



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Diseño geométrico y de asfalto de la carretera Yurimaguas – Munichis,  
longitud 19.00 km, distrito Yurimaguas, provincia Alto Amazonas -  
región Loreto**

**Tesis para optar el título profesional de  
INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

**Bach. María Angélica Maslucán Marchand**

**Bach. Franco Antonio Gonzáles Tuesta**

**Asesor:**

**Ing. Víctor Hugo Sánchez Mercado**

**TOMO I**

**Tarapoto - Perú**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Diseño geométrico y de asfalto de la carretera Yurimaguas – Munichis,  
longitud 19.00 km, distrito Yurimaguas, provincia Alto Amazonas -  
región Loreto**

**Tesis para optar el título profesional de  
INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

**Bach. María Angélica Maslucán Marchand**

**Bach. Franco Antonio Gonzáles Tuesta**

**Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el día 21 de diciembre del 2017**

Handwritten signature of Víctor Eduardo Samamé Zatta in blue ink.

.....  
**Ing. M.Sc. Víctor Eduardo SAMAMÉ ZATTA**  
**Presidente**

Handwritten signature of Juvenal Vicente Díaz Agip in blue ink.

.....  
**Ing. Juvenal Vicente DÍAZ AGIP**  
**Secretario**

Handwritten signature of Rubén del Águila Panduro in blue ink.

.....  
**Ing. M.Sc. Rubén DEL ÁGUILA PANDURO**  
**Miembro**

Handwritten signature of Víctor Hugo Sánchez Mercado in blue ink.

.....  
**Ing. Víctor Hugo SÁNCHEZ MERCADO**  
**Asesor**

## Declaratoria de Autenticidad

Yo, MARIA ANGÉLICA MASLUCAÑ MARCHAND egresado(a) de la Facultad de INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA de la Escuela profesional de INGENIERIA CIVIL, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, identificado con DNI N° 71113821, Domiciliado en: CALLE LA LORETANA N° 398, con la tesis titulada: DISEÑO GEOMÉTRICO Y DE ASFALTO DE LA CARRETERA YURIMAGUAS-MUNICHIS, LONGITUD 19 KM, DISTRITO YURIMAGUAS, PROVINCIA ALTO AMAZONAS - REGIÓN LORETO

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 21 de diciembre del 2017.



DNI N° 71113821



## Declaratoria de Autenticidad

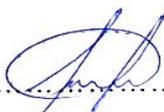
Yo, FRANCO ANTONIO GONZALEZ TUESTA, egresado(a) de la Facultad de INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA de la Escuela profesional de INGENIERIA CIVIL, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, identificado con DNI N° 70178782, Domiciliado en: JR. GRAU S/N - RUMISAPA, con la tesis titulada: DISEÑO GEOMÉTRICO Y DE ASPECTO DE LA CARRETERA YURIMAGUAS - MUNCHIS, LONGITUD 19 KM. DISTRITO YURIMAGUAS, PROVINCIA ALTO AMAZONAS - REGIÓN LORETO

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 21 de diciembre del 2017



DNI N° 70178782

## DECLARACIÓN JURADA

Yo, MARIA ANGE'LICA MASLUCAN MARCHAND.....  
identificado (a) con DNI N° 71113821....., domicilio legal  
CALLE LA LORETANA N° 398....., a efecto de cumplir con las disposiciones  
vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil  
y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **DECLARO BAJO  
JURAMENTO**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis y/o  
Informe de Ingeniería, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento  
u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a  
lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 21..... de diciembre..... del 2017..

  
.....  
Firma

  
.....  
Huella Digital

## DECLARACIÓN JURADA

Yo, FRANCO ANTONIO GONZÁLES TUESTA  
identificado (a) con DNI N° 70198782, domicilio legal  
IR. GRAU S/N - RUMISAPA, a efecto de cumplir con las disposiciones  
vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil  
y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **DECLARO BAJO  
JURAMENTO**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis y/o  
Informe de Ingeniería, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento  
u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a  
lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 21 de diciembre del 2017.

  
Firma

  
Huella Digital

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: MASLUCÁN MARCHAND MARÍA ANGÉLICA	
Código de alumno : 103154	Teléfono: 945104161
Correo electrónico : angelica.maslucan26@gmail.com	DNI: 71113821

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de: INGENIERÍA CIVIL

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título: DISEÑO GEOMÉTRICO Y DE ASFALTO DE LA CARRETERA YURIMAGUAS - MUNICHIS, LONGITUD 19 KM, DISTRITO YURIMAGUAS, PROVINCIA ALTO AMAZONAS - REGIÓN LORETO
Año de publicación: 2017

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

  
.....  
Firma del Autor

## 8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

31 / 05 / 2018



  
.....  
Firma del Responsable de Repositorio  
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso  
Abierto de la UNSM - T.

\***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

\*\* **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres:	GONZÁLES TUESTA FRANCO ANTONIO		
Código de alumno :	103117	Teléfono:	984871714
Correo electrónico :	fgonzalestuesta.93@gmail.com DNI: 70178782		

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de:	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de:	INGENIERIA CIVIL

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título:	DISEÑO GEOMÉTRICO Y DE ASFALTO DE LA CARRETERA YURIMAGUAS - MUNICHIS, LONGITUD 19 KM, DISTRITO YURIMAGUAS, PROVINCIA ALTO AMAZONAS - REGIÓN LORETO
Año de publicación:	2017

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

--

**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

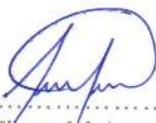
### 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

### 8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

31 / 05 / 2018



Firma del Responsable de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Roger Maslucán Perea y María Luz Marchand Pipa, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, porque a pesar que nos separaban kilómetros ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo, comprensión y educación durante esta larga y hermosa carrera de Ingeniería Civil, así mismo por sus consejos y la motivación constante que me proporcionaron para alcanzar mis anhelos y hacer de mí una mejor persona.

A mi enamorado Franco Antonio Gonzáles Tuesta, por su gran apoyo y el arduo trabajo que tuvimos al desarrollar cada parte y punto de esta tesis.

**María Angélica**

Dedico esta tesis primeramente a Dios por darme la vida, salud, por transmitirme la sabiduría y perseverancia, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera profesional.

A mis padres, José Antonio Gonzales Ramírez y Agarcith Tuesta Ortiz, por su amor, trabajo, sacrificio y por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mis hermanas, Reyna Isabel y Grecia Azucena, por sus palabras y compañía en todos estos años.

A mi enamorada y compañera de tesis, María Angélica Maslucán Marchand, por su paciencia, comprensión y amor durante todo el tiempo que estamos juntos.

**Franco Antonio**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme el don de la persistencia para alcanzar mis metas y la fortaleza en el momento más turbulento que he estado viviendo.

A mis padres, ya que sus esfuerzos son impresionantes y su amor son para mí invaluable, ellos me han proporcionado todo y cada cosa que he necesitado, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado brindándome su comprensión, cariño y amor; mi agradecimiento es infinito los amo papá y mamá.

A mis hermanos, Erick, Roger y María Luz, por brindarme su tiempo, y por sus consejos lo cual me han enseñado a salir adelante.

Mis sinceras gracias a mi enamorado Franco Antonio por la paciencia y comprensión que tuvo, estaré infinitamente agradecida porque en todo momento fue un apoyo incondicional durante todo el tiempo que estamos juntos.

**María Angélica**

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, por darme, sabiduría y el don de la persistencia para alcanzar mis metas.

A mis padres y hermanos, por su ayuda incondicional para poder cumplir con excelencia el desarrollo de mi tesis y su amor son para mí invaluable; no ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos.

**Franco Antonio**

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE.....	viii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
<b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Exploración Preliminar Orientando la Investigación.....	1
1.3 Aspectos Generales del Estudio.....	2
1.3.1 Características Generales .....	2
1.3.1.1 Ubicación Geográfica y política.....	2
1.3.1.2 Características climáticas y topográficas.....	3
1.3.1.3 Área de influencia.....	3
1.3.1.4 Situación actual de la Vía.....	3
1.3.1.5 Vías de acceso.....	4
1.3.1.6 Población Beneficiada.....	4
1.3.1.7 Condiciones Económicas.....	4
1.3.1.8 Estudios Especiales Preliminares.....	5
1.3.1.8.1 Reconocimiento de la zona de estudio.....	5
1.3.1.8.2 Ubicación de los puntos Inicial, Final y Puntos obligados de paso.....	5
1.3.1.8.3 Selección de la mejor ruta.....	5
1.3.1.8.4 Trazo de la línea gradiente.....	5
1.3.1.8.5 Ubicación de la poligonal en estudio.....	6
1.3.1.8.6 Características de la ruta seleccionada.....	7
1.3.1.8.7 Estudio Topográfico.....	7
1.3.1.8.8 Estudio Hidrográfico.....	7
1.3.1.8.9 Estudio de Geología del suelo del área del Proyecto.....	8
1.3.1.8.10 Estudios de Suelos.....	8
1.3.1.8.11 Estudios de Impacto Ambiental.....	8
1.3.1.8.12 Estudios de Seguridad Vial.....	8
1.3.1.8.13 Estudios de vía o faja de dominio.....	9

<b>CAPÍTULO II</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1	Antecedentes del problema, planteamiento, delimitación y formulación del problema a resolver.....	10
2.1.1	Antecedentes del Problema.....	10
2.1.2	Planteamiento del Problema.....	11
2.1.3	Delimitación.....	11
2.1.4	Formulación del Problema a resolver.....	11
2.2	Objetivos.....	12
2.2.1	Objetivo General.....	12
2.2.2	Objetivos Específicos.....	12
2.3	Justificación de la Investigación.....	13
2.3.1	Justificación Metodológica.....	13
2.3.2	Justificación Teórica.....	13
2.3.3	Justificación Práctica.....	13
2.3.4	Justificación de Viabilidad.....	14
2.4	Delimitación de la Investigación.....	14
2.4.1	Alcances.....	14
2.4.2	Limitaciones.....	14
2.5	Marco Teórico.....	14
2.5.1	Antecedentes de la Investigación.....	14
2.5.2	Marco Teórico o Fundamentación Teórica.....	15
2.5.2.1	Diseño Geométrico.....	15
2.5.2.1.1	Selección del Tipo de Vía y Parámetros de Diseño.....	15
2.5.2.1.1.1	Velocidad Directriz.....	15
2.5.2.1.1.2	Distancia de Visibilidad.....	16
2.5.2.1.1.3	Diseño Geométrico en Planta.....	16
2.5.2.1.1.4	Curvas Horizontales.....	17
2.5.2.1.1.5	Perfil Longitudinal.....	20
2.5.2.1.1.6	Diseño Geométrico de la Sección Transversal.....	23
2.5.2.1.2	Ubicación del Eje Longitudinal.....	27
2.5.2.1.2.1	Diseño del eje Planimétrico.....	27
2.5.2.1.3	Nivelación del Eje Longitudinal, Colocación de Puntos de Control, Perfiles Longitudinales.....	29

2.5.2.1.3.1	Obtención del Primer B.M.....	29
2.5.2.1.3.2	Nivelación de las Estaciones y Ubicaciones de los BM del Proyecto.....	29
2.5.2.1.3.3	Seccionamiento Transversal.....	29
2.5.2.2	Diseño de Pavimentos.....	30
2.5.2.2.1	Generalidades.....	30
2.5.2.2.2	Componentes de un Pavimento.....	30
2.5.2.2.3	Factores que intervienen el Diseño de un Pavimento.....	33
2.5.2.2.4	Recomendaciones para Efectuar un Buen Pavimento.....	34
2.5.2.2.5	Características de los Pavimentos Flexibles y Rígidos.....	34
2.5.2.2.6	Diseño del Pavimento Apropriado mediante el Método AASHTO 93.....	34
2.5.2.2.6.1	Periodo de Diseño.....	34
2.5.2.2.6.1	Variables.....	34
2.5.2.3	Diseño Hidráulico de Obras de Arte.....	42
2.5.2.3.1	Generalidades.....	42
2.5.2.3.2	Estudio Hidrológico e Hidráulico.....	42
2.5.2.3.3	Estudio y Diseño del Drenaje Superficial y Subterráneo.....	45
2.5.2.3.4	Diseño de Obras de Arte.....	51
2.5.2.4	Estudio de Suelos y Canteras.....	68
2.5.2.4.1	Generalidades.....	68
2.5.2.4.2	Estudio de Suelos.....	68
2.5.2.4.3	Estabilidad de Taludes.....	83
2.5.2.5	Señalización.....	90
2.5.2.5.1	Tipos de Señales.....	90
2.5.2.5.2	Diseño de las Señales a usar.....	90
2.5.3	Marco Conceptual: Terminología Básica.....	90
2.5.4	Hipótesis a demostrar.....	93
<b>CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>		<b>94</b>
3.1	Materiales.....	94
3.1.1	Recursos Humanos.....	94
3.1.2	Recursos Materiales.....	94
3.1.3	Recursos de Equipos.....	95
3.1.4	Otros Recursos.....	95
3.2	Metodología.....	96

3.2.1	Universo, Muestra, Población.....	96
3.2.2	Sistema de Variables.....	96
3.2.2.1	Variable Dependiente.....	96
3.2.2.2	Variable Independiente.....	96
3.2.3	Diseño Experimental de la Investigación.....	97
3.2.3.1	Ubicación de los puntos inicial y final.....	97
3.2.3.2	Elección de la mejor ruta.....	97
3.2.3.3	Levantamiento Topográfico.....	98
3.2.3.4	Trazo de Línea de Gradiente.....	98
3.2.4	Diseño de Instrumentos.....	98
3.2.4.1	Diseño del eje en planta.....	98
3.2.4.1.1	Selección del tipo de vía y parámetros de diseño.....	98
3.2.5	Velocidad directriz.....	99
3.2.6	Distancia de Visibilidad.....	100
3.2.6.1	Ubicación del eje de la vía.....	100
3.2.6.2	Determinación de los elementos de curva horizontal y estacados de los PI, PC y PT.....	101
3.2.6.3	Perfil Longitudinal.....	101
3.2.6.4	Nivelación del eje de la vía.....	101
3.2.6.5	Pendientes.....	102
3.2.6.6	Secciones transversales.....	103
3.2.6.7	Diseño del seccionamiento transversal.....	103
3.2.6.8	Procesamiento de Información.....	104
3.2.6.9	Diseño Hidráulico del Drenaje Vial – Obras de Arte.....	104
3.2.6.10	Diseño de Cunetas.....	104
3.2.6.11	Estudios de Suelos.....	106
3.2.6.12	Exploración de Campo.....	106
3.2.6.13	Ensayos de Laboratorio.....	107
3.2.6.14	Perfiles del suelo.....	107
3.2.6.15	Nivel Freático.....	109
3.2.6.16	Análisis del valor relativo de soporte C.B.R.....	109
3.2.6.17	Estudio del Tráfico.....	113
3.2.6.18	Diseño del Pavimento flexible.....	118
3.2.6.19	Dosificación de material para uso de sub bases y bases.....	120

3.2.6.20	Desarrollo del estudio de Impacto Ambiental .....	121
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS.....</b>		<b>123</b>
4.1	Características más sobresalientes de la carretera.....	123
4.2	Características Geométricas del diseño.....	123
4.3	Estudio de Impacto Ambiental.....	123
4.4	Resultados del Estudio del Suelo.....	126
4.5	Resultado de Estudio de Cantera.....	126
4.6	Resultados sobre el tráfico proyectado.....	126
4.7	Resultados del diseño del pavimento.....	126
4.8	Resultados de Obras de Arte.....	127
<b>CAPÍTULO V ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>128</b>
5.1	Selección de alternativas.....	129
5.2	Contrastación de la hipótesis.....	129
<b>CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>130</b>
6.1	Conclusiones.....	130
6.2	Recomendaciones.....	130
<b>REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>132</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>134</b>
Estudio de suelos.....		135
Panel Fotográfico.....		466

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Velocidad de Diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía.....	15
Tabla 2: Radios mínimos y peralta máximos.....	18
Tabla 3: Pendientes máximas (%)......	21
Tabla 4: Anchos mínimos de Calzada en tangente.....	24
Tabla 5: Bombeo de las calzadas.....	24
Tabla 6: Anchos de bermas.....	25
Tabla 7: Taludes de Relleno.....	26
Tabla 8: Taludes de Corte.....	26
Tabla 9: Anchos mínimos de Derecho de Vía.....	27
Tabla 10: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico.....	36
Tabla 11: Valores recomendados de Nivel de confiabilidad para dos etapas de diseño de 10 años cada una según rango de Tráfico.....	36
Tabla 12: Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico.....	37
Tabla 13: Coeficiente Estadístico de la Desviación estándar Normal para dos etapas de diseño de 10 años cada una según rango de tráfico.....	37
Tabla 14: Índice de Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ ) según rango de Tráfico.....	38
Tabla 15: Índice de Serviciabilidad Final ( $P_t$ ) según rango de Tráfico.....	39
Tabla 16: Diferencial de Serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ) según rango de Tráfico.....	39
Tabla 17: Coeficientes Estructurales de las capas del pavimento $a_i$ .....	40
Tabla 18: Calidad del Drenaje .....	41
Tabla 19: Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje $m_i$ para bases y sub bases granulares no tratadas en pavimentos flexibles.....	41

Tabla 20: Coeficientes de escorrentía en función de pendiente, drenaje y tipo de cultivo.....	45
Tabla 21: Dimensiones mínimas de cunetas.....	47
Tabla 22: Caudal $m^3/seg$ .....	58
Tabla 23: Tabla de Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente “n” .....	62
Tabla 24: Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad .....	73
Tabla 25: Contenidos Óptimos de $H^o$ y Densidades Secas.....	74
Tabla 26: Valores correspondiente la muestra patrón.....	75
Tabla 27: Carga abrasiva, máquina de los ángeles.....	75
Tabla 28: Cantidad de las muestras en granos.....	76
Tabla 29: Cantidad de las muestras en granos.....	77
Tabla 30: % de desgaste para evaluar los resultados del ensayo de los Ángeles.....	77
Tabla 31: Clasificación de suelos según tamaño de partículas.....	78
Tabla 32: Clasificación de suelos según índice de grupo.....	79
Tabla 33: Correlación de Tipos de Suelos AASTHO – SUCS.....	81
Tabla 34: Clasificación de los Suelos basada en AASHTO M145 y/o ASTM D 3282.....	82
Tabla 35: Cálculo del $Q_{max}$ .....	105
Tabla 36: Valores para cada parámetro de la ecuación del caudal de diseño.....	105
Tabla 37: Comprobación de pendiente y velocidad con la sección adoptada.....	105
Tabla 38: Cálculo del $Q_{max}$ .....	106
Tabla 39: Valores para cada parámetro de la ecuación del caudal de diseño.....	106
Tabla 40: Comprobación de pendiente y velocidad con la sección adoptada.....	106
Tabla 41: Mecánica de Suelos.....	107
Tabla 42: Características de los Suelos.....	108
Tabla 43: Categorías de Sub rasante.....	109
Tabla 44: Capacidad de Soporte de la Subrasantes (CBRs) mejorados.....	112

Tabla 45: Resumen de CBR de diseño en los tramos I y II.....	112
Tabla 46: PBI Loreto.....	114
Tabla 47: Crecimiento Poblacional.....	114
Tabla 48: Conteo y Clasificación de Tramo I, sin considerar Motocicletas y Moto taxis.....	115
Tabla 49: Conteo y Clasificación de Tramo II, sin considerar Motocicletas y Moto taxis.....	115
Tabla 50: Conteo y Clasificación de Trafico Tramo I, aplicando el F.C.E.....	116
Tabla 51: Conteo y Clasificación de Trafico Tramo II, aplicando el F.C.E.....	116
Tabla 52: Clasificación de los tramos según el número de EE.....	117
Tabla 53: Valores de las variables de la ecuación AASHTO.....	118
Tabla 54: Calculo del SN de diseño del tramo I.....	119
Tabla 55: Calculo del SN de diseño del tramo II .....	119
Tabla 56: Requerimiento granulométrico para Sub Bases Granulares.....	120
Tabla 57: Requerimiento de Ensayos Especiales.....	120
Tabla 58: Requerimiento granulométrico para Bases Granulares.....	121
Tabla 59: Requerimiento de Agregado Grueso.....	121
Tabla 60: Requerimiento de Agregado Fino.....	121
Tabla 61: Características más sobresalientes de la carretera.....	123
Tabla 62: Número de ejes equivalentes que soportara la estructura de pavimento.....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representaciones de pendiente.....	5
Figura 2: Elementos de una curva.....	17
Figura 3: Tipos de Curvas verticales convexa.....	22
Figura 4: Tipos de Curvas verticales cóncava.....	23
Figura 5: Tipos de Curvas simétricas y asimétricas.....	23
Figura 6: Dimensiones de Cunetas.....	52
Figura 7: Elemento de la altura crítica en tubos circulares.....	54
Figura 8: Cálculo de longitud de una alcantarilla con pendiente suave.....	57
Figura 9: Cálculo de longitud de una alcantarilla con pendiente fuerte.....	57
Figura 10: Socavación General.....	66
Figura 11: Momento motor.....	86
Figura 12: Método simplificado de ALAN BISHOP.....	89
Figura 13: Rangos de velocidad de diseño.....	99
Figura 14: Etapas del informe de evaluación ambiental.....	124
Figura 15: Identificación y evaluación de impactos ambientales.....	125
Figura 16: Ordenamiento del plan de manejo ambiental.....	125

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano de ubicación geográfica.....	UG – 01
Plano clave.....	PC – 01
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 0+000 – 1+000 km.....	PP – 01
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 1+000 – 2+000 km.....	PP – 02
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 2+000 – 3+000 km.....	PP – 03
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 3+000 – 4+000 km.....	PP – 04
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 4+000 – 5+000 km.....	PP – 05
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 5+000 – 6+000 km.....	PP – 06
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 6+000 – 7+000 km.....	PP – 07
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 7+000 – 8+000 km.....	PP – 08
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 8+000 – 9+000 km.....	PP – 09
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 9+000 – 10+000 km.....	PP – 10
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 10+000 – 11+000 km.....	PP – 11
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 11+000 – 12+000 km.....	PP – 12
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 12+000 – 13+000 km.....	PP – 13
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 13+000 – 14+000 km.....	PP – 14
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 14+000 – 15+000 km.....	PP – 15
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 15+000 – 16+000 km.....	PP – 16
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 16+000 – 17+000 km.....	PP – 17
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 17+000 – 18+000 km.....	PP – 18
Plano de planta perfil longitudinal Prog. 18+000 – 19+041.07 km.....	PP – 19
Plano de secciones transversales Prog. 0+000 – 0+840 km.....	ST – 01
Plano de secciones transversales Prog. 0+850 – 1+670 km.....	ST – 02
Plano de secciones transversales Prog. 1+683.80 – 2+510 km.....	ST – 03
Plano de secciones transversales Prog. 2+520 – 3+270 km.....	ST – 04
Plano de secciones transversales Prog. 3+280 – 4+140 km.....	ST – 05
Plano de secciones transversales Prog. 4+150 – 5+010 km.....	ST – 06
Plano de secciones transversales Prog. 5+020 – 5+890 km.....	ST – 07
Plano de secciones transversales Prog. 5+900 – 6+750 km.....	ST – 08
Plano de secciones transversales Prog. 6+760 – 7+610 km.....	ST – 09
Plano de secciones transversales Prog. 7+620 – 8+440 km.....	ST – 10

Plano de secciones transversales Prog. 8+450 – 9+340 km.....	ST – 11
Plano de secciones transversales Prog. 9+350 – 10+180 km.....	ST – 12
Plano de secciones transversales Prog. 10+190 – 10+960 km.....	ST – 13
Plano de secciones transversales Prog. 10+970 – 11+780 km.....	ST – 14
Plano de secciones transversales Prog. 11+790 – 12+650 km.....	ST – 15
Plano de secciones transversales Prog. 12+660 – 13+540 km.....	ST – 16
Plano de secciones transversales Prog. 13+550 – 14+320 km.....	ST – 17
Plano de secciones transversales Prog. 14+330 – 15+130 km.....	ST – 18
Plano de secciones transversales Prog. 15+140 – 15+950 km.....	ST – 19
Plano de secciones transversales Prog. 15+960 – 16+710 km.....	ST – 20
Plano de secciones transversales Prog. 16+720 – 17+490 km.....	ST – 21
Plano de secciones transversales Prog. 17+500 – 18+350 km.....	ST – 22
Plano de secciones transversales Prog. 18+360 – 19+041.07 km.....	ST – 23
Plano de drenaje primer tramo – zona urbana.....	DRE – 01
Plano de drenaje segundo tramo – zona rural.....	DRE – 02
Plano de drenaje segundo tramo – zona rural.....	DRE – 03
Plano de drenaje segundo tramo – zona rural.....	DRE – 04
Plano de drenaje primer tramo – zona rural.....	DRE – 05
Plano de drenaje segundo tramo – zona rural.....	DRE – 06
Plano de drenaje segundo tramo – zona rural.....	DRE – 07
Plano de señalización Prog. 0+000 – 2+000 km.....	SÑ – 01
Plano de señalización Prog. 2+000 – 4+000 km.....	SÑ – 02
Plano de señalización Prog. 4+000 – 6+000 km.....	SÑ – 03
Plano de señalización Prog. 6+000 – 8+000 km.....	SÑ – 04
Plano de señalización Prog. 8+000 – 10+000 km.....	SÑ – 05
Plano de señalización Prog. 10+000 – 12+000 km.....	SÑ – 06
Plano de señalización Prog. 12+000 – 14+000 km.....	SÑ – 07
Plano de señalización Prog. 14+000 – 16+000 km.....	SÑ – 08
Plano de señalización Prog. 16+000 – 18+000 km.....	SÑ – 09
Plano de señalización Prog. 18+000 – 19+041.07 km.....	SÑ – 10

## RESUMEN

El presente Trabajo denominado “diseño geométrico y de asfalto de la carretera Yurimaguas – Munichis, longitud 19.00 km, distrito Yurimaguas, provincia Alto Amazonas - región Loreto”, se desarrolló en la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín.

El planteamiento del proyecto surge por los costos que genera el traslado de sus productos en una carretera en el estado y un bajo nivel de vida de la población de Munichis se ve resaltando por la carencia de una carretera asfaltado que de fluidez al traslado de la población a los diferentes lugares de la región.

Mediante la elaboración de este proyecto se busca que los pobladores de la localidad de Munichis cuenten con una vía eficiente que integren con otros pueblos y mercados para comercializar sus productos y mejorar su calidad de vida, la razón por la cual es necesario efectuar el Diseño Geométrico y de Asfalto, que formarán parte del estudio definitivo para la ejecución de la carretera Yurimaguas - Munichis buscando todos los parámetros posibles y mejorando todos los riesgos que se puedan presentar dentro del estudio del proyecto.

**Palabras claves:** Diseño Geométrico, Asfalto, carretera, Yurimaguas [distrito], Alto Amazonas [Provincia], Región Loreto.

## ABSTRACT

The present work called "geometric design and asphalt design of the Yurimaguas road - Munichis, length 19.00 km, Yurimaguas district, Alto Amazonas province - Loreto region", was developed in the Faculty of Civil Engineering of the National University of San Martín

The approach of the project arises from the costs generated by the transfer of their products on a highway in the state and a low level of living of the population of Munichis is highlighted by the lack of an asphalted road that flows to the transfer of the population to the different places in the region.

Through the elaboration of this project it is sought that the inhabitants of the locality of Munichis have an efficient way to integrate with other peoples and markets to market their products and improve their quality of life, the reason why it is necessary to carry out the Geometric Design and of Asphalt, which will be part of the definitive study for the execution of the Yurimaguas - Munichis highway, looking for all possible parameters and improving all the risks that may arise in the study of the project.

**Keywords:** Geometric Design, Asphalt, road, Yurimaguas [district], Alto Amazonas [Province], Loreto Región.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### **1.1. Generalidades**

Las vías terrestres fueron en sus comienzos simples senderos, que eran usados por el hombre y los animales en sus desplazamientos diarios. Con la domesticación de los animales y su respectiva utilización en el transporte se construyeron los caminos de herradura, que son utilizados todavía en los lugares donde no ha sido posible el desarrollo de caminos carreteros. La revolución del transporte terrestre tuvo lugar durante el siglo pasado con la invención de la locomotora, que permitió el desarrollo de los ferrocarriles y luego, con la invención de los motores de explosión que favoreció el desarrollo de los caminos carreteros. Con posterioridad, los caminos carreteros son perfeccionados mediante el uso de cemento y asfalto, y se convierten en autopistas modernas.

Todo proceso histórico ha configurado una estructuración en el sistema de transporte como elemento de apoyo que resulta coherente y funcional, para la finalidad del sistema de producción que ha imperado en las regiones, pero que en modo alguno constituye una infraestructura que permita implementar todo esfuerzo de integración económica y social tendiente a reducir la marginación en las que se ven envueltos las poblaciones.

El presente trabajo de tesis, se desarrolla como contribución a la sociedad, ya que somos conscientes de la problemática vial de la región Loreto, y los pueblos que requieren desarrollarse, exigiendo más presencia del estado, en esta zona de selva baja.

Nuestro aporte consiste en formular una propuesta técnica para apoyar al desarrollo de estos pueblos, que comprende el diseño geométrico y de asfalto para apoyar al desarrollo y bienestar social de los pueblos que abarca nuestro trabajo de tesis.

### **1.2. Exploración preliminar orientando la investigación**

En la actualidad el país busca un desarrollo integral en base a la eficiencia y calidad de servicios, garantizando para ello la seguridad a los inversionistas privados a fin de facilitar las condiciones de invertir en todos los campos de la actividad económica y, por tanto, la región Loreto no está ajena a esta realidad, por lo que es necesario e imprescindible estar acorde a la dinámica de desarrollo a fin de no quedarnos marginados, social, cultural y económicamente y, siempre estar integrados en los cambios estructurales que sufre el país en su conjunto.

El desarrollo de una nación depende en gran medida de la extensión de sus redes viales. Los caminos y las carreteras condicionan la capacidad y velocidad de movilización de personas y mercaderías, aspectos que repercuten directamente en el progreso social, político y económico.

En la región Loreto, es necesario un plan de desarrollo de la red vial tanto en las carreteras de carácter nacional, así como las carreteras de sistema departamental y vecinal; para que integren a la unidad del país, de manera que los pueblos interconectados por la red vial puedan satisfacer sus necesidades de consumo además de elevar su nivel social, cultural y económico de sus habitantes.

Entendiendo así la importancia de las redes viales y frente a la imperiosa necesidad de contar con un sistema vial eficiente que genere progreso y bienestar social, se ha elaborado el presente trabajo de tesis denominado **“Diseño geométrico y de asfalto de la carretera Yurimaguas – Munichis, longitud 19.00 km, distrito Yurimaguas, provincia Alto Amazonas - región Loreto”**.

### **1.3. Aspectos generales del estudio**

#### **1.3.1. Características generales**

##### **1.3.1.1. Ubicación geográfica y política**

Geográficamente el proyecto de tesis, se ubica en la jurisdicción del distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas, región Loreto.

**Departamento** : Loreto

**Provincia** : Alto Amazonas

**Distrito** : Yurimaguas

**Localidades** : Yurimaguas y Munichis

##### **Límites del distrito Yurimaguas**

**Por el norte** : Provincia de Loreto y Provincia del Datem del Marañón

**Por el sur** : Provincia de Ucayali y Departamento de San Martín.

**Por el este** : Provincia de Loreto y Requena

**Por el oeste** : Provincia del Datem del Marañón

El tramo se inicia desde el cruce de la Calle Libertad con la Calle 29 de Julio del AA.HH. Independencia de la ciudad de Yurimaguas, progresiva 0+000, pasando por el Caserío Trancayacu hasta llegar al Centro Poblado Munichis, siguiendo la misma carretera se llega finalmente al Caserío de San Rafael, progresiva 19+00 Km.

#### **1.3.1.2. Características climáticas y topográficas**

De acuerdo al mapa de clasificación climática del SENAMHI, para la zona en estudio le corresponde clima característico de la selva baja, cálido húmedo, lluvioso y con amplitud térmica moderado. La temperatura media anual de 27°C, siendo la máxima 35°C y la mínima de 22°C.

La topografía que se desarrolla el proyecto de tesis pertenece a la característica de la zona selva baja con variaciones del terreno ondulado accidentada. En el trazo de la carretera Yurimaguas – Munichis las altitudes varían desde los 135 msnm hasta los 150 msnm.

#### **1.3.1.3. Área de influencia**

Con la realización de este proyecto de tesis y la posterior complementación hasta un expediente técnico a nivel constructivo y su ejecución física, se verán influenciados en su desarrollo, socioeconómico y cultural los pueblos de Yurimaguas, Munichis, San Rafael y demás localidades que están dentro del tramo, el número de beneficiarios directos es de 61,847 habitantes.

#### **1.3.1.4. Situación actual de la vía**

El Centro poblado de Munichis cuenta con una vía de acceso que se encuentra en pésimas condiciones para ser transitados en todo el año porque carecen de mantenimiento, además resaltar que la carretera presenta un diseño técnico rústico que se ven reflejados en las curvas verticales, curvas horizontales y pendientes con diseño no reglamentario, lo que contribuye a demoras en los tiempos de transporte y los alzas de precios de productos agropecuarios y pasajeros y por consiguiente el atraso de la localidad. Es por ello, nuestro trabajo de investigación se orienta a generar condiciones viales favorables, proponiendo una vía que garantice un servicio eficiente, ahorrando tiempo y costos de transporte a precios sociales para la población.

#### **1.3.1.5. Vías de acceso**

El acceso a la zona de estudio desde la ciudad de Tarapoto, se realiza por vía terrestre a través de la carretera Inter-Oceánica Norte - Tarapoto – Yurimaguas.

Desde Tarapoto hasta Yurimaguas, los 129 km de carretera se encuentran asfaltada y en buenas condiciones de transitabilidad.

El tramo objeto del presente estudio de 19.00 km. de longitud, se encuentra a nivel de trocha, presentando serios deterioros debido a la falta de un sistema de drenaje apropiado, haciéndose intransitable en épocas de lluvias.

Desde Lima se puede acceder a la ciudad de Tarapoto, por vía terrestre o por vía aérea. Por vía terrestre a través de la Panamericana Norte y la carretera Fernando Belaunde Terry, en las diversas empresas de transporte que existen, con salidas diarias y en diversos turnos, con una duración aproximada de 30 horas.

Por vía aérea existen cuatro empresas que prestan servicio en la ruta Lima-Tarapoto y viceversa, con las salidas diarias en diferentes turnos, la duración del viaje es de aproximadamente 50 minutos.

#### **1.3.1.6. Población beneficiada**

Con la ejecución del Proyecto en mención se beneficiarán las localidades de Yurimaguas, Munichis, San Rafael y demás localidades que están dentro del tramo, así mismo el distrito de Balsapuerto, que forma parte de esta misma red comercial. El número de beneficiarios directos es de 61,847 habitantes.

#### **1.3.1.7. Condiciones económicas**

Las áreas donde se ejecuta el estudio, son zonas intervenidas, donde existe la predominancia de los pastizales, seguidos de cultivos agrícolas como plátano, yuca, entre otros; e incidencia de granjas acuícolas en todo el tramo del proyecto.

La actividad más frecuente es la agrícola principalmente, otras actividades de menor importancia económica son la ganadería y la piscicultura. La artesanía es una actividad que emplea una gran variedad de recursos naturales para la elaboración de sus productos, entre ellos se tienen las fibras vegetales como el huambé y el tamshi que son utilizadas como “mimbre” en la confección de muebles y cestería.

### 1.3.1.8. Estudios especiales preliminares

#### 1.3.1.8.1. Reconocimiento de la zona de estudio

El reconocimiento constituye uno de los aspectos más importantes en el trazo de una carretera, esta tiene dos puntos fijos: el punto inicial y el punto final. Entre estos puntos se puede trazar un gran número de carreteras.

El objetivo del reconocimiento es seleccionar en las rutas posibles, la más favorable, de tal forma que mediante el trazo se ubique el eje de la carretera que sirva mejor a los terrenos adyacentes y al tráfico que se espera; y que su construcción se pueda hacer de acuerdo a las normas requeridas y con un mínimo costo.

#### 1.3.1.8.2. Ubicación de los puntos inicial, final y puntos obligados de paso

Conociendo ya la clase de controles que en el estudio de una carretera influye, vemos que la ubicación y la importancia de estos, harán posible alejar o acercar el trazo de estos puntos. De esta manera los controles van a restringir el trazo de la vía a una zona que permitirá que la carretera sirva eficientemente a toda una región.

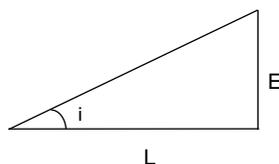
#### 1.3.1.8.3. Selección de la mejor ruta

Con todos los elementos o parámetros que permitan un mayor análisis de las ventajas y desventajas de cada uno de las rutas, la selección de la ruta más apropiada para proseguir el trazo de la carretera normalmente estará en función de lo siguiente:

Longitud de la ruta, pendientes más favorables al tráfico, que tenga mayor radio de influencia al tránsito, mejor alineamiento, suministro mejor y mayor cantidad de material de construcción, menor costo de construcción, entre otros.

#### 1.3.1.8.4. Trazo de la línea de gradiente

El método empleado para determinar la línea de gradiente, es el método del compás, el cual consiste en calcular una longitud constante “L”, para una pendiente determinada. Dicha longitud equivale a la longitud horizontal calculada para una altura “E” que es la estadística entre curvas de nivel. **Torres (2011)** es decir:



*Figura 1:* Representaciones de pendiente.

### De la figura por semejanza de triángulos

$$\frac{L}{E} = \frac{100}{i} \Rightarrow L = \frac{(100 \times E)}{i} \dots\dots\dots (1)$$

#### Dónde:

L: Longitud en el terreno (m).

E: Equidistancia entre curvas de nivel consecutivas (m).

I: Pendiente para un determinado tramo (%).

Esta longitud obtenida corresponde al terreno, la misma que se puede convertir a centímetros de acuerdo a la escala del plano 1/K, quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$L' = \frac{(100 \times E)}{i \times K} \dots\dots\dots (2)$$

#### Dónde:

L: Abertura de compás (cm)

K: Denominador de la escala del plano topográfico.

Esta longitud ( $L'$ ), se la traslada a un compás de puntas secas, el cual, al ir pasando de una curva de nivel a otra, irá formando un trazo con pendiente constante para un tramo determinado que se denomina Línea de Gradiente.

#### 1.3.1.8.5. Ubicación de la poligonal en estudio

Consiste en formar un polígono cuyos lados procuren contener el mayor número posible de puntos obtenidos por la línea de gradiente. Algunos criterios a tener en cuenta son:

Deben evitarse el uso de ángulos de deflexión pequeños.

La geometría debe responder simultáneamente a la acción de la topografía del terreno y a la exigencia de determinados medios en las curvas, especialmente en las curvas de volteo las que deben plantearse en el peor de los casos para el radio mínimo excepcional.

Se prefiere los cortes antes que los rellenos.

#### **1.3.1.8.6. Características de la ruta seleccionada**

Dentro de las características más importantes que debe tener la ruta seleccionada, podemos mencionar las siguientes:

La ruta seleccionada debe evitar en las posibles zonas pantanosas y cursos naturales de agua (ríos, quebradas, etc.)

Tener la menor longitud posible. Los terrenos por donde se proyecte el paso de la vía deberán abarcar en su mayoría zonas productivas.

#### **1.3.1.8.7. Estudio topográfico**

En las operaciones topográficas necesarias para el trazo de una carretera, se emplean los siguientes métodos:

Trazo directo o método de los perfiles transversales

Trazo indirecto o método taquimétrico o topográfico

El primero es el preferido para trazar carreteras, sobre todo en las llanuras y regiones onduladas, en la que es fácil lograr directamente a la vista, una poligonal que se confunda o casi coincida con el eje de la futura carretera.

El segundo, es el método general, se basa en el levantamiento del plano a curvas de nivel. Este método emplea el taquimétrico como instrumento principal, se lo prefiere para el trazo de carreteras en terrenos accidentados.

Todo trabajo de ingeniería debe apoyarse en un buen levantamiento topográfico, es decir, la claridad de todo diseño de ingeniería es en función de la calidad de la cartografía con que se cuenta. En los diseños hidráulicos y diseño geométrico se deben considerar adecuadas y especiales características de precisión por lo cual se requiere información fidedigna y confiable.

#### **1.3.1.8.8. Estudio hidrográfico**

Debido a que la zona es de característica húmedo – tropical típico del Bajo Huallaga. Las precipitaciones pluviales están regidas por patrones estacionados con intensidades de media a alta en los lluviosos, presentándose con mayor frecuencia en los meses de noviembre a marzo; la cual nos servirá para hacer una buena programación de las actividades y labores de campo.

#### **1.3.1.8.9. Estudio de geología del suelo del área del proyecto**

La presente descripción geológica plantea el reconocimiento de las principales formaciones del área de proyecto, sus características físicas, geográficas y estructurales.

La geología del sector de selva baja se caracteriza por diversas formaciones sedimentarias cretácicas y terciarias todas afectadas por importantes deformaciones tectónicas de fallas y pliegues.

#### **1.3.1.8.10. Estudio de suelos**

El trabajo efectuado de mecánica de suelos en toda el área de la carretera en estudio ha tenido la finalidad de clasificar los terrenos de cimentación del subsuelo, en vista de la excavación o movimiento de tierras, características generales y propiedades específicas del suelo, capacidades de resistencia de cada elemento.

#### **1.3.1.8.11. Estudio de impacto ambiental**

Los estudios de impacto ambiental se desarrollarán de acuerdo a las normas legales especificadas por el ministerio de transportes y comunicaciones. Existen múltiples publicaciones especializadas que pueden servir de orientación de un E.I.A. de carretera.

El presente estudio se realizó bajo parámetros que no permitan alterar el ecosistema además se tuvo en cuenta la protección de las zonas de vegetación aledaña así en todo el ámbito de la construcción de la carretera.

Es por ello de la relevancia de los impactos ambientales para la realización de los proyectos viales, el impacto más relevante es movimiento de tierras el cual debe mitigarse.

#### **1.3.1.8.12. Estudio de seguridad vial**

Se desarrollan según el tipo de proyecto y con el orden de relevancia que se estime conveniente, los aspectos relativos a los siguientes puntos:

Distancia de visibilidad, parada y adelantamiento.

Señalización vertical: ubicación, tamaño, visibilidad, nivel de reflexión, etc.

Señalización horizontal: características del material, tipología, coherencia con la señalización vertical.

Balizamiento: necesidad, adecuación y disposición.

Otros dispositivos de seguridad.

Zonas de seguridad y sistemas de contención.

Ampliación del derecho de vía o faja de dominio respecto a lo considerado, por motivos de seguridad vial.

Las personas, el vehículo (en especial los conductores) y la infraestructura son los tres principales factores que influyen en la seguridad vial.

#### **1.3.1.8.13. Derecho de vía o faja de dominio**

Teniendo como base la definición de las características geométricas y categoría de la carretera a intervenir, se definirá la faja del terreno denominada DERECHO DE VÍA, dentro del cual, se encontrará la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas para futuras obras de ensanche o mejoramiento y zona de seguridad, para las acciones de saneamiento físico legal correspondiente.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema, planteamiento, delimitación y formulación del problema a resolver**

##### **2.1.1. Antecedentes del problema**

La Ciudad de Yurimaguas presenta un gran movimiento turístico y comercial, mediante vía fluvial por el Río Paranapura y Vía terrestre desde la Ciudad de Tarapoto, mediante los cuales se realizan el intercambio comercial de materia prima y productos de pan llevar, ocasionando crecimiento poblacional y por ende el incremento de mayor acceso a las localidades y distritos de la provincia de Alto Amazonas.

En los últimos años, los gobiernos locales están trabajando en el mejoramiento de los sistemas viales de la Región Loreto, sin embargo, este trabajo no es suficiente, porque existen localidades que tienen sus vías de acceso en mal estado, este el caso de la localidad de Munichis y sus alrededores, que su actual y única vía terrestre de acceso no está óptimas condiciones debido a los constantes cambios de clima y tránsito vehicular. Esta vía fue construida en 1973, con la ayuda de la municipalidad provincial de Alto Amazonas, fue la primera carretera que unía las Localidades de Yurimaguas y el Centro Poblado de Munichis. Esta vía tiene aproximadamente 19.00 km de longitud.

Construido de acuerdo a sus posibilidades y con escaso asesoramiento técnico, el cual se deja notar en las curvas con radios de giro pequeños, calzada angosta, falta de obras de drenaje. Cuenta con un escaso mantenimiento, por lo cual el tránsito vehicular se dificulta en las épocas de lluvia porque se presentan baches con agua o la presencia de lodo en ciertos tramos y, en otras se observa gran cantidad de piedras que quedan del material que se usa para su mantenimiento.

En concordancia con el gobierno de la provincia de Alto Amazonas y con la finalidad de acortar el déficit de infraestructura vial en zonas pobres del país, nos proponemos a realizar el siguiente estudio de tesis que ha posteriores servirá como un proyecto a realizar. Además; los espacios creados dentro del radio urbano de la ciudad, requieren necesariamente de accesos viables pavimentados.

Se tienen muchos ejemplos en el que se ha invertido en el mejoramiento y creación de carreteras, como por ejemplo cuando el gobierno central anuncio el asfaltado de todo el

tramo de la Carretera Fernando Belaúnde Terry (Marginal de la Selva) en el departamento de San Martín. Se trata de 462 kilómetros, desde Tarapoto hasta Tingo María, que se ejecutaron en tres tramos: el primero desde Tarapoto a Juanjuí (133 kilómetros), el segundo desde Juanjuí a Tocache (172 kilómetros) y el tercero desde Tocache a Tingo María (157 kilómetros). La obra, en la que se ha invertido US\$ 250 millones, se otorgó mediante una concesión.

También se añade a los avances que ya se viene haciendo en la Carretera Interoceánica, que unirá con una vía totalmente asfaltada el Perú y Brasil. En dicha vía ya se ha inaugurado varios kilómetros, y se avanza en todos los frentes, hasta la culminación total.

Igualmente, se concluyó la construcción de la carretera Tarapoto-Yurimaguas, que conecta, a través de una vía intermodal (caminera y fluvial), la costa norte con Iquitos y con Brasil.

### **2.1.2. Planteamiento del problema**

Mediante la elaboración de este proyecto se busca que los pobladores de la localidad de Munichis y sus alrededores cuenten con una vía eficiente que la integren con otros pueblos y mercados para comercializar sus productos y mejorar su calidad de vida, razón por la cual es necesario efectuar el Diseño Geométrico y de Asfalto que formaran parte de un estudio definitivo para la ejecución de la carretera, buscando todos los parámetros posibles y mejorando todos los riesgos que se puedan presentar dentro del estudio del proyecto.

### **2.1.3. Delimitación**

En el presente estudio del proyecto “Diseño geométrico y de asfalto de la carretera Yurimaguas – Munichis, longitud 19.00 km, distrito Yurimaguas, provincia Alto Amazonas - región Loreto”, se limita a plantear una solución frente a los problemas de transporte, conservación, mejores condiciones de vida y mejoramiento del camino vecinal.

### **2.1.4. Formulación del problema a resolver**

En estos tiempos, el balance y crecimiento económico en el Perú, ha permitido que el país se presente a los ojos del mundo como un país sólido y seguro con un gran potencial de inversión extranjera y por consiguiente de un desarrollo sostenible.

El desarrollo del país se verá reflejado en el avance y la integración de las regiones y los pueblos; sin embargo, es necesaria e imprescindible estar preparados para acoger estos beneficios de la mejor manera, dotando a los pueblos de la infraestructura acorde con la dinámica de desarrollo, particularmente de la infraestructura vial.

Las vías de comunicación terrestre son el componente indispensable para la realización de las principales actividades humanas y para el desarrollo de los pueblos. En la mayoría de las regiones del país, uno de los grandes problemas que atrasa al desarrollo integral es, principalmente, la falta de vías de comunicación y el mal estado de las mismas.

La región Loreto, particularmente la provincia de Alto Amazonas no es ajena a estas posibilidades de desarrollo, necesita mejorar la red vial de sus caminos vecinales, dotando a la provincia de carreteras seguras y modernas que aseguren y promuevan la intercomunicación de los pueblos con el consecuente beneficio generado por la actividad política, económica, social, cultural y turística.

Los pobladores de Munichis y alrededores tienen la necesidad de contar con una vía asfaltada que pueda integrar a la red vial nacional con la carretera Fernando Belaunde Terry y por ende con los principales mercados para comercializar sus productos y elevar cuantitativamente el comercio y el movimiento económico de la zona en estudio. Actualmente las condiciones de transporte de la producción agrícola, pecuaria entre otras, hacia los mercados, son muy difíciles; así mismo la intransitabilidad de la población, sobre todo en época de lluvias, que perjudica notablemente el desarrollo del sector turismo, la cual es una de las actividades económicas más importantes de esta zona. En base a la situación planteada nos formulamos la siguiente interrogante:

**¿De qué manera se contribuirá en el desarrollo de la localidad de Munichis y sus alrededores con el Diseño geométrico y de asfalto de la carretera Yurimaguas – Munichis, longitud 19.00 km, distrito Yurimaguas, provincia Alto Amazonas - región Loreto?**

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo general**

Brindar al centro poblado de Munichis y sus alrededores un diseño de la carretera Yurimaguas – Munichis, longitud 19.00 km, distrito Yurimaguas, provincia Alto Amazonas - región Loreto a nivel de asfaltado, para una post construcción de una vía segura, rápida y eficaz, para reducir los altos costos de transporte de carga y pasajeros que soportan actualmente.

### **2.2.2. Objetivos específicos**

Efectuar el Levantamiento topográfico de la carretera.

Realizar el estudio de Mecánica de Suelos para la construcción de carretera Yurimaguas – Munichis.

Realizar el estudio de Canteras y Diseño de Mezclas.

Diseñar un sistema de drenaje funcional y económico para la vía.

Efectuar el Estudio de Tráfico.

Elaborar el diseño Geométrico.

Elaborar el diseño del pavimento.

### **2.3. Justificación de la investigación**

El presente trabajo de investigación se justifica en los siguientes aspectos:

#### **2.3.1. Justificación metodológica**

Se busca realizar el diseño a nivel de asfaltado de la carretera Yurimaguas - Munichis porque en una post construcción se cuenta con una planta de asfalto cerca que nos facilitaría el abastecimiento del material principal y, por que los resultados son favorables en la zona.

#### **2.3.2. Justificación teórica**

Mediante el estudio para el diseño a nivel de asfaltado de la carretera Yurimaguas – Munichis se demostrará el aporte socioeconómico que contribuye el mejoramiento de una carretera y las actividades de integración en las comunidades de subdesarrollo.

Los resultados y cuadros estadísticos que se realicen en el presente estudio servirán como fuente para aquellos que posteriormente realicen estudios similares.

#### **2.3.3. Justificación práctica**

Servicios a la población: facilitaría a las personas y vehículos una mejor transitabilidad y a menor tiempo, de este modo se reduciría los costos de transporte lo que mejoraría los servicios sociales, educativos, culturales y de comercialización.

Apoyaría el proceso productivo: ya que contaría con una vía por donde llevar sus principales cultivos directamente a una vía principal de primer orden, hacia los principales mercados de la región y del departamento de San Martín.

Turismo: Fomentara la actividad turística generando otra alternativa de ingreso y trabajo para los pobladores contribuyendo así con el desarrollo de las localidades de Munichis y sus alrededores.

### **2.3.4. Justificación de viabilidad**

Como bien sabemos la gran importancia que el transporte es una de las principales actividades que integra a los pueblos y logra el desarrollo Socio – Económico y que, a pesar de las carencias económicas, recursos humanos y de los materiales es de vital importancia el compromiso de desarrollar dicho proyecto de tesis.

## **2.4. Delimitaciones de la investigación**

### **2.4.1. Alcances**

El desarrollo del presente trabajo de tesis pretende propiciar el desarrollo del “**Diseño geométrico y de Asfalto**”, en base a los trabajos de campo y gabinete respaldado por los correspondientes fundamentos teóricos de ingeniería intervinientes como son: Topografía, Mecánica de Suelos, Hidrología, Diseño de Pavimentos, Drenaje Vial e Impacto Ambiental.

El proyecto definitivo al ser ejecutado pretende mejorar las condiciones socioeconómicas de la población beneficiada e incorporarse al sistema de caminos vecinales de la Red Vial Nacional.

### **2.4.2. Limitaciones**

Los inconvenientes que se pueden encontrar en la construcción de este proyecto son los siguientes:

Financiamiento del proyecto

La persistencia de las lluvias nos producirá retrasos, que de todas maneras serán superadas

En ciertos tramos de la vía se tendrá que realizar replanteo de la vía principal.

Los márgenes de los terrenos están muy cerca de la carretera que dificultaría el dimensionamiento de la carpeta asfáltica.

## **2.5. Marco teórico**

### **2.5.1. Antecedentes de la investigación**

En las aulas universitarias fue donde gracias a los docentes ing. Juvenal Díaz Agip, Ing. Máximo Vilca Cotrina, Ing. Luis Paredes Rojas, Ing. Rubén del Águila Panduro, así como el Ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz; que nos inculcaron a una cultura de carretera y mecánica de suelos, lo cual despertó una motivación especial por estos temas y, razón por la cual nos inclinamos a desarrollar el presente proyecto de tesis.

“Para realizar el Proyecto a nivel de ejecución de la carretera Saposoa – Paltaco de 6.7 km, con el fin de integrar los pueblos de la zona que se ubican alrededores de Saposoa, incluyendo los estudios para el diseño de pavimento y sistema de drenaje”. **Baudilio (2003)**

“El arte del trazado de carreteras”, el cual sirvió como guía en todo el proceso de formación del proyecto. **Ediciones Ciencias saca a la luz el libro (1999)**

“El expediente técnico para el mejoramiento y rehabilitación de la carreta vecinal magdalena (Rio Shitarayacu) – Bagazan”, el cual fue el punto de inicio para la integración de los pueblos que se encontraban ubicados en la cuenca de la quebrada Cunchuillo. **PEAH (2000)**

## 2.5.2. Marco teórico o Fundamentación teórica

### 2.5.2.1. Diseño geométrico

#### 2.5.2.1.1. Selección del tipo de vía y parámetros de diseño.

##### 2.5.2.1.1.1. Velocidad directriz

“Es la velocidad escogida para el diseño y será la máxima velocidad 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”. **MTC (2014)**

“Que se eviten en lo posible los cambios repentinos de la velocidad de diseño a lo largo de una carretera. Deben existir razones que justifique la necesidad de realizar cambios, estos se efectuarán en Incrementos o decrementos de 15 km/h o en el 20% de la velocidad directriz, debiendo tornarse el menor de ellos”. **MTC (2014)**

### Tabla 1

*Velocidad de Diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía*

CLASIFICACION	OROGRAFIA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGENEO			
		40 Km/h	50 Km/h	60 Km/h	70 Km/h
Carretera de segunda clase	Plano			X	X
	Ondulado			X	X
	Accidentado		X	X	X
Carretera de tercera clase	Plano	X	X	X	X
	Ondulado	X	X	X	X
	Accidentado	X	X		

**Fuente:** Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 del MTC

#### **2.5.2.1.1.2. Distancia de visibilidad**

“Es la longitud continua hacia adelante del camino que es visible al conductor, para tomar las decisiones oportunas “**MTC (2014)**. Para efectos de diseño se consideran tres tipos de distancia de visibilidad:

##### **Distancia de visibilidad de parada o frenado (Dp)**

Es la mínima requerida para que se detenga un vehículo que viaja a la velocidad directriz, antes de que alcance un objeto inmóvil que se encuentra en su trayectoria; el **MTC**, dan los valores de la **Dp** en la **Tabla 205.01**.

##### **Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento (Da)**

Es la distancia mínima que debe estar disponible, a fin de facultar al conductor del vehículo a sobrepasar a otro que se supone viaja a una velocidad menor, con una comodidad y seguridad, sin causar alteración en la velocidad de un tercer vehículo que viaja en sentido contrario y que se hace visible cuando se ha iniciado la maniobra de sobrepaso. Dichas condiciones de comodidad y seguridad, se dan cuando la diferencia de velocidades entre los vehículos que se desplazan en el mismo sentido es menor a 15 km/h y la velocidad del vehículo que transita en sentido contrario es la velocidad directriz.

La distancia de visibilidad solo se considera en una carretera de dos carriles; el **MTC**, dan los valores de la **Da** en las **Tablas 205.02, 205.03, 205.04 y 205.05**.

##### **Distancia de visibilidad de cruce**

La distancia mínima de visibilidad de cruce, está relacionada con la velocidad de los vehículos y las distancias recorridas durante el tiempo de percepción – reacción y el correspondiente al frenado; el **MTC**, dan los valores de la **Distancia de visibilidad de cruce** en la **Tabla 205.06”**.

#### **2.5.2.1.1.3. Diseño geométrico en planta**

Nos establecen que deberá evitarse pasar bruscamente de una zona de curvas de gran radio a otras de radios marcadamente menores. Deberá pasarse en forma gradual, intercalando entre una y otras curvas de radio de valor decreciente antes de alcanzar el radio mínimo. También deberá evitarse ángulos pequeños de deflexión. En terreno llano deberá respetarse la siguiente condición para un ángulo de deflexión de 5", la longitud de la curva no será

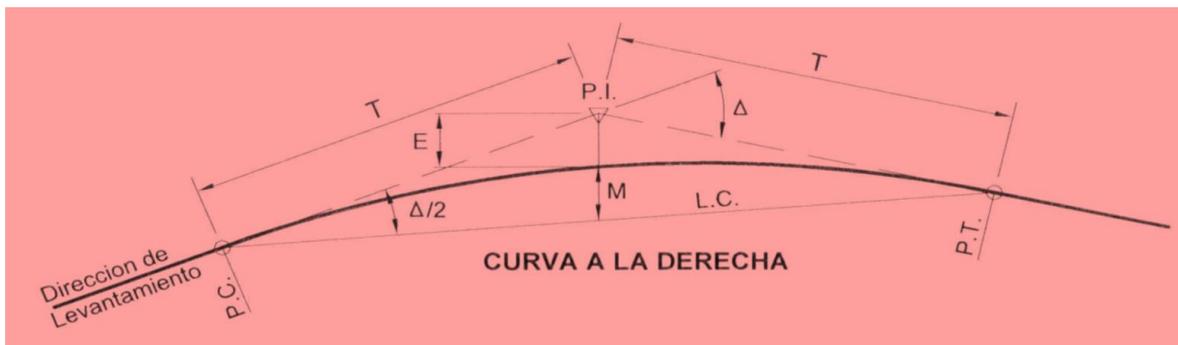
menor de 150.00 m, para ángulos menores la longitud de la curva aumentará en 30.00 m por cada grado de disminución del ángulo de deflexión. No se usará por razón algunos ángulos de Deflexión menores de 59°. **MTC (2014)**

#### 2.5.2.1.1.4. Curvas horizontales

“Las curvas horizontales simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas o espaciales”. **MTC (2014)**

#### Elementos de las curvas horizontales

Los elementos de las curvas horizontales que permiten su ubicación y trazo en el campo son:



**Figura 2:** Elementos de una curva (Manual de carreteras: Diseño geométrico DG – 2014)

PI : Punto de intersección de dos alineamientos.

PC : Principio de curva.

PT : Principio de tangencia o término de curva.

$\Delta$  : Angulo de deflexión.

R : Longitud del Radio de la curva (m).

T : Longitud de la Subtangente de la curva (m).

E : Distancia a Externa (m).

L : Longitud de curva circular (arco PC- PT) (m).

Lc : Cuerda entre el PC y PT (m).

M : Distancia de la ordenada media (m).

Así mismo el **MTC**, plantea las fórmulas para el cálculo de los elementos de la curva:

$$T = R \tan \frac{\Delta}{2} \dots\dots\dots (3)$$

$$L.C = 2R \operatorname{sen} \frac{\Delta}{2} \dots\dots\dots(4)$$

$$L = 2\pi R \frac{\Delta}{360} \dots\dots\dots (5)$$

$$M = R [1 - \cos (\Delta/2)] \dots\dots\dots (6)$$

$$E = R [\sec (\Delta/2) - 1] \dots\dots\dots (7)$$

### Radios de diseño

“El radio de una curva horizontal, es función de la velocidad directriz y del peralte” **MTC (2014)**, dichos radios se calcularán mediante la siguiente fórmula:

$$R_{\text{mín}} = \frac{V^2}{127 (P_{\text{máx}} + f_{\text{máx}})} \dots\dots\dots (8)$$

**Dónde:**

V : Velocidad directriz

R<sub>min.</sub> : Radio Mínimo de la curva

f máx. : Coeficiente de fricción.

P máx.: Peralte máximo asociado a V (en tanto por uno)

El **MTC** nos da los valores de los radios mínimos a emplearse en las tablas **302.02, 302.04, 302.05, 302.06**.

**Tabla 2**

*Radios mínimos y peralte máximos*

UBICACIÓN DE LA VIA	Velocidad de Diseño	p max. (%)	f max.	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)
Área urbana	40 Km/h	4,00	0,17	60,0	60
	50 Km/h	4,00	0,16	98,4	100
	60 Km/h	4,00	0,15	149,2	150
	70 Km/h	4,00	0,14	214,3	215
Área rural (plano u ondulada)	40 Km/h	8,00	0,17	50,4	55
	50 Km/h	8,00	0,16	82,0	90
	60 Km/h	8,00	0,15	123,2	135
	70 Km/h	8,00	0,14	175,4	195

**Fuente:** Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 del MTC

## Peralte

Cuando un vehículo ingresa a una curva, se genera una fuerza que tiende a arrojarla hacia afuera. Esta fuerza, llamada fuerza centrífuga, es equivalente al producto de la masa por la aceleración y está dirigida hacia afuera de la curva.

Con el fin de contrarrestar la acción de ésta fuerza, todas las curvas horizontales deberán ser peraltadas (inclinación de la superficie de la carretera hacia adentro). Dichos valores se obtienen de la tabla 5.3.4.1 de las Normas peruanas de diseño de carreteras. El peralte también se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{V^2}{128R} \% - f \quad \dots\dots\dots (9)$$

### Donde:

- P : Peralte (%)
- f : coeficiente de fricción
- R : Radio (m)
- V : Velocidad directriz (km/h)

## Sobreancho

“Es el ancho adicional de la superficie de rodadura de la vía, en los tramos en curva para compensar el mayor espacio requerido por los vehículos” **MTC (2014)**. Los valores del sobreancho se han calculado usando la siguiente fórmula:

$$Sa = n (R - \sqrt{R^2 - L^2}) + \frac{V}{10 \sqrt{R}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

### Donde:

- Sa : Sobreancho (m)
- n : Número de carriles
- R : Radio (m)
- L : Distancia entre eje posterior y parte frontal (m)
- V : Velocidad directriz (km/h)

Además, el **MTC**, “nos recomienda considerar un valor mínimo de 0.40 m, para justificar su adopción”.

### **Banqueta de visibilidad**

Cuando se tiene secciones en corte completo o a media ladera, de modo que el talud de corte está al interior de la curva, el conductor al reconocer la curva logra tener una visibilidad en radios que son cuerdas tangentes al talud de corte a la altura del operador, si aquella tangente no tiene la distancia aproximada para maniobrar cuanto menos la parada, indiscutiblemente siempre existirá el riesgo de que el vehículo choque ante un objeto que está detenido en el carril de su trayectoria. Existe la posibilidad que mediante un análisis numérico se haga el chequeo de la visibilidad y si el caso lo requiere diseñar el correspondiente corrimiento del talud de corte (Banqueta de visibilidad), de modo que finalmente la visibilidad en la curva esté garantizada.

#### **2.5.2.1.1.5. Perfil longitudinal**

“El diseño geométrico en perfil o alineamiento vertical, está constituido por una serie de rectas enlazadas por curvas verticales parabólicas, a los cuales dichas rectas son tangentes; en cuyo desarrollo, el sentido de las pendientes se define según el avance del kilometraje, en positivas, aquellas que implican un aumento de cotas y negativas las que producen una disminución de cotas”. **MTC (2014)**

El alineamiento vertical deberá permitir la operación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar la misma velocidad de diseño en la longitud de carreta que sea posible.

El perfil longitudinal está controlado principalmente por la topografía, alineamiento horizontal, distancia de visibilidad, velocidad del proyecto, seguridad, costo en producción, categoría del camino, valores estéticos y drenaje.”

### **Rasante**

Además, el **MTC**, nos indica que:

En terreno llano, la rasante estará sobre el terreno por razones de drenaje, salvo casos especiales.

En terreno ondulado, por razones de economía, la rasante seguirá las inflexiones del terreno

En terreno accidentado o montañoso será necesario adaptar la rasante al terreno, evitando los tramos en contrapendiente, cuando debe vencerse un desnivel considerable, ya que ello conduciría a un alargamiento innecesario.

### **Pendiente**

La pendiente (*i*) de una carretera o camino es la inclinación longitudinal que tiene o se dispone a la plataforma de una carretera.

### **Pendiente mínima**

En los tramos en corte se evitará el empleo de pendientes menores de 0.5%. 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 (ítem 303.03.01 del Manual de carreteras diseño geométrico).

### **Pendiente máxima**

Es la máxima que se puede usar considerando la altitud a la que se encuentra la vía. De acuerdo a la tabla 303.01 del manual de diseño de carreteras, se ha considerado:

**Tabla 3**

*Pendientes máximas (%)*

<b>Clasificación</b>	Carretera				Carretera			
<b>Vehículos/día</b>	2000 – 400				< 400			
<b>Características</b>	Segunda clase				Tercera clase			
<b>Tipo de orografía</b>	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Velocidad de diseño:</b> 30 Km/h							10.0	10.0
40 Km/h					8.0	9.0	10.0	
50 Km/h			7.0	7.0	8.0	8.0	8.0	
60 Km/h	6.0	6.0	7.0	7.0	8.0	8.0		
70 Km/h	6.0	6.0	7.0	7.0	7.0	7.0		

**Fuente:** Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 del MTC

### **Pendiente máxima excepcional**

Se recurrirá al empleo de ella cuando existan motivos justificados para su uso y especialmente si el empleo de pendientes menores induce a alargamiento innecesario o

aumento de tortuosidad en el trazado u obras costosas. “Excepcionalmente, el valor de la pendiente máxima podrá incrementarse hasta 1% para todos los casos. En carreteras de tercera clase deberán tenerse en cuenta además las siguientes consideraciones:

Se proyectará un tramo de descanso de 500 m. con pendiente no mayor de 2% más o menos cada tres kilómetros, cuando se presente casos de ascenso continuo y cuando la pendiente sea mayor al 5%.

En general, cuando se empleen pendientes mayores a 10%, los tramos con tales pendientes no excederán de 180 m”. **MTC (2014)**

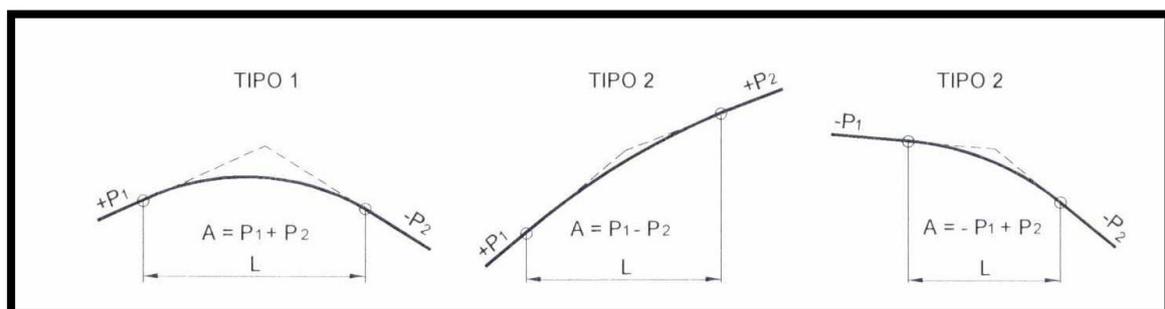
### Curvas verticales

Las curvas verticales son utilizadas para dar transiciones a cambios de pendiente. Las Normas peruanas de diseño de carreteras establecen que los tramos consecutivos de rasante serán enlazados con curvas verticales parabólicas, cuando la diferencia algebraica de sus pendientes sea de 1 % para pavimento de tipo superior y de 2% para las demás. Se han proyectado curvas verticales parabólicas simétricas.

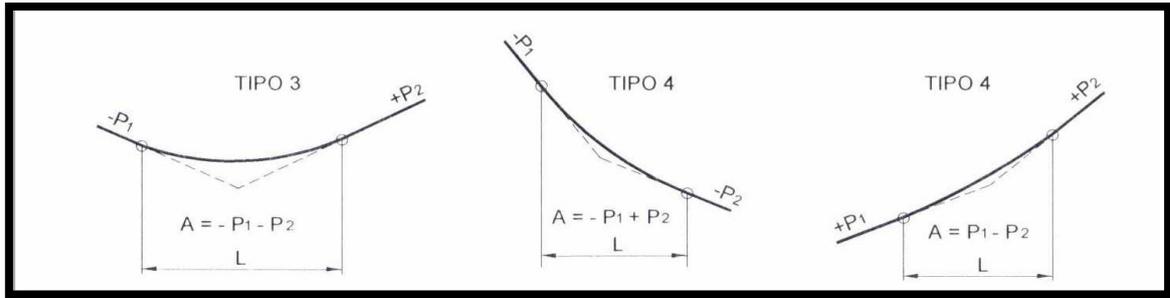
“La visibilidad en la carretera deberá estar garantizada en el perfil y debe ser tal que permita al vehículo detenerse antes de llegar a tocar un obstáculo fijo que se encuentre en su vía de circulación o maniobrar sin peligro alguno ante un vehículo que viene en sentido contrario. Su cálculo se ceñirá a la longitud de parada, normadas en los artículos 4.2.2 y 4.2.4 de las Normas peruanas de diseño de carreteras”. **MTC (2014)**

Las curvas verticales pueden ser:

**Por su forma;** cóncavas y convexas.

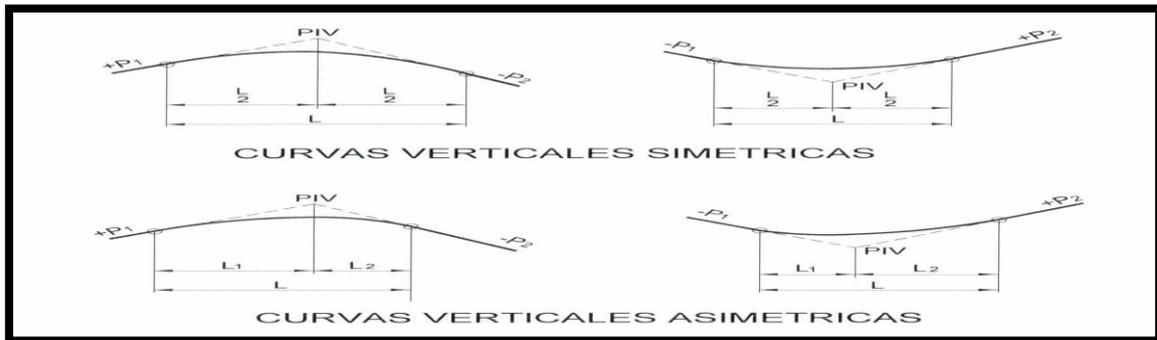


**Figura 3:** Tipos de curvas verticales convexa (Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014)



**Figura 4:** Tipos de curvas verticales cóncavas (Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014)

**Por la longitud de sus ramas:** simétricas y asimétricas.



**Figura 5:** Tipos de curvas simétricas y asimétricas (Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014)

La longitud de las curvas cóncavas se determinará con los gráficos de las láminas de la figura **303.06** y **303.07** del Manual de carreteras: Diseño geométrico, cuando se desee contar con distancias de visibilidad de parada, distancia de visibilidad de paso, la longitud de las curvas cóncavas.

#### 2.5.2.1.1.6. Diseño geométrico de la sección transversal

“Consiste en la descripción de los elementos de la carretera en un plano de corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la posición y dimensiones de dichos elementos, en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural”. **MTC (2014)**

Los elementos que conforman la sección transversal de la carretera son: carriles, calzada, bermas, cunetas, taludes y elementos complementarios (barreras de seguridad, ductos y cámaras para fibra óptica, guardavías y otros), que se encuentran dentro del derecho de vía del proyecto.

#### Calzada o Superficie de rodadura

“Hay que tomar en cuenta ciertos parámetros para el diseño de la calzada:

### Tramos en tangente

Se determinará tomando como base el nivel de servicio deseado al finalizar el periodo de diseño. En consecuencia, el ancho y número de carriles se determinarán mediante un análisis de capacidad y niveles de servicio.

En la **tabla 304.01**, se indican los valores del ancho de calzada en relación a la velocidad directriz y clasificación de la carretera.

**Tabla 4**

*Anchos mínimos de Calzada en tangente*

Clasificación Tráfico Vehículos / día Tipo Orografía	Carretera 2,000 - 400			Carretera < 400		
	Segunda Clase			Tercera Clase		
	1	2	3	1	2	3
Velocidad de diseño :	40 Km/h			6,60	6,60	6,00
	50 Km/h		6,60	6,60	6,60	6,00
	60 Km/h	7,20	7,20	6,60	6,60	
	70 Km/h	7,20	7,20	6,60	6,60	

**Fuente:** Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 del MTC

### Tramos en Curva

Las secciones indicadas anteriormente, estarán provistas de Sobreancho en los tramos de curva de acuerdo a lo indicado en el **tópico 302.09**.

### Bombeo

Las carreteras con pavimento de tipo superior estarán provistas de bombeo en los tramos en tangente, con los valores comprendidos entre 1 % y 2%. En los tramos en curva, el bombeo será sustituido por el peralte en la forma indicada anteriormente.

**Tabla 5**

*Bombeo de las Calzadas*

TIPO DE SUPERFICIE	Bombeo (%)	
	Precipitación < 500 mm/año	Precipitación > 500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o cemento Portland	2,0	2,5
Tratamiento Superficial	2,5	2,5 - 3,0
Afirmado	3,0 - 3,5	3,0 - 4,0

**Fuente:** Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 del MTC

## Bermas

Las bermas serán diseñadas para suministrar el suficiente soporte a los bordes del pavimento, y para proporcionar un lugar fuera de la vía de tránsito que pueda ser utilizada por los peatones y también para el estacionamiento temporal de vehículos malogrados. Además, podrían servir de base para futuros ensanches.

En la tabla **304.02**, se establece el ancho de bermas en función a la clasificación de la vía, velocidad de diseño y orografía”. **MTC (2014)**

**Tabla 6**

*Ancho de Bermas*

Clasificación Tráfico Vehículos / día Tipo Orografía	Carretera 2,000 - 400			Carretera < 400		
	Segunda Clase			Tercera Clase		
	1	2	3	1	2	3
Velocidad de diseño :	40 Km/h		1,20	1,20	0,90	0,50
	50 Km/h		1,20	1,20	0,90	0,90
	2,00	2,00	1,20	1,20	1,20	
	2,00	2,00		1,20	1,20	

**Fuente:** Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 del MTC

## Plazoletas de estacionamiento

Las normas peruanas en su ítem 5.4.4.1 establecen que cuando el ancho de las bermas es menor de 2.40 m, se deberá prever, en cada lado de la carretera y a una distancia no mayor de 400 m. Plazoletas de estacionamiento de dimensiones mínimas utilizables, de 3.00 x 30.00 m. La ubicación de dichas plazoletas, se indican en los planos en planta y de secciones transversales del presente estudio.

## Taludes

“Talud, es la inclinación de diseño dada al terreno lateral de la carretera, tanto en zonas de corte como en terraplenes. Dicha inclinación es la tangente del ángulo formado por el plano de la superficie del terreno con respecto a la horizontal”. **MTC (2014)**

**Tabla 7***Taludes de Relleno*

<b>MATERIAL</b>	<b>TALUD V:H</b>
Enrocado	1:1
Terrenos varios	1:1.5
Arena	1:2

**Fuente:** Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 del MTC

**Tabla 8***Taludes de Corte*

<b>MATERIAL</b>	<b>TALUD V:H</b>
Roca fija	10:1
Roca suelta	4:1
Conglomerados	3:1
Tierra	2:1
Compactada	1:1
Tierra suelta	1:2
Arena	1:2

**Fuente:** Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 del MTC

**Cunetas**

“Son canales construidos lateralmente a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y subsuperficiales, procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes. La sección transversal de esta será la que mejor se adapte a la sección transversal de la vía. Las dimensiones se deducen a partir de los cálculos hidráulicos”. **MTC (2014)**

**Ancho de derecho de vía**

“La determinación del derecho de vía, además de la sección transversal del proyecto, deberá tenerse en consideración la instalación de los dispositivos auxiliares y obras básicas requeridas para el funcionamiento de la vía. En la tabla **304.09** se indican los valores del derecho de vía. **MTC (2014)**

**Tabla 9***Anchos mínimos de Derecho de Vía*

<b>Clasificación</b>	<b>Anchos mínimos (m)</b>
Autopistas Primera Clase	40
Autopistas Segunda Clase	30
Carretera Primera Clase	25
Carretera Segunda Clase	20
Carretera Tercera Clase	16

**Fuente:** Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 del MTC

#### **2.5.2.1.2. Ubicación del eje longitudinal**

Definido el plano topográfico y los parámetros de diseño respectivos, se procede a diseñar el eje planimétrico, así como el perfil longitudinal y las secciones transversales de la carretera.

##### **2.5.2.1.2.1. Diseño del eje planimétrico**

#### **Trazo de la Línea de Gradiente**

Sobre la base de los planos topográficos y a las estacas de la línea de gradiente trazada en campo, se procedió a trazar la línea de gradiente definitiva en el plano a curvas a nivel a escala 1:2000, mediante el método del compás.

#### **Trazo de la poligonal**

“Consiste en formar un polígono cuyos lados procuren contener el mayor número de compasadas de la línea de gradiente seleccionada” **Guerra (1997)**. Algunos criterios a tener en cuenta son:

Deben evitarse el uso de ángulos de deflexión pequeños.

La geometría debe responder simultáneamente a la acción de la topografía del terreno y a la exigencia de determinados medios en las curvas, especialmente en las curvas de volteo las que deben plantearse en el peor de los casos para el radio mínimo excepcional.

Se prefiere los cortes antes que los rellenos.

### **Determinación de los ángulos de intersección de la poligonal**

Una vez definida la poligonal haciendo uso del programa AUTOCAD se procede a editar los valores de las coordenadas de los puntos de intersección.

Conocidas las coordenadas de los PI, se obtiene los valores de los ángulos de intersección, los cuales no necesitan ser corregidos dado la precisión que nos ofrece el programa.

### **Determinación de los lados de la poligonal**

Conocidas las coordenadas de los vértices, haciendo uso del programa se determina la longitud de cada lado de la poligonal.

### **Diseño de las curvas horizontales**

Definida la poligonal y determinados los ángulos de intersección de los lados de la misma, el paso siguiente consiste en diseñar las curvas horizontales, respetando los parámetros de diseño del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014, del MTC.

### **Diseño del eje planimétrico**

Una vez definido el eje planimétrico de la vía se procede a realizar el estacado del mismo, proceso que consiste en dejar marcas cada 20 metros en tramos rectos y 10 tramos curvos, utilizando el programa.

### **Determinación de los elementos de curva horizontal y estacados de los PI, PC, y PT.**

#### **Radios de diseño**

Como en el proyecto se tiene el primer tramo una carretera de segunda clase y el segundo tramo una carretera de Tercera Clase se ha optado por un radio mínimo de 60.00 m para el primer tramo y un radio mínimo de 55.00 m para el segundo tramo, según el Manual de Diseño de carreteras - MTC.

#### **Elementos de las curvas horizontales**

Conocido el valor del ángulo I; y seleccionado el radio a emplear, se ha procedido a calcular los valores de los diferentes elementos de las curvas horizontales, así como a determinar los números de estaca que les corresponde a los puntos: PI, PC y PT. Esto se realizó con ayuda del AUTOCAD CIVIL 3D.

### **2.5.2.1.3. Nivelación del Eje longitudinal, colocación de puntos de control, perfiles longitudinales**

#### **2.5.2.1.3.1. Obtención del primer B.M.**

“Se realizará con la ayuda de un G.P.S., calibrándose primeramente sobre la base del BenchMark (BM)” **Ediciones Ciencias el arte del trazado de carreteras (1996)**, que servirá como punto referencial del proyecto.

#### **2.5.2.1.3.2. Nivelación de las estaciones y ubicaciones de los B.M del Proyecto.**

“Se Procedió a nivelar cada una de las estacas de la poligonal obteniéndose la altitud de cada una de ellas; las lecturas se han hecho con aproximación al milímetro.

Obtenido el perfil del terreno se procede a trazar la línea de subrasante respectiva teniendo en cuenta los criterios siguientes” **Olivera (1998)**:

De preferencia los Pl´s vertical deben ubicarse en estacas pares.

Lo distancia entre Pl´s verticales debe ser apropiada a fin de no tener interacción de curvas verticales.

En terreno plano la Subrasante estará sobre el terreno natural salvo casos especiales por razones de drenaje.

En terreno ondulado por economía la Subrasante seguirá las inflexiones del terreno sin perder de vista las imitaciones impuestas por la estética, visibilidad y seguridad.

En terreno accidentado será necesario adaptar a Subrasante al terreno evitando los tramos en contra pendiente, sobre todo cuando se debe vencer un desnivel considerable.

#### **2.5.2.1.3.3. Seccionamiento transversal**

Teniendo como base el estacado del eje planimétrico se procede a realizar el seccionamiento transversal a fin de poder obtener el perfil del terreno.

Definido el perfil del terreno y determinados: Ancho de faja de rodadura, taludes, bermas, sobre anchos, dimensiones de cunetas y banquetas de visibilidad (de a ser el caso) se procede dibujar las cajas de la plataforma.

## 2.5.2.2. Diseño de Pavimentos

### 2.5.2.2.1. Generalidades

“Se conoce como pavimento a la superficie artificial efectuada con el fin de que el suelo tenga una configuración llana y sólida; el pavimento está formado por una o varias capas que descansan sobre un tramo de fundación, el espesor estará de acuerdo a la calidad del terreno". **Alva (2008)**

En general un pavimento es una estructura superficial destinada a transmitir a la subrasante los efectos de las cargas estáticas o en movimiento de los vehículos y mejorar las condiciones de comodidad y seguridad para el tránsito.

Entre los objetivos que persigue diseñar un pavimento tenemos:

Soportar las cargas de los vehículos.

Soportar los efectos de abrasión producidos por los neumáticos.

Soportar los efectos de intemperismo.

### 2.5.2.2.2. Componentes de un Pavimento

#### Terreno de Fundaciones (Subrasante)

“Es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado”. **MTC (2014)**

Las categorías de las subrasantes se definen por su CBR:

**Inadecuada.** - Cuando está constituida de material orgánico, se debe desechar este material y sustituirlo por otro de mayor calidad. Su  $CBR < 3\%$ .

**Insuficiente.** - Es decir que el material que se encuentra es limo o arcilla o la combinación de ambos altamente plásticas.  $3\% \leq CBR < 6\%$

**Regular.** - En este caso se considera un suelo que presenta suelos arenosos con presencia de arcilla con plasticidad baja.  $6\% \leq CBR < 10\%$

**Buena.** - En este caso se considera un suelo arenoso o gravoso con presencia de limos y arcillas con plasticidad baja y no ofrece peligro de estructuración.  $10\% \leq CBR < 20\%$

**Muy Buena.** - En este caso se considera un suelo bien graduado y no ofrece peligro de estructuración.  $20\% \leq CBR < 30\%$

**Excelente.** - Es decir el material está compuesto por piedras, gravas y arenas con material ligante. Su CBR  $\geq$  30%

### **Sub Base**

“Es una capa de material seleccionada, cuya función es puramente económica, encargada de soportar y de transmitir cargas aplicadas a la superficie de rodadura, que se coloca encima de la subrasante, con el objeto de:

Servir de capa de drenaje al pavimento.

Controlar o eliminar en lo posible los cambios de volumen y elasticidad y plasticidad que pudiera tener el material de la subrasante.

El control de la ascensión capilar del agua proveniente de las napas freáticas cercanas o de otras fuentes.

Proteger el pavimento contra posibles hinchamientos. Que se puede producir en épocas de heladas”. **Bonett (2011)**

### **Base**

“Esta capa está constituida por material pétreo, piedra triturada, etc., tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base y al terreno de fundación en una intensidad adecuada”. **Bonett (2011)**

Básicamente el material que constituya a la base debe ser fricciantes y provista de vacíos.

Los requisitos que deben cumplir los materiales para base son:

Son resistentes a los cambios de humedad y temperatura.

No presentan cambios de volumen perjudiciales.

La base terminada debe tener un valor soporte arriba del 80%, un límite líquido no mayor al 25%, el índice plástico  $< 9\%$ .

La fracción que pasa la malla N<sup>a</sup> 200, deberá ser igual o menor al que pasa el tamiz N<sup>o</sup> 40”.

## **Capa de Rodadura**

“Esta es la última capa del pavimento, y sobre ella circulan los vehículos y, por lo tanto, debe ser resistente a la abrasión producida por el tráfico y a los condicionamientos del intemperismo; además tiene la función de proteger la estructura, impermeabilizando la superficie del pavimento”. **Bonett (2011)**

“Los tipos de mezclas bituminosas empleadas para capa de rodamiento son:

**Tratamientos Superficiales.** - Son aplicaciones a cualquier tipo de material (base), los asfaltos y alquitranes que se emplean son los llamados líquidos o diluidos del tipo de rápido curado (R.C. y R.T.).

El espesor de estas capas es de 2.5 cm (1"), se puede aplicar en una o varias capas, cuando se aplican en varias capas (2 o más), se llama tratamiento, multicapa, este tipo se emplea comúnmente para tránsito ligero.

**Macadam de Penetración.** - Se utilizan asfaltos, cuya penetración está comprendida entre 85 y 150, según tablas de especificaciones para asfaltos, y los alquitranes usados son del tipo más viscoso. El espesor de estas capas, varía entre 6 y 15 cm.

**Mezclas "In Situ de Tipo Abierto o Cerrado.** - Se emplean tanto para efectuar capas de sub-base y superficie de rodadura; generalmente se emplean asfaltos líquidos de rápido y curado medio (R.C y M.C). El espesor varía aproximadamente entre 4 y 7.5 cm.

**Mezclas en Planta de Tipo Denso o Abierto, Aplicado en Frío o Caliente.** - Para láminas asfálticas, concretos bituminosos, pueden usarse algunos, asfaltos líquidos; pero preferentemente, se emplean cementos asfálticos, cuya penetración, está entre 85 y 200, el espesor es generalmente mayor de 5 cm”. **Olivera (1988)**

## **Carpeta de Desgaste o Sello**

“Está formado por una aplicación bituminosa de asfalto o alquitrán y tiene por objeto sellar la superficie impermeabilizándola, a fin de evitar la infiltración de lluvia, además de proteger la capa de rodamiento contra la acción abrasiva de las ruedas de los vehículos. Los materiales bituminosos que se emplean, pueden ser asfálticos líquidos emulsionados, o de penetración y alquitranes los tipos de asfalto generalmente empleados son: Rc-3, Rc-5, Mc-3, Mc-4, Mc-5 penetración 85-100,100-120 y los alquitranes Rt-6, Rt-7 y Rt-8”. **Coronado (2011)**

## **Imprimación**

“En la construcción de pavimentos flexibles, es necesario la aplicación de un revestimiento, que consiste en extender sobre la calzada un ligante bituminoso que penetre lo más profundamente en los poros de la capa superior, convirtiéndose así en una capa impermeable, que además hace posible un agarre de la capa de rodadura”. **Coronado (2011)**

### **2.5.2.2.3. Factores que intervienen el Diseño de un Pavimento**

Los factores que intervienen en el diseño de pavimento mencionamos:

#### **Numero de repeticiones de Ejes Equivalentes**

“Al número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn, en el periodo de diseño”. **MTC (2014)** Su cálculo se hará con la siguiente expresión.

$$\mathbf{Nrep\ de\ EE_{8.2\ tn} = \sum (EE_{día-carril} \times Fca \times 365) \dots(11)}$$

#### **Donde:**

**EE<sub>día-carril</sub>:** Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño.

**Fca:** Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado

**365:** Número de días de años

#### **Clima**

Influye distintamente en la costa, la sierra, y en la selva por lo que se debe tener en cuenta los cambios de temperatura, lluvias.

#### **Terreno de Fundación**

Se refiere al conocimiento de todas las características principales de un suelo (análisis granulométrico, límites de consistencia, densidad, compactación, CBR, etc.).

#### **Drenaje**

El sistema de drenaje y subdrenaje de una carretera está previsto para eliminar la humedad en el pavimento y en el prisma de la carretera.

#### **2.5.2.2.4. Recomendaciones para efectuar un buen Pavimento**

“Nos dice que los factores son los siguientes:

Cuando una explanación o terraplén ya no tenga asentamientos.

Cuando los taludes hayan adquirido su estabilidad natural, o sea, un ángulo natural de reposo.

Cuando se haya cumplido con todas las especificaciones geométricas de la vía (radios, pendientes, Sobreancho, etc.).

Cuando se hayan terminado de construir todas las obras de drenaje”. **MTC (2014)**

#### **2.5.2.2.5. Características de los Pavimentos Flexibles y Rígidos.**

“En su estudio de tesis, menciona las características de los Pavimentos Flexibles y son:

El pavimento flexible se adapta a vías estables.

Bajo costo de la construcción.

Fácil recuperación de fallas.

No lleva juntas ni uniones.

No tiene buena visibilidad en la noche”. **Ruiz (2011)**

“En su estudio de tesis, menciona las características de los Pavimentos Rígidos y son:

Bajo costo de mantenimiento.

Larga duración.

Buena visibilidad en la noche”. **Ruiz (2011)**

Se puede construir sobre la superficie de explanaciones arenosas.

#### **2.5.2.2.6. Diseño del Pavimento apropiado mediante el Método AASHTO 93**

**2.5.2.2.6.1. Periodo de Diseño,** de acuerdo al manual de diseño del MTC, el periodo de diseño será de 10 años para el caso de carreteras de bajo volumen de tránsito, periodo de diseño por dos etapas de 10 años y periodo de diseño en una etapa de 20 años.

**2.5.2.2.6.2. Variables,** la ecuación básica para el diseño de la estructura del pavimento es la siguiente:

$$\log_{10}(W18) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \frac{(\Delta PSI)}{4.2-1.5}}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(MR) - 8.07$$

Con esta ecuación se pretende calcular el Numero Estructural requerido (SNr), en función del cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la sub rasante para el soporte de las cargas vehiculares en el periodo de serviciabilidad y diseño estimados. Así mismo, a partir de esta ecuación se desprende lo siguiente.

**W18**, es Número Acumulado de Ejes Simples Equivalentes a 18000 lb (80 kN) para el periodo de diseño, corresponde al Número de Repeticiones de EE de 8.2 tn; el cual se establece con base en la información del estudio de tráfico.

### **Módulo de Resiliencia (MR)**

El Módulo de Resiliencia es (MR) es una medida de la rigidez del suelo de subrasante, el cual para su cálculo se empleará la ecuación, que correlación con el CBR, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide):

$$M_R \text{ (psi)} = 2555 \times \text{CBR}^{0.64} \dots\dots\dots (12)$$

### **Confiabilidad (%R)**

El método AASHTO incorpora el criterio de la confiabilidad (%R) que representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte, durante su periodo de diseño, de acuerdo con lo previsto. Esta probabilidad está en función de la variabilidad de los factores que influyen sobre la estructura del pavimento y su comportamiento; sin embargo, solicitudes diferentes a las esperadas, como por ejemplo, calidad de la construcción, condiciones climáticas extraordinarias, crecimiento excepcional del tráfico pesado mayor a lo previsto y otros factores, pueden reducir la vida útil prevista de un pavimento.

De acuerdo a la guía AASHTO es suficientemente aproximado considerar que el comportamiento del pavimento con el tráfico, sigue una ley de distribución normal, en consecuencia pueden aplicarse conceptos estadísticos para lograr una confiabilidad determinada; por ejemplo, 90% o 95%, significa que solamente un 10% o 5% del tramo pavimentado, se encontrará con un índice de serviciabilidad inferior al previsto; es decir que el modelo de comportamiento está basado en criterios de serviciabilidad y no en un

determinado mecanismo de falla. En consecuencia, a mayor nivel de confiabilidad se incrementará el espesor de la estructura del pavimento a diseñar.

A continuación, se especifican los valores recomendados de niveles de confiabilidad para los diferentes rangos de tráfico:

**Tabla 10**

*Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico*

TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD
			(R)
Tp0	75,000	150,000	65%
Tp1	150,001	300,000	70%
Tp2	300,001	500,000	75%
Tp3	500,001	750,000	80%
Tp4	750,001	1,000,000	80%
Tp5	1,000,001	1,500,000	85%
Tp6	1,500,001	3,000,000	85%

**Fuente:** Manual de Carreteras del MTC 2014: Sección suelos y Pavimentos

Para un diseño por etapas, según AASHTO, se deben determinar las confiabilidades de cada etapa, teniendo en cuenta la confiabilidad total correspondiente a todo el periodo de diseño, que, para el presente Manual, corresponde a los valores indicados en el Cuadro anterior, elevado a la potencia inversa del número de etapas. Así se tiene la relación siguiente:

$R_{\text{Etapa}}$  = Confiabilidad de cada etapa

$R_{\text{Total}}$  = Confiabilidad total para el periodo total de diseño

n = Número de etapas

**Tabla 11**

*Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para dos etapas de diseño de 10 años cada una según rango de Tráfico*

TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)		
			1ERA ETAPA (1)	2DA ETAPA (2)	TOTAL (1)x(2)
Tp0	75,000	150,000	81%	81%	65%
Tp1	150,001	300,000	84%	84%	70%
Tp2	300,001	500,000	87%	87%	75%
Tp3	500,001	750,000	89%	89%	80%
Tp4	750,001	1,000,000	89%	89%	80%
Tp5	1,000,001	1,500,000	92%	92%	85%
Tp6	1,500,001	3,000,000	92%	92%	85%

**Fuente:** Manual de Carreteras del MTC 2014: Sección suelos y Pavimentos

### Coefficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ )

El coeficiente estadístico de Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ) representa el valor de la Confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal.

A continuación, se presenta el cuadro de coeficientes estadístico de la Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ), para una sola etapa de diseño (10 o 20 años):

**Tabla 12**

*Coefficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico*

TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL ( $Z_r$ )
Tp0	75,000	150,000	-0.385
Tp1	150,001	300,000	-0.524
Tp2	300,001	500,000	-0.674
Tp3	500,001	750,000	-0.842
Tp4	750,001	1,000,000	-0.842
Tp5	1,000,001	1,500,000	-1.036
Tp6	1,500,001	3,000,000	-1.036

**Fuente:** Manual de Carreteras del MTC 2014: Sección suelos y Pavimentos

A continuación, se presenta el cuadro de coeficientes estadístico de la Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ), para dos etapas de diseño de 10 años cada una:

**Tabla 13**

*Coefficiente Estadístico de la Desviación estándar Normal Para dos etapas de diseño de 10 años cada una según rango de Tráfico*

TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL ( $Z_r$ )
Tp0	75,000	150,000	-0.878
Tp1	150,001	300,000	-0.994
Tp2	300,001	500,000	-1.126
Tp3	500,001	750,000	-1.227
Tp4	750,001	1,000,000	-1.227
Tp5	1,000,001	1,500,000	-1.405
Tp6	1,500,001	3,000,000	-1.405

**Fuente:** Manual de Carreteras del MTC 2014: Sección suelos y Pavimentos

### Desviación Estándar Combinada ( $S_o$ )

La Desviación Estándar Combinada ( $S_o$ ), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento

del pavimento; como, por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo. La Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de  $S_o$  comprendidos entre 0.40 y 0.50, en el presente Manual se adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45.

### Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

El Índice de Serviciabilidad Presente es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

### Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ )

La Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ ) es la condición de una vía recientemente construida.

A continuación, se indican los índices de servicio inicial para los diferentes tipos de tráfico:

**Tabla 14**

*Índice de Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ ) Según rango de Tráfico*

TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL ( $P_i$ )
Tp0	75,000	150,000	3.80
Tp1	150,001	300,000	3.80
Tp2	300,001	500,000	3.80
Tp3	500,001	750,000	3.80
Tp4	750,001	1,000,000	4.00
Tp5	1,000,001	1,500,000	4.00
Tp6	1,500,001	3,000,000	4.00

**Fuente:** Manual de Carreteras del MTC 2014: Sección suelos y Pavimentos

### Serviciabilidad Final o Terminal (PT)

La Serviciabilidad Terminal (Pt) es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción.

A continuación, se indican los índices de Serviciabilidad final para los diferentes tipos de tráfico.

**Tabla 15***Índice de Serviciabilidad Final (Pt) Según rango de Tráfico*

<b>TRÁFICO</b>	<b>EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS</b>		<b>INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)</b>
Tp0	75,000	150,000	2.00
Tp1	150,001	300,000	2.00
Tp2	300,001	500,000	2.00
Tp3	500,001	750,000	2.00
Tp4	750,001	1,000,000	2.50
Tp5	1,000,001	1,500,000	2.50
Tp6	1,500,001	3,000,000	2.50

**Fuente:** Manual de Carreteras del MTC 2014: Sección suelos y Pavimentos**Variación de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI)**

( $\Delta$  PSI) es la diferencia entre la Serviciabilidad Inicial y Terminal asumida para el proyecto en desarrollo. A continuación, se indican los valores de los diferenciales de Serviciabilidad:

**Tabla 16***Diferencial de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI) Según rango de Tráfico*

<b>TRÁFICO</b>	<b>EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS</b>		<b>DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (<math>\Delta</math>PSI)</b>
Tp0	75,000	150,000	1.80
Tp1	150,001	300,000	1.80
Tp2	300,001	500,000	1.80
Tp3	500,001	750,000	1.80
Tp4	750,001	1,000,000	1.50
Tp5	1,000,001	1,500,000	1.50
Tp6	1,500,001	3,000,000	1.50

**Fuente:** Manual de Carreteras del MTC 2013, Sección suelos y Pavimentos**Numero Estructural Requerido (SNR)**

Los datos obtenidos y procesados se aplican a la ecuación de diseño AASHTO y se obtiene el Número Estructural, que representa el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituirán, o sea de la capa de rodadura, de base y de sub base, mediante el uso de los coeficientes estructurales, esta conversión se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3 \dots\dots(13)$$

**Donde:**

$a_1, a_2, a_3$  = Coeficientes estructurales de las capas. Superficial, base y sub base respectivamente

$d_1, d_2, d_3$  = Espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y sub base, respetivamente.

$m_2, m_3$  = Coeficientes de drenaje para las capas de base y sub base, respectivamente.

Según AASHTO la ecuación SN no tiene una solución única, es decir hay muchas combinaciones de espesores de cada capa que dan una solución satisfactoria. El Ingeniero Proyectista, debe realizar un análisis de comportamiento de las alternativas de estructuras de pavimento seleccionadas, de tal manera que permita decidir por la alternativa que presente los mejores valores de niveles de servicio, funcionales y estructurales, menores a los admisibles, en relación al tránsito que debe soportar la calzada.

Los valores de los coeficientes estructurales considerados para nuestro diseño, adoptados del manual son:

**Tabla 17**

*Coeficientes Estructurales de las Capas del Pavimento  $a_i$*

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL $a_i$ (cm)
<b>CAPA SUPERFICIAL</b>		
Carpeta Asfáltica en caliente, módulo 2,965 Mpa (430,000 PSI) a 20 °C	$a_1$	0.170 / cm
Carpeta Asfáltica en frio, mezcla asfáltica con emulsión	$a_1$	0.125 / cm
<b>BASE</b>		
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	$a_2$	0.052 / cm
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	$a_2$	0.054 / cm
<b>SUB BASE</b>		
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	$a_3$	0.047 / cm
Sub Base Granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS	$a_3$	0.050 / cm

**Fuente:** Manual de Carreteras del MTC 2013, Sección suelos y Pavimentos

La ecuación SN de AASHTO, también requiere del coeficiente de drenaje de las capas granulares de base y subbase. Este coeficiente tiene por finalidad tomar en cuenta la influencia del drenaje en la estructura del pavimento.

El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variables que son:

- a. La calidad del drenaje.
- b. Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación.

En este cuadro se presenta valores de la calidad de drenaje con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada.

**Tabla 18**

*Calidad del Drenaje*

CALIDAD DE DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy Malo	El agua no evacúa

**Fuente:** Manual de Carreteras del MTC 2013, Sección suelos y Pavimentos

Asimismo, en el cuadro siguiente, se presenta valores de coeficiente de drenaje  $m_i$ , para porcentajes el tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación y calidad del drenaje.

**Tabla 19**

*Valores recomendados del Coeficiente de Drenaje  $m_i$  Para Bases y SubBases granulares no tratadas en pavimentos flexibles*

CALIDAD DEL DRENAJE	P = % DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACION			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 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
Mediano	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Malo	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy Malo	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

**Fuente:** Manual de Carreteras del MTC 2013, Sección suelos y Pavimentos

### 2.5.2.3. Diseño hidráulico de obras de arte

#### 2.5.2.3.1. Generalidades

En ingeniería, los proyectos que se refieren al uso del agua y la defensa contra los daños ocasionados por esta, nos vemos en la necesidad de salvar los obstáculos dados por los cauces artificiales o naturales de agua, estos necesariamente están ligados a la hidrología, ciencia que estudia los fenómenos naturales relacionados con el agua, de manera que los métodos que se emplean no pueden ser rígidos quedando algunas decisiones al criterio del ingeniero.

#### 2.5.2.3.2. Estudio hidrológico e hidráulico

**Cuencas con escasa información hidrometeorológica;** “requiere de aplicación de modelos de generación sintética de descargas o modelos de regresión múltiple lineal o no lineal”.

**Villon (1995)**

**Cuencas sin información hidrometeorológica;** “es el caso más crítico y a la vez el más frecuente en nuestro país. Se recomienda utilizar un análisis regional entre los parámetros geomorfológicos de las cuencas o subcuencas con información y los valores de escurrimientos en estudios de la cuenca sin información”. **Villon (1995)**

#### Definiciones

##### Riesgo de falla (j).

“Representa el peligro o la probabilidad de que el gasto considerado para el diseño sea superado por otro evento de magnitudes mayores”. **Villon (1995)**

Si llamamos P a la probabilidad acumulada de que no ocurra tal evento, es decir, que la descarga considerada no sea igualada o superada por otra; entonces la probabilidad de que, si ocurra dicho evento en N años consecutivos de vida, representa el riesgo de falla J y está dado por:

$$J = 1 - P^n \dots\dots\dots(14)$$

##### Frecuencia de las precipitaciones (f).

“Nos dice que la (f), es el número de veces que se presenta una tormenta de determinada magnitud y duración, en un período largo de tiempo, expresado comúnmente en años”.

**Villon (1995)**

La frecuencia se puede calcular por la fórmula empírica, propuesta por Weibull, para el caso de series parciales que según expertos se emplea como mínimo  $n = 30$  años.

$$f = \frac{m}{n+1} \dots \dots \dots (15)$$

**Dónde:**

$f$  : Frecuencia de las precipitaciones

$m$  : Número de orden del evento ordenado en forma decreciente

$n$  : Número total de eventos (años de observación)

### **Tiempo o periodo de retomo (Tr)**

Es el tiempo transcurrido para que un evento de magnitud dada se repita, en promedio. Se calcula por la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{1}{f} \dots \dots \dots (16)$$

También se expresa en función de la probabilidad  $P$  de no-ocurrencia.

La probabilidad de ocurrencia está dada por  $1-P$  y el tiempo de retorno se expresa mediante:

$$Tr = \frac{1}{1-P} \dots \dots \dots (17)$$

Eliminando el parámetro  $P$  dentro de las ecuaciones anteriores se tiene:

$$Tr = \frac{1}{1-(1-J)} \dots \dots \dots (18)$$

Ecuación que se utiliza para estimar el tiempo de retorno  $Tr$  para diversos riesgos de falla y vida útil  $N$  de la estructura.

Para el diseño de las diferentes obras de arte, es preciso conocer las magnitudes de los eventos que se presentan para diferentes períodos de retorno, según la importancia del proyecto y los años de vida útil de cada estructura.

### **Vida útil (N)**

Se define como el tiempo ideal durante el cual las estructuras e instalaciones funcionan al 100% de eficiencia ya sea por su capacidad o por su resistencia; pasado dicho tiempo o período se debe realizar una ampliación o un nuevo diseño.

**Depende de varios factores:**

Durabilidad de las instalaciones.

Facilidad de construcción y posibilidades de ampliación o sustitución.

Posibilidades de financiamiento.

Tendencia del crecimiento poblacional.

Rentabilidad

**Tiempo de concentración (Tc)**

“Define como el tiempo necesario para que una gota de lluvia llegue a una alcantarilla o desagüe pluvial (punto emisor) desde el punto más remoto de la cuenca”. **Villon (1995)**

Se calcula por la fórmula empírica siguiente:

$$T_c = \left[ \frac{(0.871L^3)}{H} \right]^{0.378} \dots\dots\dots(19)$$

**Dónde:**

Tc : Tiempo de concentración (minutos).

L : Longitud del curso mayor (Km).

H : Diferencia entre altitud máxima y mínima (m).

**Descarga de diseño (Q).**

Es el valor máximo del caudal instantáneo que se espera pueda ocurrir con determinado período de recurrencia, durante los años de vida útil de un proyecto. Para determinar la esorrentía máxima en estructuras hidráulicas menores: alcantarillas, canales de desviación, acequias de infiltración, etc.; el método más usado es el método racional.

**Fórmula del Método Racional:**

$$Q = \frac{CIA}{360} \dots\dots\dots(20)$$

**Dónde:**

Q : Descarga de diseño (m)

C : Coeficiente de esorrentía superficial.

I: Máxima intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración (mm/h).

A: Area a drenar (Has).

### Coefficiente de escorrentía (c)

Es la relación entre el agua que corre por la superficie del terreno y la total precipitada. Es difícil determinar con exactitud su valor, ya que varía según la topografía, la vegetación, la permeabilidad y la proporción de agua que el suelo contenga, también depende de la extensión de áreas pavimentadas y construidas.

**Tabla 20**

*Coefficientes de escorrentía en función de pendiente, drenaje y tipo de cultivo*

Estado actual	Drenaje	Pendiente del terreno (%)					
		0-5	5-12	13-25	26-50	50-70	
Sin Vegetación	Impermeables	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	
	Semipermeable	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	
	Permeable	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	
Cultivos	Impermeables	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	
	Semipermeable	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	
	Permeable	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	
Pastos Vegetación	Impermeables	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	
	Semipermeable	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	
	Ligera	Permeable	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
Bosques	Impermeables	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	
	Densa	Semipermeable	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
	Vegetación	Permeable	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
Hierba Gramínea	Impermeable	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	
	Semipermeable	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	
	Permeable	0.10	0.15	0.20	0.25	0.10	

**Fuente:** Normas peruanas de diseño de carreteras.

#### 2.5.2.3.3. Estudio y Diseño del drenaje superficial y subterráneo

##### Introducción

“El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de obras de Ingeniería, carreteras, canales, puentes, y otras” **MTC (2008)**. Deben estudiarse problemas de:

La eliminación del agua superficial del camino.

El cruce de los arroyos o de los canales de drenaje artificiales.

Alejamiento y regulación del agua subterránea.

El agua superficial causa la erosión y grandes gastos de conservación, erosionando los suelos y las estructuras, infiltrándose en el suelo dejando a la estructura sin sostén.

### **Objetivo del drenaje.**

“El objetivo fundamental del drenaje es la eliminación del agua que en cualquier forma pueda perjudicar a la estructura. Esto se logra evitando que el agua llegue hacia él, o de lo contrario dar una salida a las aguas que inevitablemente lleguen”. **MTC (2008)**

### **Condiciones de un buen drenaje**

“Nos dice para lograr que una carretera cuente con un buen drenaje, en lo posible debe evitarse:

Que el agua de las cunetas humedezca la subrasante, originando cambios volumétricos perjudiciales.

La circulación de agua en cantidades excesivas sobre el pavimento.

Que los taludes de corte se saturen de agua, debilitando su estabilidad.

Que el agua subterránea debilite la subrasante, disminuyendo la capacidad del suelo para soportar las cargas de servicio”. **MTC (2008)**

### **Clases del drenaje.**

Se clasifican en drenaje superficial y subterráneo.

**Drenaje superficial.** - Aquello que evita que el agua proveniente de las precipitaciones pluviales ingrese a la estructura o se quede en esta.

**Drenaje longitudinal.** - Tiene por finalidad captar los escurrimientos para evitar que alcancen la sub - rasante y consiguientemente el deterioro de la carretera o permanezcan en ella sin causar desperfectos; con este tipo de drenaje se considera a cunetas, contracunetas y canales de encauzamiento. La denominación de longitudinal se debe a que éstas se ubican aproximadamente en forma paralela al eje del camino.

## Cunetas.

“Las cunetas son zanjas longitudinales revestidas o sin revestir abiertas en el terreno, ubicadas a ambos lados o a un solo lado de la carretera, con el objeto de captar, conducir y evacuar adecuadamente los flujos del agua superficial”. **MTC (2008)**

Según las normas peruanas las cunetas serán del tipo triangular, trapezoidal o rectangular, siendo preferentemente de sección triangular, donde el ancho es medido desde el borde de la rasante hasta la vertical que pasa por el vértice inferior. La profundidad es medida verticalmente desde el nivel del borde de la rasante al fondo o vértice de la cuneta.

**Tabla 21**

*Dimensiones mínimas de cunetas*

REGIÓN	PROFUNDIDAD (m)	ANCHO (m)
Seca	0.20	0.50
Lluviosa	0.30	0.50
Muy lluviosa	0.50	1.00

**Fuente:** Normas peruanas de diseño de carreteras.

## Cunetas o Zanjas de coronación.

“Son canales que se construyen en la parte superior de los taludes de corte, para recoger las aguas que bajan por las pendientes naturales y conducir las hacia la quebrada o descarga más próxima del sistema general de drenaje, evitando de este modo la erosión del terreno, especialmente en zonas de pendiente pronunciada”. **MTC (2013)**

Normalmente son de forma rectangular, pero también pueden ser trapezoidales, si se requiere un mayor tamaño.

## Zanjas de drenaje

Las zanjas de drenaje son canales que se construyen en la parte inferior de los taludes de relleno en forma longitudinal lateral o transversal al alineamiento de la carretera, para recoger las aguas que bajan por el talud y terrenos adyacentes para conducir las hacia la quebrada o descarga más próxima del sistema general de drenaje, evitando de este modo la erosión del terreno.

Normalmente son de forma rectangular, pero también pueden ser trapezoidales, si se requiere una mayor dimensión.

### **Cunetas de banqueta**

Son aquellas que se ubican al pie del talud inclinado de cada banqueta, las cuales consisten en la construcción de una o más terrazas sucesivas con el objetivo de estabilizar un talud.

Pueden tener sección triangular, rectangular o trapezoidal, de acuerdo al caudal de escorrentía superficial que transportará y su descarga se efectuará hacia un curso natural o mediante caídas escalonadas hacia las cunetas.

### **Bordillos**

Los bordillos son elementos que interceptan y conducen el agua que por efecto del bombeo discurren sobre la plataforma de la carretera, descargándola mediante aliviaderos en sitios adecuados con el objetivo de evitar la erosión de los taludes de terraplenes que estén conformados por material erosionable.

Se construirán en los terraplenes mayores de 1.5m de altura, ubicándolas longitudinalmente en ambos lados en los terraplenes que se encuentren en tangente, o en la parte interna de los terraplenes en curva horizontal. Asimismo, se ubicarán sobre la corona del talud inferior cuando la carretera se desarrolla en corte a media ladera.

**Drenaje transversal:** “El drenaje transversal de la carretera tiene como objetivo evacuar adecuadamente el agua superficial que intercepta su infraestructura, la cual discurre por cauces naturales o artificiales, en forma permanente o transitoria, a fin de garantizar su estabilidad y permanencia”. **MTC (2013)**

El elemento básico del drenaje transversal se denomina alcantarilla, considerada como una estructura menor, las otras estructuras que forman parte del drenaje transversal es el badén y el puente, siendo este último de gran importancia.

### **Alcantarillas**

“Se define como alcantarilla a la estructura cuya luz sea menor a 6.0 m y su función es evacuar el flujo superficial proveniente de cursos naturales o artificiales que interceptan la carretera”. **MTC (2013)**

## **Badenes**

“Las estructuras tipo badén son soluciones efectivas cuando el nivel de la rasante de la carretera coincide con el nivel de fondo del cauce del curso natural que intercepta su alineamiento, porque permite dejar pasar flujo de sólidos esporádicamente que se presentan con mayor intensidad durante períodos lluviosos y donde no ha sido posible la proyección de una alcantarilla o puente”. **MTC (2013)**

Los materiales comúnmente usados en la construcción de badenes son la piedra y el concreto, pueden construirse badenes de piedra acomodada y concreto que forman parte de la superficie de rodadura de la carretera y también con paños de losas de concreto armado.

## **Puentes**

“Los puentes son las estructuras mayores que forman parte del drenaje transversal de la carretera y permiten salvar o cruzar un obstáculo natural, el cual puede ser el curso de una quebrada o un río”. **MTC (2013)**

## **Drenaje de Agua Subterráneo**

El drenaje subterráneo o sub superficial tiene por objeto proteger al camino del daño que le puede causar el agua que se encuentra en el terreno por debajo de él, por lo general el agua se presenta en corrientes que fluyen por efecto de la gravedad.

El efecto de las aguas del subsuelo deberá ser estudiado por el proyectista teniendo en cuenta todos los elementos que influyen en la estabilidad misma: naturaleza y pendiente transversal del terreno, su estratificación, ubicación de la napa freática, cantidad de agua, etc.

La eliminación de las aguas subterráneas se efectúa por medio de drenes que consiste en la colocación de tuberías o material pétreo grueso, los que van colocados longitudinalmente o transversalmente.

Para el buen funcionamiento del sistema de subdrenaje se requiere una pendiente adecuada y una buena red de evacuación del agua.

Por último, de ser compatible y funcional con el tipo de suelo a drenar (tipo de suelo, permeabilidad, gradación, etc.), se contempla el uso de materiales geotextiles debido a su durabilidad, evitando que las capas drenantes se colmaten y pierdan su funcionalidad. Sin

embargo, se debe tener en cuenta que la experiencia ha mostrado que para las condiciones siguientes es riesgoso el uso de geotextiles:

Suelos finos pobremente graduados (es decir, todos los de tamaño uniforme).

Agua subterránea de alta alcalinidad donde la lentitud del líquido pasando a través del geotextil causa deposiciones de calcio, sodio o precipitaciones de magnesio.

Alta concentración de sólidos en suspensión en el líquido como en el caso de aguas turbias de ríos que pueden desarrollarse sobre o dentro del geotextil.

### **Subdrenaje Convencional**

**Drenes:** Son obras de arte empleadas para bajar el nivel de los mantos y eliminar las aguas subterráneas.

#### **Dren ciego.**

Consiste en una zanja llena de material pétreo y grueso, la zanja deberá tener en el fondo el ancho necesario para poder excavar y colocar después el material de relleno, es decir, el ancho no será menor de 0.40 m. Se emplean de preferencia cuando no se requiere de mucha profundidad y el agua que se pretende recoger sea en pequeña cantidad.

#### **Dren con tubo.**

Es un tubo colocado en el fondo de una zanja y que a la vez capta el agua y la conduce hacia afuera. En este caso el relleno de la zanja tiene por objeto facilitar el escurrimiento hacia el tubo y por lo tanto lo indicado es que el material de relleno sea de tamaño uniforme.

El tubo más comúnmente usado es el de concreto de 6" (15cm.) de diámetro, colocado en el fondo de la zanja, convenientemente asentado sobre el material fino. Para que el agua penetre al tubo y poder ser desalojada, éste deberá tener agujeros de 1cm. de diámetro espaciados 10cm. centro a centro.

### **Subdrenaje Sintético**

Debido a la dificultad que existe en algunos casos de obtener materiales naturales para los subdrenes y con el desarrollo de nuevas tecnologías como las mallas sintéticas, se viene usando los subdrenes sintéticos. Estos subdrenes consisten de tres elementos básicos:

### **Red de Malla Sintética (similar Geodren)**

La Red de malla sintética está construida de tal manera que se forman unos canales que facilitan el flujo de agua.

### **Geotextil**

El geotextil (no tejido) actúa como filtro impidiendo el paso de partículas de suelo hacia la red de malla sintética y permitiendo a su vez el flujo de agua.

### **Tubo colector perforado**

En el extremo inferior de la red de malla sintética y envuelto por el geotextil se coloca una manguera perforada PVC especial para este tipo de subdrenes, la cual recoge y conduce el agua colectada por la red de malla sintética.

## **2.5.2.3.4. Diseño de Obras de Arte**

### **Diseño de Cunetas**

**Pendiente.** Generalmente se considera la misma pendiente del camino en el tramo correspondiente, ésta no debe ser menor del 0.50% para evitar problemas e sedimentación.

**Velocidades admisibles.** La velocidad ideal es la que lleva el agua sin causar obstrucción ni erosión.

Velocidad máxima:  $V_{\text{máx}} = 4\text{m/seg}$

Velocidad mínima:  $V_{\text{mín.}} = 0.60\text{m/seg}$

**Revestimiento de las cunetas.** Cuando el suelo es deleznable y la rasante de la cuneta es igual o mayor de 4%, ésta deberá revestirse con piedra y lechada de cemento.

**Fórmula de cálculo.** La fórmula más usada para el cálculo de canales es la FORMULA DE MANNING, que consiguientemente es aplicable al diseño de cunetas.

**Dónde:** 
$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \dots\dots\dots(21)$$

Q: descarga en metros cúbicos por segundo

S: pendiente de la cuneta en metros por metro

R: radio hidráulico en metros

- n : coeficiente de rugosidad
- V: velocidad del agua en metros por segundo
- A: área de la sección de la cuneta en metros cuadrados

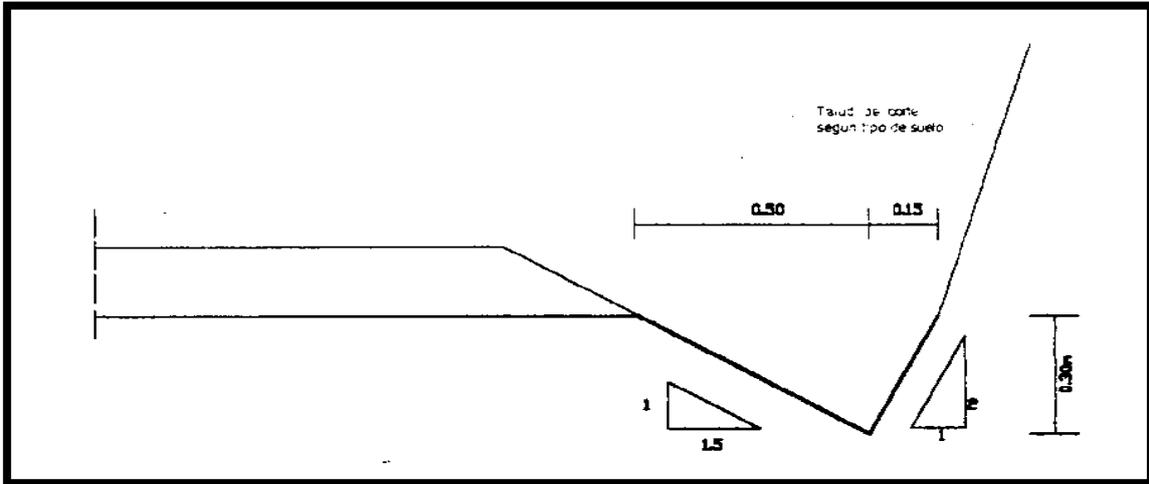


Figura 6: Dimensiones de Cunetas (Mecánica de Suelos)

**Elementos de la sección asumidas**

Cálculo del área hidráulica de la sección de la cuneta:

$$A = (b * h) / 2 \dots\dots\dots(22)$$

Perímetro mojado: Pm

$$Pm = (y^2 + x_1^2)^{1/2} + (y^2 + x_2^2)^{1/2} \dots\dots\dots(23)$$

Radio hidráulica: R

$$R = A / Pm \dots\dots\dots(24)$$

**Descarga de la cuneta.**

$$Qc = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n} \dots\dots\dots(25)$$

**Calculo de número de Aliviaderos de Cuneta**

Para calcular el número de aliviaderos se tendrá en cuenta los siguientes factores.

### **Capacidad de cuneta**

Sí la capacidad de cuneta  $> Q$ . evacuar = no-aliviadero

Sí la capacidad de cuneta  $< Q$ . evacuar = Sí aliviadero

### **Diseño de Alcantarillas y Aliviaderos.**

Debido a las ventajas de diseño e instalación se ha optado por alcantarillas circulares tipo ARMCO; aunque el precio de compra del producto sea aparentemente alto, el costo de la instalación puede resultar menor que el de las estructuras totalmente construidas en obra.

En los tramos en los que el caudal a evacuar sea mayor que el caudal de la cuneta, existe la posibilidad de evacuar el exceso por medio de alcantarillas o aliviaderos de cunetas; pero también puede hacerse a través de zanjas de coronación, las que a su vez controlan el efecto erosivo del agua de escorrentía sobre los taludes de corte.

### **Consideraciones de diseño.**

El diseño de este tipo de alcantarillas se basa en la Teoría del Esguerrimiento crítico expuesta en el Manual de Drenaje y Productos ARMCO, cuyo objetivo es determinar la profundidad crítica en el conducto circular considerando la ley de velocidad crítica.

La velocidad crítica para la descarga máxima de cualquier sección transversal de un canal, es la debida a una carga igual a la mitad del promedio de la profundidad del agua en dicha sección transversal.

Aplicando esta ley a un tubo circular, la carga que produce la velocidad crítica es igual a  $0.3113D$ , en la que  $D$  es el diámetro del tubo en metros. La ecuación sólo es válida cuando la superficie del agua coincide con la parte superior del tubo, y cuando éste se halla en una pendiente tal que no haya efecto de remanso debido a la fricción.



**Figura 7:** Elemento de la altura crítica en tubos circulares (Mecánica de Suelos)

Conocida la ecuación de la carga hidráulica y la relación que existe entre la carga y la velocidad, se determina la velocidad crítica.

$$V = \sqrt{2gH} \dots\dots\dots(26)$$

$$H = \frac{1}{3}E = 0.313D \dots\dots\dots(27)$$

**De donde:**

$$V = \sqrt{2 * 9.8 * 0.313D} = 2.471D^{1/2}$$

Esta ecuación da la velocidad crítica en la sección crítica, en donde la profundidad es:

$$(1 - 0.31313D) = 0.6887D$$

Con el área y la velocidad en la sección crítica conocidas, puede determinarse la descarga.

$$Q = V * A \dots\dots\dots(28)$$

$$A = \text{área a la profundidad de } (0.6887)D = 0.5768D^2$$

Por tanto:

$$Q = 0.5768 D^2 \times 2.471 D^{1/2} = 1.425 D^{5/2}$$

Conocida la descarga o caudal a evacuar por la alcantarilla, se tiene:

$$D = 0.868Q^{2/5} \dots\dots\dots(29)$$

Ecuación que proporciona el diámetro del tubo en la sección crítica, cuando la pendiente es suficiente para no causar el efecto del remanso.

### Efecto de la pendiente

Determinado el diámetro del tubo, el paso siguiente consiste en determinar la pendiente necesaria para permitir que el agua pase por la sección crítica sin que se produzca el efecto de remanso. Aplicando la ecuación de Manning:

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \dots\dots\dots(30)$$

$$n = 0.021 \text{ (Metal corrugado)}$$

**Despejando:**

$$S = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}} = \frac{V^2 (0.021)^2}{R^{4/3}}$$

**Además.**

$$R = \frac{\text{Area}}{\text{Perimetro Mojado}} = \frac{0.5768D^2}{1.9578D} = 0.2946D$$

$$V = 2.471D^{1/2}$$

$$V = 6.1077D$$

**Tenemos:**

$$S = \frac{6.1077D(0.021)^2}{(0.2946)^{4/3}} = \frac{0.01374}{D^{1/3}}$$

Expresada en tanto por ciento:

$$S = \frac{1.374}{D^{1/3}} \dots\dots\dots(31)$$

Esta ecuación da el tanto por ciento de la pendiente en la que debe ser colocado el tubo para que el agua que pasa por la sección crítica fluya sin formar remanso.

### **Colocación y longitud de las alcantarillas**

#### **Principios que gobiernan la colocación de las alcantarillas.**

Por colocación de una alcantarilla se entiende la alineación y pendiente del conducto con respecto al camino y a la corriente de agua; la ubicación apropiada para una alcantarilla es importante porque afecta la eficiencia del conducto, su conservación y la posible erosión o deslave del camino; constituyendo cada instalación un problema distinto.

#### **Alineamiento:**

La corriente debe entrar y salir en la misma línea recta. Cualquier cambio brusco de dirección en uno u otro extremo retarda la corriente y obliga a emplear un conducto de mayor sección.

Evitar que la corriente altere su curso cerca de los extremos del conducto, de lo contrario volverá inadecuado causando deslaves o formando remansos. Los revestimientos de piedra, césped, hormigón o la colocación de secciones terminales, ayudarán a proteger las orillas del cauce contra la erosión y evitarán los cambios de dirección.

#### **Pendiente:**

La pendiente ideal de una alcantarilla es la que no ocasiona sedimento ni velocidad excesiva, y evita la erosión. Velocidades mayores de 3m/seg. Causan erosión destructora aguas abajo, y al tubo mismo si no se la protege.

Se recomienda un declive de 1 a 2% para que resulte una pendiente igual o mayor que la crítica, con tal que no sea perjudicial. En general, para evitar la sedimentación, se aconseja una pendiente mínima de 0.5%.

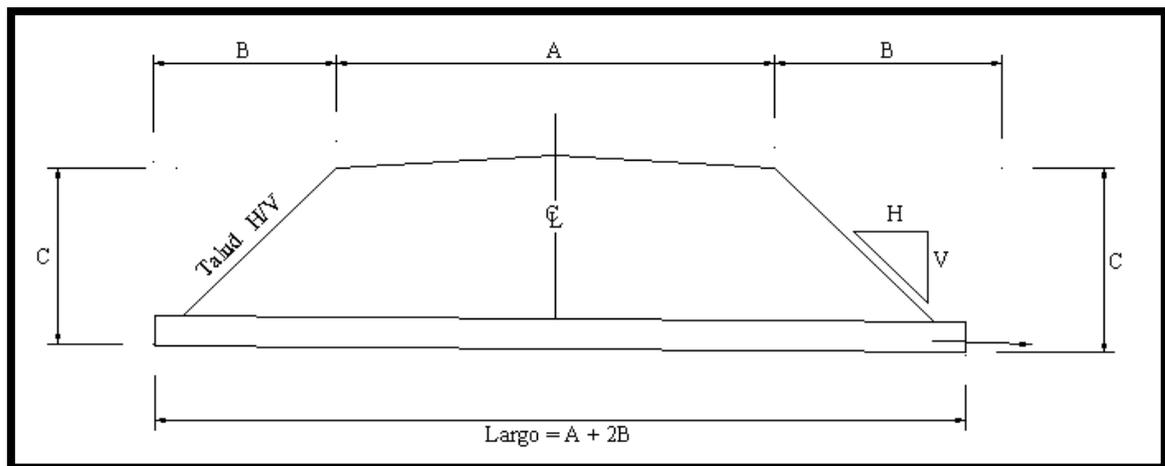
#### **Longitud de las alcantarillas**

La longitud de una alcantarilla depende de la anchura del camino, altura del terraplén y los taludes, pendiente y oblicuidad; del tipo de sus extremos, según sean secciones terminales, muros de cabecera, extremos biselados, desagüe en pozo colector o vertedero.

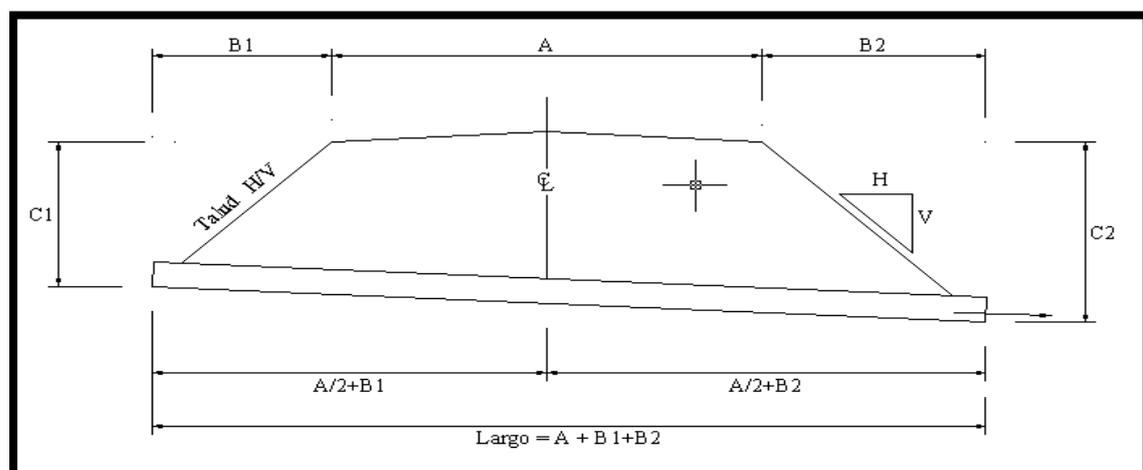
Una alcantarilla debe ser lo suficientemente larga para que sus extremos no queden obstruidos por sedimento o por expansión del terraplén. De ser así, se disminuirá la eficiencia, y se aumentará los gastos de conservación; por otra parte, la alcantarilla no debe tener sus extremos innecesariamente expuestos.

El mejor método para obtener la longitud requerida consiste en hacer un gráfico de la sección transversal del terraplén y el perfil del lecho de la corriente. A falta de dicho croquis, la longitud debe obtenerse agregando a la anchura del camino, incluidas las bermas y sobreancho de ser el caso, dos veces la relación del talud multiplicada por la altura del terraplén en el centro de la vía.

La altura del centro se toma hasta el fondo del conducto cuando no se requieren muros de cabecera; y hasta la parte superior, si se construyen dichos muros (ver figuras N°08 y N°09)



**Figura 8:** Cálculo de longitud de una alcantarilla con pendiente suave (Mecánica de Suelos)



**Figura 9:** Cálculo de longitud de una alcantarilla con pendiente fuerte (Mecánica de Suelos)

### Protección de las alcantarillas con empedrado (RIP RAP).

Tanto en el ingreso como en la salida, las alcantarillas requieren ser protegidas a fin de evitar la erosión con profundidad aguas arriba y aguas abajo de las mismas. La forma más usual y económica lo constituye el empedrado o rip-rap, el cual según el tamaño del material se clasifica en:

Tipo 1: grava gruesa de 6 puIg. (15cm)

Tipo 2: grava gruesa de 12 puIg. (30cm)

Tipo 3: piedra de 12 puIg. Sobre capa de 6 puIg. de arena grava.

Tipo 4: piedra de 18 puIg. Sobre capa de 6 puIg. de arena grava.

**Tabla 22**

*Caudal m<sup>3</sup>/seg*

CAUDAL m <sup>3</sup> /seg	INGRESO	SALIDA	LONGITUD DE LA PROTECCIÓN EN LA SALIDA (m)
0.00 a 0.85	No necesario	Tipo 1	2.50
0.86 a 2.55	No necesario	Tipo 2	3.60
2.56 a 6.80	Tipo 1	Tipo 3	5.00
6.81 a 17.00	Tipo 2	Tipo 4	6.70

**Fuente:** Normas peruanas de diseño de carreteras.

Capacidades por encima de 17 m<sup>3</sup>/sg requieren consideración especial.

Si el conducto de la alcantarilla es bastante inclinado como para producir una velocidad superior a 4.60m/seg. en la salida, usar el tipo de protección correspondiente al siguiente rango superior de descargas (tipo 3, mínimo).

Si se prevé un dissipador de energía a la salida, la protección con empedrado se puede reducir o eliminar.

## **Diseño de Puentes**

### **Aspectos generales**

“Los puentes son las estructuras mayores que forman parte del drenaje transversal de la carretera y permiten salvar o cruzar un obstáculo natural, el cual puede ser el curso de una quebrada o un río.

Es importante tener en cuenta que un puente no será estable si no lo es el tramo fluvial comprometido. El río es por naturaleza esencialmente móvil y cambiante. En consecuencia, el estudio de un puente que interactúa con un río no puede independizarse del correspondiente estudio de Hidráulica Fluvial”. **MTC (2013)**

### **Consideraciones para el diseño**

El buen funcionamiento hidráulico, no sólo depende de un análisis correcto y del uso adecuado de las fórmulas matemáticas correspondientes; si no también de un conocimiento cabal de las condiciones hidráulicas locales en la cual se fundamenta su diseño.

### **Información básica**

Para la ejecución de los estudios de hidráulica fluvial para puentes, se requiere aspectos topográficos, ejecución de muestreos para la determinación de diámetros representativos del lecho y criterios para la estimación de la rugosidad del lecho.

### **Topografía – Batimetría del cauce y zonas adyacentes**

El levantamiento topográfico que se requiere, debe abarcar el tramo involucrado donde se proyectará el puente; se recomienda que el levantamiento topográfico debe incluir la estructura existente, niveles de agua actuales, marcas de agua en la estructura existente, toma del perfil longitudinal del curso natural, secciones transversales del curso natural espaciados no mayor a 0.5 veces el ancho del cauce principal del curso natural y otros aspectos y/o singularidades de relevancia para el estudio hidráulico, teniendo en cuenta además la forma irregular que generalmente presentan las secciones transversales de los cauces naturales.

Para estudios en regiones de selva de nuestro país, el levantamiento topográfico - Batimétrico deberá abarcar las áreas de inundación asociadas a las crecidas de los cursos naturales muy comunes en esta zona, es decir el levantamiento topográfico deberá cubrir toda la zona afectada por este fenómeno relevante para el estudio.

### **Ubicación del puente**

La elección de la ubicación del puente debe ser la más óptima, desde el punto de vista hidráulico, geotécnico y de diseño Vial; es decir debe ser tal, que el curso natural no afecte su estabilidad y a su vez el puente no produzca cambios morfológicos en el curso natural.

No se recomienda la ubicación de un puente sobre el desarrollo de curvas exteriores, debido a que las velocidades en las curvas exteriores son significativamente mayores produciendo procesos de erosión que pueden afectar su estabilidad.

No se recomienda la ubicación del puente en un tributario cerca de la confluencia con un río principal, pues los súbitos cambios de elevaciones crean efectos de remanso que pueden conducir a la agradación del lecho en esta zona.

### **Muestreo y caracterización del material del lecho**

El objetivo del muestreo y caracterización del material del lecho es la determinación del tamaño representativo que englobe todo el espectro de tamaños presentes en él. El muestreo del material de cauce deberá ser representativo, para determinar su gravedad específica y análisis granulométrico. Las muestras del material del cauce deben ser tomadas al menos en cuatro puntos.

### **Avenida de Diseño o Caudal Máximo y Períodos de Retorno**

Para realizar el estudio hidráulico de puentes, en primer lugar, se debe realizar el estudio hidrológico con el objetivo de obtener la Avenida de Diseño o el caudal máximo en condiciones de crecida.

La Avenida de Diseño o caudal máximo está asociado a un período de retorno específico y este a su vez depende del riesgo de falla y vida útil de la obra.

En base a ello, se recomienda lo siguiente:

Para obtener la avenida de diseño en el tramo fluvial de emplazamiento del puente, se deberá compatibilizar el período de retorno del evento hidrológico, con el riesgo admisible y la vida útil de la obra, este último obviamente, dependerá del tipo de material constitutivo del puente.

### **Gálibo o Altura libre**

El gálibo se define como el espacio libre entre el nivel máximo del flujo de crecida y el nivel inferior del tablero del puente proyectado. El objetivo del gálibo es dejar pasar las

fluctuaciones de flujo cuando la corriente interactúa con la estructura proyectada producto de la sobrelevación del flujo, por efectos de remanso, transporte de materiales flotantes como ramas, palizadas, troncos e incluso árboles y otros materiales flotantes que transporta la corriente.

En nuestro país, la variación de las condiciones geográficas y la actividad humana sobre las cuencas hacen que los cursos naturales además de descargas líquidas también se produzcan transporte de sólidos de fondo (material de acarreo), transportes en suspensión y en flotación como ramas, palizadas y hasta árboles.

Por tanto, el diseño de los puentes exige la consideración de un gálibo conveniente para dar paso no sólo al flujo (líquido y sólido) sino también a los materiales flotantes. En la etapa de diseño de puentes, se recomienda lo siguiente:

Cuando existe evidencia que la corriente transporta material sólido, troncos, palizada u otros objetos voluminosos, el gálibo mínimo asociado al nivel de aguas máximas deberá ser, 2.5 m.

#### **Coefficiente de rugosidad de cauces naturales (n de Manning)**

Los valores del coeficiente de rugosidad de Manning dependen de varios factores asociados a la vegetación, geomorfología y características geométricas propias de los cauces naturales.

Cowan propone un método, según el cual el cálculo del coeficiente de rugosidad, puede estimarse mediante la siguiente relación:

$$n = m5 (n0 + n1 + n2 + n3 + n4) \dots\dots\dots(32)$$

Donde:

**n0:** Rugosidad base para un canal recto, uniforme, prismático y con rugosidad homogénea.

**n1:** Rugosidad adicional debida a irregularidades superficiales del perímetro mojado a lo largo del tramo en estudio.

**n2:** Rugosidad adicional equivalente debida a variación de forma y de dimensiones de las secciones a lo largo del tramo en estudio.

**n3:** Rugosidad equivalente debida a obstrucciones existentes en el cauce.

**n4:** Rugosidad adicional equivalente debida a la presencia de **vegetación**.

**m5:** Factor de corrección para incorporar efecto de sinuosidad del cauce o presencia de meandros.

**Tabla 23**

*Tabla de Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente “n”*

CONDICIONES DEL CANAL		VALORES
Material Involucrado	Tierra	0.020
	Corte en Roca	n <sub>0</sub> 0.025
	Grava Fina	0.024
	Grava Gruesa	0.028
Grado de Irregularidad	Suave	0.000
	Menor	n <sub>1</sub> 0.005
	Moderado	0.010
	Severo	0.020
Variaciones de la Sección Transversal	Gradual	0.000
	Ocasionalmente Alternante	n <sub>2</sub> 0.050
Efecto Relativo de las Obstrucciones	Frecuentemente Alternante	0.010-0.015
	Insignificante	0.000
	Menor	n <sub>3</sub> 0.010-0.015
	Apreciable	0.020-0.030
Vegetación	Severo	0.040-0.060
	Baja	0.005-0.010
	Media	n <sub>4</sub> 0.010-0.025
	Alta	0.025-0.050
Grado de los Efectos por Meandro	Muy Alta	0.050-0.100
	Menor	1.000
	Apreciable	m <sub>5</sub> 1.150
	Severo	1.300

**Fuente:** Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 del MTC

Sin embargo, en la naturaleza, los cauces naturales presentan secciones transversales que no tienen una rugosidad uniforme u homogénea, ofreciendo una rugosidad compuesta. Este es el caso de los cursos naturales donde el lecho está constituido de un cierto tipo de material y las márgenes por otro tipo, usualmente con presencia de vegetación en las zonas de inundación.

Para evaluar la rugosidad compuesta, se propone el método de Einstein y Banks, quienes dicen que el coeficiente de rugosidad global generado por m subsistemas está dado por:

$$n_c = \left[ \frac{\sum_{i=1}^m n_i^{3/2} x_i}{x} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (33)$$

**Donde:**

$n_c$  : Coeficiente de rugosidad global o compuesta de la sección total.

$n_i$  : Coeficiente de rugosidad asociado a la subsección  $i$ .

$x_i$  : Perímetro mojado de la subsección  $i$ .

$x$  : Perímetro mojado de la sección total.

$I$  : 1,2,... $m$  subsecciones.

**Fajas Marginales**

Las fajas marginales son bienes de dominio público hidráulico. Están conformadas por las áreas inmediatas superiores a las riberas de las fuentes de agua, naturales o artificiales. Las dimensiones en una o ambas márgenes son fijadas por la Autoridad Administrativa del Agua.

**Evaluación de obras existentes e información adicional**

La evaluación de obras existentes en el curso natural es muy importante para el diseño definitivo de una nueva estructura, porque permite verificar que la obra proyectada no provoque alteraciones desde el punto de vista de la hidráulica fluvial sobre obras existentes o viceversa, como cambios bruscos de pendiente que produzcan erosión, sedimentación, efectos de remanso, formación de nuevos cauces, etc. Dicha evaluación comprenderá también el comportamiento hidráulico estructural de las obras existentes, información relevante a ser tomada en cuenta para el diseño de la estructura proyectada.

**Parámetros hidráulicos para el Diseño de Puente****Perfil de flujo**

El perfil de flujo permitirá obtener el nivel alcanzado por el agua para el caudal de diseño. El cálculo del perfil de flujo deberá incluir la presencia del puente proyectado, debido a que cuando el flujo interactúa con la estructura, se produce una sobreelevación del nivel de agua a la entrada del puente y una depresión del nivel de agua en la salida, este comportamiento es normal ya que el agua debe ganar energía potencial a fin de que pueda atravesar por la sección contraída. Una vez conocido los niveles de agua, el especialista puede establecer la altura mínima que ofrecerá el puente.

## Socavación

La socavación es un fenómeno hidrodinámico que es la causa más frecuente de falla que afecta las cimentaciones de los puentes. Dicho fenómeno es una combinación de distintos procesos, unos que se producen a largo plazo y otros transitorios por el paso de avenidas. El proceso de socavación en un puente se analiza como erosión potencial total y es de carácter estimativo, la cual combina la socavación producida en la sección del puente y sus inmediaciones, causada por el estrechamiento del cauce debido a su construcción y la socavación local que se produce en las inmediaciones de los pilares y estribos rodeados por la corriente del río.

## Calculo hidráulico

El cálculo hidráulico de un puente significa en primer lugar determinar la capacidad hidráulica de la sección de escurrimiento, es decir si el caudal de diseño pasa adecuadamente a través de él, luego determinar la sobreelevación del nivel de agua provocada por la presencia del puente y estimar el nivel de socavación potencial total en la zona de los apoyos.

## Cálculo de niveles de agua

Para el estudio de la capacidad hidráulica y el cálculo de la sobreelevación del nivel de agua, se realiza un cálculo en régimen permanente gradualmente variado, la cual permite calcular niveles de agua cuando la geometría fluvial es irregular. El modelo matemático utilizado corresponde a un flujo unidimensional, no uniforme, permanente y de lecho fijo. El modelo se basa en la aplicación de la Ecuación de la Energía:

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + E \dots\dots\dots (34)$$

Donde:

**Z<sub>n</sub> + P<sub>n</sub>** : Nivel del pelo de agua en los extremos del tramo (m)

**V<sub>n</sub>** : Velocidad media en la sección mojada en los extremos del tramo (m) **α<sub>1</sub>, α<sub>2</sub>**  
: Coeficiente de la no-uniformidad de distribución de las velocidades en la sección mojada.

**G** : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup> )

**E** : Total de pérdidas de energía en el tramo del curso de agua considerado en el cálculo, de una longitud  $L$  (m)

### **Estimación de la socavación**

La estimación de la profundidad de socavación para el diseño de puentes debe tomar en cuenta los siguientes aspectos; la socavación que ocurre independientemente de la presencia del puente como socavación general, socavación en curvas, etc., la socavación que ocurre en la sección del puente debido al estrechamiento del cauce por la presencia del puente (socavación por contracción) y la socavación que ocurre en la zona de sus apoyos (socavación local de pilares y estribos rodeados por la corriente). La suma de las componentes de la socavación, permite obtener la socavación potencial total, mediante expresiones que consideran socavaciones máximas por el lado de la seguridad.

Se recomienda que el valor estimado para la profundidad de socavación potencial total, sea consecuente con lo observado en la etapa de campo, esto, debido a que la estimación de la profundidad de socavación, se realiza mediante métodos empíricos que conllevan en algunos casos a obtener resultados que no son reales.

### **Socavación General**

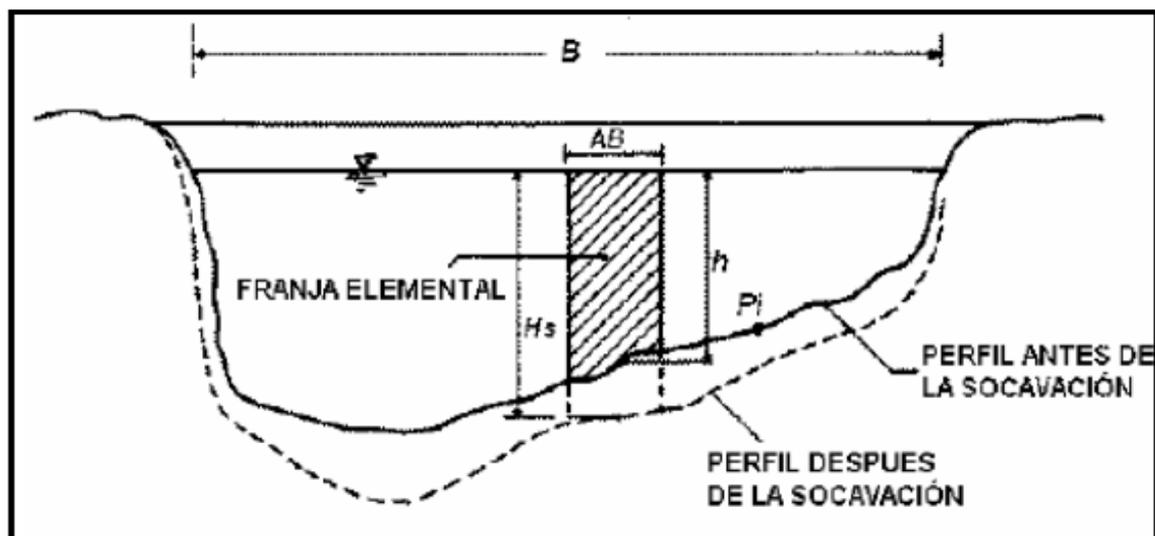
La máxima profundización del cauce ocurre cuando se alcanza la condición de transporte crítico, donde la velocidad de flujo se reduce a tal punto en que la corriente no puede movilizar y arrastrar más material del lecho y a su vez no existe transporte de material desde aguas arriba. Por lo tanto, cuando se produce la avenida, la sección geométrica del cauce se modifica dando lugar a una nueva sección, la cual obviamente está socavada, donde el lecho queda en condiciones de arrastre crítico o de transporte incipiente.

Existen varios métodos para la estimación de la profundidad de socavación general como el Método de Velocidad Crítica y Agua Clara, Método de Lischvan – Levediev, Método de Straub, Método de Laursen, etc. bajo la condición en que la velocidad de escurrimiento es igualada por la velocidad crítica de arrastre y estimación de socavación general por contracción del cauce.

**Método de Lischvan – Levediev:** Es el más usado en nuestro país para el cálculo de la socavación general incluyendo el efecto de la contracción de un puente. Se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente ( $V_r$ ) y la velocidad media erosiva ( $V_e$ ). La velocidad erosiva no es la que da inicio al movimiento de las

partículas en suelos sueltos, sino la velocidad mínima que mantiene un movimiento generalizado del material del fondo. Si el suelo es cohesivo, es la velocidad que es capaz de levantar y poner el sedimento en suspensión. La velocidad erosiva está en función de las características del sedimento de fondo y de la profundidad del agua. La velocidad real está dada principalmente en función de las características del río: pendiente, rugosidad y tirante o profundidad del agua.

El método se basa en suponer que el caudal unitario correspondiente a cada franja elemental en que se divide el cauce natural permanece constante durante el proceso erosivo y puede aplicarse, con los debidos ajustes, para casos de cauces definidos o no, materiales de fondo cohesivos o fricciantes y para condiciones de distribución de los materiales del fondo del cauce homogénea o heterogénea.



*Figura 10:* Socavación general (Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014)

### Socavación Local en Estribos

Existen algunos métodos para la determinación de la socavación local en estribos, entre ellos podemos mencionar: Liu, Chang y Skinner, Laursen, Artamonov, Froehlich, Hire y Melville. Sin embargo, la incertidumbre existente con relación a la aplicabilidad y a los resultados de las ecuaciones es mayor que para el caso de la socavación local en pilares.

Todas las ecuaciones existentes tienen limitaciones de tipo práctico. Por ejemplo, las ecuaciones han sido desarrolladas para cauces de lecho arenoso y no tienen en cuenta la posibilidad de acorazamiento. Las ecuaciones para el cálculo de la socavación local en estribos se basan en información de laboratorio y muy poca información de campo existe

para su verificación. Casi todas las ecuaciones dan como resultado valores muy conservadores de socavación debido a que consideran que el estribo está en el cauce principal formado por lechos aluviales y asumen que el caudal de agua obstruido es proporcional a la longitud del estribo, lo cual raramente ocurre en la realidad. El especialista debe determinar la ecuación que mejor se ajusta a las condiciones de un puente en particular. La socavación local en los estribos depende entre otros de la forma del estribo, las características del sedimento, la forma de la sección transversal, la profundidad del flujo en el cauce principal y en las márgenes, el caudal que es interceptado por el estribo y retorna al cauce principal, el alineamiento del cauce, el tiempo de duración de la creciente, etc., factores que no se reflejan debidamente en las ecuaciones existentes. La socavación local en estribos puede ser en agua clara o en lecho móvil (vivo), dependiendo en muchos casos si el estribo se ubica en las márgenes o si está dentro del cauce principal. La socavación local en estribos depende de la interacción del flujo obstruido por el estribo y el terraplén de la carretera y el flujo en el cauce principal.

## **Obras de Protección**

### **Gaviones**

Los gaviones son cajas de alambre galvanizado armadas insitu y se rellenan con piedras, usualmente obtenidas del lecho del río. Con la superposición de estos elementos se logra la conformación de muros tipo gravedad de características permeables y flexibles. Dentro de las ventajas de este tipo de elemento de protección, se menciona que resulta una buena solución en lugares donde no existe o resulta muy costoso la explotación, traslado y colocación de fragmentos de roca para los enrocados. Asimismo, se indica que requieren de filtros para evitar pérdida de sustrato y hundimiento.

El estudio hidráulico y características geomorfológicas del río en estudio, incidirá en la decisión para seleccionar este tipo de elemento de protección, teniendo presente que una de las principales desventajas que presentan los gaviones, es su vulnerabilidad a golpes, corrosión, oxidación, abrasión, etc, y a los ataques del factor humano que sustraen los alambres, lo cual se da en ocasiones en zonas cercanas a centros poblados.

Como recomendaciones generales para el dimensionamiento de gaviones, desde el punto de vista hidráulico, se tienen las siguientes consideraciones:

El tamaño de las piedras debe ser suficientemente grandes y homogéneas para que no produzcan pérdidas de material a través de las mallas de los gaviones, recomendándose en lo posible, piedras de tamaño nominal 1.5 veces el tamaño mínimo de la abertura de la malla.

Las piedras deben seleccionarse, tamizarse y limpiarse antes de rellenar las cajas de gaviones.

La altura del muro de gaviones debe ser mayor que el nivel de avenida esperado.

La sección transversal del muro de gaviones debe ser estable.

El muro de gaviones debe contar con un colchón antisocavante que se extienda horizontalmente sobre la orilla una distancia mínima de 1.5 veces la profundidad de socavación esperada.

#### **2.5.2.4. Estudio de Suelos y Canteras**

##### **2.5.2.4.1. Generalidades**

El presente capítulo corresponde al estudio del lugar donde se ejecutarán los trabajos, datos de importancia y trascendencia se obtendrán a partir de la aplicación de métodos y técnica de la especialidad.

“La mecánica de suelos es una ciencia que se ha desarrollado rápidamente durante las últimas dos décadas, donde el suelo es uno de los materiales más antiguos, entre los empleados en ingeniería, así mismo uno de los materiales difícil de manejar debido a la complejidad de sus propiedades físicas y debido también a la gran cantidad de propiedades que deben tomarse en consideración cuando se desea tener una información más o menos completa sobre su comportamiento futuro”. **Taylor (1961)**

##### **2.5.2.4.2. Estudio de Suelos**

###### **Muestreo**

El método empleado es el de pozos de exploración los que nos van a permitir establecer en forma clara los espesores de los estratos, así como una buena inspección y clasificación del material del subsuelo, la profundidad de la napa freática, etc.

###### **Ubicación de los pozos de muestreo**

Para la obtención del perfil longitudinal del subsuelo se han realizado pozos de exploración. Para la ubicación de los pozos de exploración se ha tenido en cuenta el terreno, la obra y el

acertado juicio del Ingeniero Asesor, debido a esto se ha alargado las distancias entre pozos de exploración, ya que lo importante es lograr una correcta investigación del suelo.

### **Ubicación y estudio de canteras**

Para la construcción de la carretera se tendrá que utilizar materiales para la sub base, las cuales tienen que soportar las principales tensiones que se producen en la vía, así como resistir al desgaste por rozamiento en su superficie. Por tanto, es de mucha importancia conocer las propiedades y características de los materiales de las canteras.

**Ubicación.** – “La ubicación de ésta juega un papel muy importante en el costo de la vía” **Villon (1955)**. Para su elección se deberá tener en cuenta lo siguiente:

Su ubicación será lo más próximo posible a la vía a mejorar, dado que así se logrará disminuir la distancia de acarreo.

La explotación de éstas será la más sencilla y económica posible, a fin de lograr el menor costo de las labores en esta etapa.

Su volumen será cuanto menos aquel que permita realizar el mejoramiento de la vía en su estado inicial, dado que en esta etapa se tendrá el mayor requerimiento de materiales.

Su ubicación será tal que no se tenga problemas legales al momento de la explotación; ya que de lo contrario se sufrirá un retraso de obra y consiguientemente un incremento de los gastos de gestión.

### **Ensayos de laboratorio para determinar las características de los suelos y materiales de cantera**

“Los ensayos a realizar con las muestras obtenidas pueden ser físicos – mecánicos o químicos. Los análisis físicos – mecánicos permiten conocer el comportamiento del suelo ante la acción de cargas externas, los análisis químicos nos permiten conocer la naturaleza y composición química del suelo”. **Juárez y Rodríguez (2005)**

#### **Entre los análisis físicos y físicos – mecánicos, tenemos:**

Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.

Límite Líquido ASTM D-4318, MTC E 110.

Límite Plástico ASTM D-4318, MTC E 111.

Contenido de humedad ASTM D-2216, MTC E 107.

Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.

California Bearing Ratio ASTM D- 1883, MTC E 132, o Módulo resiliente de sub rasante AASHTO T 274, MTC E 128.

**Contenido de Humedad** (para muestras de calicata y cantera)

“El contenido de humedad es la relación que existe entre el peso del agua contenida en la muestra y el peso de la muestra completamente seca, que generalmente se expresa en porcentaje”. **Juárez y Rodríguez (2005)**

$$W (\%) = \frac{P_w}{P_s} * 100 \dots \dots \dots (35)$$

**Dónde:**

W (%) : Contenido natural de humedad dado en porcentaje.

P<sub>w</sub> : Peso del agua.

P<sub>s</sub> : Peso de la muestra seca.

En el laboratorio:

$$W (\%) = \frac{P_{mh} - P_{ms}}{P_{ms}} * 100 \dots \dots \dots (36)$$

**Dónde:**

W (%) : Contenido de humedad en porcentaje.

P<sub>mh</sub> : Peso de muestra húmeda.

P<sub>ms</sub> : Peso de la muestra seca.

**Peso Específico** (para muestras de calicata y cantera)

“El peso específico es la relación que existe entre el peso y el volumen de la fase sólida de la muestra” **Alva (2008)**. Su fórmula es la siguiente:

Para partículas mayores a 4.75 mm. se usa el método estándar AASHTO T-85 (Grava y arena Gruesa).

$$\text{Para pa } Pe = \frac{\text{Peso piedra en el agua}}{\text{Peso piedra en el aire} - \text{Peso piedra en el agua}} \text{ gr/cm}^3 \dots\dots\dots (37)$$

100-70

**Dónde:**

$$Ps = \frac{W_s}{W_s + W_{f+w} + W_{f+w+s}} = \frac{a}{a + b + c} \dots\dots\dots (38)$$

a: Peso del suelo seco al horno (gr).

b: Peso del matraz con agua hasta la marca de 500 ml (gr).

c: Peso del matraz más muestra + agua hasta la marca de 500 ml(gr).

### **Límites de ATTERBERG**

“Los Límites de Atterberg establecen cuán sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad(agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTC E 110), el límite plástico (LP, según ensayo MTC E 111) y el límite de contracción (LC, según ensayo MTC E 112)”. **MTC (2014)**

#### **Límite Líquido (L.L)**

“Es el contenido de humedad, expresado en porcentajes, donde el suelo cambia de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse”. **MTC (2014)**

“El límite líquido nos da una idea de la resistencia al corte cuando tiene un determinado contenido de humedad. Cuando el suelo tiene un contenido de humedad igual o mayor al límite líquido, tendrá una resistencia al corte prácticamente nulo”. **Badillo y Rodríguez (2005)**

Los materiales granulares (arena, limo) tienen límites líquidos bajos (25% a 35%) y las arcillas límites líquidos altos (mayores al 40%).

Al graficar en escala logarítmica, el número de golpes en las abscisas y a escala natural los contenidos de humedad en el eje de ordenadas, sobre la base de tres puntos obtenidos de

cuatro ensayos sobre muestras de suelo a diferentes contenidos de humedad; el límite líquido se obtiene gráficamente, siendo el contenido de humedad correspondiente a 25 golpes.

Es posible también obtener el límite líquido haciendo uso de la ecuación propuesta por la BUREAU OF PUBLICS ROADS, de los Estados Unidos.

$$LL = \frac{W}{1.419 - 0.3 \text{ Log}(s)} \dots\dots\dots(39)$$

**Dónde:**

W: Contenido de H° de la muestra cuando se une a los “s” golpes.

S: Número de golpes al cabo de los cuales se unen las mitades del suelo en la Copa de Casagrande.

**Límite Plástico (L.P)**

“Es el contenido de humedad expresada en porcentajes, donde el suelo cambia de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Las arenas no tienen plasticidad, los limos la tienen, pero muy poca; en cambio las arcillas, y sobre todo aquellos ricos en materia coloidal, son muy plásticas. Cuando se esté construyendo la subbase, y si el contenido de humedad es igual o mayor al límite plástico, deberá evitarse de compactar”. **MTC (2014)**

**Límite de Contracción (retracción)**

“Es cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad”. **MTC (2014)**

Además del LL y del LP, una característica a obtener es el Índice de plasticidad IP (ensayo MTC E 111).

**Índice de Plasticidad (I.P)**

“La índice plasticidad se define como la diferencia entre el Límite líquido y el Límite plástico” **MTC (2014):**

$$IP = LL - LP \dots\dots\dots (40)$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande

corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente:

**Tabla 24**

*Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad*

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICA
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20	Media	Suelos arcillosos
IP > 7		
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

*Fuente:* “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

**Proctor Modificado** (para muestras de calicata y cantera)

### **Determinación de la máxima densidad y humedad óptima**

La humedad óptima es la humedad más adecuada para una buena compactación (cuya unidad de medida es la densidad seca), con esta humedad se obtiene una adecuada retracción y una disminución en la resistencia a la fricción entre partículas; a una humedad óptima le corresponde una densidad máxima. Los datos obtenidos a partir del ensayo, se grafica (Densidad Seca VS Humedad), del gráfico se obtiene la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

Para el estudio se ha utilizado el Método Dinámico denominado Standard Modificado o Proctor Modificado (Método AASHTO T-180).

Tenemos la expresión para cálculo de la densidad seca:

$$Densidad\ Seca = \frac{W_h}{V(100 - W)} = \frac{D_{húmeda}}{V(100 - W)} * 100 \dots \dots \dots (41)$$

**Donde:**

Wh : Peso de la muestra húmeda

V : Volumen de la muestra sin secar

W : Contenido de humedad

**Tabla 25***Contenidos Óptimos de H° y Densidades Secas*

TIPO DE SUELO	PROCTOR STANDARD		PROCTOR MODIFICADO	
	W <sub>opt</sub>	Ds max.	W <sub>opt</sub>	Ds max.
	(%)	(gr/cm <sup>3</sup> )	(%)	(gr/cm <sup>3</sup> )
Grava arenosa bien graduada : Cu = 15	7	2.12	5 – 6	2.22
Arena graviloso	10	1.98	7 – 9	2.08
Arena gruesa y Arena media : Cu = 3	11	1.85	8–10	1.94
Arena Fina : Cu = 2	12	1.70	9 – 11	1.85
Limo arenoso	14	1.75	14	1.84

**Fuente:** Normas peruanas de diseño de carreteras.

### **Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R).**

“El índice C.B.R. nos indica la resistencia del terreno o de un material” **Badillo y Rodríguez (2005)**. Los valores bajos nos indican que el suelo es malo, en cambio los valores altos, que el suelo es bueno, esto nos sirve para determinar los espesores de las capas de los pavimentos. Así para pavimentos flexibles, el C.B.R. que se usa es el valor que se obtiene para una penetración de 0.1” a 0.2” considerándose el mayor valor obtenido.

El CBR de un suelo se calcula por la fórmula siguiente:

$$CBR = \frac{\text{Carga Unitaria en suelo ensayado}}{\text{Carga Uniraria de la muestra ensayada}} * 100 \dots \dots \dots (42)$$

Para determinar el CBR de un suelo se realizan los siguientes ensayos:

Determinación de la densidad máxima y humedad óptima.

Determinación de propiedades de expansión del material (hinchamiento).

Determinación de la resistencia a la penetración.

**Tabla 26***Valores correspondientes a la muestra patrón*

UNIDADES MÉTRICAS		UNIDADES INGLESAS	
Penetración (mm)	Carga unitaria (Kg/cm <sup>2</sup> )	Penetración (pulg)	Carga unitaria (lib/pulg <sup>2</sup> )
2.54	70.31	0.10	1000
5.08	105.46	0.20	1500
7.62	133.58	0.30	1900
10.16	161.71	0.40	2500
12.70	182.80	0.50	2600

**Fuente:** Normas peruanas de diseño de carreteras.

### ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION (para muestras de cantera).

Según La carga abrasiva consiste de esferas de acero de las siguientes características:

**Diámetro** : 1 <sup>27</sup>/<sub>32</sub> pulgadas (46.8mm)

**Peso** : 390 a 445 gr.

El número de esferas en función del peso de la carga a ensayar.

**Tabla 27***Carga abrasiva, máquina de los ángeles*

Granulometría	Nº esferas	Peso de la carga (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500± 15

**Fuente:** Normas peruanas de diseño de carreteras.

La carga de abrasiva que se coloque en la máquina de los ángeles dependerá de la granulometría de la muestra a ensayar.

**Tabla 28***Cantidad de las muestras en gramos*

TAMICES		GRANULOMETRÍA (gr)			
Pasa mmpulg.	Retenido mmpulg.	A	B	C	D
37.5	25.0				
½"	1"	1250 ±			
25.0	19.0	25	-		
1"	¾"	1250 ±	-	-	-
19	12.5	25	1250 ±		
¾"	½"	1250 ±	10	-	-
12.5	9.5	10	1250 ±	-	-
½"	3/8"	1250 ±	10	1250 ±	
9.5	6.63 ¼"	10	-	10	
3/8"	4.75 No	-	-	1250 ±	-
6.63	4	-	-	10	1250 ±
¼"	2.36	-	-	-	10
4.75	No 8				
No 4					
<b>TOTAL</b>		5000 ±	5000 ±	5000 ±	5000 ±
		70	20	20	10

**Fuente:** Normas peruanas de diseño de carreteras.

**Tabla 29***Cantidad de la muestra en gramos*

Tamiz				Gradación		
<i>pasa</i>		<i>retenido</i>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<i>mm</i>	<i>pulg</i>	<i>mm</i>	<i>pulg</i>	<b>gr</b>	<b>gr</b>	<b>gr</b>
76.1	3"	64.0	2 ½"	2500 ± 50	-	-
64.0	2 ½"	50.8	2"	2500 ± 50	-	-
50.8	2"	38.1	1 ½"	5000 ± 50	5000 ± 50	-
38.1	1 ½"	25.4	1"	-	5000 ± 50	5000 ± 25
25.4	1"	19.0	¾"	-	-	5000 ± 25
TOTAL				10000 ± 25	10000 ± 75	10000 ± 50

**Fuente:** Normas peruanas de diseño de carreteras.

“Luego de alcanzar 500 r.p.m., se retira el material del tambor y se lo cierne en un tamiz mayor al No.12. La porción más fina se lo tamiza (tamiz No.12), considerándose la porción retenida en este tamiz el peso final de la muestra. Se calcula el porcentaje de desgaste del material según la fórmula”: **Alva (2008)**

$$D\% = \frac{\text{Peso Original} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Original}} * 100 \dots \dots \dots (43)$$

**Tabla 30***% de desgaste para evaluar los resultados del ensayo de los Ángeles.*

<b>D%</b>	<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Utilidad</b>
30	A.A.S.H.TO. T – 96	Para todo uso
50	A.A.S.H.TO. T – 96	Para capa de base
60	A.A.S.H.TO. T – 96	Para capa sub base
Mayor a 60	A.A.S.H.TO. T – 96	No sirve el Material

**Fuente:** Normas peruanas de diseño de carreteras.

### Análisis Granulométrico.

“La granulometría representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC E 107).

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

De acuerdo al tamaño de las partículas del suelo” **MTC (2014)**, se definen los siguientes términos:

**Tabla 31**

*Clasificación de suelos según tamaño de partículas*

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
	Grava	75 mm - 4.75 mm
	Arena	Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
		Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

**Fuente:** Normas peruanas de diseño de carreteras.

### Clasificación e identificación de suelos

#### Sistema de clasificación de los suelos de la AASHTO (Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes)

“Este método es el que se utiliza generalmente en carreteras, el método de clasificación AASHTO, divide a los suelos en dos grandes campos: suelos gruesos y suelos finos. Los suelos gruesos son aquellos que no pasan por el tamiz No. 200 el 35% o menos, los suelos finos o materiales limo – arcillosos, son aquellos que pasan por el tamiz No.200 más del 35%”. **Alva (2008)**

Por otro lado, AASHTO divide a los suelos en 7 grupos del A-1 al A-7 y ocho sub grupos (A-1a, A-1b, A-2a, A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-7-5, A-7-6), basándose en la composición granulométrica, el límite líquido y el índice de plasticidad de un suelo. Se considera que el mejor suelo para ser usado en la subrasante de una carretera, es un material bien granulado compuesto principalmente de grava y arena, pero que contenga una pequeña cantidad de cementante arcilloso, este material pertenece al grupo A-1.

**Índice de Grupo:** “Es un índice normado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de Atterberg” **MTC (2014)**. El índice de grupo de un suelo se define mediante la fórmula:

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd \dots \dots \dots (44)$$

**Dónde:**

IG : Índice de grupo.

a : F-35 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 – 74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

b : F-15 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 – 74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

c : LL – 40 (LL = límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

d : IP – 10 (IP = índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

“Nos indica que el Índice de Grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20 o más. Cuando el IG calculado es negativo, se reporta como cero. Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice  $\geq$  a 20, un suelo no utilizable para caminos”. **MTC (2014)**

**Tabla 32**

*Clasificación de suelos según índice de grupo*

<b>Índice de Grupo</b>	<b>Suelo de Sub rasante</b>
IG > 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy Bueno

**Fuente:** Normas peruanas de diseño de carreteras.

### **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

“El sistema cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores”

**Badillo (2005).**

También nos dice que un suelo se considera *grueso* si más del 50% de sus partículas son gruesas, y *fino*, si más de la mitad de sus partículas, en peso son finas.

Así mismo describiremos la clasificación de: Suelos de grano grueso y Suelos de grano fino.

#### **Suelos de grano grueso:**

Se dividen en **gravas (G)** y **arenas (S)**, las gravas contienen un 50% > de la fracción gruesa retenida en el tamiz N° 4 (4.75 mm). Y las arenas son aquellos suelos cuya porción 50% > pasa el tamiz N° 4. Tanto las gravas (G) como las arenas (S) se subdividen en cuatro tipos:

- GW, SW : Limpio de finos bien graduado
- GP, SP : Limpio de finos mal graduado
- GM, SM : Con cantidad apreciable de finos no plásticos
- GC, SC : Con cantidad apreciable de finos plásticos.

#### **Suelos de grano fino:**

Los limos inorgánicos (**M**), las arcillas inorgánicas (**C**) y los limos y arcillas orgánicas (**O**) se dividen a su vez en dos grupos secundarios basados en el hecho de que el suelo tiene un límite líquido relativamente bajo (L = low), o alto (H = high).

“Nos dice que esta clasificación está basada sólo en los límites de Atterberg para la fracción que pasa la malla N°40, y se obtiene a partir de la llamada Carta de Plasticidad”. **Badillo (2005)**

A continuación, se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO Y ASTM (SUCS):

**Tabla 33***Correlación de Tipos de Suelos AASHTO – SUCS*

<b>Clasificación de Suelos AASHTO M-145</b>	<b>Clasificación de Suelos SUCS ASTM - D-2487</b>
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

**Fuente:** “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

**Tabla 34**

Clasificación de los Suelos basada en AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282

Clasificación General	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.0075 mm (N° 200)							Suelos Finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.0075 mm (N° 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7		
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de:												
2 mm (N° 10)	máx. 50											
0.425 mm (N° 40)	máx. 30	máx. 50	mín. 51									
F: 0.075 mm (N° 200)	máx. 15	máx. 25	máx 10	Máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36
Características de la fracción que pasa el 0.425 (N° 40)												
Características de la fracción que pasa del tamiz (N°40)												
LL: Límite de Líquido				máx.40	mín. 41	máx. 41	mín.41	máx 40	Mín. 41	máx. 40	mín. 41	mín. 41
IP: Índice de Plasticidad	máx. 6	máx. 6	NP	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	mín. 11
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillos			
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente a bueno							Regular a insuficiente				

**Fuente:** "Manual de Carreteras" Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

(a) Índice de Plasticidad del Subgrupo A-7-5: es igual o menor que LL-30.

(b) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-6: es mayor que LL-30. Cuando se refiere relacionar los grupos con el índice de Grupo (IG), estos deben mostrarse entre paréntesis después del símbolo del grupo, ejemplo: A-18: 182-6 (3), A-4(5), A-7-5 (17), etc.  $IG = (F-35) (0.2+0.005((LL-4)) + 0.01 (F-15) (IP-10)$

#### 2.5.2.4.3. Estabilidad de taludes

“Se denomina talud, a cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal, que adopten permanentemente las estructuras de tierra, ya sea en forma natural o como consecuencia de la intervención del hombre en una obra de ingeniería”. **MTC (2008)**

El moderno desarrollo de las vías de comunicación, así como la construcción de presas de tierra y obras de protección (muros), han puesto al diseño y construcción de taludes en un plano de importancia de primer orden en la ingeniería, tanto por el aspecto de inversión como por el de las consecuencias derivadas de su falla. Es así, que los taludes constituyen hoy una de las estructuras de ingeniería que exigen mayor cuidado por parte del proyectista.

#### **Tipos y causas de fallas más comunes**

##### **Falla por deslizamiento superficial**

“Nos dice que casi la totalidad de taludes están sometidos a fuerzas naturales que tienden hacer que las partículas y porciones de suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo, haciéndose dicho fenómeno más evidente cerca de la superficie inclinada del talud a causa de la falta de presión normal confinante que allí existe” **Badillo (2005)**. El desequilibrio del talud puede producirse debido a las siguientes causas:

Aumento de las cargas actuantes en la corona del talud.

Disminución de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante

La conformación geológica, en laderas naturales.

Este tipo de falla es muy frecuente y peligroso en laderas naturales y, en este caso, generalmente abarca a áreas tan importantes que cualquier solución para estabilizar una estructura alojada en dicha zona resulta antieconómica, no quedando más recursos que la reubicación de la obra.

##### **Deslizamiento en laderas naturales sobre superficies de falla preexistentes**

Nos indica que, a diferencia del anterior, “este tipo de falla se produce a mayor profundidad, llegando muchas veces a producir una verdadera superficie de falla” **Badillo (2005)**. Estos movimientos a veces son tan lentos que pasan inadvertidos, hasta el momento que ha de desarrollarse alguna obra en la zona; si los movimientos son más frecuentes se puede llegar a producir un deslizamiento de tierra.

La mayor parte de este tipo de movimientos están asociados a ciertas estratigrafías favorables a ellos y a flujos estacionales de agua en el interior de la ladera.

### **Falla por movimiento del cuerpo del talud**

En contraste con los movimientos superficiales lentos, descritos en el inciso anterior, pueden ocurrir en los taludes movimientos bruscos que afectan a masas considerables de suelo, con superficies de falla que penetran profundamente en su cuerpo. Estos fenómenos reciben comúnmente el nombre de deslizamiento de tierras; dentro de éstos existen dos tipos claramente diferenciados:

**Fallas por rotación.** Movimiento del talud a lo largo de una superficie curva, la cual puede asimilarse, por facilidad y sin error mayor, a una circunferencia.

**Fallas por traslación.** Fallas que ocurren a lo largo de superficies débiles, asimilables a un plano en el cuerpo del talud o en su terreno de cimentación. Estos planos débiles suelen ser horizontales o muy poco inclinados respecto a la horizontal.

### **Fallas locales**

“Los movimientos relativamente superficiales que ocurren en el cuerpo del talud” **Badillo (2005)**. Se considera los siguientes tipos de fallas:

**Flujos.** Movimientos más o menos rápidos de zonas localizadas de una ladera natural, de manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de las velocidades y los desplazamientos asemejan el fluir de un líquido viscoso. No existe, en sí, una superficie de falla, o ésta se desarrolla en un lapso muy breve al inicio del fenómeno. Este tipo de fallas puede ocurrir en cualquier formación no cementada, incluyendo fragmentos de roca, hasta arcillas francas; suceden en materiales secos, como húmedos.

**Fallas por erosión.** Falla superficial provocada por la acción del viento, agua, etc., en taludes. El fenómeno es tanto más notorio cuando más empinadas sean las laderas de los taludes.

**Falla por licuación.** Estas fallas ocurren cuando en la zona del deslizamiento el suelo pasa rápidamente de una condición más o menos firme a la correspondiente a una superficie con la pérdida casi total de resistencia al esfuerzo cortante. El fenómeno puede ocurrir tanto en las arcillas extra sensitivas como en arenas poco compactas.

## **Algunos métodos para mejorar la estabilidad de taludes.**

### **Tender taludes**

El tendido de taludes constituye una de las soluciones más sencillas en la práctica; pero no siempre realizable.

“Nos dice que este método da muy buenos resultados en suelos puramente friccionantes, en los cuales la estabilidad de taludes es función de la inclinación del talud, lográndose la estabilidad requerida por un tendido conveniente de éste”. **Alva (2008)**

### **Empleo de bermas laterales o frontales**

Las bermas son masas de suelos generalmente del mismo material que el propio talud, colocadas en el lado exterior del mismo con la finalidad de aumentar su estabilidad. El incremento de la estabilidad se debe básicamente a la disminución del momento motor o al incremento del momento resistente.

### **Empleo de materiales ligeros**

Como su nombre lo indica, consiste en colocar como material de terraplén suelos de peso específico bajo, los que consecuentemente den bajos momentos motores.

### **Empleo de materiales estabilizar**

Consiste en mejorar las cualidades de resistencia de los suelos adicionando algunas sustancias, que al producir una cementación entre las partículas del suelo natural o al mejorar sus características de fricción aumenten su resistencia en los problemas prácticos. Las sustancias más empleadas lo constituyen los cementos y asfaltos.

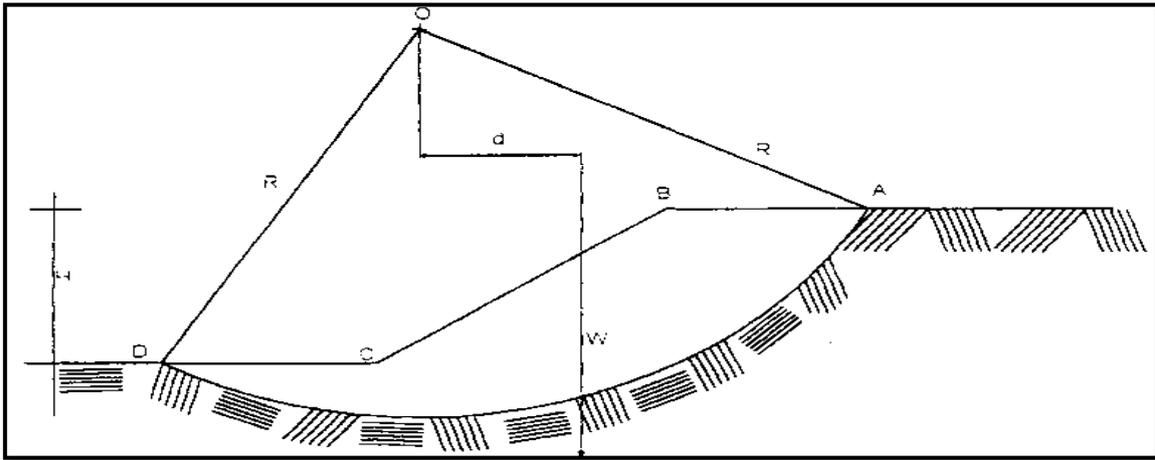
### **Precauciones de drenaje**

“Así mismo Una de las causas principales y más frecuentes de la estabilidad de taludes en obras de ingeniería es, sin duda, la presencia del agua y su movimiento por el interior de la masa del suelo, en tal sentido es indispensable proyectar obras de drenaje que eliminen las filtraciones y flujos. Las estructuras comunes como cunetas, alcantarillas, etc., debidamente proyectadas y construidas han demostrado hoy ser indispensable y no es buena la técnica ingenieril que regatea la inversión o esfuerzos en esta dirección”. **Alva (2008)**

### **Empleo de muros de retención**

Estructuras que se construyen cuando el talud es en sí inestable. En general, el muro de retención como elemento estabilizador de taludes constituye una de las estructuras más

delicadas en lo referente a su proyecto y construcción y es recomendable que ambas etapas sean muy cuidadosamente supervisadas por el especialista.



**Figura 11:** Momento motor (mecánica de suelos)

Considérese un arco de circunferencia de centro O y de radio R como la traza de una superficie hipotética de falla con el plano de papel. La masa del talud que se movilizaría, si esa fuera la superficie de falla, aparece rayada en la fig.2.4, puede considerarse que las fuerzas actuantes, es decir, las que tienden a producir & deslizamiento de la masa de tierra, son el peso del área ABCDA (nótese que se considera un espesor de talud normal al papel de magnitud unitaria y que bajo esa base se hacen todos los análisis que siguen) más cualesquiera sobrecargas que pudieran actuar sobre la corona del talud.

“El momento de estas fuerzas en torno a un eje normal a través de O según la figura en la que no se considera sobrecargas” **Alva (2008)**, será simplemente:

Que es el llamado momento motor.

$$Mm = W*d \dots\dots\dots (45)$$

### **Parámetros de resistencia al Esfuerzo Cortante para el análisis de estabilidad**

Según Coulumb, los suelos presentan “Cohesión” y “Fricción Interna”, por lo que puede asignárseles una Ley de Resistencia, esta ecuación conocida en Mecánica de suelos Ley de Coulumb se escribe como sigue:

$$S = \sigma * \text{Tang } \phi + c \dots\dots\dots (46)$$

**Dónde:**

$\sigma$  = Esfuerzo normal que actúa sobre el plano de ruptura.

$\phi$  = Ángulo de fricción interna del material.

c = Resistencia a la deformación plástica del terreno.

En la resistencia al deslizamiento causados por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas.

Depende, por lo tanto, de la granulometría del material, de la forma de sus partículas y de su densidad.

Como los suelos granulares tienen superficies de contacto y sus partículas son granulares, presentan una buena trabazón tendrán fricciones internas altas, en cambio los finos presentan presiones bajas.

La fricción interna del suelo, está definido para el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el desplazamiento, a lo largo del plano de falla, así como la fuerza normal “p” aplicada a dicho plano. Los valores de este ángulo llamado “Angulo de fricción interna  $\Phi$ ”, varían de 0° para arcillas plásticas cuya consistencia está próxima a su límite líquido, hasta 45° ó más, para gravas y arenas secas compactadas y partículas angulares generalmente el ángulo  $\Phi$  para arenas es alrededor de 30°.

Para la determinación de los parámetros anteriormente mencionados se hace el respectivo estudio en el laboratorio de suelos (Ensayo de Compresión Triaxial).

**Análisis de la estabilidad de taludes**

Una vez seleccionados los valores  $\Phi$  y C, de cada tipo de suelo se procede a realizar el Análisis de Estabilidad.

El análisis de estabilidad de taludes no es más que un chequeo del factor de seguridad, del talud propuesto; de tal manera que para decir que un talud es estable o no, el factor de seguridad será mayor o igual que el factor de seguridad recomendado, dependiendo del tipo de obra.

Para carreteras se considera un valor aceptable  $F_s > 1.3$ ; algunos autores, con un criterio conservador, consideran  $F_s > 1.5$  como un valor aceptable.

Hay que indicar sin embargo que este factor no debe ser muy superior a los valores anteriormente mencionados, lo que indicaría un mayor costo del proyecto.

### **Método simplificado de Alan Bishop**

“Dice que este método es muy estable numéricamente y su cálculo se puede realizar mediante el computador” **Badillo y Rodríguez (2005)**.

#### **Hipótesis:**

Mecanismo de falla circular.

La fuerza cortante entre dovelas  $X_i$  es nula.

La fuerza normal  $N_i$  actúa en el punto medio de la base de la dovela.

Para cada dovela se satisface el equilibrio de fuerzas verticales, pero no así el equilibrio de fuerzas horizontales, ni el equilibrio de momentos.

Para la masa total deslizante se satisface el equilibrio de fuerzas verticales y de momentos, más no el equilibrio de fuerzas horizontales.

#### **Incógnitas:**

$N_i$  : Fuerza en la base normal en la base de la  $i$ -ésima dovela.

$T_i$  : Fuerza de corte en la base de la  $i$ -ésima dovela

$2n + 1$ : Total de incógnitas.

#### **Ecuaciones**

$n$  : Ecuaciones de equilibrio de fuerzas verticales.

$n$  : Ley de Mohr — Couluomb

$$T = \frac{1}{F_s} [C_i * L_i + N_i * Tang\phi] \dots\dots\dots(47)$$

$I$  : Ecuación de equilibrio de momentos de la masa total deslizante.

$2n + 1$  : Total de ecuaciones.

Por lo tanto, el sistema de ecuaciones es compatible.

De la misma se puede deducir que:

$$F_s = \frac{\sum [C_i b_i + (W_i - U_i b_i) \text{Tang} \phi] \text{Sec} \alpha_i}{\left( \sum W_{2i} \text{Sen} \alpha_i + K \sum W_{2i} \text{Cos} \alpha_i - \frac{K}{2R} \sum W_{2i} h_i \right)} - \text{Tang} \phi \text{Tang} \alpha_i \dots \dots \dots (48)$$

Dónde:

W : Peso total de la dovela y, utilizando el peso unitario sumergido debajo del peso sumergido debajo del nivel del agua.

W : Peso total de la dovela y, utilizando el peso unitario In Situ.

C,  $\phi$  : Parámetros de resistencia al corte.

K : Coeficiente sísmico.

h : Altura de la dovela.

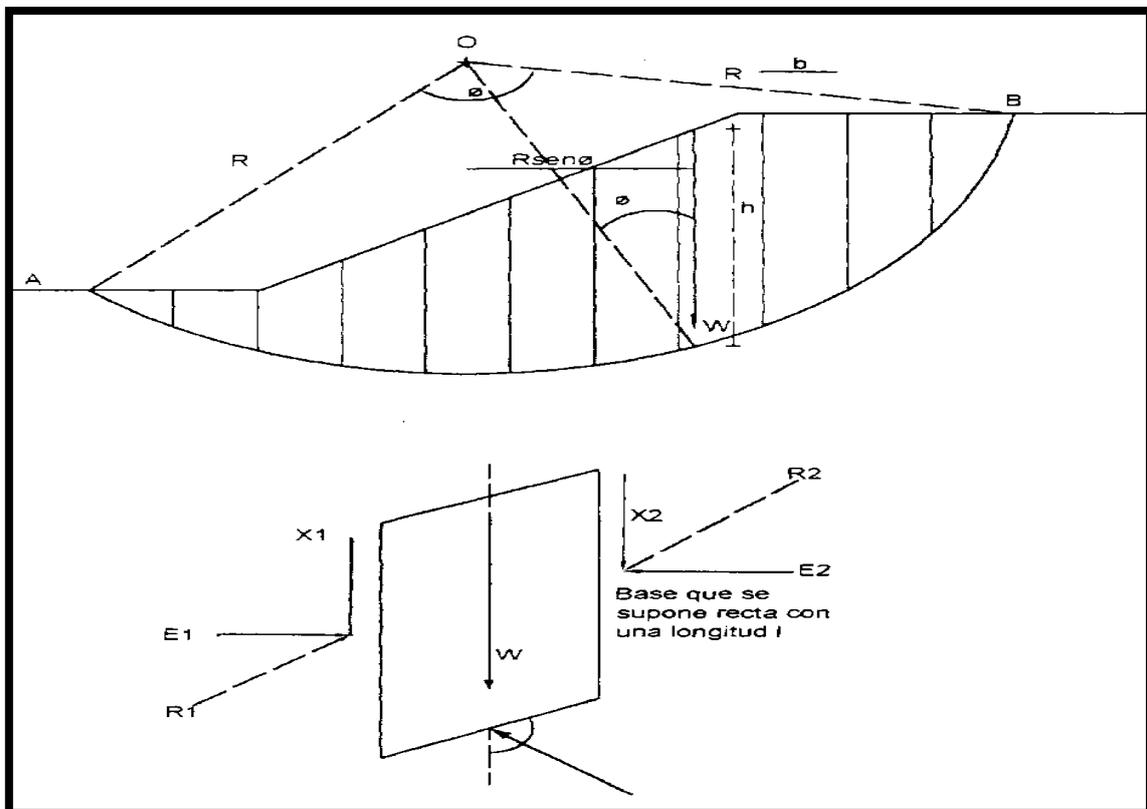


Figura 12: Método simplificado de ALAN BISHOP (Mecánica de suelos)

### 2.5.2.5. Señalización

“La señalización consiste en controlar las operaciones de los vehículos, propiciando el ordenamiento del flujo de tránsito en una vía e informar a los conductores de todo lo que se relaciona con el camino que recorren.

Para lograr este propósito, se hará uso de señales, preferentemente gráficas que se colocan a los costados de la carretera o en la superficie de rodadura”. **MTC (2009)**

#### 2.5.2.5.1. Tipos de señales

**Señales Preventivas:** Son las que advierten al conductor la naturaleza y existencia de un peligro. Se colocan en lugares y distancias convenientes, a fin de que los conductores puedan realizar acciones oportunas sin interrumpir su marcha o sufrir accidentes.

**Señales Reglamentarias:** Son las que indican al conductor una orden, por lo tanto, hacen conocer al mismo ciertas limitaciones y prohibiciones que regulan el uso de la vía.

**Señales Informativas:** Tienen por finalidad proporcionar al usuario información turística, direccional, rutas distintas, pueblos existentes en recorrido, etc.

**Postes Kilométricos:** Tienen por finalidad indicar al conductor la distancia que está recorriendo en la vía. Serán colocados a intervalos de 1 km. Siendo éstos colocados en el lado derecho y en sentido del tránsito que circula.

Estas señales se colocan en 0.50 m. del borde de la calzada en una vía urbana y a 1.80 m. en carreteras.

#### 2.5.2.5.2. Diseño de las señales a usar

“Para el presente proyecto se ha creído conveniente usar algunas de las señales consideradas en el Manual de Señalización de Carretera del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción”. **MTC (2009)**

### 2.5.3. Marco Conceptual: Terminología básica

**Afirmado:** Capa de material procesado o semi procesado de acuerdo al diseño que se coloca sobre la sub rasante de una carretera, funciona como capa de rodadura y de soporte de tráfico en carreteras no pavimentadas.

**Asfalto:** Sustancia de color negro que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo. Se encuentra a veces en grandes depósitos naturales, como en el lago Asfaltites o mar Muerto, lo que se llamó betún de Judea.

**Abrasión:** Acción y efecto de raer o desgastar por fricción

**Berma:** Franja longitudinal, pavimentada o no, comprendida entre el borde exterior de la calzada y la cuneta o talud.

**Bombeo:** Pendiente transversal de la plataforma en tramos en tangente.

**BM:** Es un punto topográfico de elevación fija que sirve de control para la construcción de carreteras de acuerdo a los niveles de proyecto.

Generalmente está constituido por un hito o monumento.

**Calzada:** Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Se compone de un cierto número de carriles.

**Camino:** Vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados, peatonales y animales, con excepción de vías férreas.

**Carretera:** Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

**Carretera Pavimentada:** Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por material bituminoso (flexible) o de concreto portland (rígida).

**Carretera no Pavimentada:** Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

**Carril:** Franja longitudinal en que está dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales, y con ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

**Corona:** Superficie de la carretera terminada comprendida entre los bordes exteriores de las bermas.

**Curva de transición:** Curva en planta que facilita el tránsito gradual desde una trayectoria rectilínea a una curva circular, o entre dos circulares de radio diferente.

**Curva vertical:** Curva en elevación que enlaza dos rasantes con diferente pendiente.

**Derecho de vía:** Faja de ancho variable dentro de la cual se encuentra comprendida la carretera y todas sus obras accesorias. La propiedad del terreno para Derecho de Vía será adquirida por el Estado, cuando ello sea preciso, por expropiación o por negociación con los propietarios.

**Diseño Geométrico:** Es el estudio geométrico de una carretera tomando como base el tráfico que soporta; el alineamiento de su eje, un conjunto de características técnicas y de seguridad que debe reunir para el tránsito vehicular y peatonal formando parte de una gestión inteligente.

**Drenaje:** Conjunto de obras que tienen como fin evacuar las aguas superficiales y subterráneas que afectan a una vía.

**Eje:** Línea que define el trazado en planta o perfil de una carretera, y que se refiere a un punto determinado de su sección transversal.

**Escorrentía:** Agua de lluvia que discurre por la superficie del terreno.

**Ensanche de plataforma:** Obra de modernización de una carretera que amplía su sección transversal, utilizando parte de la plataforma existente.

**Explanación:** Zona de terreno realmente ocupada por la carretera, en la que se ha modificado el terreno original.

**Índice medio diario anual (IMDA):** Número promedio de vehículos medido en un período de 24 horas, del total de vehículos que pasan por una sección determinada de vía.

**Línea de Gradiente:** Es una línea quebrada que tiene una determinada pendiente y sirve para ubicar la posible poligonal que servirá de base para el estudio definitivo.

**Pavimento:** Es la estructura construida sobre la subrasante, para los siguientes fines. Resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de comodidad y seguridad para el tránsito.

**Pendiente:** Inclinación de una rasante en el sentido de avance.

**Peralte:** Inclinación transversal de la plataforma en los tramos en curva.

**Plataforma:** Ancho total de la carretera a nivel de subrasante.

**Rasante:** Línea que une las cotas de una carretera terminada.

**Sección transversal:** Corte ideal de la carretera por un plano vertical y normal a la proyección horizontal del eje, en un punto cualquiera del mismo.

**Subrasante:** Superficie del camino sobre la que se construirá la estructura del pavimento.

**Terraplén:** Parte de la explanación situada sobre el terreno original.

**Tránsito:** Todo tipo de vehículos y sus respectivas cargas, considerados aisladamente o en conjunto, mientras utilizan cualquier camino para transporte o para viaje.

**Variante de trazado:** Obra de modernización de una carretera en planta o en perfil cambiando su trazado en una longitud acumulada de más de un Kilómetro (1 Km).

**Velocidad específica de un elemento de trazado (Ve): Máxima** velocidad que puede mantenerse a lo largo de un elemento de trazado considerado aisladamente, en condiciones de seguridad y comodidad, cuando encontrándose el pavimento húmedo y los neumáticos en buen estado, las condiciones meteorológicas, del tráfico y legales son tales que no imponen limitaciones a la velocidad.

**Vereda:** Franja longitudinal de la carretera, elevada o no, destinada al tránsito de peatones.

**Vía:** Carretera, vía urbana o camino rural abierto a la circulación públicas de vehículos y o peatonales.

#### **2.5.4. Hipótesis a demostrar**

El diseño geométrico y de asfalto de la carretera Yurimaguas - Munichis, servirá para el Expediente Técnico para su post construcción, la cual permitirá darle fluidez a la población en el traslado de sus productos a los mercados más importantes de la región, que generará mejores condiciones de vida y mayores ingresos en la canasta familiar.

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Materiales**

##### **3.1.1 Recursos humanos**

###### **Estudio topográfico:**

02 topógrafos (tesistas)

01 auxiliar libretista

01 ayudante porta mira

01 ayudante winchero

01 ayudante porta jalones

###### **Trabajo de gabinete:**

02 tesistas

01 auxiliares de computo (Vaciado, ordenamiento y selección de la información obtenida)

01 asesor de Estadística

###### **Estudio de suelos:**

02 tesistas

01 técnico de laboratorio

04 obreros (excavación)

Los demás estudios especiales preliminares (Hidrográfico, Geológico, Impacto ambiental, Seguridad Vial, Vulnerabilidad y Riesgos) y diseños fueron realizados por los tesistas con asesoramiento técnico de especialistas.

##### **3.1.2 Recursos materiales**

###### **Equipo de oficina:**

02 laptop

01 impresora

01 plotter

02 calculadoras científicas

01 tablero de dibujo

**Equipo de campo:**

01 brújula

Carta nacional a escala 1: 100,000

Mapa vial del departamento de Loreto

Papel Bond A-1

Papel Bond A-4

Libretas de Topografía

Juego de Escuadras

Portaminas

01 eclímetro

01 escalímetro

01 wincha de 100 metros

01 cámara fotográfica

Machetes, botas, ponchos

**Estudio de suelos:**

Muestra de suelos

Instrumentos de laboratorio

**3.1.3 Recursos de equipos**

Equipo topográfico (Estación total, nivel topográfico, prisma, etc.)

Linnigrafo

GPS

Laboratorio de Suelos

**3.1.4 Otros recursos**

Movilidad

Viáticos

Fotocopias

Encuadernaciones

Los demás estudios especiales preliminares y diseños fueron realizados por los tesisistas mediante investigaciones varias y bajo asesoramiento técnico.

La obtención de datos de campo para estos estudios se gestionó a la municipalidad provincial de alto Amazonas.

Para el procesamiento de los datos se ha utilizado herramientas como:

Hojas de cálculo varios de diseños hidráulicos, geométricos y estructurales de los elementos de la infraestructura vial.

Programas asistidos de dibujo (AUTOCAD 2016 y CIVIL 3D 2016)

## **3.2. Metodología**

### **3.2.1. Universo, muestra, población**

#### **Universo:**

Todos los caminos vecinales que tiene el distrito de Yurimaguas.

#### **Muestra:**

El camino vecinal que une el distrito de Yurimaguas y el centro poblado Munichis.

### **3.2.2. Sistema de variables**

#### **3.2.2.1. Variable dependiente**

Diseño Geométrico y de asfalto de la carretera Yurimaguas – Munichis, longitud 19.00 km, Distrito Yurimaguas, Provincia Alto Amazonas - Región Loreto.

#### **3.2.2.2. Variable independiente**

Estudios de alternativas para el diseño de la carretera Yurimaguas – Munichis a nivel de asfaltado, para la post construcción de la vía.

### **3.2.3. Diseño experimental de la investigación**

Se realizó el reconocimiento terrestre de la zona de estudio, se comprobó la existencia de una carretera afirmada hasta el caserío de San Rafael, en malas condiciones sobre terrenos que presentan una topografía ondulada. Siguiendo el trazo de la vía existente, ubicamos los puntos de paso obligados (puntos de control primario), las obras de arte a proyectarse, posibles canteras, puntos de agua y puntos críticos.

Posteriormente se realizó el levantamiento topográfico de la franja del terreno de la vía existente (25 metros a ambos lados del eje de la vía existente); teniendo los datos topográficos se elaboró un croquis o plano inicial del proyecto, en la cual se mostró la vía existente.

#### **3.2.3.1. Ubicación de los puntos inicial y final**

En el trazo de la carretera se ha determinado el punto inicial y punto final:

##### **Punto inicial**

El punto de inicio fue ubicado al final de la parte asfaltada de la calle Libertad.

Se ubicó la base del BM con la ayuda de un GPS diferencial, ubicado a 14 m al lado izquierdo del eje del trazo con cota: 148.731 m.s.n.m.

##### **Punto final**

Está ubicado en el caserío de San Rafael, a la altura del puente YANAYACU (Progresiva Km 19+041.07).

#### **3.2.3.2. Elección de la mejor ruta**

Teniendo el croquis del terreno de la vía existente, donde se aprecia la topografía, y con los datos que se recopiló al realizar el reconocimiento de la zona de estudio, se evaluó el trazo de la ruta existente, que pasan por terrenos que abarcan zonas agropecuarias, por lo que económicamente beneficiara a los habitantes de la zona estudio y alrededores, para el transporte de sus productos.

Evaluando las condiciones actuales de la vía existente, las condiciones topográficas, geológicas, hidrográficas y el movimiento económico, se eligió esta ruta como a alternativa más favorable, el cual ofrece el menor costo de construcción con el mayor índice de utilidad económica, social y estética.

### **3.2.3.3. Levantamiento topográfico**

Teniendo como base el eje de la vía existente se procedió a realizar el levantamiento topográfico a una franja de 25 metros a cada lado del eje de vía determinando los puntos de inflexión, para lo cual se ha hecho uso del método de la poligonal abierta, seguidamente se procedió a la nivelación y seccionamiento de todo el tramo.

### **3.2.3.4. Trazo de la línea de gradiente**

La línea de gradiente o línea de pendiente de ceros no se ha realizado, debido se mantuvo el trazado de la vía existente.

## **3.2.4. Diseño de instrumentos**

### **3.2.4.1. Diseño del eje en planta**

El diseño geométrico de la carretera ha sido desarrollado considerando lo establecido en los Términos de Referencia, así como las recomendaciones de los especialistas de Geología y Geotecnia, Hidrología y Drenaje y de Suelos y Pavimentos.

El estudio incluye la determinación de la Velocidad Directriz, la sección transversal: ancho de calzada, ancho de berma, bombeo, taludes de corte y relleno y peraltes y parámetros de diseño del alineamiento horizontal y vertical, distancia de visibilidad de parada, distancia de visibilidad de sobrepaso, el radio mínimo para el peralte máximo, el sobre ancho, la longitud de transición y la pendiente máxima.

#### **3.2.4.1.1. Selección del tipo de vía y parámetros de diseño**

La selección del tipo de vía se ha realizado según la clasificación de carreteras dada por el manual de diseño de carreteras del MTC.

**Según su Función:** La carretera objeto del estudio pertenece a la Ruta Vecinal, que empalma en la Red Departamental.

**De acuerdo a la Demanda:** Si bien es cierto el IMDA obtenido en el estudio de tráfico es inferior a 400veh/día, que clasificarían la vía como una Carretera de Tercera Clase, dicho estudio concluye que una vez puesta en operación la vía asfaltada, el incremento de tráfico en la vía será tal que en los primeros años, el IMDA superará los 400veh/día, consecuentemente para el desarrollo del presente estudio, se considera que la vía clasifica al Primer Tramo (Discoteca la CHACRA hasta la vía de evitamiento) como una CARRETERA

DE SEGUNDA CLASE y el Segundo tramo (desde la vía de evitamiento hasta el caserío de San Rafael) como una CARRETERA DE TERCERA CLASE.

**Según las Condiciones Orográficas:** Tal como se precisó en el ítem de Topografía, el tramo objeto del estudio, atraviesa dos sectores de marcada orografía, que varían entre tipo 01 y tipo 2.

### 3.2.5. Velocidad directriz

De acuerdo al manual de diseño de carreteras, la velocidad directriz para cada tramo de nuestro estudio sería las siguientes:

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Autopista de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Autopista de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de tercera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											

*Figura 13:* Rangos de velocidad de diseño (Manual de carreteras: Diseño geométrico DG – 2014)

Tramo 1 (Discoteca Chacra – Vía de evitamiento): **Vd.= 60 Km/h**

Tramo 2 (Vía de evitamiento – San Rafael): **Vd. = 40 Km/h**

En vista que las velocidades de diseño de tramos adyacentes difieren en 20 Km/h, y debido al cambio de tipo de terreno en un corto sector de la ruta, para nuestro diseño de la carretera se tomará para ambos tramos una velocidad directriz de **40 Km/h.**

### **3.2.6. Distancia de visibilidad**

Distancia de visibilidad de parada ( $D_p$ )

Teniendo en cuenta las consideraciones, se elige como  $D_p$  en un rango de 44 – 50 m (Primer tramo) y 43 - 53 m (Segundo tramo).

Distancia de visibilidad de sobrepaso ( $D_s$ )

Teniendo en cuenta los criterios y especificaciones indicadas en el Manual de Diseño geométrico de Carreteras del MTC, se elige como  $D_s$  de 270 m para ambos tramos.

#### **3.2.6.1. Ubicación del eje de la vía**

Definido el plano topográfico y los parámetros de diseño respectivo y con la ayuda del AUTOCAD CIVIL 3D, se procede a diseñar el eje planimétrico, así como el perfil longitudinal y las secciones transversales de la carretera.

#### **Trazo de la poligonal**

Con la base de datos topográficos obtenidos del levantamiento topográfico de la vía existente, se procedió a calcular las coordenadas de los diferentes puntos de intersección (PIs) en una hoja de cálculo en Microsoft Excel, luego se insertó esos puntos en el Programa AUTOCAD CIVIL 3D, trazándose aquí el eje de la carretera.

#### **Determinación de los ángulos de intersección de la poligonal**

Una vez definido el eje de la carretera y haciendo uso del programa AUTOCAD CIVIL 3D se procede a editar los valores de las coordenadas de los puntos de intersección.

Editadas las coordenadas de los PI's mediante el programa, se obtiene los valores de los ángulos de intersección, los cuales no necesitan ser corregidos dada la precisión que nos ofrece el programa.

#### **Determinación de los lados de la poligonal**

Conocidas las coordenadas de los vértices, haciendo uso del programa se determina la longitud de cada lado de la poligonal.

### **Diseño de las curvas horizontales**

Definida la poligonal y determinados los ángulos de intersección de los lados de la misma, el paso siguiente consiste en diseñar las curvas horizontales, respetando los parámetros de diseño del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014, del MTC.

### **Diseño del eje planimétrico**

Una vez definido el eje planimétrico de la vía se procede a realizar el estacado del mismo, proceso que consiste en dejar marcas cada 20 metros en tramos rectos y a 10 metros en tramos curvos, utilizando el programa

#### **3.2.6.2. Determinación de los elementos de curva horizontal y estacados de los PI, PC y PT.**

### **Radios de diseño**

Como en el proyecto se tiene el primer tramo una carretera de segunda clase y el segundo tramo una carretera de Tercera Clase se ha optado por un radio mínimo de 60.00 m para el primer tramo y un radio mínimo de 55.00 m para el segundo tramo, según el **Manual de Diseño de carreteras - MTC**.

### **Elementos de las curvas horizontales**

Conocido el valor del ángulo  $I$ ; y seleccionado el radio a emplear, se ha procedido a calcular los valores de los diferentes elementos de las curvas horizontales, así como a determinar los números de estaca que les corresponde a los puntos: PI, PC y PT. Esto se realizó con ayuda del AUTOCAD CIVIL 3D.

#### **3.2.6.3. Perfil longitudinal**

#### **3.2.6.4. Nivelación del eje de la vía**

### **Obtención del primer B.M.**

Se realizó con la ayuda de un G.P.S., colocándose primeramente sobre la base del BM ubicado aproximadamente a 14 m al lado izquierdo del inicio del Tramo 1 (Discoteca Chacra – Vía de evitamiento), correspondiéndole una cota de 148.731 m.s.n.m.

### **Nivelación de las estaciones y ubicación de los B.M. del proyecto.**

Se procedió a nivelar cada una de las estacas de la poligonal obteniéndose la altitud de cada una de ellas; las lecturas se han hecho con aproximación al milímetro.

Obtenido el perfil del terreno de proceder a trazar la línea de subrasante respectiva teniendo en cuenta los criterios siguientes:

La pendiente de todo tramo de la Subrasante no debe ni puede contravenir los lineamientos de diseño dado por el **Manual de Diseño de Carretera – MTC**; salvo el mejor criterio del diseñador.

De preferencia los PIV verticales deben ubicarse en estacas pares.

La distancia entre PIVs verticales debe ser apropiada a fin de no tener interacción de curvas verticales.

En terreno plano la subrasante estará sobre el terreno natural salvo casos especiales por razones de drenaje.

En terreno ondulado por economía la Subrasante seguirá las inflexiones del terreno sin perder de vista las limitaciones impuestas por la estética, visibilidad y seguridad.

En terreno accidentado será necesario adaptar la Subrasante al terreno evitando los tramos en contra pendiente, sobre todo cuando se debe vencer un desnivel considerable.

#### **3.2.6.5. Pendientes**

Para el presente proyecto, se consideró para el primer tramo y segundo tramo correspondientemente:

Pendiente mínima: 0.50% para ambos tramos.

Pendiente máxima normal: 6.00% y 9.00 % respectivamente.

Pendiente máxima excepcional: 7.00% y 10.00% respectivamente.

### 3.2.6.6. Secciones transversales

#### Ancho de Calzada

##### Tramos en Tangente.

Para el presente estudio adoptamos un ancho de calzada de 7.20 m. en el primer tramo y, de 6.60m en el segundo tramo, según lo que indica el **MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERA – MTC**.

##### Tramos en Curva.

Las secciones indicadas anteriormente, estarán provistas de sobreancho en los tramos de curva de acuerdo a lo indicado en el **MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERA – MTC**.

**Bombeo:** El bombeo adoptado para el presente estudio para los tramos en tangente es de 2.5%.

**Bermas:** Para el presente proyecto las bermas serán de 2.00m en el primer tramo y de 0.90m en el segundo tramo.

**Sobreancho:** Se calculará haciendo uso de la ecuación planteada en el **Manual de Diseño de Carreteras – MTC**:

Para el primer tramo, el sobreancho máximo será de 1.40m y en el segundo tramo será de 1.50m.

**Peralte máximo:** Para el presente estudio será de 4.00% en el primer tramo (Zona urbana) y de 6.00% en el segundo tramo (Zona rural terreno ondulado).

##### Talud de relleno:

Se considerara el mismo talud de relleno para ambos tramos: 1.5 H : 1.0 V

##### Talud de corte:

Se considerara el mismo talud de corte para ambos tramos: 1.0 H : 2.0 V

### 3.2.6.7. Diseño del seccionamiento transversal

Teniendo como base el estacado del eje planimétrico se procede a realizar el seccionamiento transversal a fin de poder obtener el perfil del terreno, ingresando todos estos datos al AUTOCAD CIVIL 3D.

Definido el perfil del terreno y determinados: Ancho de calzada, taludes, bermas, sobre anchos, dimensiones de cunetas, y banquetas de visibilidad (de ser el caso) se procede a dibujar las cajas de la plataforma.

Debemos indicar que el dibujo del perfil del terreno, cotas de rasante y subrasante se han obtenido mediante el AUTOCAD CIVIL 3D.

Dibujadas las secciones transversales se procede a determinar los volúmenes de corte y/o relleno de cada una de ellas, necesarias para el cálculo del movimiento de tierras. Su determinación se ha realizado mediante el uso del AUTOCAD CIVIL 3D.

### 3.2.6.8. Procesamiento de información

### 3.2.6.9. Diseño hidráulico del drenaje vial- obras de arte

### 3.2.6.10. Diseño de cunetas

#### Consideraciones de diseño

**Pendiente.** Hemos considerado la misma pendiente del camino en el tramo correspondiente, la cual no es menor del 0.50 % para evitar problemas de sedimentación.

**Velocidades admisibles.** La velocidad ideal es la que lleva el agua sin causar obstrucción ni erosión.

Velocidad máxima:  $V. \text{máx} = 4.4 \text{ m/seg}$

Velocidad mínima:  $V. \text{mín.} = 0.60 \text{ m/seg}$

**Revestimiento de las cunetas.** Cuando el suelo es deleznable y la rasante de la cuneta es igual o mayor de 4%, ésta deberá revestirse con piedra y lechada de cemento.

**Fórmula de cálculo.** - La fórmula más usada para el cálculo de canales es la FÓRMULA DE MANNING, que consiguientemente es aplicable al diseño de cunetas.

$$V = (R^{2/3} * S^{1/2})/n \quad \text{y} \quad Q = (A * R^{2/3} * S^{1/2})/n$$

#### Donde:

- Q : Descarga en metros cúbicos por segundo  
 S : Pendiente de la cuneta en metros por metro.  
 R : Radio hidráulico en metros  
 N : Coeficiente de rugosidad

- V : Velocidad del agua en metros por segundo  
 A : Área de la sección de la cuneta en metros cuadrados.

Para el Cálculo del Caudal máximo se usará la siguiente ecuación:

$$Q_{max} = C I A / 3.6$$

**Donde:**

C: Coef. De Escorrentía

I: Intensidad máxima en mm/hr

A: Área tributaria en Km<sup>2</sup>

Para nuestro caso se usó la intensidad máxima de 384.53 mm/hr (como referencia de otros estudios hidrológicos de la zona)

**Para cunetas de sección rectangular (Zona Urbana): 0.40 x 0.40 m**

**Tabla 35**

*Calculo del Qmax:*

Coef. De escorrentía C	Intensidad Máxima I máx.	Ancho de calzada m	Ancho de impluvion m	Dist. Entre alcantarillas m	Área tributaria A (km <sup>2</sup> )	Caudal Máximo Q máx.
0.55	384.53	7.20	11.20	250.00	0.0028	0.16

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 36**

*Valores para cada parámetro de la ecuación del caudal de diseño*

Altura de cuneta Y (m)	Coef. De rugosidad n	Espejo de agua T (m)	Área hidraulica A (m <sup>2</sup> )	Perímetro mojado Pm (m)	Radio Hidraulico Rh (m)	Qd = f(s) Qd
0.40	0.017	0.40	0.16	1.20	0.13	2.42xS <sup>0.5</sup>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 37**

*Comprobación de pendiente y velocidad con la sección adoptada*

S%	Qd (m <sup>3</sup> /s)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Qd > Qmax	0.60 < V(m/s) < 4.40
4.00	0.48	0.16	cumple	3.02
3.00	0.42	0.16	cumple	2.61
2.00	0.34	0.16	cumple	2.13
1.00	0.24	0.16	cumple	1.51
0.50	0.17	0.16	cumple	1.07

Fuente: Elaboración propia

**Para cunetas de sección triangular (Zona rural): 0.50 x 1.25 m**

**Tabla 38**

*Calculo del Qmax*

Coef. De escorrentía C	Intensidad Máxima I máx.	Ancho de calzada m	Ancho de impluvion m	Dist. Entre alcantarillas m	Área tributaria A (km <sup>2</sup> )	Caudal Máximo Q máx.
0.55	384.53	6.60	16.20	250.00	0.0041	0.24

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 39**

*Valores para cada parámetro de la ecuación del caudal de diseño*

Altura de cuneta	Coef. De rugosidad n	Espejo de agua T (m)	Área hidraulica A (m <sup>9</sup> )	Perímetro mojado Pm (m)	Radio Hidraulico Rh (m)	Qd = f(s) Qd
Y (m) 0.50	n 0.017	T (m) 1.25	A (m <sup>9</sup> ) 0.3125	Pm (m) 1.49	Rh (m) 0.21	Qd 6.49xS <sup>0.5</sup>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 40**

*Comprobación de pendiente y velocidad con la sección adoptada*

S%	Qd (m <sup>3</sup> /s)	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Qd > Qmax	0.60 < V(m/s) < 4.40
4.00	1.30	0.24	cumple	4.16
3.00	1.12	0.24	cumple	3.60
2.00	0.92	0.24	cumple	2.94
1.00	0.65	0.24	cumple	2.08
0.50	0.46	0.24	cumple	1.47

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.6.11. Estudio de suelos

### 3.2.6.12. Exploración de campo

Con el objeto de determinar las características propias del terreno de fundación, se realizaron 39 excavaciones a lo largo del eje de la carretera, con una profundidad promedio de 1.50 m. a 2.50 m. como mínimo.

Los materiales encontrados en cada estrato fueron descritos e identificados mediante tarjetas de identificación, donde se ha colocado el estrato al que corresponde, profundidad y número de calicata. Luego estas muestras eran colocadas en bolsas de polietileno para su traslado al laboratorio. Durante la ejecución de las investigaciones se tomó registro de todos los espesores, color y estado de los materiales.

### 3.2.6.13. Ensayos de laboratorio

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la UNSM, siguiendo las normas establecidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Las muestras de suelos ya en laboratorio, fueron clasificadas y seleccionadas siguiendo procedimientos y normas descritas en la ASTM D-2488 / 2004.

Las muestras obtenidas en los suelos fueron sometidas a los siguientes ensayos:

**Tabla 41**

*Mecánica de Suelos*

ENSAYO	NORMA ASTM	MTC
Análisis Granulométrico	ASTM D-422	E 107
Límite Líquido	ASTM D-4318	E 110
Límite Plástico	ASTM D-4318	E 111
Ensayos de Proctor Modificado	ASTM D-1557	E 115
Ensayos de CBR	ASTM D-1883	E 132
Contenido de Humedad	ASTM D-2216	E 108

**Fuente:** Normas Peruanas de Diseño de Carreteras

### 3.2.6.14. Perfiles del suelo

En base a la información obtenida durante los trabajos de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio, se efectuó la clasificación de suelos de los materiales empleándose los sistemas SUCS y AASHTO, con la finalidad de análisis y correlación de acuerdo a sus características litológicas, lo cual se consigna también en el perfil estratigráfico de suelos que se anexa en el estudio de mecánica de suelos, canteras y fuentes de agua. A continuación, se presenta el resumen de clasificación. Cabe señalar que esta muestra pertenece al terreno de fundación (Muestra M2); ya que la muestra M1 corresponde al afirmado existente en el tramo, cuyo espesor oscila entre 0 a 35cm de espesor.

**Tabla 42***Características de los suelos*

<b>CALICATA</b>	<b>PROGRESIVA KM</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>CLASIF. SUCS</b>	<b>CLASIF. AASHTO</b>
C-01	0+000	0.30-1.50	M-2	CL	A-6 (11)
C-02	0+500	0.25-1.50	M-2	SW-SM	A-1-b (0)
C-03	1+000	0.20-1.50	M-2	CH	A-7-5 (20)
C-04	1+500	0.30-1.50	M-2	CL	A-7-6 (16)
C-05	2+000	0.30-1.50	M-2	CL	A-6 (7)
C-06	2+500	0.20-1.50	M-2	CL-ML	A-4 (5)
C-07	3+000	0.25-1.50	M-2	CL	A-7-6(20)
C-08	3+500	0.35-1.50	M-2	CL	A-6(17)
C-09	4+000	0.20-1.50	M-2	CL	A-6(14)
C-10	4+500	0.20-1.50	M-2	CL	A-6(14)
C-11	5+000	0.30-1.50	M-2	CL	A-6 (16)
C-12	5+500	0.20-1.50	M-2	CL	A-6 (19)
C-13	6+000	0.30-1.50	M-2	ML	A-4(8)
C-14	6+500	0.30-1.50	M-2	CH	A-7-6(20)
C-15	7+000	0.20-1.50	M-2	CL	A-6 (6)
C-16	7+500	0.20-1.50	M-2	CL	A-6 (10)
C-17	8+000	0.20-1.50	M-2	CH	A-7-5(20)
C-18	8+500	0.30-1.50	M-2	CH	A-7-5(20)
C-19	9+000	0.30-1.50	M-2	CL	A-7-6(20)
C-20	9+500	0.20-1.50	M-2	CL	A-7-6 (14)
C-21	10+000	0.20-1.50	M-2	CH	A-7-5(20)
C-22	10+500	0.30-1.50	M-2	CH	A-7-5 (20)
C-23	11+000	0.20-1.50	M-2	CH	A-7-5(18)
C-24	11+500	0.15-1.50	M-2	CL	A-4 (4)
C-25	12+000	0.20-1.50	M-2	CL	A-6 (10)
C-26	12+500	0.30-1.50	M-2	CL	A-6 (10)
C-27	13+000	0.20-1.50	M-2	SM	A-3
C-28	13+500	0.20-1.50	M-2	CL	A-4 (5)
C-29	14+000	0.20-1.50	M-2	CH	A-7-6(20)
C-30	14+500	0.30-1.50	M-2	CH	A-7-6(20)
C-31	15+000	0.20-1.50	M-2	ML	A-5(8)
C-32	15+500	0.30-1.50	M-2	CL-ML	A-4 (2)
C-33	16+000	0.20-1.50	M-2	CL-ML	A-4(2)
C-34	16+500	0.20-1.50	M-2	CL	A-4 (3)
C-35	17+000	0.20-1.50	M-2	CL	A-7-6(16)
C-36	17+500	0.20-1.50	M-2	CL	A-4 (3)
C-37	18+000	0.30-1.50	M-2	CH	A-7-5(20)
C-38	18+500	0.20-1.50	M-2	CL	A-7-6 (20)
C-39	19+000	0.20-1.50	M-2	CL	A-6 (6)

**Fuente:** Elaboración Propia

**Nota:**

**CL:** Arcillas inorgánicas, de baja a mediana plasticidad, arcillas arenosas con pocas gravas.

**SW-SM:** Arenas graduadas con gravas, empacadas en una matriz de arenas limosas mezclas de gravas, arena y limos ligeramente arcillosos de mediana compacidad, ligeramente húmedas.

**CH:** Suelos arcillosos inorgánicos de alta plasticidad.

**CL-ML:** Suelos limosos arcillosos, mezclas de arenas limos y arcillas ligeramente húmedas.

**3.2.6.15. Nivel freático**

No hubo evidencia de nivel de napa freática alta.

**3.2.6.16. Análisis del valor relativo de soporte C.B.R.****De la Sub-rasante**

La capa superficial del terreno natural o capa de la plataforma en relleno, constituida por los últimos 0.55 m de espesor, debajo del nivel de la sub rasante proyectada, salvo que los planos del proyecto o las especificaciones especiales indiquen un espesor diferente, serán estudiados para la determinación del CBR de la sub-rasante, su capacidad de soporte en condiciones de servicio junto con el tránsito y la calidad de materiales de su construcción, influirá mucho en su espesor.

La sub- rasante correspondiente al fondo de la excavación en terreno natural o de la última capa del terraplén será clasificada en función al CBR, representativo en una de las 6 categorías siguientes:

**Tabla 43**

*Categorías de Sub rasante*

<b>Categorías de Sub rasante</b>	<b>CBR</b>
S <sub>0</sub> : Sub rasante inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

**Fuente:** “Manual de Carreteras” Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – MTC/14

Cuando la variedad de materiales predominantes en la sub rasante, no permitan mantener un criterio homogéneo en el momento de determinar el valor promedio de CBR y se tiene menos de 6 valores de CBR por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la sub rasante en función a los siguientes criterios:

Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.

Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio.

Como puede verse en el cuadro de resumen del trazo y siguiendo los criterios establecidos podemos caracterizar los tramos completos en dos sub tramos más o menos definidos, de la siguiente manera:

#### **Sub- Tramo Km 0+000 – Km 1+150**

En este tramo se tiene arenas graduadas con gravas, empacadas en una matriz de arenas limosas mezclas de gravas, arena y limos ligeramente arcillosos de mediana compacidad, ligeramente húmedas, con suelo de tipo SW-SM identificadas en el Sistema Unificado SUCS, también se presenta suelos de tipo CL, CH en pequeños tramos.

#### **Sub- Tramo Km 1+250 – Km 19+040**

Suelos de matriz arcillosa inorgánica de baja y alta plasticidad, con un suelo de tipo CL, CH, en algunos casos se tiene baja presencia de suelos limosos arcillosos, con mezclas de arenas limos y arcillas de tipo CL-ML.

Se realizaron ensayos CBR de laboratorio:

#### **Primer Tramo:**

Progresiva Km 0+500 (C-02), se obtuvo el siguiente valor:

Km 0+500 (C-02): CBR al 95% de la M.D.S.; 18.00

#### **Segundo Tramo:**

Progresivas:

Km 2+500 (C-06)

Km 4+000 (C-09)

Km 6+000 (C-13)

Km 6+500 (C-14)

Km 8+000 (C-17)

Km 9+000 (C-19)

Km 13+000 (C-27)

Km 15+500 (C-32)

Km 18+500 (C-38)

Se obtuvo los siguientes valores:

Km 2+500 (C-06): CBR al 95% de la M.D.S.; 11.00

Km 4+000 (C-09): CBR al 95% de la M.D.S.; 5.00

Km 6+000 (C-13): CBR al 95% de la M.D.S.; 5.20

Km 6+500 (C-14): CBR al 95% de la M.D.S.; 2.80

Km 8+000 (C-17): CBR al 95% de la M.D.S.; 2.90

Km 9+000 (C-19): CBR al 95% de la M.D.S.; 6.00

Km 13+000 (C-27): CBR al 95% de la M.D.S.; 13.00

Km 15+500 (C-32): CBR al 95% de la M.D.S.; 11.00

Km 18+500 (C-38): CBR al 95% de la M.D.S.; 6.00

En vista que se obtuvo algunos valores CBR menor < al 6%, se elaboró un cuadro donde se detalla los mejoramientos en los tramos y la obtención de CBR equivalente > 6 %, para la determinación del CBR equivalente en el tramo II.

Para obtener CBR<sub>e</sub> promedio se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{CBR.Equiv.} = ((\text{CBR}_{sr} \times \text{hsr}^2) + (\text{CBR}_{mej} \times \text{hmej}^2)) / (\text{hsr}^2 + \text{hmej}^2)$$

**Donde:**

C.B.R. <sub>Mej</sub> = C.B.R. del mejoramiento

C.B.R. <sub>sr</sub> = C.B.R. de la Sub rasante

H <sub>Mej</sub> = Altura De Mejoramiento

H <sub>sr</sub> = Altura de estrato de la Subrasante por debajo del mejoramiento

C.B.R. <sub>Equiv</sub> = C.B.R. equivalente de diseño.

**Tabla 44***Capacidad de Soporte de la Subrasantes (CBRs) mejorados*

SECTORES DE MEJORAMIENTOS		CBR		ALTURA POR DEBAJO DEL MEJORAMIENTO	ALTURA DE MEJORAMIENTO	CBR EQUIV.
Prog. Inicial	Prog. Final	CBR 95% Subras.	CBR 95% Mejor.	(m)	(m)	
KM 01+320	KM 02+250	3.50	12.0	0.75	0.55	6.47
KM 02+750	KM 06+250	5.00	12.0	0.80	0.50	6.97
KM 06+250	KM 07+150	2.80	12.0	0.65	0.55	6.64
KM 07+600	KM 08+800	2.90	12.0	0.65	0.55	6.70
KM 09+800	KM 11+250	6.00	12.0	0.90	0.40	6.99
KM 11+850	KM 12+800	6.00	12.0	0.80	0.40	7.20
KM 13+800	KM 15+250	6.00	12.0	0.90	0.40	6.99
KM 16+700	KM 17+300	6.00	12.0	0.80	0.40	7.20
KM 18+700	KM 19+040	6.00	12.0	0.90	0.40	6.99

**Fuente:** Elaboración Propia

Del cuadro anterior se determinó el CBR equivalente de diseño para el tramo II; el Tramo I presenta un CBR y tipo de suelo más favorable, por lo que no será necesario mejoramientos. En los siguientes cuadros se muestran el resumen de los CBR de diseños empleados en el diseño de pavimento para ambos tramos; así como los niveles de mejoramiento de suelos en los tramos II.

**Tabla 45***Resumen de CBR de diseño en los tramos I y II*

DESCRIPCION	KM	CBR dis (95%)
Tramo I	0+000 – 1+150	18.00
Tramo II	01+250 – 19+040	6.90

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.2.6.17. Estudio del tráfico

Para el estudio tráfico se determinó las incidencias de las cargas y volumen vehicular con la finalidad de obtener el parámetro del tráfico, para lo cual fue necesario la evolución del tráfico actual mediante la realización de un conteo vehicular con clasificación.

En el estudio tráfico el IMDA obtenido para todo el tramo en estudio es inferior a 400veh/día, que clasificarían la vía como una Carretera de Tercera Clase, sin embargo se realizó el estudio para dos tramos y, dicho estudio concluye que una vez puesta en operación la vía asfaltada, el incremento de tráfico en la vía será tal que en los primeros años, el IMDA superará los 400veh/día.

En el estudio tráfico el IMDA obtenido para el primer tramo (Discoteca la CHACRA hasta la vía de evitamiento) supera los 400veh/día, clasificándola como una CARRETERA DE SEGUNDA CLASE, y el Segundo tramo (desde la vía de evitamiento hasta el caserío de San Rafael) no supera los 400veh/día, por lo tanto, se lo clasifica como una CARRETERA DE TERCERA CLASE.

Para la realización del censo volumétrico de tráfico, se definió puntos de conteo:

Calle Prolongación Libertad. (Discoteca La CHACRA Km 0+00)

Carretera Yurimaguas - Munichis Km. (OVALO Km 1+220)

Los conteos se realizaron por siete días (del 10 al 16 de abril del 2017) las 24 horas del día.

Los trabajos de campo fueron supervisados por los tesisistas.

#### **Determinación del índice medio diario anual (IMDA)**

Para la determinación del IMDA se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{IMDA} = \text{FCE} * ((\text{VL} + \text{VM} + \text{VMi} + \text{VJ} + \text{VV} + \text{VS} + \text{VD}) / 7)$$

#### **Donde:**

FCE: es el factor de corrección por variación mensual. VL, VM, VMi, VJ, VV, VS, VD: son los volúmenes de tráfico de los días lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo.

#### **Aplicación de los Factores de Corrección de Tráfico**

En vista que esta vía no cuenta con estación de peaje, para la determinación de los factores de corrección del IMDA en cada estación de censo se consideró los factores de Corrección Estacional (FCE) del peaje de Moyobamba, Ruta R-05N correspondiente al mes de Abril:

Para este estudio se adopta el valor de:

FCE = 1.0514694 Vehículos Ligeros

FCE = 1.0763122 Vehículos Pesados

### Proyecciones del Tráfico

Para establecer las tasas de generación de viajes, se elaboraron matrices origen y destino. Para proyectar el tráfico de pasajeros, se ha considerado la tasa de crecimiento de la población. La tasa de crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI), se tomó de la información proporcionada por el INEI, específicamente de Agricultura, Caza y Silvicultura: Valor Agregado Bruto por Años, según Departamentos.

**Tabla 46**

*PBI Loreto*

<b>P.B.I LORETO</b>											
<b>Agricultura, Caza y Silvicultura: Valor Agregado Bruto por Años, según Departamentos Valores a Precios Constantes de 1994 (Miles de nuevos soles)</b>											
Departamentos	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Loreto</b>	414,71	441,36	451,78	475,26	479,95	477,07	491,12	496,58	534,57	543,24	528,26
$\Delta\%$ anual		6.43%	2.36%	5.20%	0.99%	-0.60%	2.94%	1.11%	7.65%	1.62%	-2.76%
$\Delta\%$ periodo		6.43%	4.37%	4.65%	3.72%	2.84%	2.86%	2.61%	3.22%	3.05%	<b>2.45%</b>

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística e Informática

Para la tasa de crecimiento de la población se ha tomado datos oficiales de los Censos Nacionales de 1993 y 2007.

**Tabla 47**

*Crecimiento Poblacional*

<b>CRECIMIENTO POBLACIONAL</b>					
Área de Influencia Distrito	Población				Tasa de Crecimiento Inter Censal 1993-2007
	1993		2007		
	Absoluto	%	Absoluto	%	
<b>Prov. Alto Amazonas</b>					
Dist. Yurimaguas	50,369	100.00%	63,345	100.00%	1.65%
<b>Total</b>	<b>50,369</b>	<b>100.00%</b>	<b>63,345</b>	<b>100.00%</b>	<b>1.65%</b>

**Fuente:** INEI - Censos nacionales de 1993 y 2007.

Las tasas de generación de viajes se calcularon para cada clase de vehículo, de acuerdo a las siguientes clases de vehículos:

Para vehículos de pasajeros: Tasa de Crecimiento de la Población de la Ciudad de Yurimaguas.

Para vehículos de carga: Tasa de Crecimiento del P.B.I. de la Región Loreto.

### Resultados del estudio de tráfico

En primer lugar, se elaboraron los cuadros de Conteo y Clasificación del Tráfico de los dos (02) Puntos de Conteo, desde el día lunes 10 al domingo 16 de abril del 2017.

**Tabla 48**

*Conteo y Clasificación de Trafico Tramo I, sin considerar Motocicletas y Moto taxis*

	Lunes 10/04/2017	Martes 11/04/2017	Miércoles 12/04/2017	Jueves 13/04/2017	Viernes 14/04/2017	Sábado 15/04/2017	Domingo 16/04/2017
<b>Auto</b>	95	112	155	185	106	76	113
<b>Pick up</b>	161	184	177	110	161	208	184
<b>Combi Rural</b>	47	3	95	45	61	29	95
<b>Micro</b>	0	0	9	2	9	3	10
<b>Bus 2E</b>	0	0	0	0	0	2	0
<b>Bus 3E</b>	0	5	0	0	0	0	0
<b>Camión 2E</b>	83	125	110	93	60	89	130
<b>Camión 3E</b>	30	20	9	4	20	1	16
<b>Camión 4E</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	416	449	555	439	417	408	548

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 49**

*Conteo y Clasificación de Trafico Tramo II, sin considerar Motocicletas y Moto taxis.*

	Lunes 10/04/2017	Martes 11/04/2017	Miércoles 12/04/2017	Jueves 13/04/2017	Viernes 14/04/2017	Sábado 15/04/2017	Domingo 16/04/2017
<b>Auto</b>	129	93	112	87	98	111	85
<b>Pick up</b>	93	64	72	79	85	131	99
<b>Combi Rural</b>	19	2	8	2	4	10	15
<b>Micro</b>	0	0	0	4	0	0	0
<b>Bus 2E</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Bus 3E</b>	2	0	0	4	4	2	3
<b>Camión 2E</b>	55	65	69	50	40	56	72
<b>Camión 3E</b>	10	8	4	4	15	2	9
<b>Camión 4E</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	308	232	265	230	246	312	283

Fuente: Elaboración Propia

Por último, se efectuaron los ajustes para determinar el I.M.D.A. y la composición del tráfico por tipo de vehículo, para los tramos I y II, para lo cual se utilizó el Factor de Corrección Estacional del peaje de Moyobamba del mes de Abril:

FCE = 1.0514694 Vehículos Ligeros

FCE = 1.0763122 Vehículos Pesados

**Tabla 50**

*Conteo y Clasificación de Trafico Tramo I, aplicando el F.C.E*

	Promedio Diario	%	F.C.E Mes de ABRIL	IMD Corregido
<b>Auto</b>	120	26.05%	1.051469	<b>126</b>
<b>Pick up</b>	169	36.66%	1.051469	<b>178</b>
<b>Combi Rural</b>	54	11.60%	1.051469	<b>56</b>
<b>Micro</b>	5	1.02%	1.051469	<b>5</b>
<b>Bus 2E</b>	0	0.06%	1.076312	<b>0</b>
<b>Bus 3E</b>	1	0.15%	1.076312	<b>1</b>
<b>Camión 2E</b>	99	21.35%	1.076312	<b>106</b>
<b>Camión 3E</b>	14	3.09%	1.076312	<b>15</b>
<b>Camión 4E</b>	0	0.00%	1.076312	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>462</b>	<b>100.00%</b>		<b>488</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 51**

*Conteo y Clasificación de Trafico Tramo II, aplicando el F.C.E*

	Promedio Diario	%	F.C.E Mes de ABRIL	IMD Corregido
<b>Auto</b>	102	38.11%	1.0514694	<b>107</b>
<b>Pick up</b>	89	33.21%	1.0514694	<b>94</b>
<b>Combi Rural</b>	9	3.20%	1.0514694	<b>9</b>
<b>Micro</b>	1	0.21%	1.0514694	<b>1</b>
<b>Bus 2E</b>	0	0.00%	1.0763122	<b>0</b>
<b>Bus 3E</b>	2	0.80%	1.0763122	<b>2</b>
<b>Camión 2E</b>	58	21.70%	1.0763122	<b>63</b>
<b>Camión 3E</b>	7	2.77%	1.0763122	<b>8</b>
<b>Camión 4E</b>	0	0.00%	1.0763122	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>268</b>	<b>100.00%</b>		<b>283</b>

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que no contamos con datos de pesaje se va a asumir los factores destructivos adoptando como eje estándar o de referencia un eje simple de 8.2 tn. (18,000 libras), determinándose los factores de equivalencia siguiendo el Manual de Carreteras del MTC sección Suelos y Pavimentos; basado en la metodología AASHTO, la misma que tiene por criterio de comparación la valorización de la pérdida de la serviciabilidad del pavimento por efecto de la carga.

### Cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes

El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 tn de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg<sup>2</sup>. Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento.

Para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes se utilizó la siguiente fórmula:

$$N_{\text{rep de EE}_{8.2 \text{ tn}}} = \sum (\text{EE}_{\text{día-carril}} \times \text{Fca} \times 365)$$

#### Donde:

**EE<sub>día-carril</sub>**: Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño.

**Fca**: Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado

**365**: Número de días de años

Para el cálculo de los EE, se utilizaron las relaciones simplificadas y demás datos necesarios, que se obtuvieron del manual de diseño de pavimentos vigente, las cuales se presentan en los anexos.

Con los datos, calculamos y proyectamos la demanda de vehículos, el Numero de Ejes Equivalentes que soportara nuestra estructura de pavimento.

#### Tabla 52

*Clasificación de los tramos según el número de EE.*

DESCRIPCION	KM	EE CALCULADO	EE ASUMIDO	TIPO
TRAMO I	0+000 – 1+220	1'202,616.00	1'202,616.00	TP5
TRAMO II	1+220 – 19+041.07	716,000.00	716,000.00	TP4

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.2.6.18. Diseño del pavimento flexible

Teniendo en cuenta que el pavimento cumple una función de soportar la carga de los vehículos; es uno de los puntos más importantes en la construcción de carreteras; y cuyas funciones principales son las de proporcionar una superficie de rodadura uniforme.

El espesor del pavimento está en función del tráfico, la resistencia y las características influyentes de los materiales disponibles o escogidos para la capa de la estructura, condiciones del clima y medio ambiente, etc.

En nuestro caso se diseñará la estructura del pavimento flexible mediante el método AASHTO 93 DE DISEÑO, para un periodo de diseño de 10 años, el cual implica calcular el Número Estructural requerido (SNr) mediante la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(W18) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left( \frac{(\Delta PSI)}{4.2 - 1.5} \right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(MR) - 8.07$$

Los valores de las variables de la ecuación de diseño AASHTO se obtuvieron de las tablas que nos brindan el **Manual de Carreteras del MTC 2013, Sección suelos y Pavimentos**, del estudio de tráfico y del estudio de suelos, obteniendo los siguientes valores:

**Tabla 53**

*Valores de las variables de la ecuación AASHTO*

VARIABLE DE LA ECUACION	TRAMO I	TRAMO II
Número de ejes equivalentes total (W18)	1202616.00	716000.00
Factor de confiabilidad (R)	0.85	0.80
Desviación estándar normal (Zr)	-1.036	-0.842
Desviación estándar combinada (So)	0.45	0.45
Módulo de resiliencia de la subrasante (Mr, ksi)	16.247	8.795
Serviciabilidad inicial (pi)	4.00	3.80
Serviciabilidad final (pf)	2.50	2.00
Variación de Serviabilidad ( $\Delta PSI$ )	1.50	1.80
	<b>SN req</b>	<b>2.58</b>
		<b>2.85</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

Con los datos obtenidos y procesados se aplican a la ecuación de diseño AASHTO y se obtiene el Número Estructural, que representan el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituirán, o sea

de la capa de rodadura, de base y de sub base, mediante el uso de los coeficientes estructurales, esta conversión se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

**Tabla 54**

*Calculo del SN de diseño del Tramo I*

CAPA	Espesor (cm)	Coef/cm	Coef drenaje "m"	SN diseño
Concreto Asfaltico	6.35	0.17	1	1.08
Base	15	0.052	0.9	0.70
Sub Base	20	0.047	0.9	0.85
<b>TOTAL</b>				2.63

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 55**

*Calculo del SN de diseño del Tramo I*

CAPA	Espesor (cm)	Coef/cm	Coef drenaje "m"	SN diseño
Concreto Asfaltico	5	0.17	1	0.85
Base	20	0.052	0.9	0.94
Sub Base	25	0.047	0.9	1.06
<b>TOTAL</b>				2.85

**Fuente:** Elaboración Propia

El SN de diseño  $\geq$  que el SN requerido, asimismo los espesores están en función a las dimensiones mínimas del manual del MTC, por lo que se acepta el diseño.

### 3.2.6.19. Dosificación de material para uso de sub bases y bases

#### Sub base granular

Los materiales a utilizar en la conformación de la Sub Base Granular de un pavimento deben cumplir los siguientes requisitos:

**Tabla 56**

*Requerimiento granulométrico para Sub Bases Granulares*

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso		
	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2"	100		
1"	75-95	100	100
3/8"	40-75	50-85	60-100
N.º 4	30-60	35-65	50-85
N.º 10	20-45	25-50	40-70
N.º 40	15-30	15-30	25-45
N.º 200	5-15	5-15	8-15

**Fuente:** Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - MTC

**Tabla 57**

*Requerimiento de Ensayos Especiales*

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento < 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	50 % max.
CBR	MTC E 132	40 % min.
Limite Liquido	MTC E 110	25 % max.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	6 % max.
Equivalente de Arena	MTC E 114	25 % min.
Sales Solubles	MTC E 219	1 % max.

**Fuente:** Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – MTC

#### Base

Los materiales a utilizar en la conformación de la Base Granular de un pavimento deben cumplir los siguientes requisitos:

**Tabla 58***Requerimiento granulométrico para Bases Granulares*

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso		
	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2"	100		
1"	75-95	100	100
3/8"	40-75	50-85	60-100
N.º 4	30-60	35-65	50-85
N.º 10	20-45	25-50	40-70
N.º 40	15-30	15-30	25-45
N.º 200	5-15	5-15	8-15

**Fuente:** Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – MTC**Tabla 59***Requerimiento de Agregado Grueso*

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento < 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40 % máx.
CBR (EE < 1000000)	MTC E 132	80 % min.
CBR (EE ≥ 1000000)	MTC E 132	100 % min.
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	80 % min.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	40 % min.
Sales Solubles	MTC E 219	0.5 % máx.

**Fuente:** Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - MTC**Tabla 60***Requerimiento de Agregado Fino*

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento < 3000 msnm
Índice de Plasticidad	MTC E 111	4 % max.
Equivalente de Arena	MTC E 114	35 % min.
Sales Solubles	MTC E 219	0.5 % max.

**Fuente:** Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – MTC**3.2.6.20. Desarrollo del estudio de impacto ambiental**

En el estudio de impacto ambiental (EIA) de la carretera se han considerado medidas preventivas y/o correctivas que serán necesarios ejecutar para evitar el deterioro del medio

ambiente, como también las medidas más adecuadas de apoyo comunitario para lograr conciliar los beneficios esperados del proyecto con las necesidades de la población local.

Las medidas se realizan con la finalidad de evaluar las repercusiones que representan los diferentes trabajos de construcción de la carretera, con respecto al medio ambiente, determinado por potenciales efectos en el medio ambiente y el contexto socio económico del proyecto.

Como en todo cambio de relieve terrestre, efectuado por la mano del hombre, se tiene impactos ecológicos de importancia para los seres vivientes de la zona, ya que estamos alterando el medio natural en donde se desenvuelven, y a la vez obligándolos a su extinción inminente.

Por tanto, se deben compensar con medidas de mitigación y contingencia para las especies afectadas, para por lo menos si no reparar (que nunca se va dar) su hábitat, al menos compensemos su área necesaria de vivir libremente en este pedazo de tierra en el cual estamos inmersos.

Las obras civiles que se construirán, ocasionarán cambios en el uso del suelo, mejora de la infraestructura vial existente aledañas al proyecto, generando además en las etapas de construcción y operación del proyecto una mayor demanda de empleo, mejora en el nivel de ingresos de la población local, como también afianzará un mayor dinamismo comercial.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Características más sobresalientes de la carretera

Longitud total = 19.04 Km.

Número de curvas horizontales = 77

Ancho de calzada

Primer tramo = 7.20 m

Segundo tramo = 6.60

#### 4.2. Características geométricas del diseño

**Tabla 61**

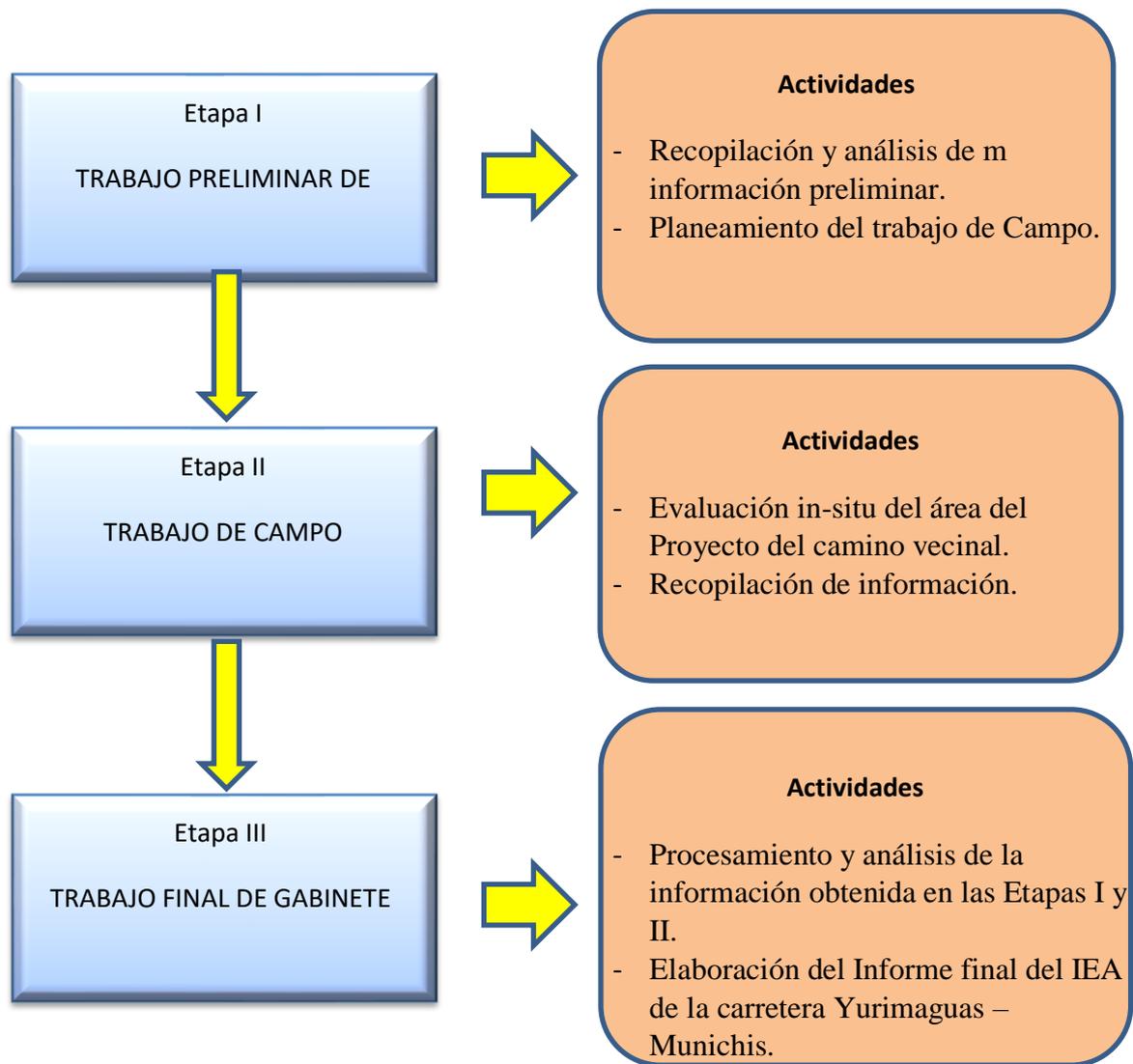
*Características geométricas de la carretera*

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE DISEÑO	PRIMER TRAMO	SEGUNDO TRAMO
	Km 0+000 - Km 1+220	Km 1+220 - Km 19+041.07
Tipo de Vía	2da Clase	3ra Clase
Velocidad Directriz	60 Km/h	40 Km/h
Radio Mínimo	60 m	55 m
Peralte Máximo	4.00%	6.00%
Pendiente Máxima	6.00%	9.00%
Bombeo	2.5%	2.5%
N° de Carriles	2	2
Berma	2.00 m C/lado	0.90 m C/lado
Cunetas	Ver diseño de cunetas	

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.3. Estudio de impacto ambiental

La evaluación de impacto ambiental tiene por objeto identificar, analizar, predecir y evaluar sistemáticamente las posibles consecuencias ambientales que puedan ocasionar un proyecto durante las etapas de diseño, ejecución, operación y/o mantenimiento, con el propósito de establecer medidas de prevención, corrección y mitigación, valorando los mismos, con el fin de ser aceptado, modificado y/o rechazado.



**Figura 14:** Etapas del informe de evaluación ambiental (Fuente: Elaboración propia)

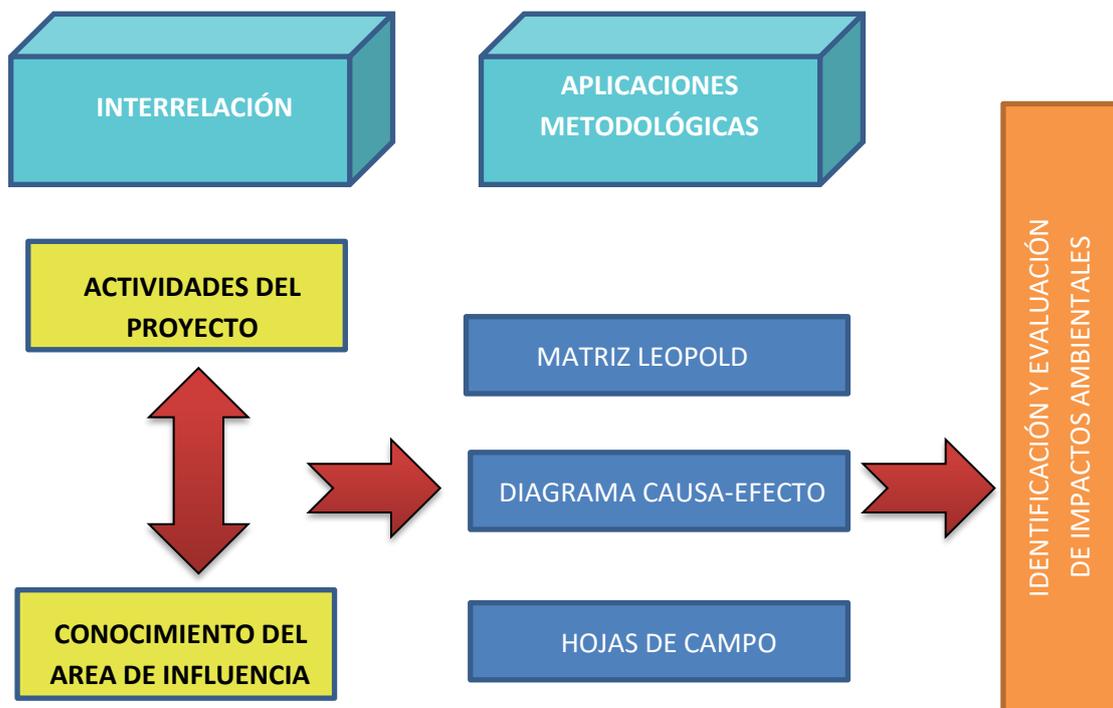


Figura 15: Identificación y evaluación de impactos ambientales (Fuente: Elaboración propia)

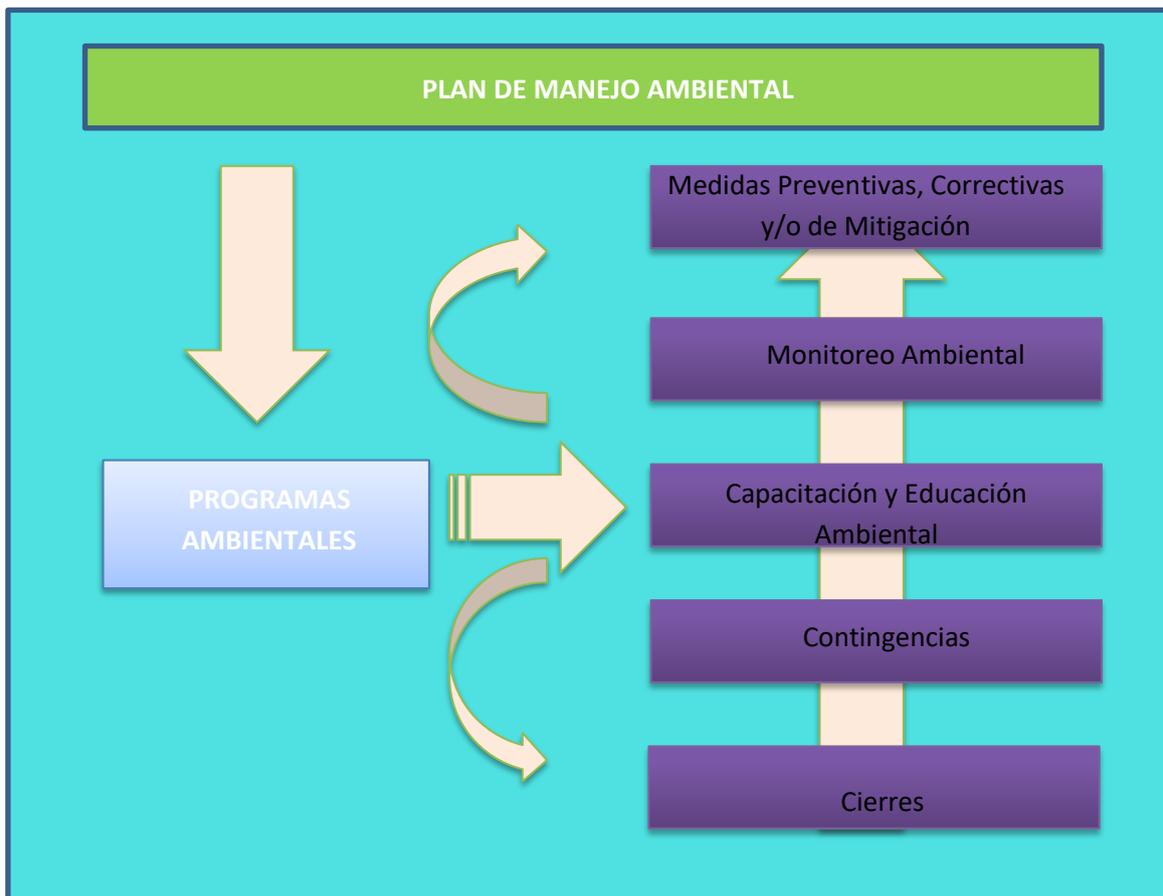


Figura 16: Ordenamiento del plan de manejo ambiental (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.4. Resultados del estudio del suelo

##### Valor relativo soporte california (C.B.R) suelos del terreno

Tramo I: 18.00 % (Km 0.00 – Km 1+150)

Tramo II: 6.90 % (Km 1+250 – Km 19+040)

#### 4.5. Resultados del estudio de cantera

A fin de determinar el material que se debe emplear en la construcción de la Sub – Base, Base y capa de rodadura de la estructura del pavimento, se estudió los depósitos de suelos de las siguientes Canteras:

Cantera del Río Huallaga – Papaplaya:

Grava mal graduada T.M 2”

Arena Triturada T.M ¼”

Cantera del Río Parapapura (Km 14+170) (Arena mal graduada)

Cantera de Arena Arcillosa Limosa (SM-SC) (Km 8+520)

#### 4.6. Resultados sobre el tráfico proyectado.

##### Tabla 62

*Número de Ejes Equivalentes que soportara la estructura de pavimento.*

DESCRIPCION	KM	EE CALCULADO	EE ASUMIDO	TIPO
TRAMO I	0+000 – 1+220	1'202,616.00	1'202,616.00	TP5
TRAMO II	1+220 – 19+041.07	716,000.00	716,000.00	TP4

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.7. Resultados del diseño del pavimento

##### Tramo I

Capa de rodadura = 2.5” (6.35 cm)

Base = 6” (15.00 cm)

Sub Base = 8” (20.00 cm)

**Tramo II**

Capa de rodadura = 2" (5.00 cm)

Base = 8" (20.00 cm)

Sub Base = 10" (25.00 cm)

**4.8. Resultados de obras de arte****Tramo I: (Zona Urbana)**

Cunetas de sección rectangular: 0.40 x 0.40 m

**Tramo II: (Zona Rural)**

Cunetas de sección triangular: (0.50 x 1.25 m)

## CAPITULO V

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La longitud de la carretera, así como algunas otras características de la mismas se obtuvieron después de realizar los trabajos topográficos de campo y los cálculos de gabinete, considerando el trazo de la vía existente.

Las características geométricas de la carretera se obtuvieron respetando los parámetros exigidos del Manual de Diseño de Carretera - MTC, y por ser en el Primer Tramo una carretera de Segunda Clase y en el Segundo Tramo una carretera de Tercera Clase los parámetros excepcionales suelen salir a relucir en el diseño del mismo, permitiendo así lograr una geometría más compacta.

En el estudio de tráfico el IMDA obtenido es inferior a 400veh/día, que clasificarían la vía como una Carretera de Tercera Clase, sin embargo se realizó el estudio para dos tramos y, dicho estudio concluye que una vez puesta en operación la vía asfaltada, el incremento de tráfico en la vía será tal que en los primeros años, donde el IMDA superará los 400veh/día, consecuentemente para el desarrollo del presente estudio, llegando así a obtener del Manual de Diseño de Carretera – MTC, para el Primer Tramo como una CARRETERA DE SEGUNDA CLASE y el Segundo tramo como una CARRETERA DE TERCERA CLASE según Categoría.

Para los estudios de mecánica de suelo se realizaron 39 calicatas, siguiendo los criterios establecidos podemos caracterizar los tramos completos en dos sub tramos más o menos definidos, dándonos características de la siguiente manera: En el sub tramo km 0+000 – km 1+150 se tiene arenas graduadas con gravas, empacadas en una matriz de arenas limosas mezclas de gravas, arena y limos ligeramente arcillosos de mediana compacidad, ligeramente húmedas, con suelo de tipo SW-SM identificadas en el Sistema Unificado SUCS, también se presenta suelos de tipo CL, CH en pequeñas proporciones.

Y en el sub tramo km 1+250 – km 19+040, se presenta suelos de matriz arcillosa inorgánica de baja y alta plasticidad, con un suelo de tipo CL, CH, en algunos casos se tiene baja presencia de suelos limosos arcillosos, con mezclas de arenas limos y arcillas de tipo CL-ML. Por lo que estos suelos no serán utilizados para rellenar los tramos donde se necesiten llegar a la cota de la subrasante, además se debe tener en cuenta que no se llegó al nivel freático en ninguna de las calicatas.

Los valores del CBR son promedios dentro los cuales existen dos sub tramos más o menos definido, de la siguiente manera:

Que el valor relativo CBR entre el Km 0+000 – Km 1+220 es de 18.00%

Que el valor relativo CBR entre el Km 1+220 – Km 19+041.07 es de 6.90 %

### **5.1. Selección de alternativas**

De acuerdo al análisis y diseños realizados se opta como una alternativa válida el diseño geométrico la que propone como alternativa de mejoramiento de la carretera Yurimaguas – Munichis con el diseño de un pavimento flexible dotando de una vía rápida segura y eficaz; reduciendo altos costos de transporte.

### **5.2. Contrastación de la hipótesis**

Analizando los diseños respectivos, la hipótesis se comprueba seleccionando la mejor alternativa y comparando los resultados con lo propuesto en ella.

Del análisis técnico, se desprende que la alternativa seleccionada de diseño geométrico para la construcción de la infraestructura vial, permite a la población de Munichis contar con una vía en condiciones óptimas para el traslado rápido, eficaz y seguro de sus productos agrícolas.

El diseño y ejecución vial incrementará enormemente los ingresos de la población de Munichis, y por ende mejorando sus condiciones de vida.

Con el potencial productivo y social de esta localidad, el cual con la construcción de la carretera a nivel de asfalto permitirá la explotación de la cantidad de recursos que posee esta localidad, permitiendo así mejorar la calidad de vida de la zona de influencia directa e indirecta del proyecto.

En conclusión, estamos en condiciones de afirmar que el diseño geométrico y de asfalto de la carretera Yurimaguas – Munichis, permite contar con una vía segura y rápida donde la población pueda trasladar sus productos a los mercados más importantes de la región, indicando así que se incrementa el nivel de vida de la población; lo cual contrasta nuestra hipótesis como verdadera.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones:

El terreno de nuestra zona de estudio varía entre plano ( $P < 3\%$ ) y ondulado ( $3\% \leq P < 6\%$ )

Del estudio de mecánica de suelos se tiene que la mayor parte de los suelos están compuestos de arcillas de mediana y alta plasticidad; por lo tanto, habrá tramos donde se realizarán mejoramientos.

Es importante hacer un análisis detallado y minucioso del crecimiento poblacional y económico de la población en estudio, estudiar sus características y el comportamiento de la curva para la aplicación de un método adecuado de proyección de la intensidad del tráfico, el cual es factor importante para el diseño de una carretera.

Para el diseño Geométrico de la carretera se consideraron los criterios y recomendaciones del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2014 del MTC.

El periodo de diseño será 10 años para todas las estructuras, considerando los diversos parámetros de la vida útil de los elementos que conforman la infraestructura vial.

Para el cálculo del Espesor del pavimento se ha tomado los criterios y parámetros obtenidos del Manual de Carreteras: Sección Suelos y Pavimentos. Concluyendo en el Tramo I un espesor de 41.35 cm y en el Tramo II un espesor de 50 cm.

Los radios se han adoptado en función a la velocidad directriz y las condiciones topográficas del terreno, siendo necesario adoptar radios con longitudes iguales al mínimo excepcional.

#### 6.2. Recomendaciones:

En el estudio definitivo para la construcción de una carretera deberá conectar la mayor cantidad de comunidades ya que así generará mayor desarrollo.

Para elaborar un proyecto de Carreteras es necesario tener bastante claro los conceptos de Normas de Diseño Geométrico, ya que esto garantizará un funcionamiento óptimo de la vía.

Se debe hacer una eficiente evaluación del impacto ambiental en los proyectos de construcción y ejecución de infraestructuras viales en su conjunto, considerando todos los factores de riesgo ambiental y las medidas de mitigación correspondientes.

Se debe considerar la evaluación de peligro, vulnerabilidad y riesgos en las zonas en donde se van a diseñar el proyecto ya que debido a la importancia que generará a la población beneficiada, estos tienen que estar diseñando técnicamente para soportar las inclemencias de los factores climatológicos y de la naturaleza (inundaciones, sismos, etc).

El aspecto geométrico se deberá ejecutar de acuerdo a lo estipulado en los planos, salvo alguna variante por motivo de fuerza mayor; pero se deberá hacer prevalecer lo técnico a lo económico.

En el aspecto constructivo se debe tener cuidado en la calidad de los materiales debiendo ser estos de primera calidad y cumplir con los requisitos mínimos exigidos para este tipo de obra.

Como las carreteras están permanentemente expuestas a las inclemencias del tiempo y influencia de las cargas, es necesario un mantenimiento periódico.

Se deberá implementar un plan de mantenimiento de la infraestructura vial dándole énfasis al sistema de drenaje, puesto que estadísticamente está demostrado que el agua es el mayor causante de daños y destructor de caminos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, J (2008)., *Mecánica de Suelos*. Editorial Centro de Estudiantes de Ingeniería Civil – UNI. Lima – Perú.
- Bonett, G (2011)., *Guía de Procesos Constructivos de una Vía en Pavimento Flexible*.
- Braja, D (2014), *Principios de ingeniería de cimentaciones*, Cuarta Edición.
- Cárdenas, J (2002), *Diseños Geométricos de Carreteras*. Primera Edición, Bogotá – Colombia, octubre.
- Coronado, J (2011), *Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos*.
- Ediciones Ciencias (1996), *El Arte del Trazado de Carreteras*, Lima – Perú, Editorial “Ciencias” S.R.L.
- French, R (2013)., *Hidráulica de Canales Abiertos*.
- Guerra, C (1997), *Carreteras, Ferrocarriles, Canales, Localización y Diseño Geométrico*, Editorial América, Tercera Edición, Lima – Perú, Febrero.
- Juárez, E (2005); *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*, Editorial Limusa, México.
- Manual de Carreteras (2014), *Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*, Sección suelos y pavimentos, Lima-Perú, abril.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008), *Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de bajo Volumen de Tránsito* Lima – Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2009), *Normas Peruanas Para el Diseño de Carreteras*, Lima – Perú, 115 páginas.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014), *Manual de carreteras: Diseño geométrico – DG*.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*, Lima – Perú. 222 páginas.

Olivera, F (1998). *Estructuración de Vías Terrestres*. Segunda Edición, México.

Proyecto Especial Alto Huallaga (2009), “*Mejoramiento y Rehabilitación de la carretera vecinal Magdalena-Bagazan*”

Paredes, R (2003), *Proyecto a nivel de ejecución de la carretera Saposoa – Paltaco*, (Tesis).

Ruiz, W (2011), *Diseño Geométrico y de Pavimento del camino vecinal Santa Rosa Nueva Chanchamayo Provincia de Bellavista Región San Martín*. (Tesis).

Taylor, D (1961). *Principios Fundamentales de Mecánica de Suelos*. Primera Edición, octubre.

Torres, J (2011), *Estudio de una Carretera Método Topográfico*. (Tesis) UCV, Trujillo.

Villon, M (1995). *Hidráulica de Canales*, Editorial Tecnológica de Costa Rica. Primera Edición.

## **ANEXOS**