camino, el perfil longitudinal del eje y las secciones transversales.

El topógrafo debe levantar adicionalmente la referencia de toda edificación, instalación, propiedad, caminos de acceso y accidente natural o artificial, ubicado en la franja levantada, que se juzgue será necesario tomar en cuenta para el diseño del proyecto; o ampliará el área de levantamiento si el Ingeniero lo juzga necesario. Deberá incluirse también el levantamiento detallado de todos los cursos de agua transversales al camino sean estos permanentes estacionales y eventuales.

El estacado seguido a lo largo del eje, corresponde así normalmente a la poligonal del levantamiento y salvo eventuales correcciones como consecuencia de posibles cambios, el trazado materializado (estacado) corresponde también al replanteo del proyecto.

Se fijan entonces en el terreno las referencias topográficas permanentes que permitirán replantear el alineamiento del eje del camino y el estacado del proyecto en los casos en que el estacado desaparezca por cualquier causa; estas referencias o monumentos se construyen en lugares estables no sujetos a cambios.

5.1.3. EL TRAZADO INDIRECTO:

En nuestro medio se ha denominado "trazado indirecto" al procedimiento de realizar levantamientos topográficos precisos, en una franja amplia del terreno; y

el trazo del eje se realiza en el gabinete sobre los planos de topografía, ó los modelos digitales producto del levantamiento.

Definida la ruta y sus puntos obligados de paso, se hacen levantamientos topográficos de precisión en una franja del camino, que cubra las mejores posibilidades de colocar el trazo y analizar sus variantes.

La topografía puede levantarse por métodos terrestres, con equipos de topografía convencional que puede resultar en un trabajo lento; o con equipos electrónicos de mayor precisión y rapidez. También se utiliza y cada vez más frecuentemente levantamientos por restitución aerofotogramétrica o imágenes satelitales.

Todos estos casos, se puede automatizar la medición, los registros, la elaboración de planos y el computo del movimiento de tierras; mediante la organización de bases de datos y la digitalización de los planos del diseño. El proyecto se realiza en el gabinete, pudiéndose estudiar con facilidad las alternativas de trazo y variantes.

El replanteo del trazo y su monumentación puede realizarse en cualquier oportunidad posterior, e incluso solo al iniciarse las obras, para lo cual, durante la etapa del levantamiento topográfico monumentan convenientemente las referencias terrestres.

5.1.4. SISTEMA DE UNIDADES:

En todos los trabajos topográficos se aplicará el sistema métrico decimal.

Las medidas angulares se expresarán en grados, minutos y segundos sexagesimales.

Las medidas de longitud se expresarán en kilómetros (km); metros (m); centímetros (cm) ó milímetros (mm), según corresponda.

5.1.5. SISTEMAS DE REFERENCIA:

El sistema de referencia será único para cada proyecto, y todos los trabajos topográficos necesarios para ese proyecto estarán referidos a ese sistema. El

sistema de referencia será plano, triortogonal, dos de sus ejes representan un plano horizontal (un eje en la dirección NOR –ESTE (según la cuadrícula UTM de ign para el sitio del levantamiento) sobre el cual se proyectan ortogonalmente todos los detalles del terreno, ya sea naturales o artificiales, y el tercer eje corresponde a elevación, cuya representación del terreno se hará tanto por curvas de nivel, como por perfiles y secciones transversales.

Por lo tanto, el sistema de coordenadas del levantamiento no es el U.T.M., sino un sistema de coordenadas planas ligado, en vértices de coordenadas U.T.M., lo que permitirá efectuar la transformación para una adecuada georeferenciación. Las cotas o elevaciones se referirán al nivel medio del mar.

El método utilizado para orientar el sistema de referencia y para ligarlo al sistema UTM de IGN se describirán en la memoria descriptiva.

Para efectos de la Georeferenciación debe tenerse en cuenta que el Perú está ubicado en las zonas 17, 18, 19 y en las Bandas M, L, K según la designación UTM. El elipsoide utilizado es el World Geodetic System 1984 (WGS-84) el cual es prácticamente idéntico al sistema geodésico de 1980 (GRS80), y que es definido por los siguientes parámetros:

CUADRO Nº 05.1:
Parámetros Geodésicos

Velocidad angular de la tierra	w	$7\ 292\ 115 \times 10^{-11}$
Constante gravitacional terrestre	G	$3\ 986\ 005 \times 10^8$
Coeficiente armónico zonal de 2º grado de geopotencial	J2	$C2.0 = 484.16685 \times 10^{-6}$

Fuente: "Topografía Plana" Leonardo Casanova Matera

Para enlazarse a la Red Geodésica Horizontal del IGN bastará enlazarse a una estación si la estación del IGN es de al Orden B ó superior y a dos estaciones en el caso que las estaciones del IGN pertenezcan Orden C. Para el enlace vertical a la Red Vertical del IGN se requiere enlazarse a dos estaciones del IGN como mínimo.

Para caminos de Bajo Volumen de Tráfico se considera deseable contar con puntos de Georeferenciación con coordenadas UTM, enlazados al Sistema

Nacional del IGN, distanciados entre sí no más de 10 Km. y próximos al eje del camino a una distancia no mayor de 500 m.

5.1.6. TOLERANCIAS EN LA UBICACIÓN DE PUNTOS:

La tolerancia para errores relativos o posicionales se presentan en el Cuadro N° 05.2.

CUADRO N° 05.2:
Tolerancias para trabajos de Levantamientos Topográficos, Replanteos y Estacado

Tolerancia Fase de trabajo	Tolerancia Fase de trabajo	
	Horizontal	Vertical
Georeferenciación	1:100.000	± 5 mm
Puntos de Control	1:10.000	± 5 mm
Puntos del eje, (PC), (PT), puntos en curva y referencias	1:5.000	± 10 mm
Otros puntos del eje	± 50 mm	± 100 mm
Sección transversal y estacas de talud	± 50 mm	± 100 mm
Alcantarillas, cunetas y estructuras menores	± 50 mm	± 20 mm
Muros de contención	± 20 mm	± 10 mm
Límites para roce y limpieza	± 500 mm	--
Estacas de subrasante	± 50 mm	± 10 mm
Estacas de rasante	± 50 mm	± 10 mm

Fuente (Manual De Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción", EG - 2013)

5.1.7. TRABAJOS TOPOGRÁFICOS:

Los trabajos de Topografía y Georeferenciación comprenden los siguientes aspectos:

a) Georeferenciación

La georeferenciación se hará estableciendo puntos de control geográfico mediante coordenadas UTM con una equidistancia aproximada de 10 Km. ubicados a lo largo de la carretera. Los puntos seleccionados estarán en lugares cercanos y accesibles que no sean afectados por

las obras o por el tráfico vehicular y peatonal. Los puntos serán monumentados en concreto con una placa de bronce en su parte superior en el que se definirá el punto por la intersección de dos líneas. Las placas de bronce tendrán una leyenda que permita reconocer el punto.

Estos puntos servirán de base para todo el trabajo topográfico y a ellos estarán referidos los puntos de control y los del replanteo de la vial.

b) Puntos de Control

Los puntos de control horizontal y vertical que puedan ser afectados por las obras deben ser reubicados en áreas en que no sean disturbadas por las operaciones constructivas. Se deberán establecer las coordenadas y elevaciones para los puntos reubicados antes que los puntos iniciales sean disturbados.

El ajuste de los trabajos topográficos será efectuado con relación a dos puntos de control geográfico contiguos, ubicados a no más de 10 km.

c) Sección Transversal

Las secciones transversales del terreno natural deberán ser referidas al eje de la carretera. El espaciamiento entre secciones no deberá ser mayor de 20 m en tramos en tangente y de 10 m en tramos de curvas con radios inferiores a 100 m. En caso de quiebres en la topografía se tomarán secciones adicionales en los puntos de quiebre.

Se tomarán puntos de la sección transversal con la suficiente extensión para que puedan detallarse los taludes de corte y relleno y las obras de drenaje hasta los límites que se requieran. Las secciones además deben extenderse lo suficiente para Evidenciar la Presencia de edificaciones, cultivos, línea férrea, canales, etc. Que por estar cercanas al trazo de la vial podría ser afectada por las obras de carretera, así como por el desagüe de las alcantarillas.

d) Estacas de Talud y Referencias

Se deberán establecer estacas de talud de corte y relleno en los bordes de cada sección transversal. Las estacas de talud establecen en el campo el punto de intersección de los taludes de la sección transversal del diseño de la carretera con la traza del terreno natural. Las estacas de talud deben ser ubicadas fuera de los límites de la limpieza del terreno y en dichas estacas se inscribirán las referencias de cada punto e información del talud a construir conjuntamente con los datos de medición.

e) Límites de Limpieza y Roce

Los límites para los trabajos de limpieza y roce deben ser establecidos en ambos lados de la línea del eje en cada sección de la carretera, durante el replanteo previo a la construcción del camino.

f) Restablecimiento de la línea del eje

Para la construcción del camino a línea del eje será restablecida a partir de los puntos de control. El espaciamiento entre puntos del eje no debe exceder de 20 m en tangente y de 10 m en curvas de radio menor a 100 m.

El estacado debe ser restablecido cuantas veces sea necesario para la ejecución de cada etapa de la obra, para lo cual se deben resguardar los puntos de referencia.

g) Elementos de Drenaje

Los elementos de drenaje deberán ser estacados para fijarlos a las condiciones del terreno.

Se deberá considerar lo siguiente:

- Elevamiento del perfil del terreno a lo largo del eje de la estructura de drenaje que permita apreciar el terreno natural, la línea de flujo, la sección de la carretera y el elemento de drenaje.
- Ubicación de los puntos, de ubicación de los elementos de ingreso y salida de la estructura.

- Determinar y definir los puntos que sean necesarios para determinar la longitud de los elementos de drenaje y del tratamiento de sus ingresos y salidas.

h) Muros de Contención

Para la construcción del camino se deberá relevar el perfil longitudinal del terreno a lo largo de la cara del muro propuesto. Cada 5 m y en donde existan quiebres del terreno se deben tomar secciones transversales hasta los límites que indique el Supervisor. Ubicar referencias adecuadas y puntos de control horizontal y vertical.

i) Canteras

Se debe establecer los trabajos topográficos esenciales referenciados en coordenadas UTM de las canteras de préstamo. Se debe colocar una línea de base referenciada, límites de la cantera y los límites de limpieza. También se deberán efectuar secciones transversales de toda el área de la cantera referida a la línea de base. Estas secciones deberán ser tomadas antes del inicio de la limpieza y explotación y después de concluida la obra y cuando hayan sido cumplidas las disposiciones de conservación del medio ambiente sobre el tratamiento de canteras.

j) Monumentación

Todos los hitos y monumentación permanente que se coloquen durante la ejecución de la vía deberán ser materia de levantamiento topográfico y referenciación.

k) Levantamientos Misceláneos

Se deberán efectuar levantamientos, estacado y obtención de datos esenciales para el replanteo, ubicación, control y medición de los siguientes elementos:

- Zonas de depósitos de desperdicios.
- Vías que se aproximan a la carretera.

- Cunetas de coronación.
- Zanjas de drenaje.

Y cualquier elemento que esté relacionado a la construcción y funcionamiento de la carretera.

I) Trabajos topográficos intermedios

Todos los trabajos de replanteo, reposición de puntos de control y estacas referenciadas, registro de datos y cálculos necesarios que se ejecuten durante el paso de una fase a otra de los trabajos constructivos deben ser ejecutados en forma constante que permitan la ejecución de las obras, la medición y verificación de cantidades de obra, en cualquier momento.

5.2. SISTEMA DE INFORMACION

5.2.1. CARACTERISTICAS GENERALES

La conferencia llevada a cabo por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica de Bélgica en 1951, recomendó el uso de la proyección Universal Transversal Mercator (UTM) para el levantamiento de mapas y cartas y determinación de coordenadas geodésicas.

Para esta proyección, el globo ha sido dividido en 60 husos de 6° , cada uno de los cuales tiene un meridiano central que recibe el nombre de Meridiano 0 u origen o Eje del huso; de este modo, la amplitud de cada uso es de 3° al oeste y 3° al este del meridiano central respectivo.

Las cartas construidas en la proyección UTM, además de utilizar las coordenadas geográficas propias de toda proyección, emplean un sistema de coordenadas planas expresadas en kilómetros. Las coordenadas planas están conformadas por un reticulado sobrepuesto a las coordenadas geográficas, el cual se coincide con el Ecuador y el meridiano central del respectivo huso.

Las coordenadas planas están determinadas por el Ecuador y el meridiano central del huso a los cuales se les asigna respectivamente los valores de 10.000 Km. (10.000.000m) y 500 Km. (o 500.000m)

La coordenada norte u "ordenada" al tener su origen en el Ecuador tendrá su km 0 a 10.000 Km. al sur de esta línea. Este valor es igual para todo el hemisferio sur, cualquiera sea el huso que se utilice; para el hemisferio norte se le asigna al Ecuador el valor 0, de tal modo que la coordenada plana aumentará su kilometraje siempre hacia el norte y hasta los 10.000 Km.

En las cartas topográficas chilenas, esta coordenada está indicada como "Origen de las coordenadas (N) = 10.000 Km. al sur del Ecuador".

La coordenada en dirección este o "abscisa" tiene su origen en el meridiano central del huso y su Km. 0 se encontrará a 500 Km. al oeste de aquel, el valor de la coordenada aumentará siempre hacia el este.

Las coordenadas planas se leen siempre como un sistema cartesiano con ubicación en su cuadrante positivo.

En las cartas topográficas del país la coordenada este está indicada como "Origen de las abscisas (E) meridiano $x = 500$ Km".

5.2.2. METODOS E INFORMACIÓN CARTOGRAFICA Y GEODESICA USADA

a) Para el Alineamiento Horizontal

Se determinaron las coordenadas UTM del alineamiento horizontal con la ayuda de GPS marca GARMIN y herramientas auxiliares como son la información fotográfica, cartográfica e imágenes satelitales.

b) Para el Alineamiento Vertical

Se obtuvo la cota de inicio de nuestro perfil longitudinal mediante la cota de inicio de la avenida Simón Bolívar Con la vía circundante a la Plaza de Armas de Arapa, cota de inicio que se tomo para el presente proyecto.

5.3. PROCESAMIENTO DE DATOS, DIBUJO E IMPRESIÓN DE PLANOS

Una vez recolectado los datos de campo se procede a su cálculo en gabinete mediante software especializado en la materia, para así lograr un mejor acabado en el producto final, que son los planos tanto de planta como perfil:

5.3.1. EQUIPOS

- 2 Computadoras I7.
- Plotter Hp Designjet 110 Plus.

5.3.2. SOFTWARE UTILIZADOS:

- CIVIL LAND 3D (Software especializado en diseño de carreteras - Autodesk).
- ARGIS 8.2 (Software especializado en almacenar y organizar información geográfica).
- MICROSOFT OFICCE. (Software especializado en trabajos de escritorio y hojas de cálculo, etc.).

5.3.3. PLANOS

Los planos básicos de diseño del proyecto son de diseño en planta - diseño en elevación del perfil longitudinal y plano de secciones transversales.

El plano en planta contiene la topografía del terreno donde se ubica el proyecto, mostrando todos los elementos existentes, las curva de nivel y cotas de elevación posibles incluyendo las referencias de instalaciones existentes.

El plano en planta muestra los elementos geométricos de las curvas verticales proyectadas de la carretera, ubicación de obras de arte, referencias de puntos de inflexión y demás detalles de campo.

El plano de perfil longitudinal cuenta con los datos de la cota terreno, cota rasante, altura corte o altura de relleno, pendiente, curvas horizontales, cotas de obras de arte y los BMs del proyecto.

Los planos de secciones transversales indica la cota de la rasante, la cota del terreno, área de corte, área de relleno, área de enrocado y el ancho de vía en corte con la carretera.



CAPÍTULO VI

ESTUDIO DE TRÁNSITO VEHICULAR

6.1. GENERALIDADES

Una de las variables más importantes que se debe tener en cuenta para el diseño de un pavimento es el de Estudio de Tránsito Vehicular que circula sobre el pavimento en diseño.

El estudio de tráfico tiene por finalidad cuantificar, clasificar y conocer el volumen de los vehículos que se desplazan por la vía de la Avenida Simón Bolívar del distrito de Arapa.

La presente investigación Mejoramiento de la Infraestructura Vial a Nivel de Pavimento Flexible de la Avenida Simón Bolívar de la Ciudad de Arapa – Provincia de Azángaro – Puno; se hizo, debido a que en esta vía se evidenciaba un alto tráfico vehicular, puesto que esta vía representa la salida hacia el distrito de Chupa.

6.2. ALCANCES

El presente estudio de tráfico se realiza como parte del proyecto “Mejoramiento de la Infraestructura Vial a Nivel de Pavimento Flexible de la Avenida Simón Bolívar de la Ciudad de Arapa – Provincia de Azángaro - Puno”, el objetivo principal del estudio es determinar el tráfico existente en la vía, composición vehicular y su proyección, para el periodo de vida útil (20 años). El estudio se realizó a través de los trabajos de gabinete y se tiene los siguientes alcances:

- Determinación del volumen y composición del tráfico (Índice Medio diario promedio anual - IMDA).
- Factor de Crecimiento Anual.

6.3. VOLUMEN DE TRANSITO VEHICULAR

Se define como el número de vehículos que pasa por un punto o sección transversal dados de un carril o de una calzada, durante un periodo de tiempo determinado y se expresa como:

$$Q = \frac{N}{T}$$

Donde:

- ✓ Q = vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo)
- ✓ N = Número total de vehículos que pasan (vehículos)
- ✓ T = Periodo determinado (unidades de tiempo)

El estudio presenta variaciones registrando los días miércoles conteo vehiculares altos debido a la feria que se realiza en el distrito de Arapa, los conteos de vehículos se realizó de las 05 horas hasta la 19 horas, registrándose todos los vehículos que pasa por el punto de referencia ubicada en la avenida Simón Bolívar del distrito de Arapa, específicamente en la progresiva Km 0+300.

Los conteos se realizaron durante toda una semana desde el lunes 07 de enero hasta el domingo 13 enero del 2013. La información se presenta en los siguientes cuadros:

Cuadro Nº 06.1:
Aforo Vehicular para Estudio de Tráfico – Lunes

“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

OBRA

“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”

FECHA

07/01/2013

HORA	SENTIDO	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION		TOTAL
			PICKUP	RURAL Combi		2E	2E	3E		
DIAGRAMA VEHICULO										

0	1									-
1 hrs	2 hrs									-
2 hrs	3 hrs									-
3 hrs	4 hrs									-
4 hrs	5 hrs									-
5 hrs	6 hrs		1	2				1		4.00
6 hrs	7 hrs			1		2			1	4.00
7 hrs	8 hrs		2	1		1	1			5.00
8 hrs	9 hrs	1		1		1				3.00
9 hrs	10 hrs		1	1					1	3.00
10 hrs	11 hrs	1		1				1		3.00
11 hrs	12 hrs									-
12 hrs	13 hrs	2								2.00
13 hrs	14 hrs									-
14 hrs	15 hrs		2	1				1		4.00
15 hrs	16 hrs	1		1		1				3.00
16 hrs	17 hrs		1						1	2.00
17 hrs	18 hrs			1		2	1			4.00
18 hrs	19 hrs	1	1							2.00
19 hrs	20 hrs			1						1.00
20 hrs	21 hrs									-
21 hrs	22 hrs									-
22 hrs	23 hrs									-
23 hrs	24 hrs									-
TOTAL	E	6	8	11	-	7	5	3		40.00

Fuente: Elaboración por el tesista

Cuadro N° 06.2:

Aforo Vehicular para Estudio de Tráfico – Martes

“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

OBRA “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”

FECHA 08/01/2013

HORA	SENTIDO	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION		TOTAL
			PICKUP	RURAL Combi		2E	2E	3E		
DIAGRAMA VEHICULO										
0	1									-
1 hrs	2 hrs									-
2 hrs	3 hrs									-
3 hrs	4 hrs									-
4 hrs	5 hrs									-
5 hrs	6 hrs	1		2			1	1		5.00
6 hrs	7 hrs	1	2			1	2	1		7.00
7 hrs	8 hrs		1	1		1				3.00
8 hrs	9 hrs		1	1		1				3.00
9 hrs	10 hrs	1								1.00
10 hrs	11 hrs						1			1.00
11 hrs	12 hrs									-
12 hrs	13 hrs			1						1.00
13 hrs	14 hrs		1				1			2.00
14 hrs	15 hrs	1	1				1			3.00
15 hrs	16 hrs			1			1	1		3.00
16 hrs	17 hrs	1	1	1						3.00
17 hrs	18 hrs					2	1			3.00
18 hrs	19 hrs									-
19 hrs	20 hrs					1				1.00
20 hrs	21 hrs									-
21 hrs	22 hrs									-
22 hrs	23 hrs									-
23 hrs	24 hrs									-
TOTAL	E	5	7	7	-	6	8	3		36.00

Fuente: Elaboración por el tesista

Cuadro N° 06.3:
Aforo Vehicular para Estudio de Tráfico – Miércoles

“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

OBRA “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”
FECHA 09/01/2013

HORA	SENTIDO	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION		TOTAL
			PICKUP	RURAL Combi		2E	2E	3E		
DIAGRAMA VEHICULO										

0	1									-
1 hrs	2 hrs									-
2 hrs	3 hrs									-
3 hrs	4 hrs									-
4 hrs	5 hrs			1			2			3.00
5 hrs	6 hrs		1	1			3			5.00
6 hrs	7 hrs	1		3			2	1		7.00
7 hrs	8 hrs	1	2	2		1	3			9.00
8 hrs	9 hrs			2		2		1		5.00
9 hrs	10 hrs		1							1.00
10 hrs	11 hrs	1	1	2		1	2			7.00
11 hrs	12 hrs			1						1.00
12 hrs	13 hrs	1					1			2.00
13 hrs	14 hrs			3				1		4.00
14 hrs	15 hrs		1				3			4.00
15 hrs	16 hrs		1	3			1			5.00
16 hrs	17 hrs					1		1		2.00
17 hrs	18 hrs	1	2	2		2	1			8.00
18 hrs	19 hrs	1		2			2			5.00
19 hrs	20 hrs			1			1			2.00
20 hrs	21 hrs			1						1.00
21 hrs	22 hrs									-
22 hrs	23 hrs									-
23 hrs	24 hrs									-
TOTAL	E	6	9	24	-	7	21	4		71.00

Fuente: Elaboración por el tesista

Cuadro Nº 06.4:

Aforo Vehicular para Estudio de Tráfico – Jueves

“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

OBRA “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”

FECHA 10/01/2013

HORA	SENTIDO	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION		TOTAL
			PICKUP	RURAL Combi		2E	2E	3E		
DIAGRAMA VEHICULO										

0	1									-
1 hrs	2 hrs									-
2 hrs	3 hrs									-
3 hrs	4 hrs									-
4 hrs	5 hrs		1							1.00
5 hrs	6 hrs	1	2	1			1			5.00
6 hrs	7 hrs	1		1		1		1		4.00
7 hrs	8 hrs			2		1		1	1	5.00
8 hrs	9 hrs	1	1			1				3.00
9 hrs	10 hrs		1	1						2.00
10 hrs	11 hrs	1					1			2.00
11 hrs	12 hrs					1				1.00
12 hrs	13 hrs		1	2						3.00
13 hrs	14 hrs	1					1			2.00
14 hrs	15 hrs		1	1						2.00
15 hrs	16 hrs	1		2		1				4.00
16 hrs	17 hrs	2	1			1	1	1		6.00
17 hrs	18 hrs									-
18 hrs	19 hrs									-
19 hrs	20 hrs									-
20 hrs	21 hrs									-
21 hrs	22 hrs									-
22 hrs	23 hrs									-
23 hrs	24 hrs									-
TOTAL	E	8	8	10	-	6	6	2		40.00

Fuente: Elaboración por el tesista

Cuadro Nº 06.5:
Aforo Vehicular para Estudio de Tráfico – Viernes

“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

OBRA “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”
FECHA 11/01/2013

HORA	SENTIDO	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION		TOTAL
			PICKUP	RURAL Combi		2E	2E	3E		
DIAGRAMA VEHICULO										

0	1									-
1 hrs	2 hrs									-
2 hrs	3 hrs									-
3 hrs	4 hrs									-
4 hrs	5 hrs									-
5 hrs	6 hrs		1	2						3.00
6 hrs	7 hrs	1		1				1	1	4.00
7 hrs	8 hrs	1	2	1		2				6.00
8 hrs	9 hrs							1		1.00
9 hrs	10 hrs	1	2	2		1				6.00
10 hrs	11 hrs									-
11 hrs	12 hrs							1		1.00
12 hrs	13 hrs	1		3				1		5.00
13 hrs	14 hrs		1							1.00
14 hrs	15 hrs	1		2				2		5.00
15 hrs	16 hrs		1							1.00
16 hrs	17 hrs	1	1	1		1			1	5.00
17 hrs	18 hrs							1		1.00
18 hrs	19 hrs			1		2				3.00
19 hrs	20 hrs							1		1.00
20 hrs	21 hrs									-
21 hrs	22 hrs									-
22 hrs	23 hrs									-
23 hrs	24 hrs									-
TOTAL	E	6	8	13	-	6	8	2		43.00

Fuente: Elaboración por el tesista

Cuadro Nº 06.6:
Aforo Vehicular para Estudio de Tráfico – Sábado

“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

OBRA “MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”
FECHA 12/01/2013

HORA	SENTIDO	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION		TOTAL
			PICKUP	RURAL Combi		2E	2E	3E		
DIAGRAMA VEHICULO										
0	1									-
1 hrs	2 hrs									-
2 hrs	3 hrs									-
3 hrs	4 hrs									-
4 hrs	5 hrs									-
5 hrs	6 hrs			1			1			2.00
6 hrs	7 hrs			2		1	1			4.00
7 hrs	8 hrs	1	1	1		1				4.00
8 hrs	9 hrs	1	1	1			1	1		5.00
9 hrs	10 hrs		1							1.00
10 hrs	11 hrs	1		1						2.00
11 hrs	12 hrs					1				1.00
12 hrs	13 hrs		1				1			2.00
13 hrs	14 hrs	1								1.00
14 hrs	15 hrs			1			1	1		3.00
15 hrs	16 hrs			1		1	1			3.00
16 hrs	17 hrs					1				1.00
17 hrs	18 hrs									-
18 hrs	19 hrs		1	1						2.00
19 hrs	20 hrs			1						1.00
20 hrs	21 hrs									-
21 hrs	22 hrs									-
22 hrs	23 hrs									-
23 hrs	24 hrs									-
TOTAL	E	4	5	10	-	5	6	2		32.00

Fuente: Elaboración por el tesista

Cuadro Nº 06.7:

Aforo Vehicular para Estudio de Tráfico – Domingo

“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

“MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA SIMON BOLIVAR DE LA CIUDAD DE ARAPA – PROVINCIA DE AZÁNGARO - PUNO”

OBRA

FECHA 13/01/2013

HORA	SENTIDO	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION		TOTAL
			PICKUP	RURAL Combi		2E	2E	3E		
DIAGRAMA VEHICULO										

0	1									-
1 hrs	2 hrs									-
2 hrs	3 hrs									-
3 hrs	4 hrs									-
4 hrs	5 hrs			1		1				2.00
5 hrs	6 hrs	2	1	2		2				7.00
6 hrs	7 hrs	1	1			1	2	1		6.00
7 hrs	8 hrs	2	2	1		1	1	1		8.00
8 hrs	9 hrs		1	2						3.00
9 hrs	10 hrs	2	1			1	3	2		9.00
10 hrs	11 hrs			1				1		2.00
11 hrs	12 hrs	1	1	1			1			4.00
12 hrs	13 hrs	1				1				2.00
13 hrs	14 hrs	1	2	3						6.00
14 hrs	15 hrs	2					2	1		5.00
15 hrs	16 hrs		2	1		1				4.00
16 hrs	17 hrs					2	2			4.00
17 hrs	18 hrs	1	1	1				1		4.00
18 hrs	19 hrs			1						1.00
19 hrs	20 hrs									-
20 hrs	21 hrs									-
21 hrs	22 hrs									-
22 hrs	23 hrs									-
23 hrs	24 hrs									-
TOTAL	E	13	12	14	-	10	11	7		67.00

Fuente: Elaboración por el tesista

6.4. INDICE MEDIO DIARIO (IMD)

En primer lugar hallamos el IMD, que se obtiene de los datos del aforo del conteo vehicular de una semana de los cuadros que nos antecede y es como sigue.

Cuadro N° 06.8:
IMD de vehículos.

FECHA	AUTO 	CAMIONETAS		BUS	CAMION		TOTAL
		PICKUP 	RURAL Combi 	2E 	3E 	4E 	
07/01/2013	6	8	11	7	5	3	40
08/01/2013	5	7	7	6	8	3	36
09/01/2013	6	9	24	7	21	4	71
10/01/2013	8	8	10	6	6	2	40
11/01/2013	6	8	13	6	8	2	43
12/01/2013	4	5	10	5	6	2	32
13/01/2013	13	12	14	10	11	7	67
TOTAL	48	57	89	47	65	23	329
IMD	7	8	13	7	9	3	47
PORCENTAJES	15%	17%	27%	14%	20%	7%	1
IMD POR EJE		59.0%			41.0%		100.0%
				INDICE MEDIO DIARIO			47

6.5. INDICE MEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)

Representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la vía en la sección considerada.

La determinación del TPDA se hace a partir del TPDS, utilizando los aforos vehiculares diarios durante una semana transformándolos mediante la ciencia de la estadística.

6.5.1. CALCULO DEL TPDS

La determinación del TPDS se calcula utilizando los aforos vehiculares diarios durante el periodo de una semana. Está dado por:

$$TPDS = \frac{\sum (Volumen_transito_diario_dom - s\acute{a}b) \times (f.c.e)}{7}$$

Donde:

Vol. Tránsito Diario Dom. a Sáb. = Promedios aforados durante la semana.

En el caso del presente Investigación en nuestra zona de Prueba se ha realizado el **conteo vehicular por una semana**, entonces:

$$TPDS = \frac{\sum volumen_transito_diario}{7}$$

Entonces el TPDS será de **47 vehículos mixtos/día**

6.5.2. CÁLCULO DEL TPDA

La determinación del TPDA o Media Poblacional, se estima en base al TPDS o Media Muestral. Está dado por:

Donde: **$TPDA = TPDS \pm A$**

A = Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS

El valor de A, sumado o restado del TPDS (Media Muestral), define el intervalo de confianza dentro del cual se encuentra el TPDA (Media Poblacional), Para un determinado nivel de confianza, el valor de "A" es el siguiente:

$$A = KE$$

Donde:

K = Número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado.

E = Error estándar de la media.

Estadísticamente se ha demostrado que las medias de diferentes muestras, tomadas de la misma población, se distribuyen normalmente alrededor de la media poblacional con una desviación estándar equivalente al error estándar.

Por lo tanto:

$$E = \sigma'$$

Donde:

σ' = Estimador de la desviación estándar poblacional (s)

Estimación de la desviación estándar poblacional (s)

$$\sigma' = \frac{s}{\sqrt{n}} \left(\sqrt{\frac{(N-n)}{(N-1)}} \right)$$

Donde:

S= Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito diario o desviación estándar muestral.

n = Tamaño de la muestra en número de días del aforo

N = Tamaño de la población en número días del año.

La desviación estándar muestra S, se calcula como:

$$S = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDS)^2}{(n-1)}} \right)$$

Donde: TD_i = Volumen de tránsito del día i. = Xi

Reemplazando sus equivalencias se tiene:

$$TPDA = TPDS \pm A$$

$$TPDA = TPDS \pm KE$$

$$TPDA = TPDS \pm (K\sigma')$$

En la distribución normal, para el nivel de confiabilidad de **95%**, el valor de la constante K es de **1.96**.

N°	Fecha	Dia	Total Diario	TPDS	$(TD_i - TPDS)^2$
1	07-ene-13	Lunes	40	47	49
2	08-ene-13	Martes	36	47	121
3	09-ene-13	Miercoles	71	47	576
4	10-ene-13	Jueves	40	47	49
5	11-ene-13	Viernes	43	47	16
6	12-ene-13	Sábado	32	47	225
7	13-ene-13	Domingo	67	47	400
TOTAL					1436

Desviación Estándar Muestral (S)

Hallamos la desviación Estándar Muestral S (Para nuestra vial):

Desviación Estándar Poblacional Estimada $\hat{\sigma}$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDS)^2}{n-1}}$$

Reemplazando datos:

$$S = \sqrt{\frac{1436}{7-1}} = 15$$

Ahora tenemos que:

$$\sigma' = \frac{s}{\sqrt{n}} \left(\sqrt{\frac{(N-n)}{(N-1)}} \right)$$

n=	7
N=	365
S=	15

Reemplazando los datos: $\sigma' = \frac{15}{\sqrt{7}} \left(\sqrt{\frac{(365-7)}{(365-1)}} \right)$

$$\hat{\sigma} = \boxed{6 \text{ Vehículos Mixtos/día}}$$

Intervalos del TPDA: **Asumimos una Confiabilidad del 95% K= 1.96**

$$TPDA = TPDS \pm K \hat{\sigma}$$

$$TPDA = 47 \pm 1.96 \times 6$$

$$TPDA = 47 \pm 11.76$$

36 Vehículos mixtos/día \leq TPDA \leq **58** Vehículos mixtos/día

Por lo tanto asumiremos, el caso más crítico de **58 vehículos mixtos/día.**

6.5.3. TASA ANUAL DE CRECIMIENTO DE TRANSITO

a. ANÁLISIS DE TRÁNSITO VEHICULAR

En las carreteras de 2 carriles, como es el caso del tramo en estudio, el carril de diseño puede ser cualquiera de los dos, como no se tenía datos exactos de transitabilidad por carriles, se usó la tabla siguiente:

CUADRO N° 06.9

Porcentaje del tránsito total de camiones en el carril de diseño

NÚMERO DE CARRILES (2 DIRECCIONES)	PORCENTAJE DE CAMIONES EN EL CARRIL DE DISEÑO
2	50
4	45
6 ó mas	40

Fuente: AASHTO, Guía Para El Diseño De Estructuras De Pavimento 1993)

b. PERIODO DE DISEÑO (n)

Para el tramo carretero, el período de diseño se adoptó del propuesto por la AASHTO a través del siguiente cuadro:

CUADRO N° 06.10**Periodo de Diseño**

TIPO DE CARRETERA	AÑOS
Autopistas urbanas	30-50
Carretera de alto tránsito	20-50
Carretera de bajo tránsito	15-25

Fuente: AASHTO, *Guía Para El Diseño De Estructuras De Pavimento 1993*

Es preciso no confundir este período con el Período de Análisis, ya que un pavimento puede renovar su vida útil indefinidamente.

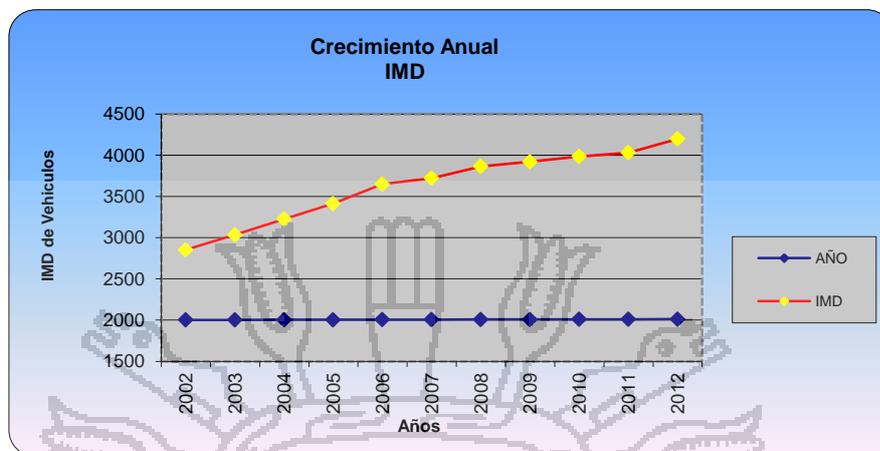
$$N_{\text{tramo}} = 20 \text{ años}$$

c. Crecimiento de Transito

El pavimento será diseñado para que sirva a las necesidades durante 20 años, por lo tanto se predijo el crecimiento de tránsito para poder determinar las necesidades estructurales del pavimento.

Al no tener datos históricos de la zona referente al crecimiento vehicular, y por temas académicos asumimos la estación de Caracoto como fuente para obtener los datos históricos desde el año 2,002 al 2,012 que resumida se presenta de la siguiente manera:

GRAFICO N° 06.1 CRECIMIENTO ANUAL



Fuente: Elaboración propia.

d. TASA DE CRECIMIENTO (t)

Es la cantidad porcentual anual de crecimiento, que experimenta una determinada vía, la misma que sirve para poder hallar el factor de crecimiento.

Debido a la comparación con una carretera principal como la carretera la avenida Simón Bolívar, se tomó la tasa de crecimiento de la estación de peaje de Caracoto, como muestra el siguiente cuadro:

Primero.- en el cuadro N° – 06.11 observamos la tasa de crecimiento de acuerdo al IMD Índice Medio Diario:

**CUADRO N° 06.11
Periodo de Diseño**

AÑO	IMD
2002	2853
2003	3034
2004	3227
2005	3414
2006	3651
2007	3722
2008	3865
2009	3921
2010	3986
2011	4032
2012	4198

Fuente: Peaje de caracoto

Segundo.- Aplicamos un modelo lineal:

$$Y = a + b x$$

AÑO	X	X2	Y	Y2	XY
2002	0	0	2853	8139609	0
2003	1	1	3034	9205156	3034
2004	2	4	3227	10413529	6454
2005	3	9	3414	11655396	10242
2006	4	16	3651	13329801	14604
2007	5	25	3722	13853284	18610
2008	6	36	3865	14938225	23190
2009	7	49	3921	15374241	27447
2010	8	64	3986	15888196	31888
2011	9	81	4032	16257024	36288
2012	10	100	4198	17623204	41980
TOTAL	55	385	39903	1,5E+08	213737

Donde:

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{N\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{N\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{N\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Reemplazamos valores:

$$a = \frac{(39903)(385) - (55)(213737)}{11(385) - (55)^2}$$

$$a = 2981$$

$$b = \frac{11(213737) - (55)(39903)}{11(385) - (55)^2}$$

$$b = 121$$

Entonces el modelo lineal que tenemos es:

$$Y = a + b x$$

$$Y = 2981 + 121 X$$

Tercero.- Aplicamos un modelo Exponencial:

Expresado de la siguiente manera:

$$Y = ab^x$$

$$\text{Log } Y = \text{Log } a + (\text{Log } b) x$$

$$Y' = a' + b'x$$

Donde:

$$Y' = \text{Log } Y$$

$$a' = \text{Log } a$$

$$b' = \text{Log } b$$

AÑO	X	X ²	Y	Log Y	Y' ²	Y'X
2002	0	0	2853	3,4553	11,9391	0
2003	1	1	3034	3,4820	12,1244	3,4820
2004	2	4	3227	3,5088	12,3117	7,0176
2005	3	9	3414	3,5333	12,4840	10,5998
2006	4	16	3651	3,5624	12,6908	14,2496
2007	5	25	3722	3,5708	12,7504	17,8539
2008	6	36	3865	3,5871	12,8676	21,5229
2009	7	49	3921	3,5934	12,9125	25,1538
2010	8	64	3986	3,6005	12,9639	28,8043
2011	9	81	4032	3,6055	12,9998	32,4497
2012	10	100	4198	3,6230	13,1264	36,2304
TOTAL	55	385	39903	39,12221	139,1706	197,3640

Cuarto .- Reemplazamos y calculamos:

$$a' = \frac{(39.12)(385) - (55)(197.364)}{11(385) - (55)^2} = 3,4769$$

Como $a' = \text{Log } a = 3,4769$
 $a = 2998,4$

$$b' = \frac{11(197.364) - (55)(39.12)}{11(385) - (55)^2} = 0,0159$$

Quinto .-

Como $b' = \text{Log } b = 0,0159$
 $b = 1,0374$

Obtenemos los siguiente : $Y = 2998 (1.037)^X$
 Determinamos la curva de aproximación:

La ecuación que permite calcular el coeficiente de correlación es la siguiente:

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(N \sum X^2 - (\sum X)^2) \cdot (N \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

Opcion 1:

$$r = \frac{11(213737) - (55)(39903)}{\sqrt{(11(385) - 55^2)(11(146677665) - (39903)^2)}} = 0,96$$

Opcion 2:

$$r = \frac{11(197,3640) - (55)(39903)}{\sqrt{(11(385) - (55)^2)(11(139,1706) - (39903)^2)}} = 0,97$$

De las opciones llegamos a la conclusión que el coeficiente de correlación del modelo exponencial es el que más se ajusta a los datos del tránsito que tenemos es la ecuación exponencial:

Sexto .- Cálculo de la tasa anual de tránsito:

$$T_n = T_o (1 + r / 100)^n$$

Por comparacion $1+r = 1,0374$ $Y = 2998 (1.0374)^x$
 $r = 0,037$

TASA DE CRECIMIENTO	r = 3,7
----------------------------	----------------

6.6. FACTOR DE CRECIMIENTO (FC)

Este factor correctivo nos permite proyectar mediante la tasa de crecimiento anual “t” y el período de diseño “n” el número de vehículos que transitarán por el tramo. A continuación se presenta el factor de crecimiento, del Instituto del Asfalto:

Periodo de Diseño (n)	20	Años
Tasa de Crecimiento Anual (r)	3,7	%
Factor de crecimiento	28,98	

Factor de
crecimiento

FC = 28.98

6.6.1. FACTOR CAMIÓN

Es el numero de aplicaciones de eje simple equivalente a 18,000 Lb aportados por un pasaje de vehículo.

Para nuestra investigación, se realiza el cálculo de Factor Camión, de acuerdo con el “Reglamento de Peso y Dimensión Vehicular para la Circulación en la en la Red Vial Nacional”, publicada el 12 de octubre del 2003 mediante el DECRETO SUPREMO N° 013-98-MTC, para los siguientes casos:

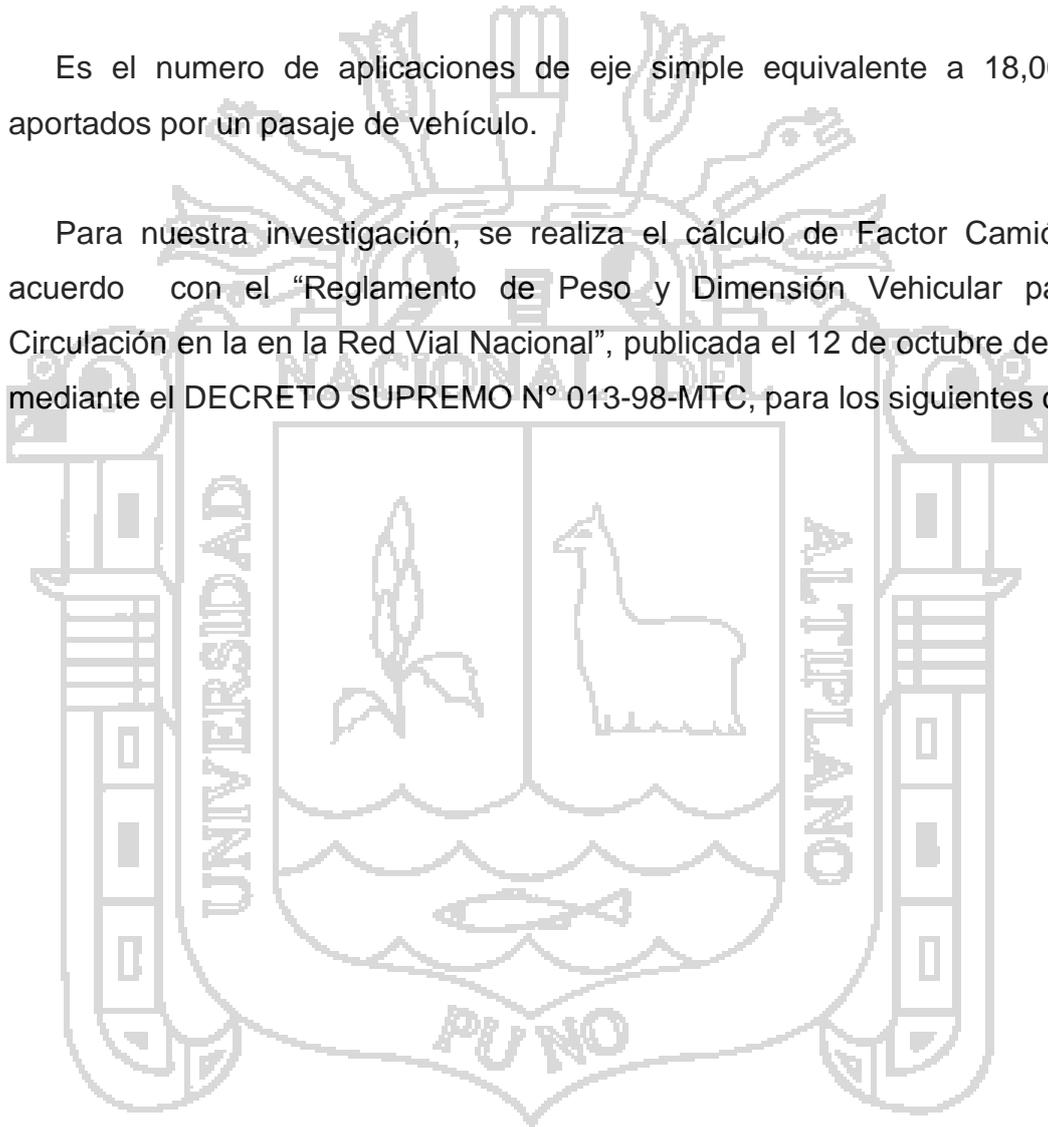


Figura Nº 06.1:
FACTOR CAMIÓN PARA LOS VEHÍCULOS DE DISEÑO

Autos	Peso (Libras)		Factor de Carga Equivalente	
	Descargado	Cargado	Descargado	Cargado
Eje Delantero (s)	1620	2430	0.0002	0.0001
Eje Posterior (s)	1620	2430	0.0002	0.0001
Total	3240	4860	0.0004	0.0002
Factor Camion Promedio			0.0003	

Camionetas	Peso (Libras)		Factor de Carga Equivalente	
	Descargado	Cargado	Descargado	Cargado
Eje Delantero (s)	1890	2700	0.0001	0.0002
Eje Posterior (s)	2700	4590	0.0002	0.0018
Total	4590	7290	0.0003	0.002
Factor Camion Promedio			0.0012	

Combis (Rural)	Peso (Libras)		Factor de Carga Equivalente	
	Descargado	Cargado	Descargado	Cargado
Eje Delantero (s)	1890	2970	0.0001	0.0003
Eje Posterior (s)	2700	4590	0.0002	0.0014
Total	4590	7560	0.0003	0.0017
Factor Camion Promedio			0.0010	

Omnibus (B2)	Peso (libras)		Factor de Carga Equivalente	
	Descargado	Cargado	Cargado	Vacio
Eje Delantero (s)	10000	16200	0.0877	0.6576
Eje Posterior (s)	6200	25500	0.01226	3.81
Total	16200	41700	0.09996	4.4676
Factor Camion Promedio			2.2838	

Camion (C3)	Peso (Libras)		Factor de Carga Equivalente	
	Descargado	Cargado	Descargado	Cargado
Eje Delantero (s)	13700	16200	0.3312	0.6576
Eje Posterior (D)	12800	41700	0.0188	2.44
Total	26500	57900	0.35	3.0976
Factor Camion Promedio			1.7238	

Camion (T2S2)	Peso (Libras)		Factor de Carga Equivalente	
	Descargado	Cargado	Descargado	Cargado
Eje Delantero (s)	13700	16200	0.3312	0.6576
El motor (s)	8400	25500	0.04306	3.81
Eje Remolque (D)	10400	41700	0.00816	2.44
Total	32500	83400	0.38242	6.9076
Factor Camion Promedio			3.64501	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VII

DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA

7.1. INTRODUCCIÓN

El diseño geométrico es una parte importante del proyecto de una vía, estableciendo, con base en los condicionantes o factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto conformado por la futura vía y su entorno. Se debe satisfacer al máximo los objetivos fundamentales, tales como la funcionalidad, la seguridad, la comodidad, la integración en su entorno, la armonía o estética, la economía y la elasticidad.

La funcionalidad vendrá determinada por el tipo de vía a proyectar y sus características, así como por el volumen y propiedades del tránsito, permitiendo una adecuada movilidad por el territorio a los usuarios y mercancías a través de una suficiente velocidad de operación del conjunto de la circulación.

La seguridad vial debe ser la premisa básica en cualquier diseño vial, inspirando todas las fases del mismo, hasta las mínimas facetas, reflejada principalmente en la simplicidad y uniformidad de los diseños.

La comodidad de los usuarios de los vehículos debe incrementarse en consonancia con la mejora general de la calidad de vida, disminuyendo las aceleraciones y, especialmente, sus variaciones que reducen la comodidad de los ocupantes de los vehículos.

La integración en su entorno debe procurar minimizar los impactos ambientales, teniendo en cuenta el uso y valores de los suelos afectados, siendo básica la mayor adaptación física posible a la topografía existente.

La armonía o estética de la obra resultante tienen dos posibles puntos de vista: el exterior o estático, relacionado con la adaptación paisajística, y el interior

o dinámico vinculado con la comodidad visual del conductor ante las perspectivas cambiantes que se agolpan a sus pupilas y pueden llegar a provocar fatiga o distracción, motivo de peligrosidad.

La economía o el menor costo posible, tanto de la ejecución de la obra, como del mantenimiento y la explotación futura de la misma, alcanzando siempre una solución de compromiso con el resto de objetivos y criterios.

La elasticidad suficiente de la solución definitiva para prever posibles ampliaciones en el futuro.

El presente capítulo se ha desarrollado basándose en su integridad en el (Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, 2005), Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG - 2001), de los cuales se obtienen los parámetros de diseño.

7.2. PARÁMETROS DE DISEÑO VINCULADOS A LA CLASIFICACION DE VÍAS URBANAS

La forma como cada vía cumple las funciones propias de su tipo está asociada a determinados parámetros de diseño, habiéndose establecido en el “Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas 2005”, la velocidad de diseño, características del flujo, control de accesos, relación con otras vías, número de carriles, servicio a propiedades adyacentes, transporte público y estacionamiento. Lo cual se puede observar en el Cuadro N° 07.1



Cuadro Nº 07.1:
Parámetros de diseño vinculados a la clasificación de vías urbanas.

ATRIBUTOS Y RESTRICCIONES	VÍAS EXPRESAS	VÍAS ARTERIALES	VÍAS COLECTORAS	VÍAS LOCALES
Velocidad de Diseño	Entre 80 y 100 Km/hora Se registró por lo establecido en los artículos 160 a 168 del Reglamento Nacional de Tránsito (RNT) vigente.	Entre 50 y 80 Km/hora Se registró por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.	Entre 40 y 60 Km/hora Se registró por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.	Entre 30 y 40 Km/hora Se registró por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.
Características del flujo	Flujo ininterumpido. Presencia mayoritaria de vehículos livianos. Cuando es permitido, también por vehículos pesados. No se permite la circulación de vehículos menores, bicicletas, ni circulación de peatones.	Debe minimizarse las interrupciones del tráfico. Los semáforos o cambios deberán sincronizarse para minimizar interferencias. Se permite el tránsito de diferentes tipos de vehículos, correspondiendo el flujo mayoritario a vehículos livianos. Las bicicletas están permitidas en ciclo vías.	Se permite el tránsito de diferentes tipos de vehículos y el flujo es interumpido frecuentemente por intersecciones a nivel. En áreas comerciales e industriales se presentan porcentajes elevados de camiones. Se permite el tránsito de bicicletas recomendándose la implementación de ciclovías.	Está permitido el uso por vehículos livianos y el tránsito peatonal es restringido. El flujo de vehículos semipesados es eventual. Se permite el tránsito de bicicletas.
Control de Accesos y Relación con otras vías	Control total de los accesos. Los cruces peatonales y vehiculares se realizan a desnivel o con intercamios especialmente diseñados. Se conectan solo con otras vías expresas o vías arteriales en puntos distantes y mediante enlaces. En casos especiales, se puede prever algunas conexiones con vías colectoras, especialmente en el Área Central de la ciudad, a través de vías auxiliares	Los cruces peatonales y vehiculares deben realizarse en pasos a desnivel o en intersecciones o cruces semaforizados. Se conectan a vías expresas, a otras vías arteriales y a vías colectoras. Eventual uso de pasos a desnivel y/o intercamios. Las intersecciones a nivel con otras vías arteriales y/o colectoras deben ser necesariamente semaforizadas y considerarán carriles adicionales para volteo.	Incluyen intersecciones semaforizadas en cruces con vías arteriales y solo señalizadas en los cruces con otras vías colectoras o vías locales. Reciben soluciones especiales para los cruces donde existan volúmenes de vehículos y/o peatones de magnitud apreciable	Se conectan a nivel entre ellas y con las vías colectoras.
Número de carriles	Bidireccionales: 3 o más carriles/sentido	Unidireccionales: 2 ó 3 carriles Bidireccionales: 2 ó 3 carriles/sentido	Unidireccionales: 2 ó 3 carriles Bidireccionales: 1 ó 2 carriles/sentido	Unidireccionales: 2 carriles Bidireccionales: 1 carril/sentido
Servicio a propiedades adyacentes	Vías auxiliares laterales	Deberán contar preferentemente con vías de servicio laterales.	Prestan servicio a las propiedades adyacentes.	Prestan servicio a las propiedades adyacentes, debiendo llevar únicamente su tránsito propio generado.
Servicio de Transporte público	En caso se permita debe desarrollarse por buses, preferentemente en " Carriles Exclutivos " o " Carriles Solo Bus " con paraderos diseñados al exterior de la vía.	El transporte público autorizado debe desarrollarse por buses; preferentemente en " Carriles Exclutivos " o " Carriles Solo Bus " con paraderos diseñados al exterior de la vía o en bahía	El transporte público, cuando es autorizado, se da generalmente en carriles mixtos, debiendo establecerse paraderos espejales y/o carriles adicionales para volteo.	No permitido
Estacionamiento y descarga de mercaderías	No permitido salvo en emergencias.	No permitido salvo en emergencias o en las vías de servicio laterales diseñadas para tal fin. Se registró por lo establecido en los artículos 203 al 225 del RNT vigente.	El estacionamiento de vehículos se realiza en estas vías en áreas adyacentes. Se registró por lo establecido en los artículos 203 al 225 del RNT vigente.	El estacionamiento está permitido y se registró por lo establecido en los artículos 203 al 225 del RNT vigente

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, (2005).

7.3. CRITERIOS BÁSICOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

7.3.1. VELOCIDAD DIRECTRIZ O DE DISEÑO

Es la velocidad adoptada en el proyecto de una vía, correlacionado con sus factores de proyecto geométrico tales como las curvas verticales y distancia de visibilidad, de la cual depende la circulación segura de los vehículos. Es también definida como la velocidad continua más elevada, en la cual los vehículos individualmente pueden transitar con seguridad en la vía.

La velocidad directriz o de diseño es la escogida para el diseño, entendiéndose que será la máxima que se podrá mantener con seguridad sobre una sección determinada de la carretera, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño.

*Para el presente proyecto, se adoptado una **velocidad directriz o de diseño de 40 km/h. para vías colectoras** esto tomado en cuenta las recomendaciones del Manual de Diseño Geométrico de Carretera DG 2001 para vías locales y también tomando en cuenta el Reglamento de Tránsito para Vías Urbanas.*

7.3.2. VISIBILIDAD

Distancia de visibilidad es la longitud continua hacia delante del camino, que es visible al conductor del vehículo.

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

a) Distancia de Visibilidad de Parada

Es la mínima requerida para que se detenga un vehículo que viaja a la velocidad de diseño, antes de que alcance un objetivo inmóvil que se encuentra en su trayectoria.

Se considera obstáculo aquél de una altura igual o mayor a 0.15 m, estando situados los ojos del conductor a 1.15 m., sobre la rasante del eje de su pista de circulación.

Todos los puntos de una carretera deberán estar provistos de la distancia mínima de visibilidad de parada.

Si en una sección de carretera o camino resulta prohibitivo lograr la distancia mínima de visibilidad de parada correspondiente a la velocidad de diseño, se deberá señalar dicho sector con la velocidad máxima admisible, siendo éste un recurso extremo a utilizar solo en casos muy calificados y autorizados por el MTC.

Según la tabla N° 07.2, tenemos que para la velocidad directriz de 40 Km/h, la distancia de visibilidad de parada es de 50 m.

Cuadro N° 07.2:

Distancia de visibilidad de parada respecto a la velocidad directriz.

Velocidad Directriz Km/h	30	40	50	60	70	80
i = 0 %	30	45	60	75	95	115
i = - 0 %	35	50	65	85	105	125
i = + 0 %	30	40	55	70	85	100

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carretera DG 2001

b) Distancia de Visibilidad de Paso

Es la mínima que debe estar disponible, a fin de facultar al conductor del vehículo a sobrepasar a otro que se supone viaja a una velocidad 15 Km/h. menor, con comodidad y seguridad, sin causar alteración en la velocidad de un tercer vehículo que viaja en sentido contrario a la velocidad directriz, y que se hace visible cuando se ha iniciado la maniobra de sobrepaso.

Cuando no existen impedimentos impuestos por el terreno y que se reflejan por lo tanto en el costo de construcción, la visibilidad de paso debe asegurarse para el mayor desarrollo posible del proyecto.

La distancia de paso con respecto a la Velocidad directriz se determina usando el Cuadro N° 07.3, según la cual, la distancia de visibilidad de paso es de 175 m.

Cuadro N° 07.3:

Distancia de visibilidad de paso respecto a la velocidad directriz.

Velocidad						
Directriz Km/h	30	40	50	60	70	80
Distancia (m)	90	175	260	350	430	510

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carretera DG 2001

7.4. DISEÑO EN PLANTA

7.4.1. ALINEAMIENTO RECTO

El alineamiento horizontal debe permitir la operación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar la misma velocidad directriz en la mayor longitud de vía que sea posible.

El trazado en planta de un tramo se compone de la adecuada combinación de los siguientes elementos: recta, curva circular y curva de transición. *En el presente proyecto solo contamos con un alineamiento recto.*

7.4.2. CURVAS HORIZONTALES

El diseño de tramos viales en curva debe efectuarse teniendo en cuenta la relación entre la velocidad de diseño, el radio de la curva, el efecto de la inclinación transversal de la vía y la interacción de estos con la fricción entre vehículo y vía. Si bien estas relaciones se deducen de las leyes físicas, los valores usados se han deducido empíricamente para los rangos involucrados en el diseño.

En el Cuadro N° 07.4 se puede apreciar valores de radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras, valores que dependen de la velocidad directriz. De la cual se ha podido obtener, para una velocidad directriz de 40 Km/h en nuestro proyecto, un radio mínimo de 60 m. y un peralte máximo de 4%.

Cuadro N° 07.4:

Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras.

Ubicación de la Vía	Velocidad de diseño (km/h)	Peralte Máximo (%)	Radio Mínimo (m)
Área Urbana (Alta Velocidad)	30	4.00	35
	40	4.00	60
	50	4.00	100
	60	4.00	150
	70	4.00	215
	80	4.00	280
	90	4.00	375
	100	4.00	495
	110	4.00	635
	120	4.00	875
	130	4.00	1110
	140	4.00	1405
150	4.00	1775	

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carretera DG 2001

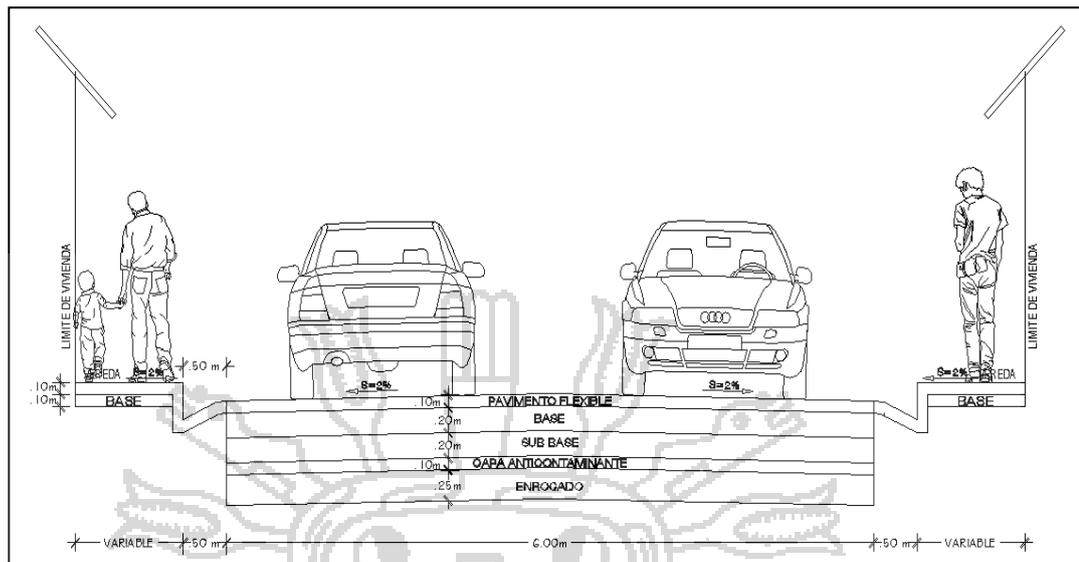
7.4.3. SECCIÓN TRANSVERSAL

La sección transversal influye fundamentalmente en la capacidad de la vía, en su costo de expropiación, construcción y conservación, y también en la seguridad de la circulación. Un proyecto realista deberá en general adaptarse a las condiciones existentes o previstas a corto plazo, pero estudiará la viabilidad de las ampliaciones necesarias en el futuro.

El elemento más importante de la sección transversal es la zona destinada al paso de los vehículos o calzada. Sus dimensiones deberán ser tales que permitan mantener un nivel de servicio adecuado, para la intensidad de tráfico previsible.

Para el presente se ha adoptado un ancho de vía de 7.00 m, veredas de ancho variable, cunetas de 0.50 m.

Figura N° 07.1: Detalle de sección transversal de pavimento.



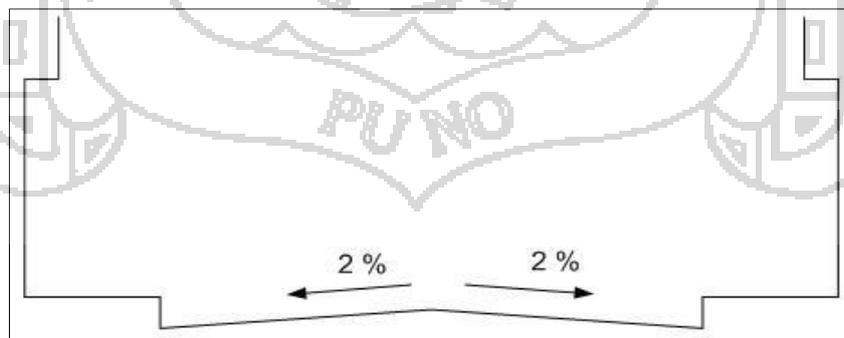
Fuente: Elaboración propia

7.4.4. BOMBEO

En tramos rectos, las calzadas deben tener el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura y de los niveles de precipitación de la zona. El bombeo consiste en proporcionar a la corona de la vía una pendiente transversal desde el centro de la vía hacia los extremos.

En el presente proyecto, el bombeo planteado es de 2 %, el cual garantiza el drenaje transversal hacia las cunetas.

Figura N° 07.2: Bombeo de la estructura.



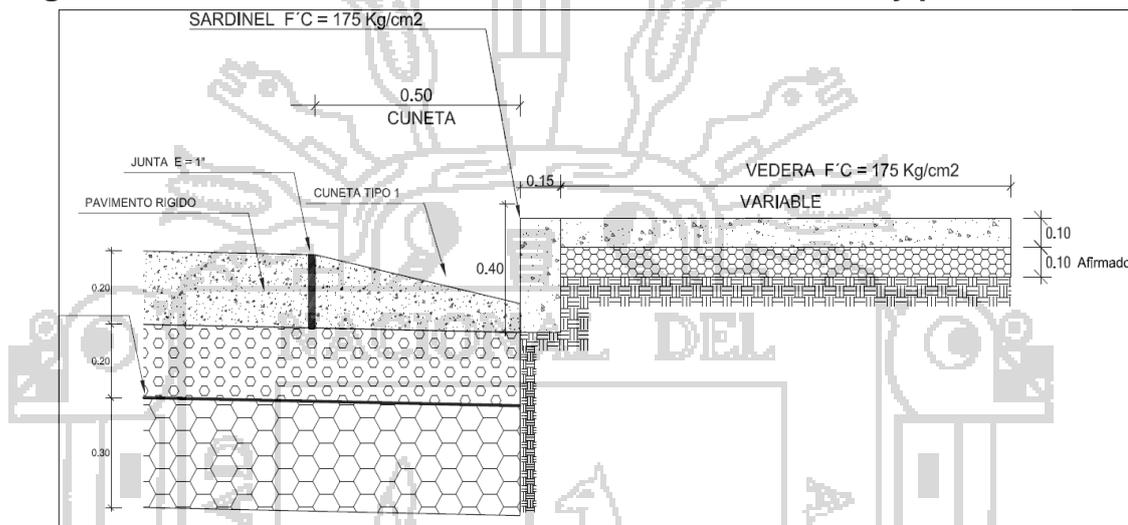
Fuente: Elaboración propia

7.4.5. VEREDAS

Son elementos geométricos de una vía y paralelos a esta, diseñadas para cumplir funciones de tránsito y seguridad para el peatón.

En el presente proyecto se han considerado anchos de veredas que van desde 0.60 m hasta 1.80 m en la Avenida Simón Bolívar de la Ciudad de Arapa.

Figura N° 07.3: Detalle de sección transversal de veredas y pavimento.

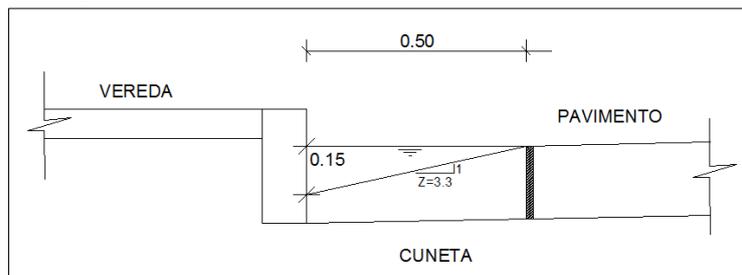


Fuente: Elaboración propia

7.4.6. CUNETAS

Las cunetas son zanjas que se construyen a ambos lados de la vía, y diseñadas con el propósito de recibir y conducir las aguas pluvial de la calzada de la vía, de las veredas, y de las viviendas, para evacuarlas a fin de salvaguardar la estructura del pavimento.

Las dimensiones de las cunetas así como su diseño se encuentran detalladas en el capítulo VIII, referido al DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE del presente trabajo.

Figura N° 07.4: Sección transversal de cuneta.

Fuente: Elaboración propia

7.5. DISEÑO EN ELEVACIÓN

7.5.1. PERFIL LONGITUDINAL

El perfil longitudinal es la proyección del desarrollo del centro de línea de una vía terrestre sobre el plano vertical, sus elementos son las tangentes verticales y las curvas verticales.

El perfil longitudinal está definido por el alineamiento que considera la vía de diseño longitudinalmente. El nivel de acabado final se denomina rasante de la vía.

Las cotas topográficas del perfil longitudinal del proyecto de vías, corresponden a las explanaciones terminadas, verificando en su trazo el nivel en el que se encuentran las instalaciones domiciliarias existentes de los diversos servicios, como es el caso de las redes de desagüe.

7.5.2. CURVAS VERTICALES

Es la alineación de la proyección de la línea curva cualquiera en el plano vertical, ésta indica el cambio de inclinación o pendiente del eje longitudinal de la vía.

Cuando las vías sufren cambios de dirección vertical en sus rasantes, definidas por sus pendientes longitudinales, requieren ser enlazadas necesariamente con curvas verticales parabólicas, siempre que cumplan la condición que la diferencia algebraica de dichas pendientes sea del 1%, cuando la velocidad de diseño es menor a 50 Km/hr.

Para los casos en los que la velocidad sea mayor a 50 Km/hr, se aplicará las curvas verticales en pendientes de diferencia algebraica mayor a 0.5%. Las curvas verticales, sean cóncavas o convexas, serán del tipo parabólico al emplear formulas cuadráticas del tipo $y = kx^2$.

Para unir dos rasantes de diferente pendiente, se usan casi exclusivamente curvas parabólicas, pudiendo ser éstas de acuerdo a su conformación topográfica: curvas parabólicas simples o curvas parabólicas compuestas llamadas de tangentes desiguales.

7.5.3. PENDIENTE

La pendiente es la inclinación de una rasante en el sentido de avance. Se denomina también pendiente al desnivel numérico positivo (ascendente) o negativo (descendente) que existe entre dos puntos específicos (partida y llegada) o más, de un alineamiento longitudinal con cotas topográficamente definidas; tienen una relación directa con la velocidad directriz de diseño y la capacidad de volumen de tránsito.

- **Criterios para la determinación de la Pendiente**

Se ha establecido de acuerdo a las normas, que en los tramos en corte se deberá procurar evitar pendientes menores de 0.5%, y que podrá hacerse uso de rasantes horizontales en los casos en que las cunetas adyacentes puedan ser dotadas de la pendiente necesaria para garantizar el drenaje.

Para el presente estudio de vías, de acuerdo a la topografía plana que presenta el área, se ha optado por pendientes que garanticen principalmente el drenaje y procurando evitar las molestias generadas en las viviendas. Utilizándose pendientes no menores a 0.5% de acuerdo al reglamento.

Así mismo se han tomado en cuenta las limitaciones en pendiente impuestas por la existencia de viviendas a lo largo del proyecto de vía.

Las pendientes de la rasante calculadas son las siguientes:

Avenida Simón Bolívar de la Ciudad de Arapa: 0.56% y -8.33%.

7.6. RESUMEN

Tenemos los siguientes parámetros de diseño:

- ✓ Velocidad Directriz: 40 Km/hora.
- ✓ Distancia de visibilidad de parada: 50 m.
- ✓ Distancia de visibilidad de paso: 175 m.
- ✓ Pendiente: mayor a 0.5 %.
- ✓ Bombeo: 2 %.
- ✓ Cunetas: Cunetas de diseño triangular.
- ✓ Veredas: Anchos entre 0.60 m y 1.80 m.
- ✓ Longitud de vía Av. Simón Bolívar: 745.146 m.



CAPÍTULO VIII

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

8.1. GENERALIDADES

El estudio de suelos como parte fundamental de todo el proyecto constituye uno de los aspectos más importantes porque de ella depende en gran parte el diseño de la vía, en vista de que la mecánica de suelos aplicada a vías terrestres tiene el propósito de dar a conocer las propiedades y calidad del material que está conformada el terreno de fundación. Para poder clasificar los suelos previamente se debe determinar las características y propiedades físicas y mecánicas del terreno de fundación.

A continuación se detallan definiciones sobre ensayos de suelos.

8.2. TOMA DE MUESTRAS EN EL CAMPO

El trabajo de campo consiste en la toma de muestras del suelo, las muestras que se obtienen son representativas, es decir es fiel representación del material existente en el sitio.

Según el proceso de extracción se tiene dos recomendaciones dado por la ASTM y AASHTO.

a) TOMA DE MUESTRAS INALTERADAS.

Se tomarán muestras inalteradas o no perturbadas cuando se necesita conocer las condiciones de capacidad de soporte de un terreno, que servirá de fundación, ó conocer las condiciones de estabilidad del terreno.

Las muestras inalteradas se emplean para él: Ensayo triaxial.

b) TOMA DE MUESTRAS ALTERADAS.

Se tomarán muestras alteradas o perturbadas cuando el material que se analice vaya ser empleado en la construcción de terraplenes, es decir cuando se utilice como material de construcción.

Las muestras alteradas se emplearon para la determinación:

- ✓ Granulometría.
- ✓ Límites de Consistencia.
- ✓ Contenido de Humedad.
- ✓ Compactación.
- ✓ CBR.

8.3. NÚMERO DE MUESTRAS

La Norma Técnica CE.010 - PAVIMENTOS URBANOS, indica que el número de puntos de investigación será de acuerdo con el tipo de vía según y teniendo en consideración del área de nuestra vía, tal como se indica en el Cuadro N° 08.1:

Cuadro N° 08.1:
Número de puntos de investigación.

TIPO DE VIA	NUMERO MINIMO DE PUNTOS DE INVESTIGACION	AREA (m ²)
Expresas	1 cada	2000
Arteriales	1 cada	2400
Colectoras	1 cada	3000
Locales	1 cada	3600

Fuente: NORMA TÉCNICA CE. 010 PAVIMENTOS URBANOS, 2010

8.4. EXPLORACIONES EN EL CAMPO

Las exploraciones y la toma de muestras se han efectuados efectuado a lo largo de la vía, para el caso de nuestra vía en estudio que tiene una longitud de 745.15 ml y un ancho promedio de 8.20m hace un área total de 5963.2m², y por la recomendación del cuadro N° 28 tendríamos que hacer 2 puntos de investigación como mínimo por lo cual asumimos 3 puntos de investigación el cual se están ubicados en las siguientes progresivas, que se muestra en el cuadro N° 08.2 y están a una profundidad de 1.5m según reglamento, y cuyos resultados

realizados en el laboratorio de mecánica de suelos de la Municipalidad Provincial de San Román se encuentran en los anexos.

Cuadro N° 08.2:
Calicatas del proyecto.

CALICATAS	UBICACIÓN	PROGRESIVA
N° 01	Av. Simón Bolívar (Lado derecho)	Km. 00 + 50
N° 02	Av. Simón Bolívar (Lado izquierdo)	Km. 00 + 300
N° 03	Av. Simón Bolívar (Lado derecho)	Km. 00 + 600

seg

8.5. ENSAYOS DE LABORATORIO

Es en realidad en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, que se logra tener los datos definitivos de las características del suelo para su respectivo análisis y conclusión final; en esta etapa en primer lugar se tuvo que realizar las pruebas de clasificación de suelos (Método SUCS y AASHTO) se ubica de manera precisa la naturaleza del terreno, y luego se decide como segunda fase las pruebas definitivas que requiere el problema particular, para definir las características de formación y resistencia a los esfuerzos en el terreno con que se trabaja.

8.5.1. CUARTEO DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO

Referencias

MTC E 105 – 2000

Este Modo Operativo está basado en la Norma NTP 350.001, MTC E 105-99, ASTM C 702-93, UNE 77-327-75.

8.5.1.1. GENERALIDADES

Para poder efectuar los diferentes ensayos de suelos en laboratorio, se requiere contar con material representativo de suelo en cantidad suficiente, de manera que satisfagan los requerimientos de procedimientos de ensayos, con lo cual se realiza previamente una operación de reducción de las muestras denominada cuarteo, de manera que al finalizar su proceso quede una muestra tal, que refleje exactamente las características del terreno o cantera. Los procedimientos de reducción que se practican son de tipo mecánico y manual, siendo este último el

de uso convencional en nuestro país y se practica en la mayoría de laboratorios de Mecánica de Suelos, Asfaltos y Concretos de nuestra zona, debido por razones de bajo costo y gran confiabilidad.

8.5.1.2. OBJETIVO

Reducir una muestra representativa de suelo mediante un procedimiento manual, una muestra representativa de suelo a un tamaño conveniente, o de dividirla en dos o más partes con el fin de efectuar ensayos con ellos.

8.5.1.3. HERRAMIENTAS Y/O MATERIALES

HERRAMIENTAS Y/O MATERIALES	GRÁFICO
Lona plástica de 2.00 x 2.50 m.	
Pala manual	
Bandeja metálica	
Badilejo para manejar el material	
Varilla metálica de 1.50 m.	
Brocha	

8.5.1.4. PROCEDIMIENTO

- Se extiende la lona plástica y se deposita sobre ella, la muestra representativa extraída a fin de dejarla secar al aire, removiendo con el badilejo cada cierto tiempo, de manera que el material seque de una forma uniforme.
- Seca la muestra, con el martillo de goma se procede a desmenuzar los terrones del material formado, a fin de obtener una mezcla uniforme y

evitando en todo momento un posible fracturamiento de las piedras constituyentes del mismo.

- Se mezcla hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación un mínimo de 4 veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados.
- Esparcir cuidadosamente y aplanar la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original, procurando que el diámetro sea aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor.
- Con la varilla metálica se divide diametralmente el material en cuatro partes iguales, de manera que se toman dos cuartos diagonalmente opuestas, incluyendo todo el material fino con ayuda de las brochas y el badilejo.
- Los dos cuartos restantes se remezcla y se repite sucesivamente toda la operación anteriormente descrita, hasta obtener la cantidad de muestra de suelo requerida.

8.5.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Referencias

MTC E 108 – 2000

Este Modo Operativo está basado en la Norma ASTM D 2216,

8.5.2.1. GENERALIDADES

Siendo el suelo un medio poroso, se distinguen tres fases constituyentes: La Fase Sólida conformada por partículas minerales u orgánicas, la Fase Líquida conformada por agua que llena parcial o totalmente los vacíos y la Fase Gaseosa conformada esencialmente por aire. A partir de estas fases del suelo, es posible determinar fácilmente en laboratorio, el peso de las muestras húmedas y secas al horno, parámetros que nos permiten establecer algunas relaciones físicas como es el cálculo del contenido de humedad de una muestra representativa. En cierto modo este valor es relativo, porque depende de las condiciones atmosféricas que

pueden ser variables, por lo que es recomendable realizar este ensayo casi inmediatamente de extraer la muestra para evitar distorsiones significativas en su resultado.

8.5.2.2. OBJETIVO

Determinar el contenido de humedad de una muestra representativa de suelo expresado en porcentaje, que se obtiene de la relación del contenido de agua, con respecto al peso seco en el horno a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. de temperatura.

8.5.2.3. EQUIPO

- Balanza de tres escalas con sensibilidad de 0.01gr.
- Horno Eléctrico de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Taras metálicas con tapa.
- Cuchara metálica.
- Guantes de cuero.

8.5.2.4. PROCEDIMIENTO

- Pesar la tara metálica (pequeña) en la cual se depositará una muestra de suelo.
- Pesar la muestra húmeda en la tara con aproximación de 0.01 gr.
- La muestra en el recipiente colocarla en el horno a una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ por un tiempo de 24 horas aproximadamente, para posteriormente dejarla enfriar a temperatura ambiente.
- Pesar la seca muestra incluyendo el recipiente, hasta verificar un peso constante.

8.5.2.5. CÁLCULO

Se calcula el contenido de humedad de la muestra con la expresión siguiente:

$$w(\%) = \frac{(P_1 - P_2)}{(P_2 - P_3)} \times 100$$

Donde:

w % = Contenido de humedad expresado en porcentaje

P1 = Peso de la tara más el suelo húmedo

P2 = Peso de la tara mas el suelo seco al horno

P3 = Peso de la tara

8.5.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Referencias

MTC E 107- 2000

Este Modo Operativo está basado en las Normas ASTM D 422 y AASHTO T 88,

8.5.3.1. GENERALIDADES

El estudio de las propiedades de los suelos, se fundamenta en que las propiedades mecánicas dependen directamente de la distribución de las partículas constituyentes según sus tamaños. En la investigación por encontrar métodos para determinar dicha distribución, se pudo concluir que las posibilidades de hallar un método que permitan hallar la granulometría, respetando la estructuración del material, es prácticamente imposible. Sin embargo en base a la experiencia se pudo establecer dos métodos para establecer el análisis granulométrico de un suelo: El método mecánico ó seco para suelos de grano grueso y el método del hidrómetro o vía húmeda para suelos de grano fino.

8.5.3.2. OBJETIVO

Determinar la distribución de las partículas en función de su tamaño, de una muestra representativa de suelo de grano grueso, mediante un ensayo granulométrico por tamizado.

8.5.3.3. EQUIPO

- Juego completo de tamices con tapa y fondo.
- Balanza de torsión con sensibilidad de 0.1 gr.
- Balanza de tres escalas con sensibilidad de 0.1 gr.
- Horno Eléctrico
- Cepillo de alambre fino.

- Martillo de goma.
- Bandejas de loza o aluminio.
- Recipientes con agua limpia.

8.5.3.4. PROCEDIMIENTO

- Cuartear la muestra seca, pesarla y registrarla como peso total de la muestra seca.
- Depositar la muestra en el recipiente con agua y removerla a fin de disolver la arcilla contenida y verter el agua limpia a través del tamiz N° 200, repitiendo esta operación, hasta que el agua se observe clara.
- Secar 18 horas la muestra en el horno a una temperatura de 105 °C.
- Seca la muestra se efectúa el tamizado a través del juego de tamices ordenados en forma decreciente, agitando vigorosamente con un movimiento rotatorio horizontal y vertical. Pesarse el material retenido en los diferentes tamices.

8.5.3.5. CÁLCULO

- La diferencia entre el peso inicial de la muestra seca y la suma de los pesos retenidos hasta la malla N° 200, es el peso que pasa la malla N° 200.
- Se determinan los porcentajes parciales y acumulados en peso del material retenido en los cada tamiz, con respecto al peso inicial de la muestra seca.
- Se calcula el porcentaje en peso del material seco que pasa un determinado tamiz, restando de 100% el porcentaje en peso del material seco acumulado.
- Anotar los resultados en la hoja de cálculo y graficar las curvas granulométricas; Abertura de cada tamiz Vs. Porcentaje que pasa, *Se anexa en el estudio de mecánica de suelos.*

8.5.4. LIMITES DE ATTERBERG O DE CONSISTENCIA

8.5.4.1. GENERALIDADES

En la mayoría de suelos existentes, cuando estos se moldean sin romperse hasta cierto límite al alterar su contenido de agua si es necesario, adoptan una consistencia característica denominada plástica. Para determinar la plasticidad ó capacidad de ser moldeable de estos suelos, existe el criterio planteado por Atterberg, el cual demostró que la plasticidad no era una propiedad permanente de un suelo, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua y cantidad de arcilla, ya que esta última es la que actúa como ligante. Atterberg estableció que según su contenido de agua existente en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico, puede estar en cualquiera de estados siguientes:

- a) Estado Líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- b) Estado Semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- c) Estado plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
- d) Estado semisólido, en que el suelo tiene apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- e) Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

Dado que estos estados, son fases generales por las que pasa un suelo al ir secando, y dado que no existen criterios estrictos para poder distinguir sus fronteras, Atterberg definió a estas fronteras en función al contenido de humedad, llamando a la frontera entre los estados líquido y plástico como Límite líquido; a la frontera entre los estados plástico y semisólido como Límite Plástico; y a la frontera entre los estados semisólido y sólido como Límite de contracción, y determino que el rango de contenido de agua sobre el cual un suelo se comporta plásticamente, se encuentra definida por una relación numérica, al cual la denomino como índice de Plasticidad.

8.5.4.2. LIMITE LIQUIDO

Referencias

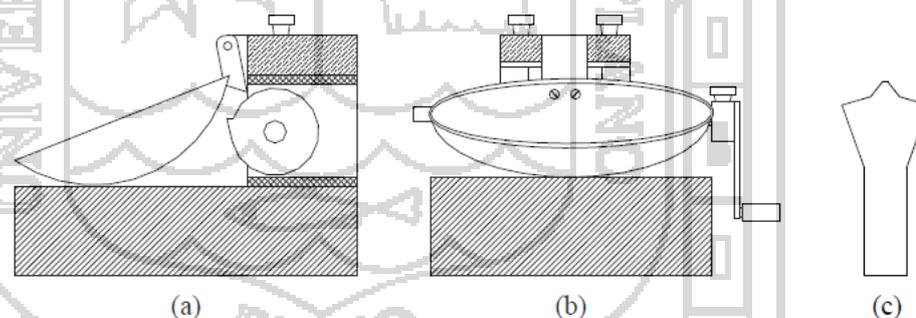
MTC E 110 – 2000

Este Modo Operativo está basado en las Normas ASTM D 4318 y AASHTO T 89.

a) Objetivos

Este ensayo propuesto por Terzaghi y Casagrande, permite obtener el contenido de agua de una muestra de suelo, expresado en porcentaje con respecto a la muestra seca al horno, cuando este se encuentra en el límite entre los estados plástico y líquido. El contenido de agua existente en este límite, se define como la humedad necesaria para que el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo, se cierre a lo largo de su fondo en una distancia de 1/2", cuando se deja caer la cuchara 25 veces desde una altura de 1cm, y a una velocidad de dos golpes por segundo.

Figura N° 08.01
Cuchara de Casagrande para determinar el límite líquido del suelo. (a) Vista lateral. (b) Vista frontal. (c) Acanalador.



Fuente: "Apoyo didáctico aprendizaje de la asignatura Mecánica de Suelos" por Jorge Campos Rodríguez

b) Equipos

- Balanza de tres escalas (sensibilidad al 0.01 gr).
- Posillo de porcelana y espátulas.
- Copa de Casagrande y acanalador.
- Tamiz N° 40.
- Pipeta (cuenta gotas).
- Cápsulas metálicas (Taras).

c) Procedimientos

- Se cierne la muestra seca a través de la malla N° 40 hasta obtener 150 gr aproximadamente y descartar el material retenido en él.
- Mezclar el material en el posillo de porcelana con agua, hasta la consistencia de una pasta espesa y suave. Cubrirla con un paño y dejarla reposar 1 hora.
- Colocar material desde el posillo a la cuchara de la Copa de Casagrande, llenando 1/3 del total aproximadamente.
- Usando la espátula se extiende y empareja el material, formando una torta circular de un centímetro en el punto de máxima profundidad.
- Con el acanalador se hace una ranura firme a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la mezcla contenida en la cuchara, para evitar el desgarramiento del suelo a lo largo de la ranura, se hace varias pasadas.
- Girar la manivela a razón de 2 vueltas/seg y anotar los golpes necesarios para que las paredes de la ranura se unan en el fondo de la misma 1/2".
- Por la espátula se toma la porción de suelo próximo a las paredes de la ranura donde se cerró la muestra, y se determina su contenido de humedad existente.
- Se transfiere el suelo sobrante en la cuchara de bronce, al recipiente para remezclarlo. Se lava y seca la cuchara de bronce, preparado nuevamente el aparato para realizar por lo menos dos determinaciones adicionales.

d) Cálculos

- Calcular el contenido de humedad del suelo de cada muestra.
- En un gráfico semilogarítmico tabular el contenido de humedad como ordenada en escala natural y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. La línea de fluidez, es la recta que promedia los tres puntos obtenidos en el ensayo.

- El Límite líquido es la humedad existente para el cual la hendidura se cierra en 25 golpes.

Se anexa en el estudio de mecánica de suelos.

8.5.4.3. LIMITE PLÁSTICO

Referencias

MTC E 111 – 2000

Este Modo Operativo está basado en las Normas ASTM D 4318 y AASHTO T 90,

a) Objetivos

Determinar el límite plástico de los suelos, el cual se define como el contenido de agua, expresado en porcentaje del peso del suelo seco al horno, cuando el suelo se encuentra en el límite entre los estados plásticos y semisólido. El contenido de agua en este límite, se define como el contenido más bajo de agua al cual el suelo puede ser rolando en hilo de 3.2 mm sin que se rompa en pedazos.

b) Equipos

- Balanza de tres escalas (sensibilidad al 0.01 gr).
- Horno Eléctrico de 110 ± 5 °C.
- Placa de vidrio esmerilado.
- Cápsulas metálicas (Taras).

c) Procedimiento

- Se emplea material usado para el límite líquido, verificando una consistencia tal que pueda ser rolando entre los dedos de la mano y el vidrio esmerilado.
- Se toman aproximadamente 2 gr. de material y se forma bastones cilíndricos de modo que lo podamos rodar sobre el vidrio esmerilado para quitarle humedad.

- Se inicia el rolado, a razón de 80 a 90 ciclos por minuto. Un ciclo es un movimiento de la mano hacia adelante y hacia atrás de la posición de arranque.
- El límite plástico (humedad) se obtiene al formar bastones de 3.2 mm de diámetro, en el instante en que se forman resquebrajaduras superficiales.

d) Cálculos

Realizar un mínimo de dos pruebas, y determinar su contenido de humedad, conforme al procedimiento señalado anteriormente, hallar un promedio de ambas, con lo cual se habrá obtenido el Límite Plástico de un ensayo.

8.5.4.4. ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Se denomina Índice de Plasticidad, a la diferencia numérica entre el valor obtenido de Límite Líquido y Límite Plástico de una muestra de suelo; es el índice de consistencia más importante, dado que su valor permite conocer cuán plástico es un material. Matemáticamente está representada por la siguiente relación:

Cuando no es posible determinar el límite plástico de un suelo, se dice que el suelo es no plástico; cuando el Índice Plástico es menor a 7, el suelo presenta baja plasticidad; cuando el índice plástico está comprendido entre 7 y 17 se dice que es medianamente plástico, y cuando presenta un índice plástico mayor de 17 se dice que es altamente plástico. Es decir cuan mayor es el Índice de Plasticidad, mayores son los problemas asociados con el uso del suelo como material de ingeniería.

8.5.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

8.5.5.1. GENERALIDADES

Dada la múltiple variedad y complejidad que los suelos presentan en la naturaleza, la mecánica de suelos desarrolló sistemas de clasificación que permitan cubrir las necesidades correspondientes, basado en las propiedades mecánicas de los suelos por ser estas preponderantemente cualitativas, puesto

que sistemas que incluyan relaciones cuantitativas y detalle respecto a las propiedades mecánicas, resultaría excesivamente complicado y de engorrosa aplicación práctica.

Un sistema útil de clasificación, normalmente sirve para normar el criterio del técnico Laboratorista con respecto al suelo de que se esté tratando, previamente a un conocimiento más profundo y extenso de las propiedades del mismo. Entre los sistemas de clasificación propuestos de mayor aceptación en el campo de la ingeniería, destacan el Sistema de Clasificación AASHO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), dado que son los que mejor satisfacen los diferentes campos de aplicación de la Mecánica de Suelos.

8.5.5.2. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

Este Sistema de Clasificación fue originalmente desarrollado para su uso en la construcción de Aeropuertos, y fue adaptado y divulgado por el Dr. Arthur Casagrande en 1948. Había estado ya en uso desde 1942, pero fue ligeramente modificado en 1952 en cooperación con la oficina de mejoramiento de terrenos de los EE.UU. para darle mayor aplicabilidad y cobertura a otro tipo de construcciones de fines ingenieriles. Está basado en la identificación de los suelos según sus cualidades estructurales y de plasticidad, y su agrupamiento con relación a su comportamiento como materiales de construcción de ingeniería.

Las principales características y propiedades de los criterios propuestos que presenta este Sistema de Clasificación de Suelos son las que se nombran a continuación:

- Se establecen cuatro fracciones de suelo: Cantos rodados, gravas, arenas y finos (limo o arcilla).
- Los suelos de partículas gruesas y los suelos de partículas finas se distinguen mediante el cribado del material por la malla N° 200, ya sean retenidos o que pasan respectivamente.
- Los suelos gruesos son los retenidos en la malla N° 200 y los finos los que pasan dicha malla.

- Un suelo se considera grueso, si más del 50% de las partículas del mismo, son retenidos en la malla N° 200, y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicha malla
- Los suelos están separados en tres divisiones: Suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos altamente orgánicos.
- Los suelos de grano grueso se dividen en Gravas “G” (gravel) y Arenas “S” (sand). Las gravas son aquellos suelos que tienen un porcentaje mayor de la fracción gruesa retenida en el tamiz N° 4, y las arenas son aquellos que su porción mayor pasa por el tamiz N° 4.
- Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un subfijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipo de suelos: grava (G), arena (S), limo (M), arcilla (C), orgánico (O) y turba (Pt)
- Los subfijos indican subdivisiones en dichos grupos: bien gradado (W), pobremente gradado (P), limoso (M), arcilloso (C), LL menor a 50% (L) y LL mayor a 50% (H).
- Las gravas G y las arenas S, se subdividen en cuatro grupos secundarios, GW, GP, GM y GC y SW, SP, SM y SC, respectivamente, según la cantidad y tipos de los finos y forma de la curva granulométrica.
- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (clay). En combinación con los símbolos genéricos, da lugar a los grupos GC y SC.
- Los suelos de grano fino se dividen en limos orgánicos (M), arcillas inorgánicas (C), y limos y arcillas orgánicas (O). Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdividen, según su límite líquido en dos grupos.
- Si el Límite Líquido es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja, se añade al símbolo genérico la letra L (low compressibility), obteniéndose por esta combinación los grupos ML, CL y OL.
- Los suelos finos con Límite Líquido mayor de 50%, es decir de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H (high compressibility), obteniéndose así los grupos MH, CH y OH.

- Los suelos altamente orgánicos son usualmente muy compresibles y tienen características inadecuadas para la construcción. Se clasifica dentro del grupo designado por el símbolo PT.

El cuadro de clasificación correspondiente al Sistema Unido de Clasificación de Suelos (SUCS) que se presentan a continuación, ilustran que sólo la granulometría y los límites de Atterberg son requisitos necesarios para clasificar un suelo. Si menos del 12% pasa la malla N° 200, es necesario determinar el Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Concavidad (Cc) para establecer si el suelo es bien o pobremente gradado. Si más de un 12% pasa la malla N° 20, el Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Concavidad (Cc) no tienen significación alguna y solo es necesario determinar los Límites de Atterberg para poder clasificar un suelo.

Cuadro N° 08.1:
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS

DIVISION MAYOR		GRUPO SIMBOLOS	DESCRIPCION	CRITERIO DE CLASIFICACION DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO	Mas de la mitad del material es menor que el tamiz N° 200 (Mas de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4)	GRAVAS	GW	Grava bien graduada o mezcla de arena y grava. Poco o ningunos finos	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Mayor que 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3 No cumple con todos los requerimientos de gradación GW Límites de Atterberg por debajo de la línea "A" o lp menor que 4 Límites de Atterberg por encima de la línea "A" o lp mayor que 7 Los casos sobre la línea "A" con lp entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos duales	
			GP	Grava mal graduada o mezcla de arena y grava. Poco o ningunos finos		
			GM	d		Grava con finos. Grava mal graduada muy limosa. Mezcla grava arena y arcilla
				u		Grava con finos. Grava mal graduada muy limosa. Mezcla grava arena y arcilla
			GC	Mezcla bien graduada de grava, arena y arcilla. Excelente aglutinante		
			Mas de la mitad del material es menor que el tamiz N° 40 (Mas de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz N° 4)	ARENAS		ARENA LIMPIA
	SP	Arena mal graduada. Arena gravilosa. Pocos o ningunos finos				
	ARENA CON FINOS	d			Arena con finos. Arena muy limosa. Mal graduada mezcla arena y arcilla	
		u			Arena con finos. Arena muy limosa. Mal graduada mezcla arena y arcilla	
	SM	Arena con finos. Arena muy limosa. Mal graduada mezcla arena y arcilla				
	SC	Mezcla bien graduada de arena y arcilla. Excelente aglutinante				
	SUELO DE GRANO FINO	Mas de la mitad del material es mayor que el tamiz N° 200	LIMO Y ARCILLA	(límite líquido es menor de 50)	ML	Limos inorgánicos y arena muy fina. Polvo roca. Arena fina con ligera plasticidad
CL					Arcilla inorgánica de baja o media plasticidad. Arcilla arenosa. Arcilla gravilosa. Arcilla limosa. Arcilla floja.	
OL					Limos orgánicos. Limos arcilla orgánica de baja plasticidad	
LIMO Y ARCILLA			(límite líquido es mayor de 50)	MH	Limos inorgánicos, arena fina micáceo o diatomáceo o suelo limoso, suelo elástico.	
				CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad. Arcilla grasas	
				OH	Arcilla orgánica de medio o alta plasticidad	
Seccion altamente orgánico		PL	Turba (pect) y otros materiales altamente orgánicos			

8.5.5.3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO

Este sistema clasifica los suelos en 8 grupos denominados numéricamente desde un A-1 hasta un A-8; originalmente requería de los siguientes datos: (1) Granulometría; (2) Límite líquido de Atterberg; (3) Límite de contracción; (4) Máximo contenido de humedad natural y (5) Equivalente de la humedad centrífuga. El sistema revisado, considera los 8 grupos básicos, pero agregó 2 sub grupos en A-1, 4 en A-2 y 2 en A-7. Los ensayos (3), (4) y (5) fueron eliminados, siendo los únicos ensayos requeridos de clasificación, el análisis granulométrico y los límites de Atterberg (LL, LP LC). Este sistema fue adoptado por la AASHTO como la norma M-145, en la que la tabla de Clasificación no presenta el grupo A-8, pero se asume como turba con base en una clasificación visual. Este Sistema de Clasificación AASHTO presenta un total de doce subgrupos de suelo, excluyendo la turba. En general, este sistema de clasificación evalúa un suelo bajo los siguientes criterios:

- Más pobre para uso en la construcción de caminos en la medida en que se avanza de izquierda a derecha en la tabla.
- Más pobre para la construcción de caminos a medida que el índice de grupo aumenta para un subgrupo particular.

a) Descripción del Índice de Grupo

Para establecer la posición relativa de un suelo dentro de un subgrupo, se desarrolló el índice de grupo IG. El índice de grupo es una función del porcentaje de suelo que pasa la malla N° 200 y de los límites de Atterberg. El índice de grupo se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula de Índice de Grupo (IG):

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

Donde:

a = La parte del porcentaje que pasa la malla N° 200 mayor de 35 y sin exceder 75, expresada como un número entero de 1 a 40.

b = La parte del porcentaje que pasa la malla N° 200 mayor de 15 y sin exceder 55, expresada como un número entero de 1 a 40.

c = La parte del límite líquido mayor de 40 y no mayor de 60, expresada como un número entero de 1 a 20.

d = La parte del índice de plasticidad mayor de 10 y sin exceder de 30, expresada como un número entero de 1 a 20.

El índice de grupo es redondeado al número entero más cercano y colocado entre paréntesis. En general, cuanto mayor es el IG menos deseable es el suelo como material de Sub Rasante ó terreno de fundación en carreteras, es decir:

- Excelente IG = de A - 1 a 0
- Buena IG = de 0 a 1
- Regular IG = de 2 a 4
- Mala IG = de 5 a 9
- Muy Mala IG = de 10 a 20

b) Descripción General de los Subgrupos

Los suelos clasificados desde un A-1 hasta el A-3 son granulares, que contienen una cantidad no mayor de 35 por ciento de material que pasa la malla N° 200.

Los suelos A-1 son materiales típicamente bien gradados, conformados por arena gruesa, arena fina y un material aglutinante que tiene poca o ninguna plasticidad.

El subgrupo A-1a, que puede contener apreciable cantidad de grava es un material de gradación más gruesa que el A-1b, que es predominantemente arena gruesa.

El grupo A-2 es también granular pero con apreciable cantidad de material aglutinante. Este material está en la frontera entre los materiales que caen

en los grupos A-1 y A-3 y los materiales limo-arcillosos de los grupos A-4 a A-7.

Los subgrupos A-2-4 y A-2-5 incluyen varios materiales en los que no más del 35 por ciento es más fino que la malla N° 200 y que tienen las características de plasticidad de los grupos A-4 y A-5.

Los subgrupos A-2-6 y A-2-7 son semejantes a los A-2-4 y A-2-5 excepto que las características de plasticidad de la porción bajo la malla N° 40 son las de los grupos A-6 y A-7.

El suelo A-3 es fino, arena relativamente uniforme, típicamente una arena fina de playa o arena eólica del desierto. Este grupo también puede incluir mezclas de arena fina aluviales pobremente gradadas, con algo de arena y grava. Son no plásticas (NP).

Los suelos A-4 están compuestos predominantemente por limo con solo moderadas cantidades de material grueso y poca cantidad de arcilla pegajosa y coloidal, contienen más de 35% de material que pasa la malla N° 200. Este tipo de suelo se encuentran frecuentemente en la superficie terrestre y proporcionan un terreno firme para la circulación cuando están secos.

Los suelos A-5 son similares a los A-4, con excepción que incluyen suelos de gradación muy mala, y contiene materiales tales como mica y diatomeas, que son productores de propiedades elásticas y estabilidades muy bajas.

Los suelos A-6 se componen predominantemente de arcilla con contenidos moderados de materiales gruesos y son materiales compresibles.

Los suelos A-7 son similares a los A-6, pero debido a las partículas de limo son elásticas. Los suelos A-7-5 tienen índices de plasticidad menores a 10 son de baja plasticidad y los suelos A-7-6 con valores cercano a 20 señalan suelos muy plásticos.

Cuadro N° 08.2:
Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO

CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35 % o menos del total de la muestra que pasa por tamíz N°40)						MATERIALES LIMO ARCILLOSOS (mas de 35% pasa por tamíz N°200)				
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
GRUPO	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5
GRANULOMETRIA (% que pasa)											
N°10	50 máx										
N°40	30 máx	51min	51min								
N°200	15 máx	10 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 min	36 min	36 min	36 min
CARACTERISTICAS DE LA FRACCION QUE PASA EL TAMÍZ N°40											
LIMITE LIQUIDO				40 max	41min	40 max	41min	40 máx	41min	40 máx	41min
INDICE DE PLASTICIDAD	6 max		N.P.	10 max	10 max	11min	11min	10 max	10 max	11min	11min (1)
INDICE DE GRUPO (2)	0		0	0		4 max		8 max	12 max	16 max	20 max
TIPOS DE MATERIAL MAS DESTACADOS COMO CONSTITUYENTES	Fragmentos de Piedra Grava y Arena		Arena fina	Limoso o Arcilloso Grava y Arena			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
CALIDAD GENERAL COMO SUB BASE	EXCELENTE A BUENA						REGULAR A POBRE				

8.6. PROCTOR MODIFICADO

8.6.1. GENERALIDADES

Se llama compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, esfuerzo-deformación y disminuir la compresibilidad de los mismos; por lo general el proceso implica una reducción de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volumen de importancia, ligados a pérdida de volumen de aire a fin de aumentar

la densidad específica seca. En 1,933, R.R. Próctor propuso un método que permite reproducir en laboratorio, resultados que se deben obtener en obra, y que consiste en aplicar a un suelo cierta energía para compactarlo, con lo que el peso volumétrico obtenido varía con el contenido de humedad según una curva, en la cual se puede determinar para un cierto grado de humedad, el peso volumétrico seco máximo de ese suelo y esa energía de compactación. Dicho método original a lo largo de los últimos años ha sufrido variaciones en su ejecución, por diversas organizaciones dedicadas a la construcción, con lo cual se ha denominado a la prueba de compactación dinámica como Próctor Modificado.

8.6.2. OBJETIVO

Mediante un molde de volumen dado y un pisón de 10 Lb que cae libremente desde una altura de 18", determinar un contenido óptimo de humedad para el cual se alcanza la máxima densidad seca a una determinada energía de compactación.

Existen tres alternativas de ensayos en función al molde y número de golpes, y solo se procede a realizar alguno de ellos, siempre y cuando se cumpla en el ensayo granulométrico de una muestra que, el 30% en peso sea retenido en la malla de 3/4".

Método A

- Si el 20% o menos del material es retenido en la malla N°4.
- Usar material que pasa la malla N°4.
- En molde de 4" (1/30 pie³), 5 capas y 25 golpes/capa.

Método B

- Si el 20% o menos del material es retenido en la malla de 3/8" y más del 20% del material es retenido en la malla N°4.
- Usar material que pasa la malla de 3/8".
- Usar molde de 4" (1/30 pie³), 5 capas y 25 golpes/capa.

Método C

- Si menos del 30% del material es retenido en la malla 3/4" y mas del 20% es retenido en la malla de 3/8".
- Usar material que pasa la malla de 3/4".
- Usar molde de 6" (1/13.33 pie3), 5 capas y 56 golpes/capa.

8.6.3. EQUIPOS

- Tamices de 2", 3/4", 3/8" y N° 4.
- Martillo de goma.
- Brocha y badilejo.
- Molde cilíndrico de próctor estándar ó modificado
- Pisón de 10 lb de peso.
- Horno Eléctrico de 110 ± 5 °C.
- Balanza de tres escalas
- Balanza de 20 kls de capacidad.
- Balanza de tres escalas con sensibilidad de 0.01 %
- Regla metálica.
- Probeta graduada de 500 cm³
- Bandeja metálica grande y cucharón metálico.
- Cápsulas metálicas (Taras)

8.6.4. PROCEDIMIENTO

- Se requiere de 40 Kg. en promedio de material de ensayo, el cual debe ser secado preferiblemente al aire para un mejor manejo, y luego disgregar los terrones del material con el martillo de goma, para no alterar sus propiedades mecánicas.
- Tamizar el material por los tamices 2", 3/4", 3/8" y N° 4 , descartando el material retenido en la malla de 2".
- De acuerdo al ensayo previo de granulometría, seleccionar el método de ensayo a practicar y preparar cuatro puntos de ensayo en peso del material a utilizar. Si es el método "A" ó " B" se tomará 2.50 Kg, y si es el método "C" será 6.00 Kg.

- Colocar el material de un punto en la bandeja y adicionar agua el 2% ó 4% de su volumen según se estime por conveniente y revolverlo manualmente con el material hasta lograr una mezcla uniforme.
- Dividir la mezcla en cinco partes proporcionalmente iguales y depositar con la cuchara metálica una de ellas en el molde (con extensión) de ensayo correspondiente, para luego proceder a compactarlo con el pisón en caída libre y en el número de golpes que especifica el método determinado y repartidos uniformemente en toda la superficie del material. Repetir nuevamente la misma operación con las otras cuatro partes de la muestra del material.
- Compactadas las 5 partes de la muestra, retirar la extensión desmontable y proceder a enrasarla con la regla metálica a nivel del borde del molde.
- Pesar la muestra húmeda en el molde sin extensión y registrar el peso obtenido. Luego desechar el material del molde para su limpieza, y de la parte central separar en una tara metálica una porción de muestra para su secado en el horno eléctrico para posteriormente determinar su contenido de humedad.
- Todo el procedimiento descrito anteriormente se realiza para obtener un punto del gráfico, por lo que se deberá repetir la misma operación para otros tres puntos adicionales como mínimo, incrementando para cada nuevo punto sucesivamente el 2% de agua de su volumen.

8.6.5. CÁLCULOS

Se calcula la densidad seca de cada uno de los especímenes, con la relación siguiente:

$$D_s = \frac{D_h}{\left(1 + \frac{w}{100}\right)}$$

Donde:

D_s = Densidad seca

w = Contenido de humedad de la muestra

D_h = Densidad húmeda de la muestra

$$Dh = \frac{(P1 - P2)}{V}$$

P1 = Peso de la muestra húmeda más molde

P2 = Peso del molde

V = Volumen del molde

Con los datos obtenidos de contenido de humedad y densidad seca de cada uno de los especímenes compactados, son graficados los puntos en escala natural, donde el eje vertical representa la densidad seca y el eje horizontal representa el contenido de humedad.

Trazar una curva que conecte los puntos graficados y por el punto máximo de la curva obtenida, trazar una recta horizontal y vertical, obteniendo la máxima densidad seca para una determinada humedad.

8.7. VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR)

8.7.1. GENERALIDADES

Ensayo conocido como CBR, que son las iniciales en inglés (California Bearing Ratio) del método empírico desarrollado por los ingenieros T.E. Stanton y O. J. Porter del Departamento de Carreteras de California para determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas. Se expresa en porcentaje como, la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo de piedra partida. Los valores de carga unitaria para las diferentes profundidades de penetración dentro de la muestra patrón están determinados. El CBR que se usa para proyectar es el valor que se obtiene para una penetración de 0.1 ó de 0.2. y se elige el que sea mas grande de los dos. El CBR de un suelo varía con su compactación, su contenido de humedad al compactar y el contenido de humedad cuando se ensaya.

8.7.2. OBJETIVO

Determinar la resistencia al esfuerzo cortante por punzonado de los materiales granulares compactados. Dicha resistencia para las mismas condiciones de carga y penetración en el material granular compactado, se expresa como:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Esfuerzo de penetración en el material estudiado}}{\text{Esfuerzo de penetración en el material patrón}} \times 100$$

8.7.3. EQUIPO

- Tamices de 2", 3/4", 3/8" y N° 4.
- Molde cilíndrico de CBR
- Disco espaciador
- Pisón de 10 Lb de peso
- Horno Eléctrico de 110 ± 5 °C
- Balanza de tres escalas (sensibilidad al 0.01 gr)
- Balanza de 20 kls. (sensibilidad ± 1 gr.)
- Regla metálica
- Probeta graduada de 500 cm³
- Bandeja metálica grande y cucharón metálico
- Cápsulas metálicas (Taras)
- Máquina de Prueba o gata de tornillo con tornillo de carga
- Vástago ajustable y juego de placas (10 Lb)
- Trípode y micrómetro para medir la expansión del suelo
- Papel filtro cortado en círculos de 6" de diámetro.

8.7.4. PROCEDIMIENTO

- Del mismo material seleccionado para el ensayo próctor, se preparan tres muestras secas en peso de dicho material y el molde de CBR añadiendo su anillo de extensión y fijándola a su placa de base mediante tuercas.
- Preparar en una probeta una cantidad de agua similar en porcentaje del contenido óptimo de humedad determinado para la máxima densidad seca

en el ensayo de próctor. Cantidad de agua que será igual para las tres muestras.

- Remover en una bandeja la muestra con el agua hasta lograr una mezcla uniforme y dividirla en cinco partes proporcionales.
- Colocar dentro del molde el disco espaciador y un papel filtro sobre este, para adicionar muestra, y someterlas a una compactación de 56 golpes con el pisón.
- Quitar la extensión del molde y enrasar la muestra con la regla metálica con el borde del molde, y con la parte sobrante depositarla en una tara para su determinación del contenido de humedad.
- Se invierte el molde, colocándole previamente un papel filtro y retirar el disco espaciador, para luego proceder a registrar el peso de la muestra húmeda.
- Cargar sobre la muestra el vástago graduable y las placas metálicas de 10 Lb, y colocar el molde en un tanque de agua en posición horizontal y a nivel, para luego montar el trípode y el extensómetro para registrar la lectura inicial.
- Repetir todo el procedimiento descrito hasta ahora, para las otras dos muestras de suelo, con la diferencia que en el proceso de compactación con el pisón, para la segunda muestra será a 25 golpes y de la tercera muestra a 12 golpes.
- Lecturar el extensómetro cada 24 horas, de cada molde sumergido y anotarlas en los formatos correspondientes. Al cabo de 96 horas registrar la lectura final, para calcular la expansión del material. La expansión total registrada es expresada en porcentaje referida a la altura inicial que tuvo la muestra.
- Al cabo de los cuatro días, extraer los tres moldes sumergidos y dejar drenando el agua libre que queda por un espacio de 15 minutos de tiempo, cuidando de no alterar la muestra para luego proceder a la prueba de penetración.
- Colocar el espécimen en la prensa con su respectiva sobrecarga, asentar el pistón sobre la muestra, verificando el cero el extensómetro que mide la

penetración para la aplicación de la carga y el extensómetro que va en el anillo para medir la carga.

- Se hinca el pistón a velocidad constante de penetración de 0.05" por minuto, y se anota las lecturas del dial de carga para penetración de 0.25, 0.05, 0.075, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40 y 0.50 pulgadas.
- Una vez penetrado el pistón en la muestra (0.5"), se retira el molde de la prensa, se quitan las pesas y la base metálica, para finalmente desechar el material.

8.7.5. CÁLCULOS

- Se determina la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Próctor en la forma indicada anteriormente.
- Para cada molde, se calcula su densidad húmeda y su densidad seca, considerando que en el volumen del molde, es el volumen neto, sin tomar en cuenta la altura del espaciador, ya que allí no se coloca la muestra.
- La densidad seca del molde de 56 golpes, deberá coincidir con la obtenida en la prueba de Próctor modificado.
- Se gráfica a escala natural: La Penetración Vs. La Carga necesaria para esa penetración, siendo este valor el de la lectura corregida por calibración del instrumento, resultando 3 curvas, una para cada número de golpes, 56,25 y 12.
- Si las curvas presentan inflexión al inicio, se corrigen trazando una tangente en el punto en que se unen la parte recta y la parte cóncava de la curva, y el punto donde se intercepta el eje de las abscisas, se considera el cero corregido.
- A partir del valor cero, corregido en el caso de la curva que lo posee, se mide 0.1" de penetración, y se traza la vertical. En el punto donde se intercepta con la curva o la tangente en el caso de la curva corregida, se toma el valor de la carga.
- Finalmente se plotea al costado de la curva del Próctor, la curva del porcentaje de Valor Relativo de Soporte (CBR) alcanzado en cada muestra vs. La densidad seca para cada caso. Se calcula el valor del CBR para el 95% de la máxima densidad seca si se trata de suelos cohesivos y al 100% si es de no cohesivos.

Cuadro N° 08.3:

Características Físicas:

Análisis Granulométrico	AASHTO T 88	ASTM D 422	MTC E 204
Límites de Consistencia	AASHTO T 89	ASTM D 4318	MTC E110/111
Contenido de Humedad		ASTM D 2216	MTC E 108

Fuente: (EG - 2013) "Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción"

Cuadro N° 08.4:

Características Mecánicas:

Compactación Próctor Modificado	AASHTO T 180	ASTM D 1557	MTC E 115
---------------------------------	--------------	-------------	-----------

Fuente: (EG - 2013) "Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción"

Luego, en se anexan el estudio de suelos de cada uno de los ensayos citados, para el cual se realizó tres calicatas a cielo abierto.

8.7.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a la clasificación de los suelos, espesores de estratos y características físicas, se definió el perfil estratigráfico de la vía.

El estrato donde se encuentra el nivel de subrasante es predominantemente SC (arena arcillosa).

Se debe realizar el perfilado y compactación a nivel de subrasante para un 95% de la máxima densidad seca según el ensayo Próctor Modificado, para garantizar el valor del CBR asumido.

De encontrarse en obra suelos, a nivel de subrasante, de inferiores características mecánicas (suelos orgánicos y/o con muy bajo % de CBR), se procederá a su reemplazo con material de cantera (mejoramiento de sub rasante) en una profundidad a ser determinada in situ que garantice la eliminación del material de baja calidad.

8.8. ESTUDIO Y CRITERIOS EN LA SELECCIÓN DE CANTERAS

8.8.1. GENERALIDADES

Para dotar de las características técnicas adecuadas a la vía es necesario emplear materiales de cantera para la conformación de las capas granulares del pavimento y fabricación de concreto.

Se hizo una exploración con el fin de ubicar puntos con existencia de bancos de materiales fluvio-aluvionales, debido a que estos constituyen las fuentes más apropiadas de insumos, ya sea por la relativa facilidad para los procesos de explotación, así como por su relativa calidad respecto a otras alternativas.

8.8.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Evaluar las características físicas y mecánicas de los diferentes materiales existentes en la zona y que pueden ser empleados en la ejecución de las diferentes partidas de la obra en proyecto.
- Definir la ubicación de las canteras que van a ser empleadas.

8.8.3. CANTERAS PROYECTADAS

En cuanto al material para los rellenos con material de préstamo deberá hacerse con material de préstamo de la cantera ubicada a 2.2 Km de Arapa, cuyos ensayos de laboratorio se encuentran en los anexos.

Para la fabricación de concreto se dispone de canteras de origen fluvio aluvial, como son las del río del puente Samán, cuyos ensayos de laboratorio se encuentran en los anexos.

Previo a su empleo en la fabricación de concreto, el material debe contar con su respectivo “Diseño de Mezclas”, la cual se tiene en los anexos.

Canteras para sub base y base

- Cantera N° 01

Canteras para mezcla de concreto

- Cantera N° 02

Cantera N° 01 ubicado A 2.2 km del Distrito de Arapa con acceso de 50 m siendo la única zona de extracción por las características del terreno (producir deslizamientos) además siendo la más cercana al proyecto, esto a razón del tipo de material es similar en todo el distrito de Arapa, explotar en una cantera más alejada solo generaría mayor costo.

Cuadro N° 08.04
Características de cantera N° 01

N° 01: CANTERA			
Ubicación	A 2.2 Km de Arapa sector Ilachuni		
Acceso	Lado derecho del eje a 50 m.,		
Potencia	180,000 m3.		
Propietario	Municipalidad Distrital de Arapa		
Período de Explotación	En época de estiaje (Mayo – Noviembre), con cargador frontal y/o excavadora.		
Profundidad	0.00 m		
Origen			
Color	Gris oscuro		
Textura	Rugosa		
Dureza	Alta		
	USOS	RENDIMIENTO	TRATAMIENTO
	SR	95%	
	SBG	95%	
<i>Observación:</i>			
1.- Tiene acceso pero es necesario mejorarlo el talud de corte por su pendiente fuerte			

Cantera N° 02 “Puente Samán” ubicado en el Distrito de Samán - Azángaro con acceso de 50 m elegido por la facilidad de ingreso y su situación de legal (Propiedad del Distrito de Samán).

Cuadro N° 08.04
Características de cantera del Rio Cuyocuyo

N° 02: CANTERA "Puente Samán"			
Ubicación	Distrito de Samán		
Acceso	A 50 m del puente		
Potencia	60,000 m3.		
Propietario	Municipalidad Distrital de Samán		
Período de Explotación	En época de estiaje (Mayo – Noviembre), con cargador frontal y/o excavadora.		
Profundidad	1.00 m		
Material	Arena y Piedra del río Samán		
Origen	Fluvial		
Color	Gris oscuro		
Textura	Ligeramente rugosa		
Dureza	Alta		
	USOS	RENDIMIENTO	TRATAMIENTO
	SR	95%	Z y M
	SBG	95%	Z y M
<i>Observación:</i>			
1.ª Tiene acceso que es necesario mejorar en toda su longitud			

Los de los ensayos de las calicatas así como los ensayos de las canteras los diseño de sub base y base se adjuntan en el los anexos Tomo II.

Para la conformación de las explanaciones de la vía, deberá hacerse con material que cuya granulometría y gradación se asemeje a las especificaciones técnicas planteadas por el MTC:

a) Granulometría

La composición final de la mezcla de agregados presentará una granulometría continua y bien graduada (sin inflexiones notables) según una fórmula de trabajo de dosificación aprobada por el Supervisor y según uno de los requisitos granulométricos que se indican en el Cuadro N° 08.5.

Para las zonas con altitud de 3000 msnm se deberá seleccionar la gradación "A".

Cuadro Nº 08.5:

Requerimientos Granulométricos para Base Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (Nº 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (Nº 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (Nº 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (Nº 200)	2 – 8	5 – 15	5 -15	8 – 15

Fuente: (EG - 2013) "Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción"

El material de Base Granular deberá cumplir además con las siguientes características físico-mecánicas y químicas que a continuación se indican:

Cuadro Nº 08.6:

Características físico-mecánicas y químicas

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)	Tráfico Ligero y Medio	Mín 80%
	Tráfico Pesado	Mín 100%

Fuente: (EG - 2013) "Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción"

La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Contratista deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente o viceversa.

b) Agregado Grueso

Se denominará así a los materiales retenidos en la Malla Nº 4, los que consistirán de partículas pétreas durables y trituradas capaces de soportar

los efectos de manipuleo, extendido y compactación sin producción de finos contaminantes.

Deberán cumplir las siguientes características:

Cuadro N° 08.7:
Requerimientos Agregado Grueso

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos	
				Altitud	
				< Menor de 3000 msnm	> 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		80% min.	80% min.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		40% min.	50% min.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx	40% max
Partículas Chatas y Alargadas (1)	MTC E 221	D 4791		15% máx.	15% máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	D 1888		0.5% máx.	0.5% máx.
Pérdida con Sulfato de Sodio	MTC E 209	C 88	T 104	--	12% máx.
Pérdida con Sulfato de Magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	--	18% máx.

Fuente: (EG - 2013) "Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción"

La relación ha emplearse para la determinación es: 1/3 (espesor/longitud)

c) Agregado Fino

Se denominará así a los materiales pasantes la malla N° 4 que podrán provenir de fuentes naturales o de procesos de trituración o combinación de ambos.

Cuadro N° 08.8:
Requerimientos Agregado Grueso

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		< 3 000 m.s.n.m.	> 3 000 m.s.n.m
Índice Plástico	MTC E 111	4% máx	2% máx
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín	45% mín
Sales solubles totales	MTC E 219	0,55% máx	0,5% máx

Índice de durabilidad

MTC E 214

35% mín

35% mín

Fuente: (EG - 2013) "Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción"



CAPÍTULO IX

ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

9.1. INTRODUCCION

El presente estudio contempla la evaluación hidrológica realizada en la zona de Proyecto, con la finalidad de identificar el área de cuenca y sus características.

La evaluación hidrológica ha sido orientada al diseño de estructuras hidráulicas de captación y conducción de aguas de lluvia

9.2. OBJETIVOS

Análisis y revisión de la información hidrometeorológica del ámbito de influencia de la Localidad de Arapa que se encuentran circunscrito en la sub cuenca del río Lulipunco y áreas adyacentes, incidiendo en los aspectos de precipitación y régimen de descargas, definiendo los orígenes de recurso hídrico de agua disponibles que garanticen la operatividad del sistema de drenaje de la Avenida Simón Bolívar, siendo los objetivos básicos:

- ✓ Cuenca como unidad natural y su zonificación.
- ✓ Problemática general de los procesos de Degradación del suelo, el agua y la vegetación natural en la zona.
- ✓ Determinación de caudales de máxima avenida de las microcuencas urbanas y no urbanas.
- ✓ Erosión de cuenca.

9.3. INFORMACIÓN BASICA

Para la elaboración del presente estudio se ha recopilado la siguiente información básica de diferentes estudios efectuados y datos que se tienen.

9.3.1. CARTOGRAFIA

- ✓ Cartas Nacionales Escalas: 1/100,000 del Instituto Geográfico Nacional, Puno-Arapa, Hoja-31v .

- ✓ Planos a Escala 1/2500
- ✓ IPROGA, metodología para la elaboración de planes maestros de cuencas, Instituto de promoción para la gestión del Agua.

9.3.2. CLIMA

El distrito de Arapa cuenta con un clima relativamente templado en comparación con los mas distritos de la zona que son un tanto secos y vigorizantes en épocas del año, en el distrito de Arapa caen muy fuertes lluvias en la época de verano que comprenden los meses de diciembre a febrero, las mismas que perjudican en tal caso a las comunicaciones con distintos distritos por las carreteras que no se encuentran en un buen estado y también fuertes heladas en la época de invierno que comprende los meses desde junio hasta mediados de setiembre.

Su clima templado favorece mucho a su agricultura. En su ortografía distinguimos que tiene una característica de pequeños valles serranos no se aprecian cerros de gran altura.

9.3.3. HIDROMETEROLOGÍA

La subcuenca del río Lulipunco no dispone de estaciones de control limnimétricas, limnigráficas ni pluviográficas. Se dispone solamente de una estación pluviométrica controlado por SENAMHI ubicado en la zona de estudio.

Cuadro N° 09.1
Hidrometeorología

Estación Pluviométrica	Ubicación		Altitud (msnm)	Distrito
	Latitud	Longitud		
Arapa	26° 15' S	80° 52' W	3851	Arapa

Fuente: Estación de Arapa

Por esa razón, han sido de vital importancia durante el desarrollo del estudio hidrológico la evaluación de los registros históricos de descargas y precipitaciones del río Lulipunco y de cuencas vecinas como: Ramís, Huancané, y el lago Titicaca propiamente dicho

La información hidrometeorológica fue obtenida del SENAMHI

9.3.4. HIDROMETRÍA

Son los límites superiores de la subcuenca de del rio lulipunco, estudio cuya divisoria de aguas colinda con las áreas adyacentes de la quebrada Ticara y el cerro Mumu tal como se muestra en la Fig. N° 09.1

9.3.5. ESTUDIOS ANTERIORES Y DOCUMENTOS TÉCNICOS

- ✓ Mapas Geológicos del cuadrángulo de la Provincia de Azángaro.
- ✓ Perfil de Proyecto de Inversión Pública drenaje de Arapa.

9.3.6. RECONOCIMIENTO DE CAMPO

El reconocimiento de campo permite tener una apreciación de la situación actual de las características hidrológicas y de drenaje de la vía. Como resultado del trabajo de campo, se contó con información hidrológica de campo de las quebradas (del perfil de proyecto de inversión pública drenaje de Arapa).

9.4. DESCRIPCIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RIO LULIPUNCO

La cuenca del rio lulipunco es compartida por las áreas adyacentes de la quebrada Ticara y el cerro Mumu, con una superficie de 563.10 has. y un caudal medio en la desembocadura del lago de arapa de 43.30m³/s (datos del perfil de inversión pública drenaje de Arapa).

Durante el desarrollo del estudio hidrológico ha sido muy importante el componente referido a los trabajos de campo que se han efectuado intensivamente en el ámbito de influencia del Proyecto. Es importante destacar que la configuración topográfica del ámbito del proyecto que está conformada por áreas en su estado natural y áreas urbanas propiamente dicho, ha motivado a dividir el área de Estudio en una zona alta no urbana y la zona urbana constituido básicamente por la parte baja de la subcuenca del río Lulipunco y áreas adyacentes en la Fig N° 09.1).

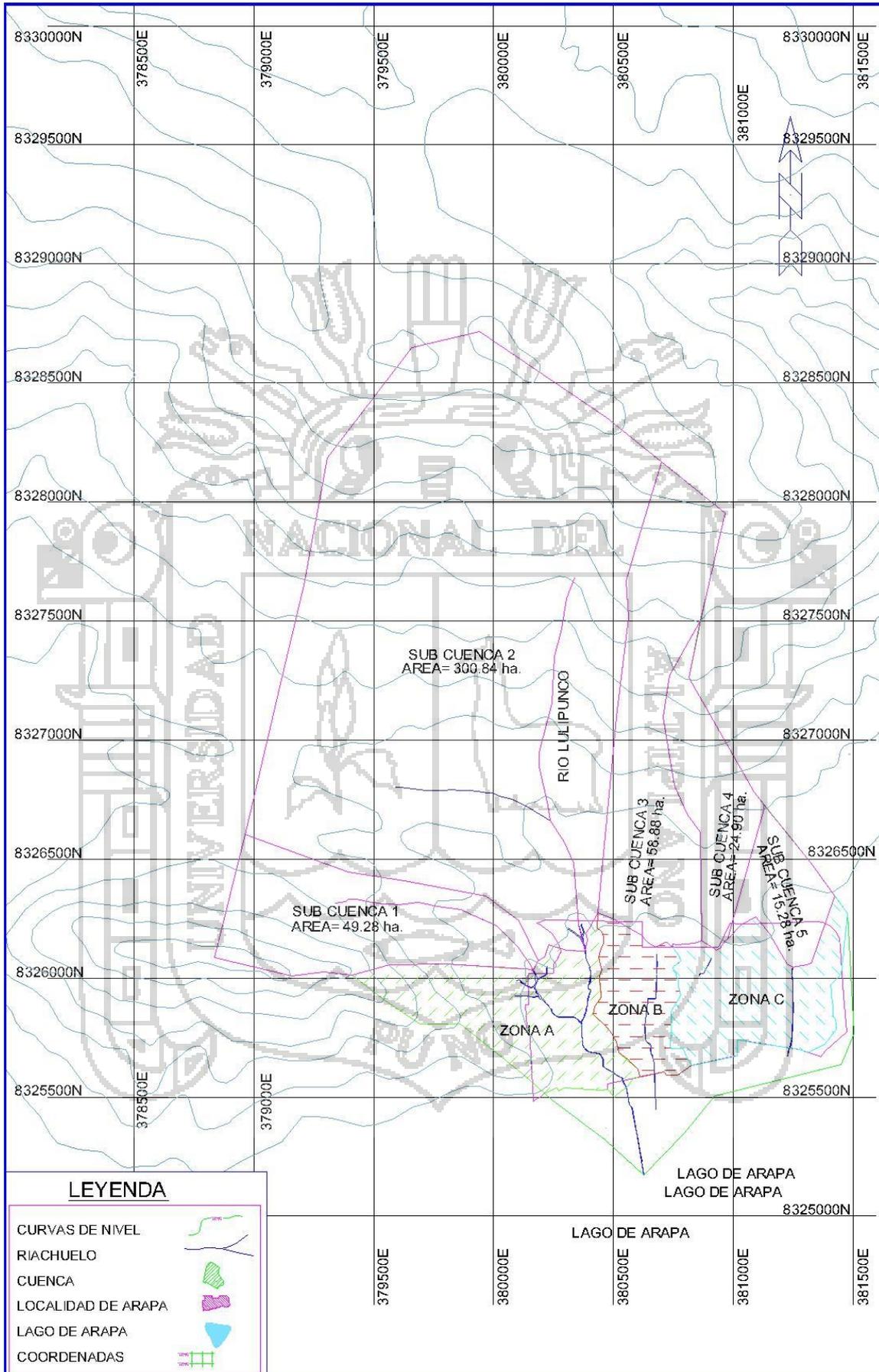
9.5. EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN METEREOLÓGICA

La evaluación de la información hidrometereológica ha sido enfocada en los siguientes aspectos principales:

- ✓ Análisis estadístico general de la información climatológica de la subcuenca del río lulipunco.
- ✓ Análisis estadístico de las series de descarga medias registradas en la estación de Arapa
- ✓ Análisis de Tormentas.
- ✓ Análisis regional para la determinación de las descargas máximas en los sitios de interés.
- ✓ Análisis especial de las precipitaciones registradas, que servirán de apoyo para la generación de las descargas medias en el sitio de las lagunas de tratamiento, captaciones y otros.



Figura Nº 09.1: Subcuencas y Zonas de estudio.



9.5.1. PRECIPITACIÓN, REGISTROS E INFORMACIÓN DISPONIBLE

Los datos de precipitación fueron obtenidos de la estación de Arapa ubicadas en la zona de influencia del proyecto, las cuales cuentan con datos de precipitaciones, mensual del periodo 1978-2012, La información disponible corresponde a precipitación total mensual

En el cuadro N° 09.1 se presenta los registros históricos de la estación pluviométrica de Arapa donde se especifica algunas características, como: altitud, coordenadas geográficas. En cuanto al período de registros, son relativamente uniformes; el período de observación se inicia en 1978 al 2012.

Cuadro N° 09.1:
Precipitación Total Mensual

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)
ESTACION ARAPA

LATITUD: 26°15' S
LONGITUD: 80°52' W
ALTITUD: 3851.58 msnm

REGION : PUNO
PROVINCIA: AZANGARO
DISTRITO : ARAPA

N°	ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAX	MIN	TOTAL	PROMEDIO
1	1978	116.0	74.5	151.0	54.5	9.0	0.0	0.0	4.7	56.5	28.5	50.5	40.0	151.0	0.0	585.2	48.8
2	1979	121.0	60.4	142.6	40.0	2.0	0.0	0.0	5.0	18.0	22.0	55.6	128.1	142.6	0.0	594.7	49.6
3	1980	23.7	100.1	64.8	15.7	64.7	0.0	0.0	2.5	13.0	33.3	63.2	83.9	100.1	0.0	464.9	38.7
4	1981	58.1	106.0	103.6	5.5	25.0	1.0	18.0	19.6	69.5	65.4	14.2	151.6	151.6	1.0	637.5	53.1
5	1982	112.5	132.4	82.2	16.6	13.4	4.5	9.5	5.9	9.6	50.8	112.5	64.1	132.4	4.5	614.0	51.2
6	1983	99.0	62.7	43.9	40.7	0.0	1.2	9.5	3.7	26.1	21.1	59.7	72.9	99.0	0.0	440.5	36.7
7	1984	161.3	88.4	144.4	77.4	11.5	0.0	0.0	0.2	56.2	45.0	27.1	121.5	161.3	0.0	733.0	61.1
8	1985	121.0	166.3	24.5	35.9	2.8	0.0	0.0	12.6	2.0	35.2	53.1	76.7	166.3	0.0	530.1	44.2
9	1986	171.2	101.6	123.8	37.2	9.9	0.0	1.4	5.1	36.0	35.2	112.1	123.5	171.2	0.0	757.0	63.1
10	1987	201.7	107.6	162.2	85.8	17.3	0.5	5.4	16.4	44.9	38.1	58.0	40.0	201.7	0.5	777.9	64.8
11	1988	227.0	132.8	118.9	35.9	1.7	8.5	1.7	41.6	16.8	44.9	36.7	78.1	227.0	1.7	744.6	62.1
12	1989	164.3	128.0	138.2	24.4	28.7	8.8	0.0	0.0	0.0	2.0	6.7	45.3	164.3	0.0	546.4	45.5
13	1990	164.9	71.4	63.6	11.8	19.4	2.6	4.0	10.8	68.6	0.3	23.4	83.6	164.9	0.3	524.4	43.7
14	1991	95.4	148.5	101.5	7.4	5.6	0.0	3.4	0.0	38.6	68.6	109.4	132.6	148.5	0.0	711.0	59.3
15	1992	196.1	108.8	103.6	45.6	0.8	10.2	2.0	0.0	11.0	23.2	137.2	142.0	196.1	0.0	780.5	65.0
16	1993	173.0	59.6	139.5	113.0	0.2	0.0	0.0	8.4	0.2	111.2	73.6	134.4	173.0	0.0	813.1	67.8
17	1994	212.6	125.2	166.6	28.0	19.0	0.0	25.1	50.4	85.6	71.7	53.8	60.4	212.6	0.0	898.4	74.9
18	1995	172.2	135.3	219.7	80.1	4.0	1.0	0.0	65.1	8.8	83.9	89.4	170.8	219.7	0.0	1030.3	85.9
19	1996	167.3	44.6	141.4	63.3	0.4	0.0	0.0	1.8	74.1	93.4	110.5	69.4	167.3	0.0	766.2	63.9
20	1997	52.8	106.5	64.0	45.6	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7	36.4	18.7	74.3	106.5	0.0	434.0	36.2
21	1998	212.5	160.3	294.6	38.8	17.3	1.5	0.0	0.0	0.0	74.6	171.3	159.1	294.6	0.0	1130.0	94.2
22	1999	301.1	263.3	152.8	111.9	0.0	36.8	0.0	4.7	18.9	20.2	166.1	228.7	301.1	0.0	1304.5	108.7
23	2000	105.2	327.8	188.9	57.4	0.0	0.0	2.1	44.8	48.2	69.2	68.1	97.3	327.8	0.0	1009.0	84.1
24	2001	130.8	46.9	86.6	21.7	2.8	4.3	22.2	33.3	6.0	38.5	125.0	48.5	130.8	2.8	566.6	47.2
25	2002	164.2	56.9	163.0	127.9	59.4	0.0	8.0	0.0	6.0	58.3	6.6	137.5	164.2	0.0	787.8	65.7
26	2003	116.7	73.9	85.9	75.1	3.9	11.7	0.0	9.2	50.2	24.7	27.2	35.6	116.7	0.0	514.1	42.8
27	2004	113.6	84.4	27.3	19.6	6.7	72.8	0.0	5.5	19.5	105.9	47.0	104.2	113.6	0.0	606.5	50.5
28	2005	148.9	96.1	117.4	31.0	11.5	59.6	1.8	2.3	16.0	37.6	51.8	71.7	148.9	1.8	645.7	53.8
29	2006	99.6	64.7	32.8	11.9	0.0	11.0	6.0	86.7	13.3	73.1	58.3	62.0	99.6	0.0	519.4	43.3
30	2007	125.5	73.1	111.7	91.1	11.8	3.5	0.0	19.8	22.0	103.8	74.7	111.6	125.5	0.0	748.6	62.4
31	2008	100.6	154.9	107.5	145.2	8.0	0.4	0.0	3.0	11.9	21.0	72.4	95.5	154.9	0.0	720.4	60.0
32	2009	82.4	122.8	131.5	6.4	4.3	8.0	3.9	14.9	28.0	49.6	70.0	95.1	131.5	3.9	616.9	51.4
33	2010	107.0	86.0	96.0	58.9	12.0	18.1	4.2	17.8	16.1	51.4	51.4	74.1	107.0	4.2	593.0	49.4
34	2011	118.9	105.0	103.8	39.5	13.6	2.5	3.7	8.8	22.3	39.8	62.8	98.6	118.9	2.5	619.3	51.6
35	2012	106.4	117.5	125.3	51.7	9.4	10.6	3.5	17.6	25.1	52.8	66.4	93.0	125.3	3.5	679.2	56.6
MAX		301.1	327.8	294.6	145.2	64.7	72.8	25.1	86.7	85.6	111.2	171.3	228.7	327.8	4.5	1304.5	108.7
PROMEDIO		138.4	111.3	117.9	50.1	11.3	8.0	3.9	14.9	27.8	49.4	68.1	97.3	163.4	0.8	698.4	58.2
MIN		23.7	44.6	24.5	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	6.6	35.6	99.0	0.0	434.0	36.2

Fuente: Senamhi

9.5.2. ANÁLISIS DE LAS PRINCIPALES VARIANTES METEOROLÓGICAS

Es importante destacar que ninguna de las estaciones de control de la cuenca del lago de Arapa está equipada con estaciones de control limnimétricas, limnigráficas ni pluviográficas por lo que se ha incorporado en la evaluación los registros de la estación pluviográfica de Puno, dado que el lago de Arapa es un afluente del lago titicaca.

Para el análisis de las variables se han tomado en cuenta las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca del lago titicaca y que pertenezcan al mismo régimen hidrometeorológico, como son los datos del pluviógrafo de la estación Salcedo CP 708 – puno.

Cuadro N° 09.2:

Duración-Intensidad Máxima – Estación Salcedo Cp-708

m	5	15	30	60	120	240
1	50.40	50.40	40.20	33.60	17.95	12.03
2	49.20	34.75	34.75	25.00	15.50	8.32
3	45.60	31.20	28.50	20.90	13.02	7.95
4	36.60	28.50	25.00	20.76	12.50	7.51
5	32.40	25.00	20.76	19.03	11.95	6.98
6	31.20	23.52	20.11	18.00	8.64	5.53
7	23.52	20.76	18.00	12.45	7.97	4.45
8	22.50	19.50	17.00	11.75	7.35	3.65
9	21.00	18.00	15.04	11.57	6.84	3.47
10	18.00	16.20	13.21	10.00	5.87	2.94

Fuente: Senamhi

9.5.3. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

Para el análisis de la precipitación dentro de la sub cuencas del río lulipunco, se ha considerado la estación de Arapa, que se encuentra dentro de la Provincia de Azángaro distrito de Arapa, dentro del área del proyecto. La precipitación total media mensual en la zona del proyecto varía de acuerdo al mes de todo el año.

Según esta información se puede apreciar que entre los meses de diciembre a mayo (verano y otoño) y en los meses restantes, Junio a Noviembre (invierno y primavera). En el semestre de mayor precipitación, los valores más altos corresponden generalmente a los meses de Enero hasta Abril; los valores

más bajos corresponden a los meses de Junio, Julio y Agosto de la precipitación anual.

La precipitación total máxima mensual se ha presentado en el mes de marzo con 327.80 mm, siendo la precipitación máxima anual registrada de 3851.58 mm. Según esta información el área del proyecto presenta un régimen de precipitación regular, es decir la presencia de lluvia es en ciertos meses del año.

9.5.4. TEMPERATURA

La temperatura media mensual en la zona del proyecto varia de 0°C en julio a 16°C en Noviembre, Diciembre y Enero.

Las mayores temperaturas se producen entre los meses de Septiembre a Marzo, llegando a valores máximos, las menores temperaturas se producen entre los meses de Junio a Agosto.

9.5.5. EVAPORACIÓN

Se puede apreciar que la evaporación presenta un régimen de distribución mensual que se puede considerar como normal.

9.5.6. PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS

La delimitación de la cuenca se realizó siguiendo las líneas del divortium aquarum (parteaguas) que son líneas imaginarias del contorno de una cuenca hidrográfica que la separa de las adyacentes y concentra el escurrimiento originado por la precipitación en el sistema de cauces que fluye hacia la salida de tal cuenca.

Se realizó teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ La divisoria corta de forma perpendicular las curvas de nivel y pasa por los puntos de mayor altitud.
- ✓ Cuando la divisoria va aumentando de altitud, corta a las curvas de nivel por la parte convexa.
- ✓ Cuando la altitud de la divisoria va decreciendo, corta a las curvas de nivel por su parte cóncava.

- ✓ La divisoria nunca corta a una quebrada o río, excepto en los puntos de salida de la cuenca.

④ AREA DE LA CUENCA. (A)

El área de una cuenca es el área plana en proyección horizontal, encerrada por su divisoria, el área de la subcuenca del río lulipunco se determinó mediante la digitalización de la carta nacional hoja 31-v y se determinó su área en el software Autocad y consta en las Fig N° 09.2.

Cuadro N° 09.3:
Área de la Cuenca

SUB CUENCA	AREA	
	Ha.	Km2
Lulipunco	560.78	5.61

Fuente: Elaboración Propia

④ PERIMETRO DE LA CUENCA. (p)

Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca, el perímetro o contorno de la subcuenca del río lulipunco es:

Cuadro N° 09.4:
Perímetro de la Cuenca

SUBCUENCAS	PERIMETRO	
	m	Km
LULIPUNCO	9,854.10	9.85

Fuente: Elaboración Propia

④ ANCHO MEDIO (w)

El ancho medio es el resultado de dividir el área de la cuenca, entre la longitud del curso más largo que contenga la misma. Su relación es:

$$W = \frac{A}{L}$$

Donde:

- W : Ancho medio de la cuenca, en Km.
- A : Área de la cuenca, en Km².
- L : Longitud del curso más largo, en Km

Reemplazando valores, obtenemos:

Cuadro N° 09.5:
Ancho Medio

CUENCAS	A Km ²	L Km.	ANCHO MEDIO Km.
LULIPUNCO	5.61	2.64	2.13

Fuente: Elaboración Propia

Ⓢ COEFICIENTE DE COMPACIDAD. (Kc)

El coeficiente de compacidad nos indica la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y de un círculo de área similar.

Si el valor de Kc, es igual a la unidad indica que la cuenca tiene forma circular, lo que permite mayor oportunidad de crecientes, ya que los tiempos de concentración serán iguales para todos los puntos, si por el contrario el valor de Kc supera la unidad se trata de una cuenca que tiende a ser alargada.

La tendencia a mayores caudales de avenida es más acentuada cuanto más próximo a la unidad es el valor de Kc. Su relación es:

$$Kc = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}}$$

Donde:

P: Perímetro de la cuenca, en Km.

A: Área de la cuenca, en Km².

Reemplazando valores:

Cuadro N° 09.6:
Coeficiente de Compacidad

CUENCAS	A Km ²	P Km.	Kc
LULIPUNCO	5.61	9.85	1.17

Fuente: Elaboración Propia

📍 PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (s)

La pendiente del cauce principal es un factor que influye en la velocidad del escurrimiento superficial, determinado por lo tanto el tiempo que el agua de lluvia demora en escurrir en los lechos fluviales que forman la red de drenaje.

Se determina considerando el desnivel entre el punto más alto del río y el más bajo (Ubicación del puente) dividido entre la longitud del mismo. Su relación es:

$$S = \frac{\Delta H}{L}$$

Donde:

ΔH : Diferencia de cotas del cauce principal, en metros.

L : Longitud, en metros.

Reemplazando valores:

Cuadro Nº 09.7:
Pendiente Del Cauce Principal

QUEBRADA	ΔH m	L m.	S %
LULIPUNCO	279.40	2,645.03	10.56

Fuente: Elaboración Propia

9.5.7. PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS

Las precipitaciones máximas probables en el río lulipunco, para los diferentes periodos de retorno, fueron calculadas a partir de los datos observados en la estación de arapa y otros anexos; que son las estaciones más cercanas a la localidad de Arapa y que tiene los mismos datos característicos con una diferencia de altitud que es aceptable.

9.5.8. ANALISIS DE TORMENTAS

a) PERIODO DE RETORNO

Es el tiempo transcurrido para que un evento de magnitud dada se repita, en promedio, tomando las recomendaciones del RNE norma OS.060 el periodo de retorno será:

$$Tr = 10 \text{ años}$$

b) ANÁLISIS INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA (IDF)

Es la lluvia máxima ocurrida en una determinada duración de tiempo, en este caso considerando para un T_c . Además, aquí tendremos en cuenta el tiempo de retorno requerido para la estructura que se está diseñando. Esto se logra utilizando la siguiente ecuación:

$$I = \frac{K \cdot T_r^m}{(D + s)^n}$$

Donde:

- I, es la intensidad de precipitación para un T_r y D ;
- T_r , es el tiempo de retorno del evento para el que se quiere diseñar;
- D es la duración de la intensidad;
- k, m, n, s , son las constantes de la cuenca.

Para calibrar la ecuación (1), utilizaremos los datos del fluviógrafo de la estación Salcedo CP 708, del cual seleccionaremos en cada año los valores extremos de precipitación para tiempos de 5', 15', 30', 60', 120' y 240', y se ordenarán en forma descendente como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 09.8:

Duración-Intensidad Máxima – Estación .Salcedo CP-708

m	5	15	30	60	120	240
1	50.40	50.40	40.20	33.60	17.95	12.03
2	49.20	34.75	34.75	25.00	15.50	8.32
3	45.60	31.20	28.50	20.90	13.02	7.95
4	36.60	28.50	25.00	20.76	12.50	7.51
5	32.40	25.00	20.76	19.03	11.95	6.98
6	31.20	23.52	20.11	18.00	8.64	5.53
7	23.52	20.76	18.00	12.45	7.97	4.45
8	22.50	19.50	17.00	11.75	7.35	3.65
9	21.00	18.00	15.04	11.57	6.84	3.47
10	18.00	16.20	13.21	10.00	5.87	2.94

Fuente: Senamhi

Ahora, en base a la información del cuadro N° 09.8, para cada duración de 5', 15', 30', 60', 120' y 240', que le corresponde una columna se aplicará métodos estadísticos como: Gumbel I, Pearson III, Log-Normal I, etc. De donde se ha seleccionado la distribución de Gumbel Tipo I, como la de mejor ajuste, de donde resulta el cuadro siguiente.

Cuadro N° 09.9:

Relación D-I-F, Estación: Salcedo CP-708

Tr	5	15	30	60	120	240
500	431	269	199	148	110	82
200	284	177	132	98	73	54
100	208	129	96	71	53	39
50	152	95	70	52	39	29
25	111	69	51	38	28	21
10	73	46	34	25	19	14
5	53	33	25	18	14	10
1	26	16	12	9	7	5

Fuente: Senamhi

Estos valores lo utilizaremos, para ajustar la ecuación (1), para lo cual haremos uso primero de la linealización y posteriormente realizar una regresión múltiple, a continuación se desarrolla esta secuencia:

Repitiendo nuevamente la ecuación de la sección (b), tenemos:

$$I = \frac{K \cdot T_r^m}{(D+s)^n}$$

Linealizando se obtiene,

$$\text{Log}(I) = \text{Log}(K) + m \cdot \text{Log}(T_r) - n \cdot \text{Log}(D+S)$$

$$Y = (a_0) + (a_1) \cdot X_1 + (a_2) \cdot X_2$$

Donde :

$$Y = \text{Log}(I) \quad a_0 = \text{Log}(K)$$

$$X_1 = \text{Log}(T_r) \quad a_1 = m$$

$$X_2 = \text{Log}(D+S) \quad a_2 = -n$$

Realizando la regresión múltiple finalmente se tiene:

$$a_0 = 1.710498$$

$$a_1 = 0.453465$$

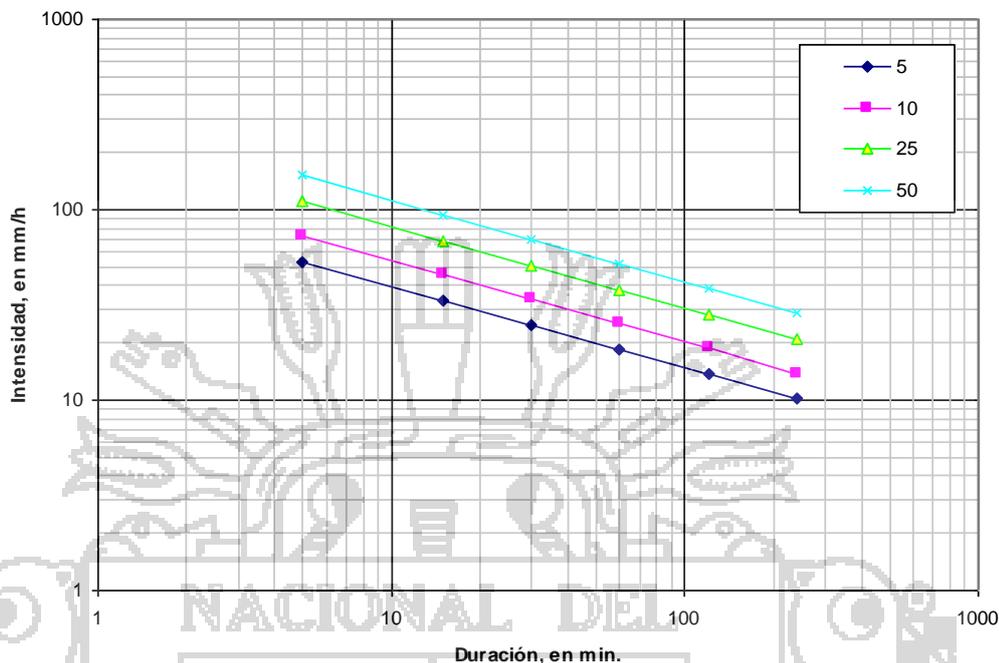
$$a_2 = -0.429535$$

Entonces, la ecuación general para la Intensidad Máxima de precipitación en la estación de Salcedo de Puno, resulta.

$$I = \frac{51.345 \cdot (T_r)^{0.4535}}{D^{0.4296}}$$

Figura N° 09.3: Curva De Intensidad Duración y Frecuencia.

**CURVA DE INTESIDAD-DURACION-FRECUENCIA EST. SALCELDO - PUNO
(PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO)**



Así mismo, a manera de referencia se muestran las ecuaciones para Tr=5 años y para Tr=10 años, que han sido calibradas dentro del estudio realizado por el JICA " Agencia de Cooperación Internacional del Japón" (1999) para la Descontaminación de la Bahía de Puno.

Para Tr=5 años y Td de 0 a 180 min

$$i = \frac{3240}{td^{1.07} + 81.4}$$

Para Tr=10 años y Td de 0 a 180 min

$$i = \frac{3010}{td^{1.04} + 56.7}$$

Donde: td, es igual al tiempo de duración de la precipitación.

9.6. CAUDAL

9.6.1. METODO RACIONAL

El método racional es un método antiguo, que sigue teniendo su aceptación por su simplicidad y resultados, y es aplicado a cuencas pequeñas donde la precipitación ocurre al mismo tiempo en toda la cuenca, con una intensidad constante. Existen diferentes recomendaciones que indican el área de cuenca máxima donde se puede aplicar este método, según el RNE se recomienda utilizar en cuencas menores o iguales a 13 Km².

No tiene en cuenta los volúmenes almacenados, no es útil si hay algún sistema de detención o algo similar en la cuenca, el valor de C no tiene en cuenta el orden secuencial de zonas impermeables o no permeables, como se ha mencionado, existen diversas metodologías para la determinación del caudal de diseño, las más conocidas son en base a los caudales máximos instantáneos registrados en los limnigrafos o en función a las intensidades precipitaciones máximas registradas en los pluviógrafos. Con los primeros se aplicaría directamente un método estadístico, sin embargo con el segundo es necesario realizar el siguiente procedimiento:

- ✓ Calcular el área de la cuenca (A).
- ✓ Calcular la longitud del cauce principal (L) y su pendiente (S).
- ✓ Calcular el tiempo de concentración (T_c).
- ✓ Calcular la intensidad para un determinado periodo de retorno. Utilizando la ecuación de intensidad-duración-frecuencia (I).
- ✓ Calcular el coeficiente de escorrentía (C).
- ✓ Calcular el caudal de diseño (Q)

Su ecuación esta dado por:

$$Q_d = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

Donde:

Q_p : es el caudal pico de diseño, correspondiente a una intensidad, duración y frecuencia, en m³/s;

C : Coeficiente de escorrentía;

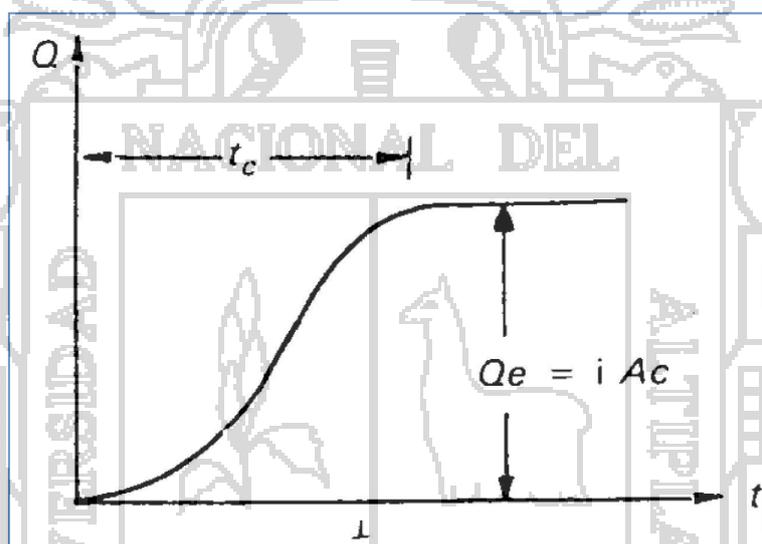
I : Intensidad de la lluvia, en mm/hr.

A : Área de la cuenca, en Km².

El método racional, está basado en que la intensidad de precipitación y el caudal de salida de la cuenca es constante. Por lo tanto, la explicación del funcionamiento de la ecuación (5), es lógica y se puede explicar de la siguiente manera: El tiempo de una gota de agua en recorrer, desde la parte más lejana al punto de interés (esto es que se ubica en el extremo del cauce principal), para el método racional este será la duración de precipitación que produce el caudal máximo, esto lo podemos ver gráficamente en la siguiente figura N° 09.3. También, a este tiempo se le conoce comúnmente como el tiempo de concentración de la cuenca.

Figura N° 09.4:

Funcionamiento del Método Racional

a) TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (T_c)

Es el tiempo máximo de duración entre la entrada y salida de una gota de agua que cae dentro de la cuenca. Para su determinación existen diversas formulas, las que mencionaremos algunas:

Formula de California:

$$T_c = 0.066 \left[\frac{L}{S^{1/2}} \right]^{0.77}$$

Formula de Ven Te Chow:

$$T_c = 0.274 \left[\frac{L}{S^{1/2}} \right]^{0.64}$$

Formula de Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25.3\sqrt{S.L}}$$

Formula de U.S. Corps. Of Engineers

$$T_c = 0.280 \left[\frac{L}{S^{1/4}} \right]^{0.76}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (Horas)

L : Longitud de curso principal (Km.)

S : Pendiente media del curso principal (m/m)

A : Área de la cuenca receptora (Km²)

b) TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN ZONAS URBANAS

En vista de que las ecuaciones anteriores para el cálculo del tiempo de concentración están determinado para cuencas naturales. En las cuencas donde exista una urbanización, es preciso considerar las alteraciones hidrológicas que de ello se deriva. Por lo tanto, el tiempo de concentración será menor que en cuencas naturales, y está dado por la siguiente ecuación.

$$T_c = \frac{T_c}{1 + 3\sqrt{\mu(2 - \mu)}}$$

Donde :

T_c' : Tiempo de concentración real

T_c : Tiempo de concentración en estado natural.

μ : Factor de urbanización donde:

$$\mu = \frac{\textit{superficie impermeable}}{\textit{superficie total}}$$

c) COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA (C)

Como no se tiene precisiones sobre la relación "precipitación-escorrentía". Se puede determinar en base a las características fisiográficas de la cuenca, a considerarse en base al cuadro siguiente:



Cuadro N° 09.10:

Puntaje para la Obtención del Coeficiente de Escorrentía

CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA	CARACTERÍSTICAS DE LA ESCORRENTÍA Y LOS CORRESPONDIENTES VALORES NUMÉRICOS			
	EXTREMO	ALTO	NORMAL	BAJO
RELIEVE	Terreno escarpado y empinado con pendientes mayores que 30%. Puntos..... 40	Accidentes, con pendientes promedio del 10% al 30%. Puntos..... 30	Ondulado, con pendientes promedio del 5% al 10%. Puntos..... 20	Relativamente plano con promedio del 0% al 5%. Puntos..... 10
INFILTRACION	Sin una capa efectiva de suelo superficial terreno rocoso de insignificante capacidad de infiltración. Puntos..... 20	Lento para absorber el agua, arcilla u otro suelo de baja capacidad de infiltración. Puntos..... 15	Normal, franco profundo con infiltración similar a los suelos típicos de praderas. Puntos..... 10	Alta, arena u otro suelo que absorbe el agua fácil y rápidamente. Puntos..... 5
COBERTURA VEGETAL	Terreno desnudo o sin cobertura. Puntos..... 20	Cobertura regular, cultivos limpios (de escarda) o cubierto natural pobre. Menos de 10% del área bajo buena cobertura. Puntos..... 15	Regular a buena cerca del 50% del área con buenos pastizales bosques o equivalentes. No más del 50% cultivos limpios. Puntos..... 10	Excelente, cerca del 90% del área c/buenos pastizales bosques o cobertura equivalente. Puntos..... 5
ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL	Insignificantes de presiones en la superficie poco profundas, desagües pequeños y	Bajo, sistemas bien definidos de pequeños desagües, no hay lagunas o	Normal, considerable almacenamiento en depresiones superficiales lagunas y pantanos	Alto almacenamiento en depresiones superficiales, sistema de drenaje no bien definido;

empinados no hay lagunas o pantanos Puntos.....2 0	pantanos. Puntos.....1 5	menores del 2% del área. Puntos.....10	muchas lagunas y pantanos. Puntos..... 5
---	--------------------------------	--	---

Fuente: Paredes Zegarra, Método De Los Coeficientes De Escorrentía, 2006

Para la determinación de este parámetro se basa en la acumulación de una puntuación en base a 100, que se da en base a lo anterior dependiendo así del relieve, tipo de infiltración, cobertura vegetal, almacenamiento superficial, etc.

$$C = \frac{\text{Suma de puntaje}}{100}$$

El caudal de diseño se ha calculado para un tiempo de retorno de 10 años, que será el tiempo de diseño para las estructuras.

La estructura de caudales en los diversos cursos hídricos involucrados comprendió tareas fundamentales: la primera consistió en determinar los caudales máximos probables para comprobar la capacidad hidráulica de las estructuras y sistemas existentes para el diseño de nuevas estructuras de drenaje y defensa, así como garantizar el recurso hídrico, de acuerdo a los caudales máximos calculados estimar los niveles de erosión probable en sectores o secciones puntuales del curso hídrico comprendido, calculado a su vez los niveles máximos de agua.

9.7. CAUDALES MÁXIMOS

Los estimados de caudales máximos fueron desarrollados utilizando metodologías conocidas que están acorde con la realidad de las cuencas hidrográficas en estudio, dichos métodos son el método racional para determinar caudales máximos y el método de Cook que determina el coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía depende de la configuración topográfica, tipos de suelos, la vegetación y el suelo de la tierra en la cuenca. En la determinación de la intensidad horaria de precipitación y el tiempo de concentración (Tc) se

recurrió al método de UN SOIL CONSERVATION de recurrencia probabilística, porque la presencia de los eventos del Fenómeno del Niño, cuyas descargas registran medidas excepcionales, ha cambiado los niveles de probabilidad, pues entre la ocurrencia de 2000 a 2005, transcurrieron 06 años, donde se registraron caudales nunca vistos o por lo menos registrados, sin embargo entre 1997 y 2003 ha transcurrido un año y los registros de 2002 superaron todo cálculo probabilístico, pues casi sobrepasaron la descarga anterior en intensidad horaria.

Se considera que para determinar la intensidad horaria se recurrirá a los tiempos de retorno de 10 años para todas las estructuras hidráulicas como para garantizar la captación y evacuación de las aguas superficiales y así poder evitar la infiltración del agua y poder dañar el pavimento propuesto por lo que se propone además lo siguiente :

- ✓ Captación
- ✓ Desarenador
- ✓ Conductos Cubiertos
- ✓ Drenes Colectores
- ✓ Bocatormentas y sumideros

a) ZONA URBANA DE LA SUBCUENCA DEL RIO LULIPUNCO

La zona urbana de la localidad de Arapa se ha orientado básicamente a la delimitación de las microcuencas urbanas de aporte por considerar que las áreas de drenaje juegan un papel de mucha relevancia en la determinación de la magnitud de caudales de máxima avenida.

Por ésa razón se ha puesto especial énfasis en lo referente a la delimitación de las microcuencas urbanas usando los Planos topográficos a escala 1:1750, con curvas de nivel a cada 1 m, que han permitido identificar el sentido y la dirección del flujo, en concordancia a las influencias de las pendientes de las calles, avenidas, jirones ó pasajes existentes. Es importante destacar que en la determinación de la divisoria del drenaje de aguas pluviales se ha tomado en cuenta las fronteras reales

de las microcuencas urbanas en lugar de las fronteras comerciales de los terrenos.

Obviamente la delimitación de microcuencas se ha efectuado en estricta concordancia con el esquema hidráulico de derivación que contempla la evacuación por gravedad en forma totalmente independiente de las zonas A y la subcuenca alta no urbana, hacia el Lago de Arapa.

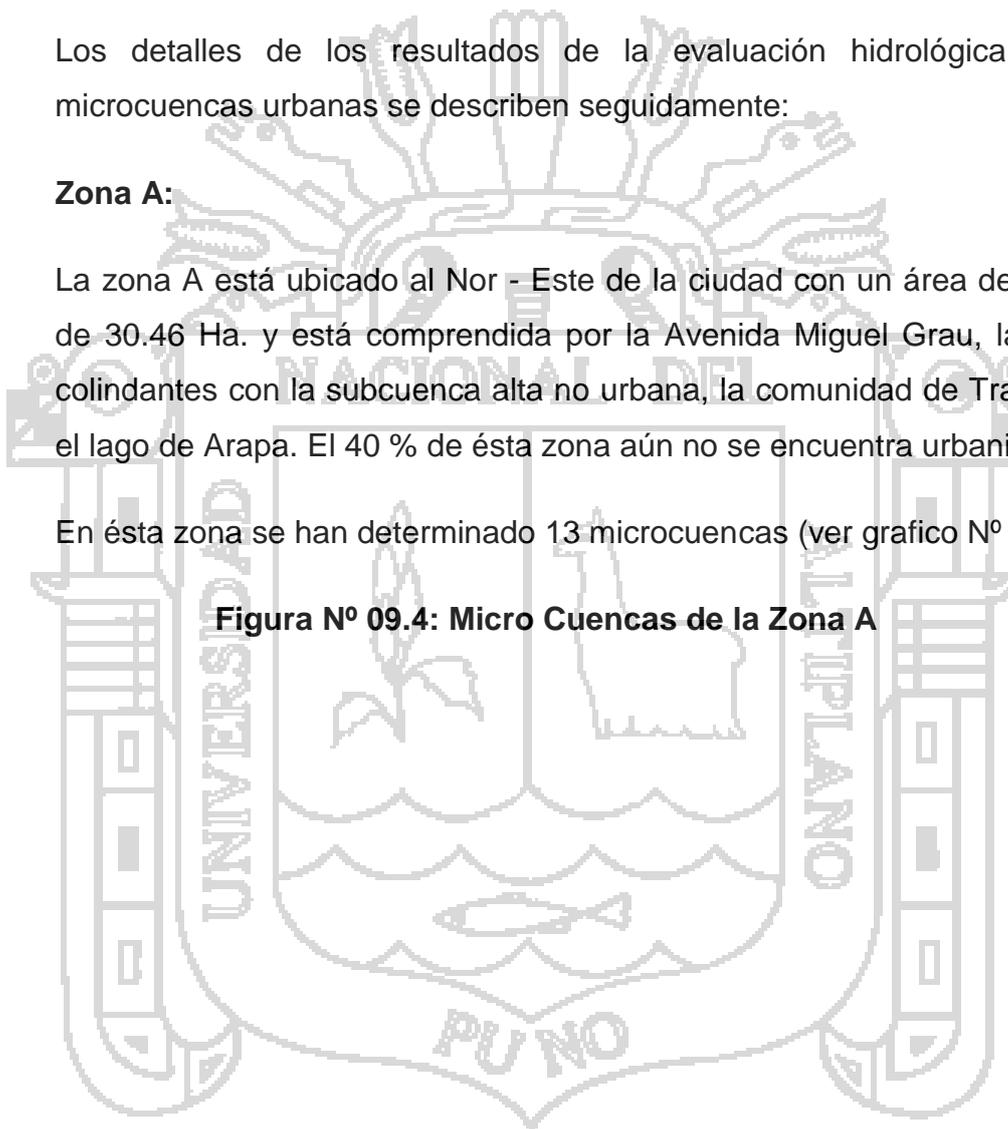
Los detalles de los resultados de la evaluación hidrológica de las microcuencas urbanas se describen seguidamente:

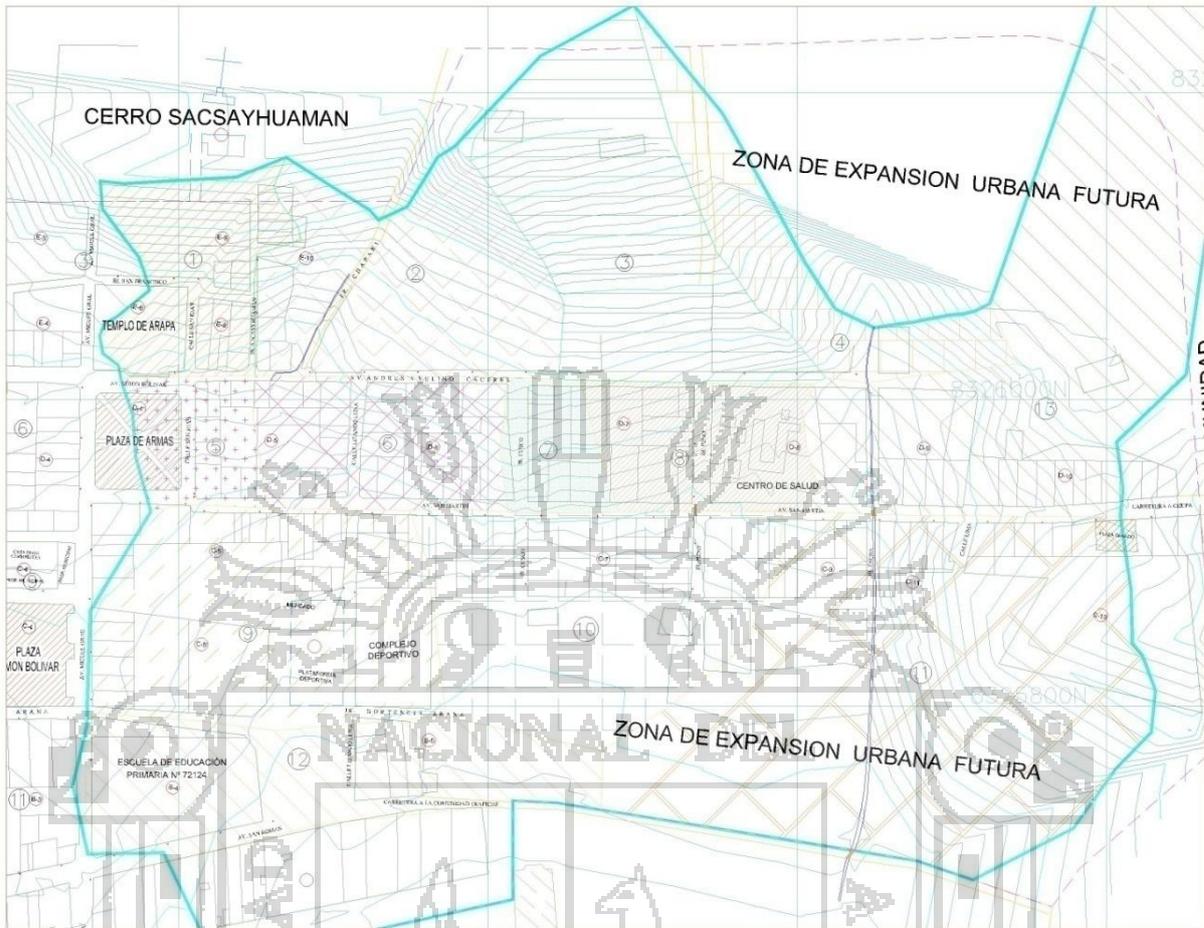
Zona A:

La zona A está ubicada al Nor - Este de la ciudad con un área de drenaje de 30.46 Ha. y está comprendida por la Avenida Miguel Grau, las áreas colindantes con la subcuenca alta no urbana, la comunidad de Trapiche y el lago de Arapa. El 40 % de ésta zona aún no se encuentra urbanizada.

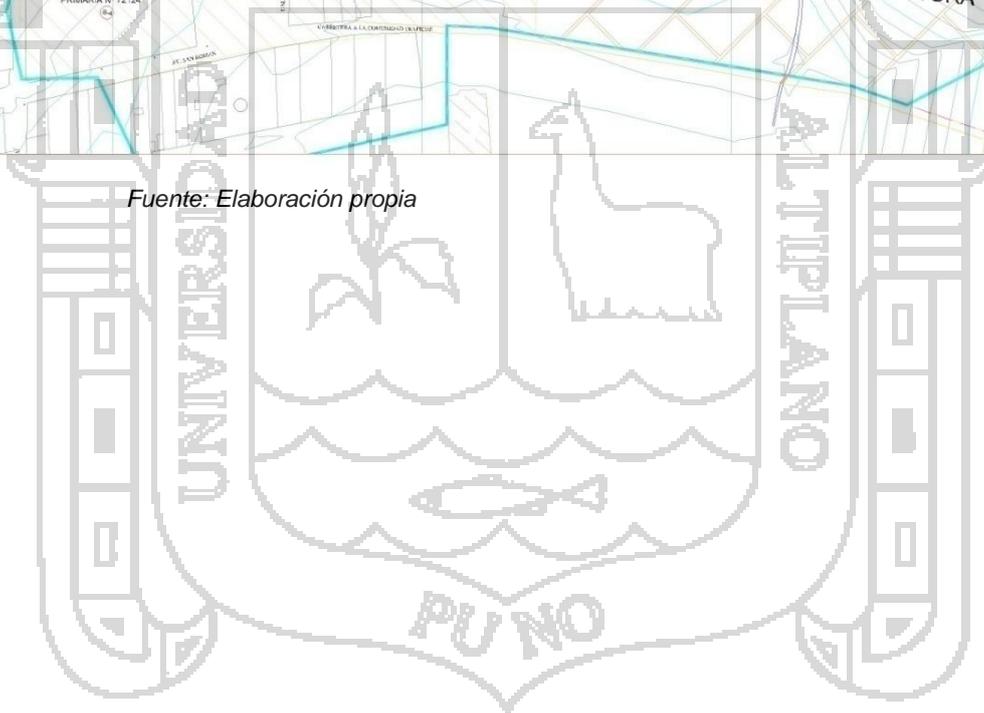
En ésta zona se han determinado 13 microcuencas (ver grafico N° 09.4).

Figura N° 09.4: Micro Cuencas de la Zona A





Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO X

DISEÑO DE PAVIMENTO

10.1. PAVIMENTO

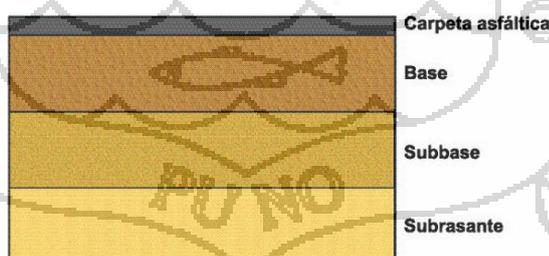
Es aquella estructura diseñada y construida para resistir el efecto de las cargas estáticas y dinámicas impuestas por el tránsito vehicular y los efectos del ambiente durante un período de tiempo determinado, puede estar compuesta por una o más capas de materiales de calidades diferentes ubicados entre el nivel de sub rasante y rasante.

10.2. TIPOS DE PAVIMENTO

10.2.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES

Resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, base y sub-base.

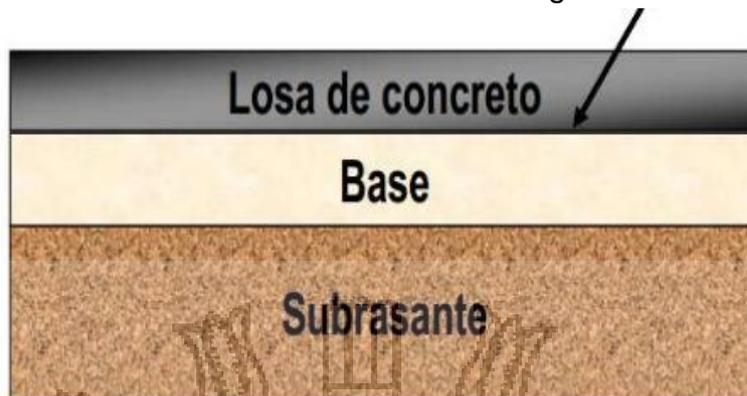
Figura N° 10.1:
Estructura de Pavimento Flexible.



10.2.2. PAVIMENTOS RIGIDOS

Se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

Figura N° 10.2:
Estructura de Pavimento Rígido.



10.3. DISEÑO DE PAVIMENTO MÉTODO AASHTO 1993

a) Período de Diseño

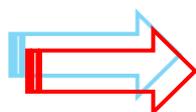
El período de diseño se refiere al tiempo desde que la estructura de pavimento entra en servicio hasta antes que necesite algún trabajo de rehabilitación.

CUADRO N° 10.1
PERIODOS DE DISEÑO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CARRETERA

TIPO DE CARRETERA	PERÍODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito.	30 - 50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito.	20 - 50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito.	15 - 25 años
Revestidas con bajos volúmenes de tránsito.	10 - 20 años

Fuente: AASHTO, Guía Para El Diseño De Estructuras De Pavimento 1993

Para el presente proyecto de investigación se consideró un período de diseño de 20 años por ser una vía con bajos volúmenes de tránsito.



n = 20 años

b) Tránsito

Para el cálculo del tránsito, el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 18,000 lb (8.2 ton) acumulados durante el período de diseño, por lo que no ha habido grandes cambios con respecto a la metodología original de AASHTO.

El diseño considera el número de ejes equivalentes (ESAL) para el período de análisis (W_{18}) en el carril de diseño. A partir de conteos vehiculares y conversión a ejes equivalentes, el diseñador debe afectar el ESAL en ambas direcciones por factores direccionales y de carril (si son más de dos), aplicando la siguiente ecuación:

$$W_{18} = D_D * D_L * \bar{W}_{18}$$

Donde:

W_{18} : Tránsito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8.2 ton, en el carril de diseño.

D_D : Factor de distribución direccional; se recomienda 50% para la mayoría de las carreteras, pudiendo variar de 0.3 a 0.7, dependiendo de en qué dirección va el tránsito con mayor porcentaje de vehículos pesados.

\bar{W}_{18} : Ejes equivalentes acumulados en ambas direcciones.

D_L : Factor de distribución por carril, cuando se tengan dos o más carriles por sentido. Se recomiendan los siguientes valores:

**CUADRO N° 10.2:
FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL**

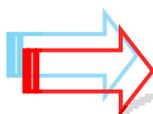
N° DE CARRILES EN CADA SENTIDO	PORCENTAJE DE W_{18} EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: AASHTO, Guía Para El Diseño De Estructuras De Pavimento 1993

CUADRO Nº 10.3:
Cálculo del Tráfico durante el primer año de servicio

Tipo de Vehículo	Número de Vehículos por día	Número de Vehículos por Año	Factor Camión	Factor de Crecimiento Anual	EAL	EAL de Diseño
Vehículo Ligero	28	10220	0.00245	28.98	725.63	
B2	7	2555	2.28378	28.98	169100.01	
C3	9	3285	1.7238	28.98	164104.59	
T2S2	3	1095	3.64501	28.98	115667.49	
TOTAL					449597.72	4.5 X 10⁵

Fuente: Elaboración propia



ESAL (1VIA) 18 Kips = 4.5×10^5 para el primer año

✓ Factor Direccional = (Vía de dos direcciones)



✓ Factor Distribución Carril (se considera un carril en cada dirección)



✚ **Cálculo del Tráfico durante el primer año en el Carril de Diseño**

$$ESAL = 4.5 \times 10^5 \times 0.5 \times 1$$



✚ **Cálculo del Tráfico para el Período de Diseño de 20 años**

- ⊗ Tasa de crecimiento (r) = 3.7 %
- ⊗ Período de diseño (n) = 20 años
- ⊗ ESAL para el primer año = 2.25×10^5

$$ESAL_{DISEÑO} = ESAL \times \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$$

$$ESAL_{DISEÑO} = 2.25 \times 10^5 \left[\frac{(1 + 0.037)^{20} - 1}{0.037} \right]$$


ESAL_{DISEÑO} = 7.22 X 10⁶

c) Factor de confiabilidad R

Con el parámetro de Confiabilidad “R”, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, durarán como mínimo el período de diseño. Se consideran posibles variaciones en las predicciones del tránsito en ejes acumulados y en el comportamiento de la sección diseñada.

Generalmente, ante los incrementos de los volúmenes de tráfico, de las dificultades para diversificar el tráfico y de las expectativas de disponibilidad del público, debe minimizarse el riesgo de que los pavimentos no se comporten adecuadamente. Este objetivo se alcanza seleccionando niveles de confiabilidad más altos. El cuadro N° 10.4 presenta los niveles de confiabilidad recomendados para varias clasificaciones de confiabilidad. Obsérvese que los mayores corresponden a las vías de mayor uso, mientras que el nivel más bajo, 50% corresponde a las carreteras locales.

**CUADRO 10.4:
NIVELES SUGERIDOS DE CONFIABILIDAD (R) PARA VARIAS
CLASIFICACIONES FUNCIONALES**

Clasificación Funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterías principales	80 – 99	75 – 95
Colectores	80 – 95	75 – 95
Local	50 – 80	50 – 80

Fuente: AASHTO, *Guía Para El Diseño De Estructuras De Pavimento 1993*

A continuación se presenta algunos valores de confiabilidad propuestos para nuestra zona en el cuadro N° 10.5:

**CUADRO 10.5:
NIVELES SUGERIDOS DE CONFIABILIDAD**

Tipo de Pavimento	Confiabilidad (R)
Autopistas	90%
Carreteras	75%
Rurales	65%
Zonas Industriales	60%
Urbanas Principales	55%
Urbanas Secundarias	50%

Fuente: AASHTO, *Guía Para El Diseño De Estructuras De Pavimento 1993*

Para la presente tesis se consideró el valor de **75%** para el tipo de pavimento de carretera.

d) Desviación Estándar Normal (Z_R)

La desviación estándar normal está en función de la confiabilidad del proyecto, "R", en el cuadro N° 10.6, se muestran los valores de desviación estándar correspondiente a diferentes niveles de confiabilidad.

**CUADRO 10.6:
VALORES DE DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL**

Confiabilidad R (%)	Desviación Estándar Normal Z_R
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751

97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: AASHTO, *Guía Para El Diseño De Estructuras De Pavimento* 1993

Para la presente tesis se consideró **-0.674** ya que para un **75%** de confiabilidad le corresponde esa desviación estándar normal.

e) Error estándar por efecto del tráfico y comportamiento (S_o)

Los valores de “ S_o ” en los tramos de prueba de AASHTO no incluyeron errores en la estimación del tránsito; sin embargo, el error en la predicción del comportamiento de las secciones en tales tramos, fue de **0.25 para pavimentos rígidos y 0.35 para los flexibles**, lo que corresponde a valores de la desviación estándar total debidos al tránsito de **0.35 y 0.45 para pavimentos rígidos y flexibles respectivamente**.

Para la presente tesis se consideró el valor de **0.45** basado en el desarrollo de la carretera experimental efectuada por la AASHTO para pavimentos flexibles.

f) Índice de Serviciabilidad

El cambio o pérdida en la calidad de servicio que la carretera proporciona al usuario, se define en el método con la siguiente ecuación:

PSI = Índice de Servicio Presente

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Donde:

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o Terminal deseado.

P_o = Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles).

P_t = Índice de servicio terminal, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0,

recomendando 2.5 ó 3.0 para caminos principales y **2.0** para secundarios.

Se hace notar que aún en la versión actual, AASHTO no ha modificado la escala del índice de servicio original de 0 a 5 para caminos intransitables hasta carreteras perfectas, respectivamente. Sin embargo, se sugiere que el criterio para definir el índice de servicio terminal o mínimo de rechazo (menor índice tolerado antes de realizar alguna operación de rehabilitación, reencarpetado o reconstrucción) esté en función de la aceptación de los usuarios de la carretera.

Para el caso de diseños de pavimentos en climas muy extremos, en especial los fríos, la guía de diseño del método actual recomienda evaluar adicionalmente la pérdida del índice de servicio original y terminal debida a factores ambientales por congelamiento y deshielo, que producen cambios volumétricos notables en la capa subrasante y capas superiores de la estructura del pavimento.

**CUADRO 10.7:
SERVICIABILIDAD**

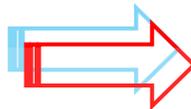
Índice de Servicio	Calificación
5	Excelente
4	Muy Bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Fuente: AASHTO,
Estructuras De Pavimento 1993

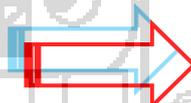
Guía Para El Diseño De

La selección del PSI más bajo permisible o Índice de Serviabilidad Terminal (P_t), está basado en el Índice más bajo que será tolerado antes que se haga necesaria una rehabilitación, refuerzo superficial o reconstrucción. Se sugiere un índice de 2.5 ó mayor para el diseño de carreteras principales y de 2.0 para las carreteras con menores volúmenes de tráfico.

Dado que nuestra avenida Simón Bolívar presenta un volumen de tráfico de menor volumen de tráfico, asumimos el valor conservador de 2.0, luego:

 Se selecciona una serviciabilidad terminal de: $P_t = 2.0$

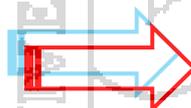
Desde que el tiempo al que una estructura dada de pavimento alcanza su serviciabilidad Terminal depende del volumen de tráfico y de la serviciabilidad original ó inicial (P_o), debe hacerse algún tipo de consideración para la selección de P_o . Los valores en la Carretera Experimental AASHTO fueron de 4.2 para pavimentos flexibles, luego:

 Se selecciona una serviciabilidad inicial de: $P_o = 4.2$

Luego, la pérdida de serviciabilidad es:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0$$

 $\Delta PSI = 2.2$

g) Módulo de Resiliencia

Actualmente el método del AASHTO (American Association of state Highway and Transportation Officials) considera que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales que constituyen la sección de un pavimento de una carretera es el parámetro denominado *Módulo de Resiliencia*.

El Módulo Resiliente ó Elástico es una medida de la propiedad elástica del suelo, tomando en cuenta ciertas características no lineales, y es usado directamente para el diseño de pavimentos flexibles y que reemplaza al

valor de soporte del suelo utilizado en ediciones anteriores de este método, por las siguientes razones:

- ✓ Indica una propiedad básica del material que puede ser usada en un análisis mecánico de sistemas multicapas, para permitir predecir la rugosidad, el agrietamiento, el ahuellamiento, el escalonamiento, etc.
- ✓ Se ha reconocido internacionalmente como un método para la caracterización de materiales, para su empleo en el diseño y evaluación de pavimentos.
- ✓ Se ha reconocido internacionalmente como un método para la caracterización de materiales, para su empleo en el diseño y evaluación de pavimentos.
- ✓ Se dispone de técnicas para estimar el " M_R " de varios materiales por medio de ensayos no destructivos.

Se reconoce que muchas agencias y laboratorios no cuentan con el equipamiento para llevar a cabo ensayos para la determinación del módulo resiliente. Por lo que se ha reportado factores apropiados que pueden ser usados en la estimación del " M_R " a partir de los ensayos de CBR. Heukelom y Klomp han reportado correlaciones en función al CBR, usando compactación dinámica y los módulos in-situ del suelo.

Modulo de Resiliente del suelo de la subrasante

La correlación se da en la siguiente relación:

$$\color{red}{\oplus} \quad Mr = 1500 \times CBR \quad (\text{psi})$$

$$\color{red}{\oplus} \quad Mr = 10.3 \times CBR \quad (\text{Mpa})$$

Esta ecuación es razonable para suelos de gradación fina con CBR menores que 10%

Estas correlaciones son aplicables a materiales clasificados como CL, CH, ML, SC, SM, y SP según SUCS ó A-7, A-6, A-5, A-4 y A-2 según el sistema AASHTO, estos materiales que se estima tendrán un M_R de 30,000 psi (207 Mpa) o menor.

Sin embargo existen otras relaciones propuestas por muchas agencias, que producen valores de M_R menores y en consecuentemente mayores espesores del pavimento. ASSHTO propone las siguientes:

$$M_r = 17.6 \times CBR^{0.64} \quad 1 < CBR < 12 \quad (\text{Mpa})$$

$$M_r = 22.1 \times CBR^{0.55} \quad 12 < CBR < 80 \quad (\text{Mpa})$$

Aplicamos el método del Instituto del Asfalto para hallar el CBR de diseño:

Hallamos el valor percentil para un ESAL $10^6 = 87.5$

CUADRO N° 10.8
Valor Percentil del M_r para Diseño de la Subrasante, de acuerdo al nivel del Tránsito.

Nivel de Tráfico EAL	Percentil de Diseño
10^4 o menos	60
Entre 10^4 y 10^6	75
10^6 ó más	87,5

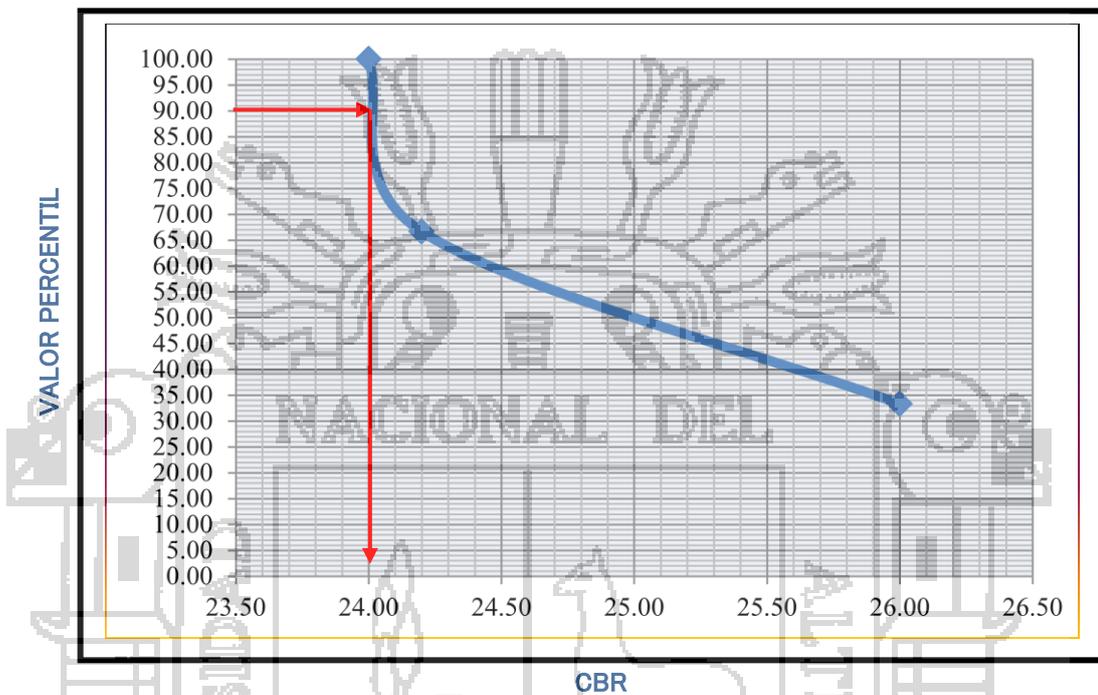
Fuente: Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1)

Cálculo del porcentaje

CUADRO N° 10.9
Cálculo de porcentaje

Resultados de ensayos (de menor a mayor)	Número de resultado mayores o iguales	Porcentaje de resultados mayores o iguales
24.00	6	100.00
24.20	5	83.33
26.00	4	66.67

Figura N° 10.3
Cálculo Del Porcentaje

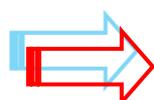


A continuación calculamos el cálculo del modulo resiliente que esta dado por diseño de pavimentos para calles y carreteras de Néstor Huamán Guerrero

CUADRO N° 10.10
CÁLCULO DEL MODULO RESILIENTE

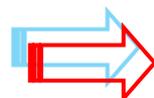
EAL	Valor de Porcentaje de Diseño	Subrasante de Diseño	
		CBR %	Módulo Resiliente (Mpa)
10^6	87.5	24.12	248.43

✚ CBR de la base



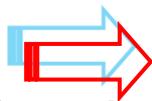
CBR_{base} = 67%

✚ CBR de la sub – base



CBR_{sub-base} = 50%

✚ Módulo Elástico del Concreto Asfáltico



$E = 400000$

h) coeficientes de capa

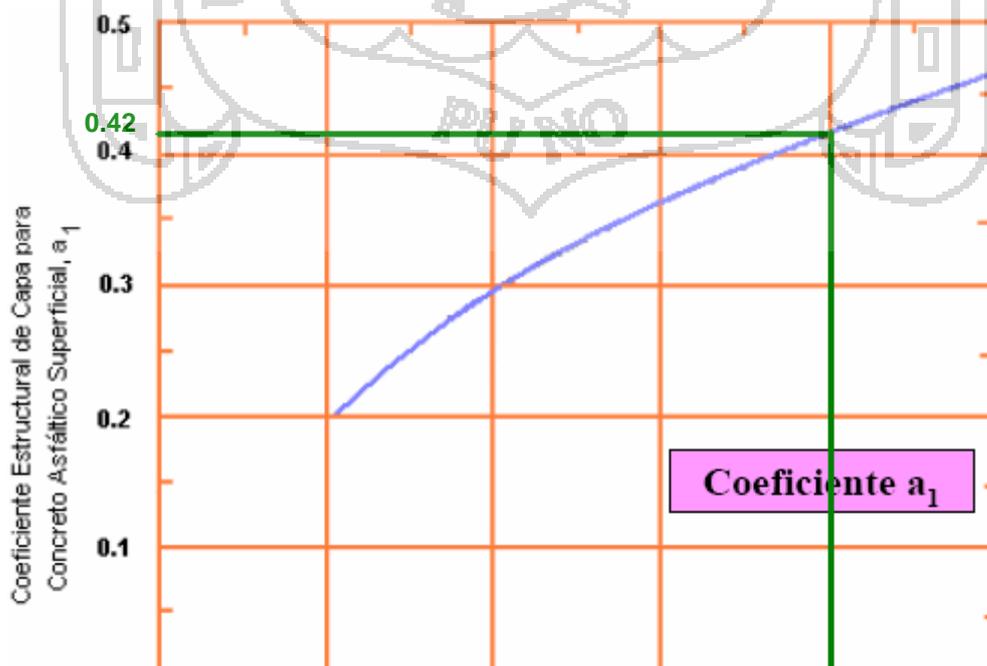
Es un valor numérico asignado a cada capa de material que conforma la estructura del pavimento, en función de su módulo de elasticidad ó CBR respectivo.

Coefficiente de capa a_1

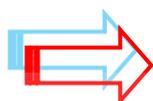
Los materiales en cada una de las capas de la estructura del pavimento flexible, de acuerdo a sus características tienen un coeficiente estructural a_i . Este coeficiente representa la capacidad estructural del material para resistir a las cargas solicitantes. Estos coeficientes están basados en correlaciones obtenidas a partir de la prueba AASHO de 1958-1960 y ensayos posteriores. El método presenta cinco categorías de estos coeficientes, de acuerdo con el tipo y función de la capa considerada:

Concreto asfáltico: la Figura N° 10.4 proporciona para estimar el coeficiente (a_1) de la capa estructural de una rodadura de concreto asfáltico de gradación densa, en base en su módulo elástico a 20° C (68°F).

**Figura N° 10.4:
COEFICIENTE DE CAPA " a_1 ".**



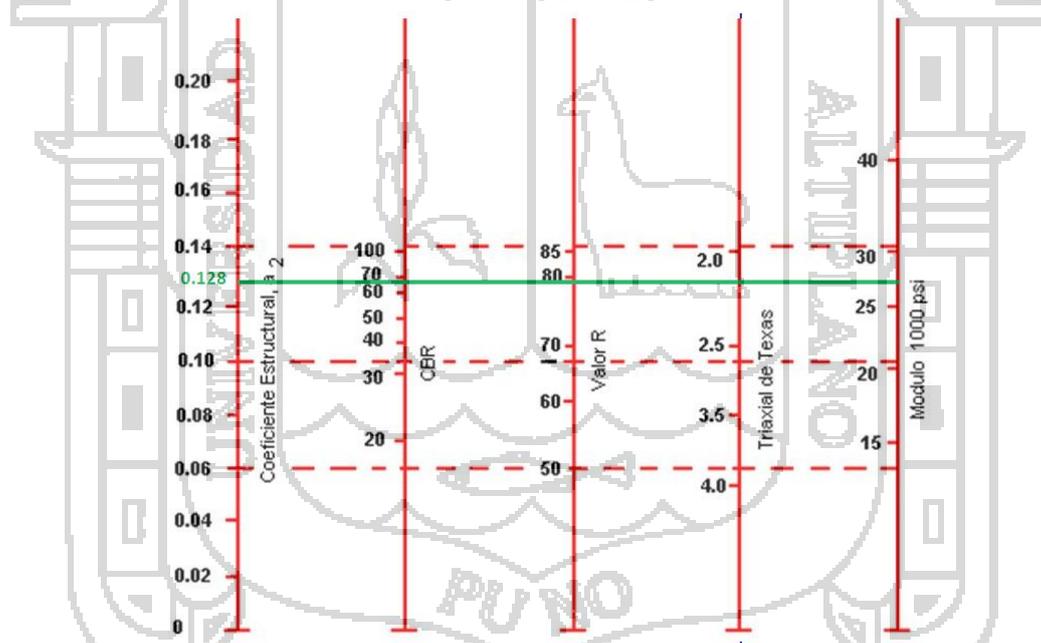
Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.(Part. II Cap.2 Pág. 18)



$$a_1 = 0.42$$

Bases granulares: la Figura N° 10.5 permite estimar el coeficiente estructural a_2 , a partir de uno de cuatro resultados de ensayos diferentes de laboratorio sobre un material granular de base, incluyendo el módulo resiliente de la base.

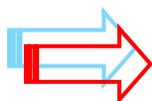
Figura N° 10.5:
VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA “a2”, EN BASES GRANULARES.



Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.(Part. II Cap.2 Pág. 19)



$$a_2 =$$

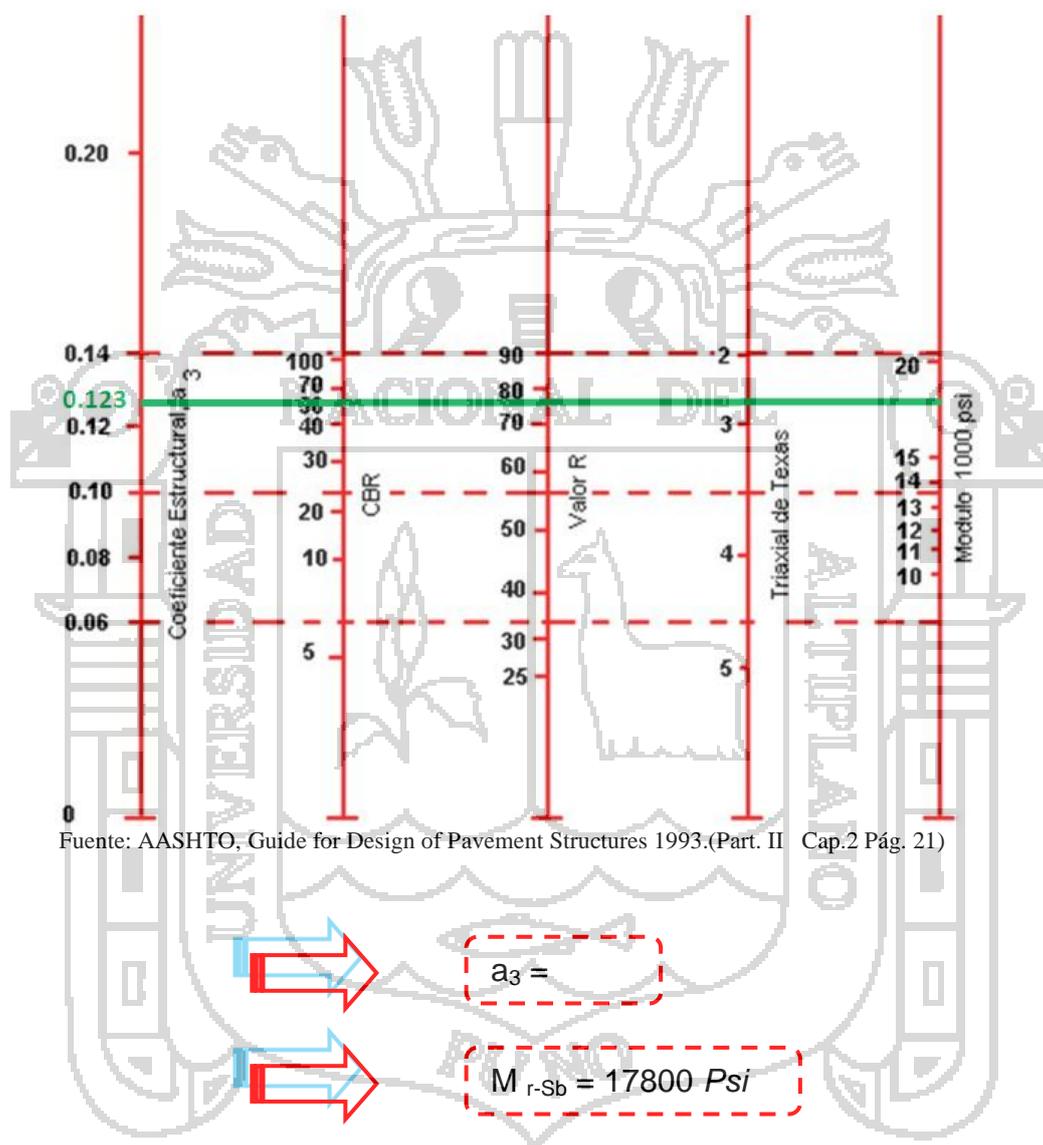


$$M_{r-b} = 27400$$

Subbases granulares: en la Figura N° 10.6 es posible determinar el

coeficiente (a_3) para subbase granular, en función de los mismos ensayos considerados para las bases granulares.

Figura N° 10.6:
VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA “ a_3 ”, EN SUB BASES GRANULARES



Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.(Part. II Cap.2 Pág. 21)

i) Coeficiente de Drenaje

Para la obtención de los coeficientes de drenaje, m_2 y m_3 , correspondientes a las capas de base y subbase respectivamente, el método actual de AASHTO se basa en la capacidad del drenaje para remover la humedad interna del pavimento, definiendo lo siguiente:

**CUADRO 10.11:
CAPACIDAD DEL DRENAJE PARA REMOVER LA HUMEDAD.**

CALIDAD DEL DRENAJE	AGUA REMOVIDA EN:
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	agua no drena

Fuente: AASHTO, *Guía Para El Diseño De Estructuras De Pavimento 1993*

En la Tabla 10.12 se presentan los valores recomendados para m_2 y m_3 (bases y subbases granulares sin estabilizar) en función de la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento pueda estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

**CUADRO 10.12:
VALORES m_i RECOMENDADOS PARA MODIFICAR LOS
COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA DE BASES Y SUBBASES SIN
TRATAMIENTO, EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.**

Calidad del Drenaje	Porcentaje de Tiempo al cual está Expuesta la Estructura del Pavimento a Niveles de Humedad Próxima a la Saturación			
	Menor del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor del 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: AASHTO, *Guía Para El Diseño De Estructuras De Pavimento 1993*

En la determinación del factor de drenaje se ha considerado que el material de Base Granular, al igual que el de sub – base, tienen buena capacidad drenante, por lo que se ha determinado que el coeficiente para este tipo de materiales es $m_2 = m_1 = 1.0$

j) Cálculo del Número Estructural

- Ⓜ M_r , Efectivo del suelo de fundación : 14010.84 Psi
- Ⓜ Confiabilidad : 75%
- Ⓜ Desviación Standard Total : 0.674
- Ⓜ Pérdida de Serviciabilidad : 2.2

Tráfico Acumulado

: 7.22×10^6

Figura N° 10.7:
CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL



k) Cálculo de Espesores

CUADRO N° 10.13
ESPEORES MÍNIMOS, EN PULGADAS, EN FUNCIÓN DE LOS EJES EQUIVALENTES.

TRÁNSITO (ESAL's) EN EJES EQUIVALENTES	CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO	BASES GRANULARES
Menor de 50 000	1.0 ó T.S.	4.0
50 001 – 150 000	2.0	4.0
150 001 – 500 000	2.5	4.0
500 001 – 2 000 000	3.0	6.0
2 000 001 – 7 000 000	3.5	6.0
Mayor de 7 000 000	4.0	6.0

T.S. = Tratamiento superficial con sellos

Diseño de Espesores

- SN = 3.28
- $a_1 = 0.42$
- $a_2 = 0.128$
- $a_3 = 0.123$
- $D_1 = 4.0$
- $D_2 = 8.0$
- $D_3 = 8.0$
- $m_2 = 1.0$
- $m_3 = 1.0$

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

$$SN = 0.42 \times 4 + 0.128 \times 8 \times 1 + 0.123 \times 8 \times 1$$

$$SN = 3.68$$

Finalmente el diseño de la estructura del pavimento propuesto quedara de la siguiente manera.

Figura N° 10.8:
ESTRUCTURA FINAL DEL PAVIMENTO

Carpeta Asfáltica	e =	4.00 "	=	[0.10 m]
Base	e =	8.00 "	=	[0.20 m]
Sub Base	e =	8.00 "	=	[0.20 m]
Sub Rasante				

10.4. METODOLOGÍA DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA)

10.4.1. FACTORES DE DISEÑO

INTRODUCCIÓN

El Método de Diseño de la Asociación del Cemento Portland de los Estados Unidos "PCA", considerados criterios de análisis, por fatiga y por erosión:

CRITERIO POR FATIGA: Establece que los esfuerzos inducidos a las losas de concreto deben mantenerse dentro de límites aceptables.

CRITERIO DE EROSIÓN: Tiene la finalidad de controlar los efectos de la deflexión del pavimento en las zonas críticas, como orillas y esquinas, provocados por la erosión de la capa de apoyo en estos sectores, además delimitar el agrietamiento en zonas de juntas.

Un pavimento sometido a tráfico pesado puede fallar por fenómenos de bombeo (pumping), erosión de la base y escalonamiento de las juntas, antes que por la fatiga que produce la repetición de cargas.

ESFUERZOS CRÍTICOS DE ORILLA: Se producen cuando las cargas móviles se sitúan cerca al borde longitudinal del pavimento, relativamente lejos de las juntas transversales, por lo tanto éstas tienen poca influencia en los esfuerzos

resultantes, los cuales serán independientes del mecanismo de transferencia de carga. La construcción de acotamientos ligados al pavimento reducirá considerablemente los esfuerzos resultantes en los bordes.

ESFUERZOS CRÍTICOS DE ESQUINA: Cuando las cargas móviles se sitúan cerca de la junta transversal y del borde del pavimento, la transferencia de carga en la junta será la que determine, en mayor medida, los esfuerzos resultantes.

POSICIONES CRÍTICAS DE LOS CAMIONES: Solamente un pequeño porcentaje de camiones circula cerca al borde del carril externo de un camino, generalmente las llantas pasaran a una distancia de las orillas del carril, la cual de acuerdo a estadísticas de la PCA es de 60 centímetros. En el análisis se considera que el 6% del total De camiones pesados circula con la llanta externa cerca o sobre el borde del pavimento. A medida que la carga se aleja de los bordes los esfuerzos se reducen considerablemente, se incrementa la frecuencia de las pasadas permisibles, y disminuyen los esfuerzos y deflexiones del pavimento.

En el análisis por fatiga se consideran los esfuerzos para posiciones incrementales de carga hacia el interior de la losa. Mediante esta variación de posiciones se determina el factor de esfuerzo de orilla equivalente. Este factor cuando se multiplica por los esfuerzos de orilla da el mismo valor de consumo de fatiga producida por una distribución de posiciones de tránsito pesado.

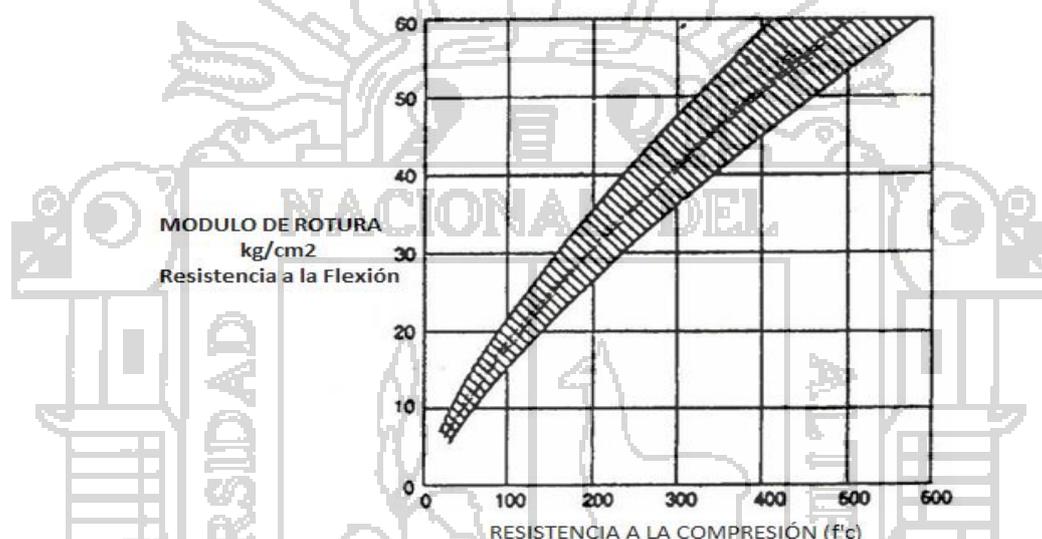
En este método se utiliza el 6% como condición más crítica, para la repetición del tránsito pesado en las orillas. Este porcentaje sobre los bordes ocasiona el mismo deterioro que toda la distribución vehicular que circula en el carril de diseño.

En el análisis por erosión se utilizó también el 6%. Cuando el pavimento no cuenta con acotamientos, rige la condición más crítica en las esquinas, es decir el 6% del tránsito pesado. Cuando se proveen acotamientos, el remanente de tránsito del 94%, que circula hacia el interior de las losas será el que provoca la falla por deflexiones excesivas (erosión).

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO

La resistencia se considera en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga; ella controla el agrietamiento del pavimento bajo la acción repetida de las cargas de los vehículos pesados. La resistencia a la flexión del concreto se determina por el ensayo de módulo de rotura sobre vigas de 150x150x750 mm, cargándolas en los tercios de la luz, para un periodo de curado de 28 días; también se puede determinar por correlación con la resistencia a la compresión:

Figura N° 10.9:
Correlación entre el Módulo de Rotura y la Resistencia a la Compresión (f'_c) a los 28 días.



Fuente: Pavimento de concreto hidráulico – Ing. Samuel Mora Q.

Pudiendo ser utilizada la correlación siguiente que es el equivalente de la figura anterior:

$$S'c = 32(f'c)^{1/2}$$

Donde:

$S'c$ = Módulo de Rotura (en Psi)

$f'c$ = Resistencia a la compresión del concreto (en kg/cm²)

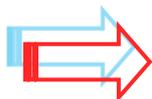
Hallamos $f'c$:

La Norma Técnica C. E. 010 Pavimentos Urbanos, para el caso del diseño de Estructural de Pavimentos Rígidos, indica que la Resistencia a la Flexión (MR)

debe ser ≥ 3.4 Mpa, así como también que con el método Portland Cement Association (PCA), indica que la Resistencia a la Flexión (MR) debe ser de 10 a 15 % mayor que la resistencia mínima especificada para la aceptación del concreto.

Considerando 10% más de la Resistencia calculada, entonces:

$$S'c = 3.45 \times 1.10 \text{ Mpa}$$



$$S'c = 3.80 \text{ Mpa}$$

a. Características y componentes

- ✓ Tránsito
- ✓ Resistencia de diseño del concreto
- ✓ Módulo de reacción de la subrasante
- ✓ Tipo de acotamientos y juntas transversales
 - Si el acotamiento está o no pavimentado
 - Si existen Dowels
- ✓ Periodo de diseño
- ✓ Criterio de fatiga
- ✓ Criterio de erosión

Tránsito

Representa el número de ejes que pasan por el carril de diseño, clasificado por tipo y carga por eje. Para su cálculo se toman en cuenta los parámetros siguientes:

- ✓ La distribución de pesos por eje, por cada 1.000 vehículos.
- ✓ Las tasas de crecimiento.
- ✓ Los factores de distribución del tránsito pesado en el carril de diseño.

Los valores del tránsito promedio diario anual T.P.D.A. deben ser afectados por el factor de distribución por carril, por el factor direccional y por el factor de crecimiento.

$$NVC = TPDA \times 365 \times \%Vp \times Fd \times Fca \times Fc \times Pd$$

Dónde:

NVC : Número de vehículos en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

TPDA : Tránsito promedio diario

%Vp : Porcentaje de vehículos pesados

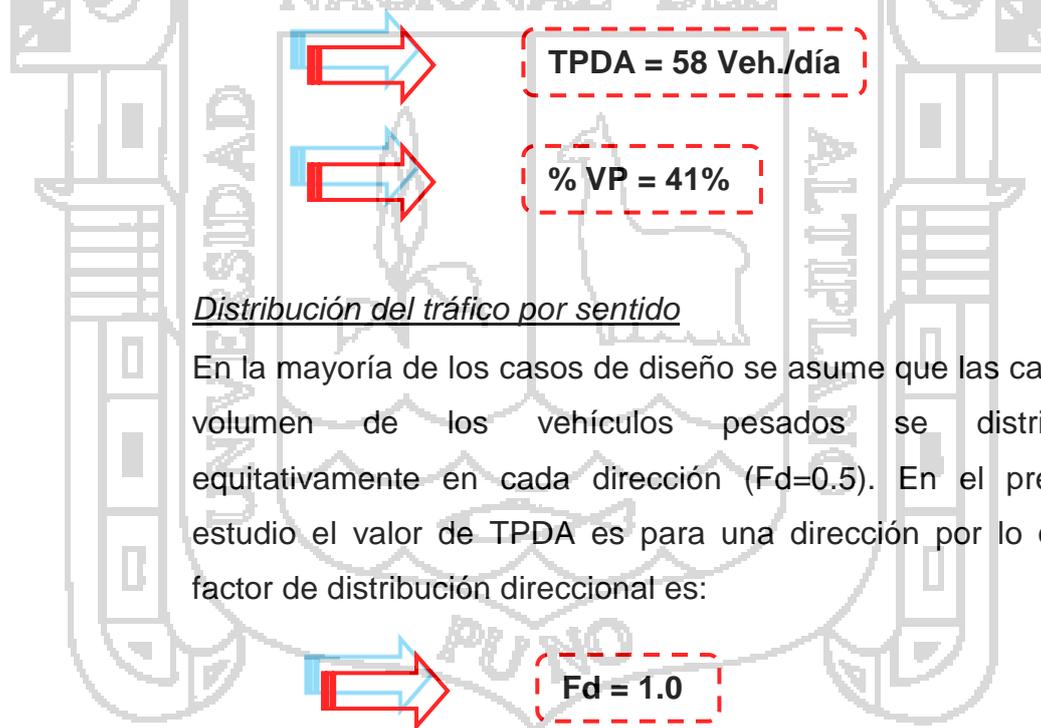
Fd : Factor de distribución por sentido

Fca : Factor distribución por carril

Fc : Factor de crecimiento

Pd : Periodo de Diseño

El TPDA y el porcentaje de vehículos pesados se obtendrán del Capítulo VI Estudio de Tránsito Vehicular.



Distribución del tráfico por sentido

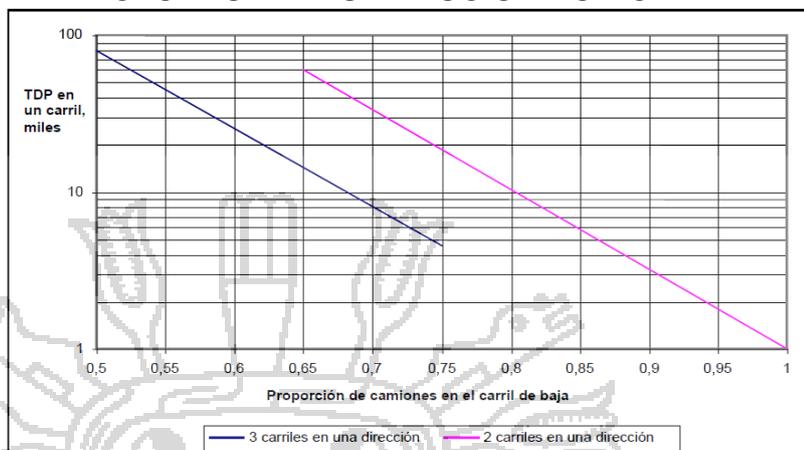
En la mayoría de los casos de diseño se asume que las cargas y volumen de los vehículos pesados se distribuyen equitativamente en cada dirección ($F_d=0.5$). En el presente estudio el valor de TPDA es para una dirección por lo que el factor de distribución direccional es:

Factor de distribución por carril

Es un factor que se utiliza para determinar el tránsito que corresponderá al carril de diseño, cuando la vía pavimentada sea diseñada con 2 ó más carriles por dirección. Los valores de este

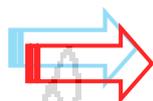
factor se pueden obtener de la Figura N° 10.10

Figura N° 10.10
FACTORES DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL.



Fuente: PCA Thickness design for concrete highway and and street pavements 1984 pág. 11

El presente proyecto es solo de un carril en una dirección, razón por la cual el factor de distribución por carril es:



Fca = 100%

Factor de crecimiento

El método de la PCA considera un crecimiento de tráfico constante, con un tránsito promedio que corresponde a la mitad del periodo de diseño. En la tabla siguiente se registran los valores del factor de crecimiento para periodos de diseño de 20 y 40 años, y tasas de crecimiento anual del 1 al 6%.

Teniendo en cuenta que el factor de crecimiento se ve afectado por:

- ✓ Impacto de obra nueva: el tránsito se desviará a la nueva ruta, cuando se conozcan las facilidades y la seguridad que ofrece su pavimento.
- ✓ Crecimiento normal de usuarios: que corresponde al crecimiento normal producido por el aumento de la población y del parque automotor.
- ✓ Tránsito inducido: es el que se genera por la

recomendación y la propaganda que realizan los usuarios regulares de la nueva carretera.

- ✓ Tránsito nuevo generado: es el que se origina en la nueva redistribución del uso del suelo, producida por la construcción de la nueva vía.

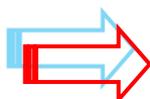
Es conveniente tener en cuenta que no todos los componentes del tráfico crecen en la misma proporción, por ejemplo los vehículos livianos pueden crecer el doble de los camiones pesados de tres o más ejes, y que la tasa de crecimiento adoptada pueden o mantenerse constante a lo largo de la vida de proyecto, lo cual podrá producir valores exagerados o irreales del tráfico de diseño.

CUADRO Nº 10.14
FACTORES DE CRECIMIENTO “FC”

Tasa de Crecimiento	Periodo de	
	20	40
1	1	1
1	1	1
2	1	1
2	1	1
3	1	1
3	1	2
4	1	2
4	1	2
5	1	2
5	1	2
	1	3

Fuente: PCA Thickness design for concrete highway and street pavements 1984 pág. 08

En Capítulo VI Estudio de Tránsito Vehicular, se calculó tasa de crecimiento que es de **3.7**, por lo cual el factor de crecimiento interpolando valores es:



Fc = 1.44

Sustituyendo los valores en la ecuación siguiente:

$$NVC = TPDA \times 365 \times \%Vp \times Fd \times Fca \times Fc \times Pd$$

$$NVC = 58 \times 365 \times 41.0\% \times 1 \times 100\% \times 1.44 \times 20$$



$$NVC = 192,689$$

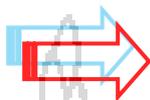
Factores de seguridad

Los factores de seguridad recomendados por el método se eligen de la tabla siguiente:

CUADRO Nº 10.15
FACTORES DE SEGURIDAD DE DISEÑO "PCA"

Tipo de Carretera	Factor de Seguridad
Carreteras con alto volumen de tráfico, sin interrupción	1,2
Carreteras y calles principales con tránsito pesado moderado	1,1
Caminos locales, calles residenciales y otros con poco tránsito	1,0

Fuente: PCA Thickness design for concrete highway and street pavements 1984 pág. 10



$$FS = 1.1$$

Resistencia del concreto

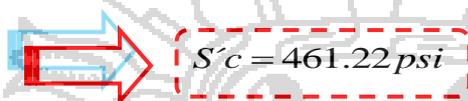
Al igual que el método AASHTO, el de la PCA utiliza la resistencia a la flexión a los 28 días. Es importante aclarar que en el caso del tránsito pesado no gobierna la resistencia del concreto sujeto a fatiga, sino es que el diseño está regido por el criterio de erosión. En el caso de tránsito medio, el factor de resistencia solo influye en caso de que se usen Dowels en las juntas transversales. Finalmente en el caso de tráfico liviano el factor determinante para el diseño es la fatiga.

Generalmente el diseño de pavimentos de concreto se realiza utilizando la resistencia a la flexión a los 28 días, sin embargo se debe considerar que el concreto aumenta su resistencia con la edad, por ejemplo el incremento de resistencia de los 28 días a los 90 días puede ser de 1. Por esta razón algunos proyectistas utilizan la resistencia a la flexión a los 90 días.

$$S'c = K (f'c)^{0,5}$$

$S'c$ y $f'c$ están dados en (Mpa), K es una constante que varía entre 0.7 (para cantos rodados) y 0.8 (para materiales triturados) *Valores tomados del texto “Nociones sobre método de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras” Volumen II Carlos Higuera Sandoval.*

$$S'c = 0.7 * \sqrt{210 * .09807} = 3.18 Mpa$$



$$S'c = 461.22 \text{ psi}$$

Módulo de reacción de la subrasante

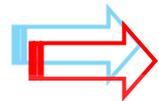
La calidad del suelo que conforma la subrasante es un factor de relativa importancia en el diseño de espesores de un pavimento de concreto. Esta, usualmente, se caracteriza por el módulo de reacción de la subrasante K , que representa la presión de una placa circular rígida de 76 cm de diámetro dividida por la deformación que dicha presión genera. Su unidad de medida es el kg/cm^3 . Si no es posible realizar el ensayo correspondiente, generalmente se calcula correlacionándolo con otro tipo de ensayo más rápido, tal como el ensayo CBR. Para fines prácticos se proponen las siguientes categorías de subrasante:

**CUADRO Nº 10.15
VALORES APROXIMADOS DE “CBR”**

Categoría Subrasante	Clasificación S.U.C.S.	Clasificación A.A.S.H.T.O.	CBR (%)	K (kg/cm3)
a.) Muy buena	GW, GP, GM, GC	A1-a, A1-b	>25	>8
b.) Buena	SC-SM	A2-6, AU2-7	6 a 25	4 a 8
c.) Deficiente	ML, CL, MH, CH,	A-5, A-6, A7-5, A7-6	2 a 6	2 a 4

Fuente: Guía para el Diseño y la Construcción de Pavimentos Rígidos. Ing. Aurelio Salazar Rodríguez, 1998.

El CBR se realiza el cálculo por el método del Instituto del Asfalto obteniéndose un valor:

 CBR = 24.12 %

Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos

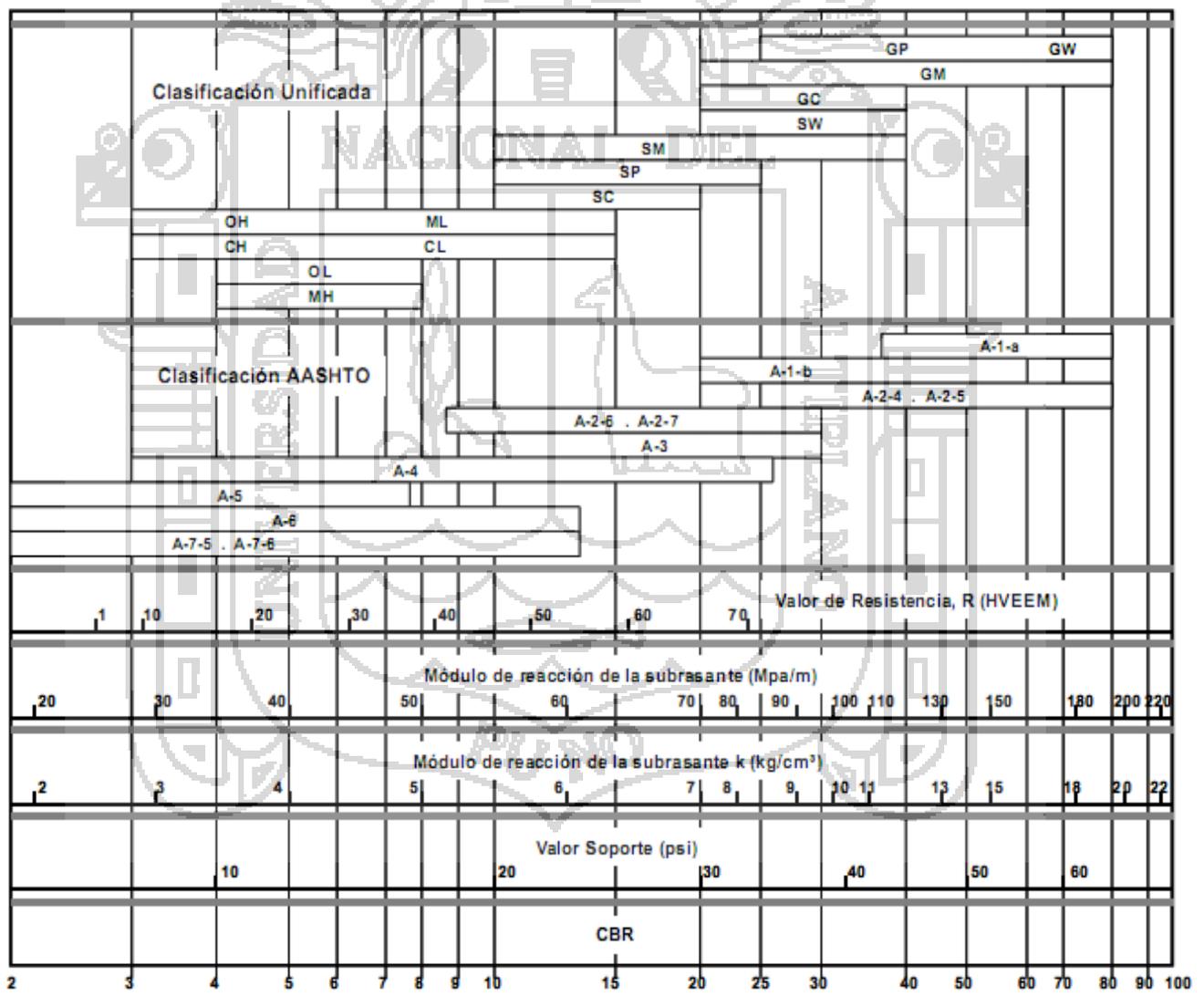


Figura N° 10.11

Fuente: PCA Thickness design for concrete highway and street pavements 1984 pág. 07

De lo hallado en de la figura N° 10.9, para un CBR = 24.12 %, se obtiene:



$K = 82.4 \text{ Mpa/m}$

Cuadro N° 10.16:
EFFECTO DE LA SUB BASE GRANULAR SOBRE LOS VALORES DE K.

Valor de k para subrasante		Valor de k para sub base							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
Mpa/m	Lb/pulg3	Mpa/m	Lb/pulg3	Mpa/m	Lb/pulg3	Mpa/m	Lb/pulg3	Mpa/m	Lb/pulg3
20	73	23	85	26	96	35	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

.Fuente: Ingeniería de Pavimentos para carreteras, Ing. Alfonso Montejo Fonseca, Tomo I, Año 2002.

El valor de $k = 82.4 \text{ Mpa/m} = 80$, es del terreno natural y como tenemos una sub base granular de 20 cm (200 mm), la k se modifica, resultando la k del conjunto suelo – sub base, Interpolando de acuerdo al cuadro N° 10.16

150 mm ----- 90 Mpa/m
 200 mm ----- X
 225 mm ----- 100 Mpa/m



$K = 96.66 \text{ Mpa/m}$

10.4.2. ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

Con los datos que se muestran a continuación, se calcularon el Capítulo III, Estudio de Tránsito Vehicular.

**CUADRO N° 10.17
ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL**

FECHA	AUTO	CAMIONETAS		BUS	CAMION		TOTAL
		PICKUP	RURAL Combi	2E	3E	4E	
							
07/01/2013	6	8	11	7	5	3	40
08/01/2013	5	7	7	6	8	3	36
09/01/2013	6	9	24	7	21	4	71
10/01/2013	8	8	10	6	6	2	40
11/01/2013	6	8	13	6	8	2	43
12/01/2013	4	5	10	5	6	2	32
13/01/2013	13	12	14	10	11	7	67
TOTAL	48	57	89	47	65	23	329
IMD	7	8	13	7	9	3	47
PORCENTAJES	15%	17%	27%	14%	20%	7%	1
IMD POR EJE	59.0%		41.0%			100.0%	
INDICE MEDIO DIARIO							47

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior se tiene:

- ⊙ **IMDA = TPDPA = 47 Vehículos en ambas direcciones**
- ⊙ **% Vehículos comerciales (Buses y Camines) = 41%**

**Cuadro N° 10.18
CONFIGURACIÓN DE LAS CARGAS DE LOS VEHÍCULOS COMERCIALES.**

TIPO DE VEHICULO	CARGA TOTAL		EJE SIMPLE DIRECCIONAL		EJE SIMPLE DOBLE		EJE TANDEM	
	TN	KN	TN	KN	TN	KN	TN	KN
BUS - B2	18	176.58	7	68.67	11	107.91	-	-
CAMION – 3E	18	176.58	7	68.67	11	107.91	-	-
CAMION – 4E	25	245.25	7	68.67	-	-	18	176.58

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro N° 10.19:
DISTRIBUCIÓN DE LOS EJES POR TIPO DE VEHÍCULO.**

TIPO DE VEHICULO	EJE SIMPLE %	EJE SIMPLE %
BUS - B2	100	-
CAMION - C2	100	-
CAMION - C3	50	50

Fuente: Elaboración propia

a) Número de vehículos comerciales diarios en el carril de diseño

**Cuadro N° 10.20:
DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE LOS VEHÍCULOS COMERCIALES
DIARIOS EN EL CARRIL DE DISEÑO POR TIPO DE VEHÍCULO.**

TIPO DE VEHICULO	TPDA VEHICULOS (1)	% VEHICULOS COMERCIALES (2)	N° DE EJES COMERCIALES POR DIA/CARRIL (1)*(2)*Fs*Fca
BUS - B2	47	14%	7
CAMION – 3E	47	20%	9
CAMION – 4E	47	7%	3
TOTAL			19

Fuente: Elaboración propia

b) Proyección del tránsito de vehículos comerciales en el carril de diseño durante el periodo de diseño

$$Re = NVC = TPDA \times \%Te \times FS \times FC \times Pd \times FCA \times 365$$

$$Re = NVC = 47 \times 41\% \times 1.0 \times 0.5 \times 20 \times 3.7 \times 365$$

$$Re = NVC = 260,241.35 \text{ vehiculos comerciales/carril de diseño/periodo de diseño.}$$

c) Distribución de los vehículos comerciales por día/carril de diseño y por cada 1,000 vehículos comerciales

Cuadro N° 10.21:
Distribución de los vehículos comerciales por día y carril de diseño,
por cada 1,000 vehículos comerciales.

TIPO DE VEHICULO	N° DE VEHICULOS COMERCIALES /DIA/CARRIL	N° DE VEHICULOS COMERCIALES/DIA/CARRIL /CADA 1000 VC
	(1)	(1)*1000/19
BUS - B2	7	368
CAMION – 3E	9	474
CAMION – 4E	3	158
TOTAL	19	1000

Fuente: Elaboración propia

d) Número de ejes esperados por cada 1,000 vehículos comerciales

Cuadro N° 10.22:
Número de ejes esperados por cada 1,000 vehículos comerciales.

TIPO DE VEHICULO	N° DE VEHICULOS COMERCIALES/DIA/CARRIL /CADA 1000 VC	N° EJES POR CADA 1,000 VEHÍCULOS COMERCIALES	
		EJE SIMPLE	EJE TANDEM
BUS - B2	368	714	-
CAMION – 3E	474	714	-
CAMION – 4E	158	286	286
TOTAL	1000	1714	286

Fuente: Elaboración propia

e) Distribución del número de ejes por cada 1,000 vehículos comerciales por carga y tipo de eje

Se distribuyen los ejes por cada 1,000 vehículos comerciales y se determina el número esperado de ejes en el carril de diseño para el periodo de diseño.

$$Ejes_{\text{período de diseño/carril de diseño}} = \frac{NVC \times Ejes \text{ por cada } 1,000VC}{1,000}$$

Cuadro N° 10.23:
Número esperado de ejes en el carril de diseño para el periodo de diseño.

CARGAS		EJES POR CADA	N° DE EJES EN EL
TON	KN	1000 VEH. COMERCIALES	CARRIL DE DISEÑO/PERIODO DE DISEÑO
EJES SIMPLES			
11	107.91	714	185,812.32
7	68.67	1000	260,241.35
TOTAL		1714	446,053.67
EJES TANDEM			
18	176.58	286	37,319.43
TOTAL		2000	483373.10

Fuente: Elaboración propia

7.1.1 ANALISIS DE EROSIÓN Y FATIGA DEL PAVIMENTO RIGIDO

a) Análisis por Erosión.

Este sirve para limitar los efectos de deflexión que se producen en los bordes de las losas, juntas y esquinas del pavimento; también para tener control sobre la erosión que se produce en la Sub base ó Sub rasante y los materiales que conforman las bermas.

b) Análisis por Fatiga.

Esta sirve para mantener los esfuerzos que se producen dentro de los límites de seguridad, ya que el paso de cargas sobre las losas del pavimento produce esfuerzos que se convierten en agrietamientos.

El espesor de losa escogido por el tanteo se considera inadecuado si alguno de los totales de fatiga o erosión supera el 100%.

7.1.2 CALCULO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RIGIDO UTILIZANDO EL PROGRAMA BS – PCA

A partir del Cuadro N° 7.8, se procede a calcular el espesor de la losa de concreto rígido mediante los criterios de diseño de la PCA: Erosión y Fatiga, de acuerdo con los siguientes datos:

- Módulo de reacción del conjunto sub rasante/sub base, $K = 96.66$ MPa/m.
- Espesores considerados de la losa: 180, 181, 182,..... 200 mm.
- Módulo de rotura del concreto, $S'c = 3.80$ MPa.
- Factor de seguridad de carga, $Fsc = 1.1$.
- Juntas con dovelas: NO.
- Bermas de concreto: SI.

Figura N° 10.12: Datos de entrada y resultados.



BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 96.66 Mpa/m

Espesor de la Losa : 187 mm

Módulo de Rotura Losa : 3.8 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1.1

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Cargar

Guardar

Calcular

Imprimir

Total Consumo Esfuerzo (%) : 98.9836

Total Consumo Erosión (%) : 26.5516

Salir

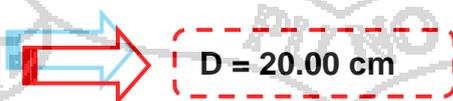
Figura N° 7.8: Resumen tanteos con los diferentes espesores (Análisis de sensibilidad para el diseño).

ANALISIS DE SENSIBILIDAD							
K_Subrasante (Mpa/m)	Espesor (mm)	Modulo_Rotura (Mpa)	Factor Repeticion	May Consumo Fatiga	Consumo Erosion	Condicion	
96.7	180.00	3.8	1.0	221.18	37.43	NO CUMPLE	
96.7	181.00	3.8	1.0	196.34	35.63	NO CUMPLE	
96.7	182.00	3.8	1.0	174.54	33.92	NO CUMPLE	
96.7	183.00	3.8	1.0	155.39	32.30	NO CUMPLE	
96.7	184.00	3.8	1.0	138.53	30.75	NO CUMPLE	
96.7	185.00	3.8	1.0	123.68	29.28	NO CUMPLE	
96.7	186.00	3.8	1.0	110.57	27.88	NO CUMPLE	
96.7	187.00	3.8	1.0	98.98	26.55	CUMPLE (ADECUADO)	
96.7	188.00	3.8	1.0	88.73	25.29	CUMPLE	
96.7	189.00	3.8	1.0	79.64	24.08	CUMPLE	
96.7	190.00	3.8	1.0	71.45	22.94	CUMPLE	
96.7	191.00	3.8	1.0	64.08	21.85	CUMPLE	
96.7	192.00	3.8	1.0	57.33	20.82	CUMPLE	
96.7	193.00	3.8	1.0	51.17	19.84	CUMPLE	
96.7	194.00	3.8	1.0	45.54	18.91	CUMPLE	
96.7	195.00	3.8	1.0	40.42	18.02	CUMPLE	
96.7	196.00	3.8	1.0	35.76	17.17	CUMPLE	
96.7	197.00	3.8	1.0	31.53	16.36	CUMPLE	
96.7	198.00	3.8	1.0	27.71	15.59	CUMPLE	
96.7	199.00	3.8	1.0	24.26	14.85	CUMPLE	
96.7	200.00	3.8	1.0	21.15	14.15	CUMPLE	

De acuerdo con los resultados anteriores, el espesor más adecuado para la losa de concreto es de 187 mm., el cual cumple con los criterios de fatiga y erosión.

Por lo tanto: $D = 187 \text{ mm} = 18.7 \text{ cm}$

Asumimos:



10.5. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

El concreto está integrado o constituido por cuatro materiales o componentes esenciales, que son cemento, arena, grava y agua.

La arena y la grava son conocidos con los nombres de agregados, áridos, hormigón, inertes, etc. Son materiales pétreos de estructura granular, provenientes de rocas de diversas composiciones, y sirven para darle solidez y consistencia al concreto.

Estos agregados constituyen aproximadamente las dos terceras partes del concreto, desempeñando un papel importante en su comportamiento, principalmente por la influencia que ejercen sobre sus propiedades y costo del mismo.

El diseño de mezclas, consiste en aplicar técnicamente los conocimientos sobre sus componentes para obtener requerimientos particulares del concreto requerido en el Proyecto u Obra.

El concreto debe cumplir con las propiedades que sean necesarias para un tipo particular de obra, y además sus propiedades intrínsecas en estado fresco como son su trabajabilidad, su peso unitario, su exudación, su fluidez, etc. y en estado endurecido como son su resistencia, su durabilidad, su elasticidad, etc. y su economía a corto y largo plazo.

Actualmente los concretos que comúnmente se están utilizando son las que tienen relaciones a/c que nos proporcionarán resistencias a compresión del concreto que varían desde $f'c$ de 140, 175 y 210 Kg/cm².

Para el caso de la losa de concreto del pavimento se utilizará concreto con una resistencia a la compresión simple $f'c$ de 210 Kg/cm², tal como se muestran en los Anexos de este Capítulo.

10.5.1. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO (SLUMP)

Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la siguiente Tabla:

**Cuadro N° 10.24:
CONSISTENCIA Y ASENTAMIENTOS.**

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD
--------------	-------	----------------

Seca	0" a 2"	Poco trabajable
Plástica	3" a 4"	Trabajable
Fluida	> 5"	Muy trabajable

Fuente: Tecnología del Concreto, Flavio Abanto Morales, Lima – Perú.

Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, utilizando la Tabla 10.24, podemos seleccionar un valor adecuado para un determinado trabajo que se va a realizar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

**CUADRO N° 10.25:
ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA VARIOS TIPOS DE
CONSTRUCCIÓN.**

TIPOS DE CONSTRUCCION	MAXIMO	MINIMO
Zapatasy muros de cimentación reforzados	3"	1"
Zapatasy simples, cajones y muros de subestructura	3"	1"
Vigas y muros reforzados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Pavimentos y losas	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Tecnología del Concreto, Flavio Abanto Morales, Lima – Perú.

Para el diseño de mezclas de concreto de nuestro caso se opta por un slump de 3" (Pavimentos y losas).

10.5.2. SELECCIÓN DE TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

La Norma Técnica de Edificación E. 060, señala que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

- ✓ 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados.
- ✓ 1/3 del espesor de la losa
- ✓ 3/4 del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de pre esfuerzo.

Estas limitaciones a menudo se evitan si la trabajabilidad y los procedimientos de compactación permiten colocar el concreto sin formación de vacíos o cangrejas.

Por otro lado para la determinación del Tamaño Máximo de Agregados (TM), está dado por la abertura de la malla inmediata superior a la que retiene el 15% o más, al cribar por ella el agregado más grueso.

Se adjunta en los anexos los ensayos de Mecánica de Suelos de los agregados que se hizo en la Municipalidad Provincial de Juliaca.



CAPÍTULO XI

DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE

11.1. DRENAJE PLUVIAL URBANO

El agua superficial es uno de los elementos que causa mayores problemas a las vías terrestres.

El Drenaje Pluvial Urbano comprende la recolección, transporte y evacuación a un cuerpo receptor de las aguas pluviales que se precipitan sobre un área urbana. El termino drenaje se aplica al proceso de remover el exceso de agua para prevenir el inconveniente público y proveer protección contra la perdida la propiedad y de la vida. En un área desarrollada el drenaje escurre en forma natural como parte del ciclo hidrológico, Este sistema de drenaje natural no es estático pero está constantemente cambiando con el entorno y las condiciones físicas.

El drenaje urbano, tiene por objetivo el manejo racional del agua de lluvia en las ciudades, para evitar daños en las edificaciones y obras públicas (pistas, redes de agua, redes eléctricas, etc.), así como la acumulación del agua que pueda constituir focos de contaminación y/o transmisión de enfermedades.

11.2. CONSIDERACIONES DE LA N.T. O.S. 060 DRENAJE PLUVIAL URBANO

Para la evacuación de las aguas pluviales en calzadas, veredas y las provenientes de las viviendas, la Norma Técnica O.S. 060 Drenaje Pluvial Urbano nos brinda Captación en zona vehicular – Pista, las siguientes consideraciones:

11.2.1. ORIENTACIÓN DEL FLUJO

En el diseño de pistas se deberá prever pendientes longitudinales (Sl) y transversales (St) a fin de facilitar la concentración del agua que incide sobre el pavimento hacia los extremos o bordes de la calzada.

- ✓ Las pendientes a considerar son:
- ✓ Pendiente Longitudinal (S_l) $> 0.5 \%$.
- ✓ Pendiente Transversal (S_t) de 2% a 4% .

11.2.2. CAPTACIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS PLUVIALES DE CALZADA Y ACERAS

La evacuación de las aguas que discurren sobre la calzada y aceras se realizará mediante cunetas, las que conducen el flujo hacia las zonas bajas donde los sumideros captarán el agua para conducirla en dirección a las alcantarillas pluviales de la ciudad.

a) Las cunetas construidas para este fin podrán tener las siguientes secciones transversales:

- Sección Circular.
- Sección Triangular.
- Sección Trapezoidal.
- Sección Compuesta.
- Sección en V.

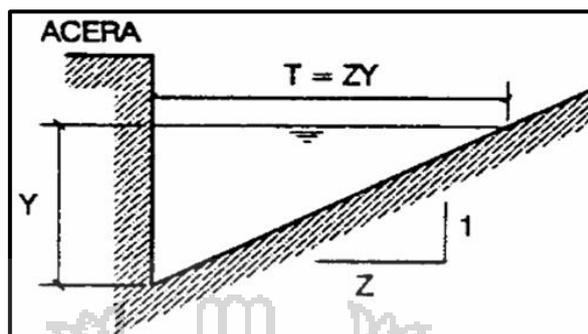
b) Determinación de la capacidad de la cuneta

La capacidad de las cunetas depende de su sección transversal, pendiente y rugosidad del material con que se construyan.

La capacidad de conducción se hará en general utilizando la Ecuación de Manning.

La sección transversal de las cunetas generalmente tiene una forma de triángulo rectángulo con el sardinel portando el lado vertical del triángulo. La hipotenusa puede ser parte de la pendiente recta desde la corona del pavimento y puede ser compuesta de dos líneas rectas.

Figura N° 22: Cuneta de sección transversal triangular.



Fuente: Norma Técnica O.S. 060 Drenaje Pluvial Urbano.

Dónde:

T = Espejo de Agua.

y = Tirante de Agua.

11.3. ECUACIÓN DE MANNING PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES EN CUNETAS TRIANGULARES

Tomando como referencia la Norma Técnica O.S. 060 Drenaje Pluvial Urbano, tenemos la siguiente ecuación, la cual se relaciona con la figura N°.

$$Q = 315 \frac{Z}{n} s^{\frac{1}{2}} Y^{\frac{8}{3}} \left(\frac{Z}{1 + \sqrt{1 + Z^2}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Dónde:

Q: Caudal en litros/seg.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning.

S: Pendiente longitudinal del Canal.

Z: Valor recíproco de la Pendiente Transversal (1:Z).

Y: Tirante de agua en metros.

T: Ancho Superficial en metros, o Espejo de agua.

P: Perímetro mojado en metros.

11.3.1. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

El Cuadro N° 71 muestra los valores del coeficiente de rugosidad de Manning correspondientes a los diferentes acabados de los materiales de las cunetas de las calles y berma central.

Cuadro N° 71:
Coeficiente de rugosidad de Manning para cunetas

Cunetas de las Calles	Coeficiente de Rugosidad N
a. Cuneta de Concreto con acabado paleteado	0,012
b. Pavimento Asfáltico	
1) Textura Lisa	0,013
2) Textura Rugosa	0,016
c. Cuneta de concreto con Pavimento Asfáltico	
1) Liso	0,013
2) Rugoso	0,015
d. Pavimento de Concreto	
1) Acabado con llano de Madera	0,014
2) Acabado escobillado	0,016
e. Ladrillo	0,016
f. Para cunetas con pendiente pequeña, donde el sedimento puede acumularse, se incrementarán los valores arriba indicados de n, en:	0,002

Fuente: Norma Técnica O.S. 060 Drenaje Pluvial Urbano.

Para el presente diseño se considera un Coeficiente de rugosidad de Manning: $n = 0.012$.

11.4. DISEÑO DE CUNETA

En el capítulo XI de Estudios Hidrológicos se obtuvo los siguientes resultados, los cuales se utilizarán en el presente diseño.

Cuadro N° 72:
Caudales Calculados para las Áreas Tributarias

Descripción	Área	Coeficiente escorrentía	Intensidad de lluvia (mm/hr)	Área Tributaria (m ²)	Área Tributaria (Ha)	Caudal Qs (m ³ /seg)	Caudal Qs (litros/seg)
Área Tributaria 1	A1	0.80	12.42	4,642.95	0.46	0.013	12.815
Área Tributaria 2	A2	0.80	12.42	5,901.03	0.59	0.016	16.287
Área Tributaria 3	A3	0.80	12.42	2,663.92	0.27	0.007	7.352
Área Tributaria 4	A4	0.80	12.42	2,573.36	0.26	0.007	7.102
Total				15,781.26	1.58	0.044	43.556

Fuente: Elaboración propia.

Adoptando un valor $Z = 3.30$. Tenemos, luego de evaluar varias alternativas

$$Y = 0.15 \text{ m.}$$

$$T = 0.50 \text{ m.}$$

Cuadro N° 73:

Evaluación de caudales usando la ecuación de Manning

Area	Longitud (m)	Cota superior (msnm)	Cota inferior (msnm)	Pendiente S (m/m)	Z (m)	Rugosidad Manning (n)	Tirante de agua planteado Y (m)	Caudal soportado por la sección Q (litros/seg)	Caudal Cuadro N° 8.1 Qs (litros/seg)	Condición
A1	180.00	3,824.08	3,823.80	0.00156	3.30	0.012	0.15	17.78	12.81	Qs < Q ok
A2	180.00	3,824.08	3,823.80	0.00156	3.30	0.012	0.15	17.78	16.29	
A3	92.51	3,824.08	3,823.97	0.00119	3.30	0.012	0.15	15.55	7.35	
A4	92.51	3,824.08	3,823.97	0.00119	3.30	0.012	0.15	15.55	7.10	

Fuente: Elaboración propia.

Para Área tributaria A1:

$$L = 180.00 \text{ m}$$

$$S = (3,824.08 - 3,823.80) / 180.00 = 0.00156 \text{ m}$$

$$n = 0.012$$

$$Z = 3.30$$

$$Y = 0.15 \text{ m.}$$

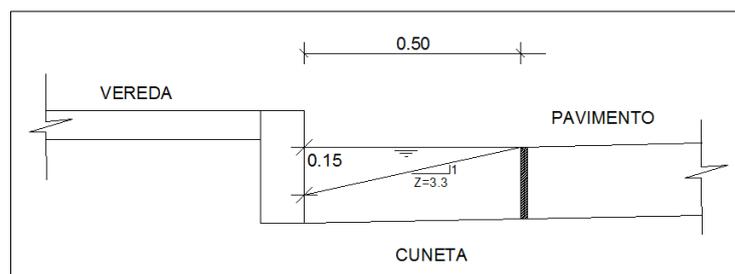
Reemplazando los valores en la Ecuación de Manning:

$$Q = 315 \frac{Z}{n} s^{\frac{1}{2}} Y^{\frac{8}{3}} \left(\frac{Z}{1 + \sqrt{1 + Z^2}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$Q = 315 \frac{3.30}{0.012} 0.00156^{\frac{1}{2}} 0.15^{\frac{8}{3}} \left(\frac{3.30}{1 + \sqrt{1 + 3.30^2}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$Q = 17.58 \text{ litros/seg}$$

Figura N° 23: Sección final de cuneta triangular.



CAPÍTULO XII

ESTUDIO DE SEÑALIZACIÓN DE TRÁNSITO

12.1. SEÑALES VERTICALES

Las señales verticales, como dispositivos instalados a nivel del camino o sobre él, destinados a reglamentar el tránsito, advertir o informar a los usuarios mediante palabras o símbolos determinados.

Las señales verticales, como dispositivos de control del tránsito deberán ser usadas de acuerdo a las recomendaciones de los estudios técnicos realizados.

Se utilizarán para regular el tránsito y prevenir cualquier peligro que podría presentarse en la circulación vehicular. Asimismo, para informar al usuario sobre direcciones, rutas, destinos, centros de recreo, lugares turísticos y culturales, así como dificultades existentes en las carreteras.

12.1.1. SEÑALES REGULADORAS DE REGLAMENTACIÓN

Tienen por objeto notificar a los usuarios de la vía de las limitaciones, prohibiciones o restricciones que gobiernan el uso de ella y cuya violación constituye un delito.

Figura N° 12.1 Ejemplo de Señales Reguladoras.



Fuente: 2005, MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, CAP 14 SEÑALIZACIÓN

12.1.2. SEÑALES DE PREVENCIÓN

Tienen por objeto advertir al usuario de la vía de la existencia de un peligro y la naturaleza de éste.

Figura N° 12.2: Ejemplo de señales preventivas.

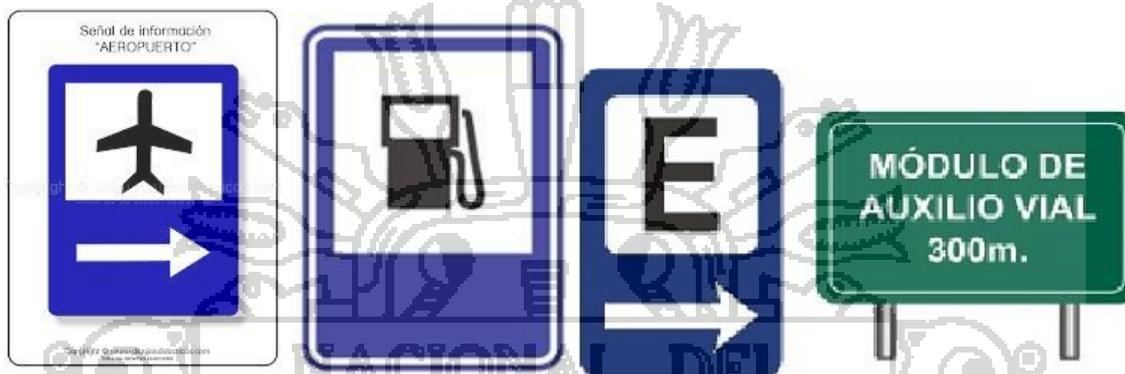


Fuente: 2005, MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, CAP 14 SEÑALIZACIÓN

12.1.3. SEÑALES DE INFORMACIÓN

Tienen por objeto identificar las vías y guiar al usuario proporcionándole la información que pueda necesitar, así como de guiar al conductor de un vehículo a través de una determinada ruta, dirigiéndolo al lugar de su destino.

Figura N° 12.3: Ejemplo de Señales Informativas.



Fuente: 2005, MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, CAP 14 SEÑALIZACIÓN

12.2. MARCAS EN EL PAVIMENTO

12.2.1. LINEA CENTRAL

En el caso de una calzada de dos carriles de circulación que soporta el tránsito en ambos sentidos, se utilizará una línea discontinua cuando es permitido cruzar y cuyos segmentos serán de 4.50 m de longitud espaciados 7.50 m en carreteras; en la ciudad será de 3 m y 5 m respectivamente.

La doble línea amarilla demarcadora del eje de la calzada, significa el establecer una barrera imaginaria que separa las corrientes de tránsito en ambos sentidos; el eje de la calzada coincidirá con el eje del espaciamiento entre las dos líneas continuas y paralelas.

12.2.2. LINEA DE BORDE DE PAVIMENTO

Se utilizará para demarcar el borde del pavimento a fin de facilitar la conducción del vehículo, especialmente durante la noche y en zonas de condiciones climáticas severas.

Deberá ser línea continua de 0.10m. de ancho de color blanco.

12.2.3. LINEAS DE «PARE»

Se usarán tanto en zonas urbanas como rurales donde se deberá indicar al conductor la localización exacta de la línea de parada del vehículo de acuerdo a lo indicado, sea por una señal de "PARE" o un semáforo.

Deberá ser una línea de color blanco, sólida de ancho 0.50m. colocada transversalmente al eje de la calzada, extendiéndose a través de todos los carriles de aproximación.

La línea de «PARE» deberá pintarse paralelamente y a una distancia anterior al "paso peatonal" de 1.00m; en el caso que no existiera el marcado de "paso peatonal" a una distancia mínima de 1.50m. de la esquina más cercana a la vía que se cruza.

12.2.4. LINEA DE PASOS PEATONALES

Las líneas o marcas para pasos peatonales se usarán tanto en áreas urbanas como rurales, para guiar al peatón por donde debe cruzarla calzada.

Se utilizarán franjas de 0.50m de color blanco espaciadas .0.50m y de un ancho entre 3.00m y 8.00m dependiendo de cada caso; las franjas deberán estar a una distancia no menor de 1.50m de la línea más próxima de la vía interceptante.

12.3. DISPOSITIVOS CONTROL DE TRÁNSITO A TRAVÉS DE ZONAS DE TRABAJO

Las señales a ser utilizadas en el presente caso (Construcción y Mantenimiento vial), están clasificadas como señales reglamentarias, preventivas y de información.

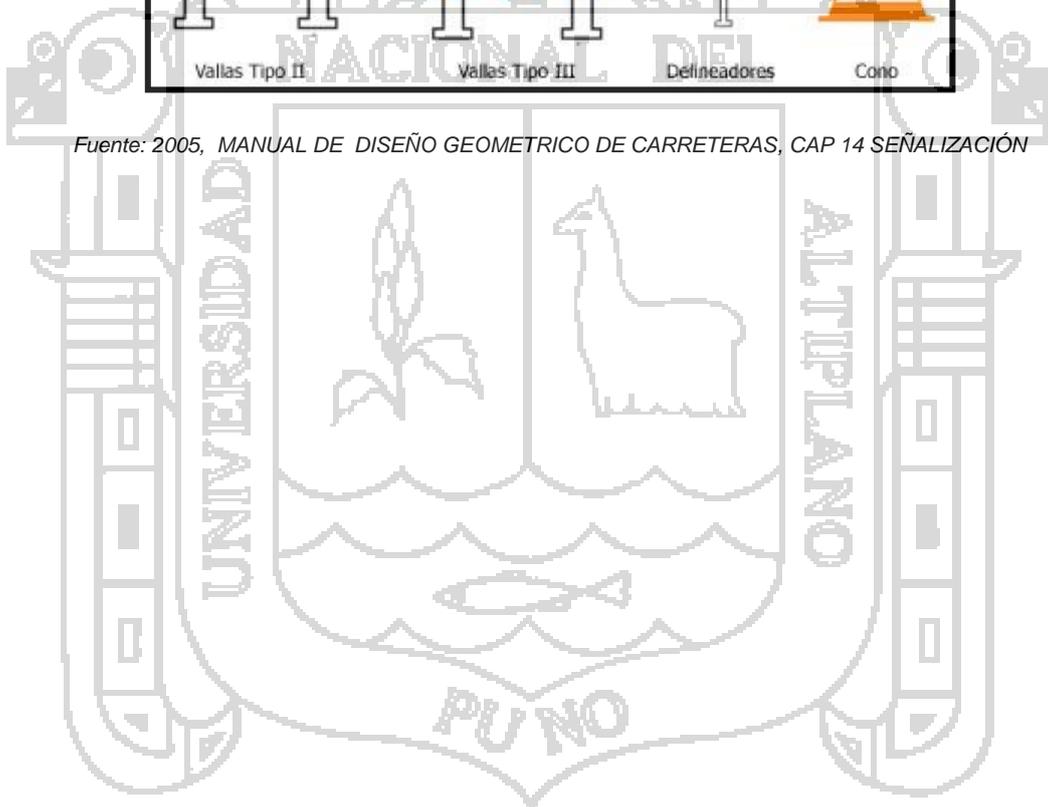
En lo referente a las señales especiales para las zonas en construcción o mantenimiento vial, siguen los principios básicos establecidos para la señalización en general, sea en cuanto a forma y leyenda. En cuanto a dimensiones, se utilizan las señales normales pudiéndose incrementarlas de acuerdo a diversas situaciones

que se presenten. En lo referente a colores se utilizará el color naranja con letras y marco negros.

Figura N° 12.3: Posición de las señales en zonas en trabajo.



Fuente: 2005, MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, CAP 14 SEÑALIZACIÓN

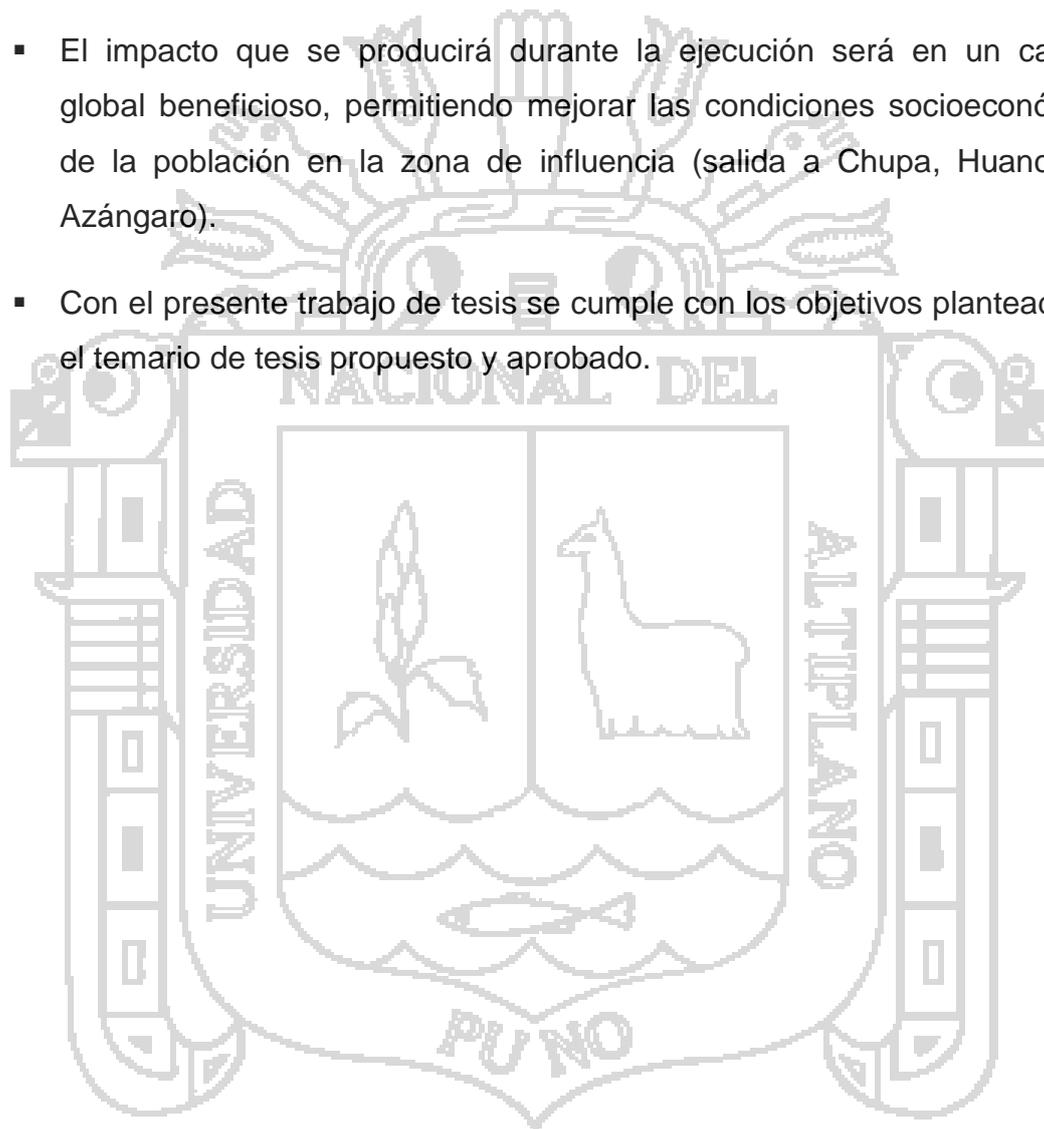


CONCLUSIONES

- La Av. Simón Bolívar es una vía de acceso importante en el distrito puesto que es acceso importante al Centro de Salud, Mercado y Complejo Deportivo Arapa, además es una vía de acceso y salida hacia los distritos de Chupa, Huancané y a la provincia de Azángaro.
- La zona de estudio presenta un IMDA de 47 Veh/día. El tránsito principalmente está constituido por vehículos ligeros: Autos, station wagon, camionetas, combis y vehículos ligeros pesados: Buses B2, camiones C2 y C3.
- De acuerdo a los resultados del Estudio de Suelos, en lo referente al terreno de fundación, se encuentran CBRs con mínimas diferencias, por lo que el CBR de diseño calculado es de 24.12%.
- En el estudio Hidrológico se realizó el cálculo de caudales y máximas intensidades de precipitación por los métodos Racional y Log Peáron Tipo III respectivamente, para lo cual se tomó los datos pluviométricos de la estación hidrológica de Salcedo.
- El caudal calculado crítico corresponde al Área Tributaria 2 y corresponde a 16.29 litros/seg., dato usado para el diseño de cunetas, adoptando una cuneta de sección triangular, se tiene un ancho superficial igual a 0.50 m y un tirante de agua de 0.15 m.
- De acuerdo con la metodología de diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93, se obtiene un espesor de 4.0" de pavimento flexible, base de 8" = 20cm sub base de 8" = 20 cm.
- Con la aplicación de la metodología Portland Cement Association (PCA), se obtiene un espesor de 180 mm o su equivalente a 19.00 cm, pero adoptamos 200mm = 20 cm por proceso constructivo.
- El Diseño Geométrico de la vía en estudio cumple con los criterios de una vía colectora y tiene los siguientes parámetros de diseño: Velocidad directriz: 40 Km/hora, distancia de visibilidad de parada: 50 m, Distancia

de visibilidad de paso: 175 m, pendiente mayor a 0.5 %, bombeo de 2 %, cunetas de tipo triangular, veredas de anchos variables desde 0.60 a 1.80m.

- Se ha considerado el Estudio de Señalización de Tránsito con el objetivo de minimizar la posibilidad de accidentes que podrían ocurrir, los mismos que tendrían repercusiones económicas y sociales.
- El impacto que se producirá durante la ejecución será en un carácter global beneficioso, permitiendo mejorar las condiciones socioeconómicas de la población en la zona de influencia (salida a Chupa, Huancané y Azángaro).
- Con el presente trabajo de tesis se cumple con los objetivos planteados en el temario de tesis propuesto y aprobado.



RECOMENDACIONES

- El estudio de tránsito vehicular es un factor importante en el diseño del pavimento, se recomienda tener especial cuidado al momento del aforamiento de los vehículos.
- Otro factor importante es la tasa de crecimiento que será el cual nosotros podemos la población automotriz para el cual se estará proyectando y poder evaluarla en el diseño de pavimentos.
- Se recomienda que durante el proceso constructivo del pavimento se tenga un adecuado control de calidad ya que la mayoría de vías de nuestro país se deterioran prematuramente, esto se debe a la mala calidad de materiales empleados, deficiente mano de obra y dirección técnica y al deficiente sistema de evacuación de aguas pluviales entre otros.
- Se recomienda tener en cuenta la política de mantenimientos rutinarios periódicos de las diferentes vías puesto que de esa forma se garantiza que el pavimento durará de una mejor forma en su vida útil.
- Se recomienda un mantenimiento continuo a la señalización con el fin de regular y controlar de tránsito de manera óptima.
- Se recomienda desarrollar el diseño mecanístico empírico de pavimentos, para así poder determinar alternativas más reales acordes a nuestra zona.

BIBLIOGRAFÍA

- Decreto Supremo N° 058-2003-MTC.* (2003). Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas.* (2005). Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- AASHTO. (1993). *GUIA PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS*.
- Barraza, Q. A. (2010). *Diseño de Pavimentos para las Avenidas Teodomiro Gutierrez y Francisco Choquehuanca de la Localidad de Puno*. UNA-PUNO: Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil.
- Casanova Matera, L. (2002). *"Topografía Plana"*.
- CEMEX. (s.f.). *Manual de Diseño Pavimentos Rígidos*.
- Comunicaciones, M. d. (EG - 2013). *Manual De Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción"*.
- M., P. C. (1990). *Transformadores Eléctricos Industriales*. Mexico: Continental S.A. de C.V.
- Minaya, S., & Ordoñez, A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima: UNI –Instituto de Investigaciones, Facultad de Ing. Civil.
- Morales, F. A. (2002). *Tecnología del Concreto*. Lima.
- MTC. (2008). *Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito*. Lima.
- Muñico, C. V. (2010). *Estudio Definitivo Para La Construcción De Infraestructura Vial En El Jr. San Martín, Cuadras 6 al 12 - Ilave*. UNA-PUNO: Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil.
- MVCS. (2010). *Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos*. LIMA: ICG.
- MVCS. (2013). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima.
- Paredes, A. M. (2006). *Método De Los Coeficientes De Escorrentía*. México.
- Rico, R. A., & Del Castillo, H. (1984). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Carretera, Ferrocarriles y Aeropistas (Vol. 2)*. México D.F.: Editorial Limusa.
- Rosello, C. W., & Layme, C. E. (2004).
- Sandoval, C. H. (2008). *Nociones Sobre Método De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras*. Lima.

Fuente: (Casanova Matera, 2002)

Fuente: (MTC, 2008)

(MVCS, Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos, 2010)

(GUIA PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS , 1993)

Fuente: (NORMA TÉCNICA CE. 010 PAVIMENTOS URBANOS, 2010)

(MVCS, Reglamento Nacional de Edificaciones, 2013)

Fuente: (Paredes, 2006)

f(Sandoval, 2008)

(Morales, 2002)