



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA EN CONSTRUCCIONES

**“Evaluación de la estructura del pavimento de la Av. 25 de marzo de la ciudad
de Cuenca-Ecuador y propuesta de rehabilitación”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA EN CONSTRUCCIONES**

Autores:

**JUAN PABLO CUBIDES VÁSQUEZ
BRIAN PATRICIO PELÁEZ BRAVO**

Director:

ING. CARLOS LEONARDO ORELLANA QUEZADA. MGST.

CUENCA-ECUADOR

2022

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Sofía y Henry, a mi hermano, Henry Daniel y a mi novia, Karina, que siempre creyeron en mí hasta en los momentos más difíciles de todo este largo camino.

A mis amigos Brian y Andres, que sin todas esas noches sin dormir Y largos días e la universidad no lo hubiéramos logrado.

JUAN PABLO

DEDICATORIA

Una vez terminada la etapa más importante en mi vida, donde se decide el camino que tomaré a lo largo de mi vida, todo este largo proceso donde cada logro y esfuerzo en estos años se los dedico a mis padres Sofía y Henry, a mi hermano Henry Daniel y a mi novia Karina, que, sin su esfuerzo, sin su apoyo, nunca hubiese llegado hasta donde estoy, su trabajo, sus ganas y su lucha me hizo seguir adelante para poder cumplir este sueño. Este logro es tanto suyo como mío.

JUAN PABLO

AGRADECIMIENTO

A mis padres Patricio y Jhaneth, por su esfuerzo, sacrificio y dedicación, y sobre todo su apoyo para concluir este capítulo de mi vida.

A mi esposa Marcela, quien fue mi apoyo incondicional y el pilar de para acabar este sueño y comenzar otro.

A mi hija Francesca, quien me motiva a dar lo mejor de mí, por y para siempre.

A mis hermanas, Jhoanna, Michelle y Cristina, quienes me dieron el ejemplo a seguir, y que la vida es una lucha constante en el aprendizaje.

A mis sobrinos, Dylan, Danna y David, quienes me dieron el respiro y distracción en momentos de presión y estudio.

A mis suegros Fani y Alfredo, conjunto a mi cuñado David, quienes me apoyaron y sustentaron a mi familia en este proceso.

A mis amigos, Juan Pablo y Andrés Tapia, con quienes compartí noches y noches de estudio, y sobre todo una amistad de vida.

BRIAN PATRICIO

DEDICATORIA

Le dedico este triunfo a mis padres, que, a pesar de todo, siempre estuvieron ahí para apoyarme en este proceso, además de regalarme su tiempo, me dieron el mejor regalo que hoy en día son mis valores y principios. Este título no es mío, si no de ustedes.

A mi esposa y a mi hija que siempre serán mi motivación para luchar en el día a día, que son el despertar de mis ojos y la fuerza de mi cuerpo, que jamás me falte su presencia y su amor.

BRIAN PATRICIO

ÍNDICE

1	Datos Generales	20
1.1	Introducción	20
1.2	Antecedentes	21
1.3	Estado del arte	22
1.4	Objetivos	22
1.4.1.	Objetivo general.....	22
1.4.2.	Objetivos específicos	22
1.5.	Alcance.....	23
1.6.	Justificación.....	24
1.7.	Zona de estudio	24
1.7.1.	Ubicación geográfica	24
1.7.2.	Características de la Av. 25 de marzo.....	26
1.8.	Información Geográfica	28
1.9.	Materiales y TIC´s.....	29
1.10.	Marco Teórico	29
1.10.1.	Pavimento	29
1.10.2.	Tipo de pavimento	29
1.10.2.1.	Rígidos.....	29
1.10.2.2.	Flexible	30
1.10.3.	Manual PCI ASTM-D6433-03.....	30
1.10.4.	Índice de Condición de Pavimento (PCI).....	30
1.10.5.	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)	31
1.10.6.	CBR – California Bearing Ratio (Capacidad de soporte)	31
1.10.7.	Fallas en el Pavimento.....	32
2.	Metodología.....	32
2.1.	Evaluación del pavimento	32
2.2.	Unidades de Muestra.....	32
2.2.1.	Unidades de muestra para pavimentos Flexible.....	33
2.2.2.	Selección de las unidades de muestra	33
2.2.3.	Unidades de muestra adicionales	35
2.3.	Identificación de fallas en la Avenida 25 de marzo	35
2.3.1.	Fallas en pavimentos Flexibles (Asfálticos)	35

2.3.1.1.	Piel de cocodrilo	35
2.3.1.2.	Exudación	36
2.3.1.3.	Agrietamiento en bloque	37
2.3.1.4.	Abultamientos y Hundimientos	38
2.3.1.5.	Corrugación	39
2.3.1.6.	Depresión.....	40
2.3.1.7.	Grieta de borde	41
2.3.1.8.	Grieta de reflexión de junta	42
2.3.1.9.	Desnivel carril o berma.....	44
2.3.1.10.	Grietas longitudinales y transversales	45
2.3.1.11.	Parcheo	47
2.3.1.12.	Pulimento de agregados.....	48
2.3.1.13.	Huecos	48
2.3.1.14.	Cruce de vía férrea.....	50
2.3.1.15.	Ahuellamiento	51
2.3.1.16.	Desplazamiento	52
2.3.1.17.	Grietas parabólicas	53
2.3.1.18.	Hinchamiento.....	54
2.3.1.19.	Meteorización	55
2.4.	Obtención del PCI.....	56
2.4.1.	Procedimiento de inspección	56
2.4.1.1.	Materiales	56
2.4.1.2.	Personal requerido	57
2.4.2.	PCI para cada unidad de muestra.....	57
2.4.2.1.	PCI para unidad de muestra en pavimento flexible.....	57
2.4.3.	PCI en la vía en estudio	60
2.5.	Estudios de tráfico.....	61
2.5.1.	Zona de estudio	61
2.5.2.	Aforo vehicular clasificado.....	61
2.5.3.	Clasificación vehicular.....	62
2.5.3.1	Tráfico Observado (To)	62
2.5.3.2.	Factor de expansión (Fe).....	62
2.5.3.3.	Factor Horario (Fh).....	63
2.5.3.4.	Factor diario	63

2.5.3.5.	Factor semanal (Fs).....	64
2.5.3.6.	Factor mensual (Fm).....	64
2.5.4.	Cálculo del TPDA.....	65
2.5.5.	Proctor estándar y modificado	65
2.6.	Capacidad de soporte del suelo (CBR)	69
2.7.	Diseño del nuevo pavimento flexibles	70
2.7.1.	Tasas de crecimiento.....	71
2.7.2.	Clasificación de vehículos	71
2.7.3.	Índice de serviciabilidad	72
2.7.4.	Período de diseño.....	73
2.7.5.	Factor de direccionalidad.....	73
2.7.6.	Factor de distribución por carril.....	74
2.7.7.	Factor de equivalencia de carga.....	74
2.7.8.	Parámetros relacionados con la confiabilidad del diseño	74
2.7.9.	Error estándar combinado (So).....	75
2.7.10.	Módulo resiliente de la subrasante (Mr)	76
2.7.11.	Coefficiente de drenaje (Cd)	76
2.7.12.	Coefficiente estructural	76
2.7.13.	Diseño de refuerzo de concreto asfáltico sobre pavimento flexible.....	77
2.7.14.	Determinación del número estructural requerido para el tránsito futuro (SNf).....	78
2.7.15.	Determinación del número estructural efectivo (SNef).....	78
2.7.16.	Determinación del espesor de refuerzo (Dol)	79
2.7.17.	Ecuación general de la AASHTO	80
3.	Levantamiento y desarrollo de metodología y resultados	80
3.1.	Índice de Condición de Pavimento (PCI).....	80
3.1.1.	Unidades de muestra para pavimento flexible.....	81
3.1.2.	Selección unidades del pavimento flexible.....	83
3.1.3.	Evaluación del pavimento Flexible.....	83
3.1.4.	Levantamiento de fallas y cantidades parciales	84
3.1.4.1	Muestra 1: 0+000.00 – 0+026.00	84
3.1.4.2	Muestra 2: 0+078.00 – 0+104.00	85
3.1.4.3	Muestra 3: 0+0130.00 – 0+156.00	86
3.1.4.4	Muestra 4: 0+182.00 – 0+208.00	86
3.1.4.5	Muestra 5: 0+260.00 – 0+286.00	87

3.1.4.6	Muestra 6: 0+312.00 – 0+336.00	88
3.1.4.7	Muestra 7: 0+390.00 – 0+416.00	88
3.1.4.8	Muestra 8: 0+416.00 – 0+442.00	89
3.1.4.9	Muestra 9: 0+442.00 – 0+453.00	89
3.1.4.10	Muestra 10: 0+453.00 – 0+492.00	89
3.1.4.11	Muestra 11: 0+609.00 – 0+648.00	90
3.1.4.12	Muestra 12: 0+765.00 – 0+804.00	90
3.1.4.13	Muestra 13: 0+804.00 – 0+843.00	91
3.1.4.14	Muestra 14: 0+960.00 – 0+999.00	91
3.1.4.15	Muestra 15: 1+116.00 – 1+155.00	92
3.1.4.16	Muestra 16: 1+155.00 – 1+194.00	92
3.1.4.17	Muestra 17: 1+311.00 – 1+350.00	93
3.1.4.18	Muestra 18: 1+467.00 – 1+506.00	93
3.1.4.19	Muestra 19: 1+623.00 – 1+662.00	94
3.1.4.20	Muestra 20: 1+779.00 – 1+818.00	94
3.1.1.	Cálculo de densidad, valor deducido, número máximo de valores deducidos, valor deducido corregido e Índice de Condición de Pavimento (PCI)	95
3.2.	TPDA	121
3.2.1.	Factores de expansión	126
3.2.1.1.	Factor Horario.....	126
3.2.1.2.	Factor Diario.....	127
3.2.1.3.	Factor Semanal	127
3.1.2.4.	Factor Mensual.....	127
3.1.2.5.	Factor de expansión	127
3.1.2.6.	Tráfico Promedio Diario Anual de la Av. 25 de Marzo	128
3.2.2.	Ensayo Proctor Estándar.....	129
3.3.	Ensayo CBR (California Bearing Ratio).....	131
3.3.1.	Diseño del pavimento	136
3.3.1.1.	Estructura actual del pavimento.	136
3.3.1.2.	Periodo de diseño.....	136
3.3.1.3.	Pavimento flexible.....	136
3.3.2.	Cálculo de factores de equivalencia de carga y ESALS.....	136
3.3.3.	Módulo resiliente y Coeficiente estructural de cada capa	140
3.4.	Propuesta de intervención	142
3.5.	Presupuesto Referencial	142

4. Conclusiones.....	143
5. Recomendaciones	144
6. Referencias	145

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 – 1: Provincia del Azuay, Fuente: Autor, a través de Google Maps.....	25
Ilustración 1 – 2: Ciudad de Cuenca, Fuente: Autor, a través de Google Earth	25
Ilustración 1 – 3: Parroquia Ricaurte y Av. 25 de marzo, Fuente: Autor, a través de Google Earth.....	26
Ilustración 1-4: Longitud de la Av. 25 de marzo, Fuente: Autor, a través de Google Earth. ..	27
Ilustración 1 – 5: Elevación media de la Av. 25 de marzo, Fuente: Autor, a través de Google Earth	27
Ilustración 2-1: Piel de Cocodrilo de severidad media, Fuente: Autor	36
Ilustración 2-2: Exudación de media severidad	37
Ilustración 2-3: Grietas en bloque de media severidad.....	38
Ilustración 2-4: Abultamiento de media severidad.	39
Ilustración 2-5: Corrugación de baja severidad	40
Ilustración 2-6: Depresión de baja severidad.....	41
Ilustración 2-7: Grieta de borde de media severidad	42
Ilustración 2-8: Grieta de reflexión de junta de baja severidad	44
Ilustración 2-9: Desnivel carril/berma de baja severidad	45
Ilustración 2-10: Grietas longitudinales o transversales de baja severidad	46
Ilustración 2-11: Parcheo de media severidad	48
Ilustración 2-12: Pulimento de agregados.....	48
Ilustración 2-13: Hueco de alta severidad.....	49
Ilustración 2-14: Cruce de vía Férrea de baja severidad.....	50
Ilustración 2-15: Ahuellamiento de baja severidad	51
Ilustración 2-16: Desplazamiento de baja severidad	52
Ilustración 2-17: Grieta Parabólica de baja severidad	54
Ilustración 2-18: Hinchamiento	55
Ilustración 2-19: Meteorización de baja severidad	56
Ilustración 2-20: Abaco para determinar el valor deducido de agrietamiento longitudinal/transversal.....	58

Ilustración 2-21: Abaco para determinar el valor deducido corregido según el valor total deducido	60
Ilustración 2-22: Equipo de compactación ideado por R.R. Proctor: a) Molde y b) Pisón	66
Ilustración 3-1: Tramos de la Av. 25 de Marzo	81
Ilustración 3-2: PCI Total de la muestra estudiada.....	121
Ilustración 3-3: Estación de conteo, ubicada cerca de la intersección de la Av. 25 de Marzo con la Av. de los Migrantes	122
Ilustración 3-4: Ubicación de Calicata para toma de muestras para ensayo Proctor y CBR.	129
Ilustración 3-5: Plano detallado de pavimento de lugar de toma de muestra para Proctor y CBR.....	130
Ilustración 3-7: Obtención de la gráfica de densidad seca vs. Humedad óptima, Fuente: autor.	131
Ilustración 3-8: Cálculos para identificar el CBR al 95%,.....	133
Ilustración 3-9: Resultad de ensayos de esponjamiento y penetración,.....	134
Ilustración 3-10: Gráficas de presión vs. Penetración y densidad vs esponjamiento (CBR),	135
Ilustración 3-11: Cálculo del número estructural con el Software” Ecuación AASHTO 93” tercera iteración.....	139
Ilustración 3-12: Presupuesto referencial.....	143

Índice de Tablas

Tabla 1 – 1: Ubicación de la Av. 25 de Marzo	26
Tabla 1 – 2: Características geográficas Av. 25 de Marzo (Sección 1).....	28
Tabla 1 – 3: Características geográficas Av. 25 de Marzo (Sección 2).....	28
Tabla 1 – 4: Características geográficas relevantes de la Av. 25 de Marzo	28
Tabla 2-1: Rangos de severidad de la falla huecos.	49
Tabla 2-2: Tasa de crecimiento vehicular	71
Tabla 2-3: Clasificación de vehículos que pasan la Av. 25 de Marzo	72
Tabla 2-4: Índice de serviciabilidad.....	72
Tabla 2-5: Índice de serviciabilidad final recomendado.....	73
Tabla 2-6: Período de diseño	73
Tabla 2-7: Factor de direccionalidad	73
Tabla 2-8: Factor de distribución por carril	53
Tabla 2-9: Rangos de confiabilidad y desviación estándar.....	75
Tabla 2-10: Clasificación de la vía	75
Tabla 2-11: Porcentaje de humedad próxima a saturación	55
Tabla 2-12: Coeficiente estructural de los materiales que conforman la vía.....	77
Tabla 2-13: Coeficientes estructurales para bases y subbases. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 2-14: Espesores mínimos recomendados	78
Tabla 3-1: Geometría del pavimento flexible	6082
Tabla 3-2: Área de muestro máxima y mínima para pavimentos flexibles	821
Tabla 3-3: Unidades de muestra y sus abscisas	832
Tabla 3-4: Muestra 1 PCI.....	63
Tabla 3-5: Muestra 2 PCI.....	64
Tabla 3-6: Muestra 3 PCI.....	864
Tabla 3-7: Muestra 4 PCI.....	65
Tabla 3-8: Muestra 5 PCI.....	875
Tabla 3-9: Muestra 6 PCI.....	886
Tabla 3-10: Muestra 7 PCI.....	886
Tabla 3-11: Muestra 8 PCI.....	897

Tabla 3-12: Muestra 9 PCI.....	897
Tabla 3-13: Muestra 10 PCI.....	897
Tabla 3-14: Muestra 11 PCI.....	908
Tabla 3-15: Muestra 12 PCI.....	90
Tabla 3-16: Muestra 13 PCI.....	919
Tabla 3-17: Muestra 14 PCI.....	91
Tabla 3-18: Muestra 15 PCI.....	70
Tabla 3-19: Muestra 16 PCI.....	92
Tabla 3-20: Muestra 17 PCI.....	931
Tabla 3-21: Muestra 18 PCI.....	93
Tabla 3-22: Muestra 19 PCI.....	942
Tabla 3-23: Muestra 20 PCI.....	942
Tabla 3-24: Correlación de categoría de acción con un rango de PCI.....	964
Tabla 3-25: Cálculo de Valor Deducido Muestra 1	96
Tabla 3-26: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 1.	97
Tabla 3-27: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 1.....	975
Tabla 3-28: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 1	97
Tabla 3-29: Cálculo de Valor Deducido Muestra 2	98
Tabla 3-30: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 2.	98
Tabla 3-31: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 2.....	98
Tabla 3-32: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 2.....	98
Tabla 3-33: Cálculo de Valor Deducido Muestra 3	99
Tabla 3-34: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 3.	99
Tabla 3-35: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 3.....	99
Tabla 3-36: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 3.....	100
Tabla 3-37: Cálculo de Valor Deducido Muestra 4	100
Tabla 3-38: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 4.	100
Tabla 3-39: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 4.....	101
Tabla 3-40: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 4.....	101
Tabla 3-41: Cálculo de Valor Deducido Muestra 5	101
Tabla 3-42: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 5.	101

Tabla 3-43: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 5.....	102
Tabla 3-44: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 5.....	102
Tabla 3-45: Cálculo de Valor Deducido Muestra 6.....	102
Tabla 3-46: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 6.	103
Tabla 3-47: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 6.....	103
Tabla 3-48: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 6.....	103
Tabla 3-49: Cálculo de Valor Deducido Muestra 7.....	103
Tabla 3-50: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 7.	104
Tabla 3-51: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 7.....	104
Tabla 3-52: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 7.....	104
Tabla 3-53: Cálculo de Valor Deducido Muestra 8.....	104
Tabla 3-54: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 8.	105
Tabla 3-55: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 8.....	105
Tabla 3-56: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 8.....	105
Tabla 3-57: Cálculo de Valor Deducido Muestra 9.....	105
Tabla 3-58: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 9.	106
Tabla 3-59: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 9.....	106
Tabla 3-60: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 9.....	106
Tabla 3-61: Cálculo de Valor Deducido Muestra 10.....	106
Tabla 3-62: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 10.	107
Tabla 3-63: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 10.....	107
Tabla 3-64: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 10.....	108
Tabla 3-65: Cálculo de Valor Deducido Muestra 11.....	108
Tabla 3-66: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 11.	85
Tabla 3-67: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 11.....	108
Tabla 3-68: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 11.....	109
Tabla 3-69: Cálculo de Valor Deducido Muestra 12.....	109
Tabla 3-70: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 12.	109
Tabla 3-71: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 12.....	109

Tabla 3-72: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 12.....	110
Tabla 3-73: Cálculo de Valor Deducido Muestra 13.....	110
Tabla 3-74: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 13.	110
Tabla 3-75: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 13.....	110
Tabla 3-76: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 13.....	111
Tabla 3-77: Cálculo de Valor Deducido Muestra 14.....	111
Tabla 3-78: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 14.	111
Tabla 3-79: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 14.....	111
Tabla 3-80: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 14.....	112
Tabla 3-81: Cálculo de Valor Deducido Muestra 15.....	112
Tabla 3-82: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 15.....	112
Tabla 3-83: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 15.....	113
Tabla 3-84: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 15.....	113
Tabla 3-85: Cálculo de Valor Deducido Muestra 16.....	113
Tabla 3-86: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 16.....	113
Tabla 3-87: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 16.....	114
Tabla 3-88: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 16.....	114
Tabla 3-89: Cálculo de Valor Deducido Muestra 17.....	114
Tabla 3-90: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 17.....	114
Tabla 3-91: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 17.....	115
Tabla 3-92: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 17.....	115
Tabla 3-93: Cálculo de Valor Deducido Muestra 18.....	115
Tabla 3-94: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 18.....	116
Tabla 3-95: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 18.....	116
Tabla 3-96: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 18.....	117
Tabla 3-97: Cálculo de Valor Deducido Muestra 19.....	117
Tabla 3-98: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 19.....	117
Tabla 3-99: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 19.....	118
Tabla 3-100: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 19.....	118

Tabla 3-101: Cálculo de Valor Deducido Muestra 20	117
Tabla 3-102: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 20	119
Tabla 3-103: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 20.....	119
Tabla 3-104: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 20.....	119
Tabla 3-105: Tabla general de valores del PCI.....	120
Tabla 3-106: Conteo vehicular con dirección Sur – Norte de la Av. 25 de Marzo	122
Tabla 3-107: Conteo vehicular con dirección Norte – Sur de la Av. 25 de Marzo.	123
Tabla 3-108: Conteo vehicular total sin bicicletas ni motocicletas de la Av. 25 de Marzo..	125
Tabla 3-109: Tabla de consumo de combustibles anuales.....	125
Tabla 3-110: Tabla de conteo total semanal.	126
Tabla 3-111: Factores del TPDA	128
Tabla 3-112: Proyección TPDA para los próximos 10 años.....	128
Tabla 3-113: Estructura actual del pavimento.	1361
Tabla 3-114: Período de diseño, número estructural e índice de servicio final de la última iteración.....	1372
Tabla 3-115: Cálculo del número de ejes equivalentes de la última iteración.....	1383
Tabla 3-116: Factores de direccionalidad y distribución de la última iteración	113
Tabla 3-117: CBR y Mr	114
Tabla 3-118: Coeficientes estructurales utilizados de las capas	115
Tabla 3-119: Coeficiente de drenaje de las capas del pavimento	1405
Tabla 3-120: Porcentajes de tipos de falla	116
Tabla 3-121: Coeficiente estructurales de las capas del pavimento	1406
Tabla 3-122: Espesores de refuerzo	¡Error! Marcador no definido.7

Índice de Ecuaciones

Ecuación 2-1: Término para unidad de muestra para pavimento flexible	33
Ecuación 2-2: Término para obtener el total de unidades de muestra en pavimento flexible .	34
Ecuación 2-3: Número mínimo de unidades de muestra	34
Ecuación 2-4: Intervalo de separación entre unidades de muestra	34
Ecuación 2-5: Término para obtener el valor deducido (CDV).....	57
Ecuación 2-6: Término para determinar el número máximo de valores admisibles de valores deducidos	58
Ecuación 2-7: Término para obtener el PCI de cada muestra de pavimento flexible.....	61
Ecuación 2-8: Término para obtener el PCI total de toda la vía.....	61
Ecuación 2-9: Factor de expansión	62
Ecuación 2-10: Factor horario	63
Ecuación 2-11: Tráfico promedio diario semanal.....	63
Ecuación 2-12: Factor diario.....	64
Ecuación 2-13: Factor semanal.....	64
Ecuación 2-14: Semanas del mes de conteo	64
Ecuación 2-15: Factor semanal simplificado	64
Ecuación 2-16: Factor mensual.....	65
Ecuación 2-17: Tráfico Promedio Diario Anual.....	65
Ecuación 2-18: Término para obtener la densidad húmeda del suelo	66
Ecuación 2-19: Término para obtener la densidad seca del suelo	67
Ecuación 2-20: Término para obtener la densidad seca con cero vacíos de aire.....	67
Ecuación 2-21: Término para obtener la densidad seca con cero vacíos de aire.....	68
Ecuación 2-22: Término para obtener energía de compactación.....	68
Ecuación 2-23: Término para obtener el CBR.....	69
Ecuación 2-23: Término para obtener el Módulo resiliente (Mr).....	76
Ecuación 2-24: Número estructural efectivo.	78
Ecuación 2-25: Término para obtener el espesor de refuerzo.....	79

Ecuación 2- 26: Espesor de refuerzo AD.....	79
Ecuación 2-27: Factor de transformación	79
Ecuación 3-1: ESALS	137
Ecuación 3-2: Módulo resiliente.....	139

“EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DE LA AVENIDA 25 DE MARZO DE LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN”

RESUMEN

La Avenida 25 de Marzo, es una de las vías colectoras urbana-rural de la ciudad de Cuenca. Esta vía fue analizada en dos tramos, ya que, está tiene espesores diferentes a lo largo de su trayecto, el primer tramo tiene una longitud de 453 metros y 12 metros de ancho, y el segundo tramo tiene una longitud de 1365 metros y 8 metros de ancho, dando un total de 1818 metros de longitud vial. La estructura actual del pavimento está conformada por: carpeta asfáltica de 3”, base granular de 15 cm y una subbase de 25 cm de espesor. Por su alto tráfico y necesidad de mantenimiento, se hizo una evaluación estructural y funcional de la misma, se utilizó el Índice de Condición del Pavimento (PCI) para identificar su condición; el PCI de la vía obtenido fue de 46, que nos indica que la vía se encuentra en un estado regular. Se hizo un análisis de TPDA al año 2022 dando como resultado 19100 vehículos en general, y con la metodología AASHTO 93 se hizo el diseño del refuerzo con concreto asfáltico de 6 pulgadas de espesor para 20 años de vida útil, fresando la carpeta actual 1.5” de espesor, para tolerar el tráfico futuro. El presupuesto de mantenimiento propuesto fue de \$ \$707.276,41

Palabras clave: Índice de condición de pavimento, AASHTO-93, TPDA, evaluación estructural.



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS LEONARDO
ORELLANA QUEZADA**



Firmado electrónicamente por:
**JOSE FERNANDO
VAZQUEZ CALERO**

Ing. Carlos Leonardo Orellana Quezada

Director del trabajo de titulación

Juan Pablo Cubides Vásquez

Autor

Ing. José Fernando Vázquez Calero

Director de Escuela

Brian Patricio Peláez Bravo

Autor

ASSESTMENT OF THE PAVEMENT STRUCTURE OF 25 DE MARZO AVENUE OF THE CITY OF CUENCA-ECUADOR AND REHABILITATION PROPOSA

ABSTRACT

Avenida 25 de Marzo is one of the urban-rural collector roads in Cuenca. This road was analyzed in two sections, since it has different thicknesses along its length. The first section is 453 meters long and 12 meters wide, and the second section is 1,365 meters long and 8 meters wide, giving a total of 1818 meters of road length. The current structure of the pavement is made up of: 3" asphalt layer, 15 cm granular base and a 25 cm thick sub-base. Due to its high traffic and maintenance need, a structural and functional evaluation was made. The Pavement Condition Index (PCI) was used to identify its condition; the PCI of the road obtained was 46, which indicates that the road is in a regular state. An analysis of the TPDA for the year 2022 was carried out, The results showed 19,100 vehicles in general, and with the AASHTO 93 methodology, the reinforcement design was made with 6-inch-thick asphalt concrete for a 20-year useful life, milling the current layer 1.5" thickness, to withstand future traffic. The proposed maintenance budget was \$707.276,41

Keywords: Pavement Condition Index, AASHTO-93, TPDA, structural evaluation.



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS LEONARDO
ORELLANA QUEZADA**



Firmado electrónicamente por:
**JOSE FERNANDO
VAZQUEZ CALERO**

Ing. Carlos Leonardo Orellana Quezada

Director of Degree project

Ing. José Fernando Vázquez Calero

School Director

Juan Pablo Cubides Vásquez
Author



Brian Patricio Peláez Bravo
Author

Translated by Brian Patricio Peláez Bravo

1 Datos Generales

1.1 Introducción

“La infraestructura del sistema vial es uno de los patrimonios más valiosos con que cuenta cualquier país, por lo que su magnitud y calidad representa uno de los indicadores del grado de desarrollo del mismo. En los últimos años, con el aumento cada vez mayor del parque vehicular, la circulación en las calles y carreteras se ha tornado más compleja, motivo por el cual, cobra gran importancia la realización de análisis de planeamiento, proyecto y de operación, más detallados de los sistemas viales, donde es precisamente la ingeniería de tránsito, aquella rama de la ingeniería, la llamada a tratar estos aspectos”. (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018)

El incremento acelerado del parque automotor en la ciudad de Cuenca, requiere que los diseños de pavimento de las vías existentes sean ajustados en función de las proyecciones de tráfico actualizadas. Comúnmente en las urbes de la nación, el poco o nulo mantenimiento de las vías, es un componente que acelera el deterioro de sus pavimentos, a esto se adicionan componentes como: volúmenes de tráfico inesperados (en la composición del pavimento), cargas desmesuradas, etc.

La Avenida 25 de marzo, es una vía de pavimento asfáltico, y uno de los ejes primordiales de la localidad, gracias a su localización y al tránsito promedio diario que acoge. Esta avenida se encuentra al noroeste de la localidad y la atraviesa en sentido Norte-Sur y Sur-Norte en su integridad, siendo sus límites, la Av. De los Migrantes hasta la intersección con las calles: C. Eloy Monje, Vía a Bibin y Miguel Uzhca.

La antigüedad de su estructura de pavimento, las cargas de tráfico y el limitado mantenimiento a propiciado que esta avenida se haya ido deteriorando con el transcurso del tiempo, lo que se manifiesta en toda su longitud con la presencia de piel de cocodrilo, de baches, de hundimientos, meteorización, parches en mal estado , y es por esto que es necesario hacer una evaluación estructural y funcional para identificar su estado presente y plantear probables intervenciones en la capa de rodadura.

1.2 Antecedentes

Las carreteras revolucionan las diversas actividades en cualquier país del mundo, reforzando su economía y emprendiendo nuevos cursos a zonas lejanas para habilitar su interacción y conexión, (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018) “Los incas, en el Perú, realizaron verdaderas obras de ingeniería, dada la accidentada topografía de su suelo, para construir caminos que, aunque no destinados al tránsito de vehículos, denotaban un movimiento importante”, así reiterando que los caminos, aparte que sirven para el tránsito vehicular, sirve para interconectar países, comercios, turismo, y mucho más.

Entre los años de 1974 y 1976, el Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. desarrolló el método del índice de condición del pavimento para obtener un sistema de gestión para pavimentos rígidos y flexibles. Es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento que sigue una metodología de visualización, de fácil implementación, identificando el tipo, cantidad y severidad de las fallas en el pavimento, sea este rígido o flexible (Rodríguez Velásquez, 2009). Es uno de los métodos más completos de evaluación de pavimentos, tanto que ha sido aceptado en la American Society for Testing and Materials (ASTM) en Estados Unidos de Norteamérica, específicamente en el procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos (ASTM D6433-03).

Varios componentes como: el clima variable, el desarrollo urbano, y la utilización durante los años, ha causado que las calles y avenidas de la localidad de Cuenca, pierdan paulatinamente su capacidad de carga, presenten fallas como: fisuras, hundimientos, piel de cocodrilo, parches en mal estado, etc. y por efecto su funcionalidad disminuya. La Avenida 25 de marzo, es una vía de doble sentido de 1823 m. de longitud que se compone en su totalidad de pavimento asfáltico (flexible), se contabilizan sus primeros 453 metros de longitud desde la intersección con la Av. de los Migrantes, con un ancho de 6 m por sentido de circulación, un total de 12 m. y en el tramo más extenso una longitud de 8 m. El flujo vehicular más grande está al inicio de la Avenida de los Migrantes, siendo esta, a donde el tráfico se deriva.

Es responsabilidad del GAD municipal de Cuenca y el GAD de Ricaurte, realizar el mantenimiento de la red vial en el área urbana y rural de acuerdo a sus competencias, quienes han invertido en estudios para evaluar la condición de las vías a su cargo.

1.3 Estado del arte

Las tecnologías aplicadas para una correcta evaluación de la capacidad estructural y funcional de un pavimento, durante su construcción, al momento de su puesta en servicio y a lo largo de su vida útil, son una alternativa muy utilizada en diferentes países del mundo.

Mientras se ejecuta la construcción del pavimento, se llevan a cabo una serie de ensayos para conocer las características propias de los materiales que conformarán la estructura del pavimento, y que éstos cumplan con las especificaciones y requerimientos propios del proyecto. No obstante, todos los ensayos se realizan por capa de material, de manera individual y no se considera el comportamiento de la estructura en conjunto del pavimento. Es importante considerar, que todos los ensayos aplicados durante la construcción del pavimento son realizados en laboratorio, y estos no representan el comportamiento como tal en el sitio de la obra.

Por este motivo, es necesario disponer de indicadores complementarios, para evaluar la estructura del pavimento como un conjunto, una vez que este pasó por una serie de factores agresivos que provocaron deterioro y desgaste en el mismo, y así, poder disponer de planes correctivos para mantener una adecuada serviciabilidad, seguridad y confiabilidad de los usuarios de la vía.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar y proponer una alternativa de intervención que permitan mejorar la condición operacional del pavimento existente en la Av. 25 de marzo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar, clasificar y cuantificar los tipos de fallas existentes a lo largo de la vía según la norma ASTM-D6433-03 (Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos).
- Obtener el Índice de Condición del Pavimento (PCI) de la Avenida 25 de marzo desde la Av. De los Migrantes hasta la intersección con las calles: C. Eloy Monje, Vía a Bibin y Miguel Uzhca.
- Realizar un estudio de tránsito para obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) en la Avenida 25 de Marzo desde la Av. De los Migrantes hasta la intersección con las calles: C. Eloy Monje, Vía a Bibin y Miguel Uzhca.
- Determinación del CBR de la subrasante y de los materiales de la estructura vial.
- Aplicar la normativa AASHTO-93 para la rehabilitación.
- Proponer la intervención adecuada para el tramo estudiado.
- Elaboración de presupuesto para intervención del tramo estudiado.

1.5.Alcance

Para realizar el análisis de la estructura y del funcionamiento del pavimento se efectuará un levantamiento en campo de la información necesaria como son: las características geométricas de la vía, los daños que presenta con su respectiva severidad además de tener el aforo vehicular de la Avenida 25 de marzo.

Para el cálculo del PCI que está dada por la norma ASTM-D6433-03(American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993), se efectúa un muestreo estadístico identificando sus respectivas fallas y nivel de severidad que presenten, para poder obtener el Índice de Condición de Pavimento (PCI).

En cuanto a la obtención del aforo vehicular será realizado en un punto de alta circulación vehicular en la Avenida 25 de marzo, en nuestro caso el aforo se lo realizará de manera manual para así obtener el TPDA mediante el procedimiento descrito por Cal y Mayor, 2018 en *Ingeniería del tránsito, fundamentos y aplicaciones*, y mediante la normativa descrita en la AASHTO-93 (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993) se obtiene el refuerzo del pavimento requerido.

Otro aspecto a analizar es el ensayo CBR (California Bearing Ratio o ensayo de relación de soporte de california que mediante ensayos en laboratorio se obtendrá la capacidad de soporte de la subrasante de la vía, para el diseño de pavimentos.

1.6. Justificación

La red vial en la ciudad de Cuenca tiene una gran importancia para la movilidad de la ciudad, tiene un período de vida útil, pero por el aumento del parque automotor es común que, no se llegue a la vida útil para la que fue diseñada. La avenida 25 de marzo que va ser analizada es una avenida muy importante, por la que circulan diariamente gran cantidad de vehículos livianos y pesados, es una vía de acceso a la parroquia de Ricaurte, al parque industrial de la ciudad, y a varios equipamientos educativos como el Instituto Sudamericano.

Los métodos de análisis propuestos en este trabajo no requieren una inversión alta, ni que interfieran con el tráfico del lugar, estos análisis nos permitirán desarrollar las mejores propuestas de intervención que se puedan realizar para mejorar la estructura y serviciabilidad el pavimento para todos los usuarios que la ocupan diariamente.

1.7.Zona de estudio

1.7.1. Ubicación geográfica

La zona de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, parroquia rural Ricaurte.

Ubicación Ricaurte, Cuenca – Ecuador



Ilustración 1 – 1: Provincia del Azuay, Fuente: Autor, a través de Google Maps.

Azuay: Provincia ubicada al sur de la Región Sierra del Ecuador, limita con las provincias de: Cañar, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Loja, El Oro y Guayas; cuya capital es la ciudad de Cuenca.

Coordenadas: 2°53'00"S 79°00'00"O

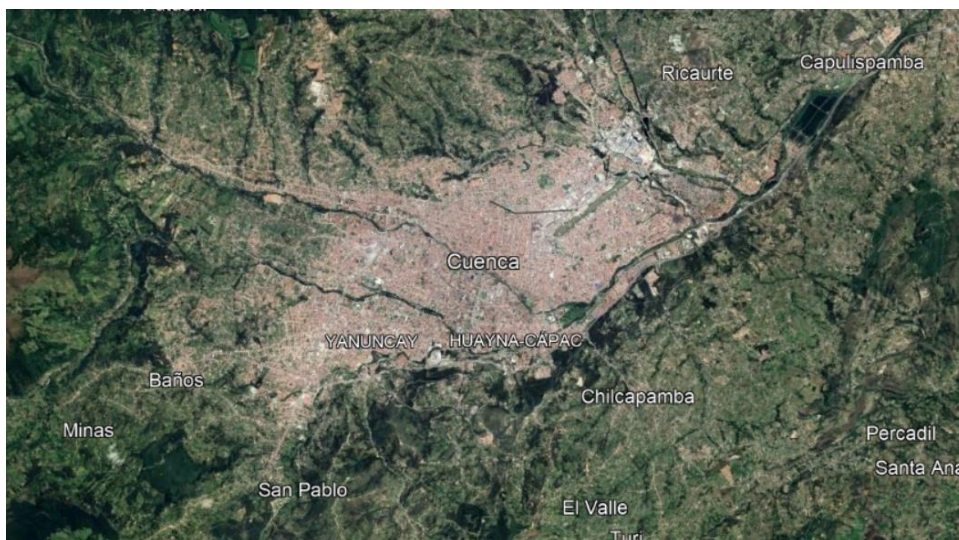


Ilustración 1 – 2: Ciudad de Cuenca, Fuente: Autor, a través de Google Earth

Cuenca, oficialmente Santa Ana de los Cuatro Ríos de Cuenca, es la capital de la provincia del Azuay, la tercera ciudad más grande y poblada del Ecuador, su

centro histórico fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Unesco el 1 de diciembre de 1999.



Ilustración 1 – 3: Parroquia Ricaurte y Av. 25 de marzo, Fuente: Autor, a través de Google Earth

La Tabla 1-1 a continuación presenta la información geográfica de la avenida en estudio.

Tabla 1 – 1: Ubicación de la Av. 25 de Marzo

Av. 25 de Marzo	
Provincia	Azuay
Ciudad	Cuenca
Parroquia	Ricaurte

Fuente: Autor

1.7.2. Características de la Av. 25 de marzo

Las ilustraciones, nos presentan las características geométricas de la Av. 25 de marzo, estas son: Longitud, ancho y elevación media, información presentada además en la tabla 1-2

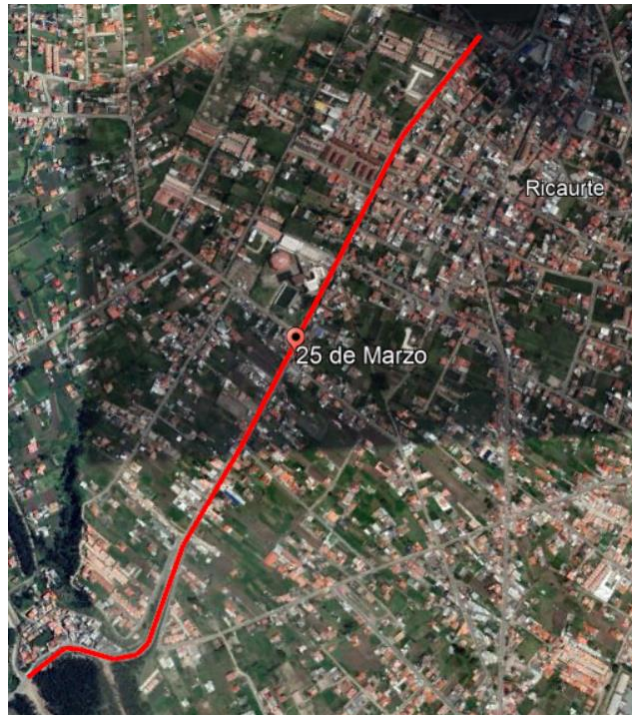


Ilustración 1-4: Longitud de la Av. 25 de marzo, Fuente: Autor, a través de Google Earth.

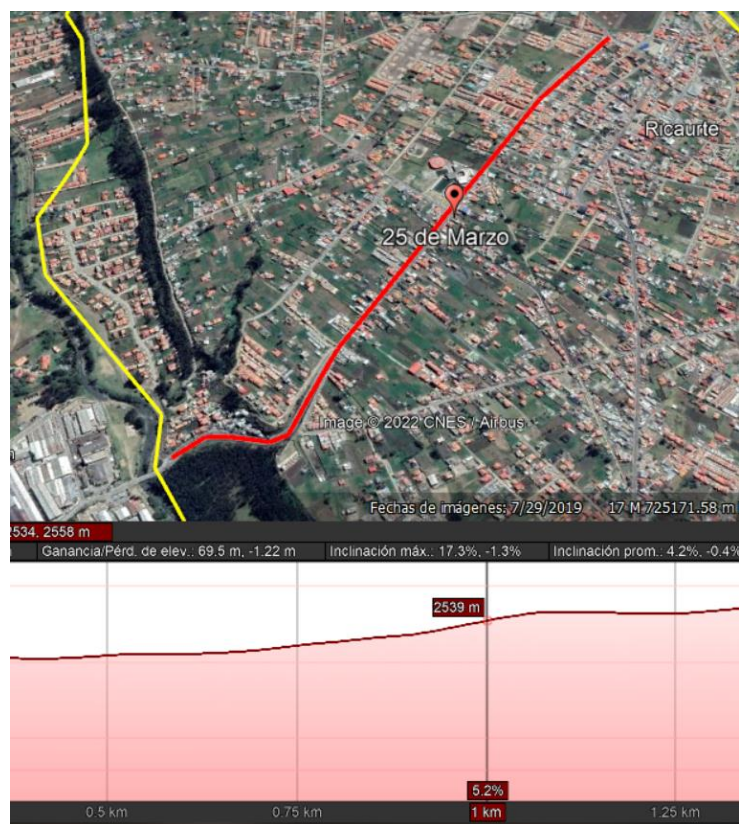


Ilustración 1 – 5: Elevación media de la Av. 25 de marzo, Fuente: Autor, a través de Google Earth

Tabla 1 – 2: Características geográficas Av. 25 de Marzo (Sección 1)

Av. 25 de Marzo (Sección 1)		
Longitud		453.00 m
Ancho		6 m/sentido
Área		5436 m ²
Pavimento flexible	Abscisa inicial	0 + 000.00
	Abscisa final	0 + 453.00

Fuente: Autor

Tabla 1 – 3: Características geográficas Av. 25 de Marzo (Sección 2)

Av. 25 de Marzo (Sección 2)		
Longitud		1365.40 m
Ancho		4 m/sentido
Área		10920 m ²
Pavimento flexible	Abscisa inicial	0 + 453.00
	Abscisa final	1 + 818.00

Fuente: Autor

1.8. Información Geográfica

A continuación, la Tabla 1 – 3 presenta las características geográficas relevantes de la Avenida 25 de marzo.

Tabla 1 – 4: Características geográficas relevantes de la Av. 25 de Marzo

Av. 25 de Marzo		Inicio	Fin
Abscisa		00 + 000.00	01 + 818.40
Elevación (m.s.n.m)		2489	2557
Latitud		2°52'15.46"	2°51'31.31"
Longitud		78°58'29.63"	78°57'55.38"
Coordenadas UTM	Este	725109.22 m E	726169.79 m E
	Norte	9682343.36 m S	9683698.72 m S
Zona		17	17

Fuente: Autor

1.9. Materiales y TIC's

- Casco
- Chalecos
- Tizas
- Flexómetro
- Cinta Métrica
- TcP Gps
- Esferos
- Manual PCI
- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Modelos o plantillas para toma de datos
- Ecuación AASHTO-93

1.10. Marco Teórico

1.10.1. Pavimento

Estructura conformada por una o varias capas de materiales seleccionados, que se construye sobre una superficie denominada subrasante, cuyas funciones son: resistir las cargas impuestas por el tráfico, resistir la acción del medio ambiente, transmitir al suelo de fundación esfuerzo y deformaciones tolerables y brindar una superficie de rodamiento confortable y segura al usuario de la vía.

1.10.2. Tipo de pavimento

1.10.2.1. Rígidos

La rodadura la constituye una losa de hormigón, una subbase constituida por material granular y la subrasante.

1.10.2.2. Flexible

La rodadura la constituye una carpeta de hormigón asfáltico, una capa de base granular o base cemento, una subbase, una capa de material de mejoramiento si es necesario y la subrasante.

1.10.3. Manual PCI ASTM-D6433-03

Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos. Este procedimiento comprende la determinación de la condición del pavimento de caminos y estacionamientos a través de inspecciones visuales usando el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) que cuantifica la condición del pavimento.

1.10.4. Índice de Condición de Pavimento (PCI)

El índice de condición del pavimento es un número que varía entre cero y cien (0-100). Siendo 0 el índice utilizado para referirnos a un pavimento en mal estado y 100 para un pavimento en excelente estado. Después de obtener el índice de condición del pavimento, se puede tomar una decisión con respecto al trabajo de mantenimiento del pavimento. Además, el PCI también nos puede dar una referencia de las causas a las cuales se deben los diferentes tipos de fallos como el medio ambiente o el desgaste por el volumen de tráfico. A más de darnos un índice de la integridad estructural del pavimento, el índice de condición del pavimento refleja la condición operacional de la superficie (Vásquez Varela, 2002)

En la tabla mostrada a continuación podemos observar los rangos de calificación del PCI

Tabla 1 – 5: Clasificación del PCI

RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL PCI

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Fuente: Autor a través de Norma PCI-ASTM-D-6433

1.10.5. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), de una carretera se determina registrando el volumen diario a lo largo de un tiempo mínimo determinado, para un análisis de tráfico, la medición básica más relevante es el conteo o aforo de los vehículos, que se hacen para obtener estimaciones de volúmenes de flujo vehicular.

1.10.6. CBR – California Bearing Ratio (Capacidad de soporte)

“El CBR es un método utilizado para evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, sub-base y base de pavimentos. Este método fue propuesto en 1929 por los ingenieros Stanton y Porter del Departamento de Carreteras de California, de ahí su nombre California Bearing Ratio que en español significa Relación de Soporte California. En algunos países también se le conoce como Valor Relativo Soporte (VRS). Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método CBR se ha generalizado y es una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como sub-rasante o material de base en la construcción de carreteras. Durante la Segunda Guerra Mundial, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos adoptó este ensayo para utilizarlo en la construcción de aeropuertos. El CBR fue concebido en 1933 para diseñar pavimentos flexibles basados en la resistencia al corte. En 1964, aparece la versión para laboratorio en la norma ASTM D 1883 y para campo en la norma ASTM D 4429 dadas por la American Society for Testing and Materials” (Sánchez, 2012).

En este método, al aplicarse una carga a través de una superficie de contacto se desarrollan dos resistencias: una referida al corte perimetral y otra de compresión. El CBR no es una constante del suelo, sino un indicador de la resistencia al corte del suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, obtenidas del ensayo de compactación del Proctor Modificado.

1.10.7. Fallas en el Pavimento

Son indicadores externos que muestran el deterioro del pavimento causados por cargas vehiculares, factores ambientales, una mala construcción del pavimento, o una combinación de ellas. Las fallas más propensas y conocidas que se producen son las fisuras, ahuellamientos y peladuras (Vásquez, 2002).

2. Metodología

2.1. Evaluación del pavimento

Es muy importante conocer las propiedades de los materiales en los pavimentos para una buena gestión de los mismos.

Para poder realizar una propuesta de rehabilitación de manera correcta se debe realizar una inspección visual, levantamiento de fallas, un análisis del tráfico que circula por la avenida estudiada para finalmente diseñar el reforzamiento que debe tener el pavimento.

Para las inspecciones mencionadas tenemos que tener en cuenta las fallas que presenta la capa así mismo su clase, severidad y tamaño de los mismos.

La metodología que se va usar para la evaluación mencionada es la norma de la ASTM-D-6433(American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993), en donde se nos describe el procedimiento a seguir para conocer el Índice de condición de pavimento en Caminos y Estacionamientos.

2.2. Unidades de Muestra

Para realizar un correcto muestreo únicamente tenemos que subdividir el pavimento en secciones con un tamaño estándar, la selección se la realiza dependiendo directamente del tipo de capa de rodadura, una vez ya tengamos dividida en secciones y en unidades de muestra debemos seleccionar las que vayan a ser estudiadas.

2.2.1. Unidades de muestra para pavimentos Flexible

En el pavimento flexible siempre lo confirma en su totalidad una capa de asfalto, en este pavimento para nuestro proyecto tenemos que cuantificarlo y dividirlo en unidades de muestra cómo se expresa a continuación:

1 unidad de muestra equivale a 225 m² (± 90 m² para acoplarse a las condiciones de campo o si es que el área del pavimento no es divisible para 225), representado en la Ecuación 2-2.

$$\text{Unidad de muestra} = 225 \text{ m}^2 (\pm 90 \text{ m}^2)$$

Ecuación 2-1: Término para unidad de muestra para pavimento flexible

2.2.2. Selección de las unidades de muestra

Lo ideal sería evaluar toda la vía, pero por motivos de longitud de la vía o el tamaño de la red vial de una ciudad, se opta por trabajar con número un representativo de unidades de muestra, a fin de optimizar tiempo y recursos.

Por lo tanto, se necesita un procedimiento para definir las unidades de muestreo que se van analizar en función del número total de las unidades en el pavimento.

Para obtener el número de unidades de muestra a ser evaluadas es obligatoriamente necesario tener el total de unidades de muestra (N) que se obtiene mediante la fórmula siguiente para pavimentos flexibles:

$$N = \frac{\text{área total del pavimento}}{\text{área de la unidad de muestra}}$$

Ecuación 2-2: Término para obtener el total de unidades de muestra en pavimento flexible

A continuación, debemos obtener o conocer en base al total de muestras, un número mínimo de unidades de muestra para un correcto levantamiento de información.

El número mínimo de unidades de muestreo seleccionadas se lo obtiene con la Ecuación 2-3, la cual, según (Vásquez, 2002) produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2}$$

Ecuación 2-3: Número mínimo de unidades de muestra

Siendo:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

N: Número total de unidades de muestreo en el tramo de pavimento

e: Error admisible (e=5%)

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades. ($\sigma = 10$ para pavimento flexible)

Ya calculado el número mínimo de unidades de muestra, se puede tomar la primera unidad de manera aleatoria para su análisis, como recomendación se debe tomar una que tenga daño mayor en comparación con las demás unidades de muestra, y las siguientes unidades a tomar, se las selecciona entre un intervalo de separación de muestras mediante la siguiente fórmula:

$$i = \frac{N}{n}$$

Ecuación 2-4: Intervalo de separación entre unidades de muestra

Siendo:

N: Número total de unidades de muestra en el tramo

n: Número de unidades de muestra mínimas a ser evaluadas

Al intervalo i , en caso de no ser exacto, se lo redondeará al inmediato inferior

2.2.3. Unidades de muestra adicionales

Se recomienda analizar o estudiar cualquier unidad de muestreo que esté en el grupo que no se analizó en los pasos anteriores y esta tomarla como unidad de muestra adicional, con frecuencia no se analizan las que han presentado poco daño o no se encuentren fallas en ellas.

2.3. Identificación de fallas en la Avenida 25 de marzo

En el caso de nuestro análisis como se había descrito nuestro pavimento de estudio es un pavimento flexible, en el caso de este tipo de capa de rodadura pueden presentar diversos tipos de fallas que presentamos a continuación en orden de que se encontró en el estudio de las mismas terminando con las que podrían presentarse si se descuida el mantenimiento de la vía.

2.3.1. Fallas en pavimentos Flexibles (Asfálticos)

El anexo N°1 se presenta el formato utilizado para el levantamiento de información (Vásquez, 2002), las fallas que se pueden presentar en un pavimento flexible se indican a continuación:

2.3.1.1. Piel de cocodrilo

Son un conjunto de grietas interconectadas que tienen como origen por fatiga de la capa de rodadura asfáltica por la acción repetida de las cargas de tránsito.

“La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.”
(Vásquez, 2002)

- **Severidad**

L(Bajo): Grietas finas capilares y longitudinales las cuales no se encuentran descascaradas, esto significa que no presentan rotura.

M(Medio): Patrón semejante a la severidad baja, pero con la diferencia que están ligeramente descascaradas.

H(Alto): Se forma una red de grietas que sus piezas que le contienen están claramente definidas y descascaradas.

- **Unidad**

M2(Metros cuadrados)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada, sello superficial.

M: Parcheo parcial o en toda la profundidad.

H: Parcheo parcial.



Ilustración 2-1: Piel de Cocodrilo de severidad media, Fuente: Autor

2.3.1.2.Exudación

Es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento que normalmente puede llegar a ser pegajosa, tiene como origen por el uso excesivo de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de sellante asfáltico

- **Severidad**

L: Exudación muy ligera. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos.

M: La exudación produce que el asfalto se pega a los zapatos y vehículos.

H: La exudación ocurrió de forma extensa y el asfalto se pega a los zapatos y vehículos.

- **Unidad**

Metros Cuadrados(M2)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Se aplica arena / agregados y cilindrado.

H: Se aplica arena / agregados y cilindrado.



Ilustración 2-2: Exudación de media severidad
Fuente: Vásquez, 2002.

2.3.1.3. Agrietamiento en bloque

Grietas interconectadas que dividen al pavimento en pedazos rectangulares tienen como origen por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura

- **Severidad**

L: Bloques definidos por grietas de baja severidad.

M: Bloques definidos por grietas de severidad media

H: Bloques definidos por grietas de alta severidad.

- **Unidad**

Metros Cuadrados(M²)

- **Opciones de reparación**

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

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

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



Ilustración 2-3: Grietas en bloque de media severidad

Fuente: Vásquez, 2002.

2.3.1.4. Abultamientos y Hundimientos

Los abultamientos son pequeños desplazamientos direccionados hacia arriba en la superficie del pavimento y pueden ser originados por levantamiento de losas de cemento con una sobre carpeta de concreto

asfáltico, por expansión por congelación o por infiltración y elevación del material en una grieta.

Los hundimientos al contrario son desplazamientos hacia abajo.

- **Severidad**

L: Estas fallas originan una *calidad de tránsito* de baja severidad.

M: Estas fallas originan una *calidad de tránsito* de severidad media.

H: Estas fallas originan una *calidad de tránsito* de severidad alta.

- **Unidad**

Metros(m)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

H: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.



Ilustración 2-4: Abultamiento de media severidad. Fuente Autor.

2.3.1.5. Corrugación

Conjunto de cimas y depresiones muy cercanas en intervalos regulares es originado por la carga del tráfico en combinación con una carpeta o base inestable.

- **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.

- **Unidad**

Metros Cuadrados(M2)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción.



*Ilustración 2-5: Corrugación de baja severidad
Fuente: Vásquez, 2002.*

2.3.1.6. Depresión

Se encuentran en la superficie del pavimento en la mayoría de casos se las puede observar después de la lluvia, en el caso de que el pavimento

se encuentre seco puede notarse por la acumulación de agua y se ve como manchas, se originan por el asentamiento de la subrasante o una construcción incorrecta.

- **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.

- **Unidad**

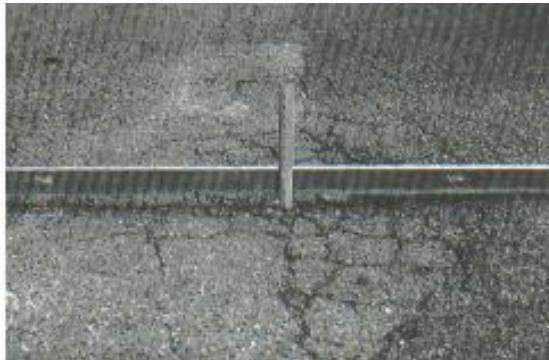
Metros Cuadrados(M2)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo.



*Ilustración 2-6: Depresión de baja severidad
Fuente: Vásquez, 2002.*

2.3.1.7. Grieta de borde

Estas grietas son paralelas, este daño se acelera por las cargas del tránsito y puede tener origen por el debilitamiento, por condiciones climáticas, por la base, por la subrasante.

- **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.

- **Unidad**

Metros(M)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

H: Parcheo parcial – profundo.



*Ilustración 2-7: Grieta de borde de media severidad
Fuente: Vásquez, 2002.*

2.3.1.8. Grieta de reflexión de junta

Solamente se produce en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento se originan principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento por la temperatura o la humedad existente.

- **Severidad**

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm, o
2. Grieta rellena de cualquier ancho

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.
3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.
2. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

- **Unidad**

Metros(M)

- **Opciones de Reparación.**

L: Sellado para anchos superiores a 3.00 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

H: Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.



*Ilustración 2-8: Grieta de reflexión de junta de baja severidad
Fuente: Vásquez, 2002.*

2.3.1.9. Desnivel carril o berma

Esta falla es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma, este daño se produce por la erosión de la berma, el asentamiento de la berma, o la colocación de sobre carpetas sin ajustar nivel de berma.

- **Severidad.**

L: La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25.0 y 51.0 mm.

M: La diferencia está entre 51.0 mm y 102.0 mm.

H: La diferencia en elevación es mayor que 102.00 mm.

- **Unidad**

Metros(M)

- **Opciones de reparación**

L, M, H: Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.



*Ilustración 2-9: Desnivel carril/berma de baja severidad
Fuente: Vásquez, 2002.*

2.3.1.10. Grietas longitudinales y transversales

Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento pueden ser originadas por una junta del pavimento mal construida, por la contracción de la superficie de concreto asfáltico, por el agrietamiento bajo la base.

Las grietas transversales se prolongan a través del pavimento formando ángulos rectos al eje o dirección de construcción.

- **Severidad**

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.
2. Grieta rellena de cualquier ancho.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

- **Unidad**

Metros(M)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo parcial.



Ilustración 2-10: Grietas longitudinales o transversales de baja severidad, Fuente: Autor.

2.3.1.11. Parcheo

Es un área de pavimento que fue reemplazada con otro material para la reparación del pavimento que ya existía este ya se considera un fallo no importa el estado en el que se encuentre.

- **Severidad**

L: El parche está en buena condición buena y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.

M: El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.

H: El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.

- **Unidad**

Metros Cuadrados(M2)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Sustitución del parche.

H: Sustitución del parche.



2.3.1.12. Pulimento de agregados

Este fallo se origina por las cargas de tránsito, este daño se indica cuando el valor en un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo.

- **Severidad**

El daño debe ser significativo para tenerlo en cuenta para la evaluación.

- **Unidad**

Metros Cuadrados(M2)

- **Opciones de reparación**

L, M, H: No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobre carpeta. Fresado y sobre carpeta.

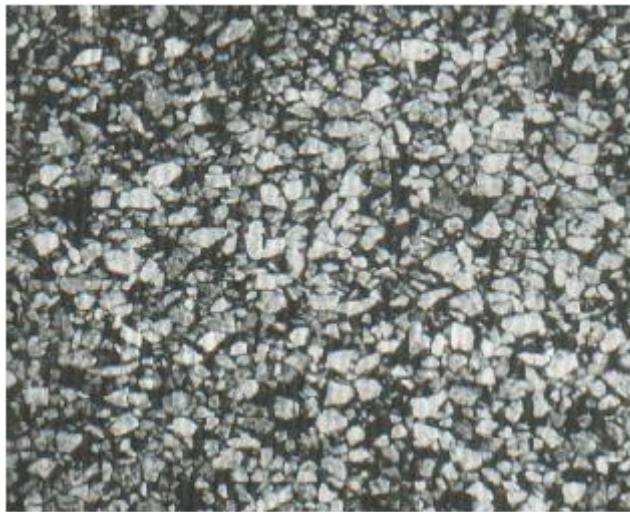


Ilustración 2-12: Pulimento de agregados: Fuente: Vásquez, 2002.

2.3.1.13. Huecos

Estas fallas son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, estas pueden crecer por la acumulación de agua que se produzca, generalmente pueden asociarse a la condición en que se encuentre la estructura del pavimento.

- **Severidad**

Tabla 2-1: Rangos de severidad de la falla huecos.

Profundidad máxima del hueco.	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12.7 a 25.4 mm	L	L	M
> 25.4 a 50.8 mm	L	M	H
> 50.8 mm	M	M	H

Fuente: Vásquez (2002, p. 33).

- **Unidad**

Se los cuenta por nivel de severidad.

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Parcheo parcial o profundo.

H: Parcheo profundo.



Ilustración 2-13: Hueco de alta severidad, Fuente: Autor.

2.3.1.14. Cruce de vía férrea

Depresiones o abultamientos entre rieles.

- **Severidad**

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.

M: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.

H: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.

- **Unidad**

Metros Cuadrados(M2).

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

H: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.



Ilustración 2-14: Cruce de vía Férrea de baja severidad, Fuente: Vásquez, 2002.

2.3.1.15. Ahuellamiento

Esta falla es una depresión en la superficie producida por las huellas de neumáticos, en muchos casos solo es visible después de la lluvia o cuando las huellas estén llenas de agua, esta es originada por una deformación en cualquiera de las capas del pavimento o subrasante, puede derivar a una falla estructural importante en el pavimento.

- **Severidad**

Según profundidad media del ahuellamiento:

L: 6.0 a 13.0 mm.

M: >13.0 mm a 25.0 mm.

H: > 25.0 mm.

- **Unidad**

Metros Cuadrados(M2)

- **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.

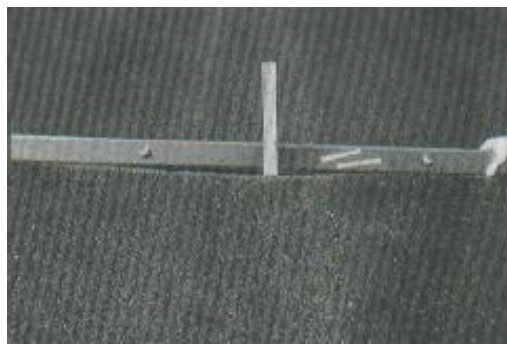


Ilustración 2-15: Ahuellamiento de baja severidad, Fuente: Vásquez, 2002.

2.3.1.16. Desplazamiento

No es nada más que un corrimiento longitudinal y permanente que se encuentra en la superficie del pavimento que se origina por las cargas de tránsito.

- **Niveles de severidad**

L: El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.

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

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

- **Unidad**

Metros Cuadrados(M2)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H: Fresado. Parcheo parcial o profundo.



Ilustración 2-16: Desplazamiento de baja severidad, Fuente: Vásquez, 2002.

2.3.1.17. Grietas parabólicas

Son fallos por deslizamiento y se originan por las rudas de los vehículos que con el frenado hacen que se produzca el deslizamiento puede ocurrir debido a una mezcla asfáltica de baja resistencia.

- **Severidad**

L: Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

- **Unidad**

Metros Cuadrados(M²)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Parcheo parcial.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial.



Ilustración 2-17: Grieta Parabólica de baja severidad, Fuente: Vásquez, 2002.

2.3.1.18. Hinchamiento

Puede estar acompañado de un agrietamiento superficial es originado por el congelamiento en la subrasante o por suelos expansivos.

- **Severidad**

L: El *hinchamiento* causa *calidad de tránsito* de baja severidad.

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

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

- **Unidad**

Metros Cuadrados(M2)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción.



Ilustración 2-18: Hinchamiento, Fuente: Vásquez, 2002.

2.3.1.19. Meteorización

Esta falla se debe a la pérdida de ligante asfáltico y de partículas sueltas del agregado en la superficie del pavimento también puede ser originado por el tránsito como por ejemplo los vehículos de orugas.

- **Severidad**

L: Han comenzado a perderse los agregados o el ligante.

M: Se han perdido los agregados o el ligante.

H: Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante.

- **Unidad**

Metros Cuadrados (M2)

- **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Sello superficial.

H: Tratamiento superficial.



Ilustración 2-19: Meteorización de baja severidad, Fuente: Autor.

2.4.Obtención del PCI

Se debe tener antes que cualquier cálculo la información de todos los tipos de falla que se presenten en el pavimento además de la severidad que tengan así las opciones de reparación de los mismos, con estos valores podremos aplicar la metodología D6433-03 que esta descrita por la ASTM (Sociedad Americana de Testeo y Materiales, que hace referencia al procedimiento para el cálculo del PCI (Índice de Condición de Pavimento)).

2.4.1. Procedimiento de inspección

Para llevar a cabo la investigación de fallas, se requiere entender el tipo de capa de rodadura con el que está compuesto el suelo de la carretera en análisis.

2.4.1.1.Materiales

- Plantillas
- Esferos
- Cuadernos

- Cinta métrica
- Flexómetro
- Manual PCI

2.4.1.2. Personal requerido

Grupo de dos integrantes con medidas de seguridad respectivas.

2.4.2. PCI para cada unidad de muestra

Una vez obtenidos los valores tenemos que calcular el PCI para cada muestra para después obtener el PCI del pavimento total en la Avenida estudiada.

2.4.2.1. PCI para unidad de muestra en pavimento flexible

Al tener identificadas todas las fallas en los tramos se procede a dividir las por tipo de falla y estas por nivel de severidad, una vez calculado el valor total de cada falla esta se la divide para el área total del tramo analizado y así se obtiene la densidad del daño de cada falla en el tramo analizado.

Con estos datos calculado podemos obtener el valor deducido (CDV).

$$\rho = \frac{\text{total de cada falla}}{\text{área de la muestra}}$$

Ecuación 2-5: Término para obtener el valor deducido (CDV)

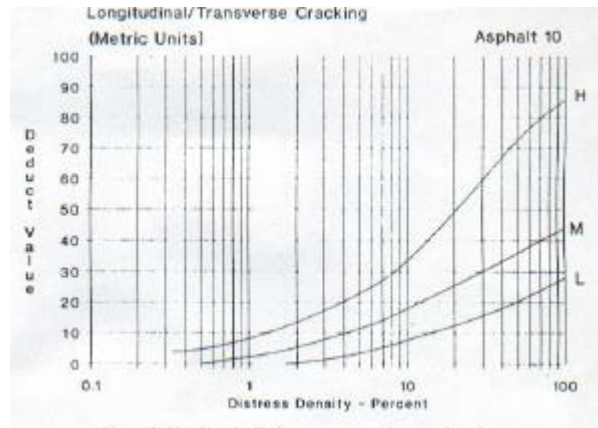


Ilustración 2-20: Abaco para determinar el valor deducido de agrietamiento longitudinal/transversal, Fuente: Autor.

Como ejemplo de imagen podemos ver en el eje de las x la densidad de la falla mientras que en el eje y el valor deducido según la severidad de la falla.

2.4.2.1.1. Número máximo de valores admisible de valores deducidos

Para obtener este valor se debe ordenar mayor a menor los valores deducidos obtenidos por cada tramo analizado, y a este valor se le aplica la siguiente ecuación 2-6:

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - HDV)$$

Ecuación 2-6: Término para determinar el número máximo de valores admisibles de valores deducidos

Siendo:

m: Número máximo admisible de valores deducidos para la unidad de muestreo.

HDV: El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo.

2.4.2.1.2. Cálculo del máximo valor deducible CDV

Se obtiene siguiendo el siguiente proceso:

- Se determine el número de valores deducidos mayores que 2 (q).
- Se determina el valor deducido total sumando todos los valores deducidos individuales.
- Se determina el CDV con “ q ” y el valor deducido total en la curva de corrección.
- Reducir a dos el último de los valores deducidos individuales, que sean mayores que 2 y repetir ambas fases anteriores hasta que sea igual a 1 el mayor CDV. El valor deducible corregido más alto obtenido en este proceso es el CDV de mayor valor.

2.4.2.1.3. Cálculo del máximo valor deducido corregido

Se obtiene de la curva de valor de valor deducido para pavimento flexible según los valores “ q ” obtenidos, se ubica el valor deducido corregido en la tabla antes mencionada hasta que intercepte con la curva “ q ” a la cual se vinculó anteriormente, se realiza este proceso con todos valores deducidos obtenidos de las fallas del mismo tramo y el valor deducido corregido máximo va ser el mayor de todos estos.

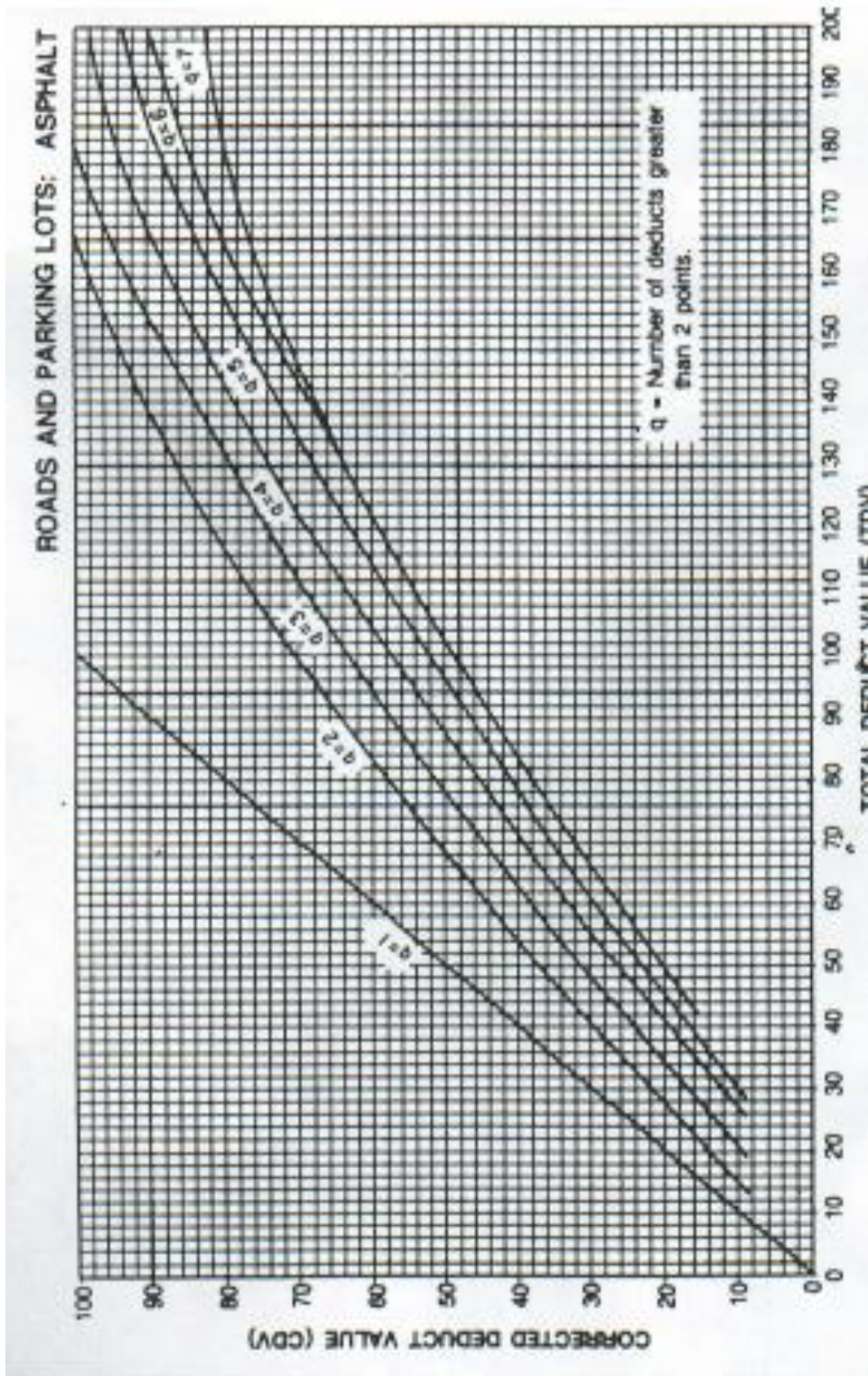


Ilustración 2-21: Abaco para determinar el valor deducido corregido según el valor total deducido, Fuente: Autor.

2.4.3. PCI en la vía en estudio

Se obtiene el PCI de cada tramo de muestra con la siguiente ecuación 2-7:

$$PCI_i = 100 - CVD_{max}$$

Ecuación 2-7: Término para obtener el PCI de cada muestra de pavimento flexible

El PCI total en la vía se obtiene del promedio del PCI de cada muestra en cada uno de los tramos, si existieran se trabaja individualmente, por lo tanto: se promedia el PCI este a su vez se le multiplica por el número de tramos de muestreo inspeccionados y se lo divide para el número total de tramos de muestreo de la sección, esto obteniendo con la siguiente ecuación 2-8:

$$PCI = \frac{PCI_a * A_a}{A_{total}}$$

Ecuación 2-8: Término para obtener el PCI total de toda la vía

2.5. Estudios de tráfico

2.5.1. Zona de estudio

Para identificar el área de estudio, se llevan a cabo observaciones en el sitio, encuestas a los transeúntes y conductores, y los conteos de vehículos desde aproximadamente 45 minutos hasta 1 hora, que pueden determinar las intersecciones o franjas viales con mayor tráfico.

2.5.2. Aforo vehicular clasificado

Una vez seleccionada la intersección con mayor tráfico, se realiza un cómputo clasificado del tráfico vehicular, teniendo en “Además de los sitios de conteo permanentes, el tráfico se cuenta periódicamente o esporádicamente en los varios cientos de otros sitios de conteo. Para estos sitios de conteo, las estimaciones de TPDA deben basarse en conteos de tráfico periódicos cortos, de duraciones que generalmente varían de unas pocas horas a dos semanas...” (Sharma, Gulati & Rizak, 1996). Según Sharma, Gulati & Rizak (1996), la variación en el horario de aforo está en función de la naturaleza de la carretera e intersección analizada.

Por eso realizamos los conteos de medios de transporte de forma continua en recorridos fraccionarios de 15 minutos, durante un tiempo de 12 horas de 06H00 a 18H00.

2.5.3. Clasificación vehicular

Referida a los diferentes arquetipos de medios de transporte que tienen admitida la circulación por las rutas del país, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP, los clasifica de acuerdo al Anexo N°4, en jerarquía de su peso y tamaño.

2.5.3.1 Trafico Observado (To)

El primer paso para la elaboración del TPDA, una vez escogida la ruta y el área de la misma, es proceder con un conteo vehicular catalogado por tiempo es proceder un conteo vehicular catalogado por el tiempo de lapso establecido, resultando de este el tráfico divisado (To) el cual es el dígito total de transportes anotados en el conteo (excluyendo bicicletas y motocicletas).

2.5.3.2. Factor de expansión (Fe)

Debido a que el TPDA se obtiene realizando un conteo vehicular de 24 horas por 365 días, utilizamos el multiplicador de ampliación (Fe) para poder extender 12-14 horas por 1 día promedio de conteo.

El factor de expansión (Fe) se lo calcula con la Ecuación 2-9.

$$Fe = Fh * Fd * Fs * Fm * Fa$$

Ecuación 2-9: Factor de expansión

Siendo:

Fh: Factor horario

Fd: Factor diario

Fs: Factor semanal

Fm: Factor mensual

Fa: Factor anual

Es preciso representar con un conteo automático semanal de 24 horas, en la calle de ensayo, o en alguna ruta de igual clasificación y características; y con una nave de consumo anual de combustibles de no más de 5 años de antigüedad para adquirir los diversos coeficientes.

2.5.3.3. Factor Horario (Fh)

El factor horario (Fh) proyecta el volumen de conteo de 12 horas, a través del conteo automático, a un volumen de conteo de 24 horas.

El factor horario (Fh) se obtiene con la Ecuación 2-10.

$$Fh = \frac{\text{Tráfico diario}}{\text{Tráfico horario}}$$

Ecuación 2-10: Factor horario

Siendo:

Tráfico diario: El tráfico total, obtenido del conteo automático, del día en el que se realizó el conteo manual.

Tráfico horario: El tráfico total, obtenido del conteo automático, del horario en el que se realizó el conteo manual.

2.5.3.4. Factor diario

El factor diario (Fd), planifica la magnitud total de conteo de 1 día, a través del conteo automático, a un volumen de conteo de 7 días.

Para la obtención del factor diario, es preciso obtener el Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS), a través de la Ecuación 2.11.

$$TPDS = \frac{\sum \text{Tráfico diario}}{7}$$

Ecuación 2-11: Tráfico promedio diario semanal

Siendo:

Σ *Tráfico diario*: el total de vehículos del conteo automático.

El factor diario (Fd) se obtiene con la Ecuación 2-12.

$$Fd = \frac{TPDS}{\text{Tráfico diario}}$$

Ecuación 2-12: Factor diario

2.5.3.5. Factor semanal (Fs)

Considerando un mes de 4 semanas, el factor semanal (Fs) es la proyección del mes de conteo a un mes de 28 días, en otras palabras, es la cercanía entre el número de semanas que tiene el mes de conteo a un mes de 4 semanas

El factor semanal (Fs) se obtiene con la Ecuación 2.13.

$$Fs = \frac{\# \text{ semanas del mes de conteo}}{4}$$

Ecuación 2-13: Factor semanal

Siendo:

$$\# \text{ de semanas de conteo} = \frac{\# \text{ días del mes de conteo}}{7}$$

Ecuación 2-14: Semanas del mes de conteo

O bien, simplificando las ecuaciones 2.13 y 2.14:

$$Fs = \frac{\# \text{ días del mes de conteo}}{28}$$

Ecuación 2-15: Factor semanal simplificado

2.5.3.6. Factor mensual (Fm)

El factor mensual (Fm), representa el volumen total de conteo mensual, mediante el conteo automático, a un volumen de conteo anual.

Para el cálculo del factor mensual, es requisito indispensable tener el consumo mensual de combustibles durante un año.

El factor mensual (Fm) se obtiene con la Ecuación 2.16.

$$Fm = \frac{\textit{Promedio de consumo mensual de combustible}}{\textit{Consumo de combustible en el mes de conteo}}$$

Ecuación 2-16: Factor mensual

2.5.4. Cálculo del TPDA

Con los factores de expansión, el Trafico Promedio Diario Anual, se obtiene mediante la ecuación 2-17.

$$TPDA = To * Fe$$

Ecuación 2-17: Tráfico Promedio Diario Anual

Siendo:

To: Tráfico Observado

Fe: Factor de expansión (Ecuación 2-12)

2.5.5. Proctor estándar y modificado

En el área de la construcción de diversas estructuras, tales como carreteras, presas de tierra y demás, los suelos deben ser compactados para que aumenten su consistencia. Con esto aumentan las variadas características de los suelos como su resistencia y capacidad de carga, y disminuyen los asentamientos de las estructuras dándoles estabilidad y seguridad.

Generalmente, la densificación del suelo se trata mediante la compactación del mismo, removiendo el aire existente entre las partículas del suelo, esto requiere de energía mecánica (golpes). La densidad seca del suelo sirve para identificar el grado de compactación del suelo. Al adicionarle agua al suelo mientras se realiza la compactación, está sirve como un lubricante de partículas de suelo, que hace que se deslicen entre sí, permitiendo una densificación mayor del

suelo. Por esta razón, cuando la cantidad de agua en el suelo va aumentando en su compactación, la densidad seca del mismo crece gradualmente.

El incremento de agua sobre el suelo, tiende a minorizar la densidad seca del mismo, ya que, el agua ocupa los espacios que debían ser ocupado por partículas sólidas. La máxima densidad seca obtenida por los esfuerzos de compactación, se lo conoce como contenido de agua óptimo.

La prueba para obtener la densidad seca máxima y el contenido de agua óptimo de un suelo, para la misma energía de compactación, (esfuerzo de compactación), se la denomina como la “prueba proctor”, en esta, el suelo es compactado en un molde estándar, el molde se une a una placa base en el fondo y en un collarín en la parte superior. Mientras se realiza el ensayo o prueba de laboratorio, se le agrega distintas cantidades de agua a la muestra y se le compacta en tres capas iguales por medio de un martillo o pisón, que trasfiere 25 golpes a las distintas capas por medio de la caída libre.

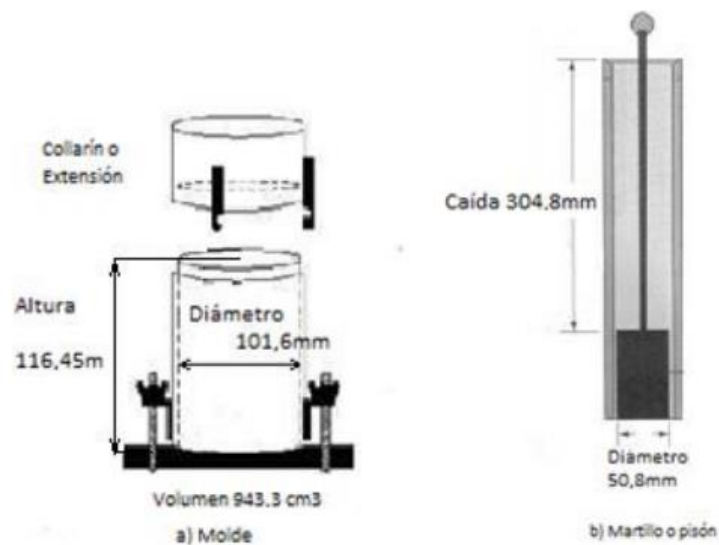


Ilustración 2-22: Equipo de compactación ideado por R.R. Proctor: a) Molde y b) Pisón, Fuente: ASTM D-698 Compactación tipo Proctor Estándar.

La densidad húmeda de compactación se calcula con la siguiente ecuación 2-18:

$$\rho_f = \frac{m}{V}$$

Ecuación 2-18: Término para obtener la densidad húmeda del suelo

Donde:

ρ_f = densidad húmeda del suelo (g/cm³).

m = masa del suelo húmedo compactado en el molde (g).

V = volumen del molde (cm³).

El contenido de agua del suelo compactado, se determina con una cantidad de agua conocida, la densidad seca se obtiene con la ecuación 2-19:

$$\rho_d = \frac{\rho_f}{1 + \omega} = \frac{\rho_f}{1 + \frac{\omega(\%)}{100}}$$

Ecuación 2-19: Término para obtener la densidad seca del suelo

Donde:

ρ_d = densidad seca del suelo (g/cm³).

ρ_f = densidad húmeda del suelo (g/cm³).

ω = contenido de agua (%).

Para obtener la densidad seca máxima y el contenido de agua óptimo para el suelo, se deben graficar los valores de densidad seca ρ_d con los correspondientes contenidos de agua para cada valor.

Al suponer que no existe vacíos entre partículas, se puede deducir que se obtuvo la densidad seca máxima teórica, esto quiere decir que se logró alcanzar un grado de saturación del 100%. Por eso una densidad seca teórica máxima se expresa con la ecuación 2-20:

$$\rho_{zav} = \frac{G_s * \rho_w}{1 + e}$$

Ecuación 2-20: Término para obtener la densidad seca con cero vacíos de aire

Donde:

ρ_{zav} = densidad seca con cero vacíos de aire (g/cm³).

ρ_w = densidad de agua (1 g/cm³).

ω = contenido de agua (%).

G_s = gravedad específica del suelo.

Para determinar el 100% de saturación, $e = \omega \times G_s$, por lo que la ecuación 2-20 también se puede expresar con la ecuación 2-21.

$$\rho_{zav} = \frac{G_s * \rho_w}{1 + \omega \times G_s} = \frac{\rho_w}{\omega + \frac{1}{G_s}}$$

Ecuación 2-21: Término para obtener la densidad seca con cero vacíos de aire

Donde:

ρ_{zav} = densidad seca con cero vacíos de aire (g/cm³).

ρ_w = densidad de agua (1 g/cm³).

ω = contenido de agua (%).

G_s = gravedad específica del suelo.

Por más que se aplique un esfuerzo de compactación severo al suelo, este no lograra eliminar todo el contenido de aire en los vacíos del suelo, la representación en un gráfico a esta expresión se la conoce como curva de cero vacíos de aire o curva de 100% de saturación.

Por demasiada energía de compactación que se le aplique al suelo, este jamás será capaz de rebasar la curva teórica de compactación, ya que esta es inalcanzable.

La prueba de compactación tipo Proctor determina la energía de compactación por unidad de volumen, que, se la puede identificar mediante la siguiente ecuación 2-22:

$$E_c = \frac{[Peso\ del\ pisón(N)] \times [Altura\ de\ caída\ del\ pisón(cm)] \times [N^\circ\ de\ capas] \times [N^\circ\ de\ golpes\ por\ capa]}{Volumen\ del\ molde\ (cm^3)}$$

Ecuación 2-22: Término para obtener energía de compactación

La prueba de compactación Proctor Estándar, se lo realiza con un pisón de 24.4 N (Newtons), alzando el mismo a una altura de 30.48 cm para su caída libre,

dando un total de 25 golpes en 3 capas de suelo distintas, por otro lado, la prueba de compactación Proctor Modificado, se lo realiza con un pisón de 44.5 N, alzándolo a una altura de 45.72 cm para su caída libre, compactando 5 capas de suelo con 25 golpes cada una, en nuestro caso vamos a utilizar el proctor modificado debido a que con este ensayo se da una mayor energía de compactación y refleja con mayor fidelidad las condiciones de compactación que se aplican a una vía.

2.6. Capacidad de soporte del suelo (CBR)

El ensayo CBR evalúa la calidad del suelo para subrasante, subbase y base de pavimentos. Este ensayo mide la resistencia a corte de un suelo bajo condiciones de densidades y humedad controladas, así, obteniendo un porcentaje de relación de soporte del suelo.

El % CBR, está definido como la fuerza requerida, para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, con la ayuda de una prensa de ensayo de capacidad mínima de 44Kn y cabezal o base movable a una velocidad de 1,25mm/min, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material triturado. La probeta normalizada está constituida por un molde metálico cilíndrico de diámetro interior de $152,4 \pm 0,7$ mm y altura de $177,8 \pm 0,1$ mm, un collarín de extensión metálico de 50,8 mm de altura y una placa base metálica de 9,5 mm de espesor, con perforaciones de diámetro igual o menor que 1,60 mm (Medina, Barra & Guzmán, 2008).

Generalmente el número CBR se basa en la relación de carga para una penetración de 2,5mm (0,1”), hay que tener en cuenta que si el valor de CBR a una penetración de 5mm (0,2”) es mayor, el ensayo debe repetirse, pero si en un segundo ensayo se produce nuevamente un valor de CBR mayor de 5 mm de penetración, dicho valor será aceptado como el valor del ensayo (Medina, Barra & Guzmán, 2008).

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100(\%)$$

Ecuación 2-23: Término para obtener el CBR, Fuente: (Medina, Barra & Guzmán, 2008)

El ensayo CBR se realiza sobre una muestra compactada de suelo con un contenido de humedad óptimo obtenido del ensayo de compactación Proctor, en el cual, se confeccionan 3 probetas que poseen distintas energías de compactación (56, 25 y 10 golpes), se sabe compactar a 5 capas cada una. La muestra de suelo recomendada para el ensayo tiene que tener un tamaño aproximadamente de 56 kg y debe contener una pequeña cantidad de material grueso original que pase por el tamiz de 2" y quede retenido por el tamiz ¾" (esta fracción no debe exceder del 20%). Antes de determinar la resistencia a la penetración, generalmente las probetas se saturan durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorables y para determinar su posible expansión (Medina, Barra & Guzmán, 2008).

Una vez que pasaron las 96 horas se debe retirar las probetas del agua y dejarlas drenar por 15 min aproximadamente, inmediatamente se lleva la probeta a la máquina de ensayo y se colocan sobre ella una cantidad de cargas para reproducir una sobrecarga igual a la que supuestamente ejercerá el material de base y pavimento del camino proyectado, además se apoya el pistón de penetración con una carga lo más pequeña posible (no debe exceder de 45 Newton) y se colocaron los diales de lectura de tensión y deformación en cero. Esta carga inicial se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón, pero debe considerarse como carga cero para la relación carga – penetración y así empezar a registrar las lecturas de carga, en los siguientes niveles de penetración: 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 300, 400 y 500 (1/1000"). Finalmente se retira el total de la muestra de suelo del molde y se determina el contenido de humedad de la capa superior, con una muestra de 25 mm de espesor (Medina, Barra & Guzmán, 2008).

2.7. Diseño del nuevo pavimento flexibles

La pavimentación de una vía mejora su movilidad y el nivel de servicio, por lo tanto, es necesario que, en la actualidad, toda vía esté pavimentada, en especial si ésta forma parte de las principales vías de una ciudad. Para el desarrollo del presente trabajo, se ha estudiado como hemos mencionado la Av. 25 de marzo, la cual es una vía colectora que alberga un flujo vehicular elevado, puesto que conecta varias calles en el parque industrial de la ciudad, así como la parroquia Ricaurte. Debido a la concentración

vehicular que posee, el estudio se hizo como un proyecto nuevo, en el cual se realizará la estructura del pavimento completa.

Con el paso del tiempo el pavimento empieza a tener fallas en su estructura debido a diversos factores, como: aumento del flujo vehicular propuesto, exceso de carga de algunos vehículos, comportamiento disímil del pavimento en el tiempo, ausencia del mantenimiento rutinario o periódico, entre otros. Por estos motivos, se diseñará una nueva pavimentación para la Av. 25 de marzo.

Esta avenida como mencionamos antes está totalmente compuesta por un pavimento flexible y nos vamos a basar en el modelo ASSHTO-93 (American Association and Transportation Officials, 1993) para el correspondiente diseño de este tipo de pavimento.

“un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos: Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito (...), ser durable y económico “(Montejo Fonseca, 2002).

2.7.1. Tasas de crecimiento

Tasa de crecimiento vehicular obtenida mediante el modelo logístico (Sánchez & Romero, 2017):

Tabla 2-2: Tasa de crecimiento vehicular

PERIODO	TASA DE CRECIMIENTO VEHICULAR		
	LIVIANOS %	BUSES %	CAMIONES %
2017-2022	4.68	2.15	2.15
2022-2027	4.38	2.15	2.15
2027-2032	4.13	2.15	2.15
2032-2037	3.92	2.15	2.15

Fuente: Sánchez & Romero, (2017).

2.7.2. Clasificación de vehículos

Para clasificar los vehículos se los colocó según los sistemas de ejes típicos que solicitan al pavimento, estos son: simple (SRS, SRD); tándem y trídem; cada uno de ellos con su respectivo peso por eje en toneladas.

Tabla 2-3: Clasificación de vehículos que pasan la Av. 25 de Marzo

TIPO DE VEHÍCULO	TIPO DE EJE		Peso eje Ton
LIVIANOS	SRS	adelante	1
	SRS	atrás	1
BUS	SRS	adelante	7
	TANDEM	atrás	20
CAMIÓN 2DB	SRS	adelante	3
	SRD	atrás	7
CAMIÓN 3A	SRS	adelante	7
	TANDEM	atrás	20
CAMIÓN 4C	SRS	adelante	7
	SRD	atrás	12
	TANDEM		20
CAMION 2S3	SRS	adelante	7
	SRD		12
	TRIDEM		24

Fuente: Autor

2.7.3. Índice de serviciabilidad

Es la capacidad que tiene un pavimento para brindar un uso seguro y confortable, para nuestro caso tomamos un índice de servicio final de 2.5, eligiendo que nuestra vía es una vía colectora dentro de la ciudad, según la siguiente tabla.

Tabla 2-4: Índice de serviciabilidad

Para autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico	$2.5 < \text{PSI}_i < 3$
Para autopistas urbanas y troncales de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas	$2.0 < \text{PSI}_i < 2.5$
Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas	$1.8 < \text{PSI}_i < 2.0$

Fuente: AASHTO.

Tabla 2-5: Índice de serviciabilidad final recomendado

VALOR DE PSI_t	% de usuarios que aceptan como buena la condición de servicio de pavimento
3,0	82
2,5	45
2,0	15
INDICE DE SERVICIALIDAD FINAL RECOMENDADO	
VALOR DE PSI_t	CLASIFICACION DE LA VIA
3,00	Autopistas
2,50	Colectoras
2,25	Calles comerciales e industriales
2,00	Calles residenciales y estacionamientos

Fuente: AASHTO.

2.7.4. Período de diseño

Este período se basa en factores económicos del área de incidencia que tendrá el proyecto, para nuestro caso optamos por un período de 20 años, debido a que la calle se asumió como interurbana de tránsito elevado, según la siguiente tabla.

Tabla 2-6: Período de diseño

Tipo de carretera	Período de diseño recomendado en años
Urbana de tránsito elevada	30-50
Interurbana de tránsito elevado	20-50
Pavimentada de baja intensidad	15-25

Fuente: AASHTO.

2.7.5. Factor de direccionalidad

Este factor nos permite evaluar qué porcentaje de ESALS tomaremos para direccionar nuestro tráfico, en el caso más común se toma como el 50% cuando existe un conteo en una vía con dos sentidos de tráfico como es en nuestro caso de estudio.

Tabla 2-7: Factor de direccionalidad

Carriles en 2 direcciones	Distribución por sentido
---------------------------	--------------------------

2	50%
4	45%
6 o más	10%

Fuente: AASHTO

2.7.6. Factor de distribución por carril

Para tomar el factor se debe tener claro los números de carriles que existen en cada dirección y según este parámetro verificar la siguiente tabla.

Tabla 2-8: Factor de distribución por carril

No. Carriles en C/dirección	% de ESALs en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4 o más	50-75

Fuente: AASHTO

2.7.7. Factor de equivalencia de carga

Dicho factor representa el daño relativo que se produce en un pavimento por ciertas configuraciones de carga dadas, con respecto al producido por un eje, para obtener este factor de equivalencia de carga (LEF) se usó el método de cuantificación según recomendación de ensayo vial AASHTO, para este método existen tablas en Excel (Anexo N°2) en la cuáles se debe insertar el peso por eje en Kips; seleccionar si es de eje simple, Tándem o Trídem; índice de serviciabilidad final y espesor de la losa en caso de pavimentos rígidos o número estructural en pavimentos flexibles.

2.7.8. Parámetros relacionados con la confiabilidad del diseño

La confiabilidad de un diseño de un pavimento es la probabilidad de que una sección de pavimento, diseñada con el procedimiento que se indica en la AASHTO 93, para que tenga un adecuado comportamiento con las condiciones ambientales y de tráfico previstas para el periodo de diseño.

Para el efecto, en función de la clasificación funcional de la vía se selecciona un nivel de confiabilidad que debe tener el diseño de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2-9: Rangos de confiabilidad y desviación estándar.

CONFIABILIDAD R %	DESVIACION ESTÁNDAR Z _r	NORMAL
50	-0.000	
60	-0.253	
70	-0.524	
75	-0.674	
80	-0.841	
85	-1.037	
90	-1.282	
91	-1.340	
92	-1.405	
93	-1.476	
94	-1.555	
95	-1.645	
96	-1.751	
97	-1.881	
98	-2.054	
99	-2.327	
99.9	-3.090	
99.99	-3.750	

Fuente: AASHTO

Tabla 2-10: Clasificación de la vía.

CLASIFICACION DE LA VIA	URBANA	RURAL
Interprovinciales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arteriales principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Autor

2.7.9. Error estándar combinado (S_o)

Representa la desviación estándar conjunta que conjuga la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el período de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir del número de repeticiones del eje de 8.2ton que puede soportar el pavimento hasta que su índice de servicio descienda por debajo de un determinado valor de Pt.

La AASHTO recomienda:

$S_o=0.35$ para pavimento nuevo y

$S_o= 0.40$ para sobrecapas

2.7.10. Módulo resiliente de la subrasante (Mr)

Representa el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de las ruedas. La AASHTO dice que el módulo resiliente se lo obtiene con la Ecuación 2-23.

$$MR = 2555 * CBR^{0.64}$$

Ecuación 2-24: Término para obtener el Módulo resiliente (Mr)

2.7.11. Coeficiente de drenaje (Cd)

Depende de dos características:

- a) La calidad de drenaje, determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento.
- b) El porcentaje de tiempo a lo largo del año durante el cual el pavimento expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.

Como sabemos en la ciudad de Cuenca más del 25% de tiempo llueve en Cuenca por tanto tomamos el coeficiente de la AASHTO de la siguiente tabla:

Tabla 2-11: Porcentaje de humedad próxima a saturación

Calidad Del Drenaje	Porcentaje de tiempo con la estructura expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menor 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor 25%
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,2
Bueno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,0
Regular	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,8
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,6
Muy pobre	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,4

Fuente: AASHTO

2.7.12. Coeficiente estructural

Son coeficientes que están vinculados con parámetros resistentes de los materiales que conforman un pavimento flexible.

Tabla 2-12: Coeficiente estructural para recapeo.

Material	Condición de Superficie	Coeficiente
Concreto Asfáltico	Muy poca piel de cocodrilo y/o fisuras transversales de severidad baja.	0.35 - 0.40
	<10% de piel de cocodrilo de severidad baja y/o <5% de fisuras transversales de severidad media y alta.	0.25 - 0.35
	>10% de piel de cocodrilo de severidad baja y/o <10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o 5-10% de fisuras transversales de severidad media y alta.	0.20 - 0.30
	>10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o <10% de piel de cocodrilo de severidad alta y/o 10% de fisuras transversales de severidad media y alta.	0.14 - 0.20
	>10% de piel de cocodrilo de severidad alta y/o >5% de fisuras transversales de severidad alta.	0.08 - 0.15
Base Estabilizada	Muy poca piel de cocodrilo y/o fisuras transversales de severidad baja.	0.20 - 0.35
	<10% de piel de cocodrilo de severidad baja y/o <5% de fisuras transversales de severidad media y alta.	0.15 - 0.25
	>10% de piel de cocodrilo de severidad baja y/o <10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o 5-10% de fisuras transversales de severidad media y alta.	0.15 - 0.20
	>10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o <10% de piel de cocodrilo de severidad alta y/o 10% de fisuras transversales de severidad media y alta.	0.10 - 0.20
	>10% de piel de cocodrilo de severidad alta y/o >5% de fisuras transversales de severidad alta.	0.08 - 0.15
Base o Sub- base Granular	Sin evidencias de bombeo, degradación o contaminación por finos.	0.10 - 0.14
	Alguna evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos.	0.00 - 0.10

Fuente: AASHTO-93.

2.7.13. Diseño de refuerzo de concreto asfáltico sobre pavimento flexible.

Este diseño del refuerzo se lo realizado con el objetivo de construir una nueva carpeta asfáltica para corregir fallas estructurales en el pavimento, en este

refuerzo se puede incluir actividades como: control de fisuras, mejoramiento del drenaje, fresado, etc.

Se debe realizar posteriormente a estas actividades la colocación del refuerzo de concreto asfáltico.

Es muy importante realizar las reparaciones antes de la colocación del refuerzo de concreto asfáltico, estas reparaciones incluyen las fallas de piel de cocodrilo y fisuras mediante la remoción de material que se encuentre debajo de la carpeta actual.

2.7.14. Determinación del número estructural requerido para el tránsito futuro (SNf)

El cálculo del valor del número estructural SNf se lo realizará mediante el software de la Ecuación de la AASHTO 93.

2.7.15. Determinación del número estructural efectivo (SNef)

Utilizando la Ecuación 2-24 vamos a calcular el número estructural efectivo donde vamos a tener en cuenta los números estructurales para cada capa del pavimento en función del nivel de deterioro, que se encuentran en la Tabla 2-12.

$$SNef = a1 * D1 + a2 * D2 * m2 + a3 * D3 * m3$$

Ecuación 2-25: Número estructural efectivo.

Donde:

SNef: Número estructural efectivo

an: Coeficiente estructural de la n-ésima capa

Dn: Espesor de la n-ésima capa

mn: Coeficiente de drenaje de la n-ésima capa

La simbología de los coeficientes estructurales para cada capa, según su categoría, se presenta en la 2-13.

Tabla 2-13: Coeficiente estructural

Capa Estructural	Coeficiente
Concreto asfáltico	a1
Bases granulares	a2
Bases con cemento	a2

Base bituminosa	a2
Subbase granular	a3

Fuente: Autor, tomado de la UMSS.

2.7.16. Determinación del espesor de refuerzo (Dol)

Calculamos el espesor para cada una de las capas que tiene el pavimento, así como el número estructural efectivo en base a los espesores asumidos según la norma.

$$D_{ol} = \frac{SN_f - SN_{ef}}{a_{ol}}$$

Ecuación 2-26: Término para obtener el espesor de refuerzo

Donde:

Snf: Número estructural

Snef: Número estructural efectivo

Dol: Espesor de refuerzo

aol: coeficiente estructural material (Tabla 2-14)

Adicionalmente se pueden utilizar las Ecuaciones 2-26 para calcular el espesor de refuerzo:

$$Dol = A * (Df - Def)$$

Ecuación 2- 27: Espesor de refuerzo AD

Donde A es el factor que transforma el espesor de refuerzo de hormigón en espesor de refuerzo asfáltico y se determina a partir de la Ecuación 2-27.

$$A = 2,2233 + 0,0099 * (Df - Def)^2 - 0,1534 * (Df - Def)$$

Ecuación 2-28 Factor de transformación

Tabla 2-14: Coeficiente estructural de refuerzo de concreto asfáltico

MODULOS ELASTICOS		VALORES DE a1 en unidades inglesas	VALORES DE a1 en unidades métricas	ESTABILIDAD MA5RSHALL lbs
Psi	MPa			
125.000	875	0,220	0,087	600
150.000	1.050	0,250	0,098	
175.000	1.225	0,280	0,110	
200.000	1.400	0,295	0,116	1000
225.000	1.575	0,320	0,126	
250.000	1.750	0,330	0,130	
275.000	1.925	0,350	0,138	
300.000	2.100	0,360	0,142	1400
325.000	2.275	0,375	0,148	
350.000	2.450	0,385	0,152	
375.000	2.625	0,405	0,159	1800
400.000	2.800	0,420	0,165	
425.000	2.975	0,435	0,171	2000
450.000	3.150	0,440	0,173	

Fuente: Autor, tomado de la AASHTO.

2.7.17. Ecuación general de la AASHTO

Calculamos el espesor para cada una de las capas que tiene el pavimento, así como el número estructural real en base a los espesores asumidos según la norma.

$$\text{Log}_{10}(W_{32}) = Z^*S_o + 9.36 \text{Log}_{10}(\text{SN}+1) - 0.20 + \left| \frac{\text{Log}_{10}\left[\frac{d\text{PSI}}{4.2-1.5}\right]}{0.40 + \left[\frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5.19}}\right]} \right| + 2.32 \text{Log}_{10}(\text{Mr}) - 8.07$$

Ecuación 2-29: Ecuación general de la AASHTO, Fuente: autor.

3. Levantamiento y desarrollo de metodología y resultados

3.1. Índice de Condición de Pavimento (PCI)

Como se indicó previamente, la Avenida 25 de marzo es una vía de doble sentido que tiene 1814 metros de extensión, toda esta vía compuesta por pavimento asfáltico.

3.1.1. Unidades de muestra para pavimento flexible



Ilustración 3-1: Tramos de la Av. 25 de Marzo, Fuente: Autor

La imagen contiene los tramos analizados en la Avenida 25 de marzo conformado por diferentes anchos a lo largo de la vía, ya que el primer tramo tiene un ancho de 14 metros con una longitud de 453 metros, y los tramos

posteriores tienen un ancho de 8 metros con una longitud de 1365 metros cubriendo la totalidad de la vía.

Tabla 3-1: Geometría del pavimento flexible

Geometría del Pavimento Flexible			
Tramo 1		Tramo 2	
Longitud(m)	453	Longitud(m)	1365
Ancho(m)	12	Ancho(m)	8
Área(m ²)	5436	Área(m ²)	10920

Fuente: AASHTO

Según el inciso 2.1.7 de la norma ASTM D6433 el área de muestreo es: 225 ± 90 metros cuadrados, dando los siguientes valores:

Tabla 3-2: Área de muestro máxima y mínima para pavimentos flexibles

Área de muestreo (m ²)	
Área máxima	315
Área mínima	135

Fuente: Autor

Por lo tanto, el valor de área de muestra debe estar comprendido entre el máximo y el mínimo y nosotros obtuvimos un área total de 312 metros cuadrados para todas las muestras.

Mediante la ecuación 2-2 obtenemos el número total de muestras.

Tramo 1

$$N = \frac{453}{26}$$

$N = 17$ Muestras

Tramo 2

$$N = \frac{1365}{39}$$

$N = 35$ Muestras

3.1.2. Selección unidades del pavimento flexible

Aquí se determina el número mínimo de muestras a ser evaluadas, utilizando la ecuación 2-3, redondeando al inmediato superior la respuesta.

$$n = \frac{17 \cdot 10^2}{\frac{5^2}{4} \cdot (17-1) + 10^2}$$

$$n = 9$$

$$n = \frac{35 \cdot 10^2}{\frac{5^2}{4} \cdot (35-1) + 10^2}$$

$$n = 11$$

Mediante la ecuación 2-4. Determinamos el intervalo entre unidades de muestra el cual será redondeado al inmediato inferior.

$$I = \frac{17}{9}$$

$$I = 2.03 = 2$$

El producto nos da un total de 52 unidades de muestra en el pavimento flexible, de las cuales en el tramo 1 serán evaluadas nueve unidades de 17 posibles en intervalo de 2 muestras y en el segundo tramo serán evaluadas 11 unidades de 35 posibles en un intervalo de 3 muestras.

3.1.3. Evaluación del pavimento Flexible

Tabla 3-3: Unidades de muestra y sus abscisas

	Muestra	Unidad de muestra	de	Abscisa Inicial	Abscisa Final
TRAMO 1	1	1		0+000.00	0+026.00
	2	3		0+078.00	0+104.00
	3	5		0+130.00	0+156.00
	4	7		0+182.00	0+208.00
	5	10		0+260.00	0+286.00

	6	12	0+312.00	0+336.00
	7	15	0+390.00	0+416.00
	8	16	0+416.00	0+442.00
	9	17	0+442.00	0+453.00
TRAMO 2	10	18	0+453.00	0+492.00
	11	22	0+609.00	0+648.00
	12	26	0+765.00	0+804.00
	13	27	0+804.00	0+843.00
	14	31	0+960.00	0+999.00
	15	35	1+116.00	1+155.00
	16	36	1+155.00	1+194.00
	17	40	1+311.00	1+350.00
	18	44	1+467.00	1+506.00
	19	48	1+623.00	1+662.00
	20	52	1+779.00	1+818.00

Fuente: Autor

En la tabla 3-3 se puede identificar que se evaluará el total de 20 unidades de muestra del pavimento flexible.

3.1.4. Levantamiento de fallas y cantidades parciales

Para la evaluación del pavimento como se había mencionado previamente se debe hacer un levantamiento de fallas en cada una de las unidades de muestra seleccionadas, para las cuales se obtiene el tipo de falla, la severidad, la unidad de medida, la ubicación, sus características geométricas y sus cantidades, a continuación, se muestra cada levantamiento para cada una de estas muestras seleccionadas para este trabajo en las tablas siguientes:

3.1.4.1 Muestra 1: 0+000.00 – 0+026.00

MUESTRA 1: 0+000.00 - 0+026.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	M	m2	725117	9682355	2.4	1.6		3.84	4.65
1	L	m2	725130	9682360	0.9	0.9		0.81	

10	L	m	725114	9682346	3.7			3.7	6.65
10	L	m	725110	9682348	2.95			2.95	
11	L	m2	725115	9682343	9.3	1.5		13.95	63.3
11	L	m2	725118	9682352	10.3	3.9		40.17	
11	L	m2	725126	9682355	9	1.02		9.18	
19	L	unid	725125	9682366			1	1	2
19	L	unid	725130	9682358			1	1	

Tabla 3-4: Muestra 1 PCI

Fuente: AUTOR.

3.1.4.2 Muestra 2: 0+078.00 – 0+104.00

Tabla 3-5: Muestra 2 PCI

MUESTRA 2: 0+078.00 - 0+104.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	L	m2	725189	9682404	2.35	1.4		3.29	3.29
10	L	m	725183	9682397	1.25			1.25	3.95
10	L	m	725199	9682405	2.7			2.7	
11	L	m2	725168	9682388	6.2	1.5		9.30	145.94

11	L	m2	725168	9682395	16.2	3.27		52.97	
11	L	m2	725175	9682399	1.58	1.2		1.90	
11	L	m2	725184	9682397	8.08	1.86		15.03	
11	L	m2	725197	9682402	3.9	1.9		7.41	
11	L	m2	725200	9682407	5.3	1.2		6.36	
19	M	unid	725175	9682401			1	1	1

Fuente: AUTOR.

3.1.4.3 Muestra 3: 0+0130.00 – 0+156.00

Tabla 3-6: Muestra 3 PCI

MUESTRA 3: 0+130.00 - 0+156.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	L	m2	725234	9682398	2.5	2.3		5.75	8.23
1	L	m2	725242	9682401	2.75	0.9		2.48	
10	L	m	725230	9682398	5.4			5.4	15.21
10	L	m	725240	9682399	0.97			0.97	
10	L	m	725244	9682397	1.8			1.8	
10	L	m	725250	9682394	1.6			1.6	
10	L	m	725253	9682389	2.64			2.64	
10	L	m	725254	9682391	2.8			2.8	
11	L	m2	725228	9682397	1.9	3.5		6.65	20.62
11	L	m2	725250	9682390	5.7	2.45		13.97	

Fuente: AUTOR.

3.1.4.4 Muestra 4: 0+182.00 – 0+208.00

Tabla 3-7: Muestra 4 PCI

Fuente: AUTOR

MUESTRA 4: 0+182.00 - 0+208.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	M	m2	725283	9682386	3.33	1.9		6.33	16.47
1	H	m2	725289	9682387	7.8	1.3		10.14	
10	L	m	725287	9682377	0.8			0.8	2.5
10	L	m	725289	9682376	1.7			1.7	
11	L	m2	725278	9682382	2.9	1.35		3.92	31.90
11	L	m2	725293	9682375	6.4	2.52		16.13	
11	L	m2	725303	9682376	4.88	2.43		11.86	

3.1.4.5 Muestra 5: 0+260.00 – 0+286.00

Tabla 3-8: Muestra 5 PCI

Fuente: Autor.

MUESTRA 5: 0+260.00 - 0+286.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	L	m2	725353	9682392	8.15	0.52		4.24	8.94
1	M	m2	725354	9682391	2.02	1.76		3.56	
1	L	m2	725365	9689682399	3.11	0.37		1.15	
10	L	m	725361	9682396	5.94			5.94	8.20
10	L	m	725365	9682399	2.26			2.26	
11	L	m2	725355	9682388	16.94	3.69		62.51	62.51

3.1.4.6 Muestra 6: 0+312.00 – 0+336.00

Tabla 3-9: Muestra 6 PCI

MUESTRA 6: 0+312.00 - 0+336.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	L	m2	725373	9682427	1.6	1.38		2.21	20.00
1	M	m2	725376	9682431	1.58	1.28		2.02	
1	M	m2	725383	9682442	4.17	0.7		2.92	
1	M	m2	725375	9682441	8	1.35		10.80	
1	M	m2	725379	9682446	1.64	1.25		2.05	
10	M	m	725376	9682425	5.43			5.43	8.57
10	L	m	725378	9682433	3.14			3.14	
11	M	m2	725380	9682435	8.96	1.28		11.47	11.47

Fuente: Autor.

3.1.4.7 Muestra 7: 0+390.00 – 0+416.00

Tabla 3-10: Muestra 7 PCI

MUESTRA 7: 0+390.00 - 0+416.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	L	m2	725407	9682510	4.18	2.23		9.32	9.32
10	M	m	725411	9682517	12.1			12.10	12.10
11	L	m2	725408	9682507	7.89	2.72		21.46	35.78
11	L	m2	725414	9682520	5.82	2.46		14.32	

Fuente: Autor.

3.1.4.8 Muestra 8: 0+416.00 – 0+442.00

MUESTRA 8: 0+416.00 - 0+442.00									
DAÑO	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	M	m2	725419	9682537	4.57	0.08		0.37	15.88
1	M	m2	725422	9682542	9.95	1.18		11.74	
1	M	m2	725419	9682543	1.77	2.13		3.77	
10	L	m	725423	9682547	4.48			4.48	4.48
11	L	m2	725412	9682522	16.24	2.64		42.87	42.87

Tabla 3-11: Muestra 8 PCI

Fuente: Autor

3.1.4.9 Muestra 9: 0+442.00 – 0+453.00

MUESTRA 9: 0+442.00 - 0+453.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	H	m2	725426	9682552	5.63	2.42		13.62	27.41
1	H	m2	725418	9682551	7.92	1.74		13.78	
10	L	m	725423	9682547	4.48			4.48	4.48

Tabla 3-12: Muestra 9 PCI

Fuente: Autor.

3.1.4.10 Muestra 10: 0+453.00 – 0+492.00

MUESTRA 10: 0+453.00 - 0+492.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	H	m2	725422	9682562	9.72	1.78		17.30	141.18
1	H	m2	725430	9682564	4.13	2.13		8.80	
1	H	m2	725431	9682571	10.71	1.67		17.89	
1	H	m2	725434	9682572	13.24	1.55		20.52	
1	H	m2	725427	9682574	3.56	1.94		6.91	
1	H	m2	725433	9682584	11.24	2.47		27.76	
1	H	m2	725440	9682590	6.06	1.38		8.36	
1	L	m2	725442	9682590	9.75	3.45		33.64	

Tabla 3-13: Muestra 10 PCI

Fuente: Autor.

MUESTRA 11: 0+609.00 - 0+648.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	H	m2	725522	9682725	6.53	1.36		8.88	8.88
10	L	m	725503	9682688	9.33			9.33	25.88
10	L	m	725519	9682715	16.55			16.55	
11	L	m2	725516	9682708	1.92	2.1		4.03	4.03
13	L	m2	725513	9682704	2.15	0.82		1.76	2.07
13	L	m2	725517	9682711	0.81	0.2		0.16	
13	L	m2	725519	9682723	0.38	0.39		0.15	

3.1.4.11 Muestra 11: 0+609.00 – 0+648.00

Tabla 3-14: Muestra 11 PCI

Fuente: Autor.

MUESTRA 12: 0+765.00 - 0+804.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
10	M	m	725590	9682831	10.92			10.92	23.68
10	M	m	725601	9682836	1.56			1.56	
10	L	m	725605	9682843	11.2			11.20	
11	L	m2	725593	9682826	34.81	1.8		62.66	62.66
13	L	m2	725587	9682825	0.44	0.26		0.11	0.11

3.1.4.12 Muestra 12: 0+765.00 – 0+804.00

Tabla 3-15: Muestra 12 PCI

Fuente: Autor

MUESTRA 13: 0+804.00 - 0+843.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	M	m2	725614	9682866	5.79	1.5		8.69	8.69
10	M	m	725610	9682856	11.78			11.78	11.78
11	L	m2	725609	9682849	13.23	1.17		15.48	94.65
11	M	m2	725622	9682876	26.76	2.7		72.25	
11	L	m2	725625	9682877	5.64	0.38		2.14	
11	L	m2	725629	9682888	7.34	0.65		4.77	
13	H	m2	725618	9682862	0.52	0.32		0.17	0.17
19	L	unid	725621	9682870			1	1.00	1.00

3.1.4.13 Muestra 13: 0+804.00 – 0+843.00

Tabla 3-16: Muestra 13 PCI

Fuente: Autor.

3.1.4.14 Muestra 14: 0+960.00 – 0+999.00

Tabla 3-17: Muestra 14 PCI

MUESTRA 14: 0+960.00 - 0+999.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	H	m2	725698	9683002	9.19	1.12		10.29	17.54
1	H	m2	725700	9683009	2.5	1.83		4.58	
1	H	m2	725707	9683006	2.47	1.08		2.67	
11	L	m2	725700	9682989	5.07	1.1		5.58	14.62
11	L	m2	725693	9682993	6.51	1.1		7.16	
11	L	m2	725695	9683000	0.82	0.74		0.61	
11	L	m2	725711	9683012	1.77	0.72		1.27	

Fuente: Autor.

MUESTRA 15: 1+116.00 - 1+155.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	H	m2	725777	9683140	4.28	0.37		1.58	11.02
1	M	m2	725781	9683147	11.96	0.74		8.85	
1	M	m2	725788	9683155	1.83	0.32		0.59	
10	M	m	725792	9683153	1.5			1.50	1.50
13	L	m2	725783	9683135	39	0.01		0.39	0.39
19	L	unid	725765	9683126			2	2.00	2.00

3.1.4.15 Muestra 15: 1+116.00 – 1+155.00

Tabla 3-18: Muestra 15 PCI

Fuente: Autor.

3.1.4.16 Muestra 16: 1+155.00 – 1+194.00

Tabla 3-19: Muestra 16 PCI

MUESTRA 16: 1+155.00 - 1+194.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	L	m2	725810	9683182	4.33	3.17		13.73	15.94
1	M	m2	725813	9683188	2.21	1		2.21	
4	H	m	725789	9683171	2.21			2.21	2.21
11	L	m2	725799	9683173	6.68	2.22		14.83	32.98
11	L	m2	725803	9683176	3.76	2.94		11.05	
11	L	m2	725807	9683178	4.18	0.75		3.14	
11	L	m2	725812	9683186	2.04	1.94		3.96	
13	H	m2	725793	9683174	1.26	1.19		1.50	1.50
19	L	unid	725796	9683166			1	1.00	1.00

Fuente: Autor.

MUESTRA 17: 1+311.00 - 1+350.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	M	m2	725867	9683300	1.74	1.34		2.33	9.44
1	M	m2	725869	9683304	3.65	0.82		2.99	
1	H	m2	725882	9683327	3.37	1.22		4.11	
10	H	m	725875	9683304	0.96			0.96	0.96
11	M	m2	725868	9683298	8	3.75		30.00	41.65
11	L	m2	725884	9683317	3.27	2.75		8.99	
11	M	m2	725886	9683324	0.79	3.36		2.65	
13	H	m2	725870	9683295	0.78	0.76		0.59	0.59
19	L	unid	725870	9683301			1	1.00	2.00
19	L	unid	725878	9683318			1	1.00	

3.1.4.17 Muestra 17: 1+311.00 – 1+350.00

Tabla 3-20: Muestra 17 PCI

Fuente: Autor.

3.1.4.18 Muestra 18: 1+467.00 – 1+506.00

MUESTRA 18: 1+467.00 - 1+506.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	H	m2	725945	9683437	2.94	0.81		2.38	13.89
1	H	m2	725947	9683438	2.77	1.28		3.55	
1	L	m2	725963	9683454	4.52	0.85		3.84	
1	M	m2	725964	9683459	2.64	1.56		4.12	
10	M	m	725947	9683441	15.3			15.30	17.20
10	L	m	725956	9683438	1.9			1.90	
11	M	m2	725946	9683438	3.18	1.02		3.24	19.42
11	L	m2	725950	9683439	3.39	3.14		10.64	
11	M	m2	725954	9683444	2.29	1.17		2.68	

11	M	m2	725956	9683443	4.2	0.68		2.86	
13	M	m2	725964	9683461	1.98	2.65		5.25	5.25
19	L	unid	725950	9683430			1	1.00	3.00
19	L	unid	725956	9683440			1	1.00	
19	L	unid	725958	9683449			1	1.00	
MUESTRA 19: 1+623.00 - 1+662.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	L	m2	726037	9683565	4.5	1.55		6.98	19.00
1	L	m2	726046	9683578	7.94	1.08		8.58	
1	M	m2	726054	9683583	6.63	0.52		3.45	
11	L	m2	726040	9683571	3.33	0.73		2.43	17.65
11	L	m2	726043	9683573	0.58	8		4.64	
11	M	m2	726051	9683580	5.04	2.1		10.58	
13	L	m2	726042	9683558	0.71	0.45		0.32	1.15
13	L	m2	726048	9683580	0.82	0.77		0.63	
13	L	m2	726055	9683585	0.64	0.31		0.20	

Tabla 3-21: Muestra 18 PCI

Fuente: Autor.

3.1.4.19 Muestra 19: 1+623.00 – 1+662.00

Tabla 3-22: Muestra 19 PCI

Fuente: Autor.

3.1.4.20 Muestra 20: 1+779.00 – 1+818.00

MUESTRA 20: 1+779.00 - 1+818.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	UBICACIÓN		ÁREA/LONGITUD/UNIDAD			CANTIDADES PARCIALES	TOTAL
			X (m)	Y (m)	L (m)	A (m)	Und		
1	H	m2	726154	9683700	2.5	0.43		1.08	3.51
1	H	m2	726142	9683704	1.92	1.27		2.44	
10	M	m	726149	9683686	0.75			0.75	18.15
10	M	m	726149	9683689	6.4			6.40	
10	M	m	726152	9683692	1.6			1.60	
10	M	m	726154	9683692	8.3			8.30	
10	M	m	726157	9683697	1.1			1.10	
11	L	m2	726138	9683667	5.19	3.49		18.11	65.60
11	L	m2	726141	9683675	0.45	1.43		0.64	
11	L	m2	726143	9683681	4.54	2.06		9.35	

11	M	m2	726144	9683682	2.16	1.89		4.08	
11	M	m2	726149	9683682	5.61	4.46		25.02	
11	H	m2	726163	9683702	3.94	2.13		8.39	
13	H	m2	726150	9683694	2.15	1.37		2.95	
13	H	m2	726159	9683703	1.37	1.4		1.92	6.90
13	H	m2	726160	9683702	1.7	1.2		2.04	
19	M	unid	726163	9683694			1	1.00	1.00

Tabla 3-23: Muestra 20 PCI

Fuente: Autor.

3.1.1. Cálculo de densidad, valor deducido, número máximo de valores deducidos, valor deducido corregido e Índice de Condición de Pavimento (PCI)

- Para obtener la densidad se tiene ordenar las fallas de cada muestra según su severidad para obtener sus cantidades totales, a este valor total se lo divide para el área de la muestra y se obtiene su densidad, y según este dato obtenido, utilizamos los ábacos para cada falla del pavimento flexible ubicados en el Anexo N°3, para obtener el valor deducido.
- Al obtener los valores deducidos se debe obtener el número máximo a utilizar, esto con la ecuación 2-6.

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - HVDi)$$

Siendo:

m: Número máximo de valores deducidos

HVDi: Valor deducido más alto de la muestra analizada

- Como penúltimo paso para obtener el PCI se tiene que calcular el valor deducido corregido, dependiendo del valor (q) obtenido, ya que, a estos valores se los desprecie por su baja severidad en al área analizada y a la cantidad de fallas en cada una de las muestras, esto quiere decir que los valores mayores a 2 van a ser reducidos a 2 en las etapas sub siguientes hasta quedarnos con un solo valor superior a 2. Se suman los valores deducidos ordenados y consecutivo a cada uno de estos valores obtenidos se ordena de forma descendente el número de valores deducidos mayores que 2.

El valor deducido corregido se obtiene con los valores deducidos mayores que 2 y el valor deducido total consecuente el uno del otro, según estos valores nos dirigimos al ábaco de la Ilustración 2-21, dándonos así la respuesta corregida.

- El cálculo del PCI no es más que restar el máximo valor deducido corregido de la muestra analizada (VDC) del número 100. Dependiendo de la respuesta obtenida se clasifica el estado del pavimento con la siguiente tabla:

Tabla 3-24: Correlación de categoría de acción con un rango de PCI

Correlación de categoría de acción con un rango de PCI			
Categoría de acción	Rango	Clasificación	Simbología
Mantenimiento Preventivo	100 - 85	Excelente	
Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico	85 - 70	Muy Bueno	
	70 - 55	Bueno	
Mantenimiento Correctivo	55 - 40	Regular	
Rehabilitación - Refuerzo Estructural	40 -25	Malo	
Rehabilitación - Reconstrucción	25 - 10	Muy Malo	
	10 - 0	Fallado	

Fuente: Autor.

A continuación, se muestran las tablas de cada una de las muestras con los cálculos presentados anteriormente.

Resultados Muestra 1:

-Valor deducido

Tabla 3-25: Cálculo de Valor Deducido Muestra 1

AREA 312		m2		MUESTRA 1: 0+000.00 - 0+026.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO	
PC	M	m ²	3.84							3.84	1.23%	22.5	
PC	L	m ²	0.81							0.81	0.26%	5.14	
GLT	L	m	3.7	2.95						6.65	2.13%	1.22	
PA	L	m ²	13.95	40.17	9.18					63.3	20.29%	24.78	
DAG	L	unid	1	1						2	0.64%	1.89	
												55.53	

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducidos

Tabla 3-26: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 1.

Número de valores deducidos >2 (q)	3
Valor deducido más alto (HVDi)	24.78
Número máximo de valores deducidos (mi)	8

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-27: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 1

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	24.78	22.5	5.14				52.42	3	33.25
2	24.78	22.5	2				49.28	2	36.12
3	24.78	2	2				28.78	1	28.56

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-28: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 1

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC)		36.12
PCI	63.88	ESTADO BUENO

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 2:

AREA 312		m2		MUESTRA 2: 0+078.00 - 0+104.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO	
PC	L	m2	3.29							3.29	1.05%	11.22	
GLT	L	m	1.25	2.7						3.95	1.27%	2.14	
PA	L	m2	9.3	52.97	1.9	15.03	7.41	6.36		92.97	29.80%	27.36	
DAG	M	unid	1							1	0.32%	6.05	

-Valor deducido

Tabla 3-29: Cálculo de Valor Deducido Muestra 2

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducidos

Tabla 3-30: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 2.

Número de valores deducidos >2 (q)	4
Valor deducido más alto (HVDi)	46.77
Número máximo de valores deducidos (mi)	6

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-31: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 2

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	27.36	11.22	6.05	2.14			46.77	4	24.1
2	27.36	11.22	6.05	2			46.63	3	29.98
3	27.36	11.22	2	2			42.58	2	31.87
4	27.36	2	2	2			33.36	1	33.24

Fuente: Autor

-PCI

Tabla 3-32: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 2

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 33.24	
PCI	66.76
ESTADO BUENO	

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 3:

Valor deducido	Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 23.86	
	PCI	76.14 ESTADO MUY BUENO

Tabla

3-33:

Cálculo de Valor Deducido Muestra 3

AREA 312		m2									
MUESTRA 3: 0+130.00 - 0+156.00											
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES						TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
PC	L	m2	5.75	2.48					8.23	2.64%	19.86
GLT	L	m	5.4	0.97	1.8	1.6	2.64	2.8	15.21	4.88%	4.9
PA	L	m2	1.9	5.7					7.6	2.44%	6.67
											31.43

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducidos

Tabla 3-34: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 3.

Número de valores deducidos >2 (q)	3
Valor deducido más alto (HVDi)	19.86
Número máximo de valores deducidos (mi)	8

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-35: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 3

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-36: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 3

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 4:

-Valor deducido

Tabla 3-37: Cálculo de Valor Deducido Muestra 4

N°	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	19.86	6.67	4.9					31.43	3	18.01
2	19.86	6.67	2					28.53	2	20.87
3	19.86	2	2					23.86	1	23.86
AREA 312		m2								
MUESTRA 4: 0+182.00 - 0+208.00										
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
PC	M	m2	6.33					6.33	2.03%	29.04
PC	H	m2	10.14					10.14	3.25%	47.58
GLT	L	m	0.8	1.7				2.5	0.80%	1
PA	L	m2	3.92	16.13	11.86			31.91	10.23%	16.38
										94

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducidos

Tabla 3-38: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 4.

Número de valores deducidos >2 (q)	3
Valor deducido más alto (HVDi)	47.58
Número máximo de valores deducidos (mi)	6

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

N°	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	47.58	29.04	16.38					93	3	59.04

Tabla 3-39:
Cálculo

2	47.58	29.04	2					78.62	2	57.43
3	47.58	2	2					51.58	1	51.58

de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 4

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-40: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 4

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 59.04	
PCI	40.96
ESTADO REGULAR	

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 5:

Valor deducido

Tabla 3-41: Cálculo de Valor Deducido Muestra 5

AREA 312		m2								
MUESTRA 5: 0+260.00 - 0+286.00										
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
PC	L	m2	4.24	1.15				5.39	1.73%	15.67
PC	M	m2	3.56					3.56	1.14%	22.6
GLT	L	m	5.94	2.26				8.2	2.63%	2.24
PA	L	m2	62.51					62.51	20.04%	23.01
										63.52

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducidos

Tabla 3-42: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 5.

Número de valores deducidos >2 (q)	4
Valor deducido más alto (HVDi)	23.01
Número máximo de valores deducidos (mi)	8

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-43: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 5

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 40.15		
PCI	59.85	ESTADO BUENO

Fuente: Autor.

-PCI

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	23.01	22.6	15.67	2.24			63.52	4	35.46
2	23.01	22.6	15.67	2			63.28	3	40.15
3	23.01	22.6	2	2			49.61	2	37.16
4	23.01	2	2	2			29.01	1	29.01

Tabla 3-44: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 5

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 6:

-Valor deducido

Tabla 3-45: Cálculo de Valor Deducido Muestra 6

AREA 312		m2		MUESTRA 6: 0+312.00 - 0+336.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES						TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO		
PC	L	m2	2.21						2.21	0.71%	19.46		
PC	M	m2	2.02	2.92	10.8	2.05			17.79	5.70%	40.02		
GLT	M	m	5.43						5.43	1.74%	5.32		
GLT	L	m	3.14						3.14	1.01%	1		
PA	M	m2	11.47						11.47	3.68%	19.13		
											84.93		

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-46: deducidos mayores que más alto y número

Número de valores deducidos >2 (q)	4
Valor deducido más alto (HVDi)	40.02
Número máximo de valores deducidos (mi)	7

Número de valores 2, valor deducido máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 6.

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-47: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 6

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	40.02	19.46	19.13	5.32			83.93	4	47.96
2	40.02	19.46	19.13	2			80.61	3	51.73
3	40.02	19.46	2	2			63.48	2	46.76
4	40.02	2	2	2			46.02	1	46.02

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-48: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 6

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 51.73	
PCI	48.27
ESTADO REGULAR	

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 7:

-Valor deducido

Tabla 3-49: Cálculo de Valor Deducido Muestra 7

AREA 312		m2				
MUESTRA 7: 0+390.00 - 0+416.00						
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO

PC	L	m2	9.32					9.32	2.99%	20.99
GLT	M	m	12.1					12.1	3.88%	10.01
PA	L	m2	21.46	14.32				35.78	11.47%	24.93
										55.93

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-50: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 7.

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	24.93	20.99	10.01				55.93	3	35.56
2	24.93	20.99	2				47.92	2	35.76
3	24.93	2	2				28.93	1	29.86

Número de valores deducidos >2 (q)	3
Valor deducido más alto (HVDi)	24.93
Número máximo de valores deducidos (mi)	8

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-51: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 7

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-52: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 7

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 35.76	
PCI	64.24
ESTADO BUENO	

Fuente: Autor

Resultados Muestra 8:

-Valor deducido

Tabla 3-53: Cálculo de Valor Deducido Muestra 8

AREA 312	m2
MUESTRA 8: 0+416.00 - 0+442.00	

FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
PC	M	m2	0.37	11.74	3.77					15.88	5.09%	39.17
GLT	L	m	4.48							4.48	1.44%	1
PA	L	m2	42.87							42.87	13.74%	18.76
												58.93

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-54: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 8.

Número de valores deducidos >2 (q)	2
Valor deducido más alto (HVDi)	39.17
Número máximo de valores deducidos (mi)	7

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-55: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 8

N°	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	39.17	18.76					57.93	2	42.97	
2	39.17	2					41.17	1	41.17	

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-56: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 8

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC)	42.97
PCI	57.03
ESTADO	BUENO

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 9:

-Valor deducido

Tabla 3-57: Cálculo de Valor Deducido Muestra 9

AREA	136	m2
MUESTRA 9: 0+442.00 - 0+453.00		

FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES						TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
PC	H	m2	13.62	13.78					27.4	20.15%	56.52
GLT	L	m	4.48						4.48	3.29%	1.24
											57.76

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-58: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 9.

Número de valores deducidos >2 (q)	1
Máximo Valor Deducido Corregido (VDC)	56.52
PCI	43.48
ESTADO	REGULAR

Autor.

Fuente:

-Valor deducido corregido

Tabla 3-59: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 9

N°	VALORES DEDUCIDOS	VDT	q	VDC
1	56.52	56.52	1	56.52

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-60: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 9

Fuente: Autor

Resultados Muestra 10:

-Valor deducido

AREA 312	m2
----------	----

MUESTRA 10: 0+453.00 - 0+492.00							
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES	TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO	
PC	H	m2	Número de valores deducidos >2 (q)	2	54	34.47%	78.66
PC	L	m2	Valor deducido más alto (HVDi)	78.66	4	10.78%	33.26
			Número máximo de valores deducidos (mi)	3			111.92

Tabla 3-61: Cálculo de Valor Deducido Muestra 10

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-62: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 10.

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-63: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 10

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	78.66	33.26					111.92	2	77.58
2	78.66	2					80.66	1	80.66

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-64: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 10

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 80.66	
PCI	19.34
ESTADO MUY MALO	

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 11:

-Valor deducido

Tabla 3-65: Cálculo de Valor Deducido Muestra 11

AREA 312		m2								
MUESTRA 11: 0+609.00 - 0+648.00										
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
PC	H	m2	8.88					8.88	2.85%	20.95
GLT	L	m	9.33	16.55				25.88	8.29%	8.1
PA	L	m2	4.03					4.03	1.29%	3.2
HUEC	L	und	1.76	0.16	0.15			2.07	0.66%	14.8
										47.05

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-66: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 11

Número de valores deducidos >2 (q)	4
Valor deducido más alto (HVDi)	20.95
Número máximo de valores deducidos (mi)	8

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-67: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 11

N°	VALORES DEDUCIDOS					VDT	q	VDC
1	20.95	14.8	8.1	3.2		47.05	4	24
2	20.95	14.8	8.1	2		45.85	3	28.51
3	20.95	14.8	2	2		39.75	2	28.75
4	20.95	2	2	2		26.95	1	26.95

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-68: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 11

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 28.75	
PCI	71.25: ESTADO MUY BUENO

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 12:

-Valor deducido

Tabla 3-69: Cálculo de Valor Deducido Muestra 12

AREA 312		m2		MUESTRA 12: 0+765.00 - 0+804.00								
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
GLT	L	m2	11.2							11.2	3.59%	3
GLT	M	m2	10.92	1.56						12.48	4.00%	10
PA	L	m	62.66							62.66	20.08%	23
HUEC	L	und	0.11							0.11	0.04%	1
												37

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-70: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 12.

Número de valores deducidos >2 (q)	3
Valor deducido más alto (HVDi)	23
Número máximo de valores deducidos (mi)	8

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-71: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 12

N°	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	23	10	3					36	3	21
2	23	10	2					35	2	35.9
3	23	2	2					27	1	27

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-72: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 12

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 35.9	
PCI	64.1
ESTADO BUENO	

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 13:

-Valor deducido

Tabla 3-73: Cálculo de Valor Deducido Muestra 13

AREA 312		m2									
MUESTRA 13: 0+804.00 - 0+843.00											
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES						TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
PC	M	m2	8.69						8.69	2.79%	32.3
GLT	M	m	11.78						11.78	3.78%	11.1
PA	L	m2	15.48	2.14	4.77				22.39	7.18%	12
PA	M	m2	72.25						72.25	23.16%	42.2
HUEC	H	unid	0.17						0.17	0.05%	20
DAGR	L	unid	1						1	0.32%	1.8
											119.4

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-74: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 13.

Número de valores deducidos >2 (q)	5
Valor deducido más alto (HVDi)	42.2
Número máximo de valores deducidos (mi)	6

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	42.2	32.3	20	12	11.1		117.6	5	61.88
2	42.2	32.3	20	12	2		108.5	4	62.52
3	42.2	32.3	20	2	2		98.5	3	62.48

4	42.2	32.3	2	2	2			80.5	2	58
5	42.2	2	2	2	2			50.2	1	50.2

Tabla 3-75: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 13

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-76: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 13

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 62.52	
PCI	37.48
ESTADO MALO	

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 14:

-Valor deducido

Tabla 3-77: Cálculo de Valor Deducido Muestra 14

AREA 312		m2		MUESTRA 14: 0+960.00 - 0+999.00							
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO	
PC	H	m2	10.29	4.58	2.67				17.54	5.62%	58.5
PA	L	m2	5.58	7.16	0.61	1.27			14.62	4.69%	9.95
											68.45

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-78: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 14.

Número de valores deducidos >2 (q)	2
Valor deducido más alto (HVDi)	58.5
Número máximo de valores deducidos (mi)	5

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-79: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 14

N°	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	58.5	9.95						68.45	2	50
2	58.5	2						60.5	1	60.5

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-80: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 14

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 60.5	
PCI	39.5
ESTADO MALO	

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 15:

-Valor deducido

Tabla 3-81: Cálculo de Valor Deducido Muestra 15

AREA 312		m2		MUESTRA 15: 1+116.00 - 1+155.00								
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
PC	H	m2	1.58							1.58	0.51%	24.1
PC	M	m2	8.85	0.59						9.44	3.03%	36.7
HUEC	L	unid	0.39							0.39	0.13%	3
DAGR	L	unid	2							2	0.64%	2.7
GLT	M	m	1.5							1.5	0.48%	1
												67.5

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-82: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 15

Número de valores deducidos >2 (q)	4
Valor deducido más alto (HVDi)	36.7
Número máximo de valores deducidos (mi)	7

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-83: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 15

N°	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	36.7	24.1	3	2.7				66.5	4	37.25
2	36.7	24.1	3	2				65.8	3	42.08
3	36.7	24.1	2	2				64.8	2	57.76
4	36.7	2	2	2				42.7	1	42.7

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-84: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 15

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 57.76	
PCI	42.24
ESTADO REGULAR	

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 16:

-Valor deducido

Tabla 3-85: Cálculo de Valor Deducido Muestra 16

AREA 312		m2		MUESTRA 16: 1+155.00 - 1+194.00							
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO	
PC	L	m2	13.73					13.73	4.40%	28.55	
PC	M	m2	2.21					2.21	0.71%	19	
ABH	H	m2	2.21					2.21	0.71%	28.9	
PA	L	m2	14.83	11.05	3.14	3.96		32.98	10.57%	16.2	
HUEC	H	unid	1.5					1.5	0.48%	38.8	
DAGR	L	unid	1					1	0.32%	1.1	
										132.55	

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-86: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 16

Número de valores deducidos >2 (q)	5
Valor deducido más alto (HVDi)	38.8
Número máximo de valores deducidos (mi)	7

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-87: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 16

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	38.8	28.9	28.55	19	16.2		131.45	5	68.53
2	38.8	28.9	28.55	19	2		117.25	4	67.04
3	38.8	28.9	28.55	2	2		100.25	3	63.42
4	38.8	28.9	2	2	2		73.7	2	53.82
5	38.8	2	2	2	2		46.8	1	46.8

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-88: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 16

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 68.53	
PCI	31.47
ESTADO MALO	

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 17:

-Valor deducido

Tabla 3-89: Cálculo de Valor Deducido Muestra 17

AREA 312		m2		MUESTRA 17: 1+311.00 - 1+350.00									
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO	
PC	M	m2	2.33	2.99						5.32	1.71%	27.1	
PC	H	m2	4.11							4.11	1.32%	32.9	
GLT	H	m2	0.96							0.96	0.31%	4	
PA	L	m2	8.99							8.99	2.88%	7.5	
PA	M	m2	30	2.65						32.65	10.46%	31.7	
HUEC	H	unid	0.59							0.59	0.19%	24	
DAGR	L	unid	1	1						2	0.64%	3	
												130.2	

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-90: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 17

Número de valores deducidos >2 (q)	7
Valor deducido más alto (HVDi)	32.9
Número máximo de valores deducidos (mi)	7

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

N°	VALORES DEDUCIDOS							VDT	q	VDC
1	32.9	31.7	27.1	24	7.5	4	3	130.2	7	63.96
2	32.9	31.7	27.1	24	7.5	4	2	129.2	6	63.67
3	32.9	31.7	27.1	24	7.5	2	2	127.2	5	66.26
4	32.9	31.7	27.1	24	2	2	2	121.7	4	69.84
5	32.9	31.7	27.1	2	2	2	2	99.7	3	63.76
6	32.9	31.7	2	2	2	2	2	74.6	2	54.11
7	32.9	2	2	2	2	2	2	44.9	1	44.9

Tabla 3-91: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 17

-PCI

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 69.84	
PCI	30.16
ESTADO MALO	

Tabla 3-92: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 17

Resultados Muestra 18:

-Valor deducido

Tabla 3-93: Cálculo de Valor Deducido Muestra 18

AREA	312	m2
-------------	------------	-----------

MUESTRA 18: 1+467.00 - 1+506.00											
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES						TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
PC	L	m2	3.84						3.84	1.23%	22.5
PC	M	m2	4.12						4.12	1.32%	24.8
PC	H	m2	2.39	3.55					5.94	1.90%	39
GLT	L	m2	1.9						1.9	0.61%	1
GLT	M	m2	15.3						15.3	4.90%	11.2
PA	L	m2	10.64						10.64	3.41%	6.9
PA	M	m2	3.24	2.68	2.86				8.78	2.81%	17.1
HUEC	M	unid	5.25						5.25	1.68%	37.6
DAGR	L	unid	1	1	1				3	0.96%	3.6
163.7											

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido.

Tabla 3-94: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 18

Número de valores deducidos >2 (q)	8
Valor deducido más alto (HVDi)	39
Número máximo de valores deducidos (mi)	7

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-95: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 18

N°	VALORES DEDUCIDOS								VDT	q	VDC
1	39	37.6	24.8	22.5	17.1	11.2	6.9	159.1	7	74.12	
2	39	37.6	24.8	22.5	17.1	11.2	2	154.2	6	79.36	
3	39	37.6	24.8	22.5	17.1	2	2	145	5	75.8	
4	39	37.6	24.8	22.5	2	2	2	129.9	4	73.98	
5	39	37.6	24.8	2	2	2	2	109.4	3	69.22	
6	39	37.6	2	2	2	2	2	86.6	2	62.43	
7	39	2	2	2	2	2	2	51	1	51	

Fuente: Autor.

-PCI

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 79.36

Tabla 3-96: Cálculo

PCI	20.64	ESTADO MUY MALO
-----	-------	-----------------

del PCI e

identificación del estado de la Muestra 18

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 19:

-Valor deducido

Tabla 3-97: Cálculo de Valor Deducido Muestra 19

AREA		312	m2								
MUESTRA 19: 1+623.00 - 1+662.00											
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO	
PC	L	m2	6.98	8.58					15.56	4.99%	53.1
PC	M	m2	3.45						3.45	1.11%	21.5
PA	L	m2	2.43	4.64					7.07	2.27%	4.3
PA	M	m2	10.58						10.58	3.39%	18.8
HUEC	L	unid	0.32	0.63	0.2				1.15	0.37%	9.9
											107.6

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-98: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 19

Número de valores deducidos >2 (q)	5
Valor deducido más alto (HVDi)	53.1
Número máximo de valores deducidos (mi)	5

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-99: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 19

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC	
1	53.1	21.5	18.8	9.9	4.3			107.6	5	56.61
2	53.1	21.5	18.8	9.9	2			105.3	4	60.84
3	53.1	21.5	18.8	2	2			97.4	3	62
4	53.1	21.5	2	2	2			80.6	2	58.22
5	53.1	2	2	2	2			61.1	1	61.1

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-100: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 19

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 61.1	
PCI	38.9
ESTADO MALO	

Fuente: Autor.

Resultados Muestra 20:

-Valor deducido

Tabla 3-101: Cálculo de Valor Deducido Muestra 20.

AREA 312		m2									
MUESTRA 20: 1+779.00 - 1+818.00											
FALLA	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES						TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
PC	H	m2	1.08	2.44					3.52	1.13%	30.9
GLT	M	m2	0.75	6.4	1.6	8.3	1.1		18.15	5.82%	12.8
PA	L	m2	18.11	0.64	9.35				28.1	9.01%	11.5
PA	M	m2	4.08	25.02					29.1	9.33%	30.1
PA	H	m2	8.39						8.39	2.69%	28.4
HUEC	H	unid	2.95	1.92	2.04				6.91	2.21%	69
DAGR	M	unid	1						1	0.32%	1.1
											183.8

Fuente: Autor.

-Número máximo de valores deducido

Tabla 3-102: Número de valores deducidos mayores que 2, valor deducido más alto y número máximo de valores deducidos calculados en la Muestra 20

Número de valores deducidos >2 (q)	7
Valor deducido más alto (HVDi)	69
Número máximo de valores deducidos (mi)	4

Fuente: Autor.

-Valor deducido corregido

Tabla 3-103: Cálculo de Valor Deducido Corregido Máximo de la Muestra 20

N°	VALORES DEDUCIDOS					VDT	q	VDC
1	69	30.9	30.1	28.4		158.4	4	91.86
2	69	30.9	30.1	2		132	3	79.92
3	69	30.9	2	2		103.9	2	73.34
4	69	2	2	2		75	1	75

Fuente: Autor.

-PCI

Tabla 3-104: Cálculo del PCI e identificación del estado de la Muestra 20

Máximo Valor Deducido Corregido (VDC) 91.86	
PCI	8.14
ESTADO FALLADO	

Fuente: Autor.

TABLA GENERAL PCI

Tabla 3-105: Tabla general de valores del PCI

UNIDAD DE MUESTRA	ÁREA (m ²)	PROGRESIV A INICIAL	PROGRESIV A FINAL	Ancho (m)	VRC	PCI	CLASIFICACIÓN	ACCIÓN
1	312	0+000.00	0+026.00	12	36	64	BUENO	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico
2	312	0+078.00	0+104.00	12	33	67	BUENO	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico
3	312	0+130.00	0+156.00	12	24	76	MUY BUENO	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico
4	312	0+182.00	0+208.00	12	59	41	REGULAR	Mantenimiento Correctivo
5	312	0+260.00	0+286.00	12	40	0	BUENO	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico
6	312	0+312.00	0+336.00	12	52	48	REGULAR	Mantenimiento Correctivo
7	312	0+390.00	0+416.00	12	36	64	BUENO	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico
8	312	0+416.00	0+442.00	12	43	57	BUENO	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico
9	136	0+442.00	0+453.00	12	57	43	REGULAR	Mantenimiento Correctivo
10	312	0+453.00	0+492.00	8	81	19	MUY MALO	Rehabilitación - Reconstrucción
11	312	0+609.00	0+648.00	8	29	71	MUY BUENO	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico
12	312	0+765.00	0+804.00	8	36	64	BUENO	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico
13	312	0+804.00	0+843.00	8	63	37	MALO	Rehabilitación - Refuerzo Estructural
14	312	0+960.00	0+999.00	8	61	40	MALO	Rehabilitación - Refuerzo Estructural
15	312	1+116.00	1+155.00	8	58	42	REGULAR	Mantenimiento Correctivo
16	312	1+155.00	1+194.00	8	69	31	MALO	Rehabilitación - Refuerzo Estructural
17	312	1+311.00	1+350.00	8	70	30	MALO	Rehabilitación - Refuerzo Estructural
18	312	1+467.00	1+506.00	8	79	21	MUY MALO	Rehabilitación - Reconstrucción
19	312	1+623.00	1+662.00	8	61	39	MALO	Rehabilitación - Refuerzo Estructural
20	312	1+779.00	1+818.00	8	92	8	FALLADO	Rehabilitación - Reconstrucción
						PROMEDIO (PCI _A)	46	

Fuente: Autor.

- Para obtener el valor total del PCI debemos calcular el Valor Deducido (CDV) mediante la ecuación 2-5 y el ábaco correspondiente a cada falla analizada, continuando con el proceso utilizamos la ecuación 2-6 para conseguir el número máximo de valores admisibles, y a su vez, utilizamos el ábaco de la Ilustración 2-21 para determinar el valor deducido corregido, el cual nos permite utilizar la ecuación 2-7 que nos presenta el valor del PCI de cada muestra, y finalmente para alcanzar el valor del PCI total usamos la ecuación 2-8 que nos da como resultado:

PCI TOTAL 46 REGULAR

Ilustración 3-2: PCI Total de la muestra estudiada

Según la metodología PCO-ASTM-D-6433, el pavimento se clasifica como regular, por lo tanto, se recomienda darle un mantenimiento correctivo, tal como bacheo, fresado, etc. a la Avenida 25 de Marzo.

3.2.TPDA

Para la elaboración del TPDA, primeramente, se identifica el sector de estudio y sus características tales como: día, horario e intersección de la vía analizada, en la cual se realiza el conteo manual, para obtener el Tráfico Observado (T_o). La ubicación de la intersección vehicular, se la identifica mediante la observación a lo largo de distintos puntos de la vía, determinando que el mayor volumen vehicular se encuentra en la intersección con la Av. De los Migrantes, ya que, por este empalme convergen la mayor parte de tráfico pesado y liviano, tanto comercial, como particular.

Para la selección del día de mayor afluencia vehicular (día pico), se tomó en cuenta las ferias que se dan en la parroquia Ricaurte, y distintas actividades de mayor afluencia, además, que la afluencia de tráfico por la Av. 25 de marzo resultaría afectada por el cierre de la Av. De las Américas por la construcción del distribuidor de tráfico en la misma. Por estas razones se determinó el día jueves como el día ideal, la información fue tomada el jueves 17 de abril de 2022.

El horario de conteo fue diurno desde las 6am hasta las 6pm, con dos puntos de observación, el primero Norte – Sur, y el segundo Sur – Norte, con pequeños intervalos de 15 minutos en cada toma de información.



Ilustración 3-3: Estación de conteo, ubicada cerca de la intersección de la Av. 25 de Marzo con la Av. de los Migrantes, *Fuente: Google Earth.*

Los datos obtenidos en el conteo vehicular, se enseñan en la siguiente tabla:

Tabla 3-106: Conteo vehicular con dirección Sur – Norte de la Av. 25 de Marzo

ESTUDIO DE TRAFICO DE INTERSECCIÓN DE LA AVENIDA 25 DE MARZO

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
30 AÑOS

CONTEO MANUAL DE TRAFICO MOTORIZADO Y NO MOTORIZADO

Nº INTERSECCIÓN: 1
 Nº PANTALLA: 1
 FECHA: 17/03/2022
 DIA DE LA SEMANA: JUEVES
 ENCUESTADOR: JUAN FERNANDO CUBIDES
 ESTADO DEL TIEMPO: Mayormente NUBLADO
 ENTIDAD CONTRATANTE: Universidad del Azuay
 PROYECTO: Azuay
 CONSULTOR: Ing. Carlos Obispo
 DIRECTOR PROYECTO: Ing. Carlos Obispo
 SUPERVISOR CAMPO:
 OBSERVACIONES:
 SECTOR: RURAL

HORAS	LEVANOS	BUS	CAMION C2	CAMION C3	CAMION C4	CAMION C5 O MAS	MOTOS	BICICLETAS	TOTAL
	1	1	1	1	1	1	1	1	
0:00-0:15	78	5	6	0	0	0	1	1	91
0:15-0:30	182	7	8	0	0	1	13	0	211
0:30-0:45	294	3	5	0	0	1	22	10	335
0:45-7:00	263	1	4	0	0	0	46	11	325
7:00-7:15	245	1	9	1	0	0	15	7	278
7:15-7:30	110	1	15	0	0	0	17	1	144
7:30-7:45	115	2	9	1	0	0	26	1	154
7:45-8:00	111	3	9	2	1	0	20	0	146
8:00-8:15	100	2	15	0	0	0	30	4	151
8:15-8:30	95	1	9	2	0	0	15	1	123
8:30-8:45	94	3	8	1	0	0	17	1	124
8:45-9:00	100	2	14	0	0	0	8	0	124
9:00-9:15	101	3	12	0	0	0	8	2	126
9:15-9:30	99	1	17	3	0	0	5	2	127
9:30-9:45	100	1	5	0	0	0	7	0	113
9:45-10:00	100	2	12	1	0	0	9	0	124
10:00-10:15	86	1	7	1	0	0	10	0	105
10:15-10:30	100	0	10	1	0	0	8	2	121
10:30-10:45	101	2	10	1	0	0	16	1	131
10:45-11:00	93	2	10	0	0	1	10	0	116
11:00-11:15	102	0	21	0	0	0	7	1	131
11:15-11:30	80	2	8	0	0	2	6	0	98
11:30-11:45	70	1	9	0	0	1	6	1	88
11:45-12:00	114	1	9	0	0	2	11	2	139
12:00-12:15	117	1	7	1	1	0	6	1	134
12:15-12:30	144	1	8	0	0	0	14	1	168
12:30-12:45	130	0	0	0	0	0	0	0	130
12:45-13:00	162	0	0	0	0	0	0	0	162
13:00-13:15	174	1	16	0	0	0	12	1	204
13:15-13:30	170	7	5	3	0	0	10	0	195
13:30-13:45	164	1	15	0	0	1	14	0	195
13:45-14:00	152	5	4	0	0	0	17	1	179
14:00-14:15	135	6	8	1	0	0	10	0	160
14:15-14:30	132	1	8	0	0	0	10	0	151
14:30-14:45	140	1	7	0	0	1	19	1	169
14:45-15:00	150	0	12	2	0	0	9	0	173
15:00-15:15	151	2	12	1	0	0	12	4	182
15:15-15:30	147	3	14	0	0	0	8	1	173
15:30-15:45	133	1	12	0	1	0	9	1	157
15:45-16:00	125	1	10	0	0	0	4	0	140
16:00-16:15	132	1	9	3	0	0	46	0	191
16:15-16:30	143	0	15	0	0	0	18	2	178
16:30-16:45	147	2	9	0	0	1	10	0	169
16:45-17:00	142	2	8	1	1	2	14	6	176
17:00-17:15	277	0	14	0	0	0	23	0	314
17:15-17:30	295	2	12	0	1	3	26	12	351
17:30-17:45	330	1	17	2	0	1	47	0	398
17:45-18:00	214	1	5	0	1	1	27	7	256
TOTAL	6939	87	468	28	6	18	698	86	8330

Fuente: Autor.

Tabla 3-107: Conteo vehicular con dirección Norte – Sur de la Av. 25 de Marzo.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY SIN ANCO									
ESTUDIO DE TRAFICO DE INTERSECCIÓN DE LA AVENIDA 25 DE MARZO									
CONTEO MANUAL DE TRAFICO MOTORIZADO Y NO MOTORIZADO									
N° INTERSECCIÓN: 1		ENTIDAD CONTRATANTE: Universidad del Azuay		PROVINCIA: Azuay		SECTOR: RURAL			
N° PANTALLA: 2		FECHA: 07/03/2022		CONTEO POR: Ing. Carlos Ochoa					
DÍA DE LA SEMANA: JUEVES		DIRECTOR PROYECTO: Ing. Carlos Ochoa							
ENCUESTADOR: SOLEDAD SEZ		SUPERVISOR CAMPO:							
ESTADO DEL TIEMPO: Manana: () Nublado Tarde: () Soleado		OBSERVACIONES:							
HORA	LEVANOS	BUS	CAMION C2	CAMION C3	CAMION C4	CAMION C5 O MAS	MOTOS	BICICLETAS	TOTAL
	2	2	2	2	2	2	2	2	
0:00-0:15	55	0	1	1	0	0	4	1	62
0:15-0:30	110	6	3	0	0	0	8	0	127
0:30-0:45	134	1	3	0	0	0	1	10	149
0:45-7:00	135	1	2	1	0	0	10	11	160
7:00-7:15	204	4	8	0	0	0	12	7	235
7:15-7:30	266	0	6	2	0	0	16	1	291
7:30-7:45	224	2	11	0	1	1	24	1	264
7:45-8:00	179	3	12	0	1	0	10	0	205
8:00-8:15	134	1	17	2	1	1	8	4	168
8:15-8:30	148	1	15	0	0	0	2	1	167
8:30-8:45	95	1	19	1	0	0	5	1	122
8:45-9:00	75	2	13	2	0	0	8	0	100
9:00-9:15	70	1	17	0	0	0	2	2	92
9:15-9:30	77	2	8	0	0	0	7	2	96
9:30-9:45	87	4	16	1	0	0	4	0	112
9:45-10:00	113	1	16	0	0	0	6	0	136
10:00-10:15	72	2	10	0	0	0	11	0	95
10:15-10:30	73	1	10	1	0	0	18	2	105
10:30-10:45	75	1	9	0	0	0	6	1	92
10:45-11:00	87	2	13	1	0	0	4	0	107
11:00-11:15	77	1	7	1	1	0	5	1	93
11:15-11:30	105	1	14	0	0	0	7	0	127
11:30-11:45	125	2	11	1	0	0	5	1	145
11:45-12:00	110	1	11	0	0	0	5	2	129
12:00-12:15	205	3	20	1	0	2	9	1	241
12:15-12:30	135	2	9	1	0	0	5	1	153
12:30-12:45	185	2	6	0	0	0	9	0	202
12:45-13:00	209	2	5	1	0	0	11	0	228
13:00-13:15	184	2	12	0	0	0	8	1	207
13:15-13:30	157	2	18	2	0	0	16	0	195
13:30-13:45	173	1	11	2	0	0	14	0	201
13:45-14:00	175	1	9	3	1	0	25	1	215
14:00-14:15	195	2	8	0	0	0	10	0	215
14:15-14:30	153	2	15	1	0	0	7	0	178
14:30-14:45	130	2	14	1	0	0	7	1	155
14:45-15:00	135	1	12	0	1	0	12	0	161
15:00-15:15	125	1	11	0	1	0	9	4	151
15:15-15:30	107	1	8	1	1	0	11	1	130
15:30-15:45	117	1	6	0	0	0	10	1	135
15:45-16:00	120	1	5	1	0	0	4	0	131
16:00-16:15	132	1	9	0	0	0	23	0	165
16:15-16:30	143	0	15	0	0	0	18	2	178
16:30-16:45	147	2	9	0	0	0	10	0	168
16:45-17:00	142	2	8	1	1	2	14	6	176
17:00-17:15	277	0	14	0	0	0	12	0	303
17:15-17:30	295	2	12	0	1	0	13	12	335
17:30-17:45	330	1	17	2	0	0	23	0	373
17:45-18:00	214	1	5	0	1	0	15	7	243
TOTAL	7015	76	510	31	11	6	483	86	8218

Fuente: Autor.

La tabla 3-107, contiene la representación de datos que presentan carga significativa para el pavimento, es decir, no contiene los datos de bicicletas ni de motocicletas.

Tabla 3-108: Conteo vehicular total sin bicicletas ni motocicletas de la Av. 25 de Marzo

HORA	TOTAL	TOTAL SIN MOTOCICLETAS NI BICICLETAS
06:00-07:00	1460	1311
07:00-08:00	1717	1559
08:00-09:00	1079	974
09:00-10:00	926	870
10:00-11:00	872	783
11:00-12:00	950	890
12:00-13:00	1418	1370
13:00-14:00	1591	1471
14:00-15:00	1362	1276
15:00-16:00	1199	1120
16:00-17:00	1401	1240
17:00-18:00	2573	2349
TOTAL	16548	15213

Fuente: Autor.

Los factores de expansión se obtienen mediante, conteos vehiculares realizados los 7 días de la semana en la intersección seleccionada, además, de una tabla de consumo de combustibles anuales, estos datos lo podemos ver en la tabla 3-110 y en la tabla 3-109 respectivamente.

Tabla 3-109: Tabla de consumo de combustibles anuales

Consumo de combustibles 2018														
PRODUCTO	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
VARIOS	GALONES	11277975	10425812	11969792	10894787	11538689	11593651	11549877	11721274	11373708	12289016	11807506	11788058	138230145

Fuente: Autor.

Los datos de conteos semanales fueron obtenidos con conteo manual de la misma forma que se realizó el conteo en el día pico.

Tabla 3-110: Tabla de conteo total semanal.

CONTEO AUTOMATICO DE TRAFICO								
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	TOTAL
00:00-01:00	75	113	122	142	172	332	374	1330
01:00-02:00	48	50	59	68	94	262	268	849
02:00-03:00	28	30	51	35	63	234	228	669
03:00-04:00	41	32	49	34	50	171	175	552
04:00-05:00	49	51	80	55	50	125	76	486
05:00-06:00	162	140	138	150	150	197	156	1093
06:00-07:00	992	1037	1071	1460	1171	1322	336	7389
07:00-08:00	989	1008	1018	1717	965	1304	457	7458
08:00-09:00	981	949	905	1079	1001	1060	602	6577
09:00-10:00	963	855	741	926	952	944	845	6226
10:00-11:00	773	803	832	872	1065	981	919	6245
11:00-12:00	878	859	828	950	1339	1109	1066	7029
12:00-13:00	993	1030	1070	1418	1315	1336	1014	8176
13:00-14:00	967	1000	1022	1591	1005	1291	933	7809
14:00-15:00	943	893	843	1362	837	1065	903	6846
15:00-16:00	883	872	851	1199	882	1060	867	6614
16:00-17:00	903	878	854	1401	858	1120	752	6766
17:00-18:00	1009	1044	1066	2573	1074	1828	772	9366
18:00-19:00	1682	1845	1676	1738	1728	1447	1337	11453
19:00-20:00	1568	1658	1709	1624	1530	1262	1331	10682
20:00-21:00	1307	1301	1205	1137	1461	1252	961	8624
21:00-22:00	1025	997	1000	1056	1277	1202	760	7317
22:00-23:00	636	700	707	834	931	856	387	5051
23:00-24:00	216	269	280	391	481	524	138	2299
TOTAL	18111	18414	18177	23812	20451	22281	15657	136903

Fuente: Autor.

3.2.1. Factores de expansión

3.2.1.1. Factor Horario

El día del conteo manual más significativo, fue el día jueves, por lo tanto, el tráfico diario total corresponde al día jueves de conteo manual, y como el conteo fue entre 6am y 6pm, este horario corresponde al factor horario.

Utilizamos la ecuación 2-10, obteniendo:

$$Fh = \frac{23812}{16548}$$

$$Fh = 1,4390$$

3.2.1.2. Factor Diario

Con la Ecuación 2-11, conseguimos el valor del Tráfico Promedio Diario Semanal

$$TPDS = \frac{136903}{7}$$

$$TPDS = 19557,57$$

Con este valor del TPDS utilizamos la ecuación 2-12, para obtener el Factor Diario

$$Fd = \frac{19557,57}{23812}$$

$$Fd = 0,8213$$

3.2.1.3. Factor Semanal

Siendo Marzo el mes en el que se realizó el conteo, tenemos que:

$$Fs = \frac{31}{4}$$

$$Fs = 1,10714286$$

3.1.2.4. Factor Mensual

El factor mensual se obtiene con la ecuación 2-16,

$$Fm = \frac{11519179 \text{ gal}}{11969792 \text{ gal}}$$

$$Fm = 0,9624$$

3.1.2.5. Factor de expansión

El factor de expansión se obtiene con la ecuación 2-9,

$$Fe = 1,4390 \times 0,8213 \times 1,107 \times 0,9624$$

$$Fe = 1,2592$$

Los diversos factores se presentan en la tabla 3-111,

Tabla 3-111: Factores del TPDA

Tabla de factores TPDA	
Factor horario (Fh)	1.4390
Factor diario (Fd)	0.8213
Factor semanal (Fs)	1.107
Factor mensual (Fm)	0.9624

Fuente: Autor.

3.1.2.6. Tráfico Promedio Diario Anual de la Av. 25 de Marzo

Con la ecuación 2-17, podemos calcular el TPDA de la Av. 25 de marzo

$$TPDA = 15168 \times 1,2592$$

$$TPDA = 19100$$

Según los factores de crecimiento vehicular anual, el TPDA para los próximos 10 años se presenta en la Tabla 3-112:

Tabla 3-112: Proyección TPDA para los próximos 10 años

TIPO DE VEHÍCULO	CANTIDAD	TASA DE CRECIMIENTO i	PROYECCIÓN DEL TRÁFICO
LIVIANOS	17571	4.68%	43860
BUS	219	2.15%	335
CAMIÓN 2DB	1179	2.15%	1804
CAMIÓN 3A	71	2.15%	109
CAMIÓN 4C	15	2.15%	23

CAMION 2S3	45	2.15%	69
------------	----	-------	----

Fuente: Autor.

3.2.2. Ensayo Proctor Estándar

Se indica a continuación donde se realizó la calicata para la toma de muestras



Ilustración 3-4: Ubicación de Calicata para toma de muestras para ensayo Proctor y CBR

La estructura del pavimento identificada al tomar la muestra es la siguiente:

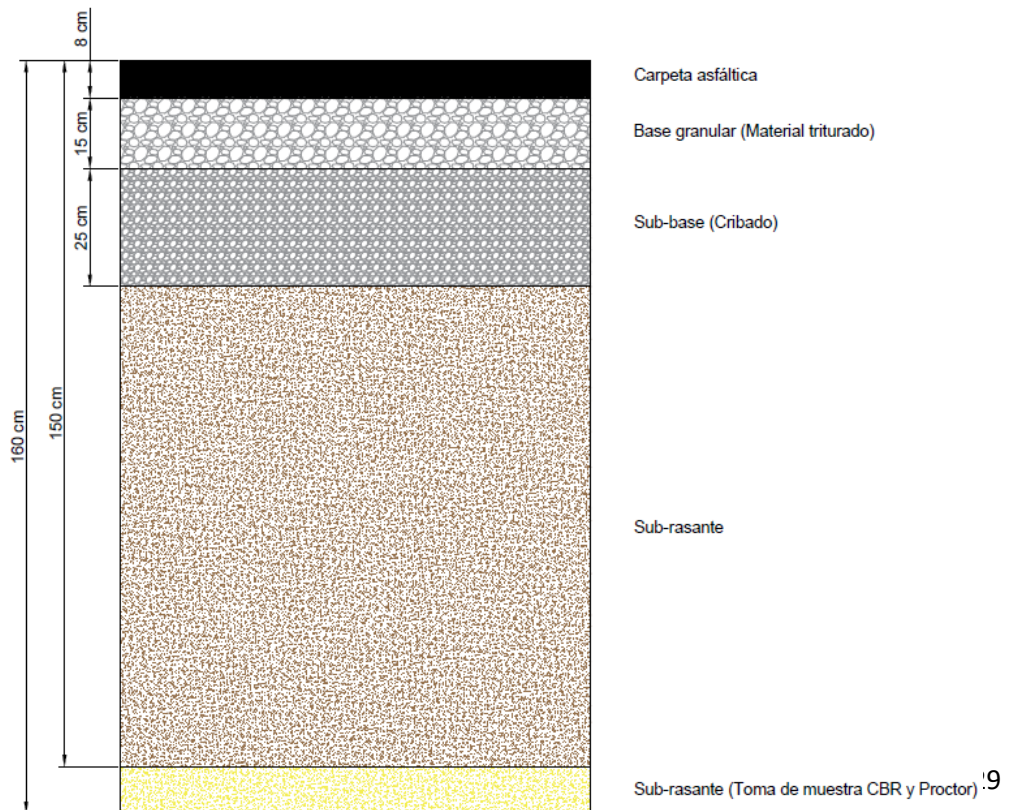


Ilustración 3-5: Plano detallado de pavimento de lugar de toma de muestra para Proctor y CBR.

El ensayo proctor persigue determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad optima necesaria para alcanzar esta densidad.

Tenemos que regirnos al siguiente procedimiento:

- Secar la muestra a temperatura ambiente
- Cribar el material desde el tamiz de 3” hasta el #4.
- Utilizar el material cribado que atravesó el tamiz #4-
- Mesurar los moldes
- Se determina en rangos del 2% la humedad del material pesado en su totalidad.
- Comenzamos el dicho ensayo, colocamos en el molde 5 capas de suelo, y compactamos con 25 golpes cada una.
- Analizamos muestras del suelo por cada punto de humedad, y procedemos a realizar los cálculos respectivos.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO																		
PROYECTO: AVENIDA 25 DE MARZO			PROFUNDIDAD: 1,50 M.															
ABSCISA : 1+620 LADO IZQUIERDO			CAPA: SUBRASANTE															
MUESTRA: 1			FECHA: 2022-MAYO															
ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN																		
SERIE GRUESA GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					HUMEDAD NATURAL(ASTM D2216)													
TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO													
3"																		
2 ½"																		
2"																		
1½"																		
1"																		
¾"		0	0	100														
½"		851	2	98														
¾"		3403	8	92														
Nº4		6380	15	(85)														
Pasa Nº4		36155	(85.0)															
TOTAL MUESTRA	42,535																	
SERIE FINA GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					LIMITE LIQUIDO(ASTM D4318)													
Nº10		64.7	26	74														
Nº40		100.0	32	68														
Nº200		152.9	41	(59)														
Pasa Nº200		347.1	(59)															
MUESTRA CUARTEADA																		
PESO ANTES 500 grms																		
PESO DESPUÉS 152.9 grms																		
GRAVA	15 %																	
ARENA	26 %																	
FINOS	59 %																	
COLOR: CAFÉ			HUMEDAD NATURAL: 15.17 %															
CLASIFICACIÓN:			LIMITE LIQUIDO: 52.18 %															
SUCS		MH	ÍNDICE PLÁSTICO: 14.35															
AASTHO		A-7-5	ÍNDICE DE GRUPO: 8.0															
LIMITE LIQUIDO(ASTM D4318)																		
Nº tarro	Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO												
112	----	111.96	98.11	6.98	15.2													
27	----	94.99	83.40	6.82	15.1	15.2												
58	40	24.66	19.50	7.96	44.7													
17	31	28.20	21.38	7.81	50.3													
77	25	23.24	17.22	6.52	56.2													
140	11	34.64	22.95	3.20	59.2													
						52.2												
LIMITE PLASTICO(ASTM D4318)																		
22	----	9.88	8.30	4.17	38.3													
91	----	12.85	11.44	7.75	38.1													
97	----	18.19	14.48	4.49	37.1	37.8												
HUMEDAD vs # DE GOLPES.																		
<table border="1" style="display: none;"> <caption>Datos del gráfico de humedad vs golpes</caption> <thead> <tr> <th># DE GOLPES</th> <th>% DE HUMEDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11</td> <td>59.2</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>56.2</td> </tr> <tr> <td>31</td> <td>50.3</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>44.7</td> </tr> <tr> <td>59</td> <td>37.1</td> </tr> </tbody> </table>							# DE GOLPES	% DE HUMEDAD	11	59.2	25	56.2	31	50.3	40	44.7	59	37.1
# DE GOLPES	% DE HUMEDAD																	
11	59.2																	
25	56.2																	
31	50.3																	
40	44.7																	
59	37.1																	

Ilustración 3-6: Cálculos del ensayo Proctor modificado conjunto gráfico de humedad y # de golpes, Fuente: autor.

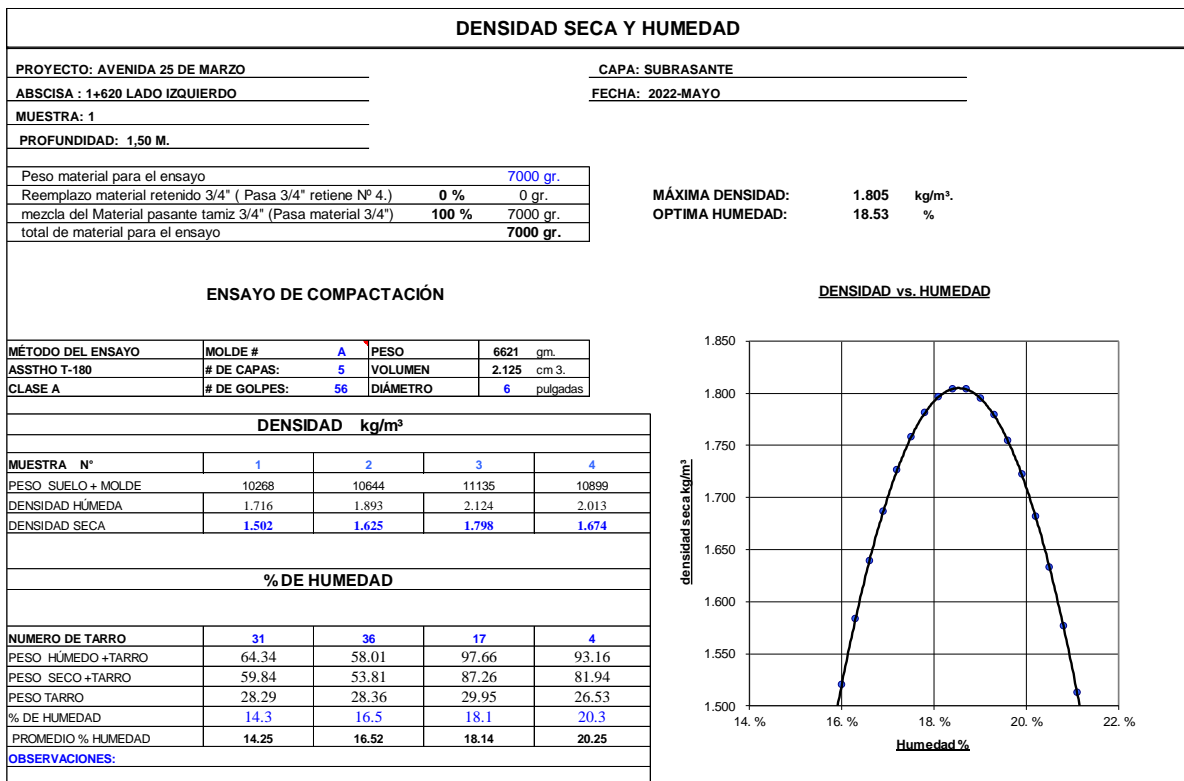


Ilustración 3-7: Obtención de la gráfica de densidad seca vs. Humedad óptima, Fuente: autor.

3.3. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

El ensayo CBR nos permite conocer la capacidad de soporte del suelo y su composición al ser compactados en laboratorio con 56, 25 y 10 golpes con el pisón normado para el mismo. A continuación, detallaremos el procedimiento para la realización de este ensayo:

1. Se homogeniza la muestra con un martillo de caucho.
2. Tamizamos la muestra a través del Tamiz ¾”.
3. Se toma una muestra de 15.000 gr del material pasante del tamiz ¾”.
4. Obtenemos el peso y volumen de los moldes a utilizar para el ensayo.
5. Se agrega agua al suelo para obtener la humedad óptima, que obtuvimos en el ensayo Proctor.
6. Colocamos una pesa al fondo del molde seguido por papel filtro, y así, comenzamos a rellenar los moldes con 5 capas, compactadas cada una con 56, 25 y 10 golpes respectivamente.

7. Al finalizar el proceso de compactación, retiramos el collarín del molde y enrazamos la muestra, acto seguido retiramos la pesa se remueve la pesa colocada en el molde, desacoplándolo y ensamblándolo de forma invertida para pesarla.
8. Al finalizar el pesaje de la muestra, se procede a colocar un papel filtro sobre el suelo, un disco regulable con un vástago y una placa perforada, y se instala el trípode con el comparador dial, además, de las pesas respectivas sobre las muestras para simular la presión a la que están sometidas las muestras de suelo.
9. Calculamos los datos que se pueden obtener en esta etapa del ensayo, y a continuación sumergimos la muestra en un tanque con agua suficiente para que cubra todos los moldes durante 96 horas (4 días).
10. Cuando haya transcurrido los 4 días, se saca los moldes del agua, se dejan escurrir por 15 minutos, se saca el vástago conjunto las pesas, después colocamos el molde en la máquina de ensayo y una pesa sobre esta muestra para simular las cargas que ejercerá el material, empezamos a girar la manivela de la máquina y tomamos lecturas del dial en las penetraciones de 0.000, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 y 0.500 pulgadas.
11. Al finalizar con la toma de datos, se procede a rellenar un tarro de humedad con suelo saturado de cada molde.
12. Por último, se realiza la corrección de las lecturas con la ecuación... para obtener la carga en lb/in^2 :

Los datos y cálculos obtenidos son los siguientes:

CBR Y DENSIDAD						
PROYECTO: AVENIDA 25 DE MARZO			MUESTRA DISTURBADA			
ABSCISA : 1+620 LADO IZQUIERDO			CLASE DE SUELOS:			
MUESTRA: 1			SOBRECARGA:10 LIBRAS			
PROFUNDIDAD: 1,50 M.			FECHA: 2022-MAYO			
CAPA: SUBRASANTE						
Valor relativo de soporte CBR(ASTM D1883)						
Molde No.	4		5		6	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		11	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12194	12296	11900	12082	11527	11782
Peso molde Gr.	7614	7614	7511	7511	7415	7415
Peso muestra Gr.	4580	4682	4389	4571	4112	4367
Volumen muestra cm3	2140	2140	2136	2136	2147	2147
Densidad húmeda kg/m3	2.140	2.188	2.055	2.140	1.915	2.034
Densidad seca kg/m3	1.810	1.822	1.738	1.750	1.620	1.634
CONTENIDO DE AGUA						
Numero del Tarro	49	1	60	30	69	18
Peso húmedo + tarro (Gr)	29.55	31.98	78.42	105.02	24.04	23.33
Peso seco + tarro (Gr)	29.09	30.89	70.95	90.53	24.79	24.55
Peso tarro (Gr)	26.54	25.49	29.93	25.56	28.89	29.52
Contenido de humedad %	18.2	20.1	18.2	22.3	18.3	24.5
Promedio humedad %	18.2	20.1	18.2	22.3	18.2	24.5
Agua absorbida %		2.24		4.14		6.21
OBSERVACIONES:						
HUMEDAD OPTIMA	18.53	PESO HUMEDO	18000 gr.			
HUMEDAD INICIAL	15.17	PESO SECO	15629 gr.			
HUMEDAD AÑADIDA	3.363	AGUA	526 cm³.			
Reemplazo material retenido tamiz 3/4" (Pasa 3/4" retiene Nº 4.)			0 %	0 gr.		
mezcla del Material pasante tamizl 3/4" (Pasa material 3/4")			100 %	18000 gr.		
total de material para el ensayo			18000 gr.			
Esponjamiento al 95 %	=	1.25%				
Valor CBR al 95%	=	4.0%				
Valor CBR al 100%	=	8.3%				

Ilustración 3-8: Cálculos para identificar el CBR al 95%, Fuente: autor.

ESPONJAMIENTO Y PENETRACIÓN																			
PROYECTO: AVENIDA 25 DE MARZO								ALTURA DEL MOLDE: 4,50 PULGADAS											
ABSCISA : 1+620 LADO IZQUIERDO								ÁREA DEL PISTÓN: 3(PULGADAS) ² .											
MUESTRA: 1								FECHA: 2022-MAYO											
PROFUNDIDAD: 1,50 M. ESPONJAMIENTO																			
DIA Y MES	TIEMPO DÍAS	MOLDE No 4				MOLDE No 5				MOLDE No 6									
		LECTURA DIAL pulg.	ALTURA MUESTRA pulg.	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL pulg.	ALTURA MUESTRA pulg.	ESPONJAMIENTO		LECTURA DIAL pulg.	ALTURA MUESTRA pulg.	ESPONJAMIENTO							
				pulg.	%			pulg.	%			pulg.	%						
23	0	0	4.50	0.000	0.00	0	4.50	0.000	0.00	0	4.50	0.000	0.00						
24	1	4	4.50	0.004	0.09	7	4.50	0.007	0.15	29	4.50	0.029	0.65						
25	2	5	4.50	0.005	0.10	10	4.50	0.010	0.22	60	4.50	0.060	1.33						
26	3	40	4.50	0.040	0.89	56	4.50	0.056	1.25	65	4.50	0.065	1.45						
ANILLO: No 1 PENETRACIÓN																			
CONSTANTE: 2.47397 lbs/pulg ² .																			
TIEMPO min	PENETRACION pulg.	MOLDE No 4				MOLDE No 5				MOLDE No 6									
		CARGA		PRESIÓN CORREGIDA	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR.	CARGA		PRESIÓN CORREGIDA	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR.	CARGA		PRESIÓN CORREGIDA	PRESIÓN ESTÁNDAR	CBR.			
		dial pulg.	lbs.	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²		dial pulg.	lbs.	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²		dial pulg.	lbs.	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb/pulg ²	
0	0	0.0		0				0.0		0				0.0		0			
0.5	25	12.9		32				4.0		10				2.4		6			
1	50	21.0		52				10.1		25				3.2		8			
1.5	75	30.3		75				12.9		32				4.4		11			
2	100	34.0		84	83	1000	8.3	22.6		56	40	1000	4.0	6.9		17	17	1000	1.7
3	150	37.2		92				24.7		61				8.1		20			
4	200	66.7		165				29.1		72				14.1		35			
5	250	82.1		203				33.5		83				18.2		45			
6	300	90.9		225				36.8		91				21.4		53			
8	400	99.0		245				45.7		113				25.5		63			
10	500	105.1		260				50.5		125				29.5		73			

Ilustración 3-9: Resultado de ensayos de esponjamiento y penetración, Fuente: autor.

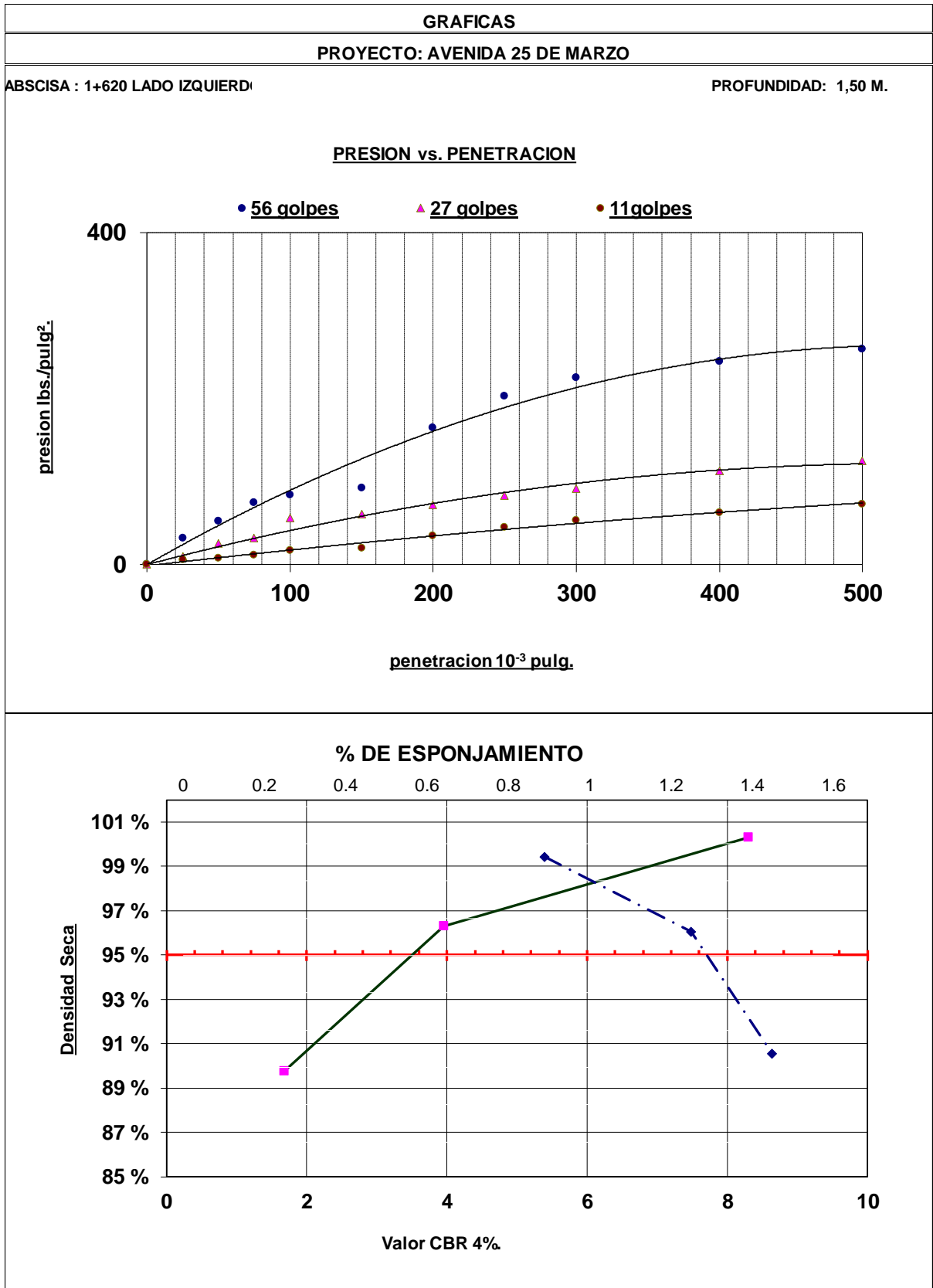


Ilustración 3-10: Gráficas de presión vs. Penetración y densidad vs esponjamiento (CBR), Fuente: autor.

3.3.1. Diseño del pavimento

3.3.1.1. Estructura actual del pavimento.

La estructura actual del pavimento consta de carpeta asfáltica, base y sub-base expuestas en la tabla 3-113, que fueron obtenidas por inspección visual al realizar la calicata para la toma de muestras y avalizadas por el Ing. Gustavo Jara, responsable de obras públicas del GAD parroquial rural de Ricaurte mediante excavaciones realizadas en la Avenida estudiada, como se puede observar en el Anexo 9.

Tabla 3-113: Estructura actual del pavimento.

Material	D(cm)
Carpeta asfáltica	8.00
Base granular(Material triturado)	15.00
Sub-base(cribado)	25.00
	53

Fuente: Autor.

3.3.1.2. Periodo de diseño

Se especifica según la AASHTO que según nuestro tipo de vía es para un periodo de 20 años.

3.3.1.3. Pavimento flexible

Para el diseño del pavimento flexible partimos de los siguientes datos, explicados anteriormente:

- Período de diseño de 20 años.
- Índice de servicio final de 2.5, pero en el caso de pavimentos flexibles el índice de servicio inicial se considera 4.2.
- $Z_r = -1.282$
- $S_o = 0.35$ (Pavimento Nuevo)

3.3.2. Cálculo de factores de equivalencia de carga y ESALS.

Para empezar con el diseño tenemos que realizar un proceso iterativo a partir de un valor del número estructural (S_n) en este caso empezamos con un valor de 2, a partir de esto, se calculan los LEF (Factores de equivalencia de carga) y los valores de los ESALS hasta que éste sea igual o aproximado con el obtenido mediante el cálculo, para ello se utiliza la ecuación 2.27:

En el cálculo de los LEF debemos tener en cuenta que nuestro valor va a depender de si los vehículos del conteo son:

- Eje simple rueda simple.
- Eje simple rueda doble.
- Tándem.
- Trídem.

En el cálculo de los ESALS únicamente aplicamos la fórmula:

$$ESALS = \text{Tráfico total proyectado} * LEF$$

Ecuación 3-1: ESALS, Fuente: autor.

- Iteración final

Tabla 3-114: Período de diseño, número estructural e índice de servicio final de la última iteración.

PERÍODO DE DISEÑO	20	AÑOS
SN	4.97	
ÍNDICE DE SERVICIO FINAL	2.5	

Fuente: Autor

Tabla 3-115: Cálculo del número de ejes equivalentes de la última iteración

TIPO DE VEHÍCULO	CANTIDAD	TASA DE CRECIMIENTO i	PROYECCIÓN DEL TRÁFICO	TRÁFICO TOTAL	TIPO DE EJE		PESO EJE TON	PESO EJE KIPS	LEF	ESALS No. TOTAL DE EJES EQUIVALENTES
LIVIANOS	17571	4.68%	43860	224223935	SRS	adelante	1	2.2	0.0002	44845
					SRS	atrás	1	2.2	0.0002	44845
BUS	219	2.15%	335	2022570	SRS	adelante	7	15.4	0.5338	1079648
					TANDEM	atrás	20	44	2.9962	6060023
CAMIÓN 2DB	1179	2.15%	1804	10888628	SRS	adelante	3	6.6	0.0155	168774
					SRD	atrás	7	15.4	0.5338	5812349
CAMIÓN 3A	71	2.15%	109	655719	SRS	adelante	7	15.4	0.5338	350023
					TANDEM	atrás	20	44	2.9962	1964665
CAMIÓN 4C	15	2.15%	23	138532	SRS	adelante	7	15.4	0.5338	73948
					SRD	atrás	12	26.4	4.3177	598140
CAMIÓN 2S3	45	2.15%	69	415596	TANDEM		20	44	2.9962	415070
					SRS	adelante	7	15.4	0.5338	221845
					SRD		12	26.4	4.3177	1794421
					TRIDEM		24	52.8	1.52	630044
TOTAL ESALS										19258640

Fuente: Autor.

- **ESALs de Diseño**

Tabla 3-116: Factores de direccionalidad y distribución de la última iteración

FACTOR DE DIRECCIONALIDAD	50%	9,629,320
FACTOR DE DISTRIBUCION POR CARRIL (%ESALs EN EL CARRIL DE DISEÑO)	90%	8,666,388

Fuente: autor.

Ilustración 3-11: Cálculo del número estructural con el Software "Ecuación AASHTO 93" tercera iteración, Fuente: autor.

Utilizando los ESALS calculados, se procede a calcular el número estructural, SN, dando como resultado 4.97; por lo que se considera que las iteraciones convergen y el SN utilizado será 4.97.

- Partiendo del ensayo CBR calculado anteriormente podemos obtener el Módulo resiliente con la ecuación siguiente:

$$MR = 2555 * CBR^{0.64}$$

Ecuación 3-2: Módulo resiliente, Fuente: autor.

Tabla 3-117 CBR y Mr

Subrasante			
CBR	4.00	%	<10%
MR	6204.54	psi	

Fuente: Autor.

3.3.3. Coeficiente estructural de cada capa

Los capas y materiales que se muestran a continuación son los asumidos para constituir el pavimento diseñado, con sus respectivos valores de las tablas de la AASHTO-93, referenciado en la Tabla 2-12 del documento. Se tomaron los valores más bajos posibles del rango de la carpeta, base y subbase, debido, a que estos materiales se encuentran fatigados, esto según los porcentajes obtenidos en el cálculo de fallas contabilizadas.

Tabla 3-118: Coeficientes estructurales utilizados de las capas

Capa	Coef. Estructurales utilizados
Concreto asfáltico	0.41
Base (Grava graduada uniformemente)	0.13
Subbase (Arena grava graduada uniformemente)	0.11

Fuente: Autor.

- **Coeficiente de drenaje**

Como sabemos en la ciudad de Cuenca más del 25% de tiempo llueve en Cuenca por tanto tomamos el coeficiente de la tabla de la AASHTO.

De esta manera con los materiales seleccionados nos queda de la siguiente forma:

Tabla 3-119: Coeficiente de drenaje de las capas del pavimento

Capa	Espesores		Coef. Drenaje
	cm	in	
Carpeta	8	3	
Base	15	5.91	1
Subbase	25	9.84	1

Fuente: Autor.

- **Cálculo de número estructural efectivo (SNef).**

Se obtuvo el número estructural efectivo con la ecuación 2-24. Los datos de los espesores de carpeta asfáltica existentes, base y sub-base se observan en la tabla 2-12, en donde el Ingeniero Gustavo Jara, responsable de obras públicas del GAD Parroquial

Rural de Ricaurte, mediante excavaciones nos supo hacer llegar los espesores correspondientes al pavimento de la Avenida 25 de Marzo.

- **Determinación del número estructural efectivo del pavimento de concreto asfáltico existente en la Av. 25 de Marzo.**

Se contabilizarán las fallas de piel de cocodrilo, fisuras transversales y bombeo para determinar los coeficientes estructurales. Los porcentajes calculados se presentan en la tabla 3-120.

Tabla 3-120: Coeficiente de drenaje de las capas del pavimento

Tipo de falla	Porcentaje		
	L	M	H
Piel de cocodrilo	7.55%	10.47%	11.63%
Fisuras transversales	0.00%	0.00%	0.00%
Bombeo	0.00%	0.00%	0.00%

Fuente: Autor.

Luego se determina el valor de los coeficientes estructurales:

Tabla 3-121: Coeficientes estructurales de las capas del pavimento

Capa	Espesores		Coef. Estructural
	cm	in	
Carpeta	3.81	1.5	0.41
Base	15	5.91	0.13
Subbase	25	9.84	0.11

Fuente: Autor.

Entonces, se calcula el número estructural efectivo con la ecuación 2-24.

$$SN_{ef} = 1.5 * 0.41 + 5.91 * 0.13 + 9.84 * 0.11 * 1 = 2.46 \text{ in}^{-1}$$

- **Determinación del espesor del refuerzo de concreto asfáltico sobre el pavimento de concreto asfáltico (Dol)**

El espesor de la capa de refuerzo de cálculo utilizando la ecuación 2-25.

El valor del coeficiente estructural y el módulo de elasticidad del refuerzo de concreto asfáltico son 400000 PSI y 0.42 respectivamente. Estos valores se encuentran en la Tabla 2-14.

$$D_{ol} = \frac{4.97 - 2.46}{0.42} = 5.96 \text{ in} = 15.14 \text{ cm}$$

3.4. Propuesta de intervención

Basándonos en el análisis del pavimento por su índice de condición, el cual nos indica que el pavimento tiene una condición regular, debido a que es conformada por pavimento flexible (asfalto), se tendría que optar por la reparación absoluta de la capa de rodadura por la cantidad de fallas existentes en la vía, es decir; se tendría que fresar 1.5" de espesor de la vía en su totalidad y colocar un refuerzo de 6".

Tabla 3-122: Espesores de refuerzo

Av. 25 de marzo	Espesor de refuerzo calculado	Espesor de refuerzo recomendado
Refuerzo concreto asfáltico (inch)	5.96	6

Fuente: Autor

3.5. Presupuesto Referencial

PRESUPUESTO		Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	OBRAS PRELIMINARES				\$ 2,194.72
1.1	Replanteo y nivelación (vías)	km.	1.81	\$ 1,209.88	\$ 2,194.72
2	PAVIMENTO				\$ 688,782.15
2.1	Fresado de pavimento asfáltico e=1.5"	m3	623.16	\$ 13.95	\$ 8,693.13
2.2	Excavación manual	m3	62.32	\$ 12.53	\$ 780.87
2.3	Cargado de material con minicargadora	m3	64.00	\$ 1.96	\$ 125.44
2.4	Cargado de material manualmente	m3	8.00	\$ 5.01	\$ 40.08
2.5	Sobreacarreo materiales, distancia > 6 km	m3-km	15080.64	\$ 0.23	\$ 3,468.55
2.6	Barrido mecánico	m2	32712.00	\$ 0.05	\$ 1,635.60
2.7	Capa ligante para asfalto	m2	49068.00	\$ 0.49	\$ 24,043.32
2.8	Capa Rod. Ho. Asfalt. Esp =3".	m2	44161.20	\$ 14.63	\$ 646,078.36
2.9	Recuperación de pozos de revisión (Incluye tapa, brocal y hormigón)	u	36	\$ 108.80	\$ 3,916.80
3	SEÑALIZACION Y PREVENCIÓN DE RIESGOS				\$ 16,299.54
3.1	Letreros informativos de obra (4x2m suministro y colocación)	u	1	\$ 356.40	\$ 356.40
3.2	Señal luminosa de prevención	u	4	\$ 44.97	\$ 179.88
3.3	Cintas demarcatorias h= 7.5 cm	m	900	\$ 0.60	\$ 540.00
3.4	Vallas de señalización de advertencia de obra	u	9	\$ 23.22	\$ 208.98
3.5	Implementos de protección	u	10	\$ 164.80	\$ 1,648.00
3.6	Marca de pavimento (Pintura sobre calzada 15 cm de ancho)	km	7.26	\$ 919.32	\$ 6,674.26
3.7	Pintura pasos cebra	m2	240	\$ 17.18	\$ 4,123.20
3.8	Señalización Vertical	u	9	\$ 123.70	\$ 1,113.30
3.9	Conos para tráfico suministro e instalación	u	40	\$ 1.96	\$ 78.40
3.10	Difusión social	global	1	\$ 696.00	\$ 696.00
3.11	Malla plástica de seguridad k0001 suministro e instalación	ml	360	\$ 1.11	\$ 399.60
3.12	Letrero de información de hombres trabajando 0,75x,75x1,8m	u	9	\$ 31.28	\$ 281.52
				TOTAL	\$ 707,276.41

Ilustración 3-12: Presupuesto referencial, Fuente: Autor.

4. Conclusiones

- Mediante el análisis del tráfico de la Avenida 25 de marzo realizado en el año 2022, se obtuvo como un Tráfico Promedio Diario Anual de 19100 vehículos, entre transporte liviano y pesado.
- Con el apoyo del GAD Municipal de Ricaurte, se pudo observar que la estructura de la vía no cuenta con capa de mejoramiento, solamente cuenta con carpeta asfáltica, base y subbase granular.
- El conteo vehicular se realizó durante 7 días, de 06H00 A 18H00, en la zona de más afluencia vehicular, con esta información se pudo establecer la proyección y análisis del tráfico para calcular el número de ejes equivalentes, para el diseño del pavimento mediante la norma AASHTO-93.
- Las evaluaciones realizadas mediante el PCI, en los diversos tramos analizados, indicaron la necesidad urgente, de intervención en 8 de los 20 tramos analizados, ya que, cada uno de estos se encuentran en estado “malo”, “muy malo”, y “crítico”, debido a la variedad de fallas medias y altas en las distintas zonas de la vía, dando como resultado total de 46, obteniendo una condición “regular” del pavimento en toda la avenida.

- Según las muestras analizadas, el CBR de la vía obtenido es de 4%, que es un valor bajo para soportar el tráfico que soporta la Av. 25 de Marzo.
- Según los resultados obtenidos se recomienda fresar 1.5 pulgadas del pavimento asfáltico actual y colocar un refuerzo en la vía con un espesor de 6 pulgadas.

5. Recomendaciones

- Se deben realizar mantenimientos periódicos y controles visuales con la metodología PCI para detectar fallas en el pavimento con la finalidad de corregirlas a tiempo.
- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo, rutinario y periódico adecuado a la vía.
- Se recomienda utilizar la metodología PCI para la evaluación de pavimentos, debido a que es más económico que un estudio de deflectometría.

6. Referencias

- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2018). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones. Bogotá: Alfaomega Colombiana S.A.
- Vásquez, L. R. (2002). PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS. Manizales: INGEPAV.
- UMSS. (s.f.). Manual Completo de Diseño de Pavimentos.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). AASHTO-93 Design of Pavement Structures.
- American Standard for Testing and Materials. (s.f.). Norma PCI-ASTM-D-6443 Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos.

- García, A. R. (2015). Diseño de pavimento asfáltico por el método aashto-93 empleando el software disaashto-93. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/7544>.
- Mejía Regalado, I. (2017). Análisis y propuesta de solución integral al congestionamiento vehicular que se produce en la Av. 24 de Mayo y Vía al Valle, de la ciudad de Cuenca. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para carreteras. Bogotá: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- Shah, Y., Jain, S., Tiwari, D., & Jain, M. (2013). Development of Overall Pavement Condition Index for Urban Road Network. *Procedia - Social and Behavioral Science*, 332-341.
- Sharma, S., Gulati, B., & Rizak, S. (1996). Statewide traffic volume studies and precision of AADT estimates, 430-439.
- Romero J. & Toledo C. (2017), Análisis de la intersección entre la Av. de las Américas y ruta Machángara, con posible mejoramiento vial, 93. Cuenca: Universidad de Cuenca. Repositorio: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27392>
- Cano González, T. G. (2019-09). *Tesis*. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50906>