



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA
PROLONGACIÓN DE LA AV. LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN
SEBASTIÁN – GRIFO MOBIL DE SAN JERÓNIMO)”**

Presentado por los Bachilleres:

Auccahuaqui Yanque, Irvin Kenyo

Corahua Hilaquita, Ronald Yuseut

**Para optar al Título Profesional de Ingeniero
Civil**

Asesor:

Mg. Ing. Víctor Chacón Sánchez.

CUSCO - PERÚ

2016



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis queridos padres: Alberto y Génice, a mis abuelos Julián, Juana y Melchora y a mi hermano Angelito, por su constante apoyo moral, paciencia y comprensión para la culminación de mi Carrera Profesional.

Gracias los quiero mucho.

KENYO

A mis queridos padres: Jorge y Nohemí por la fé y confianza que siempre me han brindado. Quiero que éste sea un pequeño reconocimiento a su gran esfuerzo en la vida.

RONALD



AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis primeramente nos gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado, porque hiciste realidad nuestro sueño anhelado.

A la UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO por darnos la oportunidad de estudiar y ser unos profesionales.

A nuestro Asesor de tesis, Ing. Víctor Chacón Sánchez por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en nosotros podamos terminar con éxito nuestra investigación.

También nos gustaría agradecer a nuestros Docentes que durante toda nuestra carrera profesional han aportado con un granito de arena a nuestra formación, y en especial al Ing. Henry Enciso Boluarte por su enseñanza y más que todo por su amistad.

Auccahuaqui Yanque, Irvin Kenyo
Corahua Hilaquita, Ronald Yuseut



RESUMEN

La presente tesis denominada “Evaluación del Sistema de Pavimentos Flexibles en la Prolongación Av. La Cultura tramo (4to Paradero de San Sebastián – Grifo Mobil de San Jerónimo)”. Tiene por objetivo, evaluar el estado actual del pavimento flexible, donde se ha observado un gran número de deformaciones (Ahuellamiento) de su carpeta de rodadura.

Esta vía estructural es de suma importancia ya que es usada como entrada y salida de la ciudad, la cual ha sido repavimentada hace cuatro años y en este tiempo ha presentado diversas fallas, donde el ahuellamiento es el predominante, lo que nos ha llevado a evaluar mediante los ensayos: de CBR in situ (resistencia al corte), Marshall (fluidez y estabilidad), contenido de asfalto; y el re cálculo del ESAL, para determinar el motivo de sus deformaciones.

La evaluación realizada y los resultados obtenidos fue comparada para su validez con las normas nacionales vigentes, siendo que el paquete estructural: en cuanto al porcentaje de asfalto en la carpeta de rodadura está dentro de los parámetros establecidos, por otra parte la fluidez de las tres muestras analizadas solo una está dentro de los parámetros permitidos y en su estabilidad los ejemplares analizadas todos están por encima de lo permitido; sin embargo en cuanto a la resistencia al corte de la base y sub base los valores obtenidos mediante el CBR in Situ están por debajo de las condiciones estipuladas; en relación a los espesores, la carpeta de rodadura recalculada (ESAL), está dentro de los espesores mínimos recomendados, en cuanto a la base y sub base al realizar una medición en campo se verifico que no se ejecutó como indicaba el expediente técnico.

Con este análisis hemos llegado a concluir que el paquete estructural: en cuanto a la carpeta de rodadura tiene un contenido de asfalto en promedio del 7.14% y esto debería hacer que la vía funcione en óptimas condiciones, por otra parte, la estabilidad se encuentra por encima de 816 kg ya que contando con estos valores el pavimento debe ser rígido y durable; en cuanto a la resistencia al corte de la base (promedio 30%) y sub base (promedio 7%) al no cumplir con el CBR in Situ siendo este el principal motivo que genera las deformaciones probablemente a una deficiente compactación y aspectos constructivos; en cuanto a los espesores, la carpeta de rodadura con ayuda del ESAL recalculado tiene un espesor de 4” que cumplen para el volumen vehicular actual.

Por lo tanto, se sugiere realizar un control de calidad del proceso constructivo para este tipo de infraestructuras viales, así como también la incorporación del diseño de mezclas Superpave (ESAL mayor a 10^7) para obtener mezclas más durables puesto que el pavimento no ha cumplido con su vida útil.

Palabras clave: pavimento, asfalto, base, sub base, sub rasante, porcentaje de asfalto, CBR, fluidez, estabilidad.



ABSTRACT

This thesis entitled "System Evaluation Flexible Pavements in Av Prolongation Culture section (4th Whereabouts of San Sebastian - St. Jerome Grifo Mobil)". It aims to assess the current state of the flexible pavement, where there has been a large number of deformations (rutting) of the road surface.

This structural approach is important because it is used as input and output of the city, which has been repaved four years ago and in this time has presented several faults, where rutting is the predominant, which has led us to evaluate by tests: CBR in situ (shear strength), Marshall (fluidity and stability), asphalt content; and re ESALs calculation to determine the cause of its deformations.

The evaluation carried out and the results obtained were compared for validity with national standards, being that the structural package: in the percentage of asphalt in the road surface is within the established parameters, on the other hand the fluidity of the three samples analyzed only one is within the permitted parameters and stability in all specimens analyzed are above permitted; however in terms of the shear strength of the base and sub base the CBR values obtained by in Situ are below the stipulated conditions; in relation to the thickness, rolling recalculated folder (ESALs), it is within the recommended minimum thickness, as to the base and sub base to perform a field measurement was verified that was not executed as indicated by the technical file.

With this analysis we have come to the conclusion that the structural package: as to the road surface has an asphalt content averaged 7.14% and this should make the route work under optimal conditions, on the other hand, stability is by above 816 kg as having these values the pavement must be rigid and durable; regarding the shear strength of the base (average 30%) and sub base (average 7%) failing to comply with the CBR in Situ being the main reason that generates deformations likely to poor compaction and construction aspects; in terms of thickness, the road surface using the recalculated ESALs has a thickness of 4 "met for the current vehicle volume.

Therefore, it is suggested that quality control of the construction process for this type of road infrastructure, as well as incorporating design blends Superpave (ESALs greater than 10^7) for more durable blends since the pavement has not fulfilled life.

Keywords: pavement, asphalt base, sub base, sub grade, percentage of asphalt, CBR, fluidity, stability.



INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es un componente de gran importancia dentro del patrimonio de una nación, considerando su vinculación directa con el desarrollo social y económico, pues permite la comunicación e interrelación entre centros poblados, así como el intercambio de bienes y servicios.

En este orden de ideas, la estructura de pavimento como parte de la infraestructura vial juega un papel preponderante, ya que su objetivo es ofrecer a los usuarios un rodaje cómodo, seguro y económico.

En este sentido, el presente proyecto incluye diferentes herramientas para la evaluación de los pavimentos flexibles y de los equipos, así como los procedimientos para la determinación de espesores de pavimentos flexibles.

El pavimento tiene un diseño y periodo de vida útil definido, por lo que su falla está prevista al término de ésta. Esto significa que, durante el período de vida de su estructura, la misma iniciará un proceso de deterioro tal que al final de su vida útil manifestará un conjunto de fallas que reducirán su calidad de rodaje y en definitiva incrementarán los costos de los usuarios y los costos de mantenimiento.

Para ello existen principalmente dos tipos de evaluación de pavimentos: La primera de éstas corresponde a la evaluación funcional, la cual no es más que la ejecución de ensayos que permitan determinar las características superficiales de la misma, que tienden a evaluar la calidad de rodaje del pavimento, la cual a pesar de estar asociada con su capacidad estructural no necesariamente es un indicativo de ésta, en vista que pueden existir sectores con buena calidad y sin embargo poseer una estructura débil, que con el paso de la carga vehicular se fatigará y presentará un agrietamiento severo.

El segundo tipo de evaluación es la estructural, la cual permitirá medir distintos parámetros, tales como: fallas presentes en el pavimento, deflexión superficial, deflexiones del pavimento, tipos de materiales que conforman la estructura de pavimento, espesores de cada una, su condición, etc.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAI
AGRADECIMIENTOS.....II
RESUMEN.....III
ABSTRACT.....IV
INTRODUCCION.....V
INCIDE GENERAL.....VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....XVII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....XIX

1. CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA1
1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA1
1.1.2 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA4
1.1.2.1 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL4
1.1.2.2 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS ...4
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN5
1.2.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....5
1.2.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL6
1.2.3 JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD6
1.2.4 JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA6
1.3 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN6
1.3.1 LIMITACIONES ESPACIALES O TERRITORIALES6
1.3.2 LIMITACIONES DE INFORMACIÓN7
1.3.3 LIMITACIONES DE ENSAYOS.....7
1.3.4 LIMITACIONES DE TIEMPO7
1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN7
1.4.1. OBJETIVO GENERAL7
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS7
1.5 HIPÓTESIS8
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL.....8
1.5.2. SUB HIPÓTESIS8
1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES.....9
1.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....9
1.6.1.1 VARIABLE9
1.6.1.2 INDICADORES.....9
1.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE9
1.6.2.1 VARIABLE.....9
1.6.2.2 INDICADORES.....9
1.6.3 CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....11



2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO..... 12

2.1 ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL12

2.1.1 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL12

2.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL.....13

2.2 ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES.....14

2.2.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO14

2.2.1.1 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR EL PAVIMENTO.....17

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS.....17

2.2.2.1 PAVIMENTO FLEXIBLE.....17

2.2.2.2 PAVIMENTO RÍGIDO18

2.2.2.3 PAVIMENTO HÍBRIDO19

2.2.3 PAVIMENTOS FLEXIBLES.....19

2.2.3.1 CARPETA ASFÁLTICA20

2.2.3.2 BASE20

2.2.3.3 SUB BASE21

2.2.3.4 SUB RASANTE22

2.2.3.5 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....23

2.2.3.5.1 SUB RASANTE.24

2.2.3.5.1.1 ESCARIFICACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN DE LA SUB RASANTE.....24

2.2.3.5.1.2 HUMECTACIÓN DEL SUELO DE SUB RASANTE25

2.2.3.5.1.3 AIREACIÓN DEL SUELO DE SUB RASANTE25

2.2.3.5.1.4 COMPACTACIÓN DE LA SUB RASANTE26

2.2.3.5.1.5 RECEPCIÓN DE LA CAPA DE SUB RASANTE.....27

2.2.3.5.2 CAPA DE SUB-BASE.....27

2.2.3.5.2.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....28

2.2.3.5.2.2 ESCARIFICACIÓN DEL MATERIAL DE PROTECCIÓN DE LA SUB RASANTE28

2.2.3.5.2.3 COLOCACIÓN DEL MATERIAL DE SUB-BASE29

2.2.3.5.2.4 DISTRIBUCIÓN DEL MATERIAL DE SUB-BASE.....29

2.2.3.5.2.5 COMPACTACIÓN DE LA CAPA DE SUB-BASE.....29

2.2.3.5.2.6 RECEPCIÓN DE LA CAPA DE SUB-BASE.30

2.2.3.5.2.7 PROTECCIÓN DE LA CAPA RECEPCIONADA DE SUB-BASE.....30

2.2.3.5.3 CAPA DE BASE.30

2.2.3.5.3.1 PROCESO CONSTRUCTIVO.....30

2.2.3.5.3.2 ESCARIFICACIÓN DEL MATERIAL DE PROTECCIÓN DE LA SUB-BASE..31

2.2.3.5.3.3 COLOCACIÓN DEL MATERIAL DE BASE.31

2.2.3.5.3.4 DISTRIBUCIÓN DEL MATERIAL DE BASE.....31

2.2.3.5.3.5 COMPACTACIÓN DE LA CAPA DE BASE.....31

2.2.3.5.3.6 RECEPCIÓN DE LA CAPA DE BASE.32

2.2.3.5.3.7 RIEGO DE IMPRIMACIÓN.....32

2.2.3.5.3.7.1 PROCESO DEL RIEGO DE LA IMPRIMACIÓN.32

2.2.3.5.3.7.2 MATERIALES EMPLEADOS EN LA IMPRIMACIÓN34

2.2.3.5.3.7.3 CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....34



2.2.3.5.3.7.4 FACTORES QUE AFECTAN UNA APLICACIÓN UNIFORME..... 34

2.2.3.5.3.7.5 EQUIPO UTILIZADO PARA REALIZAR LA IMPRIMACIÓN..... 36

2.2.3.5.3.7.6 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE PARA LA IMPRIMACIÓN. 37

2.2.3.5.3.7.7 RIEGO DEL MATERIAL ASFÁLTICO SOBRE LA SUPERFICIE. 37

2.2.3.5.3.7.8 APERTURA DEL TRÁFICO. 37

2.2.3.5.4 MEZCLA ASFÁLTICA..... 38

2.2.3.5.4.1 PROCESO CONSTRUCTIVO..... 38

2.2.3.5.4.2 TRANSPORTE 38

2.2.3.5.4.3 ENTREGA..... 39

2.2.3.5.4.4 EXTENSIÓN 40

2.2.3.5.4.5 COMPACTACIÓN 41

2.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE 43

2.2.4.1 VENTAJAS..... 43

2.2.4.2 DESVENTAJAS..... 44

2.2.5 VIDA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE 44

2.2.6 FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS 45

2.2.7 DEFORMACIÓN PERMANENTE 47

2.2.7.1 DEFORMACIÓN PERMANENTE ESTRUCTURAL..... 47

2.2.7.1.1 DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA..... 47

2.2.7.1.2 AHUELLAMIENTO POR FALLAS EN LA SUB RASANTE, SUB BASE Y
BASE 48

2.2.7.1.3 AHUELLAMIENTO POR FALLAS EN LA CAPA DE MEZCLA ASFÁLTICA. ... 49

2.2.7.2 DEFORMACIÓN PERMANENTE POR TRACCIÓN 50

2.2.7.3 DEFORMACIÓN PERMANENTE POR USO 51

2.2.8 MECANISMOS DE DEFORMACIÓN 53

2.2.8.1 TRANSITORIAS 53

2.2.8.2 PERMANENTE 54

2.2.9 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS 54

2.2.9.1 EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTOS 54

2.2.9.1.1 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (SEGURIDAD) 55

2.2.9.1.1.1 CAPAS DE RODAMIENTO ANTIDESLIZANTES 59

2.2.9.1.2 REGULARIDAD SUPERFICIAL (COMODIDAD) 59

2.2.9.1.2.1 PERFIL TRANSVERSAL..... 59

2.2.9.1.2.2 PERFIL LONGITUDINAL..... 60

2.2.9.1.2.2.1 REGULARIDAD SUPERFICIAL. CONCEPTO DE SERVICEABILIDAD O
SERVICAPACIDAD..... 60

2.2.9.1.3 COSTO USUARIO (ECONOMÍA) 60

2.2.9.1.4 IMPACTO AMBIENTAL (RUIDO DE CONTACTO NEUMÁTICO-
PAVIMENTO)..... 61

2.2.9.1.4.1 TEXTURA..... 61

2.2.9.1.4.2 POROSIDAD 61

2.2.9.1.4.3 RIGIDEZ DE LA MEZCLA 62

2.2.9.2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS 62



2.2.10	MÉTODOS DE EVALUACIÓN	64
2.2.10.1	MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS	64
2.2.10.2	ENSAYOS DESTRUCTIVOS	68
2.2.11	MEZCLAS ASFÁLTICAS	71
2.2.11.1	DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.	71
2.2.11.2	CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.	72
2.2.11.3	TIPOLOGÍA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	75
2.2.11.3.1	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	75
2.2.11.3.1.1	EVOLUCIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE	76
2.2.11.3.2	MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO.	77
2.2.11.4	CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN Y PROYECTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA	78
2.2.11.5	TIPOLOGÍAS DE DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.	80
2.2.12	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	80
2.2.12.1	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE	80
2.2.12.2	CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA	81
2.2.12.2.1	DENSIDAD	81
2.2.12.2.2	VACÍOS DE AIRE (o simplemente vacíos)	82
2.2.12.2.3	VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL	83
2.2.12.2.4	CONTENIDO DE ASFALTO	84
2.2.12.3	PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS	85
2.2.12.3.1	ESTABILIDAD	86
2.2.12.3.2	DURABILIDAD	87
2.2.12.3.3	IMPERMEABILIDAD	89
2.2.12.3.4	TRABAJABILIDAD	90
2.2.12.3.5	FLEXIBILIDAD	92
2.2.12.3.6	RESISTENCIA A LA FATIGA	92
2.2.12.3.7	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	93
2.2.13	FALLAS EN PAVIMENTOS	94
2.2.13.1	TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS	94
2.2.13.1.1	FALLAS DE SUPERFICIE	94
2.2.13.1.2	FALLAS ESTRUCTURALES	94
2.2.13.2	TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES	95
2.2.13.2.1	FALLAS POR INSUFICIENCIA ESTRUCTURAL	95
2.2.13.2.2	FALLAS POR DEFECTOS CONSTRUCTIVOS	95
2.2.13.2.3	FALLAS POR FATIGA	95
2.2.14	FALLAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	96
2.2.14.1	CAUSAS DEL SURGIMIENTO DE LAS FALLAS	96
2.2.14.2	FALLAS EN PAVIMENTOS URBANOS FLEXIBLES	97
2.2.14.2.1	FISURAS Y GRIETAS	98
2.2.14.2.1.1	PIEL DE COCODRILO	98
2.2.14.2.1.2	FISURAS EN BLOQUE	101



2.2.14.2.1.3 FISURAS DE BORDE..... 102

2.2.14.2.1.4 FISURAS DE REFLEXIÓN DE JUNTA (DE LOSAS DE CONCRETO
LONGITUDINALES O TRANSVERSALES)..... 104

2.2.14.2.1.5 FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES..... 104

2.2.14.2.1.6 FISURA PARABÓLICA O POR DESLIZAMIENTO..... 105

2.2.14.2.2 DEFORMACIONES SUPERFICIALES 106

2.2.14.2.2.1 ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS 106

2.2.14.2.2.2 CORRUGACIÓN 108

2.2.14.2.2.3 DEPRESIÓN..... 109

2.2.14.2.2.4 AHUELLAMIENTO 111

2.2.14.2.2.5 DESPLAZAMIENTOS 112

2.2.14.2.2.6 HINCHAMIENTO 113

2.2.14.2.3 DESPRENDIMIENTOS..... 115

2.2.14.2.3.1 BACHES..... 115

2.2.14.2.3.2 PELADURA POR INTEMPERISMO Y DESPRENDIMIENTO DE
AGREGADOS..... 115

2.2.14.2.4 OTRAS FALLAS 116

2.2.14.2.4.1 EXUDACIÓN..... 116

2.2.14.2.4.2 AGREGADO PULIDO 118

2.2.14.2.4.3 DESNIVEL CARRIL – BERMA..... 119

2.2.14.2.4.4 PARCHES Y PARCHES DE CORTES UTILITARIOS 120

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 121

3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN..... 121

3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN 121

3.1.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN 122

3.1.3 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN..... 122

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN..... 122

3.2.1 DISEÑO METODOLÓGICO 122

3.2.2 DISEÑO DE INGENIERÍA 123

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA..... 123

3.3.1 POBLACIÓN 123

3.3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN 123

3.3.1.2 CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN 123

3.3.2 MUESTRA..... 123

3.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA..... 123

3.3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA..... 124

3.3.2.3 MÉTODO DE MUESTREO 124

3.3.2.3 CRITERIO DE EVALUACIÓN DE MUESTRA 124

3.3.3 CRITERIO DE INCLUSIÓN..... 125

3.4 INSTRUMENTOS..... 126

3.4.1 INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS..... 126

3.4.1.1 NORMAS TÉCNICAS 126



3.4.1.1.1 NORMAS TÉCNICAS – PAVIMENTO..... 126

3.4.1.2 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS 126

3.4.1.3 RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL 127

3.4.1.4 CBR EN EL TERRENO 131

3.4.2.1 BALANZA 134

3.4.2.2 MÁQUINA PARA PERFORACIÓN DIAMANTINA 135

3.4.2.3 CENTRIFUGA DE ASFALTOS..... 136

3.4.2.4 EQUIPO BAÑO MARÍA 137

3.4.2.5 PRENSA MARSHALL 138

3.4.2.6 PRENSA CBR..... 139

3.5 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... 140

3.5.1. INVENTARIO VIAL 140

3.5.2 AFORO VEHICULAR 158

3.5.3 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS (AASHTO T 30 - MTC E 503)..... 168

3.5.4 ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (AASHTO T 245-97(2004) - MTC E 504 2000)..... 176

3.5.5 ENSAYO DE CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) MTC E 133 2000 181

3.5.6 VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO..... 187

3.6 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS..... 192

3.6.1 INVENTARIO VIAL 192

3.6.2 AFORO VEHICULAR..... 195

3.6.3 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS (MTC E 503 2000)..... 207

3.6.4 ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)..... 208

3.6.5 ENSAYO DE CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) - MTC E 133 2000..... 215

3.6.6 VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO..... 222

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS..... 223

4.1 INVENTARIO VIAL..... 223

4.2 AFORO VEHICULAR..... 224

4.3 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS (AASHTO T 30 - MTC E 503)..... 226

4.4 ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (AASHTO T 245-97(2004) - MTC E 504 2000)..... 226

4.5 ENSAYO DE CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) - MTC E 133 2000..... 235

4.6 VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO..... 237



5. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	238
GLOSARIO	240
CONCLUSIONES	245
RECOMENDACIONES	248
REFERENCIAS	250
ANEXOS.....	248

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	2
FIGURA N° 2: SITUACIÓN ACTUAL DE LA VÍA PROLONGACIÓN AVENIDA LA CULTURA.	5
FIGURA N° 3: ESQUEMA TÍPICO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	16
FIGURA N° 4: ESQUEMA DEL PAQUETE ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTO FLEXIBLE, RÍGIDO E HÍBRIDO	19
FIGURA N° 5: DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.	23
FIGURA N° 6: ESCARIFICACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA SUB RASANTE	24
FIGURA N° 7: HUMECTACIÓN DEL MATERIAL DE SUB RASANTE	25
FIGURA N° 8: AIREACIÓN DEL MATERIAL DE SUB RASANTE	26
FIGURA N° 9: COMPACTACIÓN DE LA SUB RASANTE.....	27
FIGURA N° 10: MATERIAL DE SUB-BASE	28
FIGURA N° 11: RIEGO DE IMPRIMACIÓN	33
FIGURA N° 12: ASPERSIÓN DEL ASFALTO.....	35
FIGURA N° 13: ALTURA DE ASPERSIÓN DE LOS AGUJEROS	36
FIGURA N° 14: BARREDORA MECÁNICA	36
FIGURA N° 15: DESCARGUE DE LA MEZCLA EN OBRA.....	40
FIGURA N° 16: PAVIMENTADORA O FINISHER.....	41
FIGURA N° 17: COMPACTADOR DE LLANTAS NEUMÁTICAS Y DE TAMBOR.....	42
FIGURA N° 18: DENSÍMETRO NUCLEAR.....	43
FIGURA N° 19: AHUELLAMIENTO POR FALLA EN LA SUB RASANTE O CAPAS.	49
FIGURA N° 20: AHUELLAMIENTO POR FALLA EN LA MEZCLA ASFÁLTICA.	50
FIGURA N° 21: DEFORMACIÓN PERMANENTE POR TRACCIÓN	51
FIGURA N° 22: DEFORMACIÓN PERMANENTE POR USO	52
FIGURA N° 23: RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO.....	56
FIGURA N° 24: MICRO TEXTURA Y MACRO TEXTURA	58
FIGURA N° 25: REGULARIDAD SUPERFICIAL	59
FIGURA N° 26: VIGA BENKELMAN	65
FIGURA N° 27: DEFLECTÓMETRO.....	66
FIGURA N° 28: DYNAFLECT	67
FIGURA N° 29: FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER (FWD)	68
FIGURA N° 30: CALICATAS.....	69
FIGURA N° 31: EQUIPO PARA EXTRACCIÓN DE TESTIGOS.....	70
FIGURA N° 32: PLACA DE CARGA	70
FIGURA N° 33: PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO	71
FIGURA N° 34: VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA) EN UNA PROBETA DE MEZCLA COMPACTADA	83
FIGURA N° 35: FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	98
FIGURA N° 36: PIEL DE COCODRILO	101
FIGURA N° 37: FISURAS EN BLOQUE	102
FIGURA N° 38: FISURAS DE BORDE	103



FIGURA N° 39: FISURAS DE REFLEXIÓN DE JUNTA104

FIGURA N° 40: FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES105

FIGURA N° 41: FISURA PARABÓLICA106

FIGURA N° 42: ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO108

FIGURA N° 43: CORRUGACIÓN.....109

FIGURA N° 44: DEPRESIÓN110

FIGURA N° 45: AHUELLAMIENTO112

FIGURA N° 46: DESPLAZAMIENTOS113

FIGURA N° 47: HINCHAMIENTO114

FIGURA N° 48: BACHES115

FIGURA N° 49: PELADURA116

FIGURA N° 50: EXUDACIÓN118

FIGURA N° 51: AGREGADO PULIDO119

FIGURA N° 52: DESNIVEL CARRIL - BERMA.....120

FIGURA N° 53: PARCHE120

FIGURA N° 54: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CONTENIDO DE
ASFALTO.....126

FIGURA N° 55: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA LECTURA CORREGIDA
.....127

FIGURA N° 56: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA
ECUACIÓN DE LA ESTABILIDAD MARSHALL127

FIGURA N° 57: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA
FLUIDÉZ DEL PAVIMENTO128

FIGURA N° 58: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL
VOLUMEN DE LAS BRIQUETAS128

FIGURA N° 59: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK (GSB).....129

FIGURA N° 60: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEÓRICA.....129

FIGURA N° 61: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE
PORCENTAJE DE VACÍOS130

FIGURA N° 62: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL
ANÁLISIS DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL.....130

FIGURA N° 63: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE VACÍOS
LLENOS DE ASFALTO (VFA)131

FIGURA N° 64: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA LECTURA DE
PENETRACIÓN131

FIGURA N° 65: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA CALCULAR EL CBR.....132

FIGURA N° 66: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ESTUDIO DE TRAFICO.....133

FIGURA N° 67: BALANZA ELECTRÓNICA134

FIGURA N° 68: MAQUINA PERFORACIÓN DIAMANTINA135

FIGURA N° 69: MAQUINA CENTRIFUGA DE ASFALTO136

FIGURA N° 70: EQUIPO BAÑO MARÍA137

FIGURA N° 71: PRENSA MARSHALL138

FIGURA N° 72: PRENSA CBR.....139

FIGURA N° 73: CUARTO PARADERO DE SAN SEBASTIÁN141



FIGURA N° 74: PARADERO GRIFO MOBIL DE SAN JERÓNIMO141

FIGURA N° 75: PLANO DE EVALUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO142

FIGURA N° 76: PLANO DE UBICACIÓN DE LA INTERSECCIONES143

FIGURA N° 77:REGLA METÁLICA.....144

FIGURA N° 78: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....145

FIGURA N° 79: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....146

FIGURA N° 80: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....147

FIGURA N° 81: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....148

FIGURA N° 82: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....149

FIGURA N° 83: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....150

FIGURA N° 84: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....151

FIGURA N° 85: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....152

FIGURA N° 86: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....153

FIGURA N° 87: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....154

FIGURA N° 88: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....155

FIGURA N° 89: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....156

FIGURA N° 90: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA.....157

FIGURA N° 91: AFORO VEHICULAR 4° PARADERO SAN SEBASTIÁN158

FIGURA N° 92: AFORO VEHICULAR ENACO SAN SEBASTIÁN158

FIGURA N° 93: MODELO DE LA FICHA VEHICULAR.....159

FIGURA N° 94: COLOCACIÓN DEL EQUIPO DIAMANTINA169

FIGURA N° 95: PERFORACIÓN DEL PAVIMENTO Y SELLADO170

FIGURA N° 96: PESO DE LA MUESTRA SECA.....171

FIGURA N° 97: CALENTADO DE LA MUESTRA.....171

FIGURA N° 98: COLOCACIÓN DE MUESTRA Y LA GASOLINA AL EQUIPO172

FIGURA N° 99: RECOJO DEL EXTRACTO DEL PAVIMENTO172

FIGURA N° 100: LIMPIEZA DEL ANILLO FILTRANTE173

FIGURA N° 101: SECADO SUPERFICIAL DE LA MUESTRA Y PESADO.....174

FIGURA N° 102: TAMIZADO DEL MATERIAL174

FIGURA N° 103: GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA.....175

FIGURA N° 104: PESO DE LA MUESTRA176

FIGURA N° 105: VERIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AGUA177

FIGURA N° 106: PESADO DE LA MUESTRA SUMERGIDA.....177



FIGURA N° 107: SECADO SUPERFICIAL DE LA MUESTRA.....	178
FIGURA N° 108: COLOCACIÓN DE LAS BRIQUETAS EN EL BAÑO MARÍA	178
FIGURA N° 109: DESPRENDIMIENTO DE UNA DE LAS BRIQUETAS	179
FIGURA N° 110: APLICACIÓN DE LAS CARGAS EN EL APARATO MARSHALL.....	179
FIGURA N° 111: BRIQUETAS LUEGO DE APLICARLES EN ENSAYO MARSHALL	180
FIGURA N° 112: PRIMER PUNTO DE ENSAYO PARA EL CBR IN SITU	182
FIGURA N° 113: COLOCACIÓN DE LAS GATAS EN LA PARTE TRASERA DEL VEHÍCULO	183
FIGURA N° 114: VERIFICACIÓN DEL VEHÍCULO QUE ESTE A NIVEL EN LA PARTE TRASERA.....	183
FIGURA N° 115:COLOCACIÓN DE LOS DIALES EN FORMA CORRECTA.....	184
FIGURA N° 116: LECTURA DE LOS ANILLOS DE CARGA.....	185
FIGURA N° 117: FINALIZACIÓN DEL ENSAYO CBR IN SITU	185
FIGURA N° 118: EXCAVACIÓN DE LAS CALICATAS.....	188
FIGURA N° 119: MEDICIÓN DE LA UÑA DEL SARDINEL.....	189
FIGURA N° 120: MEDICIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAQUETE ESTRUCTURAL.....	190
FIGURA N° 121: CUBRIMIENTO DE LA CALICATA	191
FIGURA N° 122: FLUJOGRAMA LUNES.....	196
FIGURA N° 123: FLUJOGRAMA MARTES.....	197
FIGURA N° 124: FLUJOGRAMA MIÉRCOLES	198
FIGURA N° 125: FLUJOGRAMA JUEVES.....	199
FIGURA N° 126: FLUJOGRAMA VIERNES.....	200
FIGURA N° 127: FLUJOGRAMA SÁBADO.....	201
FIGURA N° 128: FLUJOGRAMA DOMINGO	202



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: CAUSAS Y EFECTOS DE INESTABILIDAD EN EL PAVIMENTO	87
TABLA N° 2: CAUSAS Y EFECTOS DE UNA POCA DURABILIDAD.....	89
TABLA N° 3: CAUSAS Y EFECTOS DE LA PERMEABILIDAD.....	90
TABLA N° 4: CAUSAS Y EFECTOS DE PROBLEMAS EN LA TRABAJABILIDAD	91
TABLA N° 5: CAUSAS Y EFECTOS DE UNA MALA RESISTENCIA A LA FATIGA	93
TABLA N° 6: CAUSAS Y EFECTOS DE POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	94
TABLA N° 7: DATOS DE LA EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO	175
TABLA N° 8: DATOS DEL ENSAYO DE MEZCLAS BITUMINOSAS.....	180
TABLA N° 9: DATOS DE LAS LECTURAS DEL ENSAYO CBR PUNTO N°1	186
TABLA N° 10: DATOS DE LAS LECTURAS DEL ENSAYO CBR PUNTO N°2	186
TABLA N° 11: DATOS DE LAS LECTURAS DEL ENSAYO CBR PUNTO N°3	187
TABLA N° 12: DATOS DE LA VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO	191
TABLA N° 13: RESUMEN DE FALLAS CALZADA DE BAJADA	193
TABLA N° 14: RESUMEN DE FALLAS CALZADA DE SUBIDA	194
TABLA N° 15: CALCULO DEL IMD	203
TABLA N° 16: PORCENTAJE DE VEHÍCULOS	205
TABLA N° 17: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESAL	205
TABLA N° 18: CALCULO DE ESAL DE DISEÑO.....	206
TABLA N° 19: ESPESORES MÍNIMOS RECOMENDADOS	207
TABLA N° 20: CÁLCULO DEL % DE ASFALTO	207
TABLA N° 21: ECUACIÓN DE ESTABILIDAD MARSHALL.....	208
TABLA N° 22: CÁLCULO DE LA ECUACIÓN DE ESTABILIDAD MARSHALL.....	209
TABLA N° 23: DATOS DEL ENSAYO MARSHALL.....	209
TABLA N° 24: CÁLCULO DEL VOLUMEN DE BRIQUETAS	210
TABLA N° 25: CÁLCULO DE FLUJO	210
TABLA N° 26: TABLA RAZÓN DE CORRELACIÓN VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN	211
TABLA N° 27: ESTABILIDAD CORREGIDA	212
TABLA N° 28: GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK (GSB)	212
TABLA N° 29: GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (GMM) BULK (GSB).....	213
TABLA N° 30: PORCENTAJE DE VACÍOS	213
TABLA N° 31: ANÁLISIS DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL.....	214
TABLA N° 32: ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (VFA).....	215
TABLA N° 33: FÓRMULA DE CARGA	215
TABLA N° 34: CÁLCULO DEL CBR PARA LA BASE PUNTO 1	216
TABLA N° 35: CÁLCULO DEL CBR PARA LA SUB BASE PUNTO 1	217
TABLA N° 36: CÁLCULO DEL CBR PARA LA BASE PUNTO 2	218
TABLA N° 37: CÁLCULO DEL CBR PARA LA SUB BASE PUNTO 2	219
TABLA N° 38: CÁLCULO DEL CBR PARA LA BASE PUNTO 3	220
TABLA N° 39: CÁLCULO DEL CBR PARA LA SUB BASE PUNTO 3	221
TABLA N° 40: VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO	222
TABLA N° 41: ZONA MÁS CRITICA (180MM)	223
TABLA N° 42: ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.....	223
TABLA N° 43: ZONA MENOS CRITICA (7MM)	224



TABLA N° 44: ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	224
TABLA N° 45: PORCENTAJE DE VEHÍCULOS	225
TABLA N° 46: ESPESORES MÍNIMOS RECOMENDADOS	225
TABLA N° 47: RESUMEN DEL PORCENTAJE DE ASFALTO	226
TABLA N° 48: RESUMEN DEL ENSAYO MARSHALL	227
TABLA N° 49: CUADRO DE LOS VALORES ESTABLECIDOS DEL DISEÑO MARSHALL (PORCENTAJE DE VACÍOS)	228
TABLA N° 50: CUADRO DE LOS VALORES ESTABLECIDOS DEL DISEÑO MARSHALL (PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL)	230
TABLA N° 51: CUADRO DE LOS VALORES ESTABLECIDOS DEL DISEÑO MARSHALL (PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO)	231
TABLA N° 52: CUADRO DE LOS VALORES ESTABLECIDOS DEL DISEÑO MARSHALL (ESTABILIDAD)	233
TABLA N° 53: CUADRO DE LOS VALORES ESTABLECIDOS DEL DISEÑO MARSHALL (FLUJO)	234
TABLA N° 54: DATOS DE LOS CBRs OBTENIDOS PUNTO 1	235
TABLA N° 55: DATOS DE LOS CBRs OBTENIDOS PUNTO 2	235
TABLA N° 56: DATOS DE LOS CBRs OBTENIDOS PUNTO 3	235
TABLA N° 57: PROMEDIO DE LOS VALORES DEL CBR	236
TABLA N° 58: VALOR RELATIVO CBR DE LA BASE	236
TABLA N° 59: VALOR RELATIVO CBR DE LA SUB BASE	236
TABLA N° 60: VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO	237



ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO N° 1: COMPOSICIÓN VEHICULAR	204
GRAFICO N° 2: VARIACIÓN HORARIA	204
GRAFICO N° 3: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA BASE PUNTO 1	216
GRAFICO N° 4: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA SUB BASE PUNTO 1	217
GRAFICO N° 5: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA BASE PUNTO 2.....	218
GRAFICO N° 6: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA SUB BASE PUNTO 2	219
GRAFICO N° 7: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA BASE PUNTO 3.....	220
GRAFICO N° 8: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA SUB BASE PUNTO 3.....	221
GRAFICO N° 9: NÚMERO DE MUESTRA VERSUS EL PORCENTAJE DE VACÍOS.....	227
GRAFICO N° 10: NÚMERO DE MUESTRA VERSUS PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL.....	229
GRAFICO N° 11: NÚMERO DE MUESTRA VERSUS PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	230
GRAFICO N° 12: NÚMERO DE MUESTRA VERSUS ESTABILIDAD	232
GRAFICO N° 13: CURVA NÚMERO DE MUESTRA VS FLUJO	233



1. CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

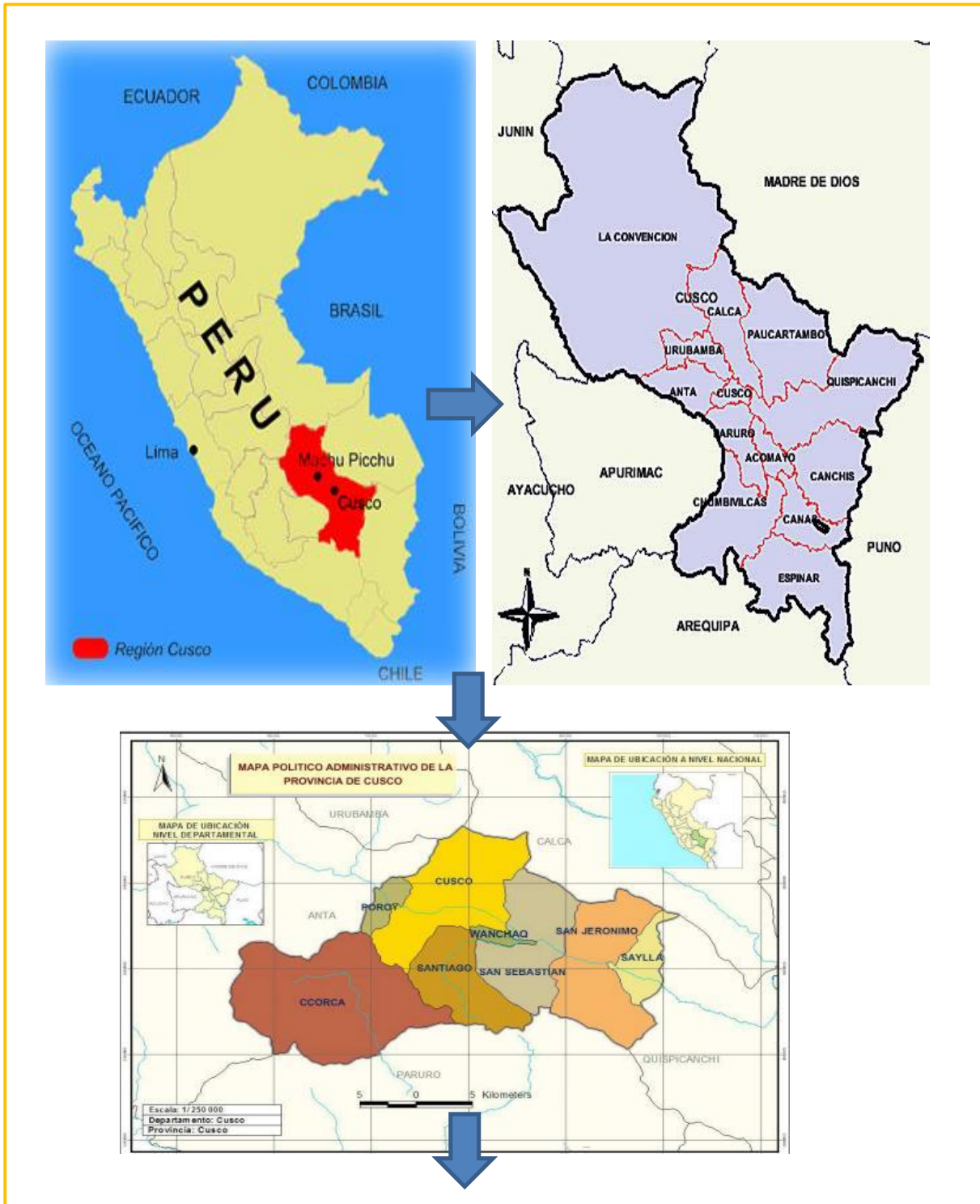
El tramo de estudio de la tesis se encuentra en los distritos de San Sebastián y San Jerónimo ubicados en la Provincia y Departamento del Cusco a una altitud de 3290 m.s.n.m entre las coordenadas geográficas:

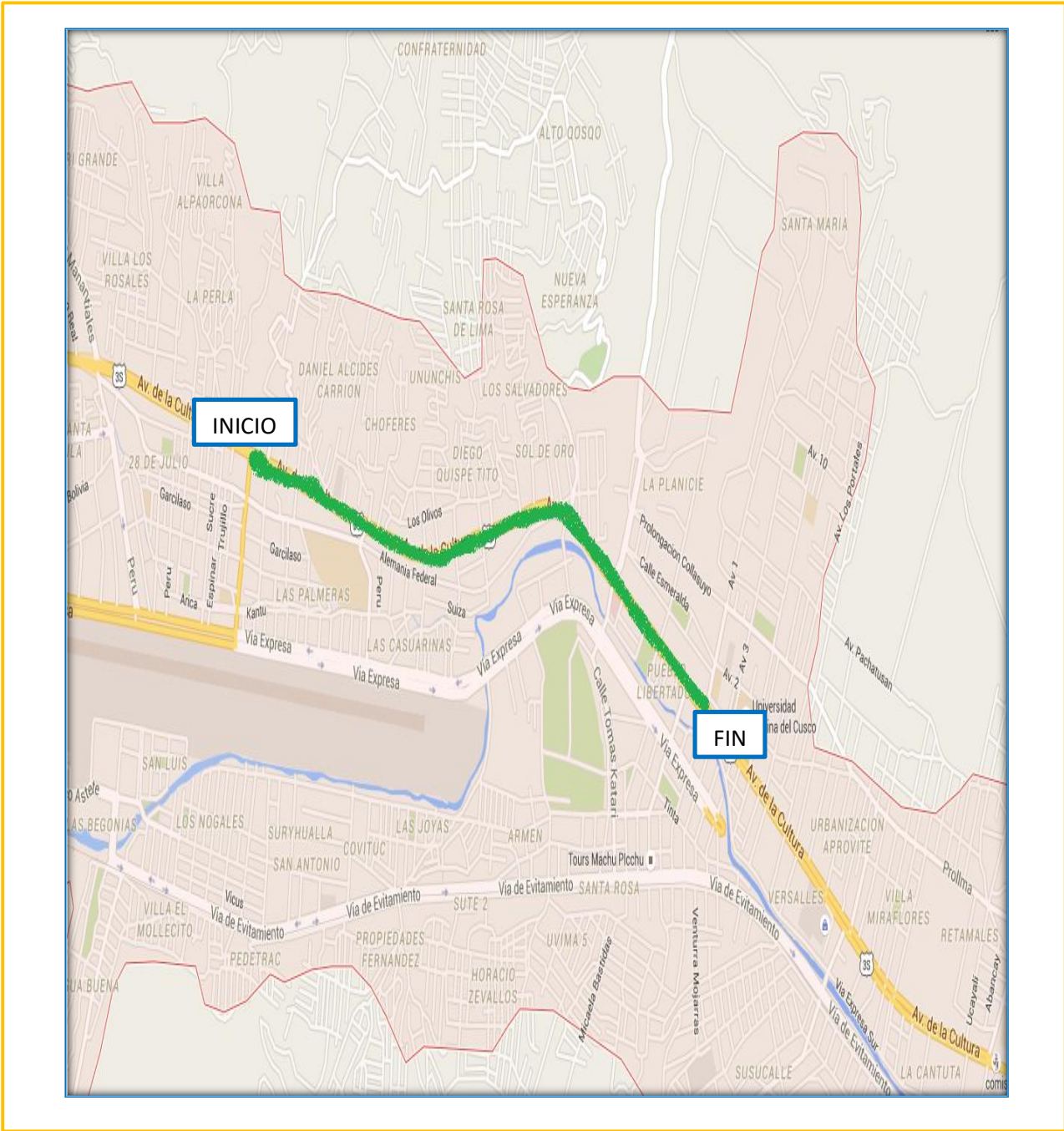
- Cuarto Paradero San Sebastián
Latitud: 13° 31' 49" S
Longitud: 71° 56' 57" W
- Grifo Mobil San Jerónimo
Latitud: 13° 32' 13" S
Longitud: 71° 54' 83" W
Y las coordenadas UTM
- Cuarto Paradero San Sebastián
Este: 182562.04
Norte: 8502326.87
- Grifo Mobil San Jerónimo
Este: 185415.15
Norte: 8501617.61

Los procedimientos que son utilizados en las carreteras del Perú y el mundo tienen ventajas y desventajas en cuanto al pavimento flexible, tomando en consideración las fallas que se pueden ocasionar tales como: deformaciones permanentes, agrietamiento por fatiga, envejecimiento y oxidación de la película de cemento asfáltico que envuelve el material pétreo, así como las repercusiones de su proceso de construcción, control de calidad entre otros

Como vemos el Distrito del Cusco es una ciudad en proceso de desarrollo, con mucha afluencia de vehículos de transporte, el parque automotor del (2004 -2013) va en crecimiento de un 5.6% anual. **(FUENTE: MTC - Oficina General de Planificación y Presupuesto)** como podemos apreciar en los últimos 10 años y por lo tanto no es ajeno a la problemática del deterioro del pavimento flexible

FIGURA N° 1: MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO





FUENTE: GOOGLE MAPS - ELABORACIÓN PROPIA.



1.1.2 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA

1.1.2.1 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el estado actual de la estructura del pavimento flexible en la prolongación de la av. la cultura tramo (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIÁN - GRIFO MOBIL DE SAN JERÓNIMO)?

1.1.2.2 FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS

➤ **Problema Específico 01.**

¿Cuál es la resistencia al corte de la estructura del pavimento en la prolongación de la Av. la Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián al grifo mobil de San Jerónimo)?

➤ **Problema Específico 02.**

¿Qué tipos de fallas existen en la prolongación de la Av. la Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián al grifo mobil de San Jerónimo)?

➤ **Problema Específico 03.**

¿Cuál es el ESAL y tipo de vehículos que transitan por la prolongación de la Av. la Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián al grifo mobil de San Jerónimo)?

➤ **Problema Específico 04.**

¿El espesor actual de la carpeta de rodadura del pavimento en la prolongación de la Av. la Cultura tramo de 4to paradero de San Sebastián al grifo mobil de San Jerónimo es el adecuado para las cargas que transitan actualmente?

➤ **Problema Específico 05.**

¿Cómo es el comportamiento estructural de la base y sub base en la prolongación de la Av. la Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián al grifo mobil de San Jerónimo)?

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

Tiene como principal finalidad el de realizar una evaluación de tipo funcional y estructural de los deterioros ocurridos desde la etapa de ejecución hasta su etapa de finalización y la de su utilización en la actualidad, con fines de establecer las medidas correctivas para conservar la infraestructura vial en óptimas condiciones de transitabilidad, especificado en el expediente técnico; para lo cual se desarrolla trabajos de evaluación que nos permitan obtener parámetros que permitan identificar las condiciones en la que actualmente se encuentra el pavimento.

FIGURA N° 2: SITUACIÓN ACTUAL DE LA VÍA PROLONGACIÓN AVENIDA LA CULTURA.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

1.2.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La utilidad y aplicabilidad de los resultados de la investigación, así como la importancia objetiva de las conclusiones que se logren en la presente tesis aportan un criterio sobre el uso adecuado por parte de algunos vehículos, así como también la comodidad y seguridad para todos los usuarios de esta infraestructura vial.

1.2.3 JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD

La investigación es viable, debido a que se cuenta con acceso a la información basada en los estudios de campo y laboratorio que se plantean, por otro lado, los investigadores financian el estudio, también se cuenta con acceso a los equipos que permitan la obtención de datos.

1.2.4 JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA

En la actualidad la prolongación Av. La Cultura es una de las vías más importantes de la ciudad del Cusco puesto que es uno de los accesos hacia el centro histórico siendo necesario realizar el estudio y hacer una evaluación del pavimento, en la presente tesis se realizará estudios en busca de saber por qué en algunos tramos se presentan fallas mayormente como ahuellamientos.

1.3 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 LIMITACIONES ESPACIALES O TERRITORIALES

Esta investigación solo se aplica en la prolongación Av. La Cultura tramo que comprende desde el cuarto paradero de San Sebastián hasta el grifo Mobil de San Jerónimo al pavimento en todo su paquete estructural que conforman este y que actualmente viene cumpliendo su vida útil.

Coordenadas geográficas:

➤ Cuarto Paradero San Sebastián

Latitud: 13° 31'49" S

Longitud: 71° 56'57" W

➤ Grifo Mobil San Jerónimo

Latitud: 13°32'13" S

Longitud: 71°54'83" W



Coordenadas UTM

- Cuarto Paradero San Sebastián
Este: 182562.04
Norte: 8502326.87
- Grifo Mobil San Jerónimo
Este: 185415.15
Norte: 8501617.61

1.3.2 LIMITACIONES DE INFORMACIÓN

Se limita a la evaluación superficial y datos obtenidos mediante ensayo CBR.

1.3.3 LIMITACIONES DE ENSAYOS

Los ensayos a ejecutar serán básicos y fundamentales para poder realizar la evaluación como: ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleados en el aparato Marshall, extracción cuantitativa de asfalto en mezclas para pavimentos, CBR (in situ).

1.3.4 LIMITACIONES DE TIEMPO

Se tiene limitación en cuanto al tiempo puesto que todos los ensayos, así como la recolección de datos se hicieron en enero del 2015.

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el estado actual del pavimento flexible en la prolongación de la av. la cultura tramo (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIÁN - GRIFO MOBIL DE SAN JERÓNIMO).

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Objetivo Específico 01.**
Evaluar la resistencia al corte de la estructura del pavimento en la prolongación de la Av. La Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián - grifo mobil de San Jerónimo).



- **Objetivo Específico 02.**
Clasificar los tipos de fallas existentes en la prolongación de la Av. la Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián al grifo mobil de San Jerónimo).
- **Objetivo Específico 03.**
Determinar el ESAL y los tipos de vehículos que transitan en la prolongación de la Av. la Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián al grifo mobil de San Jerónimo).
- **Objetivo Específico 04.**
Determinar si el espesor de la carpeta de rodadura del pavimento es el adecuado en la prolongación de la Av. la Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián al grifo mobil de San Jerónimo).
- **Objetivo Específico 05.**
Verificar el comportamiento estructural de la base y sub base en la prolongación de la Av. la Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián al grifo mobil de San Jerónimo).

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

El estado actual del pavimento flexible en la prolongación de la av. la cultura tramo (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIÁN - GRIFO MOBIL DE SAN JERÓNIMO) presenta deformaciones en la estructura del pavimento debido a aspectos constructivos.

1.5.2. SUB HIPÓTESIS

- **Sub Hipótesis 01.**
La resistencia de la estructura del pavimento de la Av. La Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián - grifo mobil de San Jerónimo) está sub dimensionada para las condiciones actuales de servicio de la vía.



➤ **Sub Hipótesis 02.**

La falla mayoritaria que dificulta la transitabilidad es el ahuellamiento en el tramo del 4to paradero de San Sebastián al grifo mobil de San Jerónimo.

➤ **Sub Hipótesis 03.**

Los vehículos que transitan con mayor frecuencia son los del tipo C2, C3 y T3S3; y con un ESAL mayor a $1.7 * 10^7$.

➤ **Sub Hipótesis 04.**

Para las condiciones actuales de la vía el espesor del pavimento evaluado cumple para las cargas que transitan actualmente.

➤ **Sub Hipótesis 05.**

Los valores de los CBRs de la base y sub base satisfacen las necesidades de las cargas vehiculares.

1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

1.6.1.1 VARIABLE

- Estructura del pavimento

1.6.1.2 INDICADORES

- Tipo de pavimento
- Espesor de pavimento

1.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE

1.6.2.1 VARIABLE.

- Resistencia de la estructura
- Condición de servicio de la vía

1.6.2.2 INDICADORES

- Estabilidad
- Fluidez
- Contenido de asfalto



- CBR de base
- CBR de sub base
- Tipo de falla
- Magnitud de falla
- Cantidad de vehículos
- ESAL

1.6.3 CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTOS
RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA	Es la resistencia que ofrecen las capas que componen toda la estructura del pavimento	Superficie de rodadura Sub Base Base	Fluidez (mm) Estabilidad (kg) Contenido de Asfalto (%) Capacidad de Soporte CBR (%) Capacidad de Soporte CBR (%)	Fichas de Observación
CONDICIÓN DE SERVICIO DE LA VÍA	Es la determinación de la condición actual del pavimento en la prolongación Av de la Cultura tramo 4º paradero San Sebastián - grifo Mobil San Jerónimo	Fallas Circulación Vehicular	Tipo Magnitud de Fallas Cantidad de Vehículos ESAL IMDA	Fichas de Inventario vial y Aforo
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	La estructura esta constituido por un conjunto de capas superpuestas relativamente	Carpeta	Tipo Espesor	Fichas de Observación

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL

2.1.1 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

- Evaluación del sistema de gestión de pavimentos flexibles en el Perú (UPC “Universidad de Ciencias Aplicadas”).

“Ante la necesidad de lograr que los pavimentos en el sector oeste del barrio Centenario del distrito de Independencia se desarrollen con calidad y sobretodo se garantice su durabilidad, es necesario evaluar el estado de las construcciones actuales de los pavimentos, y la determinación del número de calles afectadas por alguna patología del asfalto, de esta manera identificar cual es la patología que más incide en el deterioro de los pavimentos.”

Autor: Hidalgo Gamarra, Joissy Catherine

- Evaluación integral de pavimentos flexibles (Pativilca-Conococha. Tramo Km. 0+000-Km. 20+000).

“El presente trabajo tiene por objeto desarrollar la evaluación superficial de los pavimentos flexibles en el municipio de Caraz – Huaraz, sugiriendo una metodología racional que permita evaluar las vías periódicamente y de esta manera estructurar un plan de desarrollo técnico y económico para su rehabilitación o mantenimiento.”

Autor: López Jara, Áurea

- El efecto de las heladas en los suelos y pavimentos del departamento del cusco (UNSAAC).

“En este trabajo se desarrolla y se explica los diferentes estabilizadores que hoy en día se usa para evitar o reforzar las capas de los pavimentos ya sean flexibles o rígidos por las heladas, ya que afectan incidentemente en los pavimentos”.

Autor: MONTAÑEZ TUPAYACHI AMERICO.



- Evaluación estructural de pavimentos flexibles de carreteras de bajo volumen de tránsito (UNI)

“En el presente trabajo de investigación, se propone una metodología de diagnóstico del estado estructural del pavimento, basada en cálculo inverso o retro cálculo; el proceso comienza con la recolección de datos de campo, con ayuda de la viga Benkelman se efectúan las mediciones deflectométricas, este tipo de ensayo corresponde a uno no destructivo; con los resultados obtenidos en campo se calcula el módulo de elasticidad del pavimento a través de un proceso de simulación numérica, las mediciones de campo sirven para la calibración del modelo numérico basado en formulaciones variacionales sin malla MM; para facilitar trabajos futuros de reparación o mantenimiento”.

Autor: Leonardo Flores González

2.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

- EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE USANDO TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS UTILIZANDO EL DEFLECTOMETRO DE IMPACTO Ó FWD (FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER) – Universidad Nacional de Colombia

“En esta tesis se determinó el comportamiento de las estructuras de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá D.C. en términos de su capacidad estructural, conocido como número estructural según la metodología AASHTO-93 y compararlo con metodologías de análisis de diseño de pavimentos más recientes, así como también el comportamiento mecánico de cada una de las capas que conforman la estructura de pavimento flexible en condición nueva bajo la acción de cargas dinámicas”.

Autor: Andrés Giovanni Gutiérrez Bayona



2.2 ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES

2.2.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO

Según Alfonso Montejo Fonseca (2002), se conoce como pavimento a la estructura constituida por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados.

Tales estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Pinilla Valencia, (2007) expone que:

Un pavimento es una estructura vial formada por una o varias capas de materiales seleccionados, capaz de resistir las cargas impuestas por el tránsito y la acción del medio ambiente y de transmitir al suelo de apoyo esfuerzos y deformaciones tolerables por éste. Desde el punto de vista estructural, un pavimento transmite en forma adecuada las cargas hacia el terreno de fundación, es decir, sin rotura de los materiales o deformaciones exageradas para la estructura.

Rojas Paitanamala, (2013) asevera que Pavimento:

Se entiende por pavimento al conjunto de los elementos estructurales de un camino (o de otras superficies como las pistas de aterrizaje de los aeropuertos, las deportivas, etc.), es decir, son todas las capas que lo conforman y las que se denominan comúnmente capa superficial, base, sub base.

Por lo que el pavimento constituye la superestructura de una red vial, que hace posible el tránsito libre de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía prevista por el proyecto.

En ese sentido, Sánchez Alfonzo, (2010) manifiesta que pavimento:

Es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Un pavimento por lo general es una estructura conformada por



diferentes capas, de diferentes espesores y de diferentes calidades, las cuales al interactuar unas con otras ofrecen un grado de resistencia al paso de los vehículos.

Valdivieso Jaramillo, Julio César, 2010:

Por lo tanto, un pavimento se define como la capa o conjunto de capas elegidas que reciben en manera directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este acumulado de capas suministra además la superficie de rodamiento, en donde se debe tener un movimiento rápido y conveniente. Considerando las teorías de esfuerzos y las medidas de campo que se efectúan, los materiales con que se construyen los pavimentos deben poseer una calidad suficiente para resistir. En consecuencia, las capas situadas a mayor profundidad pueden ser de menor calidad, en relación con el nivel de esfuerzos que recibirán, sin embargo, el pavimento, también transmite los esfuerzos a las capas inferiores y los distribuye de forma conveniente, con el fin de que estas los resistan.

De acuerdo a la Norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), existen dos puntos de vista para definir un pavimento: el de la Ingeniería y el del usuario.

De acuerdo a la Ingeniería, el pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado sub rasante. Esta capa debe estar preparada para soportar una estructura de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado período de tiempo. (AASHTO, 1993 "Guide for Design of Pavement Structures 1993").

FIGURA N° 3: ESQUEMA TÍPICO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE



FUENTE: GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS.

Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella. Debe proporcionar un servicio de calidad, de manera que influya positivamente en el estilo de vida de las personas.

Las diferentes capas de material seleccionado que conforman el paquete estructural, reciben directamente las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada. Es por ello que todo pavimento deberá presentar la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua, así como abrasiones y punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos o la compresión de elementos que se apoyan sobre él.

Otras condiciones necesarias para garantizar el apropiado funcionamiento de un pavimento son el ancho de la vía; el trazo horizontal y vertical definido por el diseño geométrico; y la adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento, aún en condiciones húmedas. (AASHTO, 1993 "Guide for Design of Pavement Structures 1993").



2.2.1.1 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR EL PAVIMENTO

Un pavimento para cumplir sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ofrecer resistencia ante la acción de cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial aceptable a las velocidades previstas del tránsito.
- Presentar una resistencia al desgaste abrasivo de las llantas.
- Debe presentar regularidad superficial tanto transversal como longitudinalmente tal que permita la comodidad a los usuarios.
- Presentar comportamiento aceptable respecto al drenaje y sub drenaje.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos a fin de salvaguardar al usuario.
- El ruido generado por la fricción entre las llantas contra el pavimento debe ser tal que no perturbe el sentido auditivo del usuario.

(Montejo F., A. (2006) Ingeniería de Pavimentos. Tomo II. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia).

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS

Por esta razón, pueden identificarse 3 tipos de pavimentos, que se diferencian principalmente por el paquete estructural que presentan:

- Pavimento flexible
- Pavimento rígido
- Pavimento híbrido

2.2.2.1 PAVIMENTO FLEXIBLE

También llamado pavimento asfáltico, conformado por una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones en las capas inferiores sin que la estructura falle. Luego, debajo de la carpeta, se encuentran la base granular y la capa de sub base, destinadas a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Finalmente está la sub rasante que sirve de soporte a las capas antes mencionadas.



Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas, dependiendo de las necesidades particulares de la obra.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

(AASHTO, 1993 "Guide for Design of Pavement Structures 1993").

Pita Pérez, (2011), expone que los pavimentos flexibles para su mejor estudio se pueden sub dividir en tres grupos:

Pavimento de Tipo Alto: Los pavimentos de tipo alto tienen una superficie de rodamiento que soportan en forma adecuada la carga esperada de tránsito, sin deterioro visible debido a desgaste y no son susceptibles a las condiciones del tiempo.

Pavimento de Tipo Intermedio: Los pavimentos de tipo intermedio tienen superficies de rodamiento que van desde la superficie tratada hasta aquellos cuyas calidades son un poco inferiores a las de los pavimentos de tipo alto.

Pavimento de Tipo Bajo: Los pavimentos de tipo bajo se usan principalmente en caminos de bajo costo, y sus superficies de rodamiento van desde las no tratadas, pasando por materiales naturales sueltos hasta con superficie tratada.

2.2.2.2 PAVIMENTO RÍGIDO

El pavimento rígido o pavimento hidráulico, se compone de losas de concreto hidráulico que algunas veces presentan acero de refuerzo. Esta losa va sobre la base (o sub base) y ésta sobre la sub rasante. Este tipo de pavimentos no permite deformaciones de las capas inferiores.

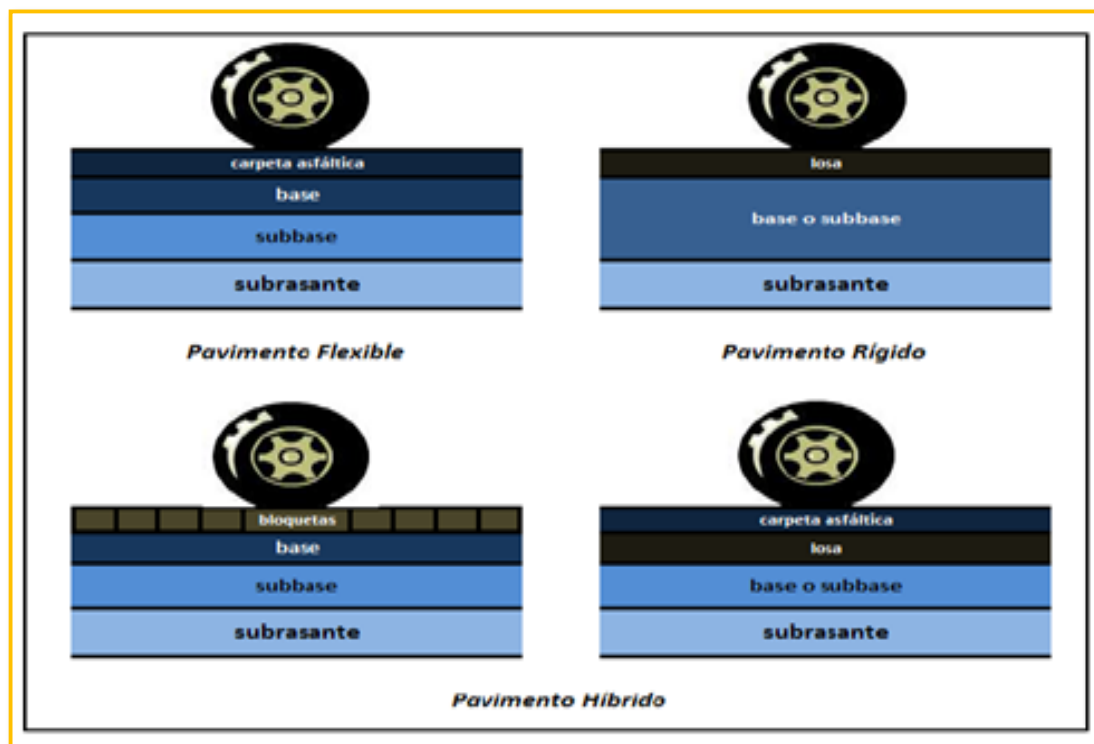
El pavimento rígido tiene un costo inicial más elevado que el pavimento flexible y su período de vida varía entre 20 y 40 años. El mantenimiento que requiere es mínimo y se orienta generalmente al tratamiento de juntas de las losas. (AASHTO, 1993 "Guide for Design of Pavement Structures 1993").

2.2.2.3 PAVIMENTO HÍBRIDO

Al pavimento híbrido se le conoce también como pavimento mixto, y es una combinación de flexible y rígido. Por ejemplo, cuando se colocan bloquetas de concreto en lugar de la carpeta asfáltica, se tiene un tipo de pavimento híbrido.

El objetivo de este tipo de pavimento es disminuir la velocidad límite de los vehículos, ya que las bloquetas producen una ligera vibración en los autos al circular sobre ellas, lo que obliga al conductor a mantener una velocidad máxima de 60 km/h. Es ideal para zonas urbanas, pues garantiza seguridad y comodidad para los usuarios. (AASHTO, 1993 "Guide for Design of Pavement Structures 1993").

FIGURA N° 4: ESQUEMA DEL PAQUETE ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTO FLEXIBLE, RÍGIDO E HÍBRIDO



FUENTE: GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS.

2.2.3 PAVIMENTOS FLEXIBLES

El trabajo de la presente tesis está referido a pavimentos flexibles, por lo que se explicará a detalle las capas que lo constituyen y su comportamiento frente a sollicitaciones externas.



Como se vio en la definición de pavimentos, los pavimentos flexibles están constituidos por las siguientes capas: carpeta asfáltica, base, sub base y sub rasante. A continuación, se explica a detalle cada uno de estos elementos.

2.2.3.1 CARPETA ASFÁLTICA

La carpeta asfáltica es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía.

La carpeta debe proporcionar al pavimento flexible una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la ampliación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de drenaje, los producidos por las fuerzas centrífugas, los impactos; debe tener la textura necesaria para permitir un rodamiento seguro y cómodo.

Cumple la función de impermeabilizar la superficie evitando el ingreso de agua que podría saturar las capas inferiores. También evita la desintegración de las capas subyacentes y contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos (cuando se construye con espesores mayores a 2.5 cm.).

La carpeta es elaborada con material pétreo seleccionado y un aglomerante que es el asfalto. Es de gran importancia conocer el contenido óptimo de asfalto a emplear, para garantizar que la carpeta resista las cargas a la que será sometida. Un exceso de asfalto en la mezcla puede provocar pérdida de estabilidad, e incluso hacer resbalosa la superficie.

Esta capa es la más expuesta al intemperismo y a los efectos abrasivos de los vehículos, por lo que necesita de mantenimientos periódicos para garantizar su adecuada performance. (AASHTO, 1993 "Guide for Design of Pavement Structures 1993").

2.2.3.2 BASE

Es la capa de pavimento ubicada debajo de la superficie de rodadura y tiene como función primordial soportar, distribuir y transmitir las cargas a la sub base, que se encuentra en la parte inferior.



La base, la función fundamental de la base es estructural y consiste en proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas del tránsito y capaz de transmitir los esfuerzos resultantes con intensidades adecuadas. La base tiene también una importante función drenante, según la que debe ser capaz de eliminar fácil y rápidamente el agua que llegue a infiltrarse a través de la carpeta, así como de impedir la ascensión capilar del agua que provenga de niveles inferiores.

La base puede estar constituida principalmente por material granular, como piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; pero también puede estar conformada con cemento Portland, cal o materiales bituminosos, recibiendo el nombre de base estabilizada. Éstas deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie y transmitirla hacia los niveles inferiores del paquete estructural. (AASHTO, 1993 “Guide for Design of Pavement Structures”).

2.2.3.3 SUB BASE

La sub base se localiza en la parte inferior de la base, por encima de la sub rasante. Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la carpeta asfáltica.

La sub base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la sub rasante; por ejemplo, cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, que podrían llegar a reflejarse en la superficie del pavimento. Básicamente conviene buscar dos cualidades principales en un material de sub base, que son la resistencia friccionante y la capacidad drenante.

Otra función de la sub base consiste en servir de transición entre el material de la base, generalmente granular grueso y el de la sub rasante, que tiende a ser mucho más fino. La sub base actúa como filtro de la base e impide su incrustación en la sub rasante.

Está conformada por materiales granulares, que le permiten trabajar como una capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, evitando fallas producidas por el hinchamiento del agua, causadas por el congelamiento, cuando se tienen bajas temperaturas. Además, la sub base controla los cambios de volumen y



elasticidad del material del terreno de fundación, que serían dañinos para el pavimento.

Los espesores de sub base son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suele considerarse 12 o 15cm. como la dimensión mínima constructiva. (AASHTO, 1993 "Guide for Design of Pavement Structures").

2.2.3.4 SUB RASANTE

Se define así al terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural o estabilizado o por material de préstamo debidamente compactado para alcanzar el 95% de la máxima densidad seca obtenida mediante el ensayo de proctor modificado.

La sub rasante es la capa de terreno que soporta el paquete estructural y que se extiende hasta una profundidad en la cual no influyen las cargas de tránsito.

Esta capa puede estar formada en corte o relleno, dependiendo de las características del suelo encontrado. Una vez compactada, debe tener las propiedades, secciones transversales y pendientes especificadas de la vía. El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub rasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de estabilidad, incompresibilidad y resistencia a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

El comportamiento estructural de un pavimento frente a cargas externas, varía de acuerdo a las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la forma cómo se reparten las cargas.

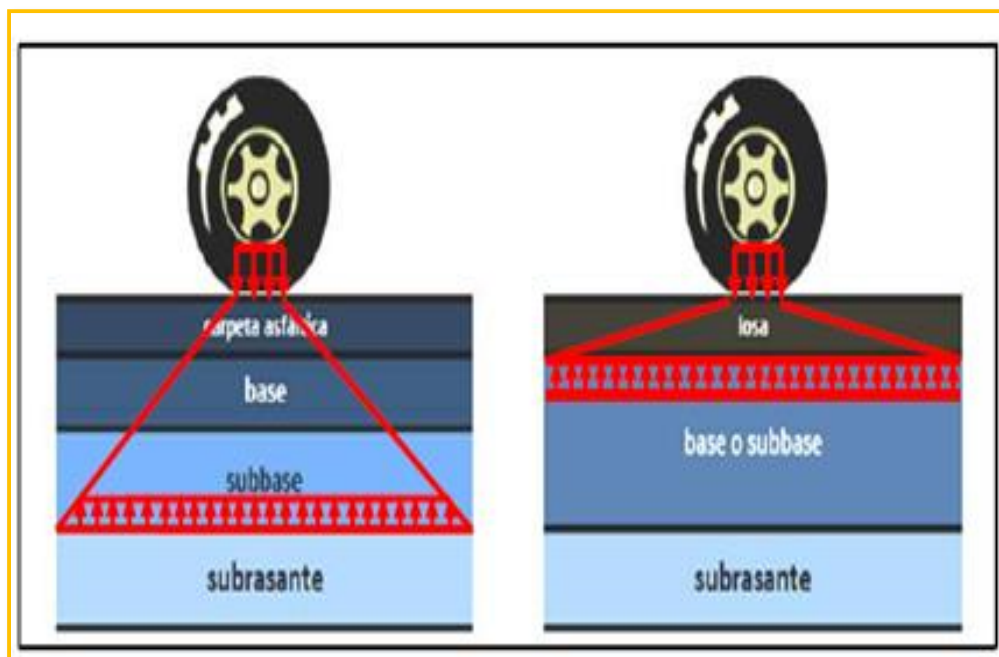
En un pavimento flexible, la distribución de la carga está determinada por las características del sistema de capas que lo conforman. Las capas de mejor calidad están cerca de la superficie donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores.

En el caso de pavimentos rígidos, la losa es la capa que asume casi toda la carga. Las capas inferiores a la losa, en términos de resistencia, son despreciables.

En los pavimentos rígidos, las cargas se distribuyen uniformemente debido a la rigidez del concreto, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub rasante.

En cambio, los pavimentos flexibles tienen menor rigidez, por eso se deforma más que el rígido y se producen tensiones mayores en la subrasante. (AASHTO, 1993 "Guide for Design of Pavement Structures").

FIGURA N° 5: DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.



FUENTE: GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS

2.2.3.5 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Bonett Solano G. E. (2014) nos indica que el procedimiento que se describe a continuación, explica los pasos efectuados en la construcción de una vía nueva de pavimento flexible, la cual la conforman la estructura del pavimento en el orden ascendente como se describen a continuación.

2.2.3.5.1 SUB RASANTE

La preparación del suelo que hará la función de la sub rasante, consiste en una serie de operaciones previas, cuya ejecución es necesaria y muy importante para cimentar la colocación de la capa de sub-base sobre la sub rasante.

2.2.3.5.1.1 ESCARIFICACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN DE LA SUB RASANTE

El procedimiento consiste en disgregar la superficie del suelo a lo largo y ancho de lo que será la calzada en una profundidad especificada, permitiendo que adquiera una condición suelta. Este procedimiento se realiza con tractor de orugas, o bien mediante escarificadores de gradas o discos. Para la eliminación de los elementos gruesos se emplean rastrillos extractores de piedras compuestos por varios dientes curvos insertados en un bastidor horizontal arrastrado por una motoniveladora. Generalmente la extracción se realiza en dos pasadas, en la primera con 7 a 9 dientes, se extraen los elementos más gruesos de 100 mm. a 250 mm y en la segunda con 15 a 18 dientes, se extraen las gravas medias mayores a 50 mm. (BONETT SOLANO G. E. (2014) Guía de Procesos Constructivos de una Vía en Pavimento Flexible).

FIGURA N° 6: ESCARIFICACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA SUB RASANTE



FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.3.5.1.2 HUMECTACIÓN DEL SUELO DE SUB RASANTE

Después de la escarificación y la homogeneización del material, si el suelo estuviese muy seco de acuerdo a la humedad especificada del material ha compactar, éste puede humedecerse mediante los sistemas de riego tradicionales hasta llevarlo a una condición de ± 2 % con respecto a la humedad óptima de compactación, obtenida en el laboratorio por medio del ensayo proctor.

FIGURA N° 7: HUMECTACIÓN DEL MATERIAL DE SUB RASANTE



FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.3.5.1.3 AIREACIÓN DEL SUELO DE SUB RASANTE

Si la humedad natural es mayor que la óptima, se deberá airear el suelo removiéndolo de un lado a otro por medio de una motoniveladora o compactar y escarificar el suelo en varias pasadas, hasta llevarlo a una condición de $\pm 2\%$ de la humedad óptima de compactación, según las especificaciones del ensayo proctor.

FIGURA N° 8: AIREACIÓN DEL MATERIAL DE SUB RASANTE

FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.3.5.1.4 COMPACTACIÓN DE LA SUB RASANTE

Al efectuarse la operación de compactación, después de realizar la nivelación con motoniveladora hasta la altura requerida de la capa de sub rasante, mediante las técnicas convencionales en el movimiento de tierras, se realiza una compactación con un rodillo compactador pata de cabra, y/o rodillo vibratorio dependiendo del tipo de material, con lo que se busca una densidad que cumpla con la del proctor. Para dar por finalizada esta operación, se debe cumplir con la verificación de la calidad del material que se ha controlado por el laboratorio y los niveles que deben ser controlados por la topografía. La superficie terminada del tramo de sub rasante no deberá mostrar a simple vista deformaciones o altibajos, que en caso de existir deberán ser corregidos para que el tramo compactado pueda ser recibido como terminado. (BONETT SOLANO G. E. (2014) Guía de Procesos Constructivos de una Vía en Pavimento Flexible).

FIGURA N° 9: COMPACTACIÓN DE LA SUB RASANTE

FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.3.5.1.5 RECEPCIÓN DE LA CAPA DE SUB RASANTE

Los parámetros a tomar en cuenta para la recepción del tramo de sub rasante terminada, se hará conforme a lo dispuesto en las reglas establecidas por las especificaciones técnicas de construcción de carreteras o de acuerdo a lo establecido en el proyecto, que serán:

- El grado de compactación de la capa sub rasante.
- El espesor de la capa sub rasante compactada.
- La calidad del material que cumpla con las especificaciones técnicas, realizadas por el laboratorio.
- Verificación de niveles de la superficie de sub rasante.

2.2.3.5.2 CAPA DE SUB-BASE

Es la capa de la estructura del pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la superficie de rodadura del pavimento, y son transmitidas a la cimentación (sub rasante). Para esta capa se utilizan agregados provenientes de bancos de materiales que cumplan con las especificaciones técnicas para una sub-base, que serán colocados sobre la superficie de la sub rasante.

FIGURA N° 10: MATERIAL DE SUB-BASE

FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.3.5.2.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Para el proceso de conformación de la capa sub-base, se realiza el suministro de agregados granulares para su colocación en conformidad con los alineamientos verticales, pendientes y dimensiones indicadas en los planos del proyecto o establecidos por el Ingeniero supervisor.

2.2.3.5.2.2 ESCARIFICACIÓN DEL MATERIAL DE PROTECCIÓN DE LA SUB RASANTE

Se procederá a escarificar el material de protección colocado sobre la superficie de la sub rasante, para ser mezclado y homogenizado con el nuevo material que se colocará para conformar la capa de sub-base. La operación de escarificar se efectuará con motoniveladora o con cualquier otro equipo aprobado por la supervisión o el ingeniero residente. El escarificador deberá ser un modelo de dientes fijos, completos, de espesor y de largo suficiente para efectuar una escarificación total y uniforme.

2.2.3.5.2.3 COLOCACIÓN DEL MATERIAL DE SUB-BASE

El material granular para sub-base, se colocará sobre la superficie de la sub rasante evitando su segregación, comenzando en el sitio que indique el Ingeniero residente. En ningún caso se deberá colocar capas de material para sub-base mayores de 20 cm, ni menores a 10 cm., si se desea colocar un espesor mayor, el Ingeniero residente deberá ordenar al contratista la colocación del espesor total en varias capas.

2.2.3.5.2.4 DISTRIBUCIÓN DEL MATERIAL DE SUB-BASE

El material de sub-base en estado suelto, será esparcido con un contenido de humedad de $\pm 2\%$ con respecto a la humedad óptima, en un espesor necesario para que después de ser compactado, tenga el espesor de diseño. El esparcimiento se deberá hacer con el equipo adecuado, ya sea con una finisher o una motoniveladora para producir una capa de espesor uniforme en todo el ancho requerido, conforme a las secciones transversales mostradas en los planos. El Contratista está obligado a la colocación de tacos de nivel en los extremos de la calzada para el control de espesores durante la colocación, esparcimiento y compactación del material de sub-base.

2.2.3.5.2.5 COMPACTACIÓN DE LA CAPA DE SUB-BASE

El procedimiento de compactación de la capa sub-base, se realiza por medio de compactadores mecánicos como rodillos lisos, rodillos con ruedas neumáticas o con otro equipo aprobado para compactación, que produzca los resultados exigidos por las especificaciones técnicas de construcción. La compactación deberá avanzar gradualmente, en las tangentes, desde los bordes hacia el centro y en las curvas desde el borde interior al exterior, paralelamente al eje de la carretera y traslapando uniformemente la mitad del ancho de la pasada anterior. El procedimiento se continuará alternadamente hasta lograr una densidad que cumpla con la del proctor, según la especificación, en todo el espesor de la capa.

2.2.3.5.2.6 RECEPCIÓN DE LA CAPA DE SUB-BASE

Los parámetros que se requerirán para la recepción del tramo de sub-base terminado, se hará conforme a los requisitos establecidos por las especificaciones técnicas de construcción de carreteras o de acuerdo a lo establecido en el proyecto, que serán:

- El grado de compactación de la capa sub-base.
- El espesor de la capa sub-base compactada.
- La calidad del material que cumpla con las especificaciones técnicas, realizadas por el laboratorio.
- Verificación de niveles de la superficie de sub-base.

2.2.3.5.2.7 PROTECCIÓN DE LA CAPA RECEPCIONADA DE SUB-BASE

Al dar por terminada la conformación de la capa de sub-base y su recepción ha sido aprobada satisfactoriamente, se prepara la superficie de esta para la colocación de una capa protectora, la cual consta de 10.0 cm. De espesor compuesto por material selecto para base, que al terminar de ser tendida tiene que compactarse debidamente. El objetivo de este proceso es el de proteger la capa de sub-base de una posible lluvia o la circulación de algunos vehículos inesperadamente que puedan causar daño a dicha capa.

2.2.3.5.3 CAPA DE BASE

Es la capa del pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito en la capa de rodadura a la sub-base. El material a emplear deberá estar constituido por una combinación de grava de buena calidad, arena, y suelo en su estado natural, todos ellos previamente clasificados para ser colocados sobre la superficie de la sub-base.

2.2.3.5.3.1 PROCESO CONSTRUCTIVO

Para el proceso de conformación de la capa de base, se realiza el suministro de agregados granulares, que se colocaran de conformidad con los alineamientos



verticales, pendientes y dimensiones indicadas en los planos del proyecto o establecidos por el Ingeniero supervisor.

2.2.3.5.3.2 ESCARIFICACIÓN DEL MATERIAL DE PROTECCIÓN DE LA SUB-BASE

Se procederá a escarificar el material de protección colocado sobre la superficie de la sub-base, para ser mezclado y homogenizado con el nuevo material que se colocará para conformar la capa de base. La operación de escarificar se efectuará con motoniveladora o con cualquier otro equipo aprobado por la supervisión o el ingeniero residente. El escarificador deberá ser un modelo de dientes fijos, completos, de espesor y de largo suficiente para efectuar una escarificación total y uniforme.

2.2.3.5.3.3 COLOCACIÓN DEL MATERIAL DE BASE

El material granular de base, se colocará sobre la superficie de la sub base evitando su segregación, iniciando en el sitio que indique el Ingeniero residente. En ningún caso se deberá colocar capas de material para base mayores de 20 cm., ni menores a 10 cm. Si se desea colocar un espesor mayor de 20 cm, el Ingeniero residente deberá ordenar al contratista la colocación del espesor total en varias capas.

2.2.3.5.3.4 DISTRIBUCIÓN DEL MATERIAL DE BASE

El material de base en estado suelto, será esparcido con un contenido de humedad de $\pm 2\%$ con respecto a la humedad óptima, en un espesor necesario para que después de ser compactado, tenga el espesor de diseño. El esparcimiento se deberá hacer con el equipo adecuado, ya sea con una finisher o una motoniveladora para producir una capa de espesor uniforme en todo el ancho requerido, conforme a las secciones transversales mostradas en los planos. El contratista está obligado a la colocación de tacos para nivelar los extremos de la calzada, y controlar los espesores durante la colocación, esparcimiento y compactación del material de base.

2.2.3.5.3.5 COMPACTACIÓN DE LA CAPA DE BASE

El procedimiento de compactación de la capa base, se realiza por medio de compactadores mecánicas como: rodillos lisos, rodillos con ruedas neumáticas o con

otro equipo aprobado para compactación que produzca los resultados exigidos. La compactación deberá avanzar gradualmente, en las tangentes, desde los bordes hacia el centro y en las curvas desde el borde interior al exterior, paralelamente al eje de la carretera y traslapando uniformemente la mitad del ancho de la pasada anterior. El procedimiento se continuará alternadamente hasta lograr una densidad que cumpla con la del proctor T-180 o T -99, según la especificación, en todo el espesor de la capa. (BONETT SOLANO G. E. (2014) Guía de Procesos Constructivos de una Vía en Pavimento Flexible)

2.2.3.5.3.6 RECEPCIÓN DE LA CAPA DE BASE

Los parámetros que se requerirán para la recepción del tramo de base terminada, se hará conforme a los requisitos establecidos por las especificaciones técnicas de construcción de carreteras o de acuerdo a lo establecido en el proyecto, que serán:

- El grado de compactación de la capa base.
- El espesor de la capa base compactada.
- La calidad del material que cumpla con las especificaciones técnicas, realizadas por el laboratorio.
- Verificación de niveles de la superficie de base.

2.2.3.5.3.7 RIEGO DE IMPRIMACIÓN

El riego de imprimación se realizará con un ligante asfáltico y un material secante, que cumplan con la especificación y deben cubrir toda la superficie de la capa base, de acuerdo a una tasa de riego ya preestablecida.

2.2.3.5.3.7.1 PROCESO DEL RIEGO DE LA IMPRIMACIÓN

La función de la imprimación es proteger la superficie de la base una vez ha sido compactada, la cual consiste en el suministro y aplicación de un riego de material asfáltico, incluyendo la colocación del material secante, si se requiere, sobre dicha capa previamente preparada y aprobada, de acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto en conformidad con los planos o según indique el Ingeniero

residente. El riego de imprimación es una aplicación de emulsión asfáltica que cubre la capa de base. Sirve para tres propósitos:

- Ayudar a prevenir la posibilidad de que se desarrolle un plano de deslizamiento entre la capa de base y la capa superficial.
- Evita que el material de base se desplace bajo las cargas de tránsito, durante la construcción, antes de que se coloque la capa asfáltica.
- Protege la capa de base de la intemperie.
- Impermeabilizar la superficie
- Cerrar los espacios capilares
- Revertir y pegar sobre la superficie las partículas sueltas
- Endurecer la superficie
- Facilitar el mantenimiento
- Promover la adherencia entre la superficie sobre la cual se coloca y la primera capa de mezcla asfáltica sobre ella colocada.

(BONETT SOLANO G. E. (2014) Guía de Procesos Constructivos de una Vía en Pavimento Flexible)

FIGURA N° 11: RIEGO DE IMPRIMACIÓN



FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.3.5.3.7.2 MATERIALES EMPLEADOS EN LA IMPRIMACIÓN

El material asfáltico usado deberá ser del tipo rebajado, de curado medio (MC-70 o MC-250) de acuerdo con la textura de la superficie a imprimir y deberá cumplir con las especificaciones AASHTO M-82. El material asfáltico para el riego de imprimación deberá ser aplicado dentro de los siguientes límites de temperatura para obtener la penetración deseada: (MC-70) de 54°C a 88°C, (MC-250) de 79°C a 113°C, o lo que indiquen los resultados de pruebas de viscosidad, tomando como límites los valores de 60 segundos y 15 segundos. La tasa de aplicación o dosificación podrá variar de 1.00 a 1.75 litros por metro cuadrado, debiéndose adoptar la que es totalmente absorbida en 24 horas. El material secante deberá ser arena libre de materia orgánica y de sustancias perjudiciales.

2.2.3.5.3.7.3 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

No se podrá imprimir cuando existan condiciones de lluvia. La Capa de Imprimación debe ser aplicada solamente cuando la temperatura atmosférica a la sombra esté por encima de los 10 °C, y la superficie del camino esté razonablemente seca.

2.2.3.5.3.7.4 FACTORES QUE AFECTAN UNA APLICACIÓN UNIFORME

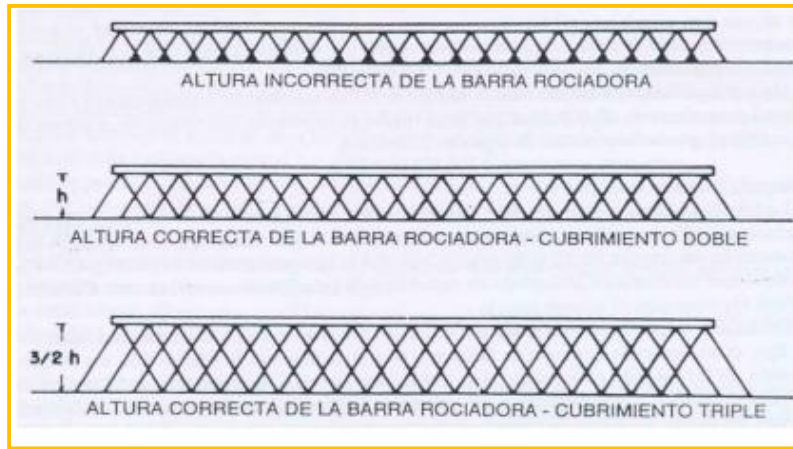
Estos factores que afectan la aplicación uniforme son los siguientes

- Temperatura de Aspersión del Asfalto: Los distribuidores de Asfalto tienen tanques protegidos, para mantener la temperatura del material y están equipados con calentadores para lograr la temperatura de aplicación adecuada.
- Presión del Líquido a lo largo de la Barra de Aspersión: Para mantener la presión continua y constante en toda la longitud de la Barra de Aspersión se usan bombas de Descarga con potencia independiente.

FIGURA N° 12: ASPERSIÓN DEL ASFALTO

FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

- **Angulo de Aspersión:** El ángulo de aspersión de los agujeros debe establecerse adecuadamente, generalmente entre 15° y 30° desde el eje horizontal de la Barra de Aspersión, de modo que los flujos individuales no interfieran entre sí o se mezclen.
- **Velocidad del Camión Imprimador:** El vehículo debe estar provisto de un velocímetro visible al conductor, para asegurar la velocidad constante, y necesaria que permita la aplicación uniforme del ligante. Existe una relación entre la tasa de aplicación y La Velocidad del Camión Imprimador.
- **Altura de Aspersión de los Agujeros:** La altura de los agujeros sobre la superficie determina el ancho de un flujo individual. Para asegurar el adecuado traslape de cada salida, la altura del agujero debe fijarse y mantenerse durante toda la operación.

FIGURA N° 13: ALTURA DE ASPERSIÓN DE LOS AGUJEROS

FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.3.5.3.7.5 EQUIPO UTILIZADO PARA REALIZAR LA IMPRIMACIÓN

El equipo para la imprimación estará compuesto por barredoras o sopladores mecánicos, montados sobre llantas neumáticas; escobillones de mano, distribuidora de material asfáltico a presión del tipo de autopropulsión. La distribuidora deberá tener llantas neumáticas, estar provista de los controles y medidores necesarios en buenas condiciones de trabajo, además deberá estar diseñada, equipada, calibrada y ser operada de tal manera que sea capaz de distribuir el material asfáltico, con una variación que no exceda de 0.1 l/m² de superficie.

FIGURA N° 14: BARREDORA MECÁNICA

FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.3.5.3.7.6 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE PARA LA IMPRIMACIÓN

La superficie de la base deberá estar de acuerdo con los alineamientos, pendientes y secciones transversales mostradas en los planos. Antes de aplicar el riego de imprimación se deberá remover todo el material suelto, barriendo la superficie obligatoriamente con una escoba mecánica (con cerdas apropiadas a los tipos de superficie a barrer), solo se podrá usar escobillones a mano en secciones limitadas o de difícil acceso comprobado. Se hará un riego ligero de agua a las zonas demasiado secas, sobre la superficie limpia antes de aplicar el material asfáltico. Se procederá con el riego de imprimación cuando la base comience a presentar la apariencia de estar seca.

2.2.3.5.3.7.7 RIEGO DEL MATERIAL ASFÁLTICO SOBRE LA SUPERFICIE

El riego del material asfáltico deberá hacerse preferiblemente durante las horas más calurosas del día y por ningún motivo se aplicará cuando la base se encuentre mojada o haya peligro de lluvia. La imprimación se hará en la superficie de rodadura y en los taludes de la capa base, tan pronto se haya compactado la misma. La penetración normal del riego debe ser de 8 a 10 mm, aunque puede considerarse como satisfactoria una penetración menor, siempre que haya buena adherencia entre el material asfáltico y el pétreo de la base. La base imprimada deberá cerrarse al tránsito durante 24 horas. Cuando por causas de fuerza mayor sea necesario abrir al tránsito la base imprimada antes que transcurran 24 horas de haberse aplicado el riego, este se deberá cubrir con arena, donde el equipo esparcidor de arena no deberá, en ningún momento, transitar sobre el material asfáltico que no esté recubierto. En todo caso deberá transcurrir un tiempo mínimo de cuatro horas entre la aplicación del riego asfáltico y el de la arena. (BONETT SOLANO G. E. (2014) Guía de Procesos Constructivos de una Vía en Pavimento Flexible).

2.2.3.5.3.7.8 APERTURA DEL TRÁFICO

El área imprimada será cerrada al tráfico entre 24 y 48 horas para que el producto bituminoso penetre y se endurezca superficialmente. El exceso de material bituminoso que forme charcos, será retirado con escobas y trabajo manual con o sin adición de arena.



2.2.3.5.4 MEZCLA ASFÁLTICA

Las mezclas asfálticas como ya hemos visto anteriormente sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los firmes. El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y duración de la carga, Las mezclas asfálticas se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más comunes las primeras, por lo que se enfocará el estudio hacia las mezclas asfálticas en caliente.

2.2.3.5.4.1 PROCESO CONSTRUCTIVO

La fabricación de la mezcla asfáltica en caliente es un proceso industrial, realizado en plantas productoras de mezcla asfáltica. Estas, son un conjunto de equipos mecánicos y electrónicos, en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con cemento asfáltico para producir una mezcla asfáltica en La planta de elaboración de la mezcla puede ser continua (prácticamente en desuso), de mezcla en el tambor o discontinua y debe disponer de los dispositivos adecuados para calentar y dosificar los agregados y el cemento asfáltico caliente. Las operaciones principales de una planta de asfalto son secado, cribado, proporcionado y mezclado.

2.2.3.5.4.2 TRANSPORTE

Generalmente se emplean camiones del tipo volqueta, los cuales efectúan el vaciado por el extremo posterior de la caja al ser levantada, en la superficie interna de la caja debe impregnarse con un producto que impida la adhesión de la mezcla, pero que no altere sus propiedades de la mezcla asfáltica, durante el transporte, la mezcla se debe proteger con una lona, la cual debe estar bien asegurada para evitar que el aire frío se cuele hacia la carga. Una vez llega a la obra, el ingeniero residente debe encargarse de verificar la temperatura de llegada en el volquete. Cuando se va a



comenzar el proceso de colocación, se retira la lona y se deposita la mezcla en la tolva de la terminadora de mezcla asfáltica.

- Al llegar la mezcla a la obra el ingeniero debe hacer una inspección visual de la mezcla para notar sus deficiencias. A continuación, se mencionan algunas de ellas, que pueden requerir una inspección más rigurosa y posiblemente, una rectificación.
- Humo azul. El humo azul que asciende de la mezcla del camión puede ser un indicador de que se ha sobrecalentado la mezcla.
- Apariencia dura. Una carga que aparezca dura o presente un pico alto puede estar fría para cumplir con especificaciones.
- Apariencia opaca y magra. Una mezcla con estas características puede contener muy poco asfalto, o contener un exceso de finos
- Vapor ascendente. El exceso de humedad aparece, frecuentemente, como vapor ascendente en la mezcla.
- Segregación. La segregación de agregados puede ocurrir durante la pavimentación debido a un manejo inadecuado de la mezcla o puede ocurrir antes de que la mezcla llegue a la finisher.

(BONETT SOLANO G. E. (2014) Guía de Procesos Constructivos de una Vía en Pavimento Flexible).

2.2.3.5.4.3 ENTREGA

En la entrega, el camión debe retroceder derecho contra la pavimentadora y detenerse antes de que sus ruedas hagan contacto con los rodillos frontales de la pavimentadora. La caja del camión se debe elevar lentamente, para evitar la segregación de la mezcla.

FIGURA N° 15: DESCARGUE DE LA MEZCLA EN OBRA

FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.3.5.4.4 EXTENSIÓN

El proceso principal de construcción del pavimento consiste en extender la mezcla a lo largo de la vía y compactarla adecuadamente hasta la densidad mínima especificada en las normas. La mezcla se extiende con máquinas autopropulsadas, diseñadas para colocarla con la sección transversal proyectada sobre la superficie, en un ancho y un espesor determinados, y para proporcionarle una compactación inicial. Sobre la superficie por pavimentar se debe colocar una guía longitudinal que sirva de referencia al operador de la máquina, para conservar el alineamiento.

FIGURA N° 16: PAVIMENTADORA O FINISHER.

FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.3.5.4.5 COMPACTACIÓN

La compactación es la etapa final de las operaciones de pavimentación con mezclas asfálticas en caliente. En esta etapa se desarrolla la resistencia total de la mezcla y se establecen la lisura y la textura de la carpeta. Al compactar la mezcla, esta adquiere estabilidad, cohesión e impermeabilidad, que se traduce en capas de rodadura resistente, durable y lisa. Adicionalmente, la compactación cierra los espacios a través de los cuales el aire y el agua pueden penetrar y causar un envejecimiento rápido y/o desprendimiento. La compactación de la mezcla asfáltica se realiza en tres fases:

- Compactación inicial: Es la primera pasada del compactador sobre la carpeta recién colocada. Se usan compactadores vibratorios o estáticos. Esta actividad se debe hacer sobre toda la carpeta.
- Compactación intermedia: Para obtener la densidad requerida antes del enfriamiento de la mezcla. Con esta compactación se logran la densidad y la impermeabilidad requeridas.
- Compactación final: Para eliminar marcas sobre la superficie y alcanzar la suavidad final. Generalmente se usan los compactadores neumáticos. Se hace

mientras la mezcla este todavía lo suficientemente caliente para permitir la eliminación de cualquier marca de la compactación.

FIGURA N° 17: COMPACTADOR DE LLANTAS NEUMÁTICAS Y DE TAMBOR.



FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

Parámetros de calidad de compactación: La calidad del pavimento terminado depende en gran medida del éxito obtenido en el proceso de compactación. Se usan tres criterios para aprobar o reprobar una carpeta terminada. Estos son: textura superficial, tolerancia de la superficie y densidad.

- Textura superficial. Los defectos que aparezcan durante la compactación y que no puedan ser corregidos con pasadas adicionales, se deben remplazar con mezcla caliente fresca antes de que la temperatura de la carpeta que este alrededor baje hasta un punto que no sea trabajable.
- Tolerancia de la superficie. Las variaciones en la lisura de la carpeta no deberán exceder 6 mm bajo una regla de 3 m colocada perpendicularmente a la línea central y 3 mm cuando esta sea colocada paralelamente a la línea central.
- Densidad. Se deben hacer pruebas de densidad para determinar la efectividad de la compactación. Estas pruebas se pueden hacer removiendo un núcleo ya terminado y analizándolo en laboratorio o utilizando un densímetro nuclear, que mide la densidad directamente sobre la superficie del pavimento. La densidad

debe ser mínimo del 98% de la densidad media obtenida en laboratorio, que es la densidad de referencia.

(BONETT SOLANO G. E. (2014) Guía de Procesos Constructivos de una Vía en Pavimento Flexible)

FIGURA N° 18: DENSÍMETRO NUCLEAR.



FUENTE: BONETT SOLANO GABRIEL ENRIQUE (2014) GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.2.4.1 VENTAJAS

- Fácil financiamiento por su bajo costo inicial.
- La construcción como las operaciones de mantenimiento se realizan en un tiempo mucho más corto.
- La marcha de los vehículos automotores es más suave por no tener juntas de unión.
- Pueden utilizarse nuevamente como base los pavimentos existentes cuando se coloque una nueva capa de rodaje. (AASHTO, 1993 "Guide for Design of Pavement Structures 1993").



2.2.4.2 DESVENTAJAS.

- Ocasionan mayores gastos en el mantenimiento.
- Menores años de vida útil.
- Las altas temperaturas y lluvias promueven pérdida de material.
- Requieren plantas de asfalto y equipos especializados
- Las deformaciones y deterioros que sufren disminuyen seguridad y comodidad.
- Sobre cargas imprevistas y tráfico provocan daño estructural, incluyendo al suelo de apoyo.
- Requiere mayores excavaciones, movimiento de tierras y son más las capas a colocar.
- Las acciones rutinarias de conservación y reparaciones frecuentes interrumpen el tráfico y hacen más costosa la carretera.
- En época de invierno los daños son considerables y más costosas las operaciones de mantenimiento.

(AASHTO, 1993 “Guide for Design of Pavement Structures”).

2.2.5 VIDA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

El deterioro continuo y permanente de una vía comienza en el momento en que finaliza su construcción. Al examinar el comportamiento de los pavimentos flexibles, se puede dividir su vida en tres fases:

- Fase de Consolidación: Esta es la fase inicial en la vida de un pavimento flexible, donde sus diversas capas sufren cierta consolidación, debido a las cargas transmitidas por las ruedas de los vehículos. Es una fase relativamente corta que tiende a estabilizarse rápidamente. Depende de la compactación que reciben las diversas capas durante la construcción y no debe ocurrir si ésta ha sido suficiente.
- Fase Elástica: Inicia inmediatamente después de la fase anterior y corresponde a la vida útil del pavimento. Si ocurre la fase de consolidación, cada carga provoca una deformación de tipo permanente, que luego tiende a transformarse



en deformación transitoria de recuperación instantánea de tipo elástico, provocando por cada rueda un movimiento vertical hacia abajo (deflexión), que se recupera después de pasar el vehículo (rebote).

Durante la fase elástica no se presentan fallas generalizadas en el pavimento, salvo deformaciones o fallas locales por defectos de materiales, exceso de humedad, etc. En esta fase, las deformaciones elásticas son causadas por las cargas que producen esfuerzos de tensión en las capas asfálticas y de compresión en las capas granulares.

La vida de un pavimento depende de la duración de esta fase lo cual está íntimamente ligado a las deflexiones que pueda sufrir el pavimento. Los estudios de los pavimentos han demostrado que aquellos que presentan deflexiones reducidas, tienen generalmente una vida larga, aconteciendo lo inverso cuando estas son elevadas.

- Fase de Fatiga: Es la fase final en la vida de la estructura. Las deflexiones causadas por el constante paso de las ruedas de los vehículos provocan tensiones de tracción en los revestimientos asfálticos, que vienen acumulándose desde la fase elástica hasta que la capa se rompe por fatiga después de cierto número de pasadas, momento a partir del cual comienza un colapso gradual en toda la vía requiriéndose prácticamente una reconstrucción de la misma. La rotura por fatiga se inicia con la aparición de grietas longitudinales las cuales con el paso repetido del tránsito y la penetración de las aguas superficiales al interior del pavimento provocan el colapso de la estructura llegando al pavimento al final de su vida útil.

(AASHTO, 1993 "Guide for Design of Pavement Structures").

2.2.6 FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.

Según Montejo F., A. (2006) Ingeniería de Pavimentos. Tomo II. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia nos indica que los factores son:

- El tránsito: interesa para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por ejes esperados en el carril de diseño solicitado, que



determinara la estructura del pavimento de la carretera durante el periodo de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento son fundamentales para el cálculo. Además, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las solicitaciones tangenciales en tramos especiales, las velocidades de operación de los vehículos y la canalización del tránsito etc.

- La sub rasante: la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que deber tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen de un suelo de sub rasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura.
- El clima: los factores que en nuestro país afectan con mayor incidencia a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura (- 2°C a 23°C). Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de sub rasante especialmente. Esto influye en algunas actividades de la construcción de capas granulares y asfálticas.
- Los materiales disponibles: Los materiales disponibles son determinantes para la selección de la estructura del pavimento más adecuada técnica y económicamente. Por una parte, se consideran los agregados disponibles en canteras y depósitos aluviales del área. Además de la calidad requerida en la que se incluye la deseada homogeneidad. Por otra parte, se deben considerar los materiales básicos de mayor costo: ligantes y conglomerantes.



2.2.7 DEFORMACIÓN PERMANENTE.

2.2.7.1 DEFORMACIÓN PERMANENTE ESTRUCTURAL.

Desde el punto de vista Mecanicista, existen dos principales criterios de falla para los materiales bituminosos: Deformaciones Permanentes y Agrietamiento por Fatiga.

La falla estructural del pavimento puede manifestarse con daños de este tipo debido a una deficiencia de diseño, la cual se manifiesta cuando la vía está sometida a cargas de tránsito muy altas.

Según lo establecido, la primera de ellas, objeto de nuestro estudio, se origina por deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la sub rasante, generada por deformación plástica del concreto asfáltico o por deformación elástica de las capas granulares y la sub rasante, debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas, como es el caso del ahuellamiento u otros tipos de fallas. (Padilla Alejandro Rodríguez (2007). Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos. Universidad UPC. México).

2.2.7.1.1 DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.

Se presenta en climas cálidos y también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o de agregados redondeados.

El ancho de carriles y la velocidad del tránsito también pueden afectar la deformación permanente. La distribución lateral de la zona de rodadura está influenciada por la velocidad del tránsito, ancho de carril y profundidad de las huellas. Las bajas velocidades del tránsito, las cuales corresponden a frecuencias de carga más bajas, también contribuyen directamente al desarrollo de deformaciones permanentes en las capas bituminosas.

La deformación permanente en carpetas asfálticas ocurre debido a una combinación del flujo del material (visco elástico o visco plástico) y el daño en este material, representado por la formación y propagación de fisuras. La capacidad de una



mezcla de resistir este tipo de deformación depende de diversos factores, entre los cuales, la consistencia del ligante y la volumetría de la mezcla (agregados y ligantes)

La temperatura del asfalto es un factor que afecta fuertemente a la deformación permanente; no sólo las temperaturas máximas, sino también los gradientes de temperatura pueden tener una influencia sobre la deformación permanente. La temperatura máxima, así como el gradiente de temperatura pueden ser cambiados por la conductividad térmica de la mezcla, así como la brillantez o reflectividad, por medio de la selección del agregado. (Padilla Alejandro Rodríguez (2007). Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos. Universidad UPC. México).

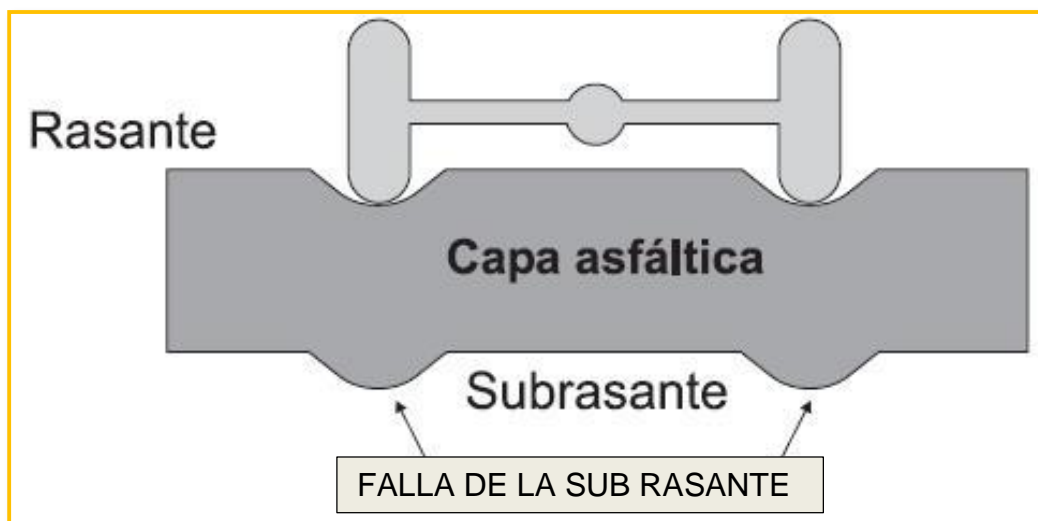
2.2.7.1.2 AHUELLAMIENTO POR FALLAS EN LA SUB RASANTE, SUB BASE Y BASE.

Son causadas por un excesivo esfuerzo repetido en las capas interiores, sean base o subbase bajo la capa de mezcla asfáltica. Aunque los materiales duros pueden reducir este tipo de roderas, es considerado un problema estructural, más que de los materiales entre sí. También puede ser causado por un inesperado debilitamiento de una de las capas generadas por la intrusión de humedad. La deformación ocurre en las capas inferiores, así como en la sub rasante.

Las cargas de tráfico provocan hundimientos y debilitamiento, por debajo en la estructura del pavimento. Si la capa de pavimento es suficientemente flexible, se deformará por tener espesores delgados. Los hundimientos por ahuellamiento tienden a ser de anchos que van desde los 750 mm. hasta los 1000 mm. con poca profundidad y formas curvadas cruzando la sección del pavimento sin fisurarse. Si se hiciera una zanja o corte, la deformación de pavimento indicaría, que el espesor del pavimento permanece constante y cualquiera de las capas granulares (base o sub-base) tiene deformaciones. Si la estructura del pavimento es lo suficientemente rígida a la deformación, ocurrirán fisuras por fatiga de un lado a otro en el ancho entero de la trayectoria de la llanta.

Algunas veces atravesando toda la sección del pavimento, parecería un tipo de falla por punzonamiento, con piezas quebradas empujadas hacia abajo. Algunos ahuellamientos tienden a presentar pendientes pronunciadas con bordes quebrados en ambos lados de la trayectoria de la rueda. (Padilla Alejandro Rodríguez (2007). Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos. Universidad UPC. México).

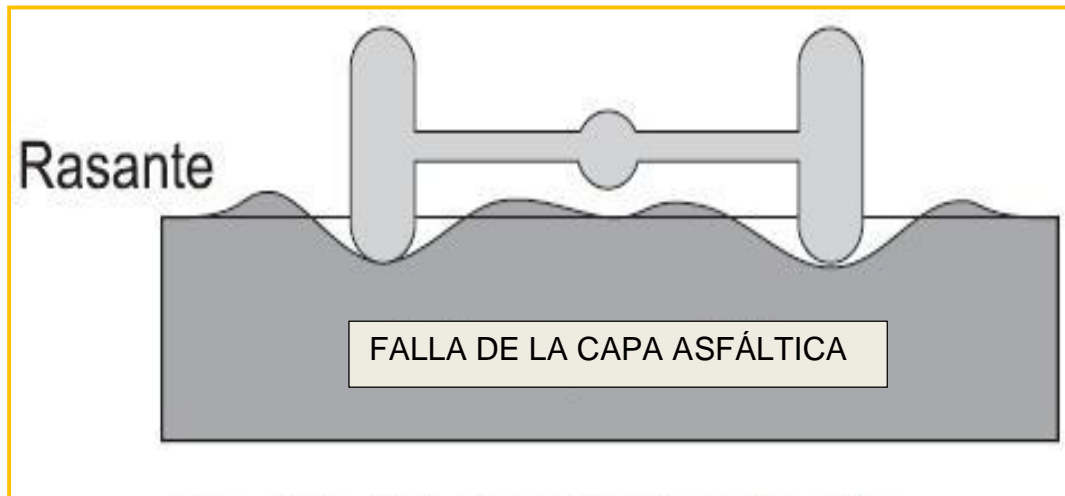
FIGURA N° 19: AHUELLAMIENTO POR FALLA EN LA SUB RASANTE O CAPAS.



FUENTE: REVISTA CIENTÍFICA INGENIERÍA Y DESARROLLO.

2.2.7.1.3 AHUELLAMIENTO POR FALLAS EN LA CAPA DE MEZCLA ASFÁLTICA.

Es el tipo de falla se produce debido a la escasez de la capacidad portante o a la insuficiencia de soportar cargas pesadas, una mezcla asfáltica débil, va acumulando una pequeña pero permanente deformación plástica, en cada pulso de carga pesada, y eventualmente forma una ruta caracterizada con una inclinación y deslizamiento lateral de la mezcla, el ahuellamiento puede ocurrir en la capa superficial de asfalto o debido al debilitamiento en las capas inferiores de asfalto. (Padilla Alejandro Rodríguez (2007). Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos. Universidad UPC. México).

FIGURA N° 20: AHUELLAMIENTO POR FALLA EN LA MEZCLA ASFÁLTICA.

FUENTE: REVISTA CIENTÍFICA INGENIERÍA Y DESARROLLO.

Los ahuellamientos como se ha dicho antes son la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes y una manera de incrementar la fuerza contra el deslizamiento es no solamente utilizar asfaltos más duros, sino otro que se comporte más como un sólido elástico a altas temperaturas; así cuando se aplique la carga el material podrá deformarse y volver a su posición original.

Otra manera de prevenir los desplazamientos es seleccionar agregados que tengan un alto grado de fricción interna, que sea cúbico, que tenga una superficie rugosa y pueda desarrollar un grado de contacto partícula a partícula. Cuando se le aplica una carga a una mezcla asfáltica, las partículas de los agregados se cierran unidas de tal manera que funcionan como una sola, larga y elástica piedra y como el asfalto actuará como una banda elástica, volverá a su forma original cuando desaparezca la carga, de esta forma no se acumula una deformación permanente. (Padilla Alejandro Rodríguez (2007). Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos. Universidad UPC. México).

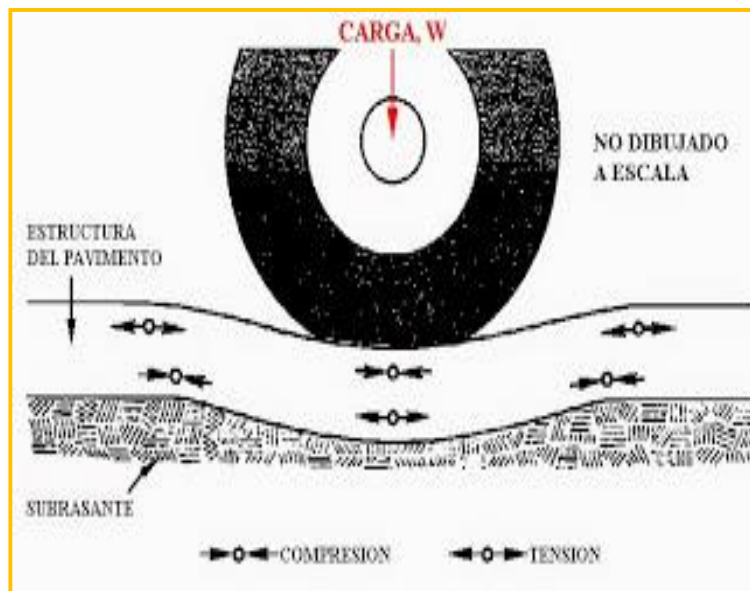
2.2.7.2 DEFORMACIÓN PERMANENTE POR TRACCIÓN

Generalmente se acepta que, en la mayor parte de las situaciones, el tráfico genera un daño por fatiga del material que se inicia en la parte inferior de la capa asfáltica y se propaga hacia la superficie. En el modelo tradicional de fatiga las fisuras

se originan en la fibra inferior de la mezcla bituminosa (zona donde la tensión de tracción es mayor) y se propaga verticalmente hacia la superficie del pavimento.

Daño por fatiga significa que un estado de tensión provocado por una sollicitación, muy alejada del valor de rotura, llega a producir por acumulación (es decir, por repetición de la sollicitación un número muy elevado de veces) el agotamiento del material, agotamiento que se manifiesta por la fisuración del mismo. (Padilla Alejandro Rodríguez (2007). Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos. Universidad UPC. México).

FIGURA N° 21: DEFORMACIÓN PERMANENTE POR TRACCIÓN



FUENTE: ASPHALT INSTITUTE'S THICKNESS DESIGN MANUAL (MS-1)

2.2.7.3 DEFORMACIÓN PERMANENTE POR USO

Cuando los ahuellamientos son causados por deformaciones en la mezcla asfáltica, el material asfáltico es desplazado lateralmente a lo largo de la trayectoria de los vehículos en el plano de la mezcla, y la huella se forma por depresión en el área de carga por donde rueda el neumático o los neumáticos, dejando cumbres de mezcla en ambos lados a lo largo de la trayectoria de los vehículos. La superficie dentro de la trayectoria del neumático usualmente está lisa y abundante en asfalto; el fondo de la huella tal vez es lisa y en forma de cuchara.

Muchas veces una o más pequeñas crestas existen de la huella entre los espacios de las llantas duales. Las huellas formadas por deformación tienden a cambiar gradualmente a lo largo de la carretera, por lo tanto, el pavimento continúa proporcionando el servicio de rodadura a pesar de tener ahuellamientos.

La importancia de utilizar materiales para la superficie de los pavimentos, con alta densidad, pueden minimizar el orden de magnitud de las deformaciones permanentes. (Padilla Alejandro Rodríguez (2007). Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos. Universidad UPC. México).

FIGURA N° 22: DEFORMACIÓN PERMANENTE POR USO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se ha mencionado en estudios de investigación que los ahuellamientos mayormente son causados por flujos de deformación acompañadas de cambios de volumen en los materiales

A continuación, se indica el efecto sobre una superficie de pavimento debido al número de pasadas de neumáticos en un ensayo de pista. Estos datos permiten hacer mediciones del promedio de la profundidad de la huella como el volumen de material desplazado por debajo de las llantas y por encima de las zonas adyacentes a ellas. Con esta información, a través de la figura se pueden obtener dos conclusiones:

- 1.- En el escenario inicial de tráfico, el incremento de las deformaciones irreversibles por debajo de los neumáticos es particularmente mayor que el incremento en las zonas por encima de la superficie. En esta fase inicial, la compactación debida al tráfico, tiene una mayor influencia en las huellas.
- 2.- Después del escenario inicial, el volumen que disminuye por debajo de las llantas es aproximadamente igual que el volumen que se incrementa por los bordes en la parte superior del pavimento. Esto es un indicador de que mayormente la compactación se lleva a cabo bajo las sollicitaciones del tráfico y de que las huellas son causadas primordialmente por desplazamiento con volumen constante. Esta fase se consideró en gran parte para representar el comportamiento de la deformación en el tiempo de vida del pavimento.

Hofstra y Klomp (1972) (encontraron que la deformación a través de las capas de concreto asfáltico es mayor cerca de la superficie donde se aplican las cargas y gradualmente decrece en las capas de niveles inferiores.

Los ahuellamientos son causados básicamente por flujo plástico; a mayor profundidad de la mezcla, existe una mayor resistencia al flujo plástico y también a mayor profundidad se reducen los niveles de tensión. La deformación plástica en una capa de pavimento, puede verse incrementada en la medida en que dicha capa es de menor espesor.

2.2.8 MECANISMOS DE DEFORMACIÓN

Toda carga vehicular sobre un pavimento produce una deformación, la cual puede ser transitoria o permanente.

2.2.8.1 TRANSITORIAS

Es aquella que desaparece cuando se retira la carga. Si la recuperación es instantánea se dice que la deformación es elástica. Si por el contrario, transcurre cierto tiempo desde que se retira la carga hasta recuperar la condición inicial se dice que ésta es visco elástica. (AASHTO, 1993 "Guide for Design of Pavement Structures").

2.2.8.2 PERMANENTE

Es aquella que se mantiene aun después de haber retirado la carga. Dentro de este tipo se encuentran las deformaciones: por consolidación, plásticas y por expansión.

- Por consolidación: Consiste en la reducción en el espesor de algunas de las capas del pavimento. Con un cambio correspondiente de volumen. Generalmente esta deformación se debe a una compactación insuficiente de la capa que falla y se caracteriza por no presentar grietas, pero produce incomodidad al tránsito.
- Plástica: Consiste en una falla por esfuerzo de corte debido a que las cargas aplicadas exceden la capacidad de soporte de la estructura del pavimento. Se caracteriza por una alteración en la superficie del pavimento sin que ocurra cambio en su volumen.
- Por expansión: Consiste en un cambio de volumen del pavimento debido a variaciones en el contenido de humedad del suelo de fundación. Se produce por el empleo de materiales inadecuados trabajados incorrectamente durante la construcción. (AASHTO, 1993 “Guide for Design of Pavement Structures”).

2.2.9 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

2.2.9.1 EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTOS

Las características superficiales o funcionales de los pavimentos afectan directamente a los usuarios de la vía, ya que durante el rodaje condicionan su:

- Seguridad.
- Comodidad.
- Economía

Adicionalmente, el rodaje genera un impacto ambiental por el ruido del contacto neumático pavimento, el cual afecta a usuarios y vecinos. En consecuencia, las principales características superficiales de un pavimento están dirigidas a controlar los siguientes aspectos:



- Resistencia al Deslizamiento (Seguridad).
- Regularidad Superficial (Comodidad).
- Costo Usuario (Economía).
- Impacto ambiental

Existen otros aspectos que afectan la calidad del rodaje de los vehículos, como por ejemplo las propiedades reflexivas de la pintura empleada para la demarcación vial, la calidad del drenaje superficial y la limpieza. Dichos aspectos no están contemplados en el presente trabajo.

A continuación, se describen los principales equipos y/o ensayos utilizados para calificar la Resistencia al Deslizamiento y la Calidad de Rodaje (Regularidad Superficial) de un pavimento. Finalmente se presentan comentarios sobre el Costo Usuario y el impacto ambiental vinculados al rodaje.

(Maylin Corros B., Ernesto Urbáez P., Gustavo Corredor M. (2009) Manual de Evaluación de Pavimentos (Universidad Nacional de Ingeniería) – Maestría en Vías Terrestres).

2.2.9.1.1 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (SEGURIDAD)

El deslizamiento de un vehículo se produce en dos direcciones, cada una de las cuales son diferentes en cuanto a las leyes que lo rigen:

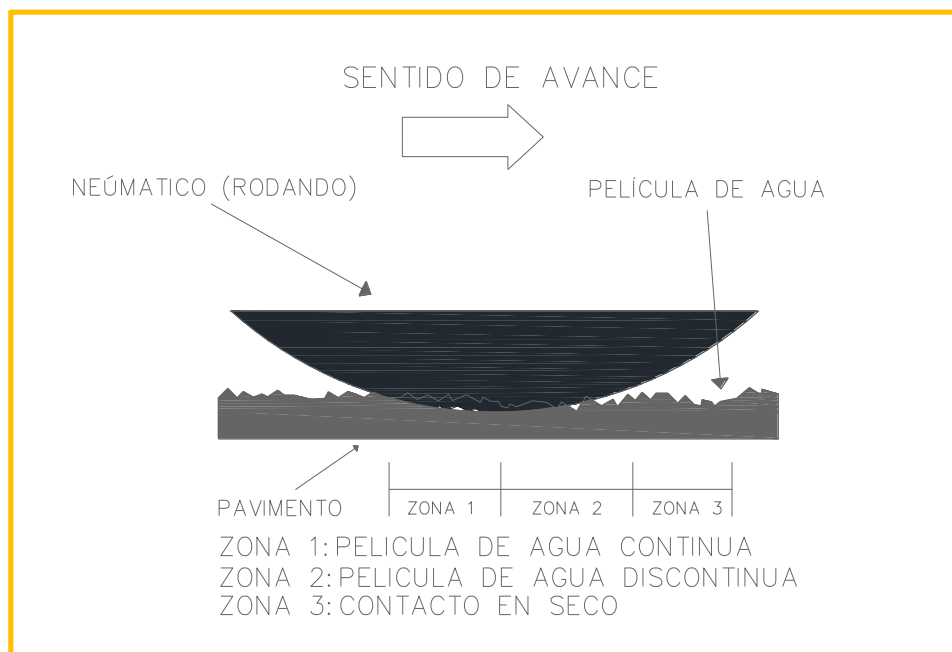
Deslizamiento en dirección longitudinal o en la dirección de marcha del vehículo. Ocurre cuando se aplica un esfuerzo de frenado. En la resistencia al deslizamiento longitudinal intervienen fundamentalmente dos componentes:

- El rozamiento por adherencia neumático-pavimento.
- La pérdida de energía debido a la histéresis del neumático, es decir, el neumático no absorbe toda la energía aplicada; siempre existe pérdida de energía que se transforma en "calor", esto ocurre con materiales elásticos como el caucho.
- Deslizamiento en dirección transversal al eje de la vía. Se producen esfuerzos tangenciales que deben ser compensados con las fuerzas de rozamiento transversal.

La fricción o adherencia entre el neumático y la superficie del pavimento presenta respuestas diferentes según la influencia de factores tales como:

- La película de agua sobre la superficie del pavimento. Actúa como lubricante y disminuye el contacto neumático-pavimento. La figura siguiente muestra las diferentes zonas que se originan alrededor de un neumático sometido al efecto del agua. (Maylin Corros B., Ernesto Urbáez P., Gustavo Corredor M. (2009) Manual de Evaluación de Pavimentos (Universidad Nacional de Ingeniería) – Maestría en Vías Terrestres).

FIGURA N° 23: RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO



FUENTE: GUÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS

Los neumáticos. Influye significativamente la presión de inflado, el material, el dibujo y la profundidad de la banda de rodadura. Ésta última contribuye en la pronta eliminación de la película de agua.

- La velocidad de circulación. A mayor velocidad menor adherencia neumático-pavimento en presencia de agua, aunque el dibujo del neumático cuente con una buena profundidad de dibujo.



- Época del año. Además de los cambios de humedad estacional (verano - invierno) que condicionan la presencia de agua en la calzada o superficie del pavimento, se tiene que la variación de la temperatura ambiente puede modificar las características del material del neumático. Adicionalmente, la característica termoplástica del ligante asfáltico (cemento asfáltico) condiciona su viscosidad o grado de fluidez en función la temperatura, haciéndolo menos fluido (aumentando su rigidez) a bajas temperaturas y haciéndolo más fluido a medida que aumenta la temperatura. Estas circunstancias afectan la adherencia neumático-pavimento.

- La textura de la superficie del pavimento. La textura del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios, necesario para la conservación de las carreteras. La textura influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interfase neumático-pavimento y, de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, que tiene gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento. Además, la textura es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico, tanto del que perciben los ocupantes de los vehículos como el ruido de entorno que condiciona la calidad de vida de las zonas colindantes. En el aspecto económico, la textura del pavimento influye en el consumo de gasolina, en el deterioro de los vehículos y sobre todo en el desgaste de los neumáticos.

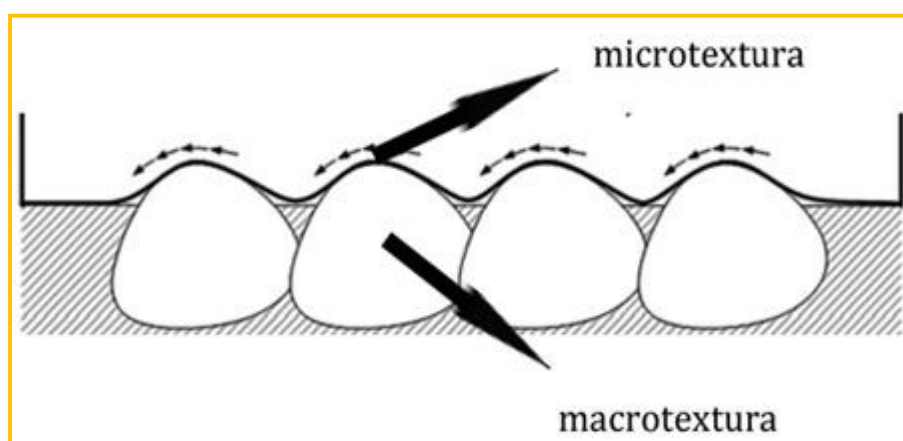
La textura se sub-divide en dos elementos:

La micro textura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0,5 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas de no más de 0,4 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,001 y 0,5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, pero normalmente es tan pequeña que no puede observarse a simple vista.

La micro textura gruesa o áspera aumenta la resistencia al deslizamiento, ya que facilita el rompimiento de la película fina de agua remanente en la superficie, luego que el neumático, por su paso especialmente a bajas velocidades, ha eliminado el exceso de agua (capa gruesa). La microtextura influye significativamente en el desgaste en los neumáticos y en alguna medida en la generación de ruido en las altas frecuencias del espectro acústico. (Ramón Crespo del Río, CALIDAD ANTE LA RODADURA, AEPO Ingenieros Consultores, BARCELONA 1999).

La macro textura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,5 y 50 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava entre 0,5 y 50 mm). La amplitud entre picos de la macro textura varía normalmente entre 0,01 y 20 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que los dibujos del neumático. La macro textura favorece la resistencia al deslizamiento a velocidades superiores a 60 Km/hora en el caso de pavimentos mojados. En general ésta condición se presenta básicamente cuando el pavimento presenta deterioro superficial (baches, ondulaciones). (Ramón Crespo del Río, CALIDAD ANTE LA RODADURA, AEPO Ingenieros Consultores, BARCELONA 1999).

FIGURA N° 24: MICRO TEXTURA Y MACRO TEXTURA



FUENTE: REVISTA CIENTÍFICA INGENIERÍA Y DESARROLLO.

2.2.9.1.1.1 CAPAS DE RODAMIENTO ANTIDESLIZANTES

Tomando en cuenta las alternativas tecnológicas disponibles hoy en día, se pueden lograr superficies de rodamiento seguras ante la posibilidad de deslizamiento controlando aspectos relacionados con:

- Mezclas asfálticas.
- Texturizado superficial de la capa de rodamiento.

2.2.9.1.2 REGULARIDAD SUPERFICIAL (COMODIDAD)

2.2.9.1.2.1 PERFIL TRANSVERSAL

Las deformaciones del perfil transversal ocasionado por fallas como el ahuellamiento, afectan la calidad de rodaje. Éste tipo de deformaciones puede ser detectada mediante el empleo de la “Regla de 3 m.” que consiste en un listón de madera de la longitud indicada, el cual es posicionado de manera transversal al eje de la vía, pudiéndose medir la distancia entre la superficie del pavimento y la base de la regla. (Jacob Carciente (1970) INSTITUTO DEL ASFALTO. El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos).

FIGURA N° 25: REGULARIDAD SUPERFICIAL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



2.2.9.1.2.2 PERFIL LONGITUDINAL

2.2.9.1.2.2.1 REGULARIDAD SUPERFICIAL. CONCEPTO DE SERVICEABILIDAD O SERVICAPACIDAD

Introducido en el Método AASHTO para medir la “Calidad de Servicio” El índice de Serviceabilidad Presente del Pavimento o Present Serviceability Index (PSI) tal como su nombre lo indica, se refiere a la condición actual del pavimento. Se trata de un parámetro que correlaciona mediante análisis de regresión matemática la opinión de un panel de expertos en lo referente a la calidad del rodaje, la cual sirvió para generar el concepto de Pavement Serviceability Rating (PSR), la condición superficial del pavimento definida en términos de la rugosidad del pavimento (utilizando rugosímetros y/o perfilómetros) y evaluaciones visuales que reportan sobre la presencia de grietas, baches y ahuellamiento. Es por ello que el PSI representa la condición del Pavimento en el momento en que se realiza su evaluación, por lo que el mismo varía con el paso del tiempo.

El PSI varía en una escala que se desarrolla entre 0 (pavimento con condición superficial muy pobre) y 5 (pavimento con condición superficial “perfecta”); es un indicador de gran utilidad, ya que dentro de esquemas de gerencia de pavimentos permite la definición de prioridades y programas de mantenimiento a nivel red, razón por la cual el mismo fue incorporado por la AASHTO en los años ochenta en los procedimientos de diseño de nuevos pavimentos y de la rehabilitación de los mismos, mediante la incorporación de la variable ΔPSI con la cual es posible considerar la variación de la serviceabilidad de un pavimento desde el inicio de su vida de servicio hasta el nivel de serviceabilidad que el proyectista considera de falla (o inaceptable) dependiendo de la importancia de la vía. (Jacob Carciente (1970) INSTITUTO DEL ASFALTO. El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos).

2.2.9.1.3 COSTO USUARIO (ECONOMÍA)

Está relacionado con los “Costos Operativos de los Vehículos y el Costo del Tiempo de Viaje del Usuario. En los costos operativos de los vehículos se toma en cuenta el consumo de combustible, lubricantes, neumáticos, mantenimiento y los costos de posesión que incluyen la depreciación y los costos de inversión”. Por su parte el tiempo de viaje está relacionado con demoras en el viaje por intersecciones por semaforizadas, con retrasos durante el viaje por la ejecución de acciones de

mantenimiento vial y con la condición del pavimento. Éste último aspecto es especialmente interesante, ya que dependiendo de la condición del pavimento (Buena-Regular-Mala) y la topografía del terreno (Llano-Ondulado-Montañoso) varía el gasto en que incurre el usuario de la vía. Para cualquier topografía, el gasto por la circulación en una vía en mala condición es mayor que el gasto de circulación por la misma vía en condición regular o buena, sin embargo, dicho gasto se incrementa si el terreno pasa de llano a montañoso, así por ejemplo, una vía de montaña con pavimento en mala condición alcanza mayor costo por efectos de circulación que la misma vía en topografía plana. (Jacob Carciente (1970) INSTITUTO DEL ASFALTO. El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos).

2.2.9.1.4 IMPACTO AMBIENTAL (RUIDO DE CONTACTO NEUMÁTICO-PAVIMENTO)

En autopistas y carreteras con velocidades de circulación relativamente elevadas es conveniente que la profundidad media de la rugosidad esté comprendida entre 0,71 y 1 mm. Las texturas muy rugosas pueden ser demasiado ruidosas tanto para los usuarios como para los habitantes de la zona, por lo que en cada caso será necesario alcanzar un equilibrio entre seguridad y nivel sonoro

Los factores asociados con la mezcla de la capa de rodamiento que inciden en la producción de ruido durante el rodaje de los vehículos son:

- Textura de la superficie.
- Porosidad (vacíos de la mezcla).
- Rigidez de la mezcla.

2.2.9.1.4.1 TEXTURA

La textura es recomendable que sea negativa, es decir, la amplitud de onda debe darse de la superficie de rodamiento hacia abajo. Por su parte su magnitud debe ser baja (menor de 5 mm.) aunque suficiente para permitir el escape del aire.

2.2.9.1.4.2 POROSIDAD

La porosidad (vacíos de la mezcla) debe ser alta, recomendable mayor del 20%, sin embargo, no se debe perder de vista que el elevado porcentaje de vacíos

puede afectar la durabilidad de la mezcla, por ésta razón se recomienda la incorporación de polímeros, fibras y materiales similares.

2.2.9.1.4.3 RIGIDEZ DE LA MEZCLA.

Para mitigar el efecto del ruido es conveniente que la rigidez de la mezcla sea baja, sin embargo, su logro es muy difícil de alcanzar sin que se comprometa el comportamiento general de la mezcla.

Las mezclas asfálticas que mejor desempeño ante el ruido presentan son:

- Mezclas Drenantes: mezclas de granulometría abierta (porcentaje de vacíos mínimo igual a 20).
- Stone Matrix Asphalt (SMA): mezclas de granulometría abierta (elevado porcentaje de vacíos) a las que se le agregan fibras.
- Concretos asfálticos modificados con polímeros
- Concretos asfálticos con aditivo tipo polvo de neumáticos (cauchos / llantas).

Las mezclas de concreto asfáltico convencional también pueden ser producidas atendiendo a limitaciones en la generación de ruidos, pero deben ser cuidadosamente diseñadas, luego de un proceso exhaustivo de selección de agregados. (Jacob Carciente (1970) INSTITUTO DEL ASFALTO. El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos).

2.2.9.2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS.

La evaluación estructural del pavimento, tiene por objeto la cuantificación de la capacidad estructural remanente del pavimento. La falta de capacidad estructural de un pavimento genera en este un deterioro progresivo que se manifiesta en niveles excesivos de agrietamientos y deformaciones, no recuperables a través de la simple aplicación de acciones de conservación preventivas.

La evaluación del pavimento existente tiene como objetivo el análisis y estimación del valor estructural remanente, adicionalmente esta evaluación debe proporcionar la información necesaria para la investigación de las causas que originaron la falla del pavimento a rehabilitar, es decir, debe aportar los elementos de juicio necesarios para el diagnóstico de las fallas observadas con la finalidad de definir

las acciones de mantenimiento y/o rehabilitación a ejecutar según las deficiencias encontradas.

La evaluación estructural de un pavimento existente abarca necesariamente los siguientes trabajos:

- Evaluación superficial de la condición del pavimento.
- Evaluación del sistema de drenaje.
- Determinación de espesores y tipos de materiales constituyentes de la estructura de pavimento.
- Medición de deflexiones superficiales del pavimento.

Las razones por las cuales la capacidad estructural de un pavimento requiere ser reforzada puede deberse a una o más de las siguientes causas:

- Pavimento cercano a cumplir su vida de diseño. Los ejes equivalentes acumulados han alcanzado los límites considerados en el diseño original.
- Se proyectó un espesor de diseño insuficiente. Un espesor de proyecto insuficiente se puede relacionar con algunas de las siguientes causas:
 - Tránsito de diseño subestimado.
 - Emplear parámetros de diseño no representativos tales como; resistencia subrasante, resistencia capas estructurales, condiciones de drenaje, juntas de traspaso de cargas (hormigón), estratigrafías de carga, etc.
 - Calidad de la construcción. Aun estando bien diseñado un pavimento la mala calidad de la construcción puede minorar substancialmente la capacidad estructural de un pavimento.
 - Conservación. Al igual que el punto anterior, aun estando bien diseñado y construido un pavimento la inadecuada conservación de la estructura y sistema de drenajes del pavimento, pueden provocar el deterioro acelerado de este.
 - Fiscalización: La inadecuada fiscalización de una red caminera trae como consecuencia un mal uso de los pavimentos y un aumento de las sobrecargas.

(Guillermo Thenoux Z. Y Rodrigo Gaete P. (2012), Evaluación Técnica del Pavimento Y Comparación de Métodos de Diseño de Capas de Refuerzo Asfáltico).



2.2.10 MÉTODOS DE EVALUACIÓN

2.2.10.1 MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS

Se denominan así, debido a que permiten estudiar la capacidad estructural existente de un pavimento sin necesidad de intervenir este en ningún punto. Entre los métodos no destructivos, se reconocen dos clases: Medidas de Deflexión y Evaluaciones Empíricas.

- a) Medidas de Deflexión: Estos métodos se basan en producir deformaciones elásticas o deflexiones en el pavimento mediante dispositivos especiales, los cuales actúan bajo una sollicitación estática o dinámica. Estas deflexiones desaparecen una vez que deja de actuar el dispositivo de medición. Existen varios equipos capaces de medir deflexiones, destacándose entre los más importantes los siguientes:
 - Viga Benkelman: Es el dispositivo más antiguo desarrollado, el cual ha sido tradicionalmente usado para medir deflexiones. Consiste en una estructura con tres puntos de apoyo, de los cuales dos se apoyan en el pavimento en forma de viga simple y un tercero que pivotea en torno a esta bajo la acción de una carga normalizada (Eje simple de 80 kN), con lo cual se registra la deformación relativa entre estos puntos. Este dispositivo tiene la importancia de que es utilizado como el parámetro base para la evaluación estructural de varias metodologías, como ser la del Asphalt Institute (USA), el TRRL (Inglaterra) y el modelo HDM-III. (Guillermo Thenoux Z. Y Rodrigo Gaete P. (2012), Evaluación Técnica del Pavimento Y Comparación de Métodos de Diseño de Capas de Refuerzo Asfáltico).

FIGURA N° 26: VIGA BENKELMAN

FUENTE: WWW.CONNALSRL.COM

- Deflectómetro: Consiste en utilizar una viga de deflexión similar a la Viga Benkelman, pero montada en el chasis de un vehículo especialmente adaptado para tales fines. Los deflectómetros más conocidos, son el Lacroix del LCPC (Francia) y una versión modificada por el TRRL (Inglaterra), y el desarrollado en California. La ventaja de este equipo respecto de la viga Benkelman, es que permite realizar las mediciones en forma continua, pudiendo auscultar un número mayor de kilómetros al día. Además, esta correlacionado con la viga Benkelman, por lo cual los valores entregados son fácilmente convertibles a esta última, de acuerdo al método del TRRL. (Guillermo Thenoux Z. Y Rodrigo Gaete P. (2012), Evaluación Técnica del Pavimento Y Comparación de Métodos de Diseño de Capas de Refuerzo Asfáltico).

FIGURA N° 27: DEFLECTÓMETRO



FUENTE: WWW.ROCHERINGENIERIA.COM

- Dynaflect: Este dispositivo desarrollado y usado en los Estados Unidos, opera bajo el principio de fuerzas vibratorias, la cual es aplicada en el pavimento por medio de dos pequeñas ruedas metálicas. La magnitud de estas deformaciones, son captadas por medio de cinco geófonos colocados en el centro del eje de las dos ruedas y espaciados a intervalos de 30 cm. desde el punto de aplicación. La ventaja respecto a los anteriores métodos, es que puede registrar además de la deflexión máxima, deflexiones en otros puntos alejados, permitiendo estimar por retroanálisis las características estructurales de las capas del pavimento, especialmente el suelo de fundación. Estas mediciones pueden ser correlacionadas además con las medidas por otros equipos. Este tipo de equipos ha quedado paulatinamente en desuso debido al extensivo empleo del Falling Weight Deflectometer. (Guillermo Thenoux Z. Y Rodrigo Gaete P. (2012), Evaluación Técnica del Pavimento Y Comparación de Métodos de Diseño de Capas de Refuerzo Asfáltico).

FIGURA N° 28: DYNAFLECT



FUENTE: BEELDANK.RWS.NL.COM

- Falling Weight Deflectometer (FWD): El principio de operación es similar al Dynaflect, con la diferencia de que la sollicitación se produce mediante el impacto producido por la caída libre de un peso sobre unos mecanismos con amortiguadores, los que se apoyan en una placa de goma sobre el pavimento. También en este caso, las vibraciones son captadas por medio de sensores sísmicos ubicados a distintas distancias del punto de aplicación. Esto hace posible generar un cuenco de deflexiones a distintas distancias, las cuales son parámetros de evaluación estructural para algunos métodos de diseño, en particular los métodos AASHTO y Shell. Las deflexiones medidas con un FWD pueden ser incorporadas en cualquier modelo mecanicista para la determinación de los espesores de capas de refuerzo. El FWD permite medir además la deflexión relativa entre juntas de una losa de hormigón.

Existen en el mercado varios modelos de FWD, de los cuales los más conocidos son el Dynatest y el KUAB (USA), y el Phoenix (Dinamarca). Entre los modelos FWD también se incluye el HWD (Heavy Weight Deflectometer, modelos de cargas más pesadas que se emplea principalmente en aeropuertos. (Guillermo Thenoux Z. Y Rodrigo Gaete P. (2012), Evaluación Técnica del Pavimento Y Comparación de Métodos de Diseño de Capas de Refuerzo Asfáltico).

FIGURA N° 29: FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER (FWD)FUENTE: WWW.DYNATEST.COM

- b) Evaluaciones Empíricas (Vida Remanente): Este método de evaluación no constituye en sí un ensayo, corresponde más bien a una evaluación la cual está basada en relacionar directamente la pérdida de capacidad estructural del pavimento con las solicitaciones de tránsito reales acumuladas. Para estimar esta vida remanente se deben determinar, el tránsito solicitante que ha soportado el pavimento desde la última puesta en servicio a la fecha, y el tránsito total que produce la falla total del pavimento (estimado según el método AASHTO para una serviciabilidad final de 1.5).

Este método de evaluación, no es recomendado por la incertidumbre de la predicción del tránsito acumulado, y por qué no considera el efecto del agrietamiento existente, lo cual puede significar una vida remanente bastante menor a la que indicaría este método.

2.2.10.2 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

La ejecución de estos ensayos, requiere alterar el pavimento existente en algún punto. Entre los ensayos destructivos más utilizados para la evaluación de la capacidad de soporte de la estructura existente, se encuentran:

- a) Excavación de calicatas para determinar propiedades de los materiales de capas: Este procedimiento corresponde al procedimiento tradicional de recolectar información de diseño y tiene como objetivo la determinación de distintas propiedades de los materiales de las capas que conforman el pavimento, para el diseño y/o evaluación estructural. Entre los parámetros a considerar, se encuentran: espesores de capas, CBR de las capas granulares, clasificación, densidades y humedades. Como complemento de este procedimiento, se debe realizar una inspección visual de la superficie, de modo de detectar posibles fallas (en especial grietas) que puedan determinar un menor aporte estructural de las capas de rodado.

FIGURA N° 30: CALICATAS



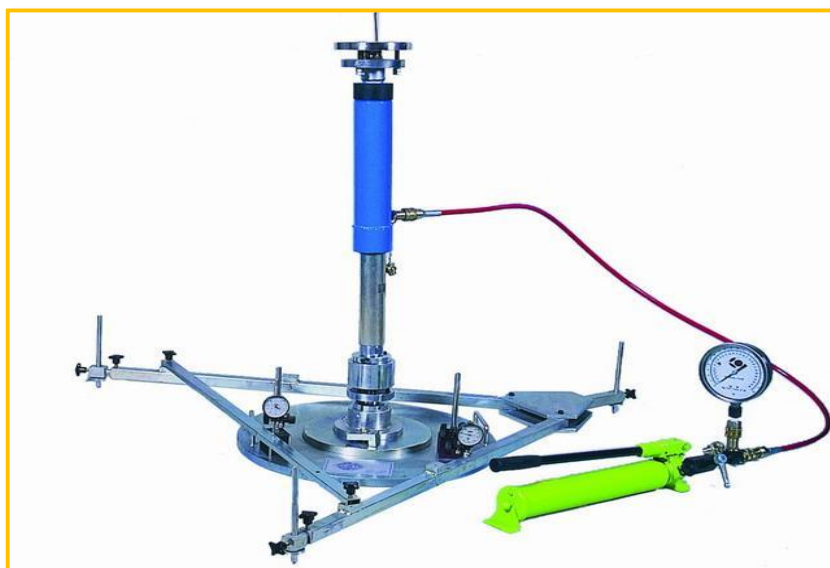
FUENTE: WWW.GEOCIVIL98.COM

- b) Extracción de testigos: Mediante una extractora de testigos, se obtiene una probeta cilíndrica de las capas superficiales del pavimento. En general solo es aplicable a la extracción de materiales de capas de asfalto y hormigón. Permite medir los espesores y propiedades mecánicas de resistencia de capas cementadas.

FIGURA N° 31: EQUIPO PARA EXTRACCIÓN DE TESTIGOS

FUENTE: EMPRESA ELE INTERNACIONAL

- c) Placa de carga: El ensayo de placa de carga sirve para la evaluación de la capacidad portante del material de sub rasante, bases, y en algunos casos, del pavimento completo utilizando placas de diámetros relativamente grandes. De este ensayo se determina un módulo de reacción (k). Para aplicar este método en pavimentos existentes, se requiere efectuar calicatas de gran superficie, lo cual resulta poco práctico y costoso. Este ensayo ha quedado paulatinamente en desuso.

FIGURA N° 32: PLACA DE CARGA

FUENTE: WWW.PROETISA.COM

- d) **Penetrómetro Dinámico de Cono:** El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) es un dispositivo que permite realizar de un modo expedito, una auscultación in-situ de las capas de suelo de la sub rasante y bases granulares. El principio se basa en la acción de una masa dinámica que cae desde una altura preestablecida, lo que produce la penetración de una sonda en forma de cono. Como resultado del ensayo, se encuentra la penetración de la sonda para un determinado número de golpes (PR), el cual está relacionado con las propiedades de CBR.

FIGURA N° 33: PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO



FUENTE: WWW.INGETEST.COM

2.2.11 MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.2.11.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer et al., 2004).



Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráficos pesados intensos.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

Las mezclas asfálticas pueden tener un comportamiento elástico lineal, elástico no lineal o viscoso en función de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. A bajas temperaturas el comportamiento es fundamentalmente elástico lineal, y al aumentar la temperatura se empieza a comportar como un material elástico no lineal, apareciendo el comportamiento viscoso a medida que la temperatura continúa aumentando.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

2.2.11.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

**b) Por la Temperatura puesta en obra**

- Mezclas asfálticas en Caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores al ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.
- Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

c) Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

d) Por el Tamaño máximo del agregado pétreo

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- Mezclas Finas: También llamadas micro aglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente



por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

e) Por la Estructura del agregado pétreo.

- Mezclas con Esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

f) Por la Granulometría

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

2.2.11.3 TIPOLOGÍA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.

2.2.11.3.1 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente.

Los materiales que contiene son:

Agregados

Debe ser grava o combinaciones de grava sin triturar y arena, procedente de rocas duras y resistentes, no debe contener arcilla en terrones ni como película adherida a los granos; y debe estar libre de todo material orgánico.

El agregado se clasifica en: grueso, fino y polvo mineral.

El agregado grueso

Es la fracción del agregado que queda retenida en la malla N° 8 y no debe tener más de 5%, de su peso, de partículas planas y achatadas, el porcentaje de desgaste (Ensayo de los Ángeles), no debe ser mayor de 50%.

El agregado fino

Es la fracción que pasa la malla N^a 8 y se retiene en la N° 200. Debe estar constituido por arena o residuos de grava, en forma de granos limpios y duros. En esta fracción también suele incluirse el Relleno Mineral, cuyas partículas pasan el tamiz N°30.

El polvo mineral

Es la fracción del agregado que pasa la malla N^a 200. El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente es el pavimento asfáltico de mejor calidad y se compone de una mezcla de agregados gradados y asfalto, realizada a una temperatura aproximada de 150 °C colocada y compactada en caliente.



Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos, aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

2.2.11.3.1.1 EVOLUCIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

A continuación, se muestra la evolución de los métodos de diseños de mezclas asfálticas en caliente.

1. The Hubbard-Field (1920's). Método de diseño de mezclas asfálticas, fue uno de los primeros métodos en evaluar contenidos de vacíos en la mezcla y en el agregado mineral. Usaba una estabilidad como prueba para medir la deformación. Funcionó adecuadamente para evaluar mezclas con agregado pequeño o granulometrías finas, pero no también para mezclas con granulometrías que contenían agregados grandes.
2. Método Marshall (1930's). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado durante la 2da. Guerra Mundial y después fue adaptado para su uso en carreteras. Utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos como pruebas fundamentalmente. Excepto cambios en las especificaciones, el método no ha sufrido modificación desde los años 40's.
3. Método Hveem (1930's). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado casi en el mismo tiempo que el método Marshall. Evalúa una estabilidad pseudotriaxial (copia de ensayo triaxial que consiste en determinar la deformación y resistencia de los suelos sujetos a esfuerzos cortantes).



4. Método de la Western Association of State Highway on Transportation Officials. WASHTO (1984). Este método de diseño de mezclas recomendó cambios en los requerimientos del material y especificaciones de diseño de mezclas para mejorar la resistencia a las roderas. Con FHWA.
5. Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System. AAMAS (1987). La necesidad de cambios en el diseño de mezclas fue reconocida, tardaron 2 años para desarrollar un nuevo proyecto para el diseño de mezclas, que incluía un nuevo método de compactación en laboratorio y la evaluación de las propiedades volumétricas, desarrollo de pruebas para identificar las deformaciones permanentes, grietas de fatiga y resistencia a las grietas a baja temperatura. Con NCHRP.
6. Método SUPERPAVE (1993) El método AAMAS, sirvió como punto de inicio del método SUPERPAVE, que contiene un nuevo diseño volumétrico completo de mezcla, con funcionamiento basado en predicción a través de modelos y métodos de ensayo en laboratorio, grietas por fatiga y grietas por baja temperatura. Los modelos de predicción de funcionamiento fueron completados satisfactoriamente hasta el año 2000. El diseño volumétrico de mezclas en el SUPERPAVE es actualmente implementado en varios estados de los EUA, debido a que ha sido reconocida una conexión entre las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica caliente y su correcto funcionamiento. Tiene su resultado, ahora la aceptación en el control de calidad ha sido cambiada a propiedades volumétricas. SUPERPAVE promete un funcionamiento basado en métodos o ensayos de laboratorio que pueden ser usados para identificar la resistencia a las deformaciones plásticas de los pavimentos.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

2.2.11.3.2 MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO.

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para



retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

2.2.11.4 CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN Y PROYECTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA.

En muchas ocasiones, el proyecto de una mezcla asfáltica se reduce a determinar su contenido de ligante, sin embargo, esa es solo la última fase de un proceso más amplio, que requiere de un estudio cuidadoso de todos los factores involucrados, a fin de garantizar un comportamiento adecuado de la mezcla y un considerable ahorro económico en la solución.

Las fases de las que consta el proyecto de una mezcla son las siguientes:

- a) Análisis de las condiciones en las que va a trabajar la mezcla: tráfico, tipo de infraestructura (carretera, vía urbana, aeropuerto, etc.), la capa de la que se trata (rodadura, intermedia o base) y espesor, naturaleza de las capas subyacentes, intensidad del tráfico pesado, clima, etc. Asimismo, hay que distinguir si se trata de un firme nuevo o de una rehabilitación.



- b) Determinación de las propiedades fundamentales que ha de tener la mezcla, dadas las condiciones en las que ha de trabajar. Debe establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras.
- c) Elección del tipo de mezcla que mejor se adapte a los requerimientos planteados, incorporando en este análisis las consideraciones económicas o de puesta en obra que haya que considerar.
- d) Materiales disponibles, elección de los agregados pétreos, los cuales deben cumplir con determinadas especificaciones, pero que en general serán los disponibles en un radio limitado y, por lo tanto, a un costo razonable. Asimismo, hay que elegir el polvo mineral de aportación.
- d) Elección del tipo de ligante: asfalto, asfalto modificado, emulsión asfáltica, el costo es siempre un factor muy relevante.
- e) Dosificación o determinación del contenido óptimo de ligante según un proceso que debe adaptarse al tipo de mezcla, la cual debe hacerse para distintas combinaciones de conjuntas analizadas estén dentro de un huso previamente seleccionado.
- g) Otros factores a tener en cuenta en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: Exigencias de seguridad vial, Estructura del firme, Técnicas de Diseño y Ejecución, Sitio de construcción del pavimento (topografía, temperatura, terreno, periodo de lluvias trazado de la vía, entre otros), Condiciones de drenaje, Consideraciones económicas.

Para realizar el proyecto de una mezcla asfáltica que se empleará en un determinado pavimento existe una gama amplia de posibles soluciones, para esto se hace necesario un estudio muy riguroso y detenido, para elegir el diseño más adecuado técnica y económicamente.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

2.2.11.5 TIPOLOGÍAS DE DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.

La durabilidad de las mezclas asfálticas es una propiedad básica de los pavimentos, deben presentar resistencia al agotamiento y a la acción del agua. La durabilidad potencial es la resistencia de la mezcla asfáltica a las combinaciones de cambios de temperatura y efectos de agua, por lo tanto, la baja durabilidad potencial de las capas del paquete asfáltico es una de las principales razones que más influyen en el deterioro y el agotamiento de las buenas condiciones de servicio de los pavimentos.

Los deterioros de los pavimentos asfálticos se deben a una serie de factores como lo pueden ser el medioambiente (lluvia, gradientes de temperatura), tráfico (cargas por eje, presión de inflado de los neumáticos, intensidad), materiales inadecuados, procesos de elaboración de las mezclas inapropiados, técnicas de construcción deficientes (transporte, extensión y compactación), fórmula de trabajo deficiente. Todos estos defectos se pueden detectar una vez que se haya concluido la obra, como por ejemplo una mala textura superficial, geometría, aspecto y también estos defectos se pueden detectar en un periodo considerable de tiempo durante la vida de servicio del pavimento, los cuales son objeto de estudios y clasificaciones cada vez más rigurosas, indican la patología en general del firme.

(De Val. M.A y Kraemer, (1993) C. Firmes y Pavimentos. Universidad Politécnica de Madrid).

2.2.12 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

2.2.12.1 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla. Ellos son el método Marshall y el Método Hveem. En el presente estudio sólo trataremos el método Marshall.

Ambos métodos de diseño son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. La selección y uso de cualquiera de estos métodos de diseño de mezclas es, principalmente, asuntos de gustos en ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares. Cualquier método puede ser usado con resultados satisfactorios. (Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.12.2 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.12.2.1 DENSIDAD

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe



a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.12.2 VACÍOS DE AIRE (o simplemente vacíos)

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos: preferiblemente menos del 8 por ciento.

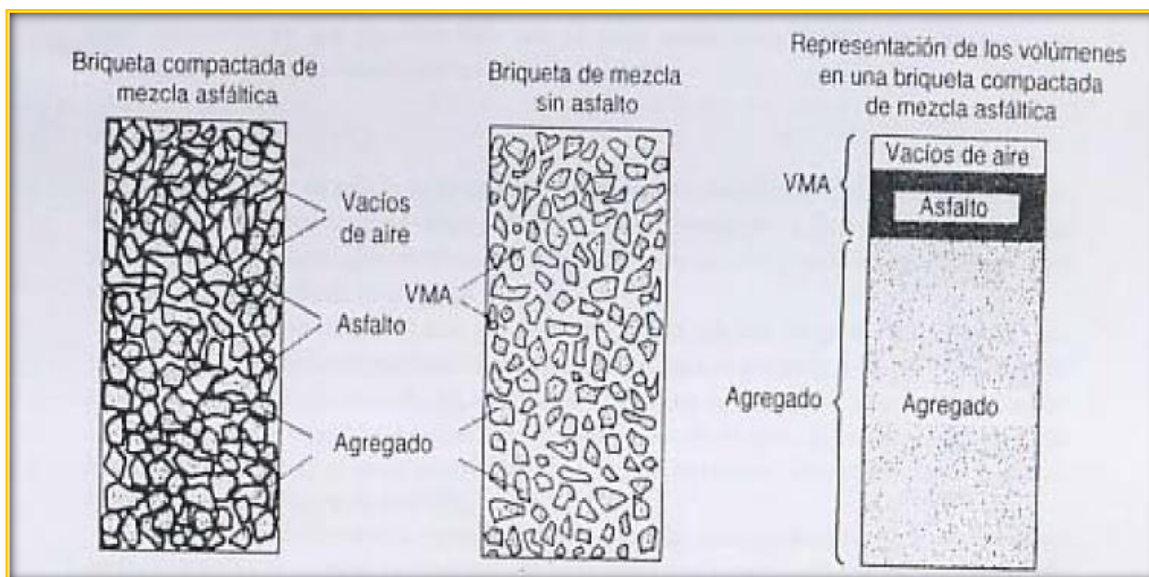
(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.12.2.3 VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla.

FIGURA N° 34: VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA) EN UNA PROBETA DE MEZCLA COMPACTADA



FUENTE: PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca.



Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar el contenido de asfalto.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.12.2.4 CONTENIDO DE ASFALTO

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (Nº 200)).

Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte del contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará.



En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen no absorbido por el agregado; es la cantidad que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados y se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.12.3 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.



El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

2.2.12.3.1 ESTABILIDAD

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura durante el paso de cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclar más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

TABLA N° 1: CAUSAS Y EFECTOS DE INESTABILIDAD EN EL PAVIMENTO.

CAUSAS	EFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización.

FUENTE: PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

2.2.12.3.2 DURABILIDAD.

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una



graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento al máximo impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

TABLA N° 2: CAUSAS Y EFECTOS DE UNA POCA DURABILIDAD.

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

FUENTE: PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

2.2.12.3.3 IMPERMEABILIDAD.

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

TABLA N° 3: CAUSAS Y EFECTOS DE LA PERMEABILIDAD.

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

FUENTE: PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

2.2.12.3.4 TRABAJABILIDAD.

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo

alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano., partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

TABLA N° 4: CAUSAS Y EFECTOS DE PROBLEMAS EN LA TRABAJABILIDAD.

CAUSAS	EFECTOS
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

FUENTE: PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.



2.2.12.3.5 FLEXIBILIDAD.

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la sub rasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las sub rasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada e bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.12.3.6 RESISTENCIA A LA FATIGA.

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la sub rasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre sub rasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre sub rasantes débiles.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

TABLA N° 5: CAUSAS Y EFECTOS DE UNA MALA RESISTENCIA A LA FATIGA.

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

FUENTE: PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

2.2.12.3.7 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO.

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplano). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (38 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, el agregado debe resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. (Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

TABLA N° 6: CAUSAS Y EFECTOS DE POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO.

CAUSAS	EFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

FUENTE: PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

2.2.13 FALLAS EN PAVIMENTOS.

2.2.13.1 TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS.

Las fallas en los pavimentos pueden ser divididas en dos grandes grupos que son fallas de superficie y fallas en la estructura.

2.2.13.1.1 FALLAS DE SUPERFICIE.

Son las fallas en la superficie de rodamiento, debidos a las fallas en la capa de rodadura y que no guardan relación con la estructura de la calzada.

La corrección de estas se fallas se efectúa con solo regularizar su superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad. (Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.13.1.2 FALLAS ESTRUCTURALES.

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento, cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir, de una o más capas constitutivas que deben resistir el complejo juego de sollicitaciones que imponen el tránsito y el conjunto de factores climáticos.

Para corregir este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y futuro estimado.



(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.13.2 TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.2.13.2.1 FALLAS POR INSUFICIENCIA ESTRUCTURAL

Se trata de pavimentos construidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente. En términos generales esta es la falla que se produce cuando las combinaciones de la resistencia al esfuerzo cortante y los respectivos espesores no son los adecuados para que se establezca un mecanismo de resistencia apropiado.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.13.2.2 FALLAS POR DEFECTOS CONSTRUCTIVOS

Se trata de pavimentos quizás bien proporcionados y formados por materiales resistentes, en cuya construcción se han producido defectos que comprometen el comportamiento conjunto.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.13.2.3 FALLAS POR FATIGA

Se trata de pavimentos que estuvieron en condiciones apropiadas, pero que por la continua repetición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural, pérdida de resistencia y deformación acumulada. Además de la clasificación por su origen, conviene agrupar las fallas de los pavimentos flexibles por el modo que suceden y se manifiestan.

Desde un punto de vista estrictamente mecánico, las fallas en los pavimentos suelen ser resultado de la deformación bajo esfuerzos cortantes o de la deformación por consolidación o por aumento de compacidad; estos procesos pueden tener lugar en cualquiera de las capas del pavimento o aún en la subrasante.

(Asphalt Institute, 1982 USA Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Cap.3, del Ms-22).

2.2.14 FALLAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

2.2.14.1 CAUSAS DEL SURGIMIENTO DE LAS FALLAS

Durante la vida de servicio de un pavimento, causas de diverso origen afectan la condición de la superficie de rodamiento, lo cual compromete su función de ofrecer a los usuarios la posibilidad de un rodaje seguro, cómodo y económico. Entre las causas de falla de un pavimento se pueden mencionar:

1. Fin del período de diseño original y ausencia de acciones de rehabilitación mayor durante el mismo. En este caso la falla es la prevista o esperada.
2. Incremento del tránsito con respecto a las estimaciones del diseño de pavimento original.
3. Deficiencias en el proceso constructivo, bien en procesos como tal como en la calidad de los materiales empleados.
4. Diseño deficiente (errores en la estimación del tránsito o en la valoración de las propiedades de los materiales empleados).
5. Factores climáticos imprevistos (lluvias extraordinarias).
6. Insuficiencia de estructuras de drenaje superficial y/o subterráneo.
7. Insuficiencia o ausencia de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos.

(Garnica A., P; Gómez L., J.A.; Sesma M., J. A. (2002). Mecánica DE Materiales para Pavimentos)

Dependiendo de su origen, las fallas pueden ser clasificadas como fallas funcionales (superficiales) o fallas estructurales. En el primer caso, el defecto se presenta o circunscribe a la superficie de la capa asfáltica y las acciones de reparación se dirigen a la corrección de la fricción (seguridad), o al restablecimiento de la rugosidad o regularidad (comodidad), lo cual se logra con la colocación de capas asfálticas de bajo espesor que no contribuyen desde el punto de vista estructural.

Por su parte las fallas estructurales tienen su origen en defectos en una o más de las capas que conforman la estructura del pavimento, las cuales están destinadas

a resistir y compartir los esfuerzos impuestos por el tráfico, de manera que a nivel de sub-rasante o suelo de fundación de pavimento lleguen los menores esfuerzos y lo más distribuido posible. En estos casos la corrección de las fallas va dirigida al refuerzo de la estructura existente mediante la colocación de una capa cuyo espesor debe ser calculado en función de los requerimientos de las cargas de tráfico previstas en el período de tiempo previsto para la rehabilitación. La falla estructural se deriva de dos causas fundamentales:

Cuando la capacidad de deformación-recuperación de los materiales que conforman la estructura de pavimento es “excedida más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y retardada, desarrollándose de formaciones permanentes (ahuellamiento) en cada aplicación de las cargas, las que se acumulan modificando los perfiles de la calzada hasta valores que resultan intolerables para la comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y aún pueden provocar el colapso de la estructura”. (Montejo F., A. 2006 Ingeniería de Pavimentos).

Las deformaciones permanentes o ahuellamiento pueden ocurrir a nivel de:

- Suelos de sub-rasante, capas de base y/o sub-base granulares.
- Capas asfálticas.

En el caso de suelos, la falla ocurre por lo general por intrusión de humedad que conlleva a su debilitamiento, haciendo imposible la recuperación del suelo ante las cargas impuestas, originando deformaciones plásticas (no elásticas), es decir, sin posibilidad de recuperación.

(Garnica A., P; Gómez L., J.A.; Sesma M., J. A. (2002). Mecánica DE Materiales para Pavimentos)

2.2.14.2 FALLAS EN PAVIMENTOS URBANOS FLEXIBLES

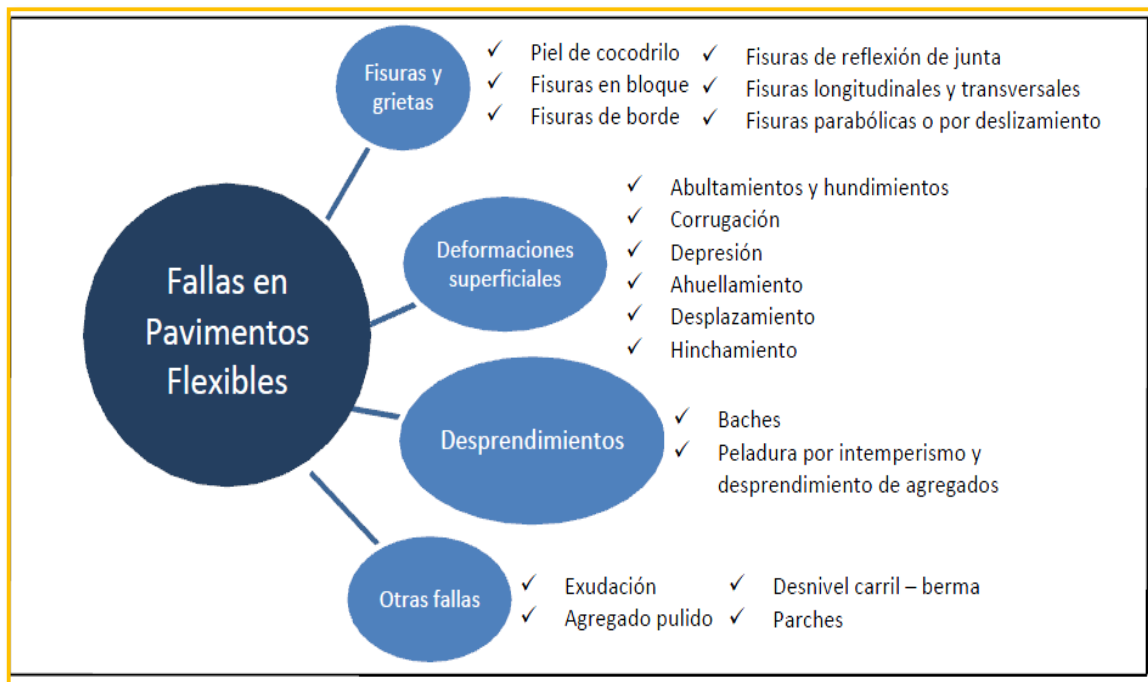
Las fallas son el resultado de interacciones complejas de diseño, materiales, construcción, tránsito vehicular y medio ambiente. Estos factores combinados, son la causa del deterioro progresivo del pavimento, situación que se agrava, al no darle un mantenimiento adecuado a la vía.

Para pavimentos flexibles los daños pueden ser agrupados en 4 categorías:

- Fisuras y grietas
- Deformaciones superficiales
- Desintegración de pavimentos o desprendimientos
- Afloramientos y otras fallas

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

FIGURA N° 35: FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

A continuación, se explican 18 de las fallas más comunes que afectan a los pavimentos urbanos flexibles, y que están también consideradas dentro del método PCI.

2.2.14.2.1 FISURAS Y GRIETAS

2.2.14.2.1.1 PIEL DE COCODRILO

La piel de cocodrilo es un conjunto de fisuras interconectadas que forman polígonos irregulares, de hasta 0.5 m de longitud en el lado más largo. El patrón es parecido a la piel de un cocodrilo, de ahí el nombre de esta falla.



También llamada agrietamiento por fatiga, la piel de cocodrilo se produce en áreas sujetas a repeticiones de carga de tráfico, tales como las huellas de las llantas de los vehículos.

El agrietamiento se origina en el fondo del paquete asfáltico, en la base, donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son elevados. De ahí, las grietas se propagan hacia la superficie como una serie de fisuras longitudinales paralelas, que luego se conectan formando varias piezas.

Otra causa que contribuye a que se produzca este tipo de falla, es el envejecimiento del ligante asfáltico, que trae consigo la pérdida de flexibilidad del pavimento.

La piel de cocodrilo indica la pérdida de la capacidad estructural del pavimento, pues disminuye su capacidad de resistencia frente a sollicitaciones externas. Es por ello que, sin el mantenimiento adecuado, el comportamiento del pavimento podría empeorar y podría pasar de una fisura a un desprendimiento (como, por ejemplo, un bache), dañando significativamente la superficie de la vía.

El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión. (Un patrón de grietas producido sobre un área no sujeta a cargas se denomina como “grietas en bloque”, el cual no es un daño debido a la acción de la carga).

La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento. (Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).



Niveles de severidad

L (Low: Bajo): Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta.

M (Medium: Medio): Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.

H (High: Alto): Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito.

Medida

Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada. Si estas porciones pueden ser diferenciadas con facilidad, deben medirse y registrarse separadamente. De lo contrario, toda el área deberá ser calificada en el mayor nivel de severidad presente.

Opciones de reparación

L: No se hace nada, sello superficial. Sobre carpeta.

M: Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobre carpeta. Reconstrucción.

H: Parcheo parcial o Full Depth. Sobre carpeta. Reconstrucción.

(Luc Gerard, 2005, Evaluación de pavimentos e inventario vial).

FIGURA N° 36: PIEL DE COCODRILO

FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.1.2 FISURAS EN BLOQUE

Las fisuras en bloque son grietas interconectadas que forman piezas rectangulares de tamaño variable, desde aproximadamente 0.30 x 0.30 m hasta 3.00 x 3.00 m.

Este tipo de falla puede ocurrir sobre porciones largas del área del pavimento o sobre aquellas áreas donde no hay tráfico; es por ello que las fisuras en bloque no están asociadas a sollicitaciones externas de carga vehicular.

Las grietas en bloque son causadas principalmente por la contracción del concreto asfáltico y por la variación de temperatura, que origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria. Esta falla indica que el asfalto se ha endurecido significativamente. (Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

Niveles de severidad.

L: Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales.

M: Bloques definidos por grietas de severidad media

H: Bloques definidos por grietas de alta severidad.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un solo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.

Opciones de reparación

L: Sellado de grietas con ancho mayor a 3.0 mm. Riego de sello.

M: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobre carpeta.

H: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobre carpeta.

(Luc Gerard, 2005, Evaluación de pavimentos e inventario vial).

FIGURA N° 37: FISURAS EN BLOQUE

FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.1.3 FISURAS DE BORDE

Las fisuras de borde son grietas paralelas al borde externo del pavimento, que se encuentran a una distancia de 0.30 a 0.60 m de éste.

Ese tipo de falla se incrementa por la carga de tránsito y se origina debido al debilitamiento de la base o de la sub rasante en áreas muy próximas al borde del pavimento, a causa de condiciones climáticas o por efecto abrasivo de arena suelta en el borde, que provoca peladuras que conducen a la desintegración.

Si el área entre la fisura y el borde del pavimento se encuentra agrietada, entonces pueden producirse desprendimientos, llegando al punto en que los fragmentos pueden removerse. (Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

Niveles de severidad.

L: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

H: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.

Medida

La grieta de borde se mide en pies lineales (ó metros lineales).

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

H: Parcheo parcial – profundo.

(Luc Gerard, 2005, Evaluación de pavimentos e inventario vial).

FIGURA N° 38: FISURAS DE BORDE



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.1.4 FISURAS DE REFLEXIÓN DE JUNTA (DE LOSAS DE CONCRETO LONGITUDINALES O TRANSVERSALES)

Las fisuras de reflexión de junta ocurren solamente en pavimentos mixtos: pavimentos de superficie asfáltica (flexible) construidos sobre una losa de concreto (rígido). No se consideran fisuras de reflexión de otros tipos de base como bases estabilizadas con cemento o cal.

Estas grietas son causadas por el movimiento de la losa de concreto, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de pavimento flexible. No están relacionadas a efectos de carga; sin embargo, las cargas de tráfico pueden causar la rotura de la superficie de concreto asfáltico cerca de las fisuras.

El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico, ayuda a identificar estas fallas. (Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

FIGURA N° 39: FISURAS DE REFLEXIÓN DE JUNTA



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.1.5 FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

Las fisuras longitudinales son grietas paralelas al eje de la vía o a la línea direccional en la que fue construida. Las grietas transversales, en cambio, son perpendiculares al eje del pavimento o a la dirección de construcción.

Estos daños no están asociados con la carga vehicular, pueden ser causados por:

- Juntas de construcción pobremente construidas, o ausencia de ellas.
- Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas, al endurecimiento del asfalto o a la variación diaria de temperatura.
- Fisuras de reflexión causadas por agrietamientos bajo la capa superficial, incluyendo grietas en losas de concreto, pero no juntas de pavimento rígido.
- Uso de ligantes (asfaltos) muy duros o envejecidos.
- Gradiente térmico superior a los 30° C que produce ciclos de expansión - contracción de la mezcla asfáltica.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

FIGURA N° 40: FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.1.6 FISURA PARABÓLICA O POR DESLIZAMIENTO

Las fisuras parabólicas o por deslizamiento son grietas en forma de media luna, que se presentan de manera transversal a la dirección del tránsito.

Estas fallas ocurren generalmente en mezclas asfálticas de baja estabilidad o en capas superpuestas, cuando existe una adherencia pobre (liga pobre) entre la capa superficial y la capa subyacente de la estructura del pavimento.

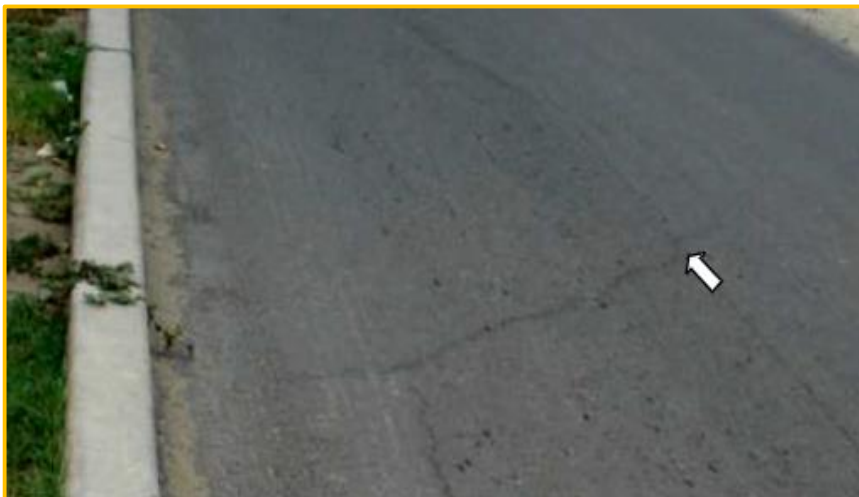
Las fisuras parabólicas pueden ser causadas por los siguientes factores:

- Frenado de las ruedas de los vehículos o giro debido a un cambio de dirección, originando el deslizamiento y deformación de la superficie del pavimento.
- Deficiente adherencia en capas superpuestas o presencia de polvo.
- Exceso de ligante o falta de riego de liga.
- Alto contenido de arena fina en la mezcla.

Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica del suelo de fundación.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

FIGURA N° 41: FISURA PARABÓLICA



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.2 DEFORMACIONES SUPERFICIALES

2.2.14.2.2.1 ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS

Los abultamientos y hundimientos son desplazamientos pequeños, bruscos, hacia arriba y hacia abajo de la superficie del pavimento, que distorsionan el perfil de la carretera.

No son causados por inestabilidad del pavimento, sino que pueden ser producto de varios factores, tales como:



- Levantamiento de las losas de concreto de un pavimento rígido que ha sido cubierto con una carpeta asfáltica.
- Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo, es decir, suelo congelado).
- Infiltración y acumulación de material en una fisura en combinación con cargas de tráfico.
- Expansión del suelo de fundación.
- Deficiencias en el drenaje del paquete estructural del pavimento.

Si los abultamientos aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tráfico y se encuentran separados unos de otros a menos de 3.00 m, la falla es denominada corrugación. En cambio, si aparecen sobre grandes áreas de la superficie del pavimento, causando grandes y largas depresiones, la falla se llama hinchamiento.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

Niveles de severidad

L: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad media.

H: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.

Medida

Se miden en pies lineales (ó metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3.0 m, el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

H: Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobrecarpeta.

(Luc Gerard, 2005, Evaluación de pavimentos e inventario vial).

FIGURA N° 42: ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.2 CORRUGACIÓN

La corrugación es una serie de ondulaciones constituidas por cimas y depresiones muy cercanas entre sí y espaciadas a intervalos bastante regulares (generalmente menores a 3.00 m) a lo largo del pavimento. Las cimas son perpendiculares al sentido del tránsito.

Este tipo de falla es causada por la acción del tránsito vehicular combinada con la inestabilidad de las capas superficiales o de la base del pavimento.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

Niveles de severidad

L: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.

H: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

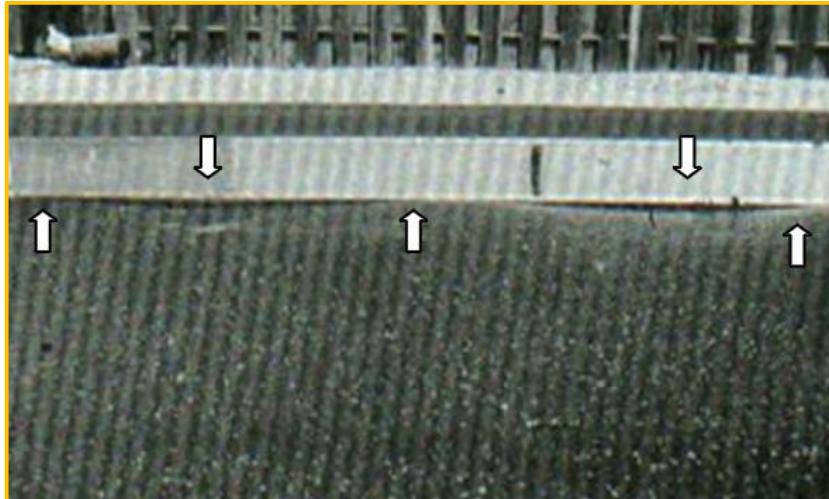
L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

(Luc Gerard, 2005, Evaluación de pavimentos e inventario vial).

FIGURA N° 43: CORRUGACIÓN



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.2.3 DEPRESIÓN

Las depresiones son áreas localizadas en la superficie del pavimento que poseen niveles de elevación ligeramente menores a aquellos que se encuentran a su alrededor.

Las depresiones son visibles cuando el agua se empoza dentro de ellas después de la caída de lluvia, o, a través de las manchas causadas por el agua empozada, en caso de superficies secas. Son producidas por asentamientos de la subrasante o debido a procedimientos constructivos defectuosos o por una construcción incorrecta en las capas superiores del pavimento.

Pueden causar alguna rugosidad en la superficie de la pista, y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua, pueden causar hidropelano (los neumáticos de un vehículo pierden contacto con el pavimento a causa de una película de agua, eliminando así la adherencia de las ruedas con la superficie de rodadura).

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

Niveles de severidad.

Máxima profundidad de la depresión:

L: 13.0 a 25.0 mm.

M: 25.0 a 51.0 mm.

H: Más de 51.0 mm.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) del área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo

(Luc Gerard, 2005, Evaluación de pavimentos e inventario vial).

FIGURA N° 44: DEPRESIÓN



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.2.4 AHUELLAMIENTO

El ahuellamiento es una depresión longitudinal continua a lo largo de la trayectoria del vehículo, que trae como consecuencia la deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o sub rasante.

Esta falla puede ser causada por una pobre compactación del paquete estructural, lo que origina inestabilidad en las capas (bases, sub bases) permitiendo el movimiento lateral de los materiales debido a las cargas de tráfico. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

Otras causas son:

- Mezcla asfáltica inestable.
- Exceso de ligante en riegos.
- Mal diseño del paquete estructural: espesores deficientes.
- Mala calidad de materiales o deficiente control de calidad.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

Niveles de severidad

Profundidad media del ahuellamiento:

L: 6.0 a 13.0 mm.

M: >13.0 mm a 25.0 mm.

H: > 25.0 mm.

Medida

El ahuellamiento se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del mismo, midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquel para calcular su profundidad media.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado y sobre carpeta.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobre carpeta.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobre carpeta.

(Luc Gerard, 2005, Evaluación de pavimentos e inventario vial).

FIGURA N° 45: AHUELLAMIENTO



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.2.5 DESPLAZAMIENTOS

Los desplazamientos son distorsiones de la superficie originados por desplazamientos de mezcla. Son corrimientos longitudinales y permanentes de un área localizada del pavimento formando una especie de “cordones” laterales.

Estas fallas son producidas por acción de la carga de tráfico, que empuja contra el pavimento produciendo una onda corta y brusca en la superficie del mismo. Este tipo de falla normalmente ocurre sólo en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (emulsiones).

También ocurren desplazamientos cuando los pavimentos asfálticos colindan con pavimentos rígidos. Las losas de concreto al aumentar su longitud, empujan al pavimento flexible produciéndose el desplazamiento.

Otras causas son:

- Exceso de asfalto o de vacíos constituyendo mezclas inestables.
- Falta de confinamiento lateral.
- Adherencia inadecuada por defectos en el riego de liga o de imprimación.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

FIGURA N° 46: DESPLAZAMIENTOS



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.2.6 HINCHAMIENTO

El hinchamiento es el abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, en forma de una onda larga y gradual de longitud mayor a 3.00 m, que distorsiona el perfil de la carretera. La causa principal de este tipo de falla es la expansión del suelo de fundación (suelos expansivos) y el congelamiento del material de la sub rasante. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

Nivel de severidad

L: El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. El hinchamiento de baja severidad no es siempre fácil de ver, pero puede ser detectado conduciendo en el límite de velocidad sobre la sección de pavimento. Si existe un hinchamiento se producirá un movimiento hacia arriba.

M: El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

H: El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

Medida

El hinchamiento se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

(Luc Gerard, 2005, Evaluación de pavimentos e inventario vial).

FIGURA N° 47: HINCHAMIENTO

FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.3 DESPRENDIMIENTOS

2.2.14.2.3.1 BACHES

Los baches son pequeños hoyos (depresiones) en la superficie del pavimento de diámetro menor a 750 mm. Presentan bordes agudos y lados verticales cerca de la zona superior de la falla.

Los baches pueden ser ocasionados por un conjunto de factores:

- Fisuramiento tipo piel de cocodrilo de alta severidad, que causa fatiga y origina la desintegración de la superficie de rodadura.
- Defectos constructivos.
- Sub drenaje inadecuado.
- Mal diseño del paquete estructural.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

FIGURA N° 48: BACHES



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.3.2 PELADURA POR INTEMPERISMO Y DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS

La peladura por intemperismo es la desintegración superficial del pavimento por pérdida de ligante asfáltico; mientras que el desprendimiento del agregado pétreo, hace referencia a partículas de agregado sueltas o removidas. Ambas fallas indican

que el ligante asfáltico ha sufrido un endurecimiento considerable o que la mezcla es de pobre calidad.

Las principales causas de este tipo de fallas son:

- Cargas de tráfico especiales como es el caso de vehículos de orugas.
- Ablandamiento de la superficie y pérdida de agregados debido al derramamiento de aceite de vehículos.
- Mezcla de baja calidad con ligante insuficiente.
- Uso de agregados sucios o muy absorbentes.
- Falla de adherencia agregado - asfalto debido al efecto de agentes externos.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

FIGURA N° 49: PELADURA



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.4 OTRAS FALLAS

2.2.14.2.4.1 EXUDACIÓN

La exudación es una película de material bituminoso que se extiende sobre una determinada área del pavimento, creando una superficie brillante, resbaladiza y reflectante que generalmente llega a ser pegajosa (durante tiempo cálido).



Esta falla puede ser causada por diversos factores, como: el exceso de ligante asfáltico en la dosificación (mezcla), el uso de un ligante asfáltico muy blando, la aplicación excesiva de un sello bituminoso, un deficiente porcentaje de vacíos, etc.

La exudación ocurre durante tiempo cálido, cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla y luego se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.

La “mancha” es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire., o por deposición de aceites caído de los vehículos, o por concentración de residuos de combustibles no quemados.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

Niveles de severidad.

L: La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos.

M: La exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año.

H: La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.

Opciones de reparación

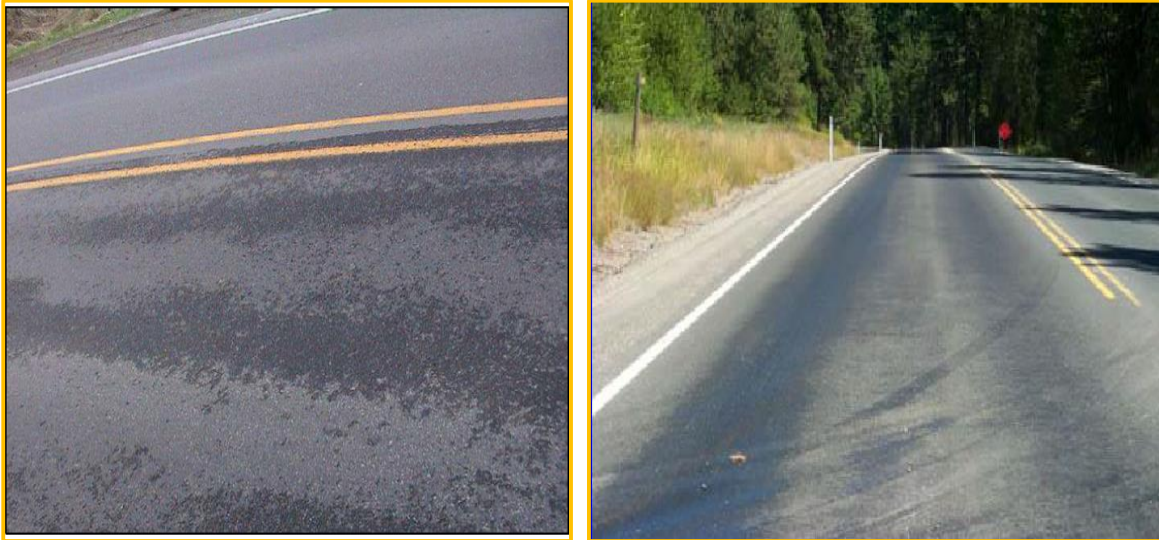
L: No se hace nada.

M: Se aplica arena / agregados y cilindrado.

H: Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario).

(Luc Gerard, 2005, Evaluación de pavimentos e inventario vial).

FIGURA N° 50: EXUDACIÓN



FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.4.2 AGREGADO PULIDO

El agregado pulido es la pérdida de resistencia al deslizamiento del pavimento, que ocurre cuando los agregados en la superficie se vuelven suaves al tacto.

Esta falla es causada por:

- Repeticiones de cargas de tránsito.
- Insuficiente porción de agregado extendida sobre el asfalto.
- Inexistente aspereza o textura del pavimento, que no contribuye a la reducción de la velocidad de los vehículos.
- Falta de partículas de agregado angular que proporcionen una buena adherencia del pavimento con las llantas de los vehículos.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

Niveles de severidad

No se definen niveles de severidad. Sin embargo, el efecto del pulido sobre el agregado deberá ser claramente identificable en la muestra, condición que se verifica al tocar la superficie del agregado y este se presenta suave al tacto.

Formas de Medición - La falla es medida en metros cuadrados dentro del área de unidad de muestra. Las áreas con agregados pulidos deben ser comparadas visualmente con áreas sin tráfico adyacentes. Si la textura de la superficie de estas dos áreas es similar no se debe considerar el agregado pulido.

(Luc Gerard, 2005, Evaluación de pavimentos e inventario vial).

FIGURA N° 51: AGREGADO PULIDO

FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.4.3 DESNIVEL CARRIL – BERMA

El desnivel carril-berma es la diferencia de elevación (niveles) entre el borde del pavimento y la berma.

Esta falla es causada por la erosión de la berma; el asentamiento de la berma; o por la colocación de nuevas capas (sobre carpetas) en la pista, sin el debido ajuste del nivel de la berma.

(Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles)

FIGURA N° 52: DESNIVEL CARRIL - BERMA

FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)

2.2.14.2.4.4 PARCHES Y PARCHES DE CORTES UTILITARIOS

Un parche es un área del pavimento, que, por encontrarse en mal estado, ha sido reemplazada con material nuevo con el fin de reparar el pavimento existente. Los parches de cortes utilitarios hacen referencia a aquellos parches colocados cuando se efectúan cortes para la reparación de tuberías de agua o desagüe, instalación del cableado eléctrico, teléfonos, entre otros trabajos similares.

Los parches disminuyen el nivel de servicio de la vía, pues el comportamiento del área parchada es inferior a la del pavimento original, incluso el área adyacente al parche no se comporta tan bien como la sección original de pavimento. (Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica, 2002, Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles).

FIGURA N° 53: PARCHES

FUENTE: CATALOGO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (2002)



3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de Investigación se refieren al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno o un evento de estudio, en ese sentido podemos clasificar nuestro estudio como un Tipo de **Investigación Cuantitativa** ya que la preponderancia del estudio de nuestros datos se basa en la cuantificación y el cálculo de éstos, ya que:

Según sus Características:

- Mide fenómenos
- Utiliza estadísticas
- Prueba hipótesis
- Hace análisis de causa-efecto

Según su Proceso

- Secuencial
- Deductivo
- Probatorio
- Analiza la realidad objetiva

Según sus Bondades

- Generalización de resultados
- Control sobre fenómenos
- Precisión
- Réplica
- Predicción

(Dr. Hernández Sampieri, Dr. Fernández Collado, & Dra. Baptista Lucio, 2010.p.4,116)

3.1.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

DESCRIPTIVA

Describe fenómenos sociales o clínicos en una circunstancia temporal y geográfica determinada. Su finalidad es describir y/o estimar parámetros. Se describen frecuencias y/o promedios; y se estiman parámetros con intervalos de confianza.

(Dr. José Supo 2011.p.2)

3.1.3 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

HIPOTÉTICO- DEDUCTIVO

Es un procedimiento o cambio que sigue el investigador para hacer de su actividad una práctica científica. El método hipotético – deductivo tiene varios pasos esenciales: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia.

(Gil, 1978, p. 295)

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 DISEÑO METODOLÓGICO

NO EXPERIMENTAL - TRANSVERSAL

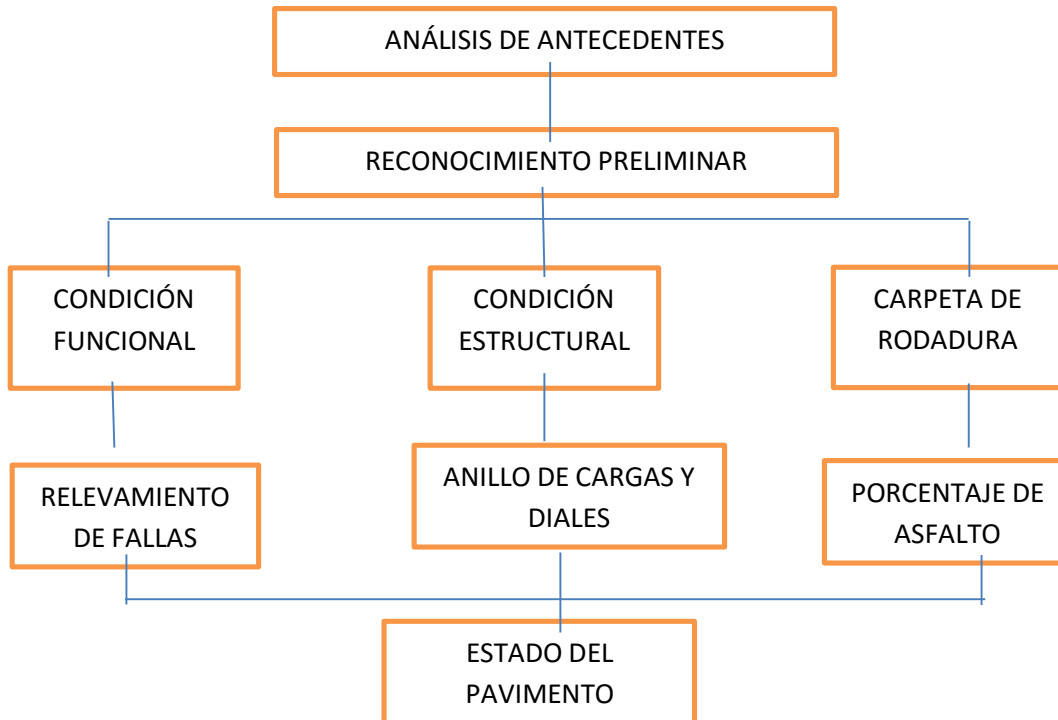
La investigación no experimental es investigación sistemática y empírica en la que las variables independientes no se manipulan porque ya han sucedido.

Las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención o influencia directa o y dichas relaciones se observan tal y como se han dado en su contexto natural.

Estos diseños recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables, y analizar su incidencia de interrelación en un momento dado.

(Dr. Hernández Sampieri, Dr. Fernández Collado, & Dra. Baptista Lucio, 2010.p.149,162)

3.2.2 DISEÑO DE INGENIERÍA



3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN

3.3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

Tramo prolongación AV. De la Cultura 4° Paradero San Sebastián hasta grifo mobil con una distancia de estudio 30+60 m.

3.3.1.2 CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN

En la presente investigación la población es uno.

3.3.2 MUESTRA

3.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

En el Tramo prolongación AV. De la Cultura 4° paradero San Sebastián hasta grifo mobil con una distancia de estudio 30+60 m realizamos siete orificios en el paquete estructural (4 orificios en carpeta de rodadura – 3 orificios en base y sub base) y Dos calicatas el borde del sardinel en el área verde para verificar el espesor del paquete estructural.



3.3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

En la presente investigación la muestra es nueve.

3.3.2.3 MÉTODO DE MUESTREO

El método de muestreo se realizó por conveniencia (no probabilístico) en los tramos más críticos y los que no sufrieron daño alguno en la vía, bajo los criterios que nos sugieren la norma y los distintos manuales. Adicionando una cantidad conservadora de testigos en cada uno de los ensayos.

3.3.2.3 CRITERIO DE EVALUACIÓN DE MUESTRA

Para la evaluación de la muestra se utilizó:

- a. Para el pavimento: 3 puntos de muestreo para CBR en el terreno (CBR in situ).
 - Para la base.
 - Para la sub base.

- b. Para la carpeta asfáltica: Ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleados en el aparato Marshall.
 - 04 especímenes del pavimento mediante extracción diamantina.
 - 04 Briquetas asfálticas para el flujo y la estabilidad.

- c. Para la carpeta asfáltica: Extracción cuantitativa de asfalto en mezclas para pavimentos:
 - 04 especímenes del pavimento mediante extracción diamantina.
 - 04 Briquetas asfálticas para el contenido de asfalto.

- d. Para el flujo vehicular: se realizará un muestreo escogiéndose intervalos de nueve (09) horas diarias por un lapso de siete (07) días en una semana en la zona de estudio, y determinar el ESAL.



- e. Para las fallas en la carpeta asfáltica: se realizará un muestreo de toda la zona estudiada prolongación de la Av. Cultura 4° paradero san Sebastián hasta grifo mobil.
- f. Para la verificación de los espesores del paquete estructural y la carpeta de rodadura realizamos 02 calicatas al borde del sardinel.

3.3.3 CRITERIO DE INCLUSIÓN

- a. Para el pavimento: 3 puntos de muestreo para CBR en el terreno (CBR in situ).
 - 02 puntos críticos con fallas severas – ahuellamiento.
 - 01 punto óptimo sin falla alguna visualmente.
- b. Para la carpeta asfáltica: Ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleados en el aparato Marshall:
 - 02 puntos críticos con fallas severas – ahuellamiento.
 - 02 punto óptimo sin falla alguna visualmente.
- c. Para la carpeta asfáltica: Extracción cuantitativa de asfalto en mezclas para pavimentos:
 - 02 puntos críticos con fallas severas – ahuellamiento
 - 02 punto óptimo sin falla alguna visualmente
- d. Para el flujo vehicular: se realizará un muestreo escogiéndose intervalos de nueve (09) horas diarias en las horas puntas
 - 6 am hasta 9 am
 - 11 am hasta 14 pm
 - 17 pm hasta 20 pm

- e. Para las fallas en la carpeta asfáltica: Se tomará datos de las diferentes fallas y la severidad de cada una de ellas que existen en la prolongación Av. Cultura 4° paradero San Sebastián hasta grifo Mobil.
- f. Para la verificación de los espesores del paquete estructural y la carpeta de rodadura realizamos 02 calicatas. La primera calicata ubicada a la altura del paradero de Cachimayo y la otra en el séptimo paradero San Sebastián.

3.4 INSTRUMENTOS

3.4.1 INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS

3.4.1.1 NORMAS TÉCNICAS

3.4.1.1.1 NORMAS TÉCNICAS – PAVIMENTO

- **MTC E 504 2000** Ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleados en el aparato Marshall.
- **MTC E 503 2000** Extracción cuantitativa de asfalto en mezclas para pavimentos.
- **MTC E 133 2000** CBR en el terreno (CBR in situ).

3.4.1.2 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS

FIGURA N° 54: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CONTENIDO DE ASFALTO

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS (MTC E 503 2000)			
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA AV. LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)			
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA			
	NUMERO DE MUESTRA		
DESCRIPCION	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
PESO DE LA MUESTRA INICIAL (gr)			
PESO DE LA MUESTRA LAVADA + RECIPIENTE (gr)			
PESO RECIPIENTE (gr)			
PESO MUESTRA LAVADA (gr)			
CONTENIDO DE ASFALTO (gr)			
% DE ASFALTO			

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.4.1.3 RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL

FIGURA N° 55: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA LECTURA CORREGIDA

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)			
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)			
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAHAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA			
Lectura Inial			
Temp. Ambiente			
T° calibracion Eqp			
Lectura Corregida			

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 56: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA ECUACIÓN DE LA ESTABILIDAD MARSHALL

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)			
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)			
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAHAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA			
Lectura Corregida			
Fi			

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 57: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA FLUIDÉZ DEL PAVIMENTO

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)			
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)			
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA			
NUMERO DE MUESTRA	LECTURA flujo	FACTOR A mm	FLUJO mm
T-01			
T-02			
T-03			

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 58: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LAS BRIQUETAS

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
DATOS	BRIQUETAS DE ASFALTO			
NUMERO DE BRIQUETA				
PESO SECO EN AIRE g				
PESO SUMERGIDO g				
VOLUMEN				

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 59: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA BULK (GSB)

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAHAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
PESO SECO EN AIRE g				
PESO SUMERGIDO SUPERF. SECO g				
PESO SUMERGIDO g				
GRAV ESPECIFICA BULK (Gsb)				
PROMEDIO				

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 60: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEÓRICA

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAHAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
PORCENTAJE DE ASFALTO				
PESO DEL MATRAZ VACIO				
PESO DEL MATRAZ + AGUA				
PESO DE LA MUESTRA EN AIRE				
PESO DEL MATRAZ + MUESTRA+AGUA				
PESO DESPUES DEL ENSAYO				
GRAV ESP MAXIMA TEORICA				

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 61: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE PORCENTAJE DE VACÍOS

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
NUMERO DE MUESTRA				
GRAV ESPECIFICA MAXIMA TEORICA				
GRAV ESPECIFICA BULK (Gsb)				
DENSIDAD kg/m ³				
% DE VACIOS				

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 62: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ANÁLISIS DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
PORCENTAJE DE ASFALTO				
PORCENTAJE DE AGRAGADO				
GRAV ESPECIFICA BULK (Gsb)				
GRAV ESPECIFICA BULK COMBI CON AGRAGADOS (Gsb)				
% VMA				

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 63: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (VFA)

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAHAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
PORCENTAJE DE ASFALTO				
% VMA				
% DE VACIOS				
VACIOS LLENOS DE ASFALTO vfa				

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.4.1.4 CBR EN EL TERRENO

FIGURA N° 64: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA LECTURA DE PENETRACIÓN

ENSAYO DE CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) MTC E 133 2000					
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)					
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAHAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA					
	PUNTO #			PUNTO #	
	LECTURAS EN LA BASE			LECTURAS EN LA SUB BASE	
	PENEIRACION	LECTURA DE PENETRACION		PENEIRACION	LECTURA DE PENETRACION
	(Pulg)			(Pulg)	
	0.025			0.025	
	0.050			0.050	
	0.075			0.075	
	0.100			0.100	
	0.200			0.200	
	0.300			0.300	
	0.400			0.400	
	0.500			0.500	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 65: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA CALCULAR EL CBR

ENSAYO DE CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) MTC E 133 2000							
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)							
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAHAUQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA							
		PENETRACION	CARG. PATRON	LECTURA DE PENETRACION	CARG DEL ENSAYO		C.B.R.
		(Pulg)	PSI		Libras	PSI	1
PENETRACION		0.025					
		0.050					
DEL		0.075					
		0.100	1000				
C.B.R		0.200	1500				
		0.300	1900				
		0.400	2300				
		0.500	2600				

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.4.1.5 AFORO VEHICULAR

Para el aforo vehicular tuvimos que tomar los datos en las horas puntas de:

- 6:00 am hasta 9:00 am
- 11:00 am hasta 14:00 pm
- 17:00 pm hasta 20:00 pm

FIGURA N° 66: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL ESTUDIO DE TRAFICO

FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR																					
ESTUDIO DE TRAFICO																					
TRAMO DE LA CARRETERA					Prolongacion Av. De la Cultura					ESTACION											
SENTIDO		ESTE		←		E		→		O		CODIGO DE LA ESTACION									
UBICACIÓN					4TO Paradero					DIA Y FECHA					LUNES 13 10 2015						
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2E	≥3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	≥3S3	2T2	2T3	3T2	≥3T3		
DIAGRA. VEH.																					
6:00-9:00																				0	
11:00-14:00																					0
17:00 - 20:00																					0

FUENTE: MTC - ELABORACIÓN

3.4.2 INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA

3.4.2.1 BALANZA

La balanza es un aparato que sirve para calcular el peso de un elemento. Este procedimiento se realiza a partir de que se coloca tal elemento u objeto a pesar en una superficie y la misma calcula, a través de diferentes métodos, su peso de manera casi instantánea. Una balanza electrónica nos puede decir de manera inmediata y, aún más importante, de manera exacta el peso de un objeto

FIGURA N° 67: BALANZA ELECTRÓNICA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.4.2.2 MÁQUINA PARA PERFORACIÓN DIAMANTINA

Es un instrumento para extraer probetas de asfalto del lugar in situ

**FIGURA N° 68: MAQUINA PERFORACIÓN
DIAMANTINA**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.4.2.3 CENTRIFUGA DE ASFALTOS

Se utiliza para la determinación de porcentaje de asfalto en la mezcla bituminosa

FIGURA N° 69: MAQUINA CENTRIFUGA DE ASFALTO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.4.2.4 EQUIPO BAÑO MARÍA

Este equipo se utiliza para el calentamiento indirecto, por convección térmica del medio y de sustancia, se basa en un método empleado para conferir la temperatura uniforme a una sustancia líquida o sólida, sumergiendo el recipiente que lo contiene en otro mayor con agua que se lleva hasta la ebullición.

FIGURA N° 70: EQUIPO BAÑO MARÍA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.4.2.5 PRENSA MARSHALL

La prueba Marshall sirve básicamente para verificar la estabilidad y el flujo de la carpeta asfáltica.

FIGURA N° 71: PRENSA MARSHALL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.4.2.6 PRENSA CBR

La prensa de carga CBR, se utiliza para forzar la penetración del pistón en la muestra compactada CBR. La carga se aplica a través de un gato de tipo mecánico.

FIGURA N° 72: PRENSA CBR



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



3.5 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. INVENTARIO VIAL

Se realizó el Inventario Vial de las fallas más comunes en la vía. Determinando las características que definen las vías que convergen en el área de estudio donde se observarán las condiciones de la vía, el estado actual en el que se encuentran todos sus elementos, como la calzada, cunetas, los sistemas de drenajes, entre otros, una vez descritas las características viales se realizan las mediciones de la estructura vial en estudio; ancho de calzada, fallas más comunes en la vía.

UBICACIÓN: Todos los tramos de la prolongación av. de la cultura 4° paradero san Sebastián – grifo móvil San Sebastián (en las dos calzadas) 30+60 m desde las intersecciones:

- Intersección Av. Tuyro Túpac con la Prolongación Av. De La Cultura ubicada aproximadamente por el 4° paradero de San Sebastián.
- Intersección Av. Los Sauces con la Prolongación Av. De La Cultura ubicada aproximadamente por el paradero grifo mobil San Jerónimo.

FIGURA N° 73: CUARTO PARADERO DE SAN SEBASTIÁN



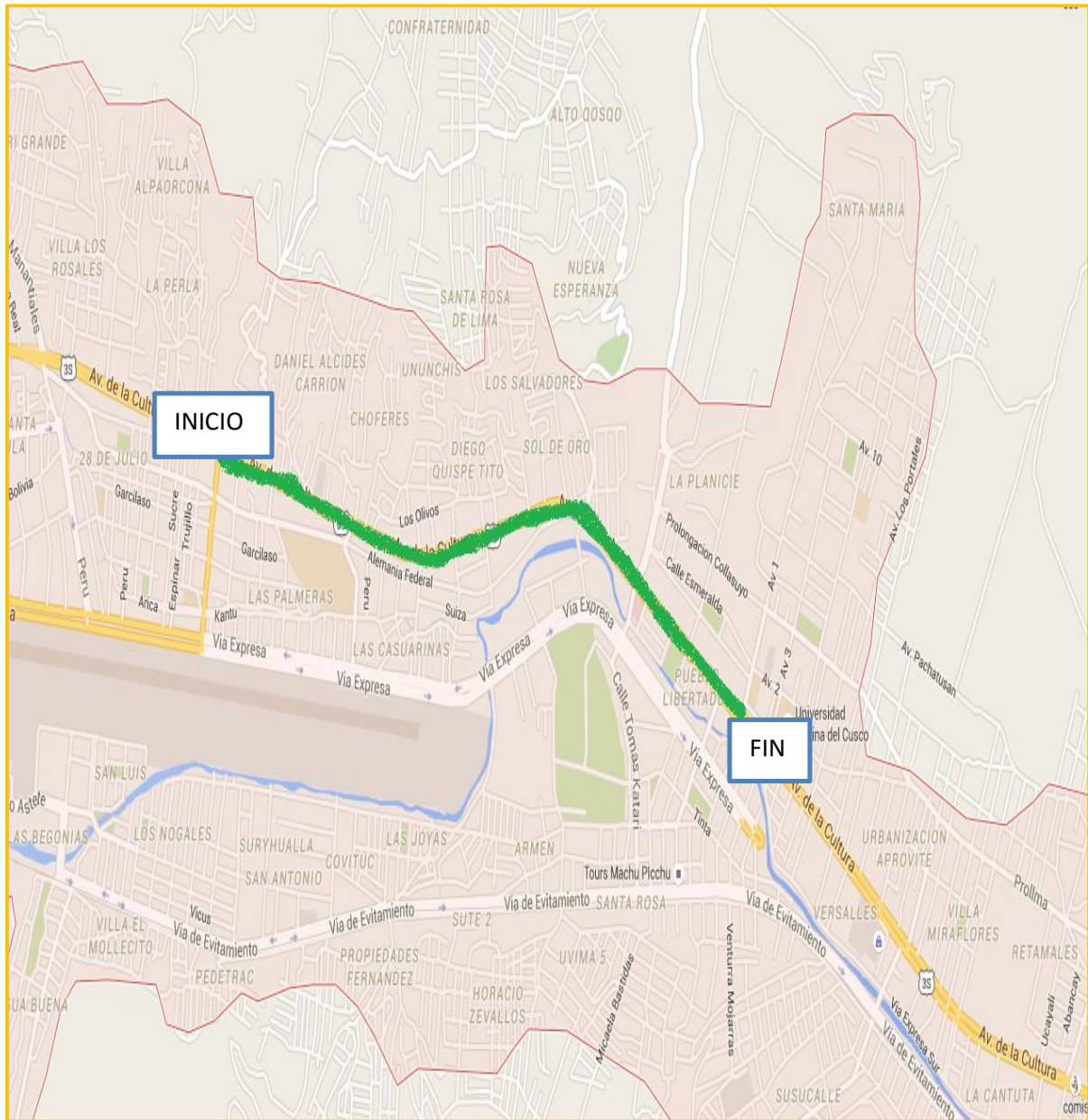
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 74: PARADERO GRIFO MOBIL DE SAN JERÓNIMO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

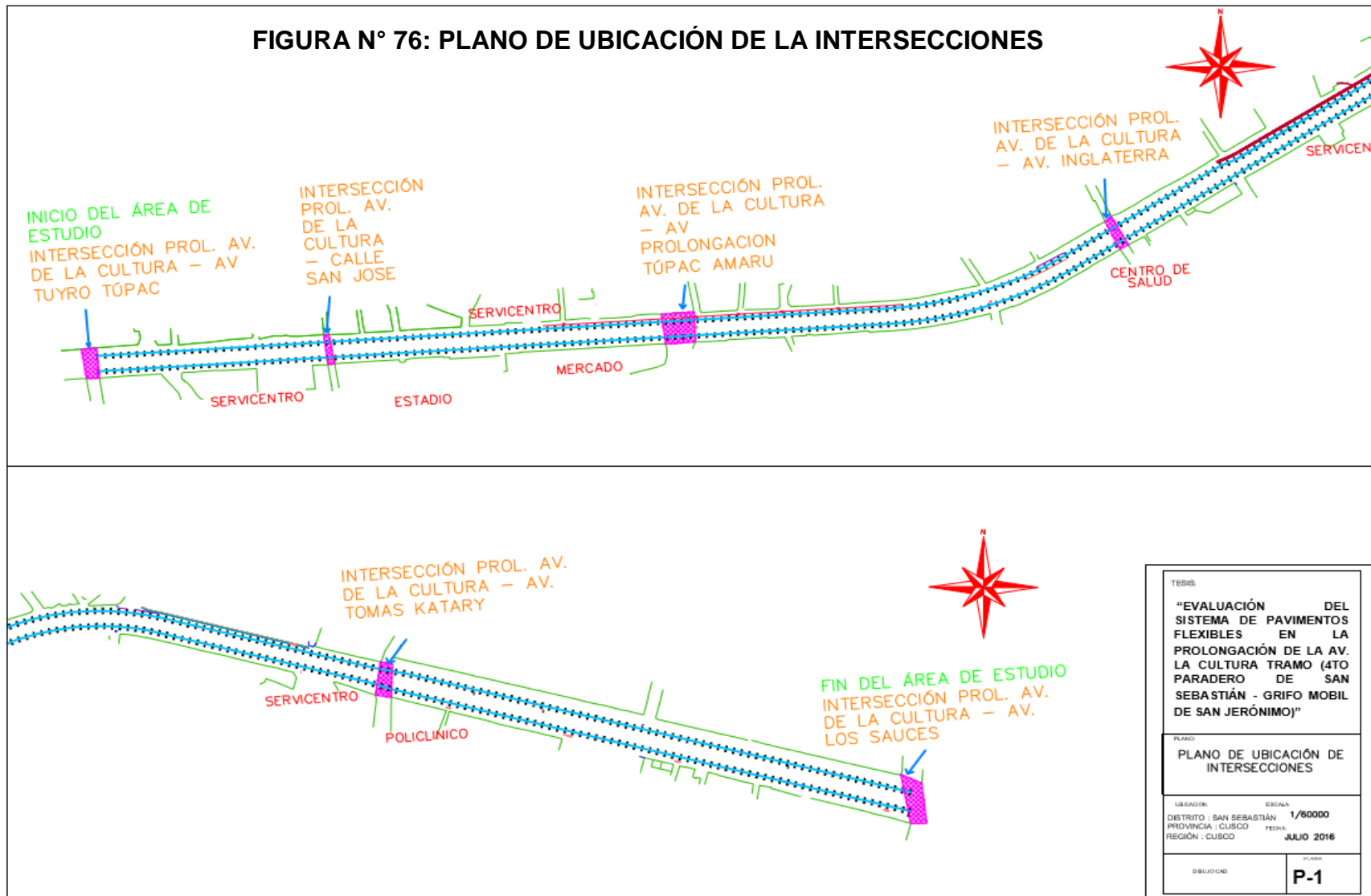
FIGURA N° 75: PLANO DE EVALUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



FUENTE: GOOGLE MAPS - ELABORACIÓN PROPIA

Leyenda :  área de estudio 30+60 m

FIGURA N° 76: PLANO DE UBICACIÓN DE LA INTERSECCIONES



TESIS: "EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA AV. LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIÁN - GRIFO MOBIL DE SAN JERÓNIMO)"	
PLANO: PLANO DE UBICACIÓN DE INTERSECCIONES	
UBICACIÓN: DISTRITO : SAN SEBASTIÁN PROVINCIA : CUSCO REGION : CUSCO	ESCALA: 1/60000 FECHA: JULIO 2016
DIBUJADO:	P-1

FUENTE: PLANO DE LA PAVIMENTACION COPESCO- ELABORACION PROPIA

A.- EQUIPOS UTILIZADOS:

- Regla metálica 3 m
- Wincha

FIGURA N° 77: REGLA METÁLICA

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

B.- PROCEDIMIENTO

El inventario de las fallas actuales de la vía lo realizamos en dos días diferentes.

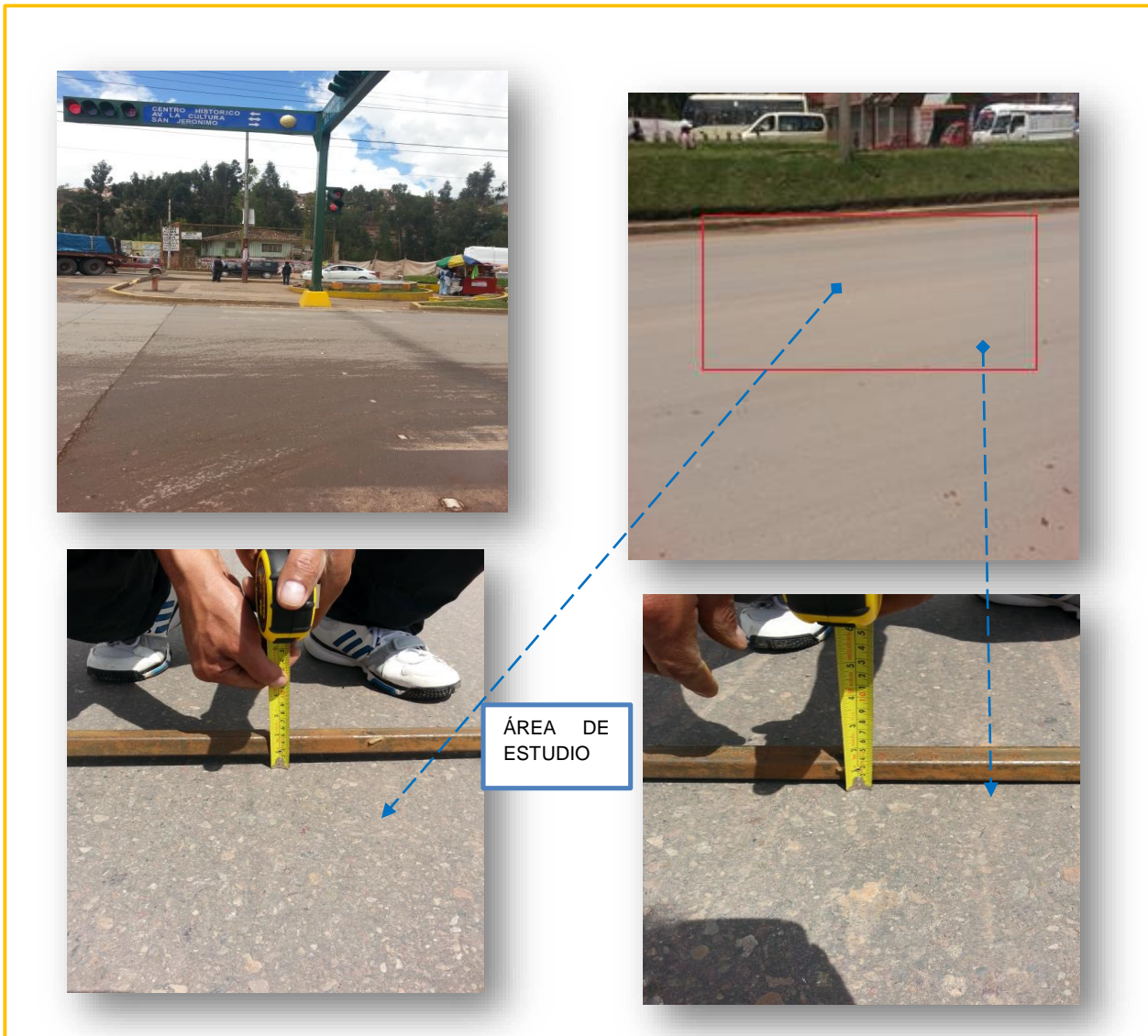
El primer día fuimos a reconocer la zona de estudio y ubicar las fallas exactamente donde se encuentran, con la ayuda de planos de las progresivas. También describimos las diferentes fallas como ahuellamientos, depresiones, piel de cocodrilo de severidad baja.

El segundo día ya teniendo las ubicaciones exactas de las fallas fuimos a medir el nivel de severidad de las diferentes fallas con la ayuda de la regla metálica y la wincha de la siguiente manera:

C.- TOMA DE DATOS

FIGURA N° 78: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

EN ESTE ÁREA DE EVALUACIÓN PODEMOS APRECIAR ONDULACIONES EN EL PAVIMENTO, EN EL CARRIL IZQUIERDO Y CENTRAL, PERO CON MAYOR DEPRESIÓN EN EL CARRIL IZQUIERDO QUE ALCANZA 2.3 CM, EN EL CARRIL CENTRAL ALCANZA 1.7 CM Y EN EL CARRIL DERECHO ES DESPRECIABLE LA DEPRESIÓN.

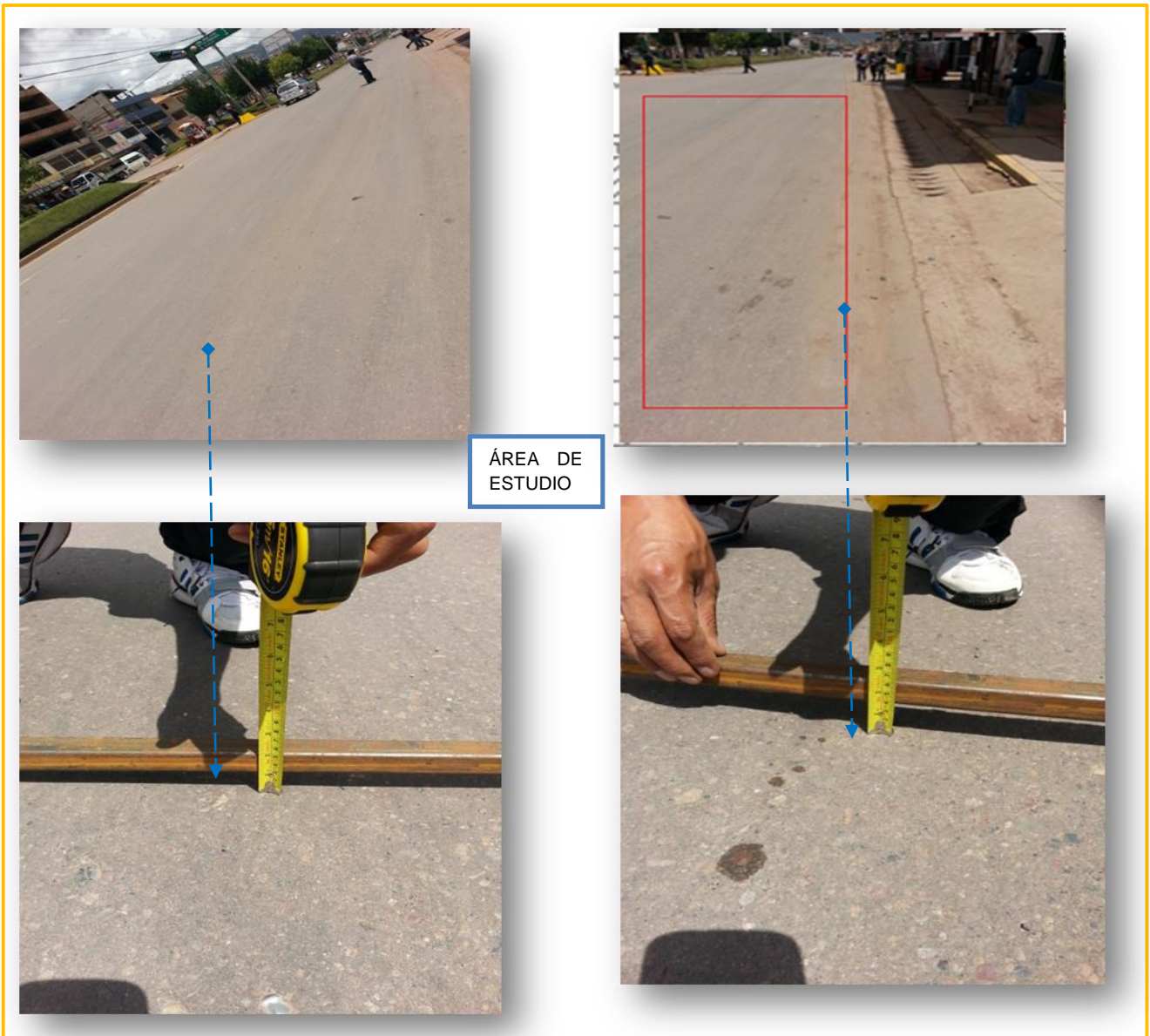


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	BAJADA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (4° PARADERO)
PROGRESIVA	0+00 - 0+270
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	MEDIO

FIGURA N° 79: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

SE APRECIA ONDULACIONES CON SEVERIDAD ALTA EN LOS CARRILES DERECHO CON UNA ONDULACIÓN DE 3.8 CM, CENTRAL CON UNA ONDULACIÓN 3.0 CM Y EN EL CARRIL IZQUIERDO ES CASI IMPERCEPTIBLE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	BAJADA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (5° PARADERO)
PROGRESIVA	0+270 - 0+290
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	ALTO

FIGURA N° 80: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

SE APRECIA ONDULACIONES EN LOS TRES CARRILES EL CARRIL IZQUIERDO Y CENTRAL CON UNA DEPRESIÓN DE 1.5CM Y EN EL CARRIL DERECHO CON UNA DEPRESIÓN DE 0.8 CM



CALZADA	BAJADA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (5° - 7° PARADERO)
PROGRESIVA	0+290 - 0+750
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	MEDIO

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 81: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

SE APRECIA ONDULACIONES MÍNIMAS EN LOS TRES CARRILES CASI INAPRECIABLES A SIMPLE VISTA CON DEPRESIONES 0.5 CM - 0.8 CM EN LOS TRES CARRILES



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	BAJADA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (7° PARADERO)
PROGRESIVA	0+750 - 1+110
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	BAJO

FIGURA N° 82: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

SE APRECIA ONDULACIONES CONSIDERABLES EXACTAMENTE EN LOS CARRILES DERECHO 3.5 CM Y EN EL CARRIL CENTRAL UNA ONDULACIÓN DE 2.6CM (PARADERO CAMIONERO)

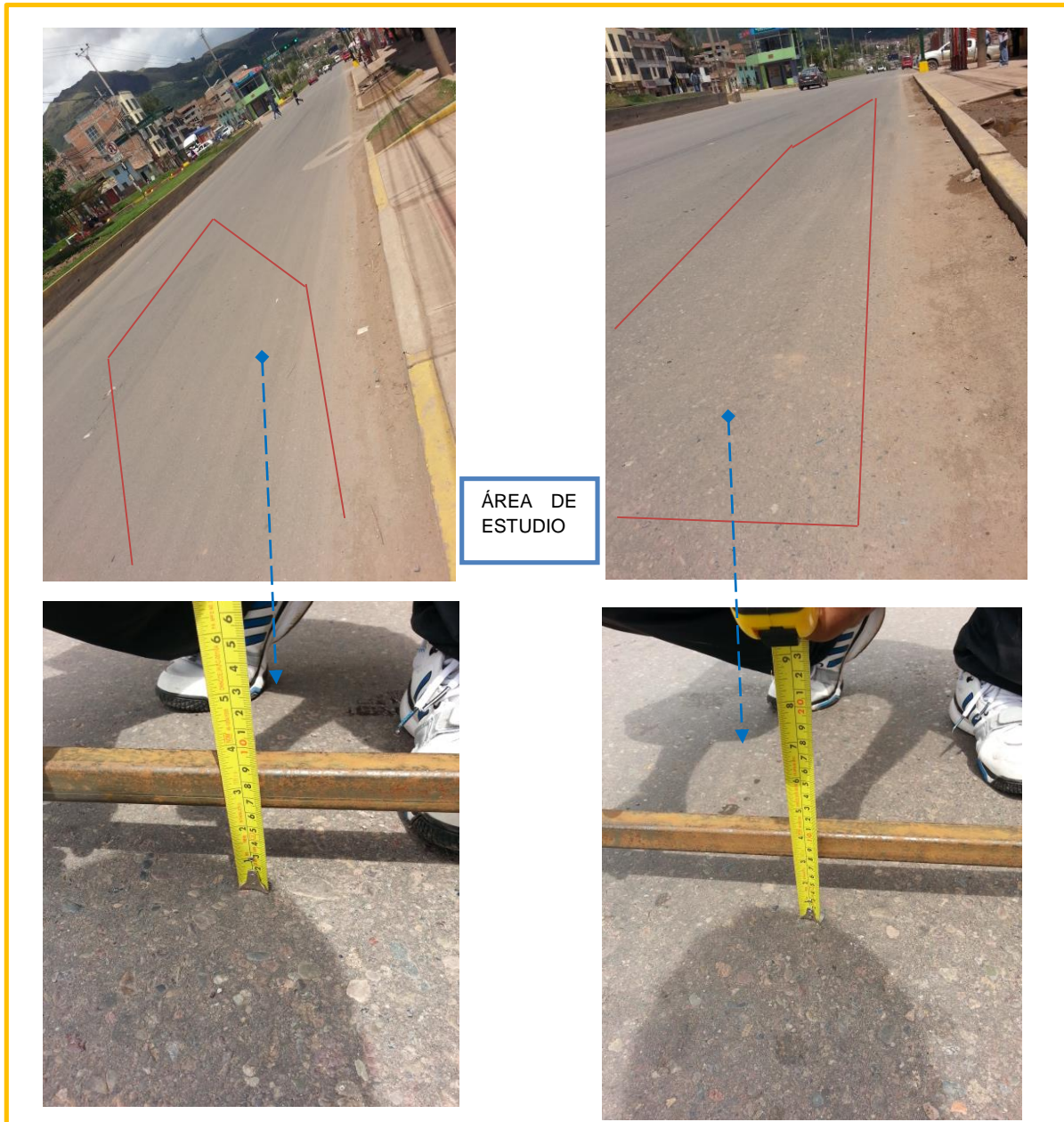


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	BAJADA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (CAMIONERO PARADERO)
PROGRESIVA	1+110 - 1+130
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	ALTO

FIGURA N° 83: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

SE APRECIA ONDULACIONES CONSIDERABLES EXACTAMENTE EN EL CARRIL DERECHO CON UNA ONDULACIÓN DE 6.7 CM (PARADERO SANTA ROSA) Y LOS DEMÁS CARRILES TIENEN DEFORMACIONES MÍNIMAS DE 0.7 - 1.0 CM



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	BAJADA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (SANTA ROSA PARADERO)
PROGRESIVA	1+130 - 1+310
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	ALTO

**FIGURA N° 84: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES
EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA**

SE APRECIA UN PEQUEÑA AGUJERO 1 * 3 CM Y ONDULACIONES CONSIDERABLES EN EL CARRIL DERECHO 4.3 CM TAMBIÉN APRECIAMOS ONDULACIONES EN LOS CARRILES IZQUIERDO Y CENTRAL DE 1.5 CM A 1.8 CM



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	BAJADA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (SAN MIGUEL PARADERO)
PROGRESIVA	1+310 - 1+640
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO Y AGUJERO
NIVEL DE SEVERIDAD	MEDIO - ALTO

FIGURA N° 85: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

EN ESTA ZONA DE ESTUDIO PRESENTA DEFORMACIONES CONSIDERABLES EN EL CARRIL DERECHO 3.8 CM Y EN EL CARRIL CENTRAL 2.5 CM Y CASI DESPRECIABLE EN EL CARRIL IZQUIERDO (PARADERO SOL DE ORO)



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	BAJADA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (SOL DE ORO PARADERO)
PROGRESIVA	2+070 - 2+210
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	ALTO

FIGURA N° 86: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

SE APRECIA ONDULACIONES MUY CONSIDERABLES EN EL CARRIL IZQUIERDO QUE SUPERAN UNA ONDULACIÓN DE 12 CM Y MEDIANAMENTE EN EL CARRIL CENTRAL CON UN ONDULAMIENTO DE 2.8CM.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	SUBIDA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (MÓBIL - PUENTE PARADERO)
PROGRESIVA	3+060 - 2+950
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	ALTO

FIGURA N° 87: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

ESTA ÁREA DE ESTUDIO ES LA MAS CRITICA EN TODA LA ZONA EXISTE ONDULACIÓN MUY PRONUNCIADA EN EL CARRIL IZQUIERDO QUE LLEGA A UNA ONDULACIÓN DE HASTA 18 CM (PUESTO QUE EXISTE UN AHUELLAMIENTO MUY PROFUNDO COMO SE OBSERVA EN LA FIGURA) Y LOS DEMÁS CARRILES SON DE ONDULACIÓN DESPRECIABLES

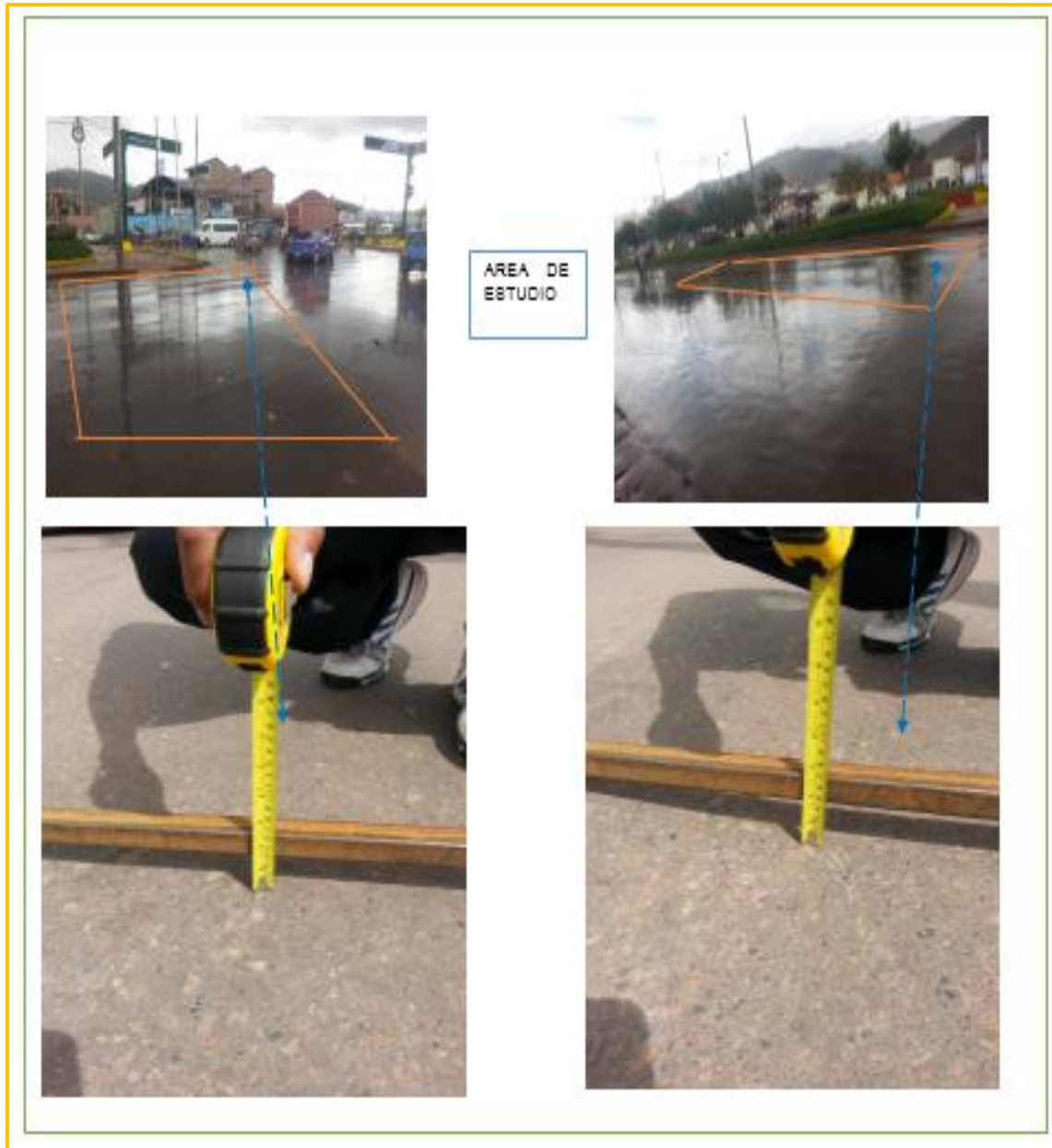


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	SUBIDA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (PUENTE - CACHIMAYO PARADERO)
PROGRESIVA	2+950 - 2+450
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	ALTO

FIGURA N° 88: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

EN ESTA ZONA DE ESTUDIO ENCONTRAMOS ONDULACIONES DE 4.5 CM EN EL CARRIL IZQUIERDO MIENTRAS TANTO EN EL CARRIL CENTRAL Y DERECHO ES DESPRECIABLE LAS ONDULACIONES



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	SUBIDA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (CACHIMAYO- ENACO PARADERO)
PROGRESIVA	2+450 - 2+350
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	ALTO

FIGURA N° 89: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

ES UNA DE LAS ZONAS MAS TRÁGICAS DEL TRAMO DONDE ENCONTRAMOS MAS DE 3 FALLAS EN UN MISMO LUGAR AHUELLAMIENTO CON UNA ONDULACIÓN DE 11 CM Y 2 HUECOS DE LAS SIGUIENTES DIMENSIONES 0.90*0.30 * 0.35 Y EL OTRO HUECO CON LAS DIMENSIONES DE 0.4 * 0.35 * 0.4 CM



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	SUBIDA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (SOL DE ORO PARADERO)
PROGRESIVA	2+120 - 2+000
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO Y HUECOS
NIVEL DE SEVERIDAD	ALTO

FIGURA N° 90: UBICACIÓN DE LAS FALLAS EXISTENTES EN LA PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

EN ESTA ZONA DE ESTUDIO ENCONTRAMOS 2 TIPOS DE FALLAS AHUELLAMIENTO CON UNA ONDULACIÓN MAX DE 12 CM Y PIEL DE COCODRILO BAJA SOLO EN UN TRAMO DE 5 M



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALZADA	SUBIDA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN (CAMIONERO -7° PARADERO)
PROGRESIVA	0+930 - 0+740
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO Y PIEL DE COCODRILO
NIVEL DE SEVERIDAD	ALTO

3.5.2 AFORO VEHICULAR

- **ESTACIÓN N° 1:** Intersección de la Prolongación Avenida de la Cultura con la Avenida Tomas Tuyro Túpac (4° paradero San Sebastián)

FIGURA N° 91: AFORO VEHICULAR 4° PARADERO SAN SEBASTIÁN



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- **ESTACIÓN N° 2:** Intersección de la Prolongación Avenida de la Cultura con la Avenida Tomas Katari (Paradero Enaco San Sebastián)

FIGURA N° 92: AFORO VEHICULAR ENACO SAN SEBASTIÁN



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

A.-INSTRUMENTOS

- Fichas de conteo vehicular

FIGURA N° 93: MODELO DE LA FICHA VEHICULAR

RAMO DE LA CARRETERA		Prolongacion Av. De la Cultura										ESTACION									
SENTIDO		N ←					S →					CODIGO DE LA ESTACION									
UBICACIÓN												DIA Y FECHA									
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER	TOTAL		
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	251/252	253	351/352	>= 353	2T2	2T3			3T2	>=3T3
DIAGRA. VER.																					
6:00-6:15																					
6:15-6:30																					
6:30 - 6:45																					
6:45 - 7:00																					
7:00 - 7:15																					
7:15 - 7:30																					
7:30 - 7:45																					
7:45 - 8:00																					
8:00 - 8:15																					
8:15 - 8:30																					
8:30 - 8:45																					
8:45 - 9:00																					
11:00 - 11:15																					
11:15 - 11:30																					
11:30 - 11:45																					
11:45 - 12:00																					
12:00 - 12:15																					
12:15 - 12:30																					
12:30 - 12:45																					
12:45 - 13:00																					
13:00 - 13:15																					
13:15 - 13:30																					
13:30 - 13:45																					
13:45 - 14:00																					
17:00 - 17:15																					
17:15 - 17:30																					
17:30 - 17:45																					
17:45 - 18:00																					
18:00 - 18:15																					
18:15 - 18:30																					
18:30 - 18:45																					
18:45 - 19:00																					
19:00 - 19:15																					
19:15 - 19:30																					
19:30 - 19:45																					
19:45 - 20:00																					
TOTAL																					

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



B.-PROCEDIMIENTO

Se realizó el conteo vehicular de lunes a domingo en los horarios de 6:00 A.M. a 9:00 A.M.; de 11.00 A.M. a 14.00 P.M. y de 17.00 P.M. a 20.00 P.M.; estableciéndose 2 estaciones de conteo vehicular, las cuales son:

- **ESTACIÓN N^º 1:** Intersección de la Prolongación Avenida de la Cultura con la Avenida Tomas Tuyro Túpac (4^º paradero San Sebastián).

- **ESTACIÓN N^º 2:** Intersección de la Prolongación Avenida de la Cultura con la Avenida Tomas Katari (Paradero Enaco San Sebastián).



C. TOMA DE DATOS

TRAMO DE LA CARRETERA		Prolongacion Av. De la Cultura										ESTACION									
SENTIDO		SUR		N ←						S →		CODIGO DE LA ESTACION									
UBICACIÓN		ENACO										DIA Y FECHA		LUNES		15		12		2014	
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS				BUS		CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	ROCK	MICRO	2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
DIAGRA. VEH.																					
6:00-6:15	170	76	20	20	45	30		1	5	5	3			1	4					380	
6:15-6:30	162	66	18	14	48	30	1		9						1					349	
6:30 - 6:45	182	72	17	16	47	31			9	1										375	
6:45 - 7:00	175	58	21	18	46	30		1	3											352	
7:00 - 7:15	190	70	22	13	43	31			4	2					1					376	
7:15 - 7:30	198	72	25	14	44	31			10	1					3					398	
7:30 - 7:45	188	76	18	11	42	30			7	4					1					377	
7:45 - 8:00	165	68	25	13	47	30		1	4											353	
8:00 - 8:15	157	58	26	9	49	30	1		6						1					337	
8:15 - 8:30	151	54	21	13	40	30			12											321	
8:30 - 8:45	160	46	23	8	38	30			10	4					3					322	
8:45 - 9:00	164	56	27	6	39	30			8						3					333	
11:00 - 11:15	108	32	15	8	32	28			8	3			1		1					236	
11:15 - 11:30	110	30	12	9	27	32	1		1											222	
11:30 - 11:45	100	24	11	4	20	28		1	4											192	
11:45 - 12:00	97	26	12	1	23	28	1	3	8	1					1				1	202	
12:00 - 12:15	93	32	12	10	24	29	4	1	9	1										215	
12:15 - 12:30	98	32	16	4	25	30			2	2										209	
12:30 - 12:45	104	30	19	8	27	28		4	5						4					229	
12:45 - 13:00	102	38	23	3	28	28	2	8	11	4	2				1					250	
13:00 - 13:15	86	36	20	5	30	28	1	3	4											213	
13:15 - 13:30	88	46	23	9	25	28	1	3	5	2										230	
13:30 - 13:45	85	38	20	5	27	28			5											208	
13:45 - 14:00	96	40	19	2	33	28		1	6											225	
17:00 - 17:15	88	32	16	4	32	32			4						2					210	
17:15 - 17:30	80	30	12	5	27	28			5											187	
17:30 - 17:45	75	20	12	7	32	30	1		1	1										179	
17:45 - 18:00	74	22	9	5	38	30	3	4	6											191	
18:00 - 18:15	80	24	12	3	36	28		1	11	3					1			1		200	
18:15 - 18:30	88	22	9	7	39	32		2	11						2					212	
18:30 - 18:45	88	26	10	6	41	33		1	8											213	
18:45 - 19:00	93	38	11		40	34	5	3	6	2										232	
19:00 - 19:15	96	36	12	2	39	35	6	2	4											232	
19:15 - 19:30	92	32	11	3	37	39	2	5	11	2					4					238	
19:30 - 19:45	90	24	13	5	44	40	3	4	14											237	
19:45 - 20:00	74	32	12	1	40	41	3	5	7											215	
TOTAL	4247	1514	604	271	1294	1108	35	54	243	38	5	0	1	1	33	0	0	2	0	9450	



FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR

ESTUDIO DE TRAFICO



TRAMO DE LA CARRETERA		Prolongacion Av. De la Cultura			ESTACION									
SENTIDO		SUR	N ←					S →		CODIGO DE LA ESTACION				
UBICACIÓN		ENACO			DIA Y FECHA					Martes	16	12	2014	

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	S1/2S	2S3	S1/3S	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
DIAGRA. VEH.																					
6:00-6:15	168	73	18	20	38	28	1	1		1	2			2	1						353
6:15-6:30	159	64	17	14	45	30			2						3						334
6:30 - 6:45	181	69	15	17	44	31			1						1						359
6:45 - 7:00	172	55	19	16	43	26	1	1	3	2											338
7:00 - 7:15	189	67	22	11	40	27		2	10						1						369
7:15 - 7:30	196	59	23	12	41	31			4						3						369
7:30 - 7:45	187	73	17	9	43	26			2	1											358
7:45 - 8:00	172	65	21	11	42	30	1	1	5												348
8:00 - 8:15	155	55	24	10	46	25			4						4						323
8:15 - 8:30	151	53	19	8	35	27			2												295
8:30 - 8:45	162	47	22	4	38	28	1		2	1											305
8:45 - 9:00	165	57	27	7	36	30			4	1					1						328
11:00 - 11:15	107	33	17	9	32	25		1	12						1						237
11:15 - 11:30	112	31	16	10	26	32	1		5												233
11:30 - 11:45	107	25	11	5	25	28			4	1											206
11:45 - 12:00	98	27	14	2	22	29		1	16						3				1		213
12:00 - 12:15	95	33	16	6	24	31	1	1	2	1					1						211
12:15 - 12:30	102	35	19	4	25	27	2	3	5	2											224
12:30 - 12:45	104	31	21	9	26	30	1	4	19	1											246
12:45 - 13:00	107	39	25	7	28	26	1	2	7	5	3	1			1				1		253
13:00 - 13:15	90	41	21	6	29	25	4	3	3												222
13:15 - 13:30	91	47	25	10	25	30	1	1	7	1											238
13:30 - 13:45	85	39	23	6	26	26	3	4	7						3						222
13:45 - 14:00	97	43	21	7	32	29		1	5	1					3						239
17:00 - 17:15	81	33	19	11	30	34		1	11	5					2						227
17:15 - 17:30	82	31	16	5	28	30	1	1	2	2											198
17:30 - 17:45	78	21	14	9	33	27		1	11	3											197
17:45 - 18:00	74	23	10	8	36	33	3	4	5												196
18:00 - 18:15	83	25	13	6	37	26	4	5	6	1											206
18:15 - 18:30	92	23	11	7	40	34	3	6	2	5					3						226
18:30 - 18:45	81	27	12	9	42	30	4	7	3	1					1						217
18:45 - 19:00	95	42	11	4	44	36	5	7	8	3					1						256
19:00 - 19:15	96	44	14	6	41	37	6	4	5	1											254
19:15 - 19:30	92	36	9	9	39	39	5	3	7	2					1						242
19:30 - 19:45	90	32	15	8	46	40	6	1	1	1											240
19:45 - 20:00	76	38	12	11	44	41	4	2	2	4											234
TOTAL	4272	1536	629	313	1271	1084	59	68	194	46	5	1	0	2	34	0	0	2	0	0	9516



FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO



TRAMO DE LA CARRETERA		Prolongacion Av. De la Cultura										ESTACION								
SENTIDO		SUR		N ←			S →					CODIGO DE LA ESTACION								
UBICACIÓN		ENACO										DIA Y FECHA								
												Miercoles 17 12 2014								
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER			TOTAL		
DIAGRA. VEH.			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	S1/2S	2S3	S1/3S	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
6:00-6:15	170	74	18	22	45	30		1	2	7				1	1					371
6:15-6:30	161	67	17	16	46	28	1		6											342
6:30 - 6:45	183	71	15	19	47	31		1	3	2					2					374
6:45 - 7:00	190	68	19	18	46	26			3											370
7:00 - 7:15	198	70	21	13	43	33		1	5	5										389
7:15 - 7:30	187	72	20	14	44	31			3	1					1					373
7:30 - 7:45	180	74	17	11	42	27			1											352
7:45 - 8:00	174	69	20	13	47	29	1		4											357
8:00 - 8:15	156	58	24	12	49	28	1		2						2					332
8:15 - 8:30	153	53	20	13	37	26			2											304
8:30 - 8:45	163	44	21	9	36	31		1	3	5		1								314
8:45 - 9:00	165	60	27	9	39	35			8				1		1					345
11:00 - 11:15	110	38	15	11	34	27			6	2					2					245
11:15 - 11:30	113	34	14	12	29	34			6											242
11:30 - 11:45	107	28	11	7	28	25	1	1	5						1					214
11:45 - 12:00	100	31	12	4	23	28	2	1	11	3					1					216
12:00 - 12:15	98	36	14	6	26	31	3	2	5	1					2					224
12:15 - 12:30	102	38	16	7	27	32	4	4	6											236
12:30 - 12:45	108	34	19	11	29	25	3	5	10		2				1					247
12:45 - 13:00	108	42	20	9	30	29	2	8	16	2					2					268
13:00 - 13:15	90	45	21	8	32	27	3	5	7											238
13:15 - 13:30	92	44	20	12	27	28	2	3	7	6										241
13:30 - 13:45	88	43	21	7	29	26	1	4	4						1					224
13:45 - 14:00	88	47	19	9	35	28	1	5	9						3					244
17:00 - 17:15	90	36	17	11	33	34			13						1				1	236
17:15 - 17:30	83	34	14	7	26	29			4											197
17:30 - 17:45	78	23	12	9	33	32	1	1	7	5										201
17:45 - 18:00	74	26	9	8	37	30	3		7						1					195
18:00 - 18:15	82	29	14	6	35	27	3	3	9	1										209
18:15 - 18:30	93	25	9	9	41	34	3	4	10						2					230
18:30 - 18:45	90	32	10	9	43	35	3	5	11		1				1					240
18:45 - 19:00	93	42	11	4	42	36	4	1	5	4				1						243
19:00 - 19:15	98	47	12	6	40	37	5	3	8					1						257
19:15 - 19:30	94	36	11	9	39	39	4	2	8	1					1					244
19:30 - 19:45	92	32	14	8	46	40	3	1	11											247
19:45 - 20:00	74	38	14	11	41	38	2	3	12						4					237
TOTAL	4325	1640	588	369	1326	1106	56	65	239	45	3	1	1	3	30	0	0	0	1	9798



















TRAMO DE LA CARRETERA		Prolongacion Av. De la Cultura										ESTACION									
SENTIDO		SUR		N ←						S →		CODIGO DE LA ESTACION									
UBICACIÓN		ENACO										DIA Y FECHA									
												Jueves 18 12 2014									
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS				MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	S1/2S	2S3	S1/3S	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
DIAGRA. VEH.																					
6:00-6:15	90	26	17	8	33	30	1	2	2	2					2		1			214	
6:15-6:30	87	67	16	12	34	31			2	1										250	
6:30-6:45	89	71	14	15	37	34			1	4				1						266	
6:45-7:00	84	59	18	10	35	31	2	1	3	1					1					245	
7:00-7:15	132	70	20	14	31	27	1			3					2					300	
7:15-7:30	137	73	19	13	31	32	1		3	2										311	
7:30-7:45	134	77	16	16	38	35			3						1			1		321	
7:45-8:00	139	69	19	12	34	31	3		1	1										309	
8:00-8:15	109	58	23	10	35	33				6										274	
8:15-8:30	114	54	18	8	36	32			5	1										268	
8:30-8:45	121	51	20	9	32	29			5	4					1					272	
8:45-9:00	130	60	26	7	31	28	1		1						1					285	
11:00-11:15	129	36	14	8	37	34			7	1										266	
11:15-11:30	126	34	13	4	31	28	1	1	3											241	
11:30-11:45	118	28	12	6	32	29			4	2										231	
11:45-12:00	109	30	11	3	35	32			5	1				1						227	
12:00-12:15	119	37	13	7	36	33			5											250	
12:15-12:30	128	36	15	9	38	35	1	2	11	2										277	
12:30-12:45	135	34	19	11	39	36	12	1	8					3						298	
12:45-13:00	142	42	18	13	35	32			9	3				1						295	
13:00-13:15	124	40	20	14	31	28	2		8											267	
13:15-13:30	130	50	19	12	34	33	1		6											285	
13:30-13:45	131	42	21	11	32	31			5	1				1						275	
13:45-14:00	117	44	18	10	30	34			5											258	
17:00-17:15	86	36	16	9	38	36	1		12						2						
17:15-17:30	80	34	13	7	31	28		2	6	2										203	
17:30-17:45	82	24	11	8	24	31		3	11	3										197	
17:45-18:00	87	26	8	5	32	29		1	9						3					200	
18:00-18:15	90	28	13	11	35	35	1	5	5	1					1		1			226	
18:15-18:30	116	26	7	9	35	33		2	12					2	2					244	
18:30-18:45	107	30	10	12	38	37	3	1	6	2				1						247	
18:45-19:00	114	42	11	10	33	34	2	2	2	1					5					256	
19:00-19:15	100	40	12	11	37	29		1	7	3							1			241	
19:15-19:30	85	36	11	9	34	32	1	3	13						3					227	
19:30-19:45	79	28	14	8	38	27	1	3	6						4					208	
19:45-20:00	75	36	14	5	32	29		1	9	1										202	
TOTAL	3975	1574	559	346	1224	1138	35	31	206	42	0	0	0	10	28	0	3	1	0	8936	



FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO



TRAMO DE LA CARRETERA	Prolongacion Av. De la Cultura				ESTACION				
SENTIDO	SUR	N ←		S →	CODIGO DE LA ESTACION				
UBICACIÓN	ENACO				DIA Y FECHA	Viernes	19	12	2014

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	S1/2S	2S3	S1/3S	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
DIAGRA. VEH.																					
6:00-6:15	169	70	20	12	40	30			3	5			1	2	2						354
6:15-6:30	163	62	19	14	47	30	1	1	2												339
6:30 - 6:45	183	68	16	20	46	31	1		2												367
6:45 - 7:00	172	54	21	18	45	25	1		3						1						340
7:00 - 7:15	189	66	20	11	42	31			5	3						2					369
7:15 - 7:30	197	68	24	14	43	31			3	1											381
7:30 - 7:45	186	70	19	9	41	29			2							1					357
7:45 - 8:00	174	64	22	13	46	30		1	5												355
8:00 - 8:15	156	54	26	12	48	30			6												332
8:15 - 8:30	152	50	20	7	40	27			4												300
8:30 - 8:45	163	44	23	10	36	30	1		2	5					1						315
8:45 - 9:00	169	56	29	9	33	30			7												333
11:00 - 11:15	109	32	17	11	32	29			13	1					3						247
11:15 - 11:30	113	30	15	12	29	34			7												240
11:30 - 11:45	108	24	12	7	27	29	2	1	5												215
11:45 - 12:00	100	26	14	4	22	30		3	12	3					1				1		216
12:00 - 12:15	98	32	16	6	25	31		4	5												217
12:15 - 12:30	101	34	18	7	26	32		1	8	2											229
12:30 - 12:45	104	30	21	11	28	29		2	12	1					3						241
12:45 - 13:00	106	38	18	9	29	29	2		13	1	1	1			1				1		249
13:00 - 13:15	89	40	22	8	31	29			5												224
13:15 - 13:30	93	44	25	12	25	30			8	5											242
13:30 - 13:45	89	38	19	8	28	29		1	3	2											217
13:45 - 14:00	98	42	21	9	34	30	2		5												241
17:00 - 17:15	90	32	20	10	33	31			12						2						230
17:15 - 17:30	82	30	16	6	29	29			3	1			1								197
17:30 - 17:45	77	30	14	9	34	31			9	5											209
17:45 - 18:00	73	32	9	7	38	28	5		4						2						198
18:00 - 18:15	82	24	16	5	37	33	5	7	6	1					1						217
18:15 - 18:30	92	22	11	9	41	34	6	6	8	3					2						234
18:30 - 18:45	90	26	12	8	43	35	6	3	6												229
18:45 - 19:00	95	38	10	3	42	36	5	5	6	5											245
19:00 - 19:15	98	40	14	5	41	37	3	7	7												252
19:15 - 19:30	93	32	18	8	39	38	3	6	8	2					1						248
19:30 - 19:45	92	26	15	7	46	39	4	8	8												245
19:45 - 20:00	73	33	22	10	42	40	2	5	18												245
TOTAL	4318	1501	654	340	1308	1126	49	61	235	46	1	1	1	3	23	0	0	2	0		9669



FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO



TRAMO DE LA CARRETERA	Prolongacion Av. De la Cultura				ESTACION	
SENTIDO	SUR	N ←		S →	CODIGO DE LA ESTACION	
UBICACIÓN	ENACO				DIA Y FECHA	Sabado 20 12 2014

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL				
			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	S1/2S	2S3	S1/3S	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3						
DIAGRA. VEH.																									
6:00-6:15	170	73	20	22	34	28		1	3	6	3			1	2										363
6:15-6:30	161	65	16	16	46	28	1		2							5									340
6:30 - 6:45	190	68	14	18	41	28			2	1															362
6:45 - 7:00	172	55	21	17	44	28			2							3									342
7:00 - 7:15	190	69	23	12	42	28			5	1										1					371
7:15 - 7:30	195	71	24	13	44	28	1	1	3	3												1			384
7:30 - 7:45	186	72	19	10	40	28			2																357
7:45 - 8:00	172	67	24	12	46	28			5		2	2													358
8:00 - 8:15	156	57	18	11	49	28			6							1									326
8:15 - 8:30	149	45	21	12	37	27			4																295
8:30 - 8:45	161	44	23	9	36	28	1		1	4						3									310
8:45 - 9:00	166	58	29	8	38	28			5							2									334
11:00 - 11:15	116	35	17	10	33	29		1	13	1						1									256
11:15 - 11:30	111	32	13	11	28	30			7																232
11:30 - 11:45	109	27	14	6	27	29	1	5	6																224
11:45 - 12:00	101	29	11	3	22	28		5	12	5						1									217
12:00 - 12:15	99	35	15	4	21	28		4	5	2															213
12:15 - 12:30	103	37	19	6	24	29	1	5	7	1															232
12:30 - 12:45	107	33	21	10	28	29			9							3									240
12:45 - 13:00	110	41	24	8	29	29	2	1	17	4	2	1				1									269
13:00 - 13:15	93	43	21	7	32	28	1	1	5																231
13:15 - 13:30	94	47	16	11	22	29			7	1						1									228
13:30 - 13:45	90	41	18	7	28	29			4							3									220
13:45 - 14:00	97	45	21	8	34	28			7																240
17:00 - 17:15	91	35	19	11	36	34	1		16																243
17:15 - 17:30	83	36	13	7	28	28			4																199
17:30 - 17:45	79	26	14	10	40	28	2	1	8	5															213
17:45 - 18:00	75	22	10	8	37	28	5		5							1									191
18:00 - 18:15	83	23	15	5	36	29	3	5	7	1															207
18:15 - 18:30	91	27	9	10	40	34	4		15																230
18:30 - 18:45	91	30	12	9	44	35	6	7	5							2									241
18:45 - 19:00	97	42	11	4	41	36	5		7	1															244
19:00 - 19:15	99	41	13	5	45	37	6	6	8																260
19:15 - 19:30	95	32	14	9	38	39	5		8	2			1			1									244
19:30 - 19:45	91	30	18	8	44	40	4	3	9																247
19:45 - 20:00	75	38	14	11	51	40	5	3	20																257
TOTAL	4348	1571	624	348	1305	1088	54	49	251	38	7	3	2	2	29	0	1	0	0						9720



FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACION VEHICULAR
ESTUDIO DE TRAFICO



TRAMO DE LA CARRETERA	Prolongacion Av. De la Cultura				ESTACION				
SENTIDO	SUR	N ←		S →	CODIGO DE LA ESTACION				
UBICACIÓN	ENACO				DIA Y FECHA	Domingo	21	12	2014

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	S1/2S	2S3	S1/3S	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
DIAGRA. VEH.																					
6:00-6:15	81	36	17	15	38	20		1	4	2	2				2						218
6:15-6:30	77	32	16	10	41	23	1		3						2						205
6:30 - 6:45	87	32	14	13	40	19			8												213
6:45 - 7:00	83	28	18	11	34	24			3						1						202
7:00 - 7:15	91	34	20	4	36	20			4	3					1						213
7:15 - 7:30	95	36	21	7	37	26			5	1					1						229
7:30 - 7:45	90	36	16	2	35	23	1		7												210
7:45 - 8:00	85	33	21	4	40	19			5												207
8:00 - 8:15	74	28	24	5	42	20			8						1						202
8:15 - 8:30	73	23	18	6	31	23	1		4												179
8:30 - 8:45	77	24	22	3	30	26		1	8	1											192
8:45 - 9:00	79	29	26	2	32	29			6												203
11:00 - 11:15	51	17	14	4	27	18		1	6	2											140
11:15 - 11:30	55	16	14	5	22	23			2												137
11:30 - 11:45	50	13	10		21	25		2	3												124
11:45 - 12:00	46	14	11		18	21		3	2											1	116
12:00 - 12:15	45	17	14		20	29		1	6	1											133
12:15 - 12:30	47	18	15		16	24		1	4	2											127
12:30 - 12:45	49	16	15	5	22	21			1						1						130
12:45 - 13:00	50	20	21	3	23	27	2	1	7		1									1	156
13:00 - 13:15	45	21	20	1	25	24			2												138
13:15 - 13:30	43	23	23	5	16	26			4	4											144
13:30 - 13:45	40	20	20	1	22	25	1		1						3						133
13:45 - 14:00	45	22	22	2	26	23			4												144
17:00 - 17:15	41	17	15	4	27	28	1		1						1						135
17:15 - 17:30	37	16	14		22	25	2	1	4												121
17:30 - 17:45	35	11	11	3	27	23	3	2	4	2											121
17:45 - 18:00	33	12	7		31	23			1						2						109
18:00 - 18:15	37	13	13	1	30	26	1	1	6	1					1						130
18:15 - 18:30	43	12	4	1	34	27	1	2	7												131
18:30 - 18:45	41	14	5	2	36	30	2	1	4												135
18:45 - 19:00	44	21	7		35	31	3	1	4	2											148
19:00 - 19:15	45	22	12		34	32	1		6	1											153
19:15 - 19:30	43	18	7	2	32	34	1	3	8						2						150
19:30 - 19:45	43	17	9	1	40	36	2	1	10												159
19:45 - 20:00	33	19	11	5	35	39	3	4	5												154
TOTAL	2033	780	547	127	1077	912	26	27	167	22	3	0	0	2	16	0	0	2	0		5741



ENSAYO DE ASFALTOS

3.5.3 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS (AASHTO T 30 - MTC E 503)

A.- EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PRUEBA

- Máquina para perforación diamantina
- Centrifuga de asfaltos
- Balanza

B.- PROCEDIMIENTO

Se localizó los diferentes puntos de estudio que se va a intervenir en la Av. la Cultura prog 0+00 – 30+60 para hacer los ensayos correspondientes.

El Primer punto a intervenir fue pasando el paradero puente en la calzada de subida en el carril izquierdo en la progresiva 29+03 m frente a una casa de un piso donde se dedican a la venta de materiales de construcción.

El Segundo punto de estudio fue antes de llegar al paradero de Enaco en la calzada de subida en el carril izquierdo en la progresiva 24+94 m frente a una casa de concreto armado de tres pisos de color blanco donde funciona una ferretería.

El Tercer punto de estudio fue antes de llegar al paradero mercadillo en la calzada de subida en el carril derecho en la progresiva 15+72 m frente al muro de contención entre servícentro PESCA y el mercadillo.

El Cuarto punto de estudio fue antes de llegar al 7° paradero en la calzada de subida en el carril izquierdo en la progresiva 8+28 m frente a la iglesia evangélica

Tuvimos que instalar adecuadamente el equipo de perforación diamantina para la extracción de las briquetas asfálticas y tener las precauciones adecuadas como señalización y colocación de conos para el cierre preventivo del carril.

Una vez extraídas las muestras de pavimento tuvimos que realizar el sellado y compactado del agujero con nuestro asfalto en caliente.

El plano de progresivas y la ubicación exacta de los puntos de extracción en la prolongación Av. De la cultura 4° paradero San Sebastián hasta Grifo Mobil San Jerónimo se encuentra el en los anexos de la tesis.

**FIGURA N° 94: COLOCACIÓN DEL EQUIPO
DIAMANTINA**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez que ya esté en posición correcta el equipo de perforación diamantina se tiene que introducir el perforador a la carpeta asfáltica hasta unos 15 cm de altura para tener una briqueta sólida y que sea útil para el ensayo Marshall, luego se selló el orificio con asfalto.

FIGURA N° 95: PERFORACIÓN DEL PAVIMENTO Y SELLADO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Ya teniendo las briquetas asfálticas se llevó donde un técnico para que lo corte las briquetas a las alturas adecuadas 4" de altura y lo llevamos al laboratorio la briqueta asfáltica se debe de pesar en una balanza electrónica

FIGURA N° 96: PESO DE LA MUESTRA SECA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez pesada la muestra se tritura y se comienza a calentar, para facilitar el lavado asfáltico

FIGURA N° 97: CALENTADO DE LA MUESTRA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El pavimento ya triturado y calentado se introduce al equipo de centrifuga de asfalto junto con la gasolina, y está en un porcentaje que cubra toda la muestra del pavimento.

FIGURA N° 98: COLOCACIÓN DE MUESTRA Y LA GASOLINA AL EQUIPO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se inicia la centrifugación girando lentamente y aumentese gradualmente la velocidad a un máximo de 3600rpm, hasta que deje de fluir el solvente por el desagüe.

FIGURA N° 99: RECOJO DEL EXTRACTO DEL PAVIMENTO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se emplea suficientes adiciones de solvente (no menos de tres) de manera que el extracto no sea más oscuro que un color ligero de paja. Recogemos el extracto y las lavaduras en un recipiente apropiado.

Una vez acabada el primer lavado centrifuga limpiamos el anillo filtrante cepillando la materia mineral adherida a su superficie y así repetimos de la misma manera cinco lavados centrifugas hasta llegar que el extracto sea de color paja como nos indica la norma **EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS (AASHTO T 30 - MTC E 503)**

FIGURA N° 100: LIMPIEZA DEL ANILLO FILTRANTE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Ya acabando con el ultimo lavado centrifuga retiramos la muestra lavada y procedimos a pesarla, luego introducimos al horno a un $T^{\circ} 110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

FIGURA N° 101: SECADO SUPERFICIAL DE LA MUESTRA Y PESADO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Al día siguiente realizamos su respectiva granulometría de la muestra utilizando el juego de tamices 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y el fondo.

FIGURA N° 102: TAMIZADO DEL MATERIAL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Introducimos la muestra en los tamices y procedimos a sacudirlo manualmente ya que es una porción pequeña. Y al pesado de cada una de las cantidades de la muestra que pasa cada malla.

FIGURA N° 103: GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.-TOMA DE DATOS

TABLA N° 7: DATOS DE LA EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS (MTC E 503 2000)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
	NUMERO DE MUESTRA			
DESCRIPCION	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4
PESO DE LA MUESTRA INICIAL (gr)	1312.2	1123.5	1211.6	1307.7
PESO DE LA MUESTRA LAVADA + RECIPIENTE	1430	1263.8	1345.4	1427.3
PESO RECIPIENTE (gr)	216.6	216.6	216.6	216.6

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.5.4 ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (AASHTO T 245-97(2004) - MTC E 504 2000)

A.- EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PRUEBA

- Prensa Marshall
- Equipo baño María
- Balanza
- Medidor de deformación

B.- PROCEDIMIENTO

Primeramente, ya teniendo las briquetas de asfalto que sacamos con el equipo de perforación diamantina de la carpeta asfáltica se procede a pesar cada una de las briquetas en la balanza electrónica

FIGURA N° 104: PESO DE LA MUESTRA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Luego se introduce las probetas en el agua a una temperatura de 25°C por un tiempo de 5 minutos.

FIGURA N° 105: VERIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AGUA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Seguidamente se extraen las 4 probetas del agua para realizar el peso de las probetas sumergidas en agua.

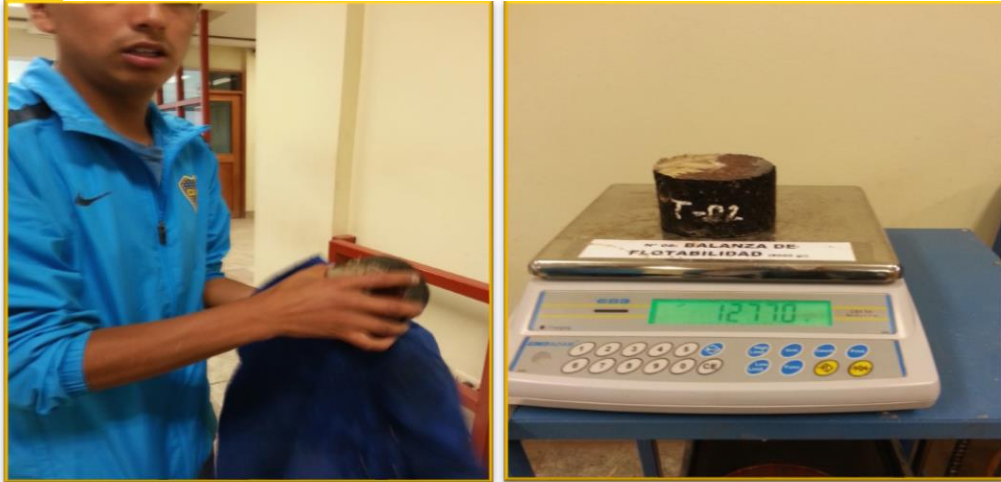
FIGURA N° 106: PESADO DE LA MUESTRA SUMERGIDA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Después de pesar las briquetas sumergidas en agua se realiza el secado superficial correspondiente con la ayuda de una franela para luego pesarla una a una.

FIGURA N° 107: SECADO SUPERFICIAL DE LA MUESTRA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Seguidamente las 4 probetas se colocan en un baño maría de agua a 60°C durante 30 a 40 minutos

FIGURA N° 108: COLOCACIÓN DE LAS BRIQUETAS EN EL BAÑO MARÍA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez ya encontradas las briquetas dentro del baño maría una de las briquetas por si sola se desprendió. El cual esta briqueta se extrajo de la parte de re capeo de la carpeta asfáltica.

FIGURA N° 109: DESPRENDIMIENTO DE UNA DE LAS BRIQUETAS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se retira las probetas una a una del baño de agua y se coloca en la mordaza; se monta el segmento superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa. Se aplica la carga sobre la briqueta con una prensa.

FIGURA N° 110: APLICACIÓN DE LAS CARGAS EN EL APARATO MARSHALL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez ensayadas las probetas se tiene valores de deformación y estabilidad de esta; también se puede observar cómo quedan las probetas tras el ensayo.

FIGURA N° 111: BRIQUETAS LUEGO DE APLICARLES EN ENSAYO MARSHALL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.-TOMA DE DATOS

TABLA N° 8: DATOS DEL ENSAYO DE MEZCLAS BITUMINOSAS

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
	NUMERO DE MUESTRA			
DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
PESO SECO EN AIRE (gr)	1683	1851	1877	1845
PESO SUMERGIDO (gr)	893	1064	1077	1042

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



3.5.5 ENSAYO DE CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) MTC E 133 2000

A.- EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PRUEBA

- Gato mecánico de tornillo
- Anillos de carga
- Pistón de penetración
- Diales (2)
- Soporte para el dial de penetración
- Platina de sobrecarga
- Pesas de sobre carga
- Vehículo de carga

B.- PROCEDIMIENTO

Primeramente, ya teniendo los orificios en la carpeta asfáltica que hicimos para la prueba ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleados en el aparato Marshall se tuvo que instalar adecuadamente el área de la superficie que será ensayada.

El Primer punto a intervenir fue pasando el paradero de Cachimayo en la calzada de subida en el carril izquierdo en la progresiva 25+83 m frente a una casa metálica roja de un piso donde se dedican a la venta de madera.

El Segundo punto de estudio fue antes de llegar al paradero de Santa Rosa en la calzada de subida en el carril derecho en la progresiva 14+34 m frente a una casa de concreto armado de dos pisos de color amarillo maíz donde se dedican a la venta de abarrotes

El Tercer punto de estudio fue antes de llegar al 7° paradero en la calzada de subida en el carril izquierdo en la progresiva 8+25 m frente a la iglesia evangélica

Se localizó el vehículo con la carga adecuada para proveer una reacción, de tal forma que el dispositivo de reacción quede directamente sobre la superficie a ensayar.

FIGURA N° 112: PRIMER PUNTO DE ENSAYO PARA EL CBR IN SITU

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Seguidamente, de haber posicionado de manera correcta el camión sobre la superficie a ensayar. Se coloca las gatas debajo de la viga y en cada lado del vehículo para que no exista peso alguno sobre los resortes posteriores y que el vehículo este nivelado en la parte trasera

FIGURA N° 113: COLOCACIÓN DE LAS GATAS EN LA PARTE TRASERA DEL VEHÍCULO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 114: VERIFICACIÓN DEL VEHÍCULO QUE ESTE A NIVEL EN LA PARTE TRASERA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se ubica de manera correcta el gato mecánico al pistón de penetración, la platina de sobre carga y se conecta el anillo de carga al extremo del gato, se adiciona a la platina un numero de pesos de sobre carga que transmita una presión equivalente a la transmisión de carga y colocamos las dos lecturas de los diales en cero

FIGURA N° 115: COLOCACIÓN DE LOS DIALES EN FORMA CORRECTA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se aplica la carga al pistón de penetración, luego se registra las lecturas del anillo de carga para cada 0.025" de incremento de penetración hasta una profundidad final de 0.5"

FIGURA N° 116: LECTURA DE LOS ANILLOS DE CARGA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 117: FINALIZACIÓN DEL ENSAYO CBR IN SITU



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.- TOMA DE DATOS

TABLA N° 9: DATOS DE LAS LECTURAS DEL ENSAYO CBR PUNTO N°1

ENSAYO DE CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) MTC E 133 2000					
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)					
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAHAUQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA					
	PUNTO 1			PUNTO 1	
	LECTURA EN LA BASE			LECTURA EN LA SUB BASE	
	PENETRACION	LECTURA DE PENETRACION		PENETRACION	LECTURA DE PENETRACION
	(Pulg)			(Pulg)	
	0.025	100.00		0.025	5.00
	0.050	200.00		0.050	25.00
	0.075	258.49		0.075	42.55
	0.100	300.00		0.100	55.00
	0.200	400.00		0.200	85.00
	0.300	458.49		0.300	102.55
	0.400	500.00		0.400	115.00
	0.500	532.19		0.500	124.66

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 10: DATOS DE LAS LECTURAS DEL ENSAYO CBR PUNTO N°2

ENSAYO DE CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) MTC E 133 2000					
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)					
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAHAUQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA					
	PUNTO 2			PUNTO 2	
	LECTURA EN LA BASE			LECTURA EN LA SUB BASE	
	PENETRACION	LECTURA DE PENETRACION		PENETRACION	LECTURA DE PENETRACION
	(Pulg)			(Pulg)	
	0.025			0.025	0.00
	0.050	28.00		0.050	10.00
	0.075	156.70		0.075	15.85
	0.100	248.00		0.100	20.00
	0.200	468.00		0.200	30.00
	0.300	596.69		0.300	35.85
	0.400	688.00		0.400	40.00
	0.500	758.82		0.500	43.22

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 11: DATOS DE LAS LECTURAS DEL ENSAYO CBR PUNTO N°3

ENSAYO DE CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) MTC E 133 2000					
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)					
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA					
	PUNTO 3			PUNTO 3	
	LECTURA EN LA BASE			LECTURA EN LA SUB BASE	
	PENETRACION	LECTURA DE PENETRACION		PENETRACION	LECTURA DE PENETRACION
	(Pulg)			(Pulg)	
	0.025	107.011		0.025	91.001
	0.050	193.009		0.050	111.001
	0.075	243.316		0.075	122.700
	0.100	279.008		0.100	131.001
	0.200	365.007		0.200	151.001
	0.300	415.313		0.300	162.701
	0.400	451.006		0.400	171.001
	0.500	478.691		0.500	177.440

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.5.6 VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO

A.- EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PRUEBA

- Picos
- Pala
- Barreta
- Wincha

B.- PROCEDIMIENTO

Ubicamos dos puntos en la prolongación Av. De la Cultura donde la carpeta de rodadura sufrió fallas

El primer punto donde hicimos la calicata fue a la altura del parque cachimayo en la calzada de subida en el carril izquierdo en la progresiva 26+14 frente a una casa de color amarillo de un piso donde actualmente funciona un

lubricentro. La calicata se encontró al borde del sardinel y el área verde de la berma central.

El segundo punto donde hicimos la calicata fue a la altura del séptimo paradero San Sebastián en la calzada de subida en el carril izquierdo en la progresiva 8+43 frente de la iglesia evangélica. La calicata se encontró al borde del sardinel y el área verde de la berma central.

FIGURA N° 118: EXCAVACIÓN DE LAS CALICATAS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Seguidamente pasamos a medir la profundidad de la calicata para tener en cuenta la profundidad adecuada y poder ingresar a la calicata para empezar a medir los espesores del paquete estructural.

FIGURA N° 119: MEDICIÓN DE LA UÑA DEL SARDINEL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Pero tuvimos problemas en las dos calicatas puesto que encontramos que las dimensiones del sardinel superaban los 50 cm de uña del sardinel y se nos hacía imposible medir el espesor de la base y la carpeta de rodadura

FIGURA N° 120: MEDICIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAQUETE ESTRUCTURAL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Tuvimos que escarbar y perfilar el material compactado que se encontraba por debajo del sardinel hasta llegar al borde del paquete estructural y así procedimos a medir los espesores de la base y sub base del pavimento.

FIGURA N° 121: CUBRIMIENTO DE LA CALICATA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez que ya medimos los espesores del paquete estructural, procedimos al cubrir la calicata con el mismo material y lo colocación de las champas en el área verde

C.- TOMA DE DATOS

TABLA N° 12: DATOS DE LA VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO

VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO		
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)		
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAHAUQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA		
CALICATA	N° 01	N° 02
ESPEJOR DEL PAQUETE ESTRUCTURAL cm	60	70
ESPEJOR DE LA SUB BASE cm	20	40

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



3.6 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1 INVENTARIO VIAL

Ya conociendo las diferentes fallas existentes en la vía comprendida desde el 4° paradero San Sebastián hasta móvil San Sebastián en las dos calzadas tenemos los siguientes datos como referencia.



TABLA N° 13 RESUMEN DE FALLAS CALZADA DE BAJADA

PROGRESIV A KM	DESCRIPCION	TIPO DE FALLA	OBSERVACION		
			CARRIL IZQUIERDO	CARRIL CENTRAL	CARRIL DERECHO
0+00 - 0+270	PODEMOS APRECIAR PEQUEÑAS ONDULACIONES EN EL PAVIMENTO EN EL CARRIL IZQUIERDO Y CENTRAL	AHUELLAMIENTO	25mm	1.7mm	Despreciable
0+270 - 0+290	SE APRECIA ONDULACIONES CONSIDERABLES EXACTAMENTE EN EL CARRIL DERECHO (5° PARADERO) Y LOS CARRILES IZQUIERDO Y CENTRAL TIENEN ONDULACION MINIMA	AHUELLAMIENTO	Despreciable	30mm	38mm
0+290 - 0+750	SE APRECIA ONDULACIONES MUY PEQUEÑAS EN LOS TRES CARRILES	AHUELLAMIENTO	15mm	15mm	8mm
0+750 - 1+110	SE APRECIA ONDULACIONES MINIMAS EN LOS TRES CARRILES CASI INAPRECIABLES A SIMPLE VISTA	AHUELLAMIENTO	5mm	5mm	8mm
1+110 - 1+130	SE APRECIA ONDULACIONES CONSIDERABLES EXACTAMENTE EN LOS CARRILES DERECHO Y CENTRAL (PARADERO CAMIONERO)	AHUELLAMIENTO	10mm	26mm	35mm
1+130 - 1+310	SE APRECIA ONDULACIONES CONSIDERABLES EN EL CARRIL DERECHO Y LOS DEMAS CARRILES SON INAPRECIABLES A SIMPLE	AHUELLAMIENTO	10mm	7mm	67mm
1+310 - 1+640	SE APRECIA UN PEQUEÑO AGUREJO Y ONDULACIONES CONSIDERABLES EN EL CARRIL DERECHO TAMBIEN APRECIAMOS ONDULACIONES EN LOS CARRILES IZQUEIRDO Y CENTRAL	AHUELLAMIENTO Y AGUJERO	43mm agujero(10mm*30mm)	6mm	8mm
2+070 - 2+210	SE APRECIA ONDULACIONES CONSIDERABLES EN LOS TRES CARRILES EN LA INTERSECCION	AHUELLAMIENTO	Despreciable	13mm	38mm
2+211 - 3+060	SE APRECIA ONDULACIONES MINIMAS EN TODO EL RESTO DE LA CALZADA DE BAJADA	NO HAY FALLA ALGUNA	Despreciable	Despreciable	Despreciable

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



TABLA N° 14: RESUMEN DE FALLAS CALZADA DE SUBIDA

CALZADA DE SUBIDA					
PROGRESIV A KM	DESCRIPCION	TIPO DE FALLA	OBSERVACION		
			CARRIL IZQUIERDO	CARRIL CENTRAL	CARRIL DERECHO
3+060 - 2+950	SE APRECIA ONDULACIONES MUY CONSIDERABLES EN EL CARRIL IZQUIERDO Y MEDIANAMENTE EN EL CARRIL CENTRAL	AHUELLAMIENTO	120mm	20mm	20mm
2+950 - 2+450	ESTE AREA DE ESTUDIO ES LA MAS CRITICA EN TODA LA ZONA EXISTE ONDULACION MUY PRONUNCIANDA EN EL CARRIL IZQUIERDO	AHUELLAMIENTO	180mm	20mm	20mm
2+450 - 2+350	EN ESTA ZONA DE ESTUDIO ENCONTRAMOS ONDULACIONES MEDIANAS EN EL CARRIL IZQUIERDO	AHUELLAMIENTO	45	15mm	15mm
2+120 - 2+000	ES UNA DE LAS ZONAS MAS TRAGICAS DEL TRAMO DONDE ENCONTRAMOS MAS DE 3 FALLAS EN UN MISMO LUGAR	AHUELLAMIENTO y HUECOS	110mm y hueco(90mm *30mm*35m m)	50mm y hueco(40mm* 35mm*40mm)	50mm
2+000 - 0+930	NO PRESENTA FALLAS ALGUNA	NO HAY FALLA ALGUNA	Despreciable	Despreciable	Despreciable
0+930 - 0+740	EN ESTA ZONA DE ESTUDIO ENCONTRAMOS 2 TIPOS DE FALLAS AHUELLAMIENDO CON UNA	AHUELLAMIENTO Y PIEL DE COCODRILO	120mm y piel de cocodrilo	7mm	2mm
0+740 - 0+00	NO PRESENTA FALLAS ALGUNA	NO HAY FALLA ALGUNA	Despreciable	Despreciable	Despreciable

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



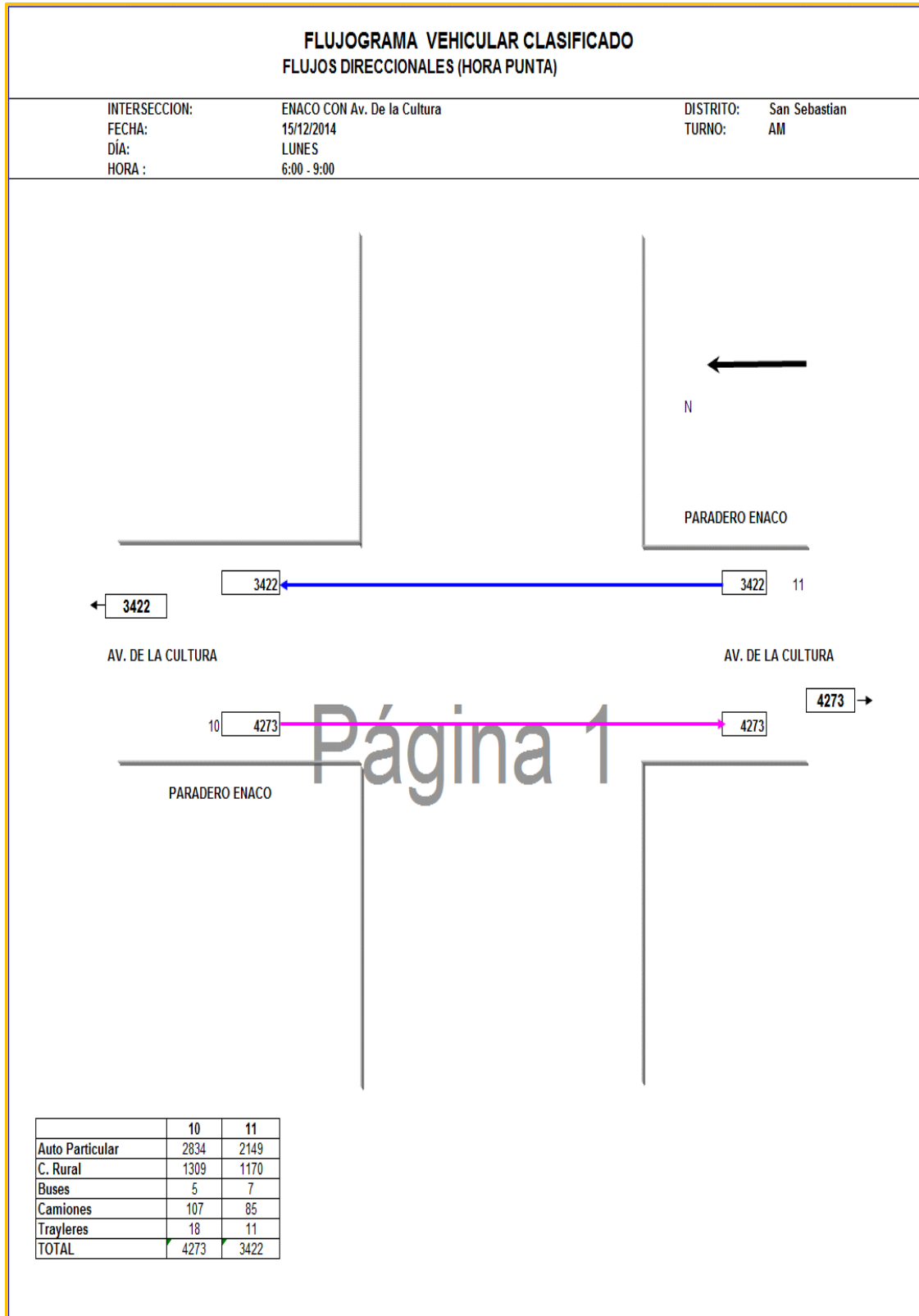
Y así podemos apreciar que la falla que se encuentra con más frecuencia es el ahuellamiento y con unas dimensiones considerables de 180mm.

También apreciamos agujeros, huecos y piel de cocodrilo todo esto en la calzada de subida

3.6.2 AFORO VEHICULAR

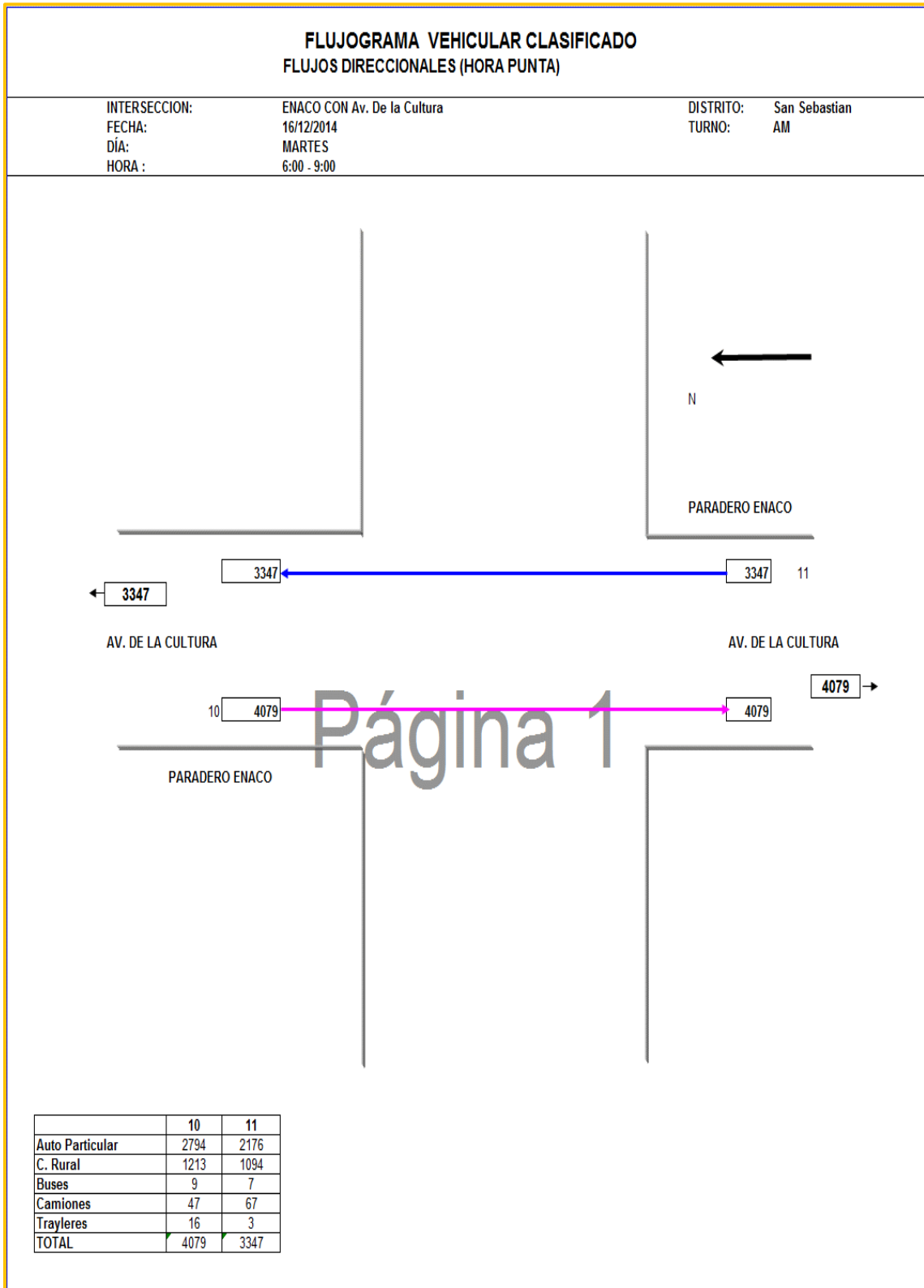
Ya teniendo el aforo vehicular de toda la semana durante 9 horas diarias realizamos flujo gramas para cada día. Y encontramos los siguientes datos.

FIGURA N° 122: FLUJOGRAMA LUNES



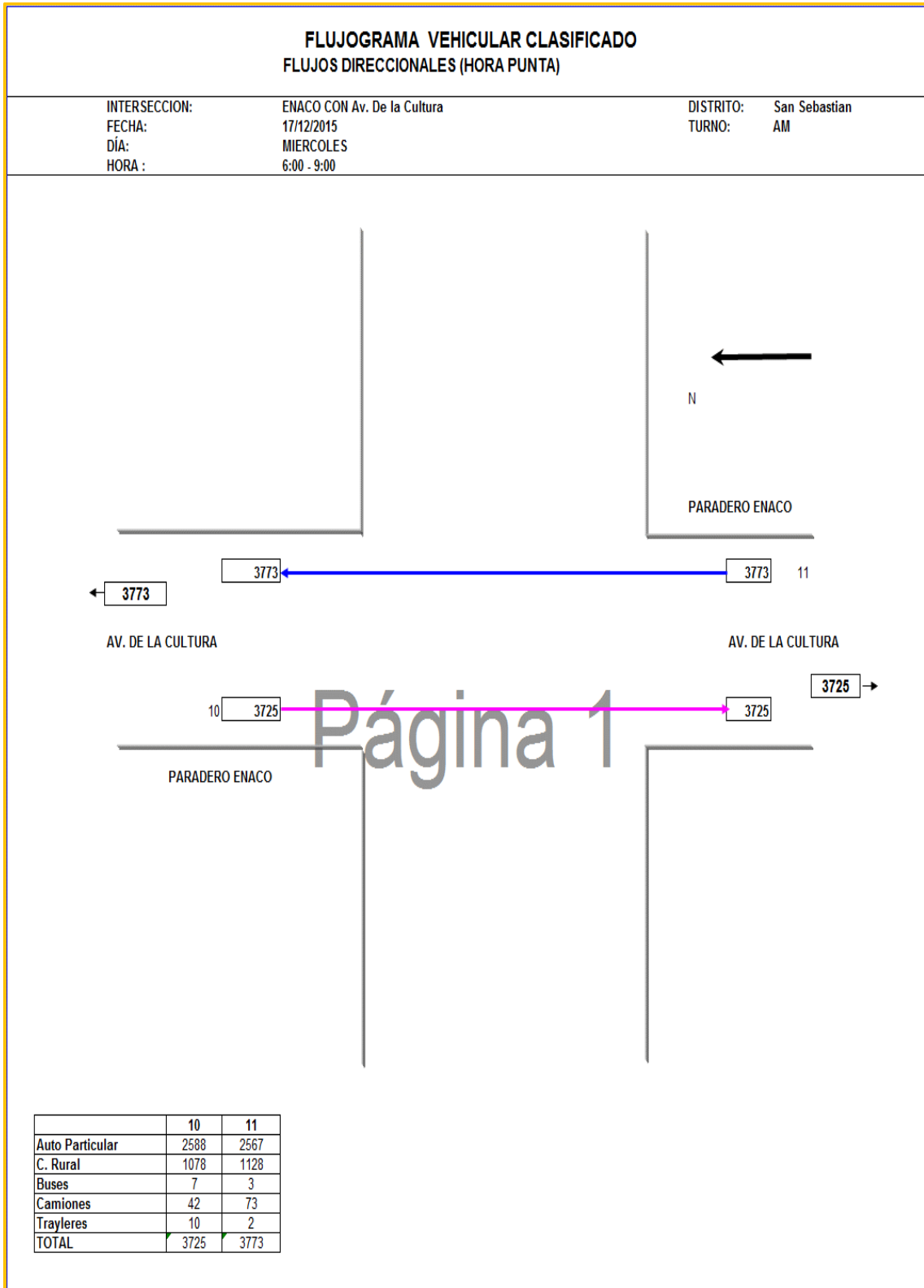
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 123: FLUJOGRAMA MARTES



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 124: FLUJOGRAMA MIÉRCOLES



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 125: FLUJOGRAMA JUEVES

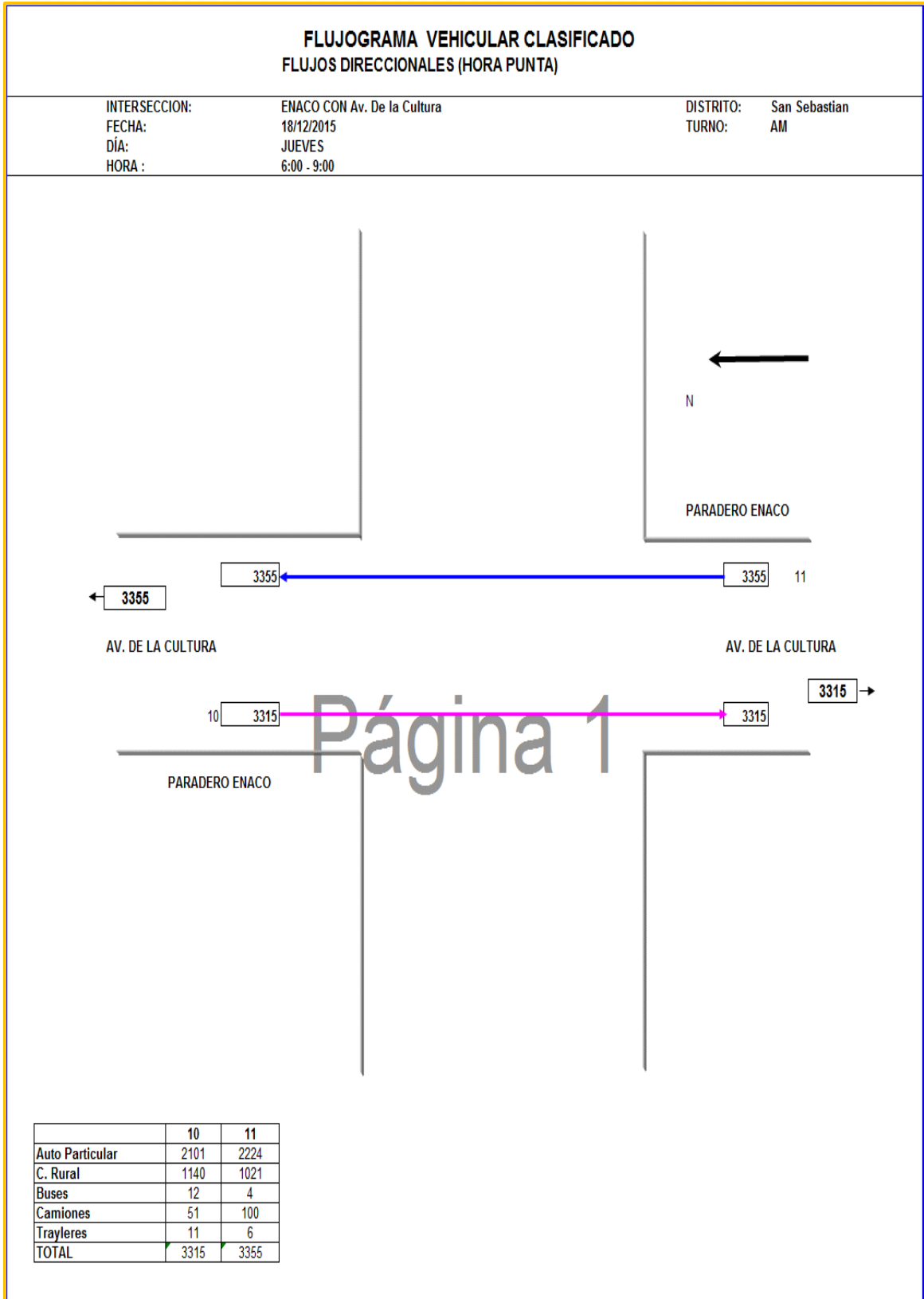


FIGURA N° 126: FLUJOGRAMA VIERNES

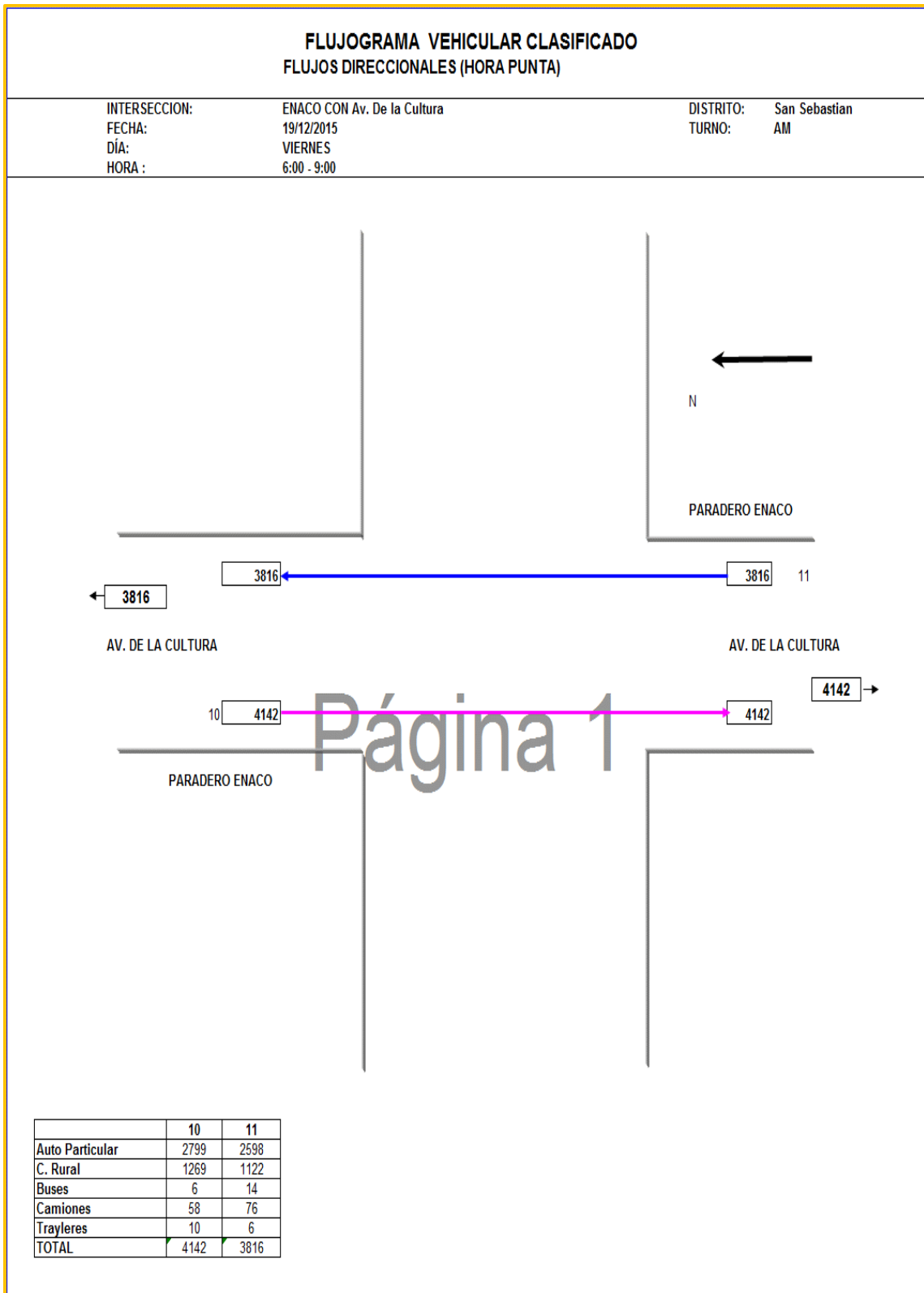
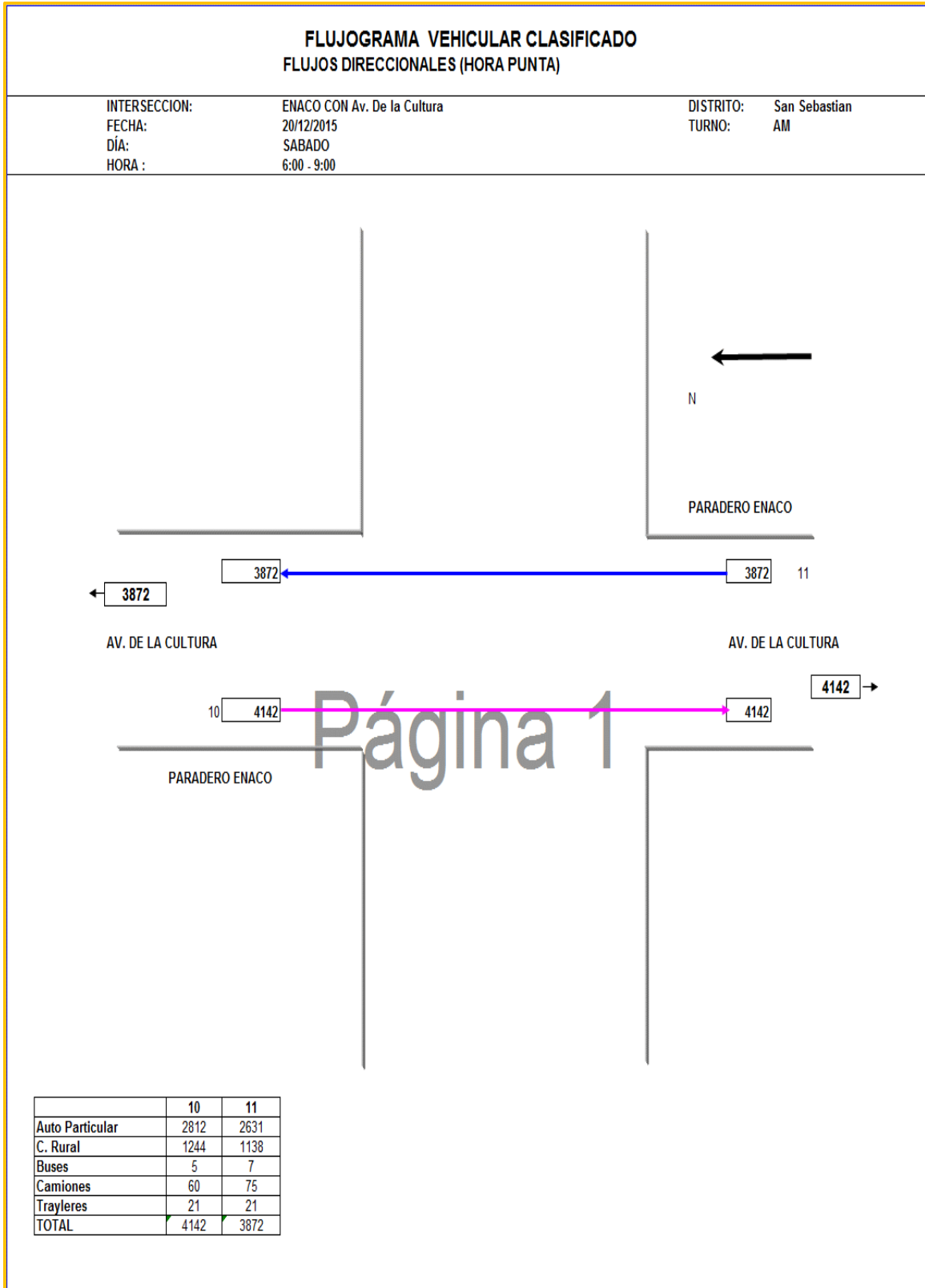
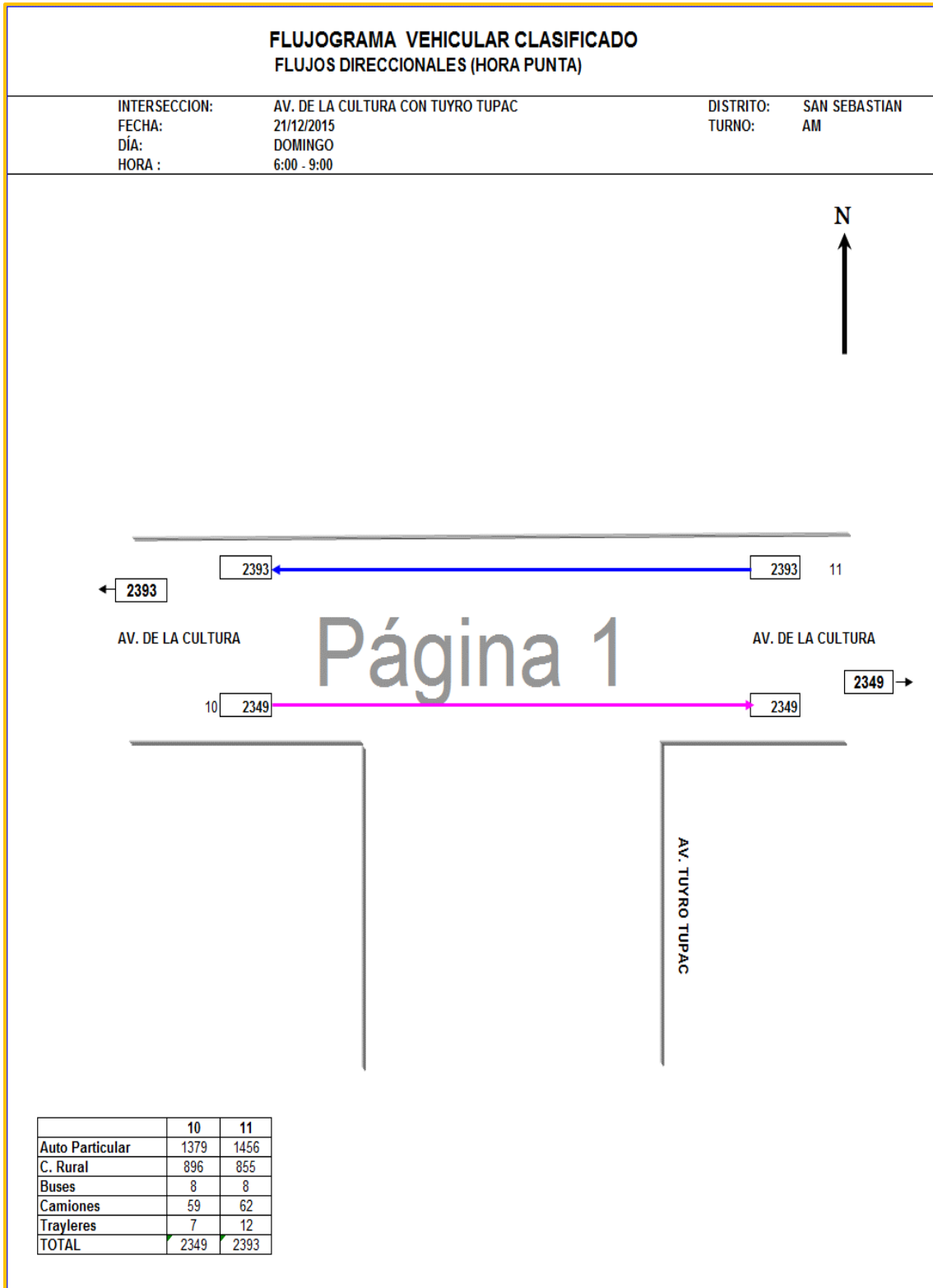


FIGURA N° 127: FLUJOGRAMA SÁBADO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 128: FLUJOGRAMA DOMINGO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

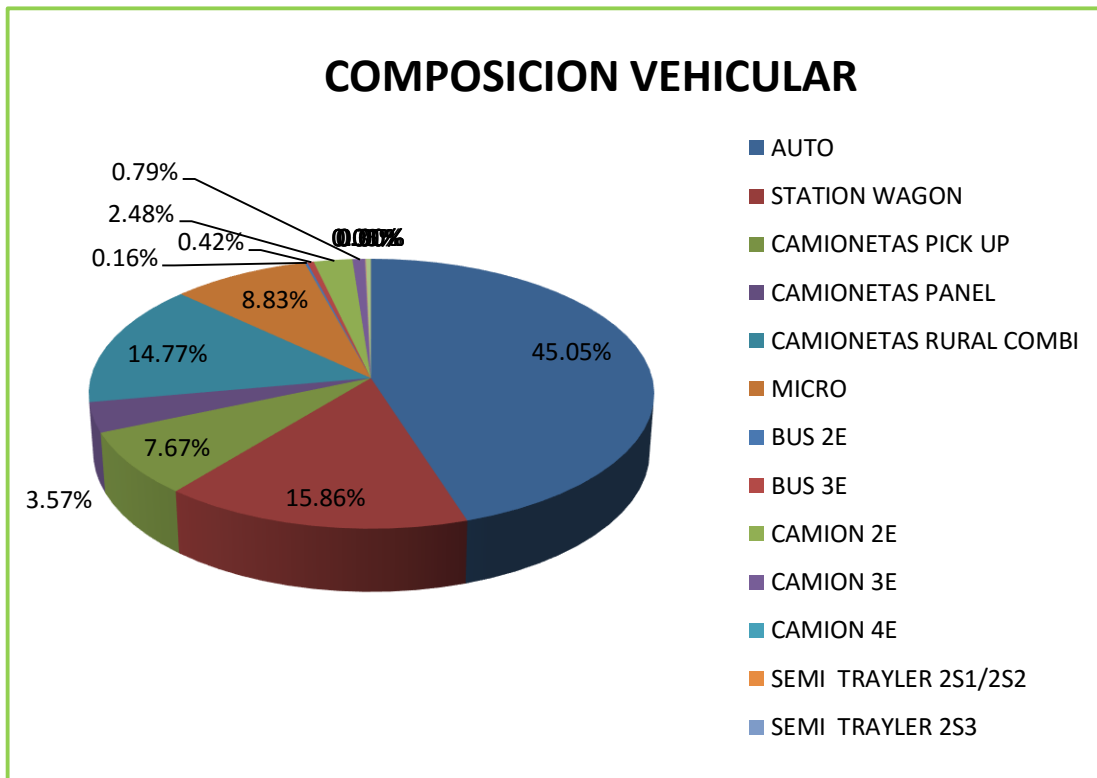


TABLA N° 15: CALCULO DEL IMD

RESUMEN DE CONTEO VEHICULAR - ESTACION ENACO																				
PROYECTO										ESTACION										
PROLONGACION AV. DE LA CULTURA										ENACO										
SENTIDO										CODIGO DE LA ESTACION										
NORTE																				
UBICACIÓN										FECHA										
PARADERO ENACO										13/12/2013										
DIA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS				BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL COMBI	MICRO	2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
DIAGRA. VEHIC.																				
13/12/2013	10749	3861	1832	840	3533	2560	34	122	701	106	2	0	0	5	90	5	0	0	0	24440
14/12/2013	10797	4072	1698	824	3328	2381	42	138	690	505	2	0	0	0	157	0	0	0	0	24634
15/12/2013	10794	3922	1797	837	3338	2677	34	106	730	178	0	2	0	66	5	0	0	0	0	24486
16/12/2013	10722	4464	1752	909	3661	2237	40	85	688	128	3	0	0	0	45	0	0	0	0	24734
17/12/2013	11485	4106	1802	1080	3264	2122	69	57	704	170	5	2	0	5	82	0	0	0	0	24953
18/12/2013	11152	2256	1765	778	3704	2268	48	154	594	256	2	5	5	8	72	0	0	0	0	23067
19/12/2013	5600	2418	1493	386	2546	1688	24	98	368	77	8	2	0	2	112	0	0	5	0	14827
TRAFFICO TOTAL	71299	25099	12139	5654	23374	15933	291	760	4475	1420	22	11	5	86	563	5	0	5	0	161141
DIAS	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	133
IMD	10186	3586	1734	808	3339	2276	42	109	639	203	3	2	1	12	80	1	0	1	0	23022
FACTOR DE CORRECCION	1.03820569						0.91087553													
IMDa CORREGIDO	10,575.16	3,723.01	1,800.25	838.87	3,466.57	2,073.15	38.26	99.29	582.05	184.91	2.73	1.82	0.91	10.93	72.87	0.91	0.00	0.91	0.00	23,472.60
% DE PARTICIPACION	45.05%	15.86%	7.67%	3.57%	14.77%	8.83%	0.16%	0.42%	2.48%	0.79%	0.01%	0.01%	0.00%	0.05%	0.31%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
INDICE MEDIO DIARIO	23,473.00																			

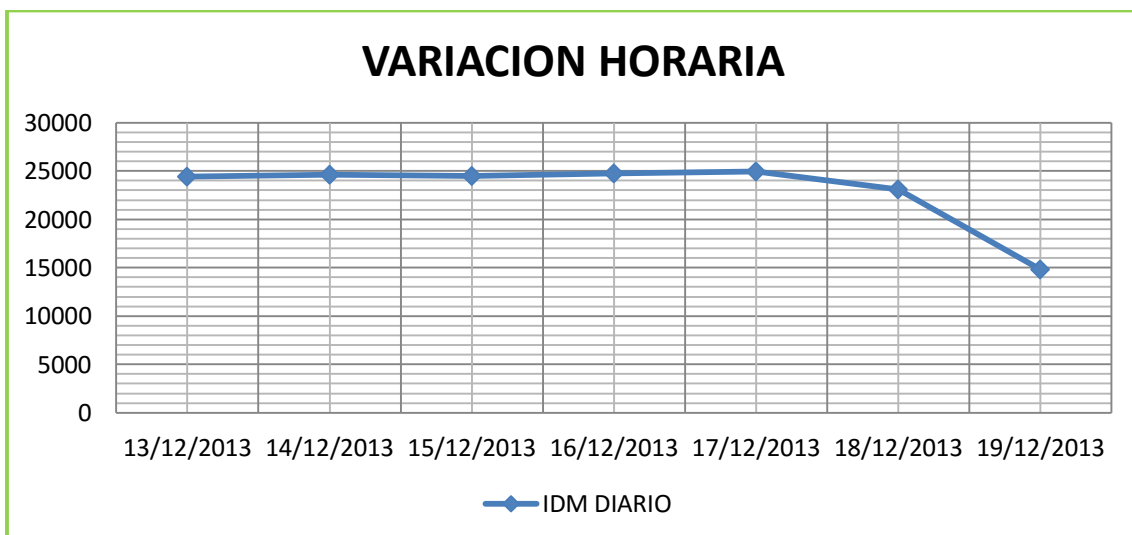
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO N° 1: COMPOSICIÓN VEHICULAR



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

GRAFICO N° 2: VARIACIÓN HORARIA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CALCULO DEL ESAL

TABLA N° 26: PORCENTAJE DE VEHÍCULOS

TIPO DE VEHÍCULO	IMD	%
Automóvil	10575	51.23%
Pick Up	3723	18.04%
Combis - Micros	5540	26.84%
Ómnibus de 2 ejes	38	0.18%
Camión de 2 ejes	582	2.82%
Camión de 3 ejes	185	0.90%
	20643	100.00%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 37: DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESAL

CALCULO DEL ESAL DE DISEÑO	
Calculo del Factor de Crecimiento	
n (años):	10
Tasa de crecimiento (%):	3.2%
Factor de crecimiento:	11.57

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



TABLA N° 48: CALCULO DE ESAL DE DISEÑO

TIPO DE VEHÍCULO	IMD	%	Dd Factor de Distribución Direccional % (Generalmente 50%, puede variar de 30% al 70%)	Dd Factor de Distribución Por Carril %1	Nº de Veh/Dia	Nº de Veh/año	Factor Camion	ESAL carril de diseño	Factor de crecimiento	ESAL diseño	TOTAL
Automóvil	10575	51.23%	0.5	100.00%	5287.5	3859875	0.0001	385.9875	11.57	4465.89	11732117.08
Pick Up	3723	18.04%	0.5	100.00%	1861.5	1358895	0.0001	135.8895	11.57	1572.25	
Combis - Micros	5540	26.84%	0.5	100.00%	2770	2022100	0.0001	202.21	11.57	2339.58	
Ómnibus de 2 ejes	38	0.18%	0.5	100.00%	19	13870	3.7113	51475.731	11.57	595575.89	
Camión de 2 ejes	582	2.82%	0.5	100.00%	291	212430	3.7113	788391.459	11.57	9121714.96	
Camión de 3 ejes	185	0.90%	0.5	100.00%	92.5	67525	2.5682	173417.705	11.57	2006448.52	
	20643	100%			10321.5						

ESAL DE DISEÑO 11732117

ESAL DE DISEÑO 1.17×10^7

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CÁLCULO DEL ESPESOR DE PAVIMENTO

TABLA N° 19: ESPESORES MÍNIMOS RECOMENDADOS

Tabla 7.8: Espesores mínimos recomendados		
ESAL	Concreto asfáltico	Base granular
> 50,000	1.0 (o tratamiento superficial)	4
50,001 – 150,000	2.0	4
150,001 – 500,000	2.5	4
500,001 – 2'000,000	3.0	6
2'000,001 – 7'000,000	3.5	6
> 7'000,000	4.0	6

FUENTE: AASHTO

De acuerdo a los cálculos realizados anteriormente como el IMD y el ESAL; para el cálculo del espesor de la carpeta asfáltica se usará la tabla mencionada anteriormente usando el ESAL.

Como se tiene un ESAL de $1.17 \cdot 10^7$ se obtendrá un espesor de carpeta asfáltica de 4”.

ENSAYO DE ASFALTO

3.6.3 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS (MTC E 503 2000)

Obtención del porcentaje de cemento asfáltico y la granulometría del material introducido al equipo de lavado asfáltico

TABLA N° 20: CÁLCULO DEL % DE ASFALTO

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS (MTC E 503 2000)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
	NUMERO DE MUESTRA			
DESCRIPCION	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4
PESO DE LA MUESTRA INICIAL (gr)	1312.2	1123.5	1211.6	1307.7
PESO DE LA MUESTRA LAVADA + RECIPIENTE	1430	1263.8	1345.4	1427.3
PESO RECIPIENTE (gr)	216.6	216.6	216.6	216.6
PESO MUESTRA LAVADA (gr)	1213.4	1047.2	1128.8	1210.7
CONTENIDO DE ASFALTO (gr)	98.8	76.3	82.8	97
% DE ASFALTO	7.53	6.79	6.83	7.42

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.6.4 ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)

Cálculo de la estabilidad y flujo del pavimento

En este ensayo obtuvimos datos de:

TABLA N° 51: ECUACIÓN DE ESTABILIDAD MARSHALL

$F_i = A + B(L_c) + C(L_c)^2$	
A	0.50632
B	4.32464
C	-0.00006

FUENTE: MTC E 504 - ELABORACIÓN PROPIA

$$F_i = A + B(L_c) + C(L_c)^2$$

F_i: Es la fuerza de la ecuación de mejor ajuste que se aplica al equipo bajo prueba. (Kg)

Coeficientes A, B y C: **A**=0.50632, **B**=4.32464 y **C**=-0.00006

L_c: Es la lectura observada en el indicador bajo una fuerza aplicada y corregida a la temperatura de calibración, mediante la ecuación:

L_c = L_i (1+0.00027(t-t_c)), donde:

L_i: Es la lectura observada en el indicador bajo una fuerza aplicada, a la temperatura **t** (°C) del equipo a prueba.

t_c: Es la temperatura de calibración del equipo a prueba.

TABLA N° 62: CÁLCULO DE LA ECUACIÓN DE ESTABILIDAD MARSHALL

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)			
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)			
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA			
Li	670	420	300
t	25	25	25
tc	22	22	22
LC	670.54	420.34	300.24

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 73: DATOS DEL ENSAYO MARSHALL

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)			
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)			
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA			
LC	670.54	420.34	300.24
Fi	2873.38	1807.73	1293.54

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

$Fi = A + B(Lc) + C(Lc)^2$	
A	0.50632
B	4.32464
C	-0.00006

FUENTE: MTC E 504 - ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 84: CÁLCULO DEL VOLUMEN DE BRIQUETAS

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
DATOS	BRIQUETAS DE ASFALTO			
NUMERO DE BRIQUETA	MUESTRA-01	MUESTRA-02	MUESTRA-03	MUESTRA-04
PESO SECO EN AIRE g	1683	1851	1877	1845
PESO SUMERGIDO g	893	1064	1077	1042
VOLUMEN	790	787	800	803

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 95: CÁLCULO DE FLUJO

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)			
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)			
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA			
NUMERO DE MUESTRA	LECTURA flujo	FACTOR A mm	FLUJO mm
MUESTRA 01 (7.53%)	37	0.254	9.4
MUESTRA 03 (6.83%)	13	0.254	3.3
MUESTRA 04 (7.42%)	18	0.254	4.6

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 106: TABLA RAZÓN DE CORRELACIÓN VOLUMEN
DEL ESPÉCIMEN

Volumen de Espécimen, cm ³	Espesor Aproximado de Espécimen, pulg.	mm	Razón de correlación
200 a 213	1	25.4	5.56
214 a 225	1 1/16	27.0	5.00
226 a 237	1 1/8	28.6	4.55
238 a 250	1 3/16	30.2	4.17
251 a 264	1 ¼	31.8	3.85
265 a 276	1 5/16	33.3	3.57
277 a 289	1 3/8	34.9	3.33
290 a 301	1 7/16	36.5	3.03
302 a 316	1 ½	38.1	2.78
317 a 328	1 9/16	39.7	2.50
329 a 340	1 5/8	41.3	2.27
341 a 353	1 11/16	42.9	2.08
354 a 367	1 ¾	44.4	1.92
368 a 379	1 13/16	46.0	1.79
380 a 392	1 7/8	47.6	1.67
393 a 405	1 15/16	49.2	1.56
406 a 420	2	50.8	1.47
421 a 431	2 1/16	52.4	1.39
432 a 443	2 1/8	54.0	1.32
444 a 456	2 3/16	55.6	1.25
457 a 470	2 ¼	57.2	1.19
471 a 482	2 5/16	58.7	1.14
483 a 495	2 3/8	60.3	1.09
496 a 508	2 7/16	61.9	1.04
509 a 522	2 ½	63.5	1.00
523 a 535	2 9/16	65.1	0.96
536 a 546	2 5/8	66.7	0.93
547 a 559	2 11/16	68.3	0.89
560 a 573	2 ¾	69.9	0.86
574 a 585	2 13/16	71.4	0.83
586 a 598	2 7/8	73.0	0.81
599 a 610	2 15/16	74.6	0.78
611 a 625	3	76.2	0.76

FUENTE: MTC E 504 - ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 117: ESTABILIDAD CORREGIDA

PORCENTAJE DE ASFALTO	VOLUMEN	fc de correccion	FLUJO mm	LECTURA ESTABILIDAD	ESTABILIDAD KG	ESTABILIDAD CORREGIDA
MUESTRA 01 (7.53%)	790	0.76	9.4	670.54	2873.38	2183.77
MUESTRA 03 (6.83%)	800	0.76	3.3	420.34	1807.73	1373.87
MUESTRA 04 (7.42%)	803	0.76	4.6	300.24	1293.54	983.09

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 2812: GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK (GSB)

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
PESO SECO EN AIRE g	1683	1851	1877	1845
PESO SUMERGIDO SUPERF. SECO g	1700	1851	1877	1845
PESO SUMERGIDO g	893	1064	1077	1042
GRAV ESPECIFICA BULK (Gsb)	2.09	2.35	2.35	2.30
PROMEDIO	2.27			

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FÓRMULA DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA

$$G_{mb} = \frac{W_{muestra}}{W_{sss} - W_{sumergido}}$$

FUENTE: MTC E - 504 ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 29: GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA (GMM) BULK (GSB)

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
	MUESTRA-01	MUESTRA-02	MUESTRA-03	MUESTRA-04
PORCENTAJE DE ASFALTO	7.53%	6.79%	6.83%	7.42%
PESO DEL MATRAZ VACIO	1674.7	1674.7	1674.7	1674.7
PESO DEL MATRAZ + AGUA	11740	11743	11723	11733
PESO DE LA MUESTRA EN AIRE	2571	2580	2684	2684
PESO DEL MATRAZ + MUESTRA+AGUA	14311	14323	14407	14417
PESO DESPUES DEL ENSAYO	13290	13291	13343	13344
GRAV ESP MAXIMA TEORICA	2.52	2.50	2.52	2.50

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FÓRMULA DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA

$$G_{mm} = \frac{W_{muestra}}{W_{muestra} + W_{picnometro+agua} - W_{despuesdeensayo}}$$

FUENTE: MTC E - 504 ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 130: PORCENTAJE DE VACÍOS

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
NUMERO DE MUESTRA	MUESTRA-01	MUESTRA-02	MUESTRA-03	MUESTRA-04
GRAV ESPECIFICA MAXIMA TEORICA	2.52	2.50	2.52	2.50
GRAV ESPECIFICA BULK (Gsb)	2.09	2.35	2.35	2.30
DENSIDAD kg/m3	2.09	2.35	2.35	2.30
% DE VACIOS	17.18	5.92	6.99	8.15

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FÓRMULA PARA EL PORCENTAJE DE VACÍOS

La formula para el porcentaje de vacíos es

$$P_a = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Donde:

P_a = vacíos de aire en mezcla compactada, porcentajes del volumen total

G_{mm} = gravedad específica máxima teórica de mezclas de pavimentación

G_{mb} = gravedad específica bulk de mezclas compactadas

FUENTE: MTC E - 504 ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 31: ANÁLISIS DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
PORCENTAJE DE ASFALTO	7.53%	6.79%	6.83%	7.42%
PORCENTAJE DE AGRAGADO	92.47%	93.21%	93.17%	92.58%
GRAV ESPECIFICA BULK (Gsb)	2.09	2.35	2.35	2.30
GRAV ESPECIFICA BULK COMBI CON AGRAGADOS (Gsb)	2.52	2.50	2.52	2.50
% VMA	23.42	12.31	13.34	14.96

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FÓRMULA PARA VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL

$$VMA = 100\% - \left(\frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right)$$

Donde:

VMA= vacíos en agregado mineral (porcentaje de volumen total de la mezcla)

G_{sb} = gravedad específica bulk de la combinación de agregados

G_{mb} = gravedad específica bulk de la mezcla compactada

P_s = porcentaje de agregado, por peso total en la mezcla

FUENTE: MTC E - 504 ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 142: ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (VFA)

ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAHAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
PORCENTAJE DE ASFALTO	7.53%	6.79%	6.83%	7.42%
% VMA	23.42	12.31	13.34	14.96
% DE VACIOS	17.18	5.92	6.99	8.15
VACIOS LLENOS DE ASFALTO vfa	26.63	51.90	47.61	45.55

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FÓRMULA PARA EL ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO

$$VFA = \frac{VMA - P_a}{VMA} \times 100$$

Donde:

VFA= vacíos llenos con asfalto, porcentaje de VMA

VMA= vacíos en agregado mineral (porcentaje de volumen bula)

P_a= vacíos de aire en mezcla compactada, porcentajes del volumen total

FUENTE: MTC E - 504 ELABORACIÓN PROPIA

ENSAYO PARA BASE Y SUB BASE

3.6.5 ENSAYO DE CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) - MTC E 133 2000

Fórmula de carga

$$Carga \text{ (kgf)} = A_0 + A_1 \cdot X^1 + A_2 \cdot X^2 + A_3 \cdot X^3$$

TABLA N° 33: FÓRMULA DE CARGA

A ₀ =	3.3478
A ₁ =	1.3543
A ₂ =	-7.99E-06
A ₃ =	0.00E+00

FUENTE: MTC E -133 ELABORACIÓN PROPIA

Punto 1 - Base

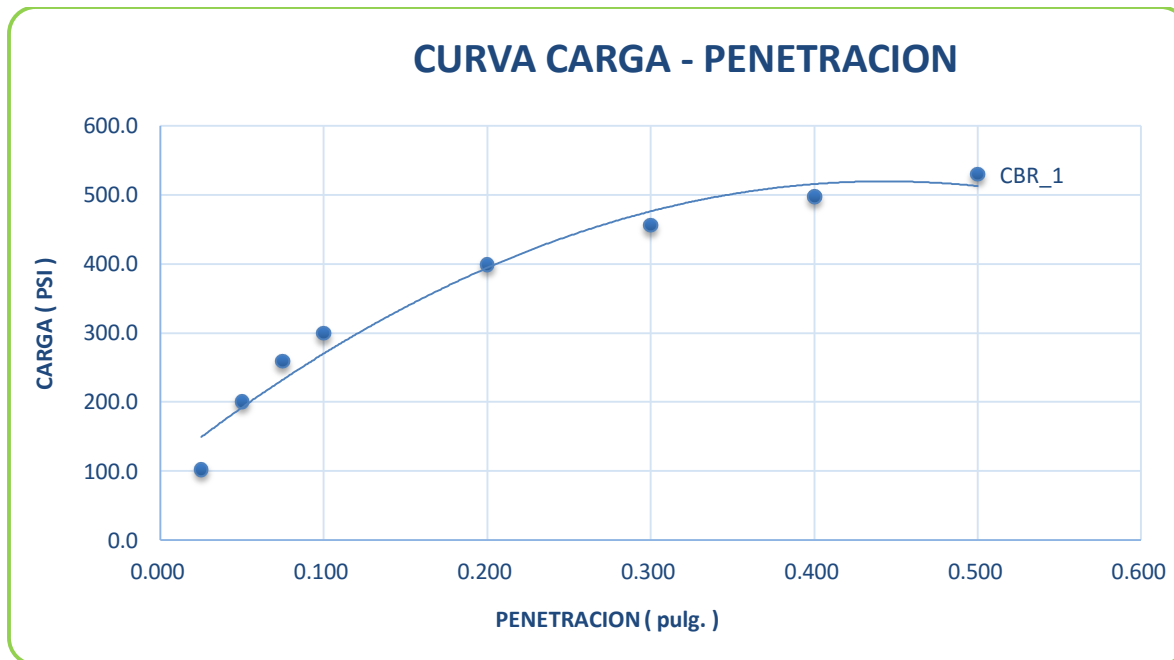
TABLA N° 34: CÁLCULO DEL CBR PARA LA BASE PUNTO 1

	PENEIRACION	CARG. PATRON	LECTURA DE PENETRACION	CARG DEL ENSAYO		C.B.R.
				(Pulg)	PSI	
PENETRACION	0.025		100.00	305.122	101.707	
	0.050		200.00	602.542	200.847	
DEL	0.075		258.49	776.358	258.786	
	0.100	1000	300.00	899.610	299.870	29.99
C.B.R	0.200	1500	400.00	1196.327	398.776	26.59
	0.300	1900	458.49	1369.733	456.578	
	0.400	2300	500.00	1492.693	497.564	
	0.500	2600	532.19	1588.027	529.342	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.B.R. IN SITU =	29.99
------------------	--------------

GRAFICO N° 3: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA BASE PUNTO 1



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Punto 1 - Sub Base

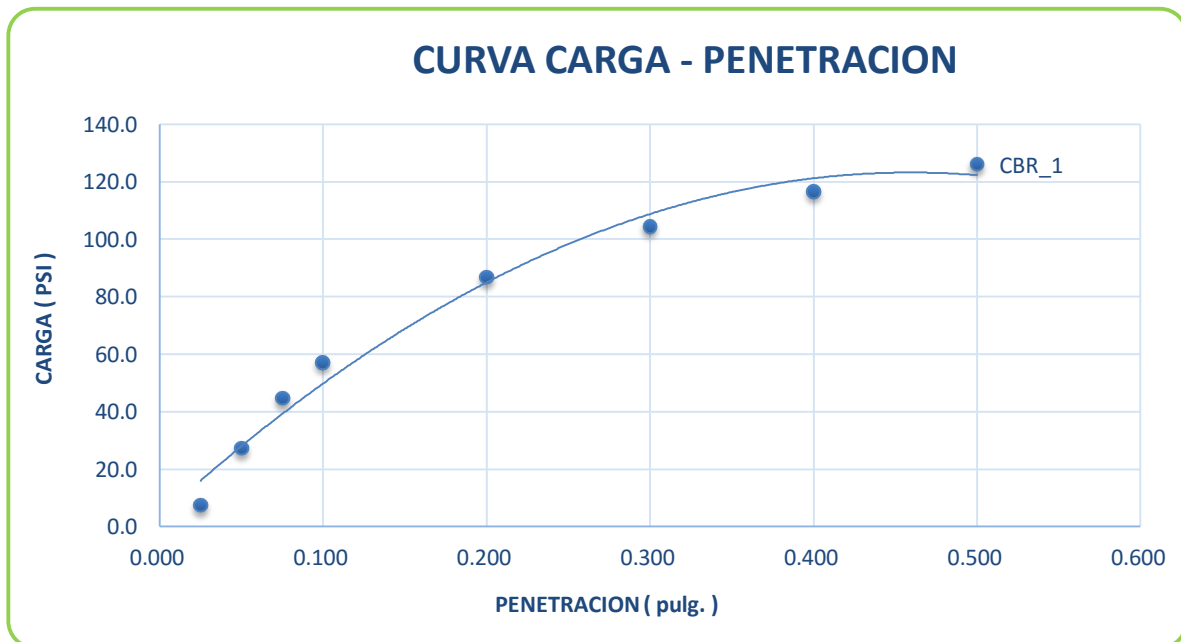
TABLA N° 35: CÁLCULO DEL CBR PARA LA SUB BASE PUNTO 1

	PENEIRACION	CARG. PATRON	LECTURA DE PENETRACION	CARG DEL ENSAYO		C.B.R.
				(Pulg)	PSI	
PENEIRACION	0.025		5.00	22.262	7.421	
	0.050		25.00	81.846	27.282	
DEL	0.075		42.55	134.111	44.704	
	0.100	1000	55.00	171.188	57.063	5.71
C.B.R	0.200	1500	85.00	260.498	86.833	5.79
	0.300	1900	102.55	312.727	104.242	
	0.400	2300	115.00	349.777	116.592	
	0.500	2600	124.66	378.511	126.170	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.B.R. IN SITU =	5.79
------------------	------

GRAFICO N° 4: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA SUB BASE PUNTO 1



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Punto 2– Base

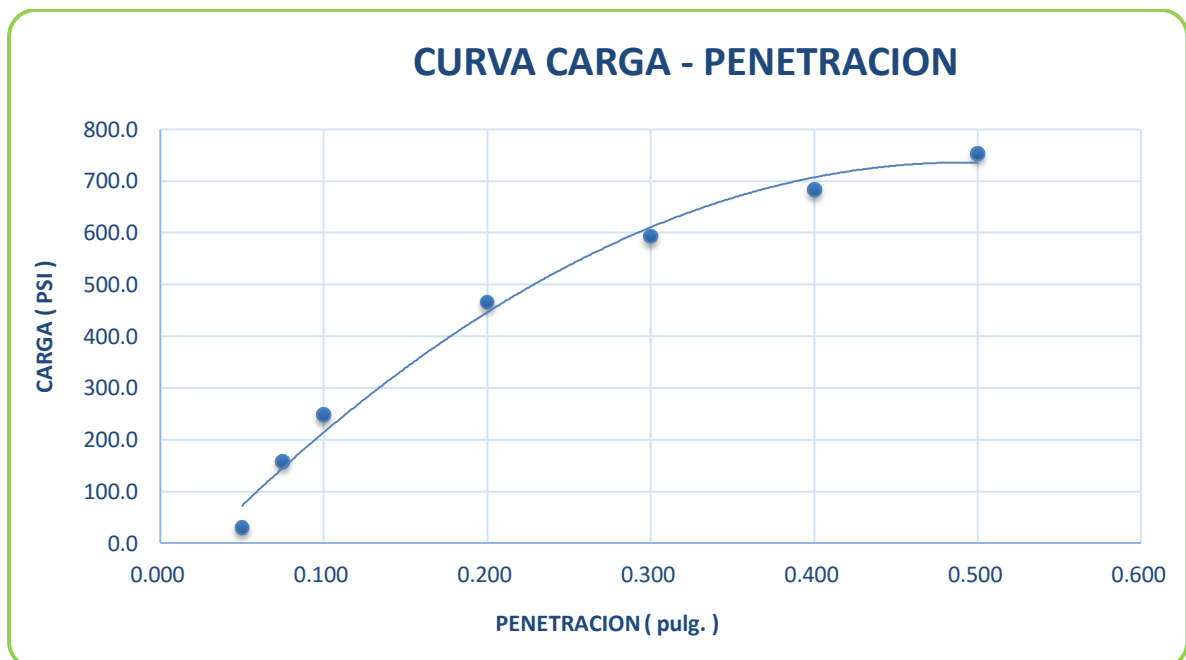
TABLA N° 36: CÁLCULO DEL CBR PARA LA BASE PUNTO 2

	PENEIRACION (Pulg)	CARG. PATRON PSI	LECTURA DE PENETRACION	CARG DEL ENSAYO		C.B.R. 1
				Libras	PSI	
PENETRACION	0.025					
	0.050		28.00	90.790	30.263	
DEL	0.075		156.70	473.801	157.934	
	0.100	1000	248.00	745.198	248.399	24.84
C.B.R	0.200	1500	468.00	1397.906	465.969	31.06
	0.300	1900	596.69	1778.927	592.976	
	0.400	2300	688.00	2048.913	682.971	
	0.500	2600	758.82	2258.128	752.709	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.B.R. IN SITU =	31.06
-------------------------	--------------

GRAFICO N° 5: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA BASE PUNTO 2



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Punto 2 – Sub Base

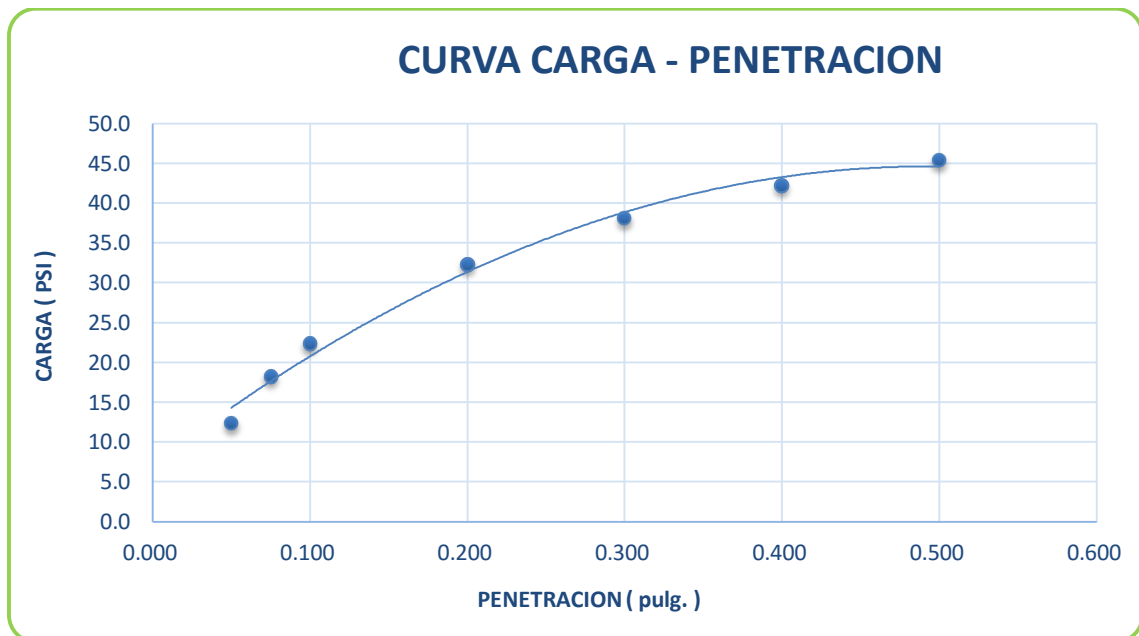
TABLA N° 37: CÁLCULO DEL CBR PARA LA SUB BASE PUNTO 2

	PENETRACION (Pulg)	CARG. PATRON PSI	LECTURA DE PENETRACION	CARG DEL ENSAYO		C.B.R. 1
				Libras	PSI	
PENETRACION	0.025		0.00	7.364	2.455	
	0.050		10.00	37.157	12.386	
DEL	0.075		15.85	54.583	18.194	
	0.100	1000	20.00	66.946	22.315	2.23
C.B.R	0.200	1500	30.00	96.732	32.244	2.15
	0.300	1900	35.85	114.154	38.051	
	0.400	2300	40.00	126.514	42.171	
	0.500	2600	43.22	136.102	45.367	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.B.R. IN SITU =	2.23
------------------	------

GRAFICO N° 6: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA SUB BASE PUNTO 2



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Punto 3 – Base

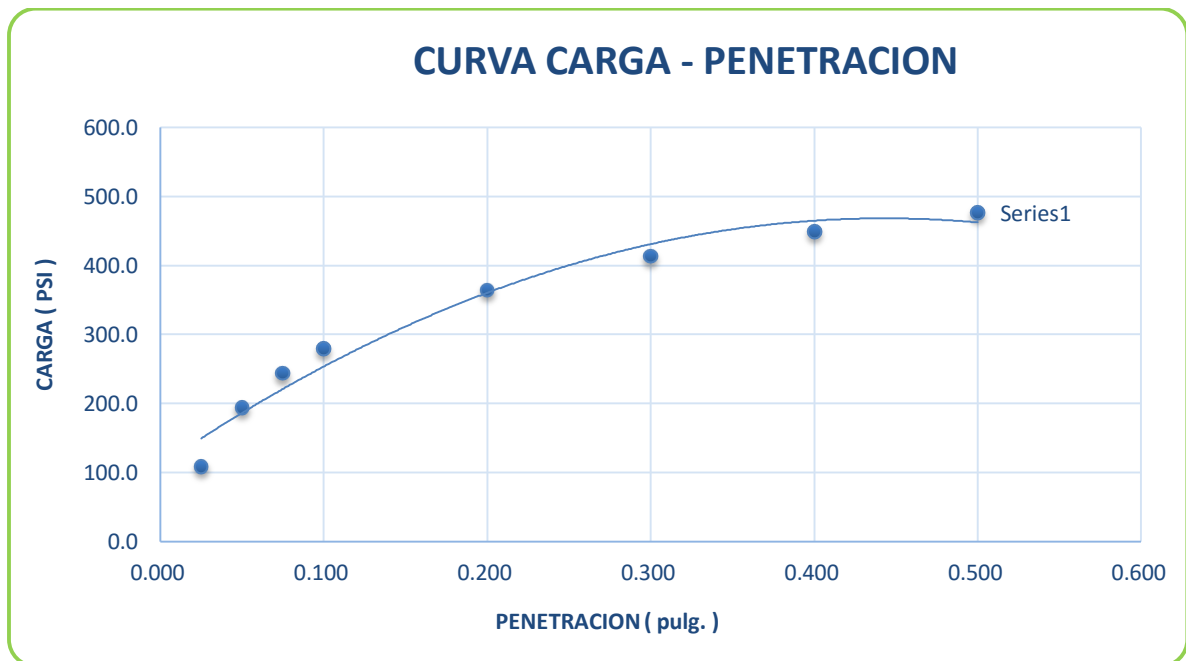
TABLA N° 38: CÁLCULO DEL CBR PARA LA BASE PUNTO 3

	PENETRACION (Pulg)	CARG. PATRON PSI	LECTURA DE PENETRACION	CARG DEL ENSAYO		C.B.R. 1
				Libras	PSI	
PENETRACION	0.025		107.01	325.998	108.666	
	0.050		193.01	581.775	193.925	
DEL	0.075		243.32	731.274	243.758	
	0.100	1000	279.01	837.291	279.097	27.91
C.B.R	0.200	1500	365.01	1092.548	364.183	24.28
	0.300	1900	415.31	1241.743	413.914	
	0.400	2300	451.01	1347.545	449.182	
	0.500	2600	478.69	1429.581	476.527	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.B.R. IN SITU =	27.91
-------------------------	--------------

GRAFICO N° 7: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA BASE PUNTO 3



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Punto 3 – Sub Base

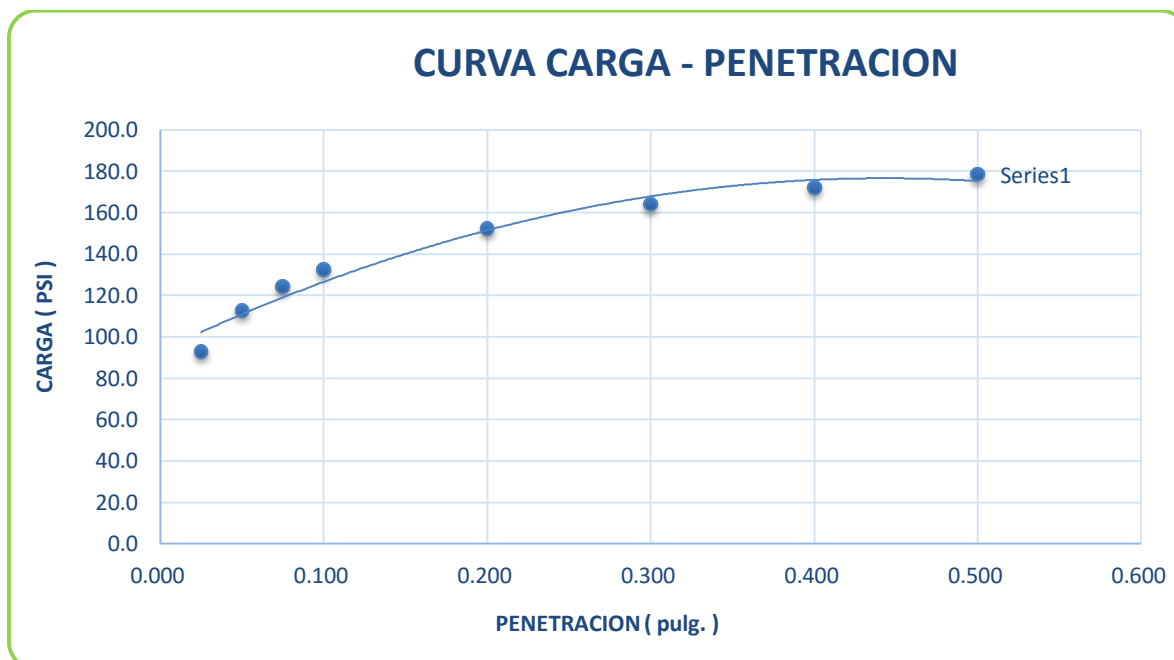
TABLA N° 39: CÁLCULO DEL CBR PARA LA SUB BASE PUNTO 3

	PENE-TRACION (Pulg)	CARG. PATRON PSI	LECTURA DE PENE-TRACION	CARG DEL ENSAYO		C.B.R. 1
				Libras	PSI	
PENE-TRACION	0.025		91.00	278.354	92.785	
	0.050		111.00	337.872	112.624	
DEL	0.075		122.70	372.682	124.227	
	0.100	1000	131.00	397.377	132.459	13.25
C.B.R	0.200	1500	151.00	456.867	152.289	10.15
	0.300	1900	162.70	491.660	163.887	
	0.400	2300	171.00	516.343	172.114	
	0.500	2600	177.44	535.487	178.496	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.B.R. IN SITU =	13.25
------------------	-------

GRAFICO N° 8: CURVA CARGA- PENETRACIÓN DE LA SUB BASE PUNTO 3



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.6.6 VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO

Ya teniendo los valores de los espesores del paquete estructural realizamos la comparación con los datos de los espesores que se encuentran en el expediente técnico denominado "MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA PROLONGACIÓN DE LA AVENIDA LA CULTURA, TRAMO AV. TOMAS TUYRUTUPAC CON LA AV. UNO EN EL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, PROVINCIA CUSCO-CUSCO"

TABLA N° 40: VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO

VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO		
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)		
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA		
CALICATA/ EXPEDIENTE	N° 02	VALORES EXPEDIENTE
ESPESOR DE LA BASE	no se pudo verificar	25
ESPESOR DE LA SUB BASE cm	40	30

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Solo ponemos los valores de la calicata N° 02 por que la calicata N° 01 está ubicado en la zona que se hizo recapeo, por lo cual en esta zona no tenemos valores establecidos por el expediente técnico y no podemos comparar los espesores de la base, sub base y carpeta de rodadura.

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 INVENTARIO VIAL

Del inventario vial de todas las fallas existentes que se realizó la falla que se presenta mayormente es el ahuellamiento puesto que el pavimento se desplazó lateralmente debido al paso de las ruedas de los vehículos con el siguiente resultado:

TABLA N° 41: ZONA MÁS CRÍTICA (180MM)

CALZADA	SUBIDA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN PARADERO (PUENTE - CACHIMAYO)
PROGRESIVA	2+950 - 2+450
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	ALTO

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El nivel de severidad en la zona más crítica de la prolongación av. la cultura tramo (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIÁN - GRIFO MOBIL DE SAN JERÓNIMO) se encuentra muy por encima del rango establecido por el índice de condición del pavimento (PCI) como nivel de severidad alta. Puesto que un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

TABLA N° 42: ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

NIVEL DE SEVERIDAD	MEDIDA mm
BAJO	6.0mm a 13.0 mm
MEDIO	>13.0mm a 25.0 mm
ALTO	> 25.0 mm

FUENTE: CATÁLOGO PCI

TABLA N° 43: ZONA MENOS CRITICA (7MM)

CALZADA	SUBIDA
UBICACIÓN	SAN SEBASTIÁN PARADERO (CAMIONERO - 7°)
PROGRESIVA	0+930 - 0+740
FECHA	15/12/2013
FALLA	AHUELLAMIENTO
NIVEL DE SEVERIDAD	BAJO

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El nivel de severidad en la zona menos crítica de la prolongación av. la cultura tramo (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIÁN - GRIFO MOBIL DE SAN JERÓNIMO) se encuentra en el rango establecido por el índice de condición del pavimento (PCI) como nivel de severidad baja.

TABLA N° 44: ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

NIVEL DE SEVERIDAD	MEDIDA mm
BAJO	6.0mm a 13.0 mm
MEDIO	>13.0mm a 25.0 mm
ALTO	> 25.0 mm

FUENTE: CATÁLOGO PCI

4.2 AFORO VEHICULAR

El aforo vehicular se obtiene que el vehículo que mayormente transita por este tramo son el tipo AUTOS y aquí se muestra como resultado el porcentaje de vehículos que transitan por día.

TABLA N° 45: PORCENTAJE DE VEHÍCULOS

TIPO DE VEHICULO	IMD	%
Automovil	10575	51.23%
Pick Up	3723	18.04%
Combis - Micros	5540	26.84%
Omnibus de 2 ejes	38	0.18%
Camion de 2 ejes	582	2.82%
Camion de 3 ejes	185	0.90%
	20643	100.00%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

A consecuencia del aforo vehicular también pudimos obtener como resultado de esto un IMD y así mismo un ESAL para el cálculo del espesor del pavimento.

IMDA	23473
ESAL DE DISEÑO	11732117
ESAL DE DISEÑO	1.17*10^7

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De acuerdo al cálculo del ESAL y con la ayuda de la tabla de espesores mínimos recomendados de la AASHTO calculamos el espesor y se obtiene como resultado el siguiente cuadro:

TABLA N° 46: ESPESORES MÍNIMOS RECOMENDADOS

ESAL	Concreto asfáltico	Base granular
> 50,000	1.0 (o tratamiento superficial)	4
50,001 – 150,000	2.0	4
150,001 – 500,000	2.5	4
500,001 – 2'000,000	3.0	6
2'000.001 – 7'000.000	3.5	6
> 7'000,000	4.0	6

FUENTE: AASHTO

ESAL	CONCRETO ASFALTICO
$1.17 \cdot 10^7$	4"

4.3 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS (AASHTO T 30 - MTC E 503)

Del ensayo extracción cuantitativa de asfalto en mezclas para pavimentos, ensayo que se realizó a las muestras obtenidas en el lavado centrifuga de asfalto se obtuvo el siguiente resultado:

El promedio del porcentaje de asfalto de las briquetas es 7.14%

TABLA N° 47: RESUMEN DEL PORCENTAJE DE ASFALTO

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS (MTC E 503 2000)				
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)				
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCAUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA				
	NUMERO DE MUESTRA			
DESCRIPCION	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4
% DE ASFALTO	7.53	6.79	6.83	7.42

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

4.4 ENSAYO DE RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEADOS EN EL APARATO MARSHALL (AASHTO T 245-97(2004) - MTC E 504 2000)

Del ensayo Marshall que se realizó a las muestras se obtuvo los siguientes resultados de estabilidad y flujo del pavimento, a continuación, mostraremos un cuadro resumen:

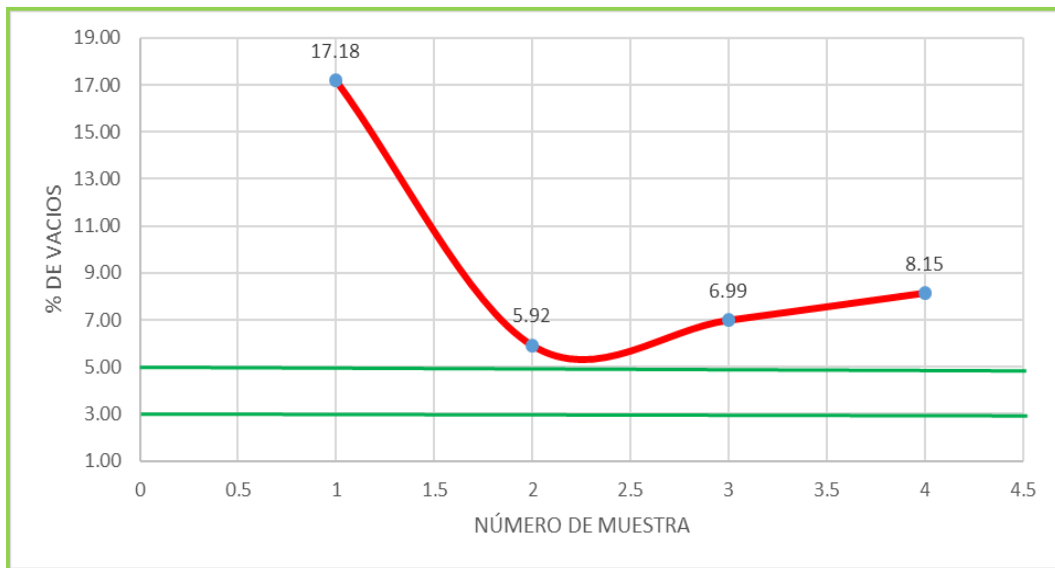
TABLA N° 48: RESUMEN DEL ENSAYO MARSHALL

PUNTO #	PORCENTAJE DE ASFALTO %	DENSIDAD	% VACIOS	% VMA	% VFA	ESTABILIDAD	FLUJO
1	7.53	2.09	17.18	23.42	26.63	2183.77	9.40
2	6.79	2.35	5.92	12.31	51.90	0.00	0.00
3	6.83	2.35	6.99	13.34	47.61	1373.87	3.30
4	7.42	2.30	8.15	14.96	45.55	983.09	4.57

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De la tabla N° 48 realizamos los diferentes gráficos para guiarnos de mejor manera con los resultados ya obtenidos.

GRAFICO N° 9: NÚMERO DE MUESTRA VERSUS EL PORCENTAJE DE VACÍOS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La curva número de muestra versus el porcentaje de vacíos (grafico N° 9) no cumple debido a que no se encuentra en el rango establecido 3 – 5 por el instituto del asfalto (tabla N° 49)

Como podemos apreciar el punto número 1 es el que tiene más cantidad de porcentaje de vacíos por lo que inferimos que este punto es el más permeable de todos los demás.

El punto número 2 es el más cercano a los rangos establecidos. Pero Igual se encuentra por encima de lo establecido, así que también el pavimento en ese punto es permeable.

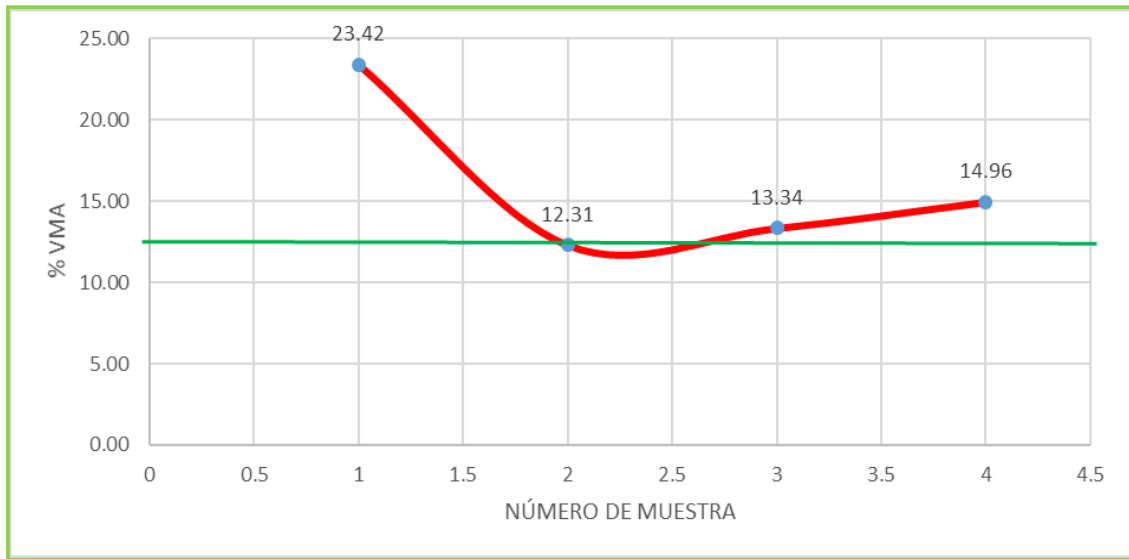
Los puntos número 3 y 4 se encuentran por encima de los rangos establecidos, así que estos puntos en el pavimento son permeables.

TABLA N° 49: CUADRO DE LOS VALORES ESTABLECIDOS DEL DISEÑO MARSHALL (PORCENTAJE DE VACÍOS)

ANEXO 2: CRITERIOS DEL INSTITUTO DEL ASFALTO PARA EL DISEÑO MARSHALL

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL MÉTODO MARSHALL	TRANSITO LIVIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO MEDIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
Compactación, numero de golpes en cada cara de la probeta	35	35	50	50	75	75
Estabilidad N(lb)	336 (750)	-	5358 (1200)	-	8006 (1800)	-
Flujo, 0.25mm (0.01pulg)	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5
% VMA	Ver Anexo 3					
% VFA	70	80	65	78	65	75

FUENTE: INSTITUTO DEL ASFALTO

GRAFICO N° 10: NÚMERO DE MUESTRA VERSUS PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La curva número de muestra versus porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) (grafico N° 10) solo uno de los datos está dentro de los parámetros, por debajo de 14% de VMA establecido por el instituto del asfalto (tabla N° 50)

Como podemos apreciar el punto número 1 es el que tiene más porcentaje de vacíos en el agregado mineral por lo que inferimos que en este punto existe más espacio disponible para la película de asfalto.

El punto número 2 se encuentra dentro del rango establecido, así que no hay espacio disponible para la película de asfalto.

Los puntos número 3 y 4 se encuentran por encima de los rangos establecidos, así que estos puntos tienen espacios disponibles para la película de asfaltos, pero en proporciones mínimas.

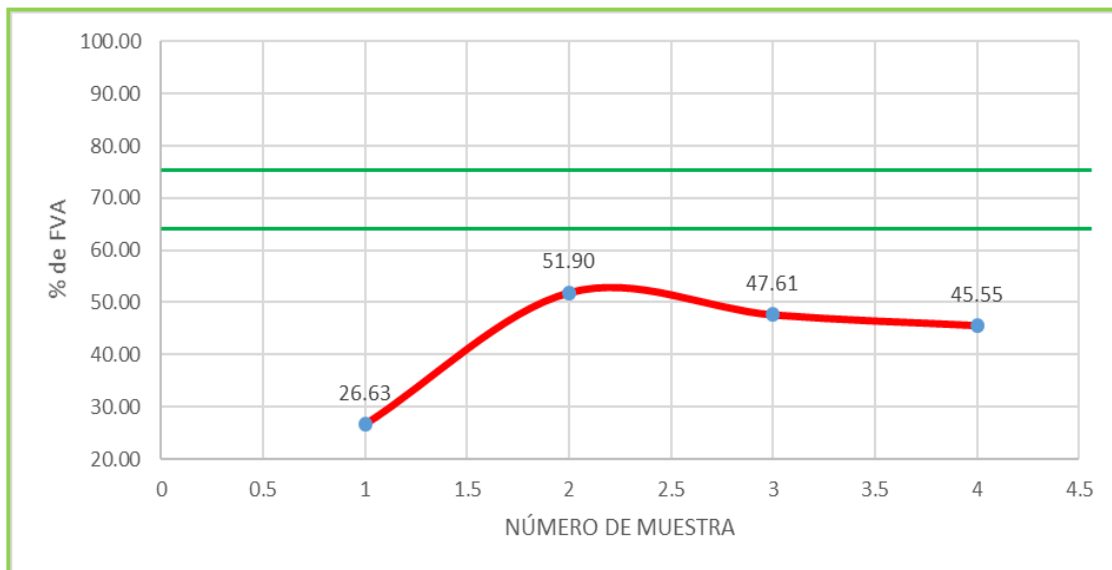
TABLA N° 50: CUADRO DE LOS VALORES ESTABLECIDOS DEL DISEÑO MARSHALL (PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL)

ANEXO 3: PORCENTAJE MÍNIMO DE VMA

TAMAÑO MÁXIMO EN MM		VMA MÍNIMO, POR CIENTO		
PORCENTAJE		Vacíos de Diseño, por ciento ³		
mm	pulg	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	½	13.0	14.0	15.0
19.0	¾	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50.0	2.0	9.5	10.5	11.5
63.0	2.5	9.0	10.0	11.0

FUENTE: INSTITUTO DEL ASFALTO

GRAFICO N° 11: NÚMERO DE MUESTRA VERSUS PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La curva número de muestra versus porcentaje de vacíos llenos de asfalto (FVA) (grafico N° 11) no cumple con los rangos establecido por el instituto del asfalto que están en los intervalos 65 – 75 (tabla N° 51)

Como podemos apreciar el punto número 1 es el más alejado y no se encuentra de los rangos, es así que inferimos que al tener un bajo contenido de vacíos llenos de asfalto tienden a deformarse permanentemente

El punto número 2 es el más cercano a los rangos establecidos, pero de igual manera se encuentran por debajo de los rangos y es así que este punto tiende a una deformación permanente.

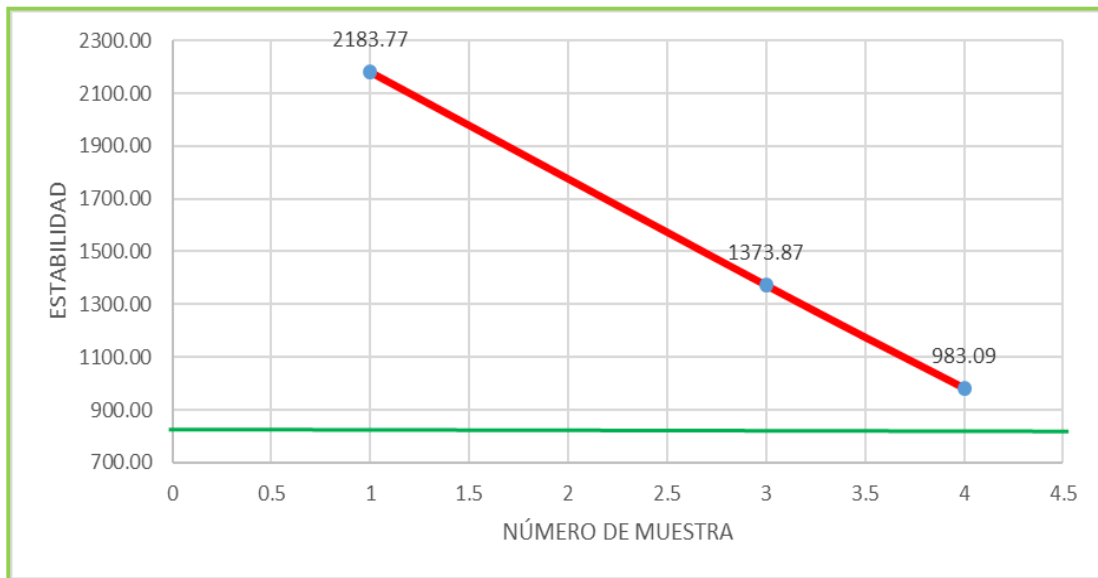
Los puntos número 3 y 4 se encuentran por debajo de los rangos establecidos, así que estos puntos tienden a una deformación permanente.

TABLA N° 51: CUADRO DE LOS VALORES ESTABLECIDOS DEL DISEÑO MARSHALL (PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO)

ANEXO 2: CRITERIOS DEL INSTITUTO DEL ASFALTO PARA EL DISEÑO MARSHALL

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL METODO MARSHALL	TRANSITO LIVIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO MEDIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
Compactación, numero de golpes en cada cara de la probeta	35	35	50	50	75	75
Estabilidad N(lb)	336 (750)	-	5358 (1200)	-	8006 (1800)	-
Flujo, 0.25mm (0.01pulg)	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5
% VMA	Ver Anexo 3					
% VFA	70	80	65	78	65	75

FUENTE: INSTITUTO DEL ASFALTO

GRAFICO N° 12: NÚMERO DE MUESTRA VERSUS ESTABILIDAD

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La curva número de muestra versus estabilidad (grafico 12) está en los rangos que establece el instituto del asfalto (tabla N° 52) solo nos da como valor min 8006 N que convertidos a kg es 816 y no tenemos un valor máximo en el grafico en mención.

Como podemos apreciar el punto número 1 es el valor más alto de la estabilidad es un pavimento muy rígido y al ser así también un pavimento menos durable de lo deseado.

El punto número 2 no se encuentra en el grafico debido a que la briqueta se destrozó por si sola en el baño María.

Los puntos número 3 y 4 se encuentran por encima del establecido, puesto que es un pavimento rígido y durable.

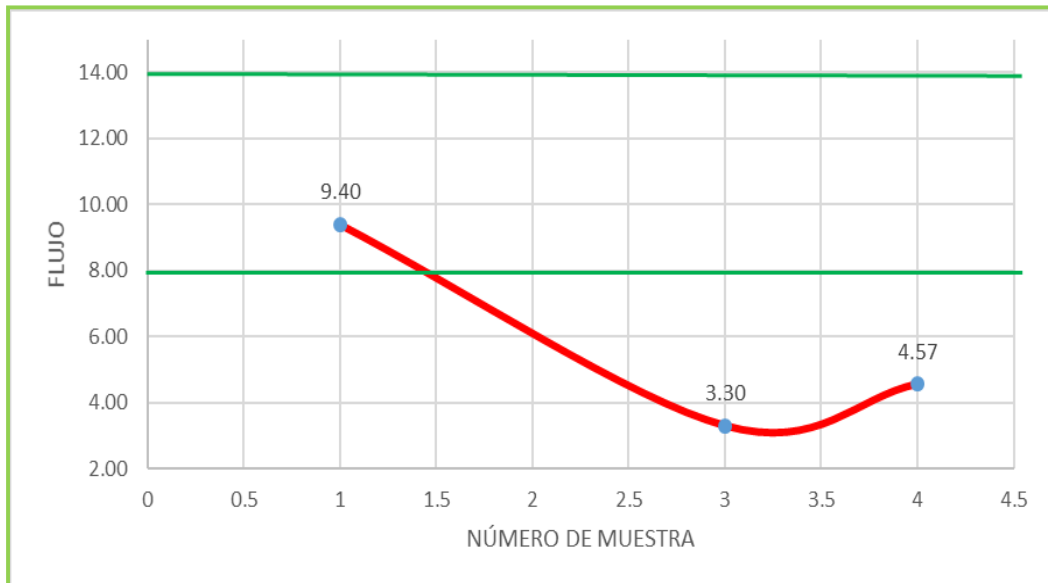
TABLA N° 52: CUADRO DE LOS VALORES ESTABLECIDOS DEL DISEÑO MARSHALL (ESTABILIDAD)

ANEXO 2: CRITERIOS DEL INSTITUTO DEL ASFALTO PARA EL DISEÑO MARSHALL

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL MÉTODO MARSHALL	TRANSITO LIVIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO MEDIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
Compactación, numero de golpes en cada cara de la probeta	35	35	50	50	75	75
Estabilidad N(lb)	336 (750)	-	5358 (1200)	-	8006 (1800)	-
Flujo, 0.25mm (0.01pulg)	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5
% VMA	Ver Anexo 3					
% VFA	70	80	65	78	65	75

FUENTE: INSTITUTO DEL ASFALTO

GRAFICO N° 13: CURVA NÚMERO DE MUESTRA VS FLUJO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La curva número de muestra vs flujo (grafico 13) solo uno de ellos se encuentra en los parámetros 8mm- 14mm establecido por el instituto del asfalto (tabla N° 53).

Como podemos apreciar el punto número 1 se encuentra en los rangos establecidos, y podemos inferir que en este punto donde no hay tendencia a deformarse.

El punto número 2 no se encuentra en el grafico debido a que la briqueta se destrozó por si sola en el baño María.

Los puntos número 3 y 4 se encuentran por debajo de los rangos establecidos, puesto que es un pavimento un pavimento rígido.

TABLA N° 153: CUADRO DE LOS VALORES ESTABLECIDOS DEL DISEÑO MARSHALL (FLUJO)

ANEXO 2: CRITERIOS DEL INSTITUTO DEL ASFALTO PARA EL DISEÑO MARSHALL

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL MÉTODO MARSHALL	TRANSITO LIVIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO MEDIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
Compactación, numero de golpes en cada cara de la probeta	35	35	50	50	75	75
Estabilidad N(lb)	336 (750)	-	5358 (1200)	-	8006 (1800)	-
Flujo, 0.25mm (0.01pulg)	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5
% VMA	Ver Anexo 3					
% VFA	70	80	65	78	65	75

FUENTE: INSTITUTO DEL ASFALTO

ENSAYO PARA BASE Y SUB BASE**4.5 ENSAYO DE CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU) - MTC E 133 2000****TABLA N° 54: DATOS DE LOS CBRs OBTENIDOS PUNTO 1**

	PUNTO 1	
C.B.R IN SITU	BASE	SUB BASE
	29.99	5.79

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para el punto número uno no cumple con los rangos establecidos por el EG 2013, como requerimiento mínimo el valor para la base es 100% y el valor mínimo para la sub base es 40%.

TABLA N° 55: DATOS DE LOS CBRs OBTENIDOS PUNTO 2

	PUNTO 2	
C.B.R IN SITU	BASE	SUB BASE
	31.06	2.23

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para el punto número dos no cumple con los rangos establecidos por el EG 2013, como requerimiento mínimo el valor para la base es 100% y el valor mínimo para la sub base es 40%.

TABLA N° 56: DATOS DE LOS CBRs OBTENIDOS PUNTO 3

	PUNTO 3	
C.B.R IN SITU	BASE	SUB BASE
	27.91	13.25

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para el punto número tres no cumple con los rangos establecidos por el EG 2013, como requerimiento mínimo el valor para la base es 100% y el valor mínimo para la sub base es 40%.

TABLA N° 57: PROMEDIO DE LOS VALORES DEL CBR

	CBR BASE	CBR SUB BASE
PUNTO 1	29.99	5.79
PUNTO 2	31.06	2.23
PUNTO 3	27.91	13.25
PROMEDIO	30	7

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 58: VALOR RELATIVO CBR DE LA BASE

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)	Tráfico en ejes equivalentes (<math><10^6</math>)	Mín. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes (>math>\geq 10^6</math>)	Mín. 100%

FUENTE: MTC - EG 2013

TABLA N° 59: VALOR RELATIVO CBR DE LA SUB BASE

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	--	--	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	--	D 4791	--	20% máx.	20% máx.

FUENTE: MTC – EG 2013

4.6 VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO

se apreció que los espesores del paquete estructural una vez medidos en la calicata no cumplen con lo establecido en el expediente técnico "MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA PROLONGACIÓN DE LA AVENIDA LA CULTURA, TRAMO AV. TOMAS TUYRUTUPAC CON LA AV. UNO EN EL DISTRITO DE SAN SEBASTIÁN, PROVINCIA CUSCO-CUSCO"

TABLA N° 60: VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO

VERIFICACIÓN DE LOS ESPESORES DEL PAVIMENTO		
TESIS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACIÓN DE LA A.V LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)		
RESPONSABLES: IRVIN KENYO AUCCA HUAQUI YANQUE / RONALD YUSEUT CORAHUA HILAQUITA		
CALICATA/ EXPEDIENTE	N° 02	VALORES EXPEDIENTE
ESPESOR DE LA BASE	no se pudo verificar	25
ESPESOR DE LA SUB BASE cm	40	30

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

DISCUSIÓN N° 1: ¿El espesor del pavimento cumple con el diseño establecido para este tramo?

Si cumple, esto debido a que se hizo la verificación del caso con ayuda de un aforo vehicular, cálculo del IMD y su posterior cálculo del ESAL de diseño; obteniéndose un espesor de 4".

DISCUSIÓN N° 2: ¿Cuál es la razón por la que se realizó el inventario vial en el tramo de estudio?

Se realizó debido a que esto nos sería de gran ayuda para conocer todas las fallas que existen y en qué grado se presentan, así como resultado la obtención de la falla más común que es el ahuellamiento.

DISCUSIÓN N° 3: ¿El ahuellamiento que existente en el tramo de estudio es de grado severo o muy severo?

Si es muy severo, esto debido a que se puede tener como resultado de la investigación un ahuellamiento de 180 mm como máximo, se considera un ahuellamiento severo a partir de 25 mm a más; una forma de eliminar sería realizando un fresado o colocación de una capa niveladora.

DISCUSIÓN N° 4: ¿El contenido de asfalto en el pavimento evaluado cumple con lo indicado en el diseño?

Si cumple, esto lo comprobamos basándonos en el ensayo del lavado asfáltico dándonos un contenido de asfalto promedio del 7.14 % como se indica en el diseño que se realizó en el tramo

DISCUSIÓN N° 5: ¿El grado de deformación del pavimento es un factor importante para que se presente el ahuellamiento?

Si puesto que cuando el pavimento que presenta partículas de agregados de formas angulares hace que la estabilidad sea más alta y así no se presenten estas; pero si se hacen menos durables.



DISCUSIÓN N° 6: ¿La resistencia al corte encontrado en la estructura del pavimento está dentro de los rangos establecidos en la norma?

No, debido a que los resultados obtenidos para la base están en un promedio del 30% de CBR y de la sub base en un promedio de 10% de CBR



GLOSARIO

- **AFIRMADO:** Capa compactada de material granular natural ó procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas carrozables.
- **AGREGADO:** Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.
- **AGREGADO FINO:** Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general pasa la malla N° 4 (4,75 mm) y contiene finos.
- **AGREGADO GRUESO:** Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N°4 (4,75 mm).
- **AHUELLAMIENTO:** Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.
- **ASFALTO:** Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo.
- **ASFALTO DE IMPRIMACIÓN:** Asfalto fluido de baja viscosidad (muy líquido) que por aplicación penetra en una superficie no bituminosa.



- **ASFALTO MODIFICADO:** Producto de la incorporación de un polímero u otro modificador en el asfalto para mejorar sus propiedades físicas y geológicas como la disminución de la susceptibilidad a la temperatura y a la humedad.
- **BASE:** Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub base o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.
- **CALICATA:** Excavación superficial que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas.
- **CARPETA ASFÁLTICA:** La carpeta asfáltica es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía.
- **CARRETERA PAVIMENTADA:** Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto Pórtland (rígida).
- **CBR (California Bearing Ratio):** Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.
- **CEMENTO ASFÁLTICO:** Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad o consistencia para ser usado directamente en la construcción de pavimentos asfálticos.
- **COMPACTACIÓN:** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas.



- **CONTROL DE CALIDAD:** Pruebas técnicas para comprobar la correcta ejecución de las diferentes etapas o fases de un trabajo con relación a las especificaciones técnicas o requisitos específicos establecidos.
- **ENSAYO MARSHALL:** Procedimiento para obtener el contenido de asfalto y diferentes parámetros de calidad de una mezcla bituminosa.
- **ESTABILIDAD:** Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.
- **EXPEDIENTE TÉCNICO DE OBRA:** Conjunto de documentos que comprende: memoria descriptiva, especificaciones técnicas, planos de ejecución de obra, metrados, presupuesto, valor referencial, análisis de precios, calendario de avance, fórmulas polinómicas y, si el caso lo requiere, estudio de suelos, estudio geológico, de impacto ambiental u otros complementarios.
- **FATIGA:** Reducción gradual de la resistencia de un material debido a solicitaciones repetidas.
- **GRIETA:** Fractura, de variados orígenes, con un ancho mayor a 3 milímetros, pudiendo ser en forma transversal o longitudinal al eje de la vía.
- **IMPRIMACIÓN:** Aplicación de un material bituminoso, de baja viscosidad, para recubrir y aglutinar las partículas minerales, previamente a la colocación de una capa de mezcla asfáltica.
- **ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL (IMDA):** Volumen promedio del tránsito de vehículos en ambos sentidos durante 24 horas de una muestra vehicular (conteo vehicular), para un período anual.



- **INVENTARIO VIAL:** Registro ordenado, sistemático y actualizado de todas las carreteras existentes, especificando su ubicación, características físicas y estado operativo.
- **MUESTREO:** Investigación de suelos, materiales, asfalto, agua etc., con la finalidad de definir sus características y/o establecer su mejor empleo y utilización.
- **NIVELES DE SERVICIO:** Indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.
- **PAQUETE ESTRUCTURAL:** Es la unión de la carpeta asfáltica, base, sub base, sub rasante y en algunos casos la adición de una geomalla, y que estas a su vez funcionan como una sola unidad.
- **PAVIMENTO:** Estructura construida sobre la sub rasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: sub base, base y rodadura.
- **PAVIMENTO FLEXIBLE:** Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos.
- **POLÍMERO:** Aditivo modificador del asfalto.
- **RESISTENCIA A COMPRESIÓN:** Ensayo de resistencia a la compresión que se realiza colocando una muestra cilíndrica en una prensa al que se le aplica una fuerza hasta la rotura de la muestra o testigo.



- **RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO:** Propiedad de la superficie del pavimento, particularmente cuando esta mojado, para resistir el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos.
- **SUB BASE:** Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.
- **SUB RASANTE:** Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.
- **SUPERFICIE DE RODADURA:** Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye la berma.
- **TESTIGO:** Una muestra cilíndrica de concreto endurecido, de mezcla bituminosa compactada y endurecido usualmente obtenida por medio de una broca diamantina de una máquina extractora.
- **TRAMO:** Parte continúa de una carretera.
- **USUARIO:** Persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza la infraestructura vial pública.
- **VÍA:** Camino, arteria o calle.
- **VIDA ÚTIL:** Lapso de tiempo previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido.
- **(VMA) VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL:** Son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN GENERAL

Se logró demostrar la hipótesis general **“El estado actual del pavimento flexible en la prolongación de la av. la cultura tramo (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIÁN - GRIFO MOBIL DE SAN JERÓNIMO) presenta deformaciones en la estructura del pavimento debido a aspectos constructivos”** ya que mediante ensayos vistos en esta investigación, podemos observar el grafico N° 12 se visualiza que los valores de las briquetas N° 01, 03 y 04 se encuentran dentro de los rangos que establece el instituto del asfalto, y nos dan como valor mínimo 816kg. Teniendo datos de estabilidad.

Briqueta 1: 2183.77 kg;

Briqueta 3: 1373.87 kg;

briqueta 4: 983.09 kg

Y en el grafico N° 13 se observa que la briqueta N° 01 se encuentra en los parámetros establecidos por el instituto del asfalto 8 mm – 14 mm. y las demás briquetas N° 03 y 04 se encuentran por debajo de los parámetros.

Briqueta 1: 9.40 mm;

Briqueta 3: 3.30 mm;

briqueta 4: 4.57 mm

Por otra parte, en la tabla N° 20 se observa que los porcentajes de asfalto tienen un promedio de 7.14% y comprobando con el expediente técnico (existe un resumen en los anexos) en el ítem de las características físicas mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, empleando el método ASTM D-1559 (MTC E 504) “Resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas” (Método Marshall) se puede decir que se encuentran dentro del rango del 6% - 8.5%.

CONCLUSIÓN N° 1

Se ha demostrado la sub hipótesis n° 1 **“La resistencia de la estructura del pavimento de la Av. La Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián - grifo mobil de San Jerónimo) está sub dimensionada para las condiciones actuales de servicio de la vía”** la cual se logró verificar la resistencia al corte de la estructura del pavimento de la Av. La Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián - grifo mobil de San Jerónimo) mediante el ensayo CBR in situ dándonos como resultados CBRs muy bajos tanto para la base (promedio 30%) y sub base (promedio 7%) como se pueden apreciar en el ítem 4.5 y comparando con los valores establecidos por el MANUAL DE CARRETERAS (Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013) en la tabla N° 58 y tabla N° 59 los cuales indican que para la base el CBR debe ser como mínimo 80% y para la sub base debe ser como mínimo 40% respectivamente llegando a la conclusión de que son bajas para las condiciones actuales de servicio de la vía.

CONCLUSIÓN N° 2

Se ha demostrado la sub hipótesis n° 2 **“La falla mayoritaria que dificulta la transitabilidad es el ahuellamiento en el tramo del 4to paradero de San Sebastián al grifo mobil de San Jerónimo”** ya que mediante un inventario vial se logró identificar todas las fallas existentes demostrándose que la falla más presente es el ahuellamiento con un valor máximo de 180 mm y mínimo de 7 mm como se puede apreciar en la tabla N° 41 y 43 llegándose a la conclusión que el ahuellamiento si afecta a la transitabilidad el cual no permite una buena calidad de rodaje de las ruedas de los vehículos y dificultad del paso peatonal.

CONCLUSIÓN N° 3

Se ha demostrado la sub hipótesis n°3 **“Los vehículos que transitan con mayor frecuencia son los del tipo C2, C3 y T3S3; y con un ESAL mayor a $1.7 * 10^7$ ”** ya que mediante el cual se determinó el ESAL y los tipos de vehículos que transitan por la Av. La Cultura tramo (4to paradero de San Sebastián - grifo mobil de San Jerónimo) obteniéndose por medio de un aforo vehicular un IMDA de 23473 vehículos como se puede apreciar en el ítem 4.2, también se tiene que



el porcentaje de vehículos pesados de carga y pasajeros es de 30.74% y un ESAL de $1.17 \cdot 10^7$ el cual es menor al que se estimaba y que los vehículos que transitan con mayor frecuencia son los AUTOS y no como se planteaba los tipos C2, C3 y T3S3.

CONCLUSIÓN N° 4

Se ha demostrado la sub hipótesis n°4 **“Para las condiciones actuales de la vía el espesor del pavimento evaluado cumple para las cargas que transitan actualmente”** ya que mediante la determinación del espesor de la carpeta asfáltica, esto se determinó mediante el ESAL calculado que es de $1.17 \cdot 10^7$ y se puede verificar en la tabla N° 46 que para un ESAL mayor a 7'000,000 el espesor de la carpeta asfáltica es de 4” como se aprecia en el ítem 4.2; se comprobó que el espesor tanto calculado y el que presenta el tramo en estudio así como los indicados en el expediente técnico son iguales estos incluidos en los anexos (resumen expediente técnico cuadro 3.1 y 3.2) y si cumple para las cargas que transitan actualmente.

CONCLUSIÓN N° 5

Se ha demostrado la sub hipótesis n°5 que indica **“Las condiciones de la compactación de la base y sub base satisfacen las necesidades de las cargas vehiculares”** ya que mediante los CBRs obtenidos como se puede apreciar en la tabla N° 57 teniéndose para la base un promedio del 30% y para la sub base un promedio del 7%; se puede concluir que existe una inadecuada compactación del paquete estructural, lo que origina inestabilidad en las capas base y sub base permitiendo el movimiento lateral de los materiales debido a las cargas y no satisfacen las necesidades de las cargas vehiculares.



RECOMENDACIONES

RECOMENDACIÓN N° 01

Se recomienda la presente investigación sirva como apoyo a futuras investigaciones similares a la evaluación del sistema de pavimentos.

RECOMENDACIÓN N° 02

Se recomienda darle continuidad a la presente tesis para mayores y mejores resultados de la evaluación de la carpeta asfáltica

RECOMENDACIÓN N° 03

Se recomienda que se estudie con más frecuencia este tipo de investigaciones con relación a pavimentos flexibles.

RECOMENDACIÓN N° 04

Se recomienda la aplicación de la metodología utilizada en la presente tesis para la evaluación de otras vías importantes en la ciudad del cusco.

RECOMENDACIÓN N° 05

Se recomienda en los diseños de pavimentos asfálticos se verifique por medio de pruebas de laboratorio el contenido de vacíos, flujo, estabilidad, a fin de garantizar la calidad del asfalto utilizado.

RECOMENDACIÓN N° 06

Se recomienda para la carpeta de rodadura, como forma de recuperación ante el mayor tipo de falla (ahuellamiento) la realización de un fresado para el buen funcionamiento.

RECOMENDACIÓN N° 07

Se recomienda realizar un adecuado diseño estructural puesto que se verifico que los espesores indicados en el expediente técnico no son iguales con las encontradas in situ.

**RECOMENDACIÓN N° 08**

Se recomienda realizar un adecuado proceso constructivo para este tipo de infraestructuras viales ya que se pudo observar que a pesar de que se realizaron trabajos de fresado se siguen presentándose deformaciones como el ahuellamiento y esto nos hace indicar que la compactación en las capas inferiores no fue la correcta.

RECOMENDACIÓN N° 09

Se recomienda realizar un estudio más detallado de la estructura del pavimento y si el caso amerite realizar el mantenimiento de la vía hasta que pueda llegar a cumplir con su vida útil.

RECOMENDACIÓN N° 10

Se recomienda realizar la incorporación del diseño de mezclas Superpave para construir mezclas más durables en futuras construcciones de vías sometidas a altas exigencias de carga como es el caso de las autopistas y carreteras.

**REFERENCIAS**

AASHTO, (1993) "Guide for Design of Pavement Structures".

Asphalt Institute, (1982) *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*. Cap.3, del Ms-22. USA

ASPHALT INSTITUTE. (1996). *Asphalt in Pavement Maintenance MS-16*. Third Edition. USA.

Bonett Solano Gabriel Enrique (2014) *Guía de Procesos Constructivos de una Vía en Pavimento Flexible*. Colombia

Carciente Jacob (1970) INSTITUTO DEL ASFALTO. *El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos*. Manual MS-16. Maryland, USA. Versión en Español.

Chang Albitres Carlos M. (2005). *Evaluación, diseño, construcción, gestión: pavimentos, un enfoque al futuro*. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima, Perú.

Consejo de directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica. (2002) *Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles*. Volumen nº 11.

Corros B. Maylin, Urbáez P. Ernesto, Corredor M. Gustavo (2009) *Manual de Evaluación de Pavimentos* (Universidad Nacional de Ingeniería) – Maestría en Vías Terrestres

De Val. M.A y Kraemer, (1993) *C. Firmes y Pavimentos*. Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, España.

Escobar Aguirre Kerin A., García García Alberto A., Guzmán López Carlos R. (2007) *Análisis Comparativo de la Evaluación de*



Pavimentos por medio de la Viga Benkelman y el Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD). Universidad de El Salvador.

Garnica A., P; Gómez L., J.A.; Sesma M., J. A. (2002). *Mecánica de Materiales para Pavimentos.* Publicación Técnica No. 197. Sanfandila, Qro, México

Garnica, P.A. y Gómez, L.J., (2001). *Deformaciones permanentes en Materiales Granulares para la sección estructural de carreteras.* Publicación Técnica No 176. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Instituto Mexicano de Transporte (IMT). México.

Gerard Luc. (2005). *Evaluación de pavimentos e inventario vial. Diseño, Construcción, Mantenimiento de Carreteras. I y IV Congreso de Obras de Infraestructura Vial.* Instituto de la Construcción y Gerencia

Guía de Diseño Estructural de Pavimentos (2002)

Guillermo Thenoux Z. Y Rodrigo Gaete P. (2012) *Evaluación Técnica del Pavimento Y Comparación de Métodos de Diseño de Capas de Refuerzo Asfáltico.*

Huamán Guerrero Néstor W. (2011) *La Deformación Permanente en las Mezclas Asfálticas y el Consecuente Deterioro de los Pavimentos Asfálticos en el Perú.* Universidad Nacional de Ingeniería. Perú

Jugo B. Augusto (Ph.D) (1993) *Manual de Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles*

Melchor A. José (2005). *Diseño y evaluación de pavimentos flexibles.* Curso de titulación profesional por actualización de conocimientos.



Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil.
Lima, Perú.

Miranda Rebolledo Javier Ricardo (2010) *Deterioros en Pavimentos Flexibles y Rígidos*. Universidad Austral de Chile.

M. Sc. Silene Minaya Gonzales, M. Sc. E Ing. Abel Ordóñez Huamán (2006) *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Segunda edición (Universidad Nacional de Ingeniería) Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013) *Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción"* (EG – 2013). Perú

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010) *NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS*. Perú

Montejo F., A. (2006) *Ingeniería de Pavimentos. Tomo II*. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia

MOP, ed. 2001, *Mantenimiento Vial. Manual de Carreteras*, Volumen 7, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Chile.

Padilla Alejandro Rodríguez (2007). Tesis de Grado: *Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos*. Universidad UPC. México.

Rondón H, Reyes F (2009). Artículo: *Deformación Permanente de Materiales Granulares en Pavimentos Flexibles*: Estado del Conocimiento. Revista Ingenierías. Universidad de Medellín. Colombia.

Suárez Cruzado, Wilder David. (2005). *Técnicas de reparación, conservación y rehabilitación de pavimentos asfálticos*. Universidad de Piura. Perú



ANEXOS



ÍNDICE DE ANEXOS

- NORMAS MTC
- RESUMEN EXPEDIENTE TÉCNICO
- ESTUDIO DE TRÁNSITO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS
- PLANOS