

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO



TEMA DE TRABAJO DE GRADUACION
COMPARACIÓN DE TRÁFICO DE DISEÑO VERSUS
TRÁFICO REAL Y SUS CONSECUENCIAS EN EL
DESEMPEÑO PREVISTO DE CUATRO TRAMOS DE
CARRETERA EN EL SALVADOR

PRESENTADO POR:
ALEX JAVIER PINEDA MANCIA
CARLOS ALFREDO ZALDAÑA TRIGUEROS

PARA OPTAR AL TITULO DE:
MAESTRO EN INGENIERIA VIAL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LCDO. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE POSGRADO

DIRECTOR:

MSc. ELMER ARTURO CARBALLO RUÍZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

MAESTRO EN INGENIERIA VIAL

Título:

TEMA DEL TRABAJO DE GRADUACION
COMPARACIÓN DE TRÁFICO DE DISEÑO VERSUS
TRÁFICO REAL Y SUS CONSECUENCIAS EN EL
DESEMPEÑO PREVISTO DE CUATRO TRAMOS DE
CARRETERA EN EL SALVADOR

Presentado por:

ALEX JAVIER PINEDA MANCIA

CARLOS ALFREDO ZALDAÑA TRIGUEROS

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor(a):

Ph.D. MIGUEL ANGEL DIAZ SANCHEZ

SAN SALVADOR, MARZO DE 2024

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Miguel Ángel Díaz Sánchez', written over a large, stylized circular flourish.

Ph.D. MIGUEL ANGEL DIAZ SANCHEZ

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento al personal de las instituciones de Gobierno que amable y desinteresadamente nos han colaborado proveyéndonos información importante para el desarrollo del presente trabajo de graduación.

A las personas del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), Dirección General de Transporte del Vice Ministerio de Transporte (DGT-VMT), Dirección de Planificación de la Obra Pública del Ministerio de Obras Públicas y Transporte (DPOP -MOPT), que muy amable y cordialmente nos atendieron, proporcionándonos información importante para el desarrollo de la presente investigación.

DEDICATORIAS

A DIOS TODOPODEROSO: Por darme la oportunidad de culminar de manera satisfactoria este proceso de aprendizaje, por darme la orientación del camino a seguir, la paciencia y perseverancia en este proceso.

A MI ESPOSA: Fátima Guadalupe Hernández por ser mi principal pilar y apoyo en todo lo que hago. Por cuidar de mí, dando aliento y fuerzas para estar bien. Por estar pendiente de mí en todo momento y darme todos los ánimos para seguir adelante.

A MIS PADRES: Joel Pineda Solís y Sonia Elizabeth Mancía por apoyarme moralmente para poder desarrollar mis estudios y por fomentarme buenos principios.

A MIS HERMANOS: Por estar conmigo en todo el proceso, por darme consejos que me han ayudado a tomar fuerzas y no desistir.

A MI COMPANERO: Por decidir afrontar este reto en conjunto conmigo, por todos los buenos momentos que pasamos en el desarrollo de esta investigación y por fortalecer nuestra amistad más allá de una responsabilidad académica.

A MI ASESOR Y JURADOS: Por tiempo dedicado a esta investigación, por el aporte profesional y consejos dados durante todo el desarrollo de este trabajo de graduación.

ALEX JAVIER PINEDA MANCIA

DEDICATORIAS

A mi amada madre Estela, hasta el cielo.

A mis hijas Adriana y Karla, por apoyarme, alentarme y acompañarme de diversas maneras en el logro del presente objetivo.

Especial dedicación a mi tío Arturo.

A mis tíos Alfonso, Mercedes, Blanca, Que en paz descansen.

A mis primos Edgardo y Fernando, Que en Paz Descansen.

Al compañero y amigo Alex, por ser parte de este nuevo logro académico.

A los asesores y jurado por su dedicación para orientarnos durante la elaboración de la investigación.

A las personas que siempre me han apoyado dándome ánimo para continuar.

CARLOS ZALDAÑA

CONTENIDO

CAPITULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCION	2
1.2 ANTECEDENTES	4
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.4 OBJETIVOS	6
1.5 ALCANCES.....	7
1.6 LIMITACIONES.....	8
1.7 JUSTIFICACION	9
CAPITULO II	10
DESCRIPCIÓN Y DISEÑOS ESTRUCTURALES DE LOS TRAMOS EN ANALISIS ..	10
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TRAMOS.....	11
2.1.1 UBICACIÓN	12
2.1.2 PROPIETARIO DEL PROYECTO	13
2.1.3 LICITACIONES PARA LA REALIZACIÓN DEL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y SUPERVISIÓN.....	14
2.2 ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DISEÑADAS Y CONSTRUIDAS.....	20
2.3 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS EN ANALISIS.....	24
2.3.1 TRAFICO DE DISEÑO	24
2.3.2 VARIABLES DE DISEÑO	55
2.3.4 RESULTADOS FINALES DE LOS DISEÑOS	69
2.3.5 ANALISIS DE DETERIOROS EN ETAPA DE DISEÑO.....	75
CAPITULO III	79
METODOLOGIA DE MEDICION	79
3.1 DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA DE MEDICION	80
3.2 PERSONAL UTILIZADO	81
3.3 RECURSOS UTILIZADOS	81
3.4 PROGRAMACIÓN DE TRABAJO	82
3.5 EQUIPO UTILIZADO.....	83
3.6 CONTEOS DE TRAFICO	84
3.7 ESTACION DE PRUEBA Y CALIBRACION	85

3.8 APARATO DE MEDICION ROAD PRO VT4.....	87
3.9 SITIOS DE INSTALACIÓN DEL ROADPOD VT4.....	88
3.10 INSTALACIÓN DE LAS MANGUERAS Y PROGRAMACIÓN DE LAS MEDICIONES.....	88
3.11 CONFIGURACIÓN DEL MEDIDOR DE TRAFICO.....	91
3.12 DESCARGA DE DATOS A LA COMPUTADORA.....	97
3.13 MEDICIÓN DE PESOS.....	98
3.13.1 MEDICION DE PESOS EN BASCULAS MOVILES.....	99
3.13.2 MEDICION DE PESOS EN BASCULAS FIJAS.....	102
CAPITULO IV.....	104
GENERACION DE ESPECTROS DE CARGA. BASCULA FIJA DE ACAJUTLA ...	104
4.1 GENERACION DE ESPECTROS DE CARGA PARA DATOS DE LA BASCULA FIJA DE ACAJUTLA.....	105
4.1.1 ESTACION DE BASCULA FIJA DE PESAJE DEL VMT EN ACAJUTLA....	105
4.1.2 DATOS DEL PESAJE.....	106
4.1.3 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	107
4.1.4 CANTIDAD DE VEHICULOS PESADOS EN LA BASCULA FIJA DE ACAJUTLA.....	108
4.1.5 CANTIDAD DE EJES PESADOS.....	109
4.2 ESPECTROS DE CARGA VEHICULAR DE EJE SENCILLO DIRECCIONAL..	111
4.3 ESPECTROS DE CARGA VEHICULAR DE EJE SENCILLO DUAL.....	113
4.4 ESPECTROS DE CARGA VEHICULAR DE EJE TANDEM.....	116
4.5 ESPECTROS DE CARGA VEHICULAR DE EJE TRIDEM.....	119
4.6 RESUMEN DE LAS CANTIDADES DE EJES Y EL CUMPLIMIENTO DE LOS PESOS.....	122
4.7 ESPECTROS DE CARGA PARA TODOS LOS EJES.....	122
4.8 EXCESOS DE PESO REGISTRADOS EN LA BASCULA FIJA DE ACAJUTLA.....	124
4.8.1 CANTIDAD DE EJES QUE EXCEDEN EL PESO PERMITIDO.....	124
4.8.2 EXCESO DEL PESO TOTAL DE LOS EJES.....	125
4.8.3 EXCESO DE PESO PROMEDIO DEL TOTAL DE LOS EJES.....	127
CAPITULO V.....	129
RESULTADOS Y ANALISIS.....	129

5.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE CADA UNO DE LOS TRAMOS	130
5.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS TRAMO I – BY PASS SONSONATE	132
5.2.1 ANALISIS DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)	133
5.2.2 ANALISIS EJES EQUIVALENTES (ESAL´s).....	137
5.2.3 ANALISIS DE NIVELES DE SERVICIO	150
5.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS TRAMO II – BY PASS SONSONATE – DV. LAS TABLAS	156
5.3.1 ANALISIS DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).....	156
5.3.2 ANALISIS EJES EQUIVALENTES (ESAL´s).....	161
5.3.3 ANALISIS DE NIVELES DE SERVICIO	172
5.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS TRAMO III – DV. LAS TABLAS – DV. LA LIBERTAD	179
5.4.1 ANALISIS DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).....	179
5.4.2 ANALISIS EJES EQUIVALENTES (ESAL´s).....	184
5.4.3 ANALISIS DE NIVELES DE SERVICIO	196
5.5 RESULTADOS Y ANÁLISIS TRAMO IV – DV. LA LIBERTAD – DV. LA HACHADURA	202
5.5.1 ANALISIS DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).....	202
5.5.2 ANALISIS EJES EQUIVALENTES (ESAL´s).....	207
5.5.3 ANALISIS DE NIVELES DE SERVICIO	218
5.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CUATRO TRAMOS.	225
5.6.1 ANALISIS DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).....	225
5.6.2 ANALISIS EJES EQUIVALENTES (ESAL´s).....	226
5.6.3 ANALISIS DE NIVELES DE SERVICIO	227
5.6.4 ANALISIS ESTRUCTURAL	229
CAPITULO VI	233
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	233
6.1 CONCLUSIONES.....	234
6.2 RECOMENDACIONES	236
BIBLIOGRAFIA	238
ANEXOS	239

ANEXO A. CARTA ENVIADA AL FOVIAL SOLICITANDO INFORMACION DEL DISEÑO DE LOS CUATRO TRAMOS DE CARRETERA OBJETO DE LA INVESTIGACION.....	240
ANEXO B. CORREO ELECTRONICO RECIBIDO POR LOS MAESTRANTES DE PARTE DEL FOVIAL REMITIENDO INFORMACION DEL DISEÑO DE LOS CUATRO TRAMOS DE CARRETERA OBJETO DE LA INVESTIGACION.....	242
ANEXO C. CARTA ENVIADA AL VICE MINISTERIO DE TRANSPORTE (VMT) SOLICITANDO INFORMACION DE LA SERIE HISTORICA DEL PESAJE VEHICULAR DESDE EL AÑO 2011 HASTA EL AÑO 2021 DE LAS RUTAS “CA08W: BY PASS SONSONATE Y CA12S: SONSONATE BY PASS SUR (FINAL CA08AW) – PUERTO DE ACAJUTLA”.....	244
ANEXO D. CARTA ENVIADA AL FOVIAL SOLICITANDO INFORMACION REFERENTE AL ANALISIS ECONOMICO DE LAS ALTERNATIVAS DEL PAVIMENTO Y RESUMEN EJECUTIVO DEL DISEÑO FINAL COMPLETO, DE LOS TRAMOS OBJETO DE LA PRESENTE INVESTIGACION.....	246
ANEXO E. NOTA DE ENTREGA DE INFORMACION DEL FOVIAL A LOS MAESTRANTES, REMITIENDO INFORMACION REFERENTE AL DISEÑO FINAL DE LOS TRAMOS OBJETOS DE LA PRESENTE INVESTIGACION.	248
ANEXO F. CARTA ENVIADA A LA DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE DE CARGA (DGTC), SOLICITANDO INFORMACION DE PESAJE DE LAS ESTACIONES FIJAS DE PESAJE DE ACAJUTLA Y ZACATECOLUCA.....	249
ANEXO G. CORREO ELECTRONICO ENVIADO A LOS MAESTRANTES POR PARTE DE LA DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE DE CARGA (DGTC), REMITIENDO INFORMACION DE LAS ESTACIONES DE FIJAS DE PESAJE DE ACAJUTLA Y ZACATECOLUCA.....	251
ANEXO H. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS CUATRO TRAMOS DE CARRETERA OBJETO DE LA PRESENTE INVESTIGACION.....	252

INDICE DE TABLAS CAPITULO II

Tabla 2. 1 Tramos de pavimento en evaluación.....	11
Tabla 2. 2 Adjudicaciones de Contratistas y Supervisores. Tramos I al IV	19
Tabla 2. 3 Estructuras de Pavimento propuestas por el diseñador	21
Tabla 2. 4 Estructuras construidas en cada tramo.	22
Tabla 2. 5 TPDA histórico de la red CA8AW. Tramo By Pass Sonsonate.....	25
Tabla 2. 6 TPDA histórico de la red CA12S. Tramo By Pass Sonsonate – Dv. La Libertad.	26
Tabla 2. 7 TPDA histórico de la red CA12S. Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.	26
Tabla 2. 8 TPDA histórico de la red CA12S. Dv. La Hachadura – Acajutla.	26
Tabla 2. 9 Relación TPDM-TPDA (factor mensual). Estación permanente Izalco. Año 2003.	27
Tabla 2. 10 Relación TPD/TPDM para la CA8AW, Tramo: Bypass Sonsonate 2013 ...	28
Tabla 2. 11 Relación TPD/TPDM para la CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad, 2013.....	28
Tabla 2. 12 Relación TPD/TPDM para la CA12S, Tramo: Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, 2013	28
Tabla 2. 13 Relación TPD/TPDM para la CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla, 2013	28
Tabla 2. 14 TPD CA8AW, sentido hacia Sonsonate, 2013.....	29
Tabla 2. 15 TPD, CA8AW, sentido hacia Izalco, 2013	29
Tabla 2. 16 TPD CA8AW, ambos sentidos, 2013.....	29
Tabla 2. 17 TPDA al año base, 2013. CA8AW, Tramo: Bypass Sonsonate	30
Tabla 2. 18 TPD CA12S, hacia Dv. La Libertad	30
Tabla 2. 19 TPD CA12S, hacia Sonsonate	30
Tabla 2. 20 TPD CA12S, ambos sentidos. La Libertad	30
Tabla 2. 21 TPDA al año base 2013, CA12S, tramo Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad.	31
Tabla 2. 22 TPD, CA12S, hacia Dv. La Hachadura, 2013.....	31
Tabla 2. 23 TPD, CA12S, hacia Dv. La Libertad, 2013	31
Tabla 2. 24 TPD, CA12S, ambos sentidos, 2013.....	31
Tabla 2. 25 TPDA al año base 2013, CA12S, tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura	32
Tabla 2. 26 TPD, CA12S, sentido hacia Dv. La Hachadura, 2013	32
Tabla 2. 27 TPD, CA12S, sentido hacia Acajutla, 2013	32
Tabla 2. 28 TPD, CA12S, ambos sentidos, 2013.....	32
Tabla 2. 29 TPDA al año base, 2013 CA12S, tramo Dv. La Hachadura - Acajutla.....	33
Tabla 2. 30 Composición Vehicular en Bypass Sonsonate.	33
Tabla 2. 31 Composición Vehicular en CA12S, tramo Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad	34
Tabla 2. 32 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.....	35
Tabla 2. 33 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Hachadura - Acajutla. ...	36

Tabla 2. 34 Crecimiento poblacional del departamento	38
Tabla 2. 35 Evolución del PIB 1998-2012 a precios constantes 1990	39
Tabla 2. 36 Tasas de crecimiento del PIB.....	40
Tabla 2. 37. Evolución del TPDA por tramos periodo 2009-2013.....	44
Tabla 2. 38 Hipótesis 1 tasa de crecimiento del tráfico normal.....	48
Tabla 2. 39 Hipótesis 2 tasa de crecimiento del tráfico normal.....	48
Tabla 2. 40 Crecimiento del tráfico normal, CA8AW Tramo: Bypass Sonsonate.....	49
Tabla 2. 41 Tráfico generado o inducido, CA8AW Tramo: Bypass Sonsonate.....	50
Tabla 2. 42 Tráfico total, CA8AW Tramo: Bypass Sonsonate	50
Tabla 2. 43 Crecimiento del tráfico normal, CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad	51
Tabla 2. 44 Tráfico generado o inducido, CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad	51
Tabla 2. 45 Tráfico total, CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad.....	52
Tabla 2. 46 Trafico normal, CA12S, Tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.....	52
Tabla 2. 47 Tráfico generado o inducido, CA12S, Tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.	53
Tabla 2. 48 Trafico total, CA12S, Tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.....	53
Tabla 2. 49 Trafico normal, CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla.....	54
Tabla 2. 50 Tráfico generado o inducido, CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla.	54
Tabla 2. 51 Tráfico total CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla.....	55
Tabla 2. 52 CBR del Proyecto.....	56
Tabla 2. 53 Factores de distribución por carril según Guía AASHTO 93.....	57
Tabla 2. 54 Tasas de crecimiento vehicular	58
Tabla 2. 55 Límites de pesos en toneladas / kips de ejes por tipo de vehículos.....	58
Tabla 2. 56 Valores recomendados de Confiabilidad	59
Tabla 2. 57 Valores típicos de módulos de elasticidad de varios tipos de materiales...	63
Tabla 2. 58 Niveles de drenaje de estructuras de pavimento	65
Tabla 2. 59 Coeficientes de drenaje, Cd, recomendados para pavimentos asfálticos ..	65
Tabla 2. 60 Coeficientes de drenaje, Cd, recomendados para pavimentos hidráulicos	66
Tabla 2. 61 Valores de coeficiente de transferencia de carga, J	67
Tabla 2. 62 Resumen de variables de diseño	69
Tabla 2. 63 Esal's resultantes para los tramos en estudio	70
Tabla 2. 64 Alternativas de pavimento definitivas construidas	70
Tabla 2. 65 Alternativas de Pavimento Flexible	75
Tabla 2. 66 Alternativas de Concreto Hidráulico	76
Tabla 2. 67 Parámetros de comportamiento de pavimentos flexibles.....	78
Tabla 2. 68 Parámetros de comportamiento de pavimentos rígidos.....	78

INDICE DE TABLAS CAPITULO III

Tabla 3. 1 Fechas de mediciones de tráfico por tramos	80
---	----

Tabla 3. 2 Ubicación geodésica de los puntos de medición del tráfico.....	88
---	----

INDICE DE TABLAS CAPITULO IV

Tabla 4. 1 Tipos de ejes por cada vehículo objeto del pesaje	107
Tabla 4. 2 Cantidad de vehículos pesados por tipo.....	108
Tabla 4. 3 Cantidad de ejes pesados.....	109
Tabla 4. 4 Espectro de carga del EJE SENCILLO DIRECCIONAL	111
Tabla 4. 5 Espectro de carga del EJE SENCILLO DUAL	114
Tabla 4. 6 Espectro de carga del EJE TANDEM.....	117
Tabla 4. 7 Espectro de carga de EJE TRIDEM.....	120
Tabla 4. 8 Cantidad de ejes que exceden el peso de máximo permitido por la ley.....	122
Tabla 4. 9 Espectro de carga EJE SENCILLO DIRECCIONAL, EJE SENCILLO DUAL, EJE TANDEM Y EJE TRIDEM.....	123
Tabla 4. 10 Cantidad de ejes que exceden el peso permitido	125
Tabla 4. 11 Exceso de peso total de los ejes.	126
Tabla 4. 12 Exceso de peso promedio del total de los ejes.....	127

INDICE DE TABLAS CAPITULO V

Tabla 5. 1 TPDA medido 2022, Tramo I By Pass Sonsonate	135
Tabla 5. 2 ESAL´s acumulados de diseño y medidos, Tramo I By Pass Sonsonate ..	138
Tabla 5. 3 Factor de dirección y factor de carril, Tramo I By Pass Sonsonate.....	140
Tabla 5. 4 Cantidad de ejes por año, By Pass Sonsonate	144
Tabla 5. 5 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje sencillo	145
Tabla 5. 6 LEF y ESAL por año y por eje By Pass Sonsonate	145
Tabla 5. 7 ESAL´s acumulados diseño, medido y espectro By Pass Sonsonate.....	146
Tabla 5. 8 ESAL´s acumulados diseño FC*FD, medido y espectro By Pass Sonsonate	148
Tabla 5. 9 Velocidades promedio medidas, Tramo I By Pass Sonsonate	150
Tabla 5. 10 Velocidades por año, Tramo I By Pass Sonsonate.....	150
Tabla 5. 11 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo I By Pass Sonsonate	151
Tabla 5. 12 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo I By Pass Sonsonate	152
Tabla 5. 13 TPDA medido 2022, Tramo II By Pass Sonsonate- Dv. Las Tablas	159
Tabla 5. 14 ESAL´s acumulados de diseño y medidos, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas.....	162
Tabla 5. 15 Factor de dirección y factor de carril, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas.....	164
Tabla 5. 16 Cantidad de ejes por año, By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas.....	167
Tabla 5. 17 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje sencillo dual.....	168
Tabla 5. 18 LEF y ESAL por año y por eje By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas.....	168

Tabla 5. 19 ESAL´s acumulados diseño, medido y espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas.....	169
Tabla 5. 20 ESAL´s acumulados diseño FC*FD, medido y espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas.....	171
Tabla 5. 21 Velocidades promedio medidas, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas.....	173
Tabla 5. 22 Velocidades por año, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas	173
Tabla 5. 23 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo II By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas.....	174
Tabla 5. 24 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo II By Pass Sonsonate Dv. Las Tablas.....	175
Tabla 5. 25 TPDA medido 2022, Tramo III Dv. La Tablas – Dv. La Libertad	182
Tabla 5. 26 ESAL´s acumulados de diseño y medidos, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad.....	185
Tabla 5. 27 Factor de dirección y factor de carril, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad	186
Tabla 5. 28 Cantidad de ejes por año, Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad.....	189
Tabla 5. 29 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje tandem	190
Tabla 5. 30 LEF y ESAL por año y por eje Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad	191
Tabla 5. 31 ESAL´s acumulados diseño, medido y espectro Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad	192
Tabla 5. 32 ESAL´s acumulados diseño FC*FD, medido y espectro Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad	194
Tabla 5. 33 Velocidades promedio medidas, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad	196
Tabla 5. 34 Velocidades por año, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad	196
Tabla 5. 35 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad	197
Tabla 5. 36 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad	198
Tabla 5. 37 TPDA medido 2022, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura	205
Tabla 5. 38 ESAL´s acumulados de diseño y medidos, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura	208
Tabla 5. 39 Factor de dirección y factor de carril, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.....	209
Tabla 5. 40 Cantidad de ejes por año, Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura.....	212
Tabla 5. 41 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje tridem	213
Tabla 5. 42 LEF y ESAL por año y por eje Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura	214
Tabla 5. 43 ESAL´s acumulados diseño, medido y espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura.....	215
Tabla 5. 44 ESAL´s acumulados diseño FC*FD, medido y espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura.....	217

Tabla 5. 45 Velocidades promedio medidas, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura	219
Tabla 5. 46 Velocidades por año, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.....	219
Tabla 5. 47 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura	220
Tabla 5. 48 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura	221
Tabla 5. 49 ESAL´s por Tramo y por tipo de cálculo	229
Tabla 5. 50 Espesores de estructura de pavimento Tramo I	230
Tabla 5. 51 Espesores de estructura de pavimento Tramo II	230
Tabla 5. 52 Espesores de estructura de pavimento Tramo III	231
Tabla 5. 53 Espesores de estructura de pavimento Tramo IV.....	232

INDICE DE GRAFICAS CAPITULO II

Grafica 2. 1 Composición Vehicular en Bypass Sonsonate.....	34
Grafica 2. 2 Composición Vehicular en CA12S, tramo Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad	35
Grafica 2. 3 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.....	36
Grafica 2. 4 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Hachadura - Acajutla....	37
Grafica 2. 5 Evolución del PIB	40
Grafica 2. 6 Evolución del TPDA en la CA8AW, Tramo: Bypass Sonsonate y proyección del modelo de regresión	41
Grafica 2. 7 Evolución del TPDA en la CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad y proyección del modelo de regresión.....	42
Grafica 2. 8 Evolución del TPDA en la CA12S, Tramo: Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura y proyección del modelo de regresión	42
Grafica 2. 9 Evolución del TPDA en la CA12S, Tramo Dv. La Hachadura - Acajutla y proyección del modelo de regresión	43
Grafica 2. 10 Coeficiente de determinación R2.....	46

INDICE DE GRAFICAS CAPITULO IV

Grafica 4. 1 Cantidad de vehículos pesados por tipo	109
Grafica 4. 2 Cantidad de ejes pesados	110
Grafica 4. 3 Espectro de carga del EJE SENCILLO DIRECCIONAL.....	112
Grafica 4. 4 Espectro de carga del EJE SENCILLO DUAL	115
Grafica 4. 5 Espectro de carga del EJE TANDEM	118
Grafica 4. 6 Espectro de carga de EJE TRIDEM.....	121
Grafica 4. 7 Espectro de carga EJE SENCILLO DIRECCIONAL, EJE SENCILLO DUAL, EJE TANDEM Y EJE TRIDEM.....	124
Grafica 4. 8 Cantidad de ejes que exceden el peso permitido.....	125
Grafica 4. 9 Exceso de peso total de los ejes.	126
Grafica 4. 10 Exceso de peso promedio del total de los ejes	128

INDICE DE GRAFICAS CAPITULO V

Grafica 5. 1 Parque Vehicular y variación histórica anual El Salvador del 2015 al 2023	131
--	-----

Grafica 5. 2 Parque Vehicular y variación anual Departamento de Sonsonate del 2015 al 2023.....	132
Grafica 5. 3 TPDA de diseño vs. TPDA real. Tramo I, By Pass - Sonsonate.....	133
Grafica 5. 4 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo I By Pass Sonsonate	135
Grafica 5. 5 TPDA Histórico 2002 – 2022 By Pass Sonsonate.....	136
Grafica 5. 6 TPDA By Pass Sonsonate vs parque vehicular departamento de Sonsonate	137
Grafica 5. 7 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo I By Pass Sonsonate	139
Grafica 5. 8 ESAL´s medidos vs. ESAL´s de diseño, Tramo I By Pass Sonsonate	140
Grafica 5. 9 ESAL´s real vs. ESAL´s de diseño con FC y FD calculados, Tramo I By Pass Sonsonate	141
Grafica 5. 10 % Peso vs % Daño de vehículos	143
Grafica 5. 11 ESAL´s medido vs diseño vs espectro By Pass Sonsonate	147
Grafica 5. 12 ESAL´s medido vs diseño FC*FD vs espectro By Pass Sonsonate	149
Grafica 5. 13 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo I By Pass Sonsonate	151
Grafica 5. 14 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo I By Pass Sonsonate	152
Grafica 5. 15 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo II, By Pass - Sonsonate - Dv. Las Tablas.....	156
Grafica 5. 16 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas.....	159
Grafica 5. 17 TPDA Histórico 2002 – 2022 By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas	160
Grafica 5. 18 TPDA By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas vs parque vehicular departamento de Sonsonate.....	161
Grafica 5. 19 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas.....	163
Grafica 5. 20 ESAL´s medidos vs ESAL´s de diseño, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas.....	164
Grafica 5. 21 ESAL´s real vrs ESAL´s de diseño con FC y FD calculados, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas	165
Grafica 5. 22 ESAL´s medido vs diseño vs espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas.....	170
Grafica 5. 23 ESAL´s medido vs diseño FC*FD vs espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas.....	172
Grafica 5. 24 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas	174
Grafica 5. 25 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo II By Pass Sonsonate Dv. Las Tablas	175
Grafica 5. 26 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo III, Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad	179

Grafica 5. 27 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad	182
Grafica 5. 28 TPDA Histórico 2002 – 2023 Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad	183
Grafica 5. 29 TPDA Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad vs parque vehicular departamento de Sonsonate.....	184
Grafica 5. 30 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad.....	186
Grafica 5. 31 ESAL´s medidos vs ESAL´s de diseño, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad	187
Grafica 5. 32 ESAL´s real vs. ESAL´s de diseño con FC y FD calculados, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad	188
Grafica 5. 33 ESAL´s medido vs diseño vs espectro Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad	193
Grafica 5. 34 ESAL´s medido vs diseño FC*FD vs espectro Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad	195
Grafica 5. 35 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad.....	197
Grafica 5. 36 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad.....	198
Grafica 5. 37 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.....	202
Grafica 5. 38 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.....	205
Grafica 5. 39 TPDA Histórico 2002 – 2023 Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura	206
Grafica 5. 40 TPDA Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura vs parque vehicular departamento de Sonsonate.....	207
Grafica 5. 41 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura	209
Grafica 5. 42 ESAL´s medidos vs ESAL´s de diseño, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.....	210
Grafica 5. 43 ESAL´s real vs. ESAL´s de diseño con FC y FD calculados, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura	211
Grafica 5. 44 ESAL´s medido vs diseño vs espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura	216
Grafica 5. 45 ESAL´s medido vs diseño FC*FD vs espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura.....	218
Grafica 5. 46 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.....	220
Grafica 5. 47 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.....	221
Grafica 5. 48 TPDA medido por tipo de vehículo en cada uno de los tramos.....	225
Grafica 5. 49 TPDA con motos y sin motos para los cuatro tramos	226
Grafica 5. 50 ESAL´s diseño vs medidos para los cuatro tramos.....	227

INDICE DE IMÁGENES CAPITULO II

Imagen 2. 1 Ubicacion general de los tramos en evaluacion en el Mapa de El Salvador	12
Imagen 2. 2 Ubicación específica de los tramos en evaluación	13
Imagen 2. 3 Sección transversal pavimento de concreto	23
Imagen 2. 4 Sección transversal pavimento asfaltico.....	23
Imagen 2. 5 Diseño de pavimento, tramo I y II.....	71
Imagen 2. 6 Diseño tramos III y IV	74

INDICE DE IMÁGENES CAPITULO III

Imagen 3. 1 Mediciones de trafico	82
Imagen 3. 2 Ubicación del lugar de calibración del ROADPOD VT4.....	84
Imagen 3. 3 Calibración del ROADPOD VT4, RN047W, tramo RN07W D - Dv Quezaltepeque - Dv San Juan Los Planes (LIB10N).	85
Imagen 3. 4 Conteo vehicular de forma manual.....	86
Imagen 3. 5 Conteo vehicular utilizando una cámara de video.	86
Imagen 3. 6 Accesorios para la instalación del ROADPOD VT4	87
Imagen 3. 7 Esquema de instalación de las mangueras para la medición del tráfico. ...	89
Imagen 3. 8 Aparato medidor de tráfico ROADPOD VT4.....	90
Imagen 3. 9 Instalación de mangueras, Tramo III, Lateral Derecho, 07.01.23	91
Imagen 3. 10 Captura de pantalla. Datos básicos para programar el Medidor de Trafico.	92
Imagen 3. 11 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo I, Lateral Derecho.....	93
Imagen 3. 12 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo I, Lateral Izquierdo.	94
Imagen 3. 13 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo II, Lateral Derecho.....	94
Imagen 3. 14 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo II, Lateral Izquierdo	95
Imagen 3. 15 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo III, Lateral Derecho.....	95
Imagen 3. 16 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo III, Lateral Izquierdo.....	96
Imagen 3. 17 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo IV, Lateral Izquierdo	96
Imagen 3. 18 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo IV, Lateral Derecho	97
Imagen 3. 19 Obsérvese las dos bandas en el piso y la unidad de pesaje en el dentro de cada banda. La selección de unidades es al azar.....	99
Imagen 3. 20 Unidad de Pesaje. Marca Havenni.	100
Imagen 3. 21 Pesaje de unidad en el punto de control de pesos.	101
Imagen 3. 22 A la derecha se observa la unidad receptora del peso de los ejes.	101

INDICE DE IMÁGENES CAPITULO IV

Imagen 4. 1 Ubicación de la Bascula fija de Acajutla	105
Imagen 4. 2 Datos básicos proporcionados por la DGTC – VMT	108

INDICE DE IMÁGENES CAPITULO V

Imagen 5. 1 Parque Vehicular vigente El Salvador enero 2024	131
Imagen 5. 2 Calculo de niveles de servicio, Tramo I By Pass Sonsonate, Lateral Derecho e Izquierdo año 2022.....	153
Imagen 5. 3 Calculo de niveles de servicio, Tramo I By Pass Sonsonate, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024.....	154
Imagen 5. 4 Calculo de niveles de servicio, Tramo I By Pass Sonsonate, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034.....	155
Imagen 5. 5 Calculo de niveles de servicio, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, Lateral Derecho e Izquierdo año 2022	176
Imagen 5. 6 Calculo de niveles de servicio, Tramo II By Pass Sonsonate Dv. Las Tablas, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024	177
Imagen 5. 7 Calculo de niveles de servicio, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034	178
Imagen 5. 8 Calculo de niveles de servicio, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, Lateral Derecho e Izquierdo año 2023	199
Imagen 5. 9 Calculo de niveles de servicio, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024	200
Imagen 5. 10 Calculo de niveles de servicio, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034	201
Imagen 5. 11 Calculo de niveles de servicio, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, Lateral Derecho e Izquierdo año 2023.....	222
Imagen 5. 12 Calculo de niveles de servicio, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024.....	223
Imagen 5. 13 Calculo de niveles de servicio, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034.....	224
Imagen 5. 14 Comparación de los niveles de servicio para los cuatro tramos	228

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

El Salvador cuenta con una Red Vial Nacional Prioritaria Mantenible (RVNPM) de 7,032.63 km. de la cual 4,135.76 km (58.81%) son Vías Pavimentada y 2,896.87 km (41.19%) son Vías No Pavimentadas¹.

El Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) ejecuta inversiones anuales programadas para dar mantenimiento a la Red Vial Nacional Prioritaria Mantenible, pero los fondos son insuficientes para atender toda la red (7,032.63 km).

La mora vial es un tema que tiene a las instituciones gubernamentales encargadas del mantenimiento y construcción de las vías pensando cada día en como optimizar los recursos disponibles para mejorar la red. En vista de esto, se ha pensado la eficiencia y buen desempeño que tengan los proyectos nuevos ejecutados en nuestro país, dentro de eso, se pueden evaluar muchas alternativas para tener un monitoreo y saber que lo que se invierte en construcción sean proyectos duraderos y no tener que estar invirtiendo en mantenimiento periódico de esas rutas en el corto plazo, dejando esos recursos para invertir en otras carreteras.

Para lograrlo, hay diferentes parámetros que se pueden medir tales como: tráfico, condiciones climáticas, materiales, procesos constructivos, etc. A manera de generar un aporte en este sentido, hemos decidido tomar uno de esos parámetros para analizarlo, el cual es el tráfico.

El tráfico es uno de los parámetros que es muy difícil de predecir en su comportamiento futuro, para lo cual en El Salvador hacemos uso de factores de crecimiento utilizados en otros países y que puede depender de muchos factores. Además, es uno de los parámetros que más puede afectar la

¹ MEMORIA DE LABORES. FONDO DE CONSERVACION VIAL. AÑO 2021, RED ASIGNADA AL FOVIAL, pagina 33.
file:///C:/Users/inser/Downloads/MEMORIA_DE_LABORES_FOVIAL_2021%20(1).pdf

durabilidad del pavimento, por lo que el análisis de este, es muy importante durante la etapa de diseño, y posteriormente cuando está en funcionamiento la estructura, y es ahí, donde podemos hacer una comparación con lo que se previó en el diseño. En caso de existir variaciones significativas, podría influir en la vida útil de la vía, siendo esa la premisa principal de este estudio, realizar un conteo vehicular (entre los meses de octubre de 2022 y febrero de 2023), y comparar con la carga que debería tener el pavimento según diseño a este momento y ver si los tráficos proyectados son los que están circulando en la vía.

Además, a manera de no solo quedarse con el resultado anterior, es pensar en diseños futuros y que estos sean concebidos desde el inicio con una proyección de tráfico adecuada para que su comportamiento previsto en el diseño sea el que se refleje en campo, así cerramos el círculo de lo mencionado en el inicio de este texto, que las inversiones realizadas en los proyectos sean duraderas y no requieran mantenimientos prematuros, en nuestro caso, por consideraciones adecuadas de la cantidad y tipo de vehículos.

Esperamos con el estudio y análisis planteado dar un aporte importante en tema de tráfico en el diseño, comportamiento y futuros proyectos de carreteras a desarrollar en el país.

1.2 ANTECEDENTES

En El Salvador, las instituciones encargadas de construcción y mantenimiento de carreteras son El Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) y la Dirección Nacional de Obras Municipales (DOM) quienes se encargan de programar y ejecutar la inversión.

Durante los últimos años se construyeron nuevas carreteras y otras tantas se intervinieron con mantenimiento periódico, las cuales, requirieron de un diseño previo y dentro de este un análisis de tráfico para evaluar las cargas a las que serían sometidas las estructuras en condiciones futuras.

Para tal fin, los diseñadores utilizan una metodología para definir los Ejes Equivalentes a los que estará sometido el pavimento, tales como: conteos vehiculares manuales, estaciones de conteo vehicular fijas (El MOPT tiene estaciones del tipo permanente y semi permanente instaladas en el país), estaciones de conteo vehicular móviles y con metodologías de proyección que permiten proyectar conteos a 24 horas.

Además, se utilizan en algunos casos pesaje de vehículos para determinar si están cumpliendo con lo establecido por la legislación correspondiente.

En cuanto a comportamiento de los pavimentos después de haber sido construidos, podemos observar que, en algunas carreteras, se presentan daños prematuros, los cuales requieren intervención temprana es decir antes de que el pavimento lo requiriera según el análisis del comportamiento del pavimento durante la etapa de diseño.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Históricamente en El Salvador se han hecho los diseños de las carreteras, utilizando proyecciones de tráfico basadas en criterios como crecimiento poblacional, porcentaje de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), las cuales nos han dado una buena referencia, sin embargo, desde hace unos años, el crecimiento vehicular ha incrementado considerablemente lo que nos hace pensar si dichas variables que se han tomado de referencia, son realmente útiles para hacer una predicción más certera.

En vista de eso, nuestras condiciones particulares como país, los factores de proyección de tráfico podrían ser acertadas o no.

Hemos buscado bibliografía en el país que aborde el tema de las tasas de proyección de tráfico en El Salvador, pero no encontramos.

Hasta el momento, no se sabe si las tasas de crecimiento proyectadas realmente predicen el tráfico que circulara por la carretera durante el periodo de diseño, o si las cantidades de vehículos son significativamente diferentes a lo proyectado.

El estudio plantea la necesidad de determinar las tasas de crecimiento que se han presentado en los cuatro sub tramos de estudio.

El análisis no pretende hacer juicio sobre los criterios de proyección del crecimiento del tráfico que se tomaron en su momento, sino más bien tiene como objetivo dar un punto de partida e incentivar las investigaciones acerca de las tasas de crecimiento reales que tenemos en el país.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar tráfico de diseño versus tráfico real en cuatro tramos de carreteras del país (dos en rodadura de concreto y dos en asfalto) para realizar diseños estructurales de los cuatro tramos de pavimento con las variaciones de tráfico medidas y evaluar las posibles consecuencias en el desempeño de los mismos, recomendando a algunas mejoras a tomar en cuenta para nuevos proyectos de interés nacional.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Medir tráfico por lo menos 3 días consecutivos en cada uno de los cuatro tramos a evaluar.
2. Comparar tráfico de diseño vs. tráfico real
3. Realizar corrida de los diseños estructurales del pavimento con el tráfico real y comparar resultados con los originales.
4. Comparar desempeño previsto calculado con tráfico de diseño vs desempeño calculado con tráfico real.
5. Evaluar posibles factores a considerar en la proyección de tráfico durante el diseño que sean particulares de nuestro país o zonas y dar recomendaciones a tomar en cuenta en futuros proyectos.

1.5 ALCANCES

Los alcances en el presente trabajo de graduación son los siguientes:

- Medir el tráfico por sentido en cada uno de los cuatro tramos.
- Analizar la composición del tráfico en cada uno de los cuatro tramos y sentido.
- Comparar la cantidad de vehículos medida para efectos de diseño contra la cantidad de vehículos circulando en el año 2022.
- Realizar corrida de diseños con el tráfico real para comparar vida útil versus lo diseñado.

1.6 LIMITACIONES

Nuestra investigación se limita a la información proporcionada por las instituciones de gobierno que cuenta con la información de diseño con la cual se desarrolló el proyecto, así como la información de mediciones de tráfico históricos que se tienen en las rutas estudiadas. Para nuestros cálculos además se requiere información de pesos de vehículos recolectados por el Vice Ministerio de Transporte (VMT), por lo que para obtener mejores conclusiones dependemos de la buena intención de la institución para brindar la información completa.

1.7 JUSTIFICACION

En la mayoría de países se cuenta con recursos limitados para el desarrollo de proyectos, por lo tanto, la labor que debemos realizar como ciudadanos y como profesionales conocedores de la materia, es buscar las alternativas que sean necesarias para que la inversión que se haga sea duradera y así asegurarnos que la rentabilidad social y financiera de los proyectos sea la correcta. Es por eso, para esta investigación se ha tomado el reto de analizar una de las variables más importantes en el diseño y operación de un proyecto de carreteras como lo es el tráfico.

En nuestro país no se cuenta con la práctica de dar seguimiento al comportamiento después de ser construidos, por lo que, esta investigación marca un punto de partida haciendo el seguimiento del comportamiento vehicular como uno de muchos factores que se pueden evaluar siendo este uno de los más importantes.

Estos cuatro tramos cuentan con la particularidad que fueron construidos en el mismo período, condiciones de tráfico similares, dos de ellos construidos con superficie de rodadura en concreto y dos en asfalto, con condiciones climáticas similares. Todas estas características los vuelve un “laboratorio a escala real”, que debemos explotar como investigadores.

A la fecha, no se cuenta con ningún estudio de este “laboratorio a escala real” por lo que nuestro trabajo de graduación será útil para proporcionar la información base del proyecto y el análisis de tráfico, lo cual da apertura para que más investigaciones se desarrollen en torno a esta.

CAPITULO II
DESCRIPCIÓN Y DISEÑOS
ESTRUCTURALES DE LOS TRAMOS
EN ANALISIS

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TRAMOS

Los cuatro tramos objeto del presente trabajo de investigación se encuentran ubicados en el departamento de Sonsonate, es una vía pavimentada con dos tramos de pavimento de concreto hidráulico y dos tramos de pavimento de concreto asfáltico, cada uno con cuatro carriles de circulación, dos por sentido, tiene una longitud total aproximada de 24 kilómetros, comienza al inicio del By Pass de Sonsonate y finaliza en el Puerto de Acajutla.

La vía está clasificada de acuerdo a la Red Vial de El Salvador como Especial, cuenta con separador central tipo New Jersey en la mayoría de su longitud, interceptando en su recorrido con las siguientes vías principales de similar jerarquía vial: CA08W y CA02W.

El proyecto está dividido en cuatro tramos y las estaciones indicadas corresponden a las utilizadas en el Diseño y se detalla en la Tabla 2. 1 Tramos de pavimento en evaluación.

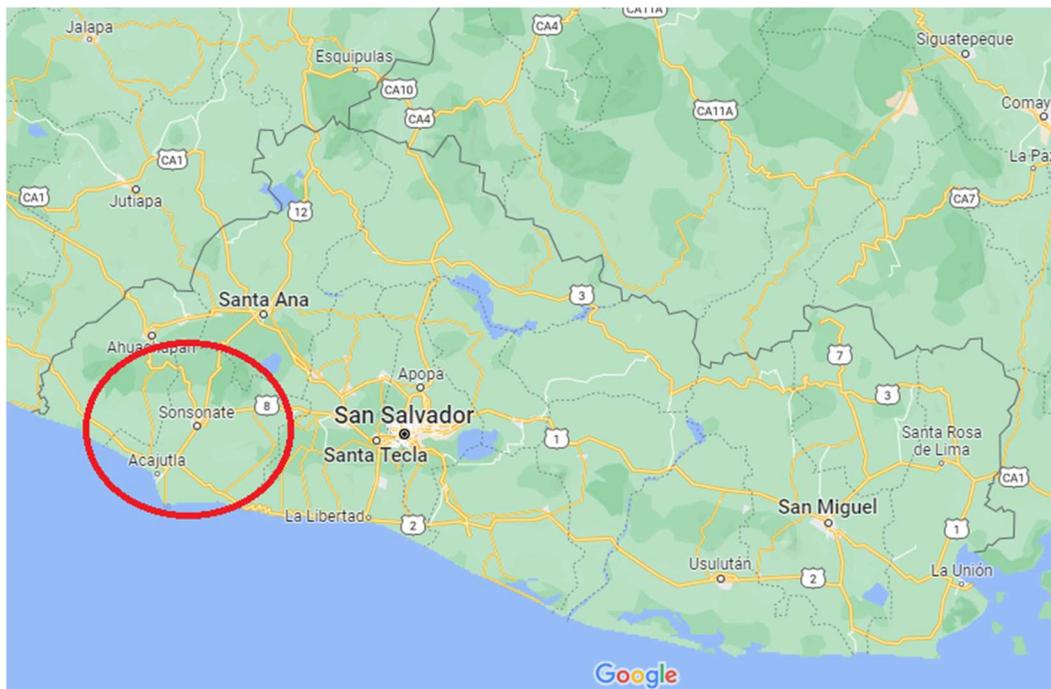
TRAMO	NOMBRE DEL PROYECTO	ESTACIONES	LONGITUD (KM)
I	CA8AW S: By Pass Sonsonate (CA08W – Et. CA12S, sin sus derivadores)	0+000 a 6+000	6.00
II	CA12S D: Sonsonate By Pass Sur (final CA08AW) – Dv. Las Tablas (SON18W).	6+000 a 10+800	4.80
III	CA12S D: Dv. Las Tablas (SON18W) – Dv. La Libertad.	10+800 a 16+900	6.10
IV	CA12S E: Dv. La Libertad – Puerto Acajutla.	16+900 a 24+200	7.30

Tabla 2. 1 Tramos de pavimento en evaluación

Fuente: Creación propia Con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño.

2.1.1 UBICACIÓN

La ubicación de cada uno de los tramos en estudio de muestran en la Imagen 2. 1 Ubicación general de los tramos en evaluación en el Mapa de El Salvador y en la Imagen 2. 2 Ubicación específica de los tramos en evaluación.



*Imagen 2. 1 Ubicación general de los tramos en evaluación en el Mapa de El Salvador
Fuente: Imagen obtenida de Google maps²*

² IMAGEN DE GOOGLE MAPS.
<https://www.google.com/maps/@13.8349022,-88.690481,9.35z?entry=ttu>

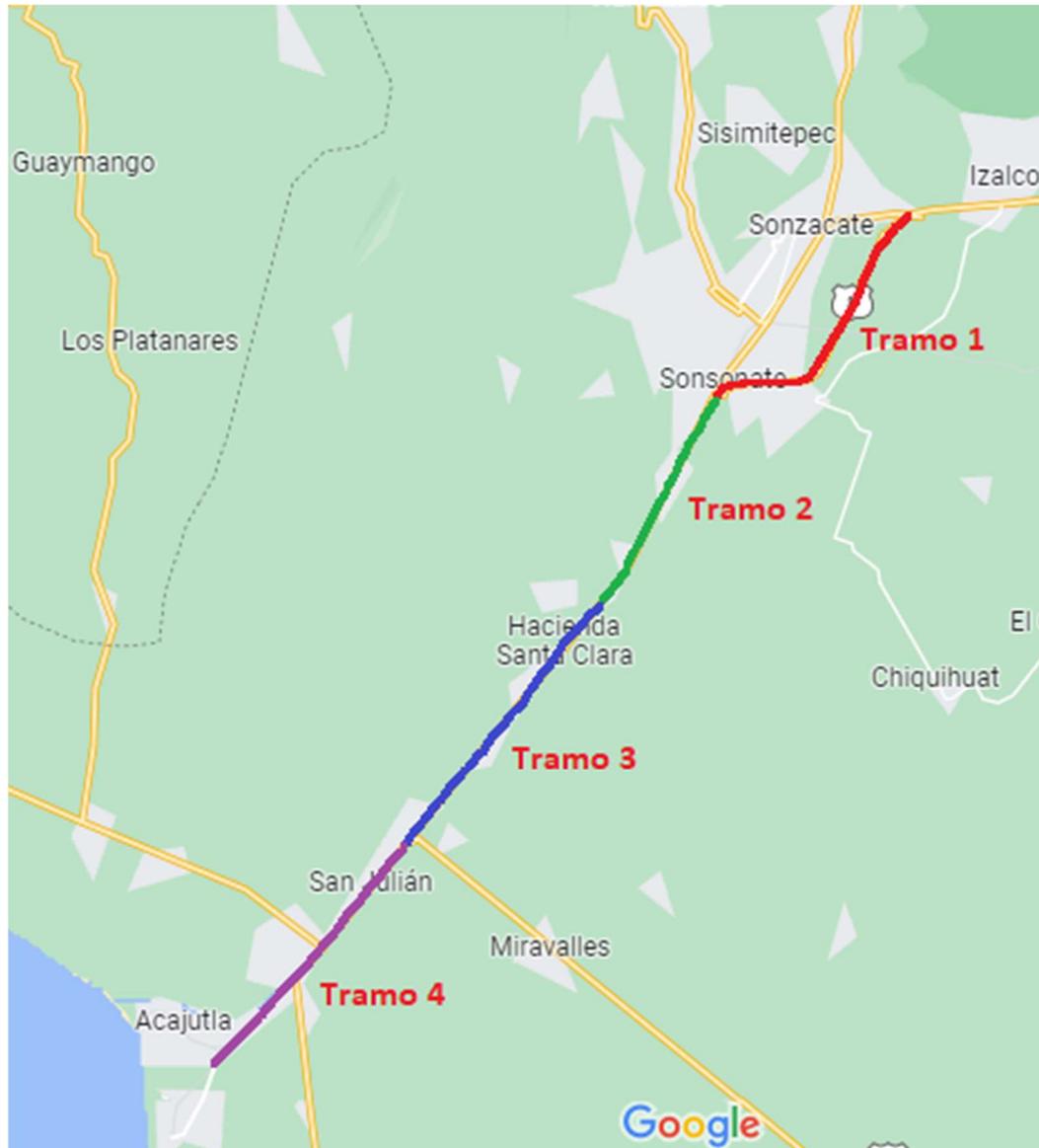


Imagen 2. 2 Ubicación específica de los tramos en evaluación
Fuente: Creación propia. Con imagen obtenida de Google maps³

2.1.2 PROPIETARIO DEL PROYECTO

El ente encargado del mantenimiento de las carreteras en El Salvador es el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), creado mediante decreto legislativo 208, LEY DEL FONDO DE CONSERVACIÓN VIAL, Publicado en el Diario Oficial N°

³ IMAGEN DE GOOGLE MAPS
<https://www.google.com/maps/@13.8349022,-88.690481,9.35z?entry=ttu>

237, Tomo N° 349, en fecha 18 de diciembre de 2000⁴.

Las funciones de FOVIAL están definidas en la referida LEY DEL FONDO DE CONSERVACIÓN VIAL. En el Art. 3 define algunos conceptos:

Especifica que la “LA CONSERVACIÓN COMPRENDE ACTIVIDADES TALES COMO EL MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIÓDICO...”

Define que “EL MANTENIMIENTO PERIÓDICO ES EL QUE SE REFIERE AL TRATAMIENTO Y RENOVACIÓN DE LA SUPERFICIE, SUS PERÍODOS DE APLICACIÓN SON MAYORES DE UN AÑO. CONSIDERÁNDOSE EL TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE, COMO LA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LOS CAMINOS PAVIMENTADOS, POR LA CUAL SE PROCURA ESTABLECER LAS CARACTERÍSTICAS DEL PAVIMENTO, SIN LLEGAR A SER UN REFUERZO ESTRUCTURAL; ... “

2.1.3 LICITACIONES PARA LA REALIZACIÓN DEL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y SUPERVISIÓN.

El Fondo de Conservación Vial – FOVIAL, a través de la Unidad de Adquisiciones y contrataciones UACI, publico los Concursos Públicos para el diseño la construcción de la siguiente manera:

CONCURSO DE DISEÑO

Concurso Público CP 043/2013⁵

DISEÑO DEL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LAS RUTAS CA8AW: BY PASS SONSONATE Y CA12S: SONSONATE BY PASS SUR (FINAL CA8AWS)- PUERTO ACAJUTLA

Fecha de Publicación: 19/07/2013

⁴ASAMBLEA LEGISLATIVA DE EL SALVADOR, DECRETO 208 con fecha 20 de noviembre de 2001, <https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/926A869C-E28A-4CC7-B040-39E366F2827D.pdf>

⁵ PAGINA WEB DE COMPRASAL. DISEÑO DEL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LAS RUTAS CA0AW BY PASS SONSONATE Y CA12S: SONSONATE BY PASS SUR (FINAL CA8AWS) – PUERTO ACAJUTLA, CP 043/2013. <https://unac.gob.sv/comprasalweb/procesos/1068998>

Empresa Adjudicada: LEG, S.A. DE C.V.

Monto Adjudicado: \$323,060.67.

Posteriormente, FOVIAL somete a Licitación Pública los cuatro tramos para el Mantenimiento Periódico. Conjuntamente somete a Concurso Público la supervisión de los mismos tramos.

Mediante nota de correspondencia, se solicitó al FOVIAL la información del diseño de los cuatro tramos objeto de la investigación⁶.

FOVIAL proporciono información del diseño vía correo electrónico⁷.

La información proporcionada fue muy valiosa para desarrollar la investigación, sin embargo, era insuficiente para poder tener un panorama completo del diseño de los cuatro tramos. Se envió otra nota de correspondencia al FOVIAL, solicitando la información complementaria.⁸

FOVIAL muy amablemente nos proporcionó la información complementaria del diseño de los cuatro tramos de carretera, mediante nota de entrega de la información⁹.

LICITACIONES DE CONSTRUCCIÓN

TRAMO I

Licitación Pública No. FOVIAL LP 068/2015¹⁰

⁶ Ver ANEXO A. CARTA ENVIADA AL FOVIAL SOLICITANDO INFORMACION DEL DISEÑO DE LOS CUATRO TRAMOS DE CARRETERA OBJETO DE LA INVESTIGACION.

⁷ Ver ANEXO B. CORREO ELECTRONICO RECIBIDO POR LOS MAESTRANTES DE PARTE DEL FOVIAL REMITIENDO INFORMACION DEL DISEÑO DE LOS CUATRO TRAMOS DE CARRETERA OBJETO DE LA INVESTIGACION.

⁸ Ver ANEXO D. CARTA ENVIADA AL FOVIAL SOLICITANDO INFORMACION REFERENTE AL ANALISIS ECONOMICO DE LAS ALTERNATIVAS DEL PAVIMENTO Y RESUMEN EJECUTIVO DEL DISEÑO FINAL COMPLETO, DE LOS TRAMOS OBJETO DE LA PRESENTE INVESTIGACION.

⁹ Ver ANEXO E. NOTA DE ENTREGA DE INFORMACION DEL FOVIAL A LOS MAESTRANTES, REMITIENDO INFORMACION REFERENTE AL DISEÑO FINAL DE LOS TRAMOS OBJETOS DE LA PRESENTE INVESTIGACION.

¹⁰ PAGINA WEB DE COMPRASAL. MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA8AW: BY PASS SONSONATE (CA8AW – ET. CA12S) LP 068/2015

MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA8AW: BY PASS
SONSONATE (CA08W – ET. CA12S)

Fecha de Publicación: 12/05/2015

Empresa Adjudicada: UDP PARTICIPACION DE OFERENTES PROYECTOS
CIVILES ECON-LA CANTERA

Monto Adjudicado: \$11,301,697.40

TRAMO II

Licitación Pública No. FOVIAL LP 082/2014¹¹

MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA12S D: SONSONATE BY
PASS SUR (FINAL CA08AW) – DV. LAS TABLAS (SON18W)

Fecha de Publicación: 03/09/2014

Empresa Adjudicada: CONSTRUCTORA DISA SA DE CV

Monto Adjudicado: \$10,177,882.28

TRAMO III

Licitación Pública No. FOVIAL LP 083/2014¹²

MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA12S D: DV. LAS TABLAS
(SON18W) – DV. LA LIBERTAD

Fecha de Publicación: 03/09/2014

Empresa Adjudicada: EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN SA DE CV

Monto Adjudicado: \$10,042,278.57

<https://unac.gob.sv/comprasalweb/procesos/1061564>

¹¹ PAGINA WEB DE COMPRASAL. MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA12S D:
SONSONATE BY PASS SUR (FINAL CA08AW) – DV. LAS TABLAS (SON18W) LP 082/2014

<https://unac.gob.sv/comprasalweb/procesos/1065640>

¹² PAGINA WEB DE COMPRASAL. MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA12S D DV.
LAS TABLAS (SON18w) DV LA LIBERTAD LP083/2014

<https://unac.gob.sv/comprasalweb/procesos/1066208>

TRAMO IV

Licitación Pública No. FOVIAL LP 058/2015¹³

MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA12S: DV. LA LIBERTAD –
PUERTO ACAJUTLA

Fecha de Publicación: 23/12/2014

Empresa Adjudicada: UDP ASOCIO MECO - A&T

Monto Adjudicado: \$16,439,751.73

CONCURSOS PARA LA SUPERVISIÓN

TRAMO I

Concurso Público CP 023/2015¹⁴

SUPERVISIÓN DEL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA8AW: BY
PASS SONSONATE (CA08W - ET. CA12S)

Fecha de Publicación: 12/05/2015

Empresa Adjudicada: SUELOS Y MATERIALES, S.A. DE C.V.

Monto Adjudicado: \$250,000.00

TRAMO II

Concurso Público CP 018/2014¹⁵

SUPERVISIÓN DEL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA12S D:

¹³ PAGINA WEB DE COMPRASAL. MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA12S: DV.
LA LIBERTAD – PUERTO ACAJUTLA LP 058/2015
<https://unac.gob.sv/comprasalweb/procesos/1067301>

¹⁴ PAGINA WEB DE COMPRASAL. SUPERVISION DEL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA
RUTA CA8AW: BY PASS SONSONATE (CA8AW – ET. CA12S) CP 023/2015
<https://unac.gob.sv/comprasalweb/procesos/1061615>

¹⁵ PAGINA WEB DE COMPRASAL. SUPERVISION DEL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA
RUTA CA12S D: SONSONATE BY PASS SUR (FINAL CA08AW) – DV. LAS TABLAS (SON18W)
CP 018/2014
<https://unac.gob.sv/comprasalweb/procesos/1065928>

SONSONATE BY PASS SUR (FINAL CA08AW) DV. LAS TABLAS (SON18W)

Fecha de Publicación: 03/09/2014

Empresa Adjudicada: SUELOS Y MATERIALES, S.A. DE C.V.

Monto Adjudicado: \$165,000.00

TRAMO III

Concurso Público CP 019/2014¹⁶

SUPERVISIÓN DEL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA12S D:
DV. LAS TABLAS (SON18W) DV. LA LIBERTAD

Fecha de Publicación: 03/09/2014

Empresa Adjudicada: ASOCIACION DE PROFESIONALES, S.A. DE C.V. (ASP
CONSULTORES), SUCURSAL EL SALVADOR

Monto Adjudicado: \$183,455.22

TRAMO IV

Concurso Público CP 014/2015¹⁷

SUPERVISIÓN DEL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA RUTA CA12S: DV.
LA LIBERTAD - PUERTO ACAJUTLA

Fecha de Publicación: 23/12/2014

Empresa Adjudicada: RIVERA HARROUCH, S.A. DE C.V.

Monto Adjudicado: \$184,120.11.

En la Tabla 2. 2 Adjudicaciones de Contratistas y Supervisores. Tramos I al IV,

¹⁶ PAGINA WEB DE COMPRASAL. SUPERVISION DEL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA12S D DV. LAS TABLAS (SON18w) DV LA LIBERTAD CP 019/2014
<https://unac.gob.sv/comprasalweb/procesos/1065759>

¹⁷PAGINA WEB DE COMPRASAL. SUPERVISION DEL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA12S: DV. LA LIBERTAD – PUERTO ACAJUTLA CP 014/2015
<https://unac.gob.sv/comprasalweb/procesos/1067317>

se indican las empresas ganadoras para las licitaciones y los concursos promovidos por el FOVIAL. Lo anterior para los cuatro tramos.

TRAMO	CONSTRUCCION	MONTO	SUPERVISION	MONTO
I	UDP PARTICIPACION DE OFERENTES PROYECTOS CIVILES ECON-LA CANTERA	\$11,301,697.40	SUELOS Y MATERIALES, S.A. DE C.V.	\$250,000.00
II	CONSTRUCTORA DISA SA DE CV	\$10,177,882.28	SUELOS Y MATERIALES, S.A. DE C.V.	\$165,000.00
III	EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN SA DE CV	\$10,042,278.57	ASOCIACION DE PROFESIONALES, S.A. DE C.V. (ASP CONSULTORES), SUCURSAL EL SALVADOR	\$183,455.22
IV	UDP ASOCIO MECO - A&T	\$16,439,751.73	RIVERA HARROUCH, S.A. DE C.V.	\$184,120.11

Tabla 2. 2 Adjudicaciones de Contratistas y Supervisores. Tramos I al IV

Fuente: Creación propia. Con información proveniente del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño.

2.2 ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DISEÑADAS Y CONSTRUIDAS

La empresa contratada para la consultoría, luego del estudio de las variables que intervienen en el diseño, realizó un estudio técnico económico de cada uno de los tramos y propuso a FOVIAL dos opciones para su intervención.

Siendo ellas una estructura de Pavimento Asfáltico y la otra de Pavimento Hidráulico.

En la Tabla 2. 3 Estructuras de Pavimento propuestas por el diseñador, se detallan las estructuras propuestas por la empresa consultora responsable del diseño:

TRAMO	DESCRIPCION	OPCIÓN CONCRETO HIDRAULICO		OPCION CONCRETO ASFALTICO		
		CONCRETO	BASE	ASFALTO	BASE	SUB BASE
I	By Pass Sonsonate CA8W – CA12S	MR 48 kg/cm ² E = 25 cm Est 16+900 a Est 19+360. E = 24 cm Est 19+360 a Est 24+200.	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² cm ² E = 25cms	E = 12 cm (dos capas, 5 m capa superior con asfalto modificado y 7 cm capa intermedia)	Base tratada con Asfalto E = 18 cm	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² E = 25cms
II	Sonsonate – Dv. Las Tablas	MR 48 kg/cm ² E = 25 cms	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² cm ² E = 25cms	E = 12 cm (dos capas, 5 m capa superior con asfalto modificado y 7 cm capa intermedia)	Base tratada con Asfalto E = 18 cm	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² E = 25cms
III	Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad	MR 48 kg/cm ² E = 25 cms	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² cm ² E = 25cms	E = 12 cm (dos capas, 5 m capa superior con asfalto modificado y 7 cm capa intermedia)	Base tratada con Asfalto E = 18 cm	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² E = 25cms
IV	Dv. La Libertad - Acajutla	MR 48 kg/cm ² E = 25 cms	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² cm ² E = 25cms	E = 12 cm (dos capas, 5 m capa superior con asfalto modificado y 7 cm capa intermedia)	Base tratada con Asfalto E = 18 cm	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² E = 25cms

Tabla 2. 3 Estructuras de Pavimento propuestas por el diseñador

Fuente: Creación propia. Con información proveniente del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño.

Posteriormente a la entrega de los documentos por parte del diseñador, FOVIAL toma la decisión de publicar las licitaciones para la construcción y las propuestas ganadoras y las que se detallan en la Tabla 2. 4 Estructuras construidas en cada tramo.:

TRAMO		TIPO DE SUPERFICIE	ESPESOR (cm)		
			CAPA DE RODADURA	BASE	SUB BASE
I	Tramo I CA8W – CA12S	CONCRETO	MR 48 kg/cm ² E = 25 cm Est 16+900 a Est 19+360. E = 24 cm Est 19+360 a Est 24+200.	-	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² cm ² E = 25cms
II	Sonsonate – Dv. Las Tablas	CONCRETO	MR 48 kg/cm ² E = 25 cms	-	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² cm ² E = 25cms
III	Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad	ASFALTO	E = 12 cm (dos capas, 5 m capa superior con asfalto modificado y 7 cm capa intermedia)	Base tratada con Asfalto E = 18 cm	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² E = 25cms
IV	Dv. La Libertad - Acajutla	ASFALTO	E = 12 cm (dos capas, 5 m capa superior con asfalto modificado y 7 cm capa intermedia)	Base tratada con Asfalto E = 18 cm	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² E = 25cms

Tabla 2. 4 Estructuras construidas en cada tramo.

Fuente: Creación propia. Con información proveniente del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño.

En la Imagen 2. 3 Sección transversal pavimento de concreto y la Imagen 2. 4 Sección transversal pavimento asfaltico, se muestran las secciones típicas de los tramos.

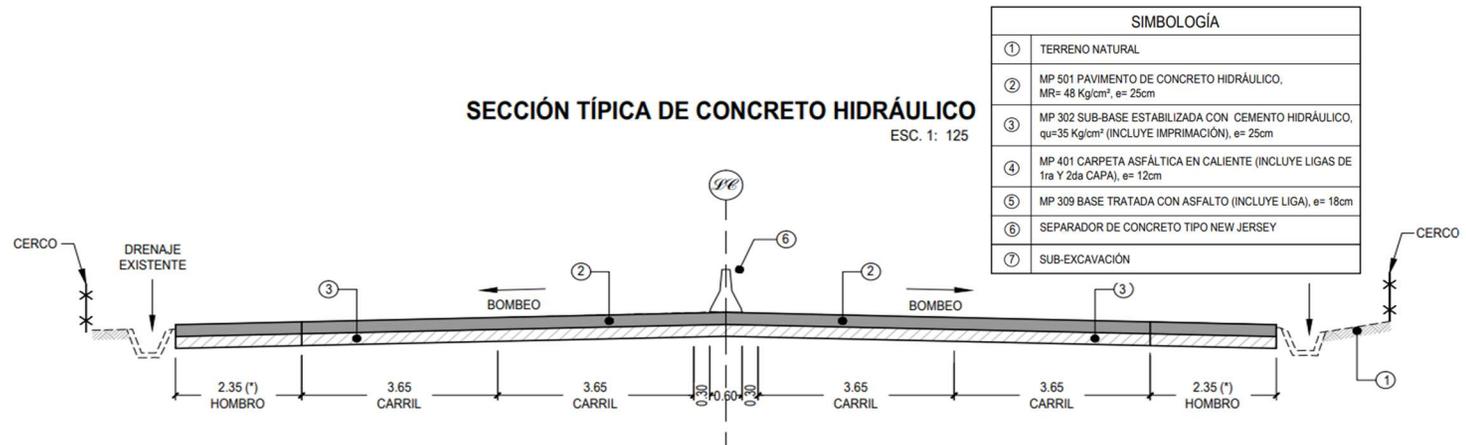
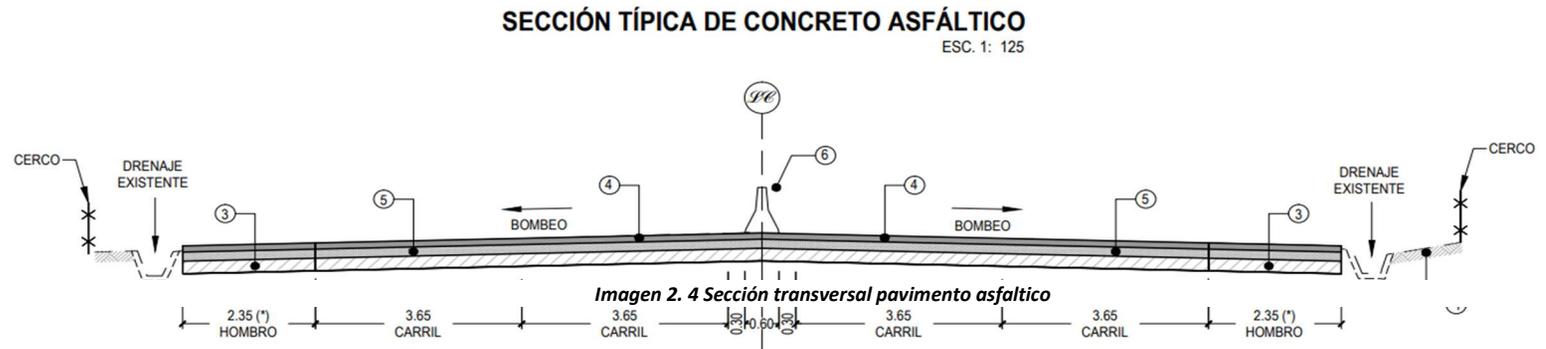


Imagen 2. 3 Sección transversal pavimento de concreto

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Secciones típicas.:



Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Secciones típicas.

2.3 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS EN ANALISIS

En este apartado se ha tomado la información contenida en el documento del diseño de los cuatro tramos: DISEÑO DEL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA8AWS: BY PASS SONSONATE Y CA12S: SONSONATE BY PASS SUR (FINAL CA8AWS) – PUERTO ACAJUTLA, contenida en los documentos proporcionados vía oficial por el fovial¹⁸

Dada la importancia de la información contenida en el documento de diseño es que se ha citado en el presente apartado, siendo información relevante e imprescindible para entender el resultado de la investigación.

2.3.1 TRAFICO DE DISEÑO

De acuerdo a lo detallado anteriormente, el proyecto se divide en 4 tramos, sin embargo, para efecto de medición de tráfico, estos se realizaron siempre en 4 secciones, pero no precisamente uno por cada tramo. Es decir, respecto al diseño, para la Sección I, si se tomó tráfico para el mismo. Para la Sección II y Sección III se realizó una sola medición de tráfico ya que las condiciones son similares de acuerdo a lo que indica el diseñador en su reporte y en el Sección III, se realizaron 2 mediciones, por lo que, dichas mediciones se realizaron de la siguiente manera.

- Sección I: CA8AW, Bypass Sonsonate.
- Sección II: CA12S, Bypass Sonsonate Dv. La Libertad.
- Sección III: CA12S, Dv. La Libertad Dv. La Hachadura
- Sección IV: CA12S, Dv. La Hachadura - Acajutla

Los datos históricos de tráfico obtenidos, consistieron en el tráfico promedio diario anual (TPDA) y factores de expansión de tráfico provenientes de

¹⁸ Ver ANEXO E. NOTA DE ENTREGA DE INFORMACION DEL FOVIAL A LOS MAESTRANTES, REMITIENDO INFORMACION REFERENTE AL DISEÑO FINAL DE LOS TRAMOS OBJETOS DE LA PRESENTE INVESTIGACION.

estaciones de conteo permanentes propiedad del MOP; todos estos datos sirvieron de base para proyecciones a futuro y análisis de la información de tráfico.

2.3.1.1 CONTEOS HISTORICOS DE TRAFICO

Se recopilaron datos de TPDA para la vía en estudio. Los datos de TPDA histórico con la información más confiable, fueron proporcionados por la Unidad de Planificación de la Obra Pública - MOP y corresponden al período entre 2002 y 2010.

En la Tabla 2. 5 TPDA histórico de la red CA8AW. Tramo By Pass Sonsonate., Tabla 2. 6 TPDA histórico de la red CA12S. Tramo By Pass Sonsonate – Dv. La Libertad., Tabla 2. 7 TPDA histórico de la red CA12S. Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura. y Tabla 2. 8 TPDA histórico de la red CA12S. Dv. La Hachadura – Acajutla., podemos observar la evolución del TPDA para los diferentes tramos en análisis.

Tramo: Bypass Sonsonate

AÑO	TPDA
2002	6348
2003	6868
2005	7315
2009	11305
2010	12122

Tabla 2. 5 TPDA histórico de la red CA8AW. Tramo By Pass Sonsonate.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Conteneda en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 1.

Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad.

AÑO	TPDA
2002	10255
2003	10408
2005	9398
2009	12177
2010	12138

*Tabla 2. 6 TPDA histórico de la red CA12S. Tramo By Pass Sonsonate – Dv. La Libertad.
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de
Tráfico. Pág. 1.*

Tramo: Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.

AÑO	TPDA
2002	9654
2003	10611
2005	9254
2009	10937
2010	10858

*Tabla 2. 7 TPDA histórico de la red CA12S. Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de
Tráfico. Pág. 1.*

Tramo: Dv. La Hachadura – Acajutla.

AÑO	TPDA
2002	6438
2003	8178
2005	7239
2009	6713
2010	7153

*Tabla 2. 8 TPDA histórico de la red CA12S. Dv. La Hachadura – Acajutla.
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de
Tráfico. Pág. 2.*

2.3.1.2 FACTORES DE EXPANSIÓN DEL TRAFICO

Para el desarrollo del presente estudio se consideró y evaluó la información histórica proporcionada al responsable del diseño por la Dirección de

Planificación de la Obra Pública (DPOP– MOP), en cuanto a conteos históricos de tráfico. Se proporcionó factores de expansión históricos del año 2013 de la estación Izalco que consistente en:

- TPDM-TPDA, tráfico promedio diario mensual – tráfico promedio diario anual (factor mensual)
- TPD – TPDM, tráfico promedio diario - tráfico promedio diario mensual. (factor diario)

RELACIÓN TPDM-TPDA

Los factores TPDA/TPDM a utilizar fueron proporcionados al responsable del diseño por la Dirección de Planificación de la Obra Pública - MOP, correspondientes al año más reciente la estación permanente de la zona, que en este caso corresponde a la Estación Permanente Izalco.

Teniendo la relación de TPDM-TPDA de la estación permanente y el valor del TPDM de la estación semipermanente, se multiplicó este valor por el factor del mes y se obtuvo el valor del TPDA. Ver Tabla 2. 9 Relación TPDM-TPDA (factor mensual). Estación permanente Izalco. Año 2003.

Estacion	Noviembre
Izalco	1.0183

Tabla 2. 9 Relación TPDM-TPDA (factor mensual). Estación permanente Izalco. Año 2003.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 2.

RELACIÓN TPD - TPDM

Se cuenta con la información de la estación Izalco aplicable para la Carretera CA12S misma que fue proporcionada por la Dirección de Planificación de la Obra Pública – MOP, en relación al factor diario, sin embargo, se realizó el cálculo de dicho factor para la Carretera CA8AW y CA12S basados en los conteos realizados. Esta relación se obtiene de dividir el tráfico diario entre el promedio de los siete días de la semana registrados en la estación semi

permanente o permanente.

En la Tabla 2. 10 Relación TPD/TPDM para la CA8AW, Tramo: Bypass Sonsonate 2013, Tabla 2. 11 Relación TPD/TPDM para la CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad, 2013, Tabla 2. 12 Relación TPD/TPDM para la CA12S, Tramo: Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, 2013 y Tabla 2. 13 Relación TPD/TPDM para la CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla, 2013, se puede observar el comportamiento de los factores mencionados para cada uno de los tramos.

FACTOR	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
TPDM/TPD	0.9445	0.9450	0.9774	0.9787	0.9219	1.0145	1.3024
TPD/TPDM	1.0587	1.0582	1.0232	1.0217	1.0847	0.9857	0.7678

Tabla 2. 10 Relación TPD/TPDM para la CA8AW, Tramo: Bypass Sonsonate 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 3.

FACTOR	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
TPDM/TPD	0.9489	0.9590	0.9780	0.9889	0.9338	0.9864	1.2739
TPD/TPDM	1.0538	1.0427	1.0225	1.0113	1.0709	1.0138	0.7850

Tabla 2. 11 Relación TPD/TPDM para la CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 3.

FACTOR	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
TPDM/TPD	0.9540	0.9644	0.9469	0.9878	0.9259	1.0522	1.2253
TPD/TPDM	1.0482	1.0369	1.0561	1.0123	1.0801	0.9504	0.8161

Tabla 2. 12 Relación TPD/TPDM para la CA12S, Tramo: Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 3.

FACTOR	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
TPDM/TPD	0.9180	0.9269	0.9203	0.9105	0.8980	1.1285	1.5452
TPD/TPDM	1.0893	1.0789	1.0866	1.0983	1.1136	0.8861	0.6472

Tabla 2. 13 Relación TPD/TPDM para la CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 3.

2.3.1.3 DETERMINACIÓN DEL TPDA DEL AÑO BASE

Se define como “tráfico normal”, o TPDA al año base, a aquel tráfico que no depende de la ejecución del proyecto; es decir que se registraría de todas

maneras, aún de no realizarse el proyecto. Utilizando los factores de expansión del tráfico descritos anteriormente, se ha hecho la estimación del TPDA actual al año base, 2013, desde la Tabla 2. 14 TPD CA8AW, sentido hacia Sonsonate, 2013 hasta la Tabla 2. 29 TPDA al año base, 2013 CA12S, tramo Dv. La Hachadura - Acajutla. se presentan los valores del tráfico promedio diario y el resultado del tráfico promedio diario anual para los diferentes tramos de las carreteras analizadas.

CA8AW, TRAMO: BYPASS SONSONATE

Sentido 1: Hacia Sonsonate				Codigo: P1								
DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	2310	2127	845	541	172	0	0	0	562	253	6810
Martes	19-Nov-13	2306	2121	846	535	154	0	0	0	558	237	6757
Miercoles	20-Nov-13	2242	2066	817	527	168	0	0	0	548	229	6597
Jueves	21-Nov-13	2226	2047	824	525	155	0	0	0	548	220	6545
Viernes	22-Nov-13	2326	2140	853	549	151	0	0	0	565	236	6820
Sábado	23-Nov-13	2139	1994	761	514	147	0	0	0	525	235	6315
Domingo	17-Nov-13	1623	1483	593	396	112	0	0	0	389	185	4781

Tabla 2. 14 TPD CA8AW, sentido hacia Sonsonate, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 8.

Sentido 2: Hacia Izalco				Codigo: P1								
DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	2358	1461	702	352	196	0	0	0	500	321	5890
Martes	19-Nov-13	2385	1472	710	353	207	0	0	0	495	314	5936
Miercoles	20-Nov-13	2262	1409	683	340	201	0	0	0	487	294	5676
Jueves	21-Nov-13	2272	1428	681	337	217	0	0	0	465	311	5711
Viernes	22-Nov-13	2470	1539	744	362	231	0	0	0	529	316	6191
Sábado	23-Nov-13	2199	1369	670	326	200	0	0	0	447	298	5509
Domingo	17-Nov-13	1763	1100	535	267	162	0	0	0	361	241	4429

Tabla 2. 15 TPD, CA8AW, sentido hacia Izalco, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 8.

AMBOS SENTIDOS				Codigo: P1								
DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	4668	3588	1547	893	368	0	0	0	1062	574	12700
Martes	19-Nov-13	4691	3593	1556	888	361	0	0	0	1053	551	12693
Miercoles	20-Nov-13	4504	3475	1500	867	369	0	0	0	1035	523	12273
Jueves	21-Nov-13	4498	3475	1505	862	372	0	0	0	1013	531	12256
Viernes	22-Nov-13	4796	3679	1597	911	382	0	0	0	1094	552	13011
Sábado	23-Nov-13	4338	3363	1431	840	347	0	0	0	972	533	11824
Domingo	17-Nov-13	3386	2583	1128	663	274	0	0	0	750	426	9210
Promedio		4412	3394	1466	846	353	0	0	0	997	527	11,995

Tabla 2. 16 TPD CA8AW, ambos sentidos, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 8.

Trafico promedio diario anual al año 2013

	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
TPDA	4493	3456	1493	861	359	0	0	0	1015	537	12214

Tabla 2. 17 TPDA al año base, 2013. CA8AW, Tramo: Bypass Sonsonate

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 8.

CA12S, TRAMO: BYPASS SONSONATE – DV. LA LIBERTAD.

Sentido 1: Hacia Dv. La Libertad Codigo: P2

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	2414	2600	436	531	254	0	0	0	509	331	7075
Martes	19-Nov-13	2375	2564	424	523	260	0	0	0	494	304	6944
Miercoles	20-Nov-13	2401	2587	421	529	269	0	0	0	506	298	7011
Jueves	21-Nov-13	2368	2547	430	516	274	0	0	0	503	299	6937
Viernes	22-Nov-13	2460	2641	442	538	253	0	0	0	518	316	7168
Sábado	23-Nov-13	2401	2592	414	543	264	0	0	0	506	326	7046
Domingo	17-Nov-13	1817	2064	316	401	155	0	0	0	376	246	5375

Tabla 2. 18 TPD CA12S, hacia Dv. La Libertad

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 9.

Sentido 2: Hacia Sonsonate Codigo: P2

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	2330	2629	386	517	205	0	0	0	483	309	6859
Martes	19-Nov-13	2309	2624	399	517	213	0	0	0	491	290	6843
Miercoles	20-Nov-13	2204	2493	364	492	203	0	0	0	459	293	6508
Jueves	21-Nov-13	2176	2459	373	495	192	0	0	0	461	278	6434
Viernes	22-Nov-13	2355	2669	398	539	215	0	0	0	498	318	6992
Sábado	23-Nov-13	2150	2430	350	494	185	0	0	0	453	297	6359
Domingo	17-Nov-13	1701	1925	278	370	169	0	0	0	353	208	5004

Tabla 2. 19 TPD CA12S, hacia Sonsonate

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 9.

AMBOS SENTIDOS Codigo: P2

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	4744	5229	822	1048	459	0	0	0	992	640	13934
Martes	19-Nov-13	4684	5188	823	1040	473	0	0	0	985	594	13787
Miercoles	20-Nov-13	4605	5080	785	1021	472	0	0	0	965	591	13519
Jueves	21-Nov-13	4544	5006	803	1011	466	0	0	0	964	577	13371
Viernes	22-Nov-13	4815	5310	840	1077	468	0	0	0	1016	634	14160
Sábado	23-Nov-13	4551	5022	764	1037	449	0	0	0	959	623	13405
Domingo	17-Nov-13	3518	3989	594	771	324	0	0	0	729	454	10379
Promedio		4494	4975	776	1001	444	0	0	0	944	588	13,222

Tabla 2. 20 TPD CA12S, ambos sentidos. La Libertad

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 9.

Trafico promedio diario anual al año 2013

	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
TPDA	4576	5066	790	1019	452	0	0	0	961	599	13463

Tabla 2. 21 TPDA al año base 2013, CA12S, tramo Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 9.

CA12S, TRAMO: DV. LA LIBERTAD – DV. LA HACHADURA

Sentido 1: Hacia Dv. La Hachadura Codigo: P3

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	1908	1919	356	392	94	0	0	0	687	328	5684
Martes	19-Nov-13	1876	1886	343	393	109	0	0	0	678	309	5594
Miercoles	20-Nov-13	1920	1925	351	397	110	0	0	0	694	321	5718
Jueves	21-Nov-13	1835	1836	333	390	107	0	0	0	663	304	5468
Viernes	22-Nov-13	1966	1968	365	412	104	0	0	0	710	338	5863
Sábado	23-Nov-13	1723	1740	318	353	103	0	0	0	620	286	5143
Domingo	17-Nov-13	1477	1481	277	305	86	0	0	0	552	240	4418

Tabla 2. 22 TPD, CA12S, hacia Dv. La Hachadura, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 10.

Sentido 2: Hacia Dv. La Libertad Codigo: P3

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	1916	2023	305	363	94	0	0	0	712	257	5670
Martes	19-Nov-13	1892	1985	335	359	109	0	0	0	690	267	5637
Miercoles	20-Nov-13	1932	2036	321	370	103	0	0	0	715	244	5721
Jueves	21-Nov-13	1847	1938	322	350	103	0	0	0	682	255	5497
Viernes	22-Nov-13	1973	2083	320	370	100	0	0	0	725	265	5836
Sábado	23-Nov-13	1729	1829	287	326	98	0	0	0	639	243	5151
Domingo	17-Nov-13	1496	1563	239	276	85	0	0	0	561	202	4422

Tabla 2. 23 TPD, CA12S, hacia Dv. La Libertad, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 10.

AMBOS SENTIDOS Codigo: P3

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	3824	3942	661	755	188	0	0	0	1399	585	11354
Martes	19-Nov-13	3768	3871	678	752	218	0	0	0	1368	576	11231
Miercoles	20-Nov-13	3852	3961	672	767	213	0	0	0	1409	565	11439
Jueves	21-Nov-13	3682	3774	655	740	210	0	0	0	1345	559	10965
Viernes	22-Nov-13	3939	4051	685	782	204	0	0	0	1435	603	11699
Sábado	23-Nov-13	3452	3569	605	679	201	0	0	0	1259	529	10294
Domingo	17-Nov-13	2973	3044	516	581	171	0	0	0	1113	442	8840
Promedio		3641	3745	639	722	201	0	0	0	1333	551	10,832

Tabla 2. 24 TPD, CA12S, ambos sentidos, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 10.

Trafico promedio diario anual al año 2013

	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
TPDA	3708	3814	651	735	205	0	0	0	1357	561	11031

Tabla 2. 25 TPDA al año base 2013, CA12S, tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 10.

CA12S, TRAMO: DV. LA HACHADURA – ACAJUTLA.

Sentido 1: Hacia Dv. La Hachadura

Codigo: P4

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	1128	1143	200	165	37	0	0	0	644	122	3439
Martes	19-Nov-13	1121	1127	182	162	49	0	0	0	631	120	3392
Miercoles	20-Nov-13	1116	1130	201	168	70	0	0	0	632	117	3434
Jueves	21-Nov-13	1126	1141	194	170	45	0	0	0	635	121	3432
Viernes	22-Nov-13	1151	1159	189	167	50	0	0	0	654	115	3485
Sábado	23-Nov-13	931	943	151	134	30	0	0	0	539	103	2831
Domingo	17-Nov-13	692	695	133	101	37	0	0	0	382	82	2122

Tabla 2. 26 TPD, CA12S, sentido hacia Dv. La Hachadura, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 11.

Sentido 2: Hacia Acajutla

Codigo: P4

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	1234	1211	201	160	81	0	0	0	617	337	3841
Martes	19-Nov-13	1228	1207	204	162	59	0	0	0	617	341	3818
Miercoles	20-Nov-13	1238	1210	181	161	82	0	0	0	607	349	3828
Jueves	21-Nov-13	1264	1241	202	164	79	0	0	0	619	339	3908
Viernes	22-Nov-13	1273	1246	210	166	81	0	0	0	633	348	3957
Sábado	23-Nov-13	1000	984	147	125	69	0	0	0	487	279	3091
Domingo	17-Nov-13	708	702	117	91	45	0	0	0	350	190	2203

Tabla 2. 27 TPD, CA12S, sentido hacia Acajutla, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 11.

AMBOS SENTIDOS

Codigo: P4

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	2362	2354	401	325	118	0	0	0	1261	459	7280
Martes	19-Nov-13	2349	2334	386	324	108	0	0	0	1248	461	7210
Miercoles	20-Nov-13	2354	2340	382	329	152	0	0	0	1239	466	7262
Jueves	21-Nov-13	2390	2382	396	334	124	0	0	0	1254	460	7340
Viernes	22-Nov-13	2424	2405	399	333	131	0	0	0	1287	463	7442
Sábado	23-Nov-13	1931	1927	298	259	99	0	0	0	1026	382	5922
Domingo	17-Nov-13	1400	1397	250	192	82	0	0	0	732	272	4325
Promedio		2173	2163	359	299	116	0	0	0	1150	423	6,683

Tabla 2. 28 TPD, CA12S, ambos sentidos, 2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 11.

Trafico promedio diario anual al año 2013

	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
TPDA	2213	2203	366	304	118	0	0	0	1171	431	6806

Tabla 2. 29 TPDA al año base, 2013 CA12S, tramo Dv. La Hachadura - Acajutla.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 11.

2.3.1.4 COMPOSICIÓN VEHICULAR

Mediante los conteos realizados se ha podido determinar la composición del tráfico vehicular en la zona, el detalle de la información se puede ver en las siguientes tablas y gráficos.

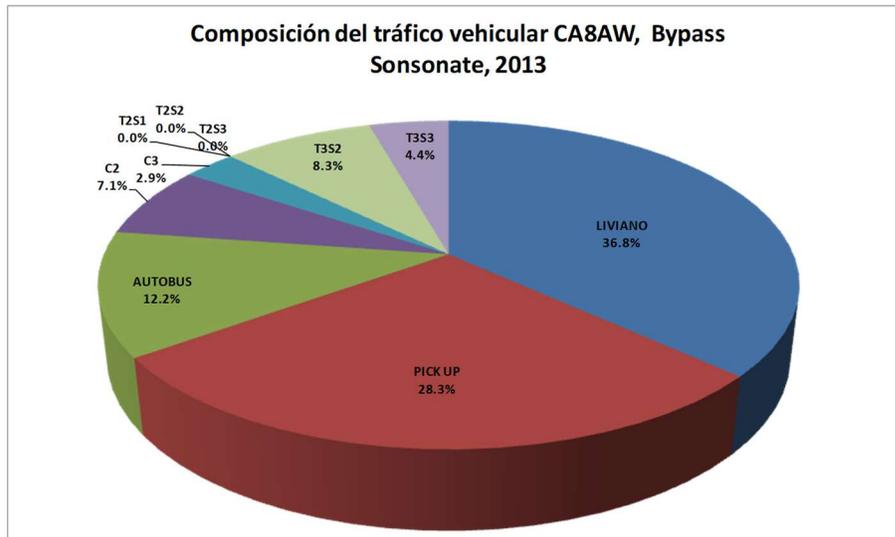
CA8AW, TRAMO: BYPASS SONSONATE

Sobre el Bypass Sonsonate, en la Tabla 2. 30 Composición Vehicular en Bypass Sonsonate. y en la Grafica 2. 1 Composición Vehicular en Bypass Sonsonate. se puede observar que predomina el vehículo liviano con el 65.10% livianos y un 34.9% de vehículos pesados en promedio.

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	36.76%	28.25%	12.18%	7.03%	2.90%	0.00%	0.00%	0.00%	8.36%	4.52%	100.00%
Martes	19-Nov-13	36.96%	28.31%	12.26%	7.00%	2.84%	0.00%	0.00%	0.00%	8.30%	4.34%	100.00%
Miercoles	20-Nov-13	36.70%	28.31%	12.22%	7.06%	3.01%	0.00%	0.00%	0.00%	8.43%	4.26%	100.00%
Jueves	21-Nov-13	36.70%	28.35%	12.28%	7.03%	3.04%	0.00%	0.00%	0.00%	8.27%	4.33%	100.00%
Viernes	22-Nov-13	36.86%	28.28%	12.27%	7.00%	2.94%	0.00%	0.00%	0.00%	8.41%	4.24%	100.00%
Sábado	23-Nov-13	36.69%	28.44%	12.10%	7.10%	2.93%	0.00%	0.00%	0.00%	8.22%	4.51%	100.00%
Domingo	17-Nov-13	36.76%	28.05%	12.25%	7.20%	2.98%	0.00%	0.00%	0.00%	8.14%	4.63%	100.00%
Promedio		36.8%	28.3%	12.2%	7.1%	2.9%	0.0%	0.0%	0.0%	8.3%	4.4%	100%

Tabla 2. 30 Composición Vehicular en Bypass Sonsonate.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 12.



Grafica 2. 1 Composición Vehicular en Bypass Sonsonate.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 12.

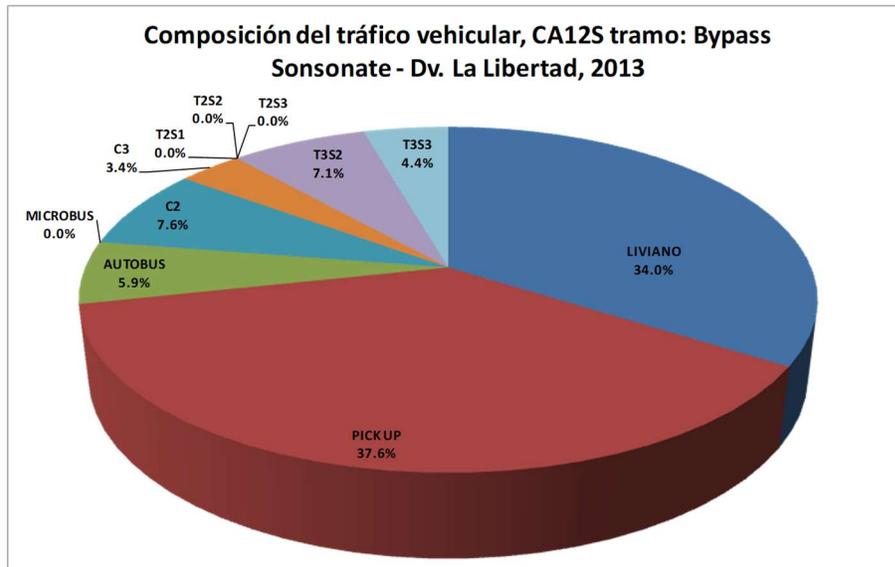
CA12S, TRAMO: BYPASS SONSONATE – DV. LA LIBERTAD.

Para el tramo II, en la Tabla 2. 31 Composición Vehicular en CA12S, tramo Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad y Grafica 2. 2 Composición Vehicular en CA12S, tramo Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad, podemos observar que predomina el pick-up con 37.6% en la zona siguiendo el liviano con el 34.0%, también podemos observar que los tráileres tienen un porcentaje de 11.5% siendo este mayor que el de los buses que cuenta con el 5.9% en promedio.

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	34.05%	37.53%	5.90%	7.52%	3.29%	0.00%	0.00%	0.00%	7.12%	4.59%	100.00%
Martes	19-Nov-13	33.97%	37.63%	5.97%	7.54%	3.43%	0.00%	0.00%	0.00%	7.14%	4.31%	100.00%
Miercoles	20-Nov-13	34.06%	37.58%	5.81%	7.55%	3.49%	0.00%	0.00%	0.00%	7.14%	4.37%	100.00%
Jueves	21-Nov-13	33.98%	37.44%	6.01%	7.56%	3.49%	0.00%	0.00%	0.00%	7.21%	4.32%	100.00%
Viernes	22-Nov-13	34.00%	37.50%	5.93%	7.61%	3.31%	0.00%	0.00%	0.00%	7.18%	4.48%	100.00%
Sábado	23-Nov-13	33.95%	37.46%	5.70%	7.74%	3.35%	0.00%	0.00%	0.00%	7.15%	4.65%	100.00%
Domingo	17-Nov-13	33.90%	38.43%	5.72%	7.43%	3.12%	0.00%	0.00%	0.00%	7.02%	4.37%	100.00%
Promedio		34.0%	37.6%	5.9%	7.6%	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	7.1%	4.4%	100%

Tabla 2. 31 Composición Vehicular en CA12S, tramo Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 13.



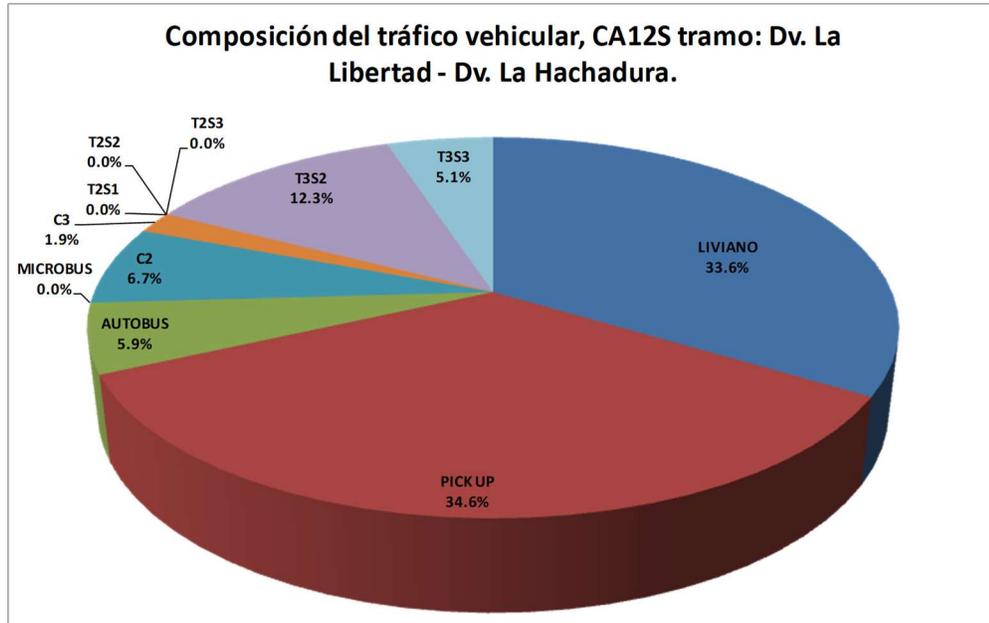
*Grafica 2. 2 Composición Vehicular en CA12S, tramo Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de
Tráfico. Pág. 13.*

CA12S, TRAMO DV. LA LIBERTAD – DV. LA HACHADURA.

Para este tramo, en la Tabla 2. 32 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura. y Grafica 2. 3 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura se observa que sigue predominando el pickup con 34.6% y el liviano con 33.6%, en los vehículos pesados se ve un aumento en el porcentaje de los tráileres a 17.4%, y camiones con 8.5%.

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	33.68%	34.72%	5.82%	6.65%	1.66%	0.00%	0.00%	0.00%	12.32%	5.15%	100.00%
Martes	19-Nov-13	33.55%	34.47%	6.04%	6.70%	1.94%	0.00%	0.00%	0.00%	12.18%	5.13%	100.00%
Miercoles	20-Nov-13	33.67%	34.63%	5.87%	6.71%	1.86%	0.00%	0.00%	0.00%	12.32%	4.94%	100.00%
Jueves	21-Nov-13	33.58%	34.42%	5.97%	6.75%	1.92%	0.00%	0.00%	0.00%	12.27%	5.10%	100.00%
Viernes	22-Nov-13	33.67%	34.63%	5.86%	6.68%	1.74%	0.00%	0.00%	0.00%	12.27%	5.15%	100.00%
Sábado	23-Nov-13	33.53%	34.67%	5.88%	6.60%	1.95%	0.00%	0.00%	0.00%	12.23%	5.14%	100.00%
Domingo	17-Nov-13	33.63%	34.43%	5.84%	6.57%	1.93%	0.00%	0.00%	0.00%	12.59%	5.00%	100.00%
Promedio		33.6%	34.6%	5.9%	6.7%	1.9%	0.0%	0.0%	0.0%	12.3%	5.1%	100%

*Tabla 2. 32 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de
Tráfico. Pág. 14.*



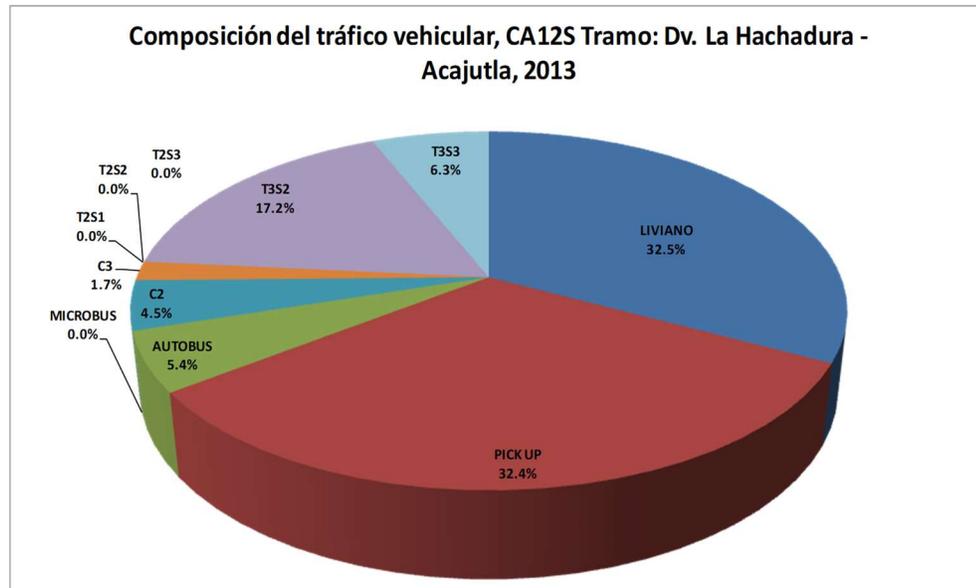
*Grafica 2.3 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 14.*

CA12S, TRAMO: LA HACHADURA – ACAJUTLA.

Para este tramo, en la Tabla 2. 33 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Hachadura - Acajutla. y Grafica 2. 4 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Hachadura - Acajutla vemos que los livianos son los vehículos predominantes con el 64.8% y los vehículos pesados con 35.2%. La presencia de T3S2 es alta y predomina entre los pesados.

DIA	FECHA	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
Lunes	18-Nov-13	32.45%	32.34%	5.51%	4.46%	1.62%	0.00%	0.00%	0.00%	17.32%	6.30%	100.00%
Martes	19-Nov-13	32.58%	32.37%	5.35%	4.49%	1.50%	0.00%	0.00%	0.00%	17.31%	6.39%	100.00%
Miercoles	20-Nov-13	32.42%	32.22%	5.26%	4.53%	2.09%	0.00%	0.00%	0.00%	17.06%	6.42%	100.00%
Jueves	21-Nov-13	32.56%	32.45%	5.40%	4.55%	1.69%	0.00%	0.00%	0.00%	17.08%	6.27%	100.00%
Viernes	22-Nov-13	32.57%	32.32%	5.36%	4.47%	1.76%	0.00%	0.00%	0.00%	17.29%	6.22%	100.00%
Sábado	23-Nov-13	32.61%	32.54%	5.03%	4.37%	1.67%	0.00%	0.00%	0.00%	17.33%	6.45%	100.00%
Domingo	17-Nov-13	32.37%	32.30%	5.78%	4.44%	1.90%	0.00%	0.00%	0.00%	16.92%	6.29%	100.00%
Promedio		32.5%	32.4%	5.4%	4.5%	1.7%	0.0%	0.0%	0.0%	17.2%	6.3%	100%

*Tabla 2. 33 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Hachadura - Acajutla.
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 15.*



*Grafica 2. 4 Composición Vehicular en CA12S, tramo Dv. La Hachadura - Acajutla
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de
Tráfico. Pág. 15.*

2.3.1.5 PROYECCIONES DE CRECIMIENTO DE TRAFICO

2.3.1.5.1 PREMISAS UTILIZADAS PARA EL PRONOSTICO DEL CRECIMIENTO DEL TRAFICO VEHICULAR

A continuación, se plantean las premisas más importantes para la formulación del pronóstico del crecimiento del tráfico vehicular en la vía en estudio.

- Debido a la naturaleza de las vías y la zona, no existe una programación de obras donde se indique que se contará con nuevas carreteras, por lo que no existirá un tráfico atraído o desviado.
- Se considera que existirá un tráfico generado o inducido iniciando en un período de aproximadamente dos años posterior a las mejoras (2015) con una tasa del 5% ¹⁹.
- El Tráfico futuro se compone por el tráfico normal y su crecimiento natural más el tráfico generado o inducido.

¹⁹ Cal y Mayor – Cárdenas, Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones, 1995

- Se asume la existencia de una correlación entre el crecimiento del PIB y el tráfico.
- Las proyecciones del tráfico vehicular han sido calculadas utilizando el crecimiento de variables socioeconómicas.
- Ante la futura entrada en operación de Puerto La Unión, el escenario más desfavorable en cuanto a tráfico vehicular es que Puerto Acajutla mantenga su volumen de manejo de carga. Puerto La Unión tendrá su hinterland principalmente en Honduras y Nicaragua.

2.3.1.5.2 ANALISIS DE VARIABLES ECONOMICAS

POBLACIÓN

Según el último CENSO desarrollado por la DIGESTYC, la población de El Salvador para el año 2007 se estimó en 5.7 millones de habitantes, de los cuales el 37% vive en las zonas rurales del país.

Se considera que la presente vía tiene una influencia principalmente en el departamento de La Libertad por lo que en la siguiente tabla se presentan los datos poblacionales del departamento correspondiente a los censos de los años 1992 y 2007 con su respectiva tasa de crecimiento poblacional. En general la población dentro de la zona de influencia establecida tuvo un incremento del 1.90% anual.

DEPARTAMENTO	POBLACION 1992	POBLACION 2007	% CRECIMIENTO
Sonsonate	360,183	438,960	1.46%
		Promedio	1.46%

Tabla 2. 34 Crecimiento poblacional del departamento

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 19.

PRODUCTO INTERNO BRUTO, PIB.

Se ha utilizado la información más reciente disponible por el Banco Central de Reserva (BCR) en cuanto a datos históricos del PIP en nuestro país. En los

últimos 10 años la economía nacional ha tenido una evolución variable con un lento crecimiento al inicio del período y un crecimiento medio entre los años 2005 – 2007, luego ha entrado en otro ciclo de bajo crecimiento económico, etapa en la que actualmente se encuentra nuestra economía. Ver la Tabla 2. 35 Evolución del PIB 1998-2012 a precios constantes 1990.

AÑO	PIB (Mill. Dólares \$)	TASA DE CRECIMIENTO
1998	7,126.5	
1999	7,372.3	3.4%
2000	7,531.0	2.2%
2001	7,659.7	1.7%
2002	7,839.0	2.3%
2003	8,019.3	2.3%
2004	8,167.7	1.9%
2005	8,419.7	3.1%
2006	8,789.6	4.4%
2007	9,127.1	3.8%
2008	9,243.4	1.3%
2009	8,953.8	-3.1%
2010	9,076.0	1.4%
2011	9,209.5	1.5%
2012	9,366.1	1.7%

Tabla 2. 35 Evolución del PIB 1998-2012 a precios constantes 1990

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 20.

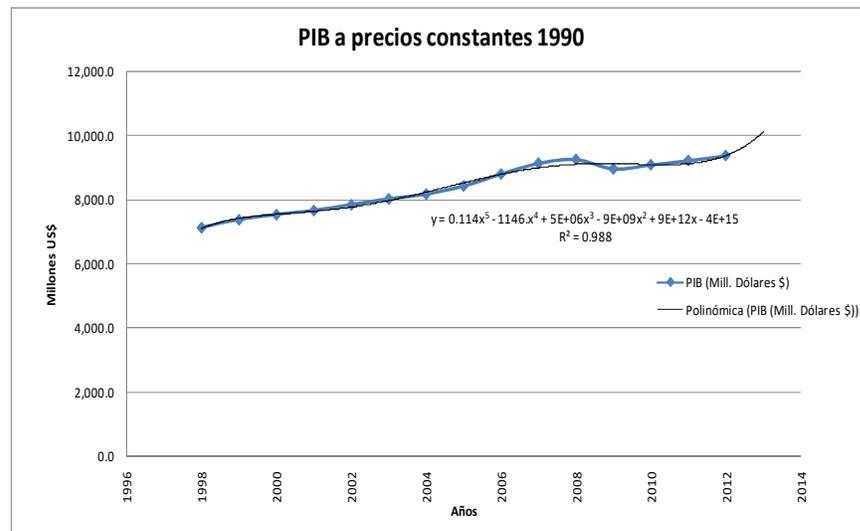
Al analizar las tasas de crecimiento del PIB tenemos que, en un período de 14 años, el PIB ha crecido en promedio al 1.97% anual, más sin embargo en un período más corto de tiempo, 10 años, dicho crecimiento ha sido en el orden del 1.80% anual, tal como se presenta en la tabla Tabla 2. 36 Tasas de crecimiento del PIB.

Período	Tasa crecimiento
1998-2012	1.97%
2002-2012	1.80%

Tabla 2. 36 Tasas de crecimiento del PIB

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 20.

Estas variaciones cíclicas se pueden representar gráficamente mediante un modelo de regresión polinomial de 5º orden, con una correlación del 0.98. Ver la Grafica 2. 5 Evolución del PIB.



Grafica 2. 5 Evolución del PIB

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 21.

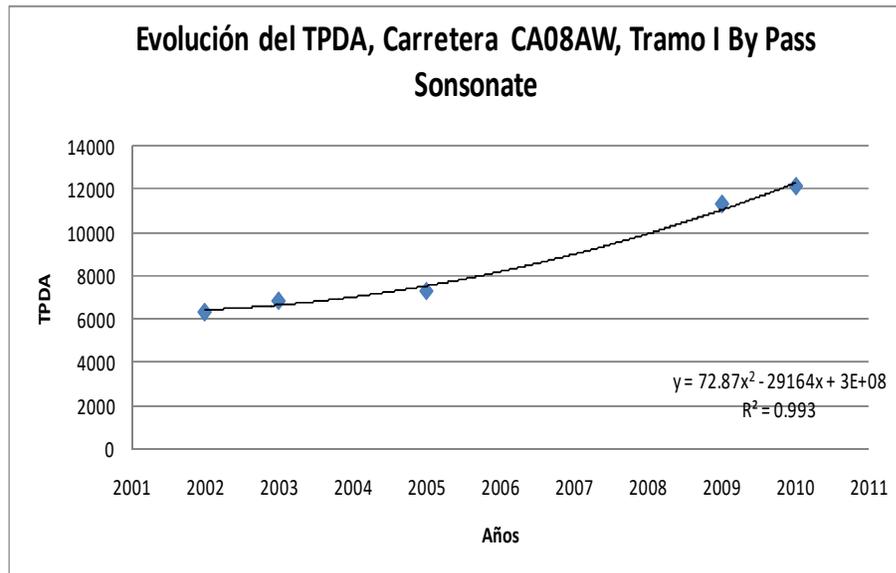
2.3.1.6 EVOLUCIÓN DEL TPDA

Se analizó los registros históricos del TPDA en la carretera en estudio CA8AW. Los valores del TPDA se encuentran en las siguientes tablas que presentan el comportamiento para cada uno de los tramos en análisis.

CA8AW, TRAMO: BYPASS SONSONATE.

En la Grafica 2. 6 Evolución del TPDA en la CA8AW, Tramo: Bypass Sonsonate y proyección del modelo de regresión, nos presenta el comportamiento del TPDA y la función representativa del mismo, con la que se puede compaginar

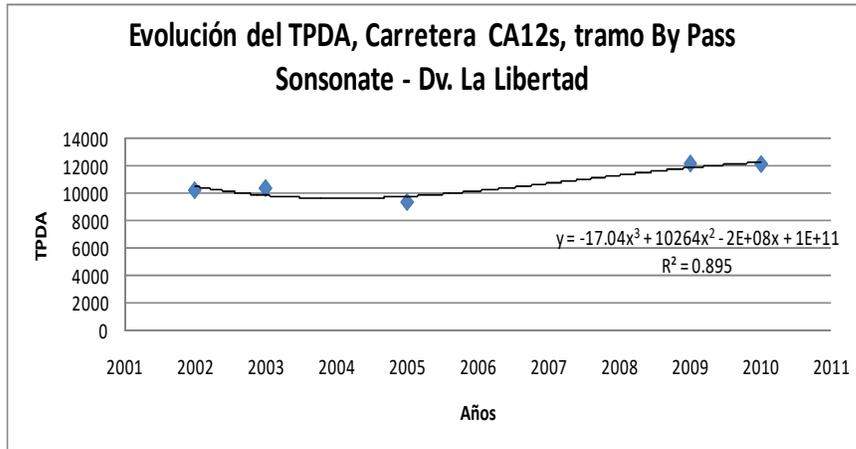
datos con una correlación del 0.993, utilizando la función polinomial cuadrática del análisis de regresión para luego estimar el crecimiento del TPDA.



Grafica 2. 6 Evolución del TPDA en la CA8AW, Tramo: Bypass Sonsonate y proyección del modelo de regresión
 Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 22.

CA12S, TRAMO: BYPASS SONSONATE – DV. LA LIBERTAD.

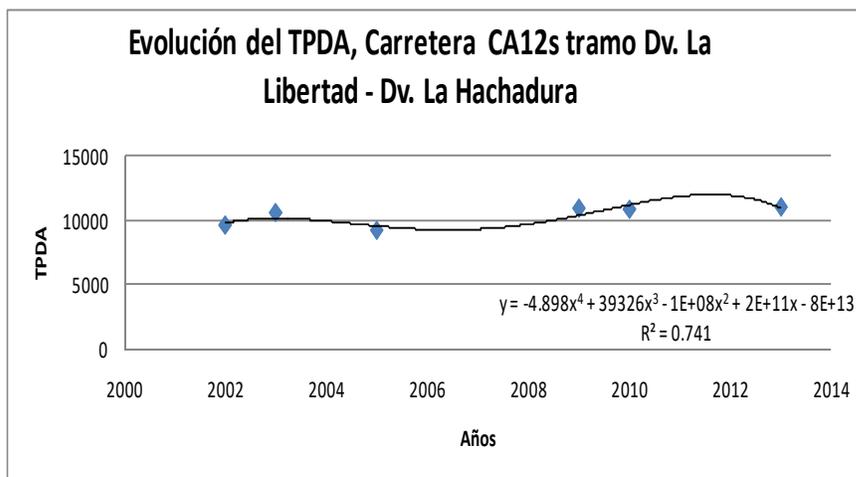
En la Grafica 2. 7 Evolución del TPDA en la CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad y proyección del modelo de regresión se presenta el comportamiento del TPDA y la función representativa del mismo, con la que se puede compaginar datos con una correlación del 0.895, utilizando la función polinomial cúbica del análisis de regresión para luego estimar el crecimiento del TPDA.



Grafica 2. 7 Evolución del TPDA en la CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad y proyección del modelo de regresión Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 22.

CA12S, TRAMO: DV. LA LIBERTAD – DV. LA HACHADURA.

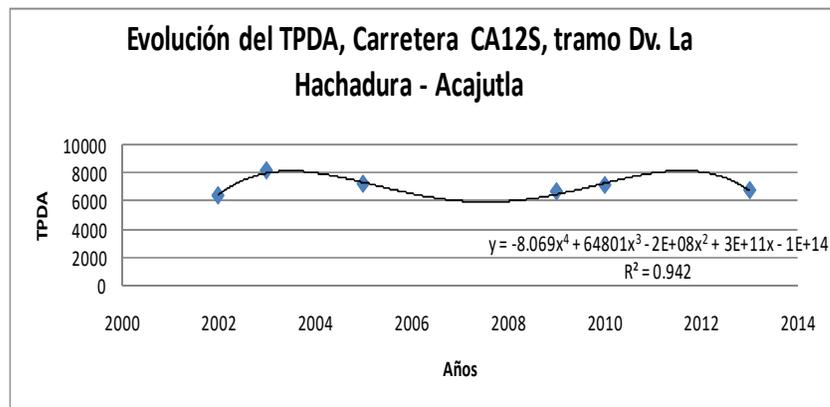
En la Grafica 2. 8 Evolución del TPDA en la CA12S, Tramo: Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura y proyección del modelo de regresión se presenta el comportamiento del TPDA y la función representativa del mismo, con la que se puede compaginar datos con una correlación del 0.741, utilizando la función polinomial de cuarto orden del análisis de regresión para luego estimar el crecimiento del TPDA.



Grafica 2. 8 Evolución del TPDA en la CA12S, Tramo: Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura y proyección del modelo de regresión Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 23.

CA12S, TRAMO: DV. LA HACHADURA - ACAJUTLA.

En la Grafica 2. 9 Evolución del TPDA en la CA12S, Tramo Dv. La Hachadura - Acajutla y proyección del modelo de regresión se presenta el comportamiento del TPDA y la función representativa del mismo, con la que se puede compaginar datos con una correlación del 0.942, utilizando la función de cuarto orden del análisis de regresión para luego estimar el crecimiento del TPDA.



Grafica 2. 9 Evolución del TPDA en la CA12S, Tramo Dv. La Hachadura - Acajutla y proyección del modelo de regresión
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 23.

Considerando la tendencia del tráfico y los TPDA calculados al año base se ha elaborado la Tabla 2. 37. Evolución del TPDA por tramos periodo 2009-2013, que nos muestra tramo por tramo la evolución del TPDA para el período de 2009 al 2013, de la tabla podemos observar que los dos primeros tramos presentan un crecimiento más constante en promedio del 2.25% y los dos últimos tramos presentan un crecimiento bajo.

**Crecimiento del TPDA
período 2009-2013**

Tramo	Tasa
Tramo I	1.95%
Tramo II	2.54%
Tramo III	0.21%
Tramo IV	0.34%
Promedio total	1.26%
Promedio Tramos I y II	2.25%

Tabla 2. 37. Evolución del TPDA por tramos periodo 2009-2013

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 24.

2.3.1.7 FORMULACIÓN DEL MODELO ECONOMETRICO DEL CRECIMIENTO DEL TRAFICO NORMAL.

Con el objetivo de obtener un modelo que permita predecir la tendencia del TPDA a partir de valores proyectados de PIB, se realiza el siguiente análisis.

Partiendo conceptualmente, de los siguientes supuestos:

- Existen dos variables, PIB y TPDA, que se supone que están relacionadas;
- La variable PIB explica a la variable TPDA, que depende de aquella;
- Económicamente se puede acceder a una función que reproduzca razonablemente esta relación.

Dentro de este marco se analizaron las series y se estudió económicamente la relación entre el crecimiento vehicular y el crecimiento del PIB. Se señala que el procedimiento utilizado y la capacidad predictiva de la curva obtenida como resultado, se hallan sujetos a lo siguiente:

- La forma de la función se obtiene de datos empíricos la misma está sujeta a proposiciones teóricas acerca del tipo de relación que se estudia;
- La relación que se estudia no es determinística sino aleatoria;
- El TPDA no solo depende del PIB, es decir que hay más de una variable

explicativa;

- Tanto los valores de PIB como el TPDA son el resultado de mediciones inexactas (tienen errores).

Nuestra premisa es que el Tráfico Normal de la vía crecerá en los próximos años acompañando el crecimiento de la actividad económica del país, lo cual se puede traducir del siguiente modo:

$$r_{ti} = E_t * r_{PIB_i} \quad (1)$$

Donde:

r_{ti} : tasa del crecimiento anual del Tráfico Normal del año i ,

r_{PIB_i} : tasa del crecimiento del Producto Interno Bruto del año i ,

E_t : coeficiente de elasticidad ingreso del tráfico

El modelo de regresión adoptado fue el siguiente:

$$\ln (TPDA) = \ln (b_0) + b_1 * \ln (PIB) \quad (2)$$

Donde:

\ln = logaritmo natural (base e);

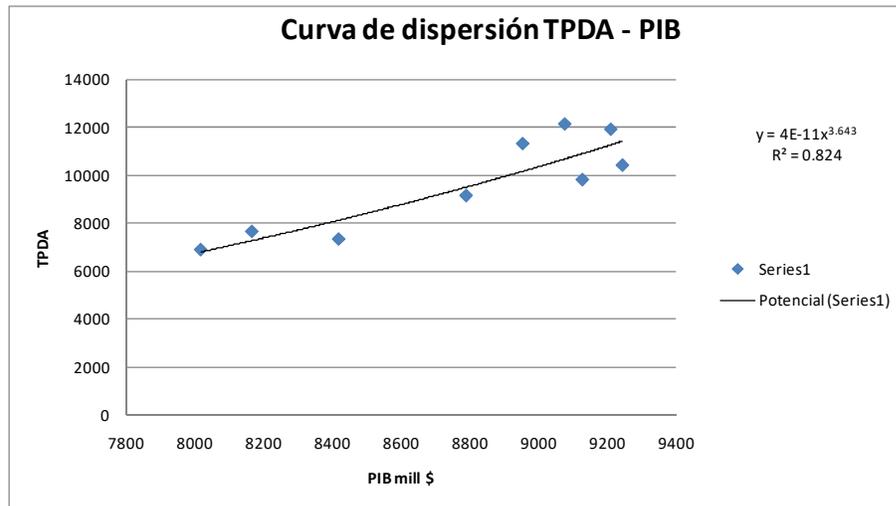
TPDA = tránsito medio diario anual del tramo;

PIB = PIB a precios constantes;

Determinándose que la ecuación regresionada (1) equivalente a una función potencial del tipo:

$$TPDA = b_0 * (PIB)^{b_1} \quad (3)$$

Donde el parámetro b_1 expresa la variación porcentual del TPDA, en vehículos por día, por cada variación porcentual unitaria en el PIB. Es decir, corresponde al coeficiente de elasticidad. De la regresión se obtienen los parámetros de la Grafica 2. 10 Coeficiente de determinación R^2 .



Grafica 2. 10 Coeficiente de determinación R2

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 25.

- Coeficiente de determinación R2 = 0.813
- b1 = 3.6

El coeficiente de determinación (R2), mide la proporción de la variación total del tránsito explicado por la variación del PIB, alcanzó un valor de 0.813 nivel medio alto significativo, teniendo en cuenta la gran cantidad de variables que intervienen en su explicación y la imposibilidad de incluirlas en el modelo, por lo cual nos lleva a la conclusión que existe una correlación media alta entre ambas variables que valida nuestra premisa original. Esta situación es aceptable en el tipo de vía en estudio cuando se analizan aisladamente y cuando existen series de registros históricos poco confiables o bien con pocas muestras, más sin embargo estudios locales han establecido la existencia de una correlación entre el PIB y el tránsito en carreteras de orden superior por lo que se asume que si existe una correlación entre ambas variables.

Conforme al análisis efectuado, el coeficiente de elasticidad ingreso del tránsito para el proyecto alcanza un valor de 3.6, sin embargo, se asume una elasticidad unitaria típica de economías en crecimiento.

Sustituyendo los valores anteriores en la premisa original planteada y con los resultados de las Tasas de crecimiento del PIB se puede calcular lo siguiente:

- Tasa de crecimiento del TPDA período de 1998 – 2012 = 1.97%
(4)
- Tasa de crecimiento del TPDA período de 2002 -2012 = 1.80% (5)

La primera tasa representa una tasa basada en un período mayor de tiempo por lo que se asociará mejor en períodos más prolongados, la segunda tasa corresponde a un período de tiempo más corto por lo que se puede aplicar a períodos cortos de tiempo.

2.3.1.8 HIPOTESIS DEL CRECIMIENTO DEL TRAFICO NORMAL

Se han formulado una hipótesis del crecimiento del tráfico en la carretera en estudio, basados en las premisas establecidas y teniendo en consideración las variables socioeconómicas analizadas y considerando lo expuesto en el análisis del modelo econométrico formulado se ha establecido las variables explicativas del crecimiento del tráfico, entre ellas se ha considerado el crecimiento poblacional que se asocia sobre todo con los tipos de vehículos que no se vinculan directamente con la actividad económica, tal es el caso de los vehículos livianos, pick ups y autobuses para períodos próximos en el tiempo y para períodos a un mayor horizonte de tiempo se ha considerado la evolución del TPDA siempre para vehículos livianos, pick ups y autobuses.

Para los vehículos de carga, se considera una asociación directa con la actividad económica, teniendo en cuenta a la vez que se ha establecido la relación entre el crecimiento del PIB y el crecimiento del TPDA, podemos formular la siguiente hipótesis de crecimiento del Tráfico Normal. En la Tabla 2. 38 Hipótesis 1 tasa de crecimiento del tráfico normal y Tabla 2. 39 Hipótesis 2 tasa de crecimiento del tráfico normal, se pueden observar las dos hipótesis planteadas.

Tipo vehiculo	Tasa 2014- 2024	Tasa 2025- 2034
Livianos, Pick ups, microbuses y buses	1.46%	2.25%
Camiones y trailers	1.80%	1.97%

Tabla 2. 38 Hipótesis 1 tasa de crecimiento del tráfico normal

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 27.

Tipo vehiculo	Tasa 2014- 2024	Tasa 2025- 2034
Todos	1.80%	1.97%

Tabla 2. 39 Hipótesis 2 tasa de crecimiento del tráfico normal

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 27.

La hipótesis plantea dos diferentes períodos para aplicar tasas de crecimiento, así como diferencia la tasa a dos grupos de vehículos. Considera dos tasas diferenciadas para el período 2014 – 2024, con una tasa del 1.46% asociada al crecimiento poblacional esperado de acuerdo con datos censales y aplicada a vehículos livianos, microbuses y buses, otra tasa del 1.80% asociada a la tasa de crecimiento del TPDA en un período de 10 años aplicable a camiones y tráileres considerando su respectiva elasticidad. Durante el período del 2025 – 2034 se asocia una tasa del 2.25% asociada a la evolución del TPDA de acuerdo con datos históricos y actuales aplicada a vehículos livianos, microbuses y buses, otra tasa del 1.97% asociada a la tasa de crecimiento del TPDA en un período de 10 años aplicable a camiones y tráileres, que corresponde al valor calculado de la tasa de crecimiento del PIB - tráfico en períodos más largos.

La hipótesis 2 plantea una tasa única para todos los vehículos, en dos períodos diferentes, la tasa del 1.80% corresponde a la tasa calculada del modelo econométrico con que ha evolucionado el PIB en los últimos 5 años, luego la tasa del 1.97% que corresponde al valor de crecimiento del PIB en períodos más largos y su elasticidad.

De estas dos hipótesis se considera que la menos probable de ocurrir es la 2, por lo que se consideran las tasas de crecimiento de la hipótesis 1 para las proyecciones del tráfico normal.

2.3.1.9 PROYECCIONES DE CRECIMIENTO DEL TRAFICO

El tráfico futuro de la carretera se ha estimado con el crecimiento del tráfico normal más el tráfico generado o inducido y se presenta desde la tabla Tabla 2. 40 Crecimiento del tráfico normal, CA8AW Tramo: Bypass Sonsonate. hasta la Tabla 2. 51 Tráfico total CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla.

CA8AW, TRAMO: BYPASS SONSONATE. Ambos Sentidos

TRAFICO NORMAL CA8AW Tramo: By Pass Sonsonate											
AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	4493	3456	1493	861	359	0	0	0	1015	537	12214
2014	4559	3506	1515	876	365	0	0	0	1033	547	12401
2015	4625	3557	1537	892	372	0	0	0	1052	557	12592
2016	4692	3609	1559	908	379	0	0	0	1071	567	12785
2017	4760	3662	1582	924	386	0	0	0	1090	577	12981
2018	4829	3715	1605	941	393	0	0	0	1110	587	13180
2019	4899	3769	1628	958	400	0	0	0	1130	598	13382
2020	4970	3824	1652	975	407	0	0	0	1150	609	13587
2021	5042	3880	1676	993	414	0	0	0	1171	620	13796
2022	5116	3937	1700	1011	421	0	0	0	1192	631	14008
2023	5191	3994	1725	1029	429	0	0	0	1213	642	14223
2024	5267	4052	1750	1047	437	0	0	0	1235	654	14442
2025	5385	4143	1789	1068	446	0	0	0	1259	667	14757
2026	5506	4236	1829	1089	455	0	0	0	1284	680	15079
2027	5630	4331	1870	1110	464	0	0	0	1309	693	15407
2028	5757	4428	1912	1132	473	0	0	0	1335	707	15744
2029	5886	4527	1955	1154	482	0	0	0	1361	721	16086
2030	6018	4629	1999	1177	492	0	0	0	1388	735	16438
2031	6153	4733	2044	1200	502	0	0	0	1415	749	16796
2032	6291	4839	2090	1224	512	0	0	0	1443	764	17163
2033	6432	4948	2137	1248	522	0	0	0	1471	779	17537
2034	6577	5059	2185	1273	532	0	0	0	1500	794	17920

Tabla 2. 40 Crecimiento del tráfico normal, CA8AW Tramo: Bypass Sonsonate.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 28.

TRAFICO GENERADO O INDUCIDO CA8AW Tramo: By Pass Sonsonate											
AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	241	186	80	47	20	0	0	0	56	29	659
2019	245	188	81	48	20	0	0	0	57	30	669
2020	249	191	83	49	20	0	0	0	58	30	680
2021	252	194	84	50	21	0	0	0	59	31	691
2022	256	197	85	51	21	0	0	0	60	32	702
2023	260	200	86	51	21	0	0	0	61	32	711
2024	263	203	88	52	22	0	0	0	62	33	723
2025	269	207	89	53	22	0	0	0	63	33	736
2026	275	212	91	54	23	0	0	0	64	34	753
2027	282	217	94	56	23	0	0	0	65	35	772
2028	288	221	96	57	24	0	0	0	67	35	788
2029	294	226	98	58	24	0	0	0	68	36	804
2030	301	231	100	59	25	0	0	0	69	37	822
2031	308	237	102	60	25	0	0	0	71	37	840
2032	315	242	105	61	26	0	0	0	72	38	859
2033	322	247	107	62	26	0	0	0	74	39	877
2034	329	253	109	64	27	0	0	0	75	40	897

Tabla 2. 41 Tráfico generado o inducido, CA8AW Tramo: Bypass Sonsonate.
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 28.

TRAFICO TOTAL CA8AW Tramo: By Pass Sonsonate											
AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	4493	3456	1493	861	359	0	0	0	1015	537	12214
2014	4559	3506	1515	876	365	0	0	0	1033	547	12401
2015	4625	3557	1537	892	372	0	0	0	1052	557	12592
2016	4692	3609	1559	908	379	0	0	0	1071	567	12785
2017	4760	3662	1582	924	386	0	0	0	1090	577	12981
2018	5070	3901	1685	988	413	0	0	0	1166	616	13839
2019	5144	3957	1709	1006	420	0	0	0	1187	628	14051
2020	5219	4015	1735	1024	427	0	0	0	1208	639	14267
2021	5294	4074	1760	1043	435	0	0	0	1230	651	14487
2022	5372	4134	1785	1062	442	0	0	0	1252	663	14710
2023	5451	4194	1811	1080	450	0	0	0	1274	674	14934
2024	5530	4255	1838	1099	459	0	0	0	1297	687	15165
2025	5654	4350	1878	1121	468	0	0	0	1322	700	15493
2026	5781	4448	1920	1143	478	0	0	0	1348	714	15832
2027	5912	4548	1964	1166	487	0	0	0	1374	728	16179
2028	6045	4649	2008	1189	497	0	0	0	1402	742	16532
2029	6180	4753	2053	1212	506	0	0	0	1429	757	16890
2030	6319	4860	2099	1236	517	0	0	0	1457	772	17260
2031	6461	4970	2146	1260	527	0	0	0	1486	786	17636
2032	6606	5081	2195	1285	538	0	0	0	1515	802	18022
2033	6754	5195	2244	1310	548	0	0	0	1545	818	18414
2034	6906	5312	2294	1337	559	0	0	0	1575	834	18817

Tabla 2. 42 Tráfico total, CA8AW Tramo: Bypass Sonsonate
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 29.

CA12S, TRAMO: BYPASS SONSONATE – DV. LA LIBERTAD. Ambos Sentidos

TRAFICO NORMAL CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate -Dv. La Libertad.

AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	4576	5066	790	1019	452	0	0	0	961	599	13463
2014	4643	5140	802	1037	460	0	0	0	978	610	13670
2015	4711	5215	814	1056	468	0	0	0	996	621	13881
2016	4780	5291	826	1075	476	0	0	0	1014	632	14094
2017	4850	5368	838	1094	485	0	0	0	1032	643	14310
2018	4921	5446	850	1114	494	0	0	0	1051	655	14531
2019	4993	5525	862	1134	503	0	0	0	1070	667	14754
2020	5066	5606	875	1154	512	0	0	0	1089	679	14981
2021	5140	5688	888	1175	521	0	0	0	1109	691	15212
2022	5215	5771	901	1196	530	0	0	0	1129	703	15445
2023	5291	5855	914	1217	540	0	0	0	1149	716	15682
2024	5368	5940	927	1239	550	0	0	0	1170	729	15923
2025	5489	6073	948	1263	561	0	0	0	1193	743	16270
2026	5612	6209	969	1288	572	0	0	0	1217	758	16625
2027	5738	6349	991	1313	583	0	0	0	1241	773	16988
2028	5867	6492	1013	1339	594	0	0	0	1265	788	17358
2029	5999	6638	1036	1365	606	0	0	0	1290	804	17738
2030	6134	6787	1059	1392	618	0	0	0	1315	820	18125
2031	6272	6940	1083	1419	630	0	0	0	1341	836	18521
2032	6413	7096	1107	1447	642	0	0	0	1367	852	18924
2033	6557	7255	1132	1476	655	0	0	0	1394	869	19338
2034	6704	7418	1157	1505	668	0	0	0	1421	886	19759

*Tabla 2. 43 Crecimiento del tráfico normal, CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 29.*

TRAFICO GENERADO O INDUCIDO CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate -Dv. La Libertad.

AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	246	272	43	56	25	0	0	0	53	33	728
2019	250	276	43	57	25	0	0	0	54	33	738
2020	253	280	44	58	26	0	0	0	54	34	749
2021	257	284	44	59	26	0	0	0	55	35	760
2022	261	289	45	60	27	0	0	0	56	35	773
2023	265	293	46	61	27	0	0	0	57	36	785
2024	268	297	46	62	28	0	0	0	59	36	796
2025	274	304	47	63	28	0	0	0	60	37	813
2026	281	310	48	64	29	0	0	0	61	38	831
2027	287	317	50	66	29	0	0	0	62	39	850
2028	293	325	51	67	30	0	0	0	63	39	868
2029	300	332	52	68	30	0	0	0	65	40	887
2030	307	339	53	70	31	0	0	0	66	41	907
2031	314	347	54	71	32	0	0	0	67	42	927
2032	321	355	55	72	32	0	0	0	68	43	946
2033	328	363	57	74	33	0	0	0	70	43	968
2034	335	371	58	75	33	0	0	0	71	44	987

*Tabla 2. 44 Tráfico generado o inducido, CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 30.*

TRAFICO TOTAL CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate -Dv. La Libertad.

AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	4576	5066	790	1019	452	0	0	0	961	599	13463
2014	4643	5140	802	1037	460	0	0	0	978	610	13670
2015	4711	5215	814	1056	468	0	0	0	996	621	13881
2016	4780	5291	826	1075	476	0	0	0	1014	632	14094
2017	4850	5368	838	1094	485	0	0	0	1032	643	14310
2018	5167	5718	893	1170	519	0	0	0	1104	688	15259
2019	5243	5801	905	1191	528	0	0	0	1124	700	15492
2020	5319	5886	919	1212	538	0	0	0	1143	713	15730
2021	5397	5972	932	1234	547	0	0	0	1164	726	15972
2022	5476	6060	946	1256	557	0	0	0	1185	738	16218
2023	5556	6148	960	1278	567	0	0	0	1206	752	16467
2024	5636	6237	973	1301	578	0	0	0	1229	765	16719
2025	5763	6377	995	1326	589	0	0	0	1253	780	17083
2026	5893	6519	1017	1352	601	0	0	0	1278	796	17456
2027	6025	6666	1041	1379	612	0	0	0	1303	812	17838
2028	6160	6817	1064	1406	624	0	0	0	1328	827	18226
2029	6299	6970	1088	1433	636	0	0	0	1355	844	18625
2030	6441	7126	1112	1462	649	0	0	0	1381	861	19032
2031	6586	7287	1137	1490	662	0	0	0	1408	878	19448
2032	6734	7451	1162	1519	674	0	0	0	1435	895	19870
2033	6885	7618	1189	1550	688	0	0	0	1464	912	20306
2034	7039	7789	1215	1580	701	0	0	0	1492	930	20746

Tabla 2. 45 Tráfico total, CA12S, Tramo: Bypass Sonsonate – Dv. La Libertad.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 30.

CA12S, TRAMO DV. LA LIBERTAD – DV. LA HACHADURA. Ambos Sentidos

TRAFICO NORMAL CA12S, tramo: Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura

AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	3708	3814	651	735	205	0	0	0	1357	561	11031
2014	3762	3870	660	748	209	0	0	0	1381	571	11201
2015	3817	3926	670	761	213	0	0	0	1406	581	11374
2016	3873	3983	680	775	217	0	0	0	1431	591	11550
2017	3929	4041	690	789	221	0	0	0	1457	602	11729
2018	3986	4100	700	803	225	0	0	0	1483	613	11910
2019	4044	4160	710	817	229	0	0	0	1510	624	12094
2020	4103	4221	720	832	233	0	0	0	1537	635	12281
2021	4163	4283	730	847	237	0	0	0	1565	646	12471
2022	4224	4345	741	862	241	0	0	0	1593	658	12664
2023	4286	4408	752	877	245	0	0	0	1622	670	12860
2024	4348	4472	763	893	249	0	0	0	1651	682	13058
2025	4446	4572	780	911	254	0	0	0	1684	695	13342
2026	4546	4675	798	929	259	0	0	0	1717	709	13633
2027	4648	4780	816	947	264	0	0	0	1751	723	13929
2028	4752	4887	834	966	269	0	0	0	1786	737	14231
2029	4859	4997	853	985	274	0	0	0	1821	752	14541
2030	4968	5109	872	1004	279	0	0	0	1857	767	14856
2031	5080	5224	892	1024	284	0	0	0	1894	782	15180
2032	5194	5341	912	1044	290	0	0	0	1931	797	15509
2033	5311	5461	932	1065	296	0	0	0	1969	813	15847
2034	5430	5584	953	1086	302	0	0	0	2008	829	16192

Tabla 2. 46 Tráfico normal, CA12S, Tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 31.

TRAFICO GENERADO O INDUCIDO CA12S, tramo: Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura											
AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	199	205	35	40	11	0	0	0	74	31	595
2019	202	208	36	41	11	0	0	0	76	31	605
2020	205	211	36	42	12	0	0	0	77	32	615
2021	208	214	37	42	12	0	0	0	78	32	623
2022	211	217	37	43	12	0	0	0	80	33	633
2023	214	220	38	44	12	0	0	0	81	34	643
2024	217	224	38	45	12	0	0	0	83	34	653
2025	222	229	39	46	13	0	0	0	84	35	668
2026	227	234	40	46	13	0	0	0	86	35	681
2027	232	239	41	47	13	0	0	0	88	36	696
2028	238	244	42	48	13	0	0	0	89	37	711
2029	243	250	43	49	14	0	0	0	91	38	728
2030	248	255	44	50	14	0	0	0	93	38	742
2031	254	261	45	51	14	0	0	0	95	39	759
2032	260	267	46	52	15	0	0	0	97	40	777
2033	266	273	47	53	15	0	0	0	98	41	793
2034	272	279	48	54	15	0	0	0	100	41	809

Tabla 2. 47 Tráfico generado o inducido, CA12S, Tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 31.

TRAFICO TOTAL CA12S, tramo: Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura											
AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	3708	3814	651	735	205	0	0	0	1357	561	11031
2014	3762	3870	660	748	209	0	0	0	1381	571	11201
2015	3817	3926	670	761	213	0	0	0	1406	581	11374
2016	3873	3983	680	775	217	0	0	0	1431	591	11550
2017	3929	4041	690	789	221	0	0	0	1457	602	11729
2018	4185	4305	735	843	236	0	0	0	1557	644	12505
2019	4246	4368	746	858	240	0	0	0	1586	655	12699
2020	4308	4432	756	874	245	0	0	0	1614	667	12896
2021	4371	4497	767	889	249	0	0	0	1643	678	13094
2022	4435	4562	778	905	253	0	0	0	1673	691	13297
2023	4500	4628	790	921	257	0	0	0	1703	704	13503
2024	4565	4696	801	938	261	0	0	0	1734	716	13711
2025	4668	4801	819	957	267	0	0	0	1768	730	14010
2026	4773	4909	838	975	272	0	0	0	1803	744	14314
2027	4880	5019	857	994	277	0	0	0	1839	759	14625
2028	4990	5131	876	1014	282	0	0	0	1875	774	14942
2029	5102	5247	896	1034	288	0	0	0	1912	790	15269
2030	5216	5364	916	1054	293	0	0	0	1950	805	15598
2031	5334	5485	937	1075	298	0	0	0	1989	821	15939
2032	5454	5608	958	1096	305	0	0	0	2028	837	16286
2033	5577	5734	979	1118	311	0	0	0	2067	854	16640
2034	5702	5863	1001	1140	317	0	0	0	2108	870	17001

Tabla 2. 48 Tráfico total, CA12S, Tramo Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.
Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Tráfico. Pág. 32.

CA12S, TRAMO: DV. LA HACHADURA - ACAJUTLA. Ambos Sentidos

TRAFICO NORMAL CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla

AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	2213	2203	366	304	118	0	0	0	1171	431	6806
2014	2245	2235	371	309	120	0	0	0	1192	439	6911
2015	2278	2268	376	315	122	0	0	0	1213	447	7019
2016	2311	2301	381	321	124	0	0	0	1235	455	7128
2017	2345	2335	387	327	126	0	0	0	1257	463	7240
2018	2379	2369	393	333	128	0	0	0	1280	471	7353
2019	2414	2404	399	339	130	0	0	0	1303	479	7468
2020	2449	2439	405	345	132	0	0	0	1326	488	7584
2021	2485	2475	411	351	134	0	0	0	1350	497	7703
2022	2521	2511	417	357	136	0	0	0	1374	506	7822
2023	2558	2548	423	363	138	0	0	0	1399	515	7944
2024	2595	2585	429	370	140	0	0	0	1424	524	8067
2025	2653	2643	439	377	143	0	0	0	1452	534	8241
2026	2713	2702	449	384	146	0	0	0	1481	545	8420
2027	2774	2763	459	392	149	0	0	0	1510	556	8603
2028	2836	2825	469	400	152	0	0	0	1540	567	8789
2029	2900	2888	480	408	155	0	0	0	1570	578	8979
2030	2965	2953	491	416	158	0	0	0	1601	589	9173
2031	3032	3019	502	424	161	0	0	0	1633	601	9372
2032	3100	3087	513	432	164	0	0	0	1665	613	9574
2033	3170	3156	525	441	167	0	0	0	1698	625	9782
2034	3241	3227	537	450	170	0	0	0	1731	637	9993

Tabla 2. 49 Trafico normal, CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 32.

TRAFICO GENERADO O INDUCIDO CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla

AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	119	118	20	17	6	0	0	0	64	24	368
2019	121	120	20	17	7	0	0	0	65	24	374
2020	122	122	20	17	7	0	0	0	66	24	378
2021	124	124	21	18	7	0	0	0	68	25	387
2022	126	126	21	18	7	0	0	0	69	25	392
2023	128	127	21	18	7	0	0	0	70	26	397
2024	130	129	21	19	7	0	0	0	71	26	403
2025	133	132	22	19	7	0	0	0	73	27	413
2026	136	135	22	19	7	0	0	0	74	27	420
2027	139	138	23	20	7	0	0	0	76	28	431
2028	142	141	23	20	8	0	0	0	77	28	439
2029	145	144	24	20	8	0	0	0	79	29	449
2030	148	148	25	21	8	0	0	0	80	29	459
2031	152	151	25	21	8	0	0	0	82	30	469
2032	155	154	26	22	8	0	0	0	83	31	479
2033	159	158	26	22	8	0	0	0	85	31	489
2034	162	161	27	23	9	0	0	0	87	32	501

Tabla 2. 50 Tráfico generado o inducido, CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contenida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 33.

TRAFICO TOTAL CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla

AÑO	LIVIANO	PICK UP	AUTOBUS	C2	C3	T2S1	T2S2	T2S3	T3S2	T3S3	TOTAL
2013	2213	2203	366	304	118	0	0	0	1171	431	6806
2014	2245	2235	371	309	120	0	0	0	1192	439	6911
2015	2278	2268	376	315	122	0	0	0	1213	447	7019
2016	2311	2301	381	321	124	0	0	0	1235	455	7128
2017	2345	2335	387	327	126	0	0	0	1257	463	7240
2018	2498	2487	413	350	134	0	0	0	1344	495	7721
2019	2535	2524	419	356	137	0	0	0	1368	503	7842
2020	2571	2561	425	362	139	0	0	0	1392	512	7962
2021	2609	2599	432	369	141	0	0	0	1418	522	8090
2022	2647	2637	438	375	143	0	0	0	1443	531	8214
2023	2686	2675	444	381	145	0	0	0	1469	541	8341
2024	2725	2714	450	389	147	0	0	0	1495	550	8470
2025	2786	2775	461	396	150	0	0	0	1525	561	8654
2026	2849	2837	471	403	153	0	0	0	1555	572	8840
2027	2913	2901	482	412	156	0	0	0	1586	584	9034
2028	2978	2966	492	420	160	0	0	0	1617	595	9228
2029	3045	3032	504	428	163	0	0	0	1649	607	9428
2030	3113	3101	516	437	166	0	0	0	1681	618	9632
2031	3184	3170	527	445	169	0	0	0	1715	631	9841
2032	3255	3241	539	454	172	0	0	0	1748	644	10053
2033	3329	3314	551	463	175	0	0	0	1783	656	10271
2034	3403	3388	564	473	179	0	0	0	1818	669	10494

Tabla 2. 51 Tráfico total CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 3. Estudio de Trafico. Pág. 33.

2.3.2 VARIABLES DE DISEÑO

A continuación, se presentan las variables requeridas para el diseño de pavimentos según la metodología de la Guía AASHTO 93 para el Diseño de Estructuras de Pavimentos.

Las variables que se tienen que considerar en este método, son las siguientes:

2.3.2.1 CBR DE DISEÑO

En la Tabla 2. 52 CBR del Proyecto, se presenta un resumen de los resultados obtenidos de la campaña geotécnica realizada en el tramo en estudio:

DESCRIPCIÓN	CBR (%) Laboratorio					
	Tramos I, II y III			Tramo IV		
	LD	LI	Promedio	LD	LI	Promedio
MÁXIMO	67.00	77.00	72.00	66.00	68.00	67.00
PROMEDIO	32.68	42.32	37.5	31.11	34.79	32.95
MÍNIMO	2.70	7.00	4.85	1.30	7.00	4.15
PERCENTIL 87.5	7.38	17.00	12.19	3.13	13.75	8.44

Tabla 2. 52 CBR del Proyecto

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 9. Diseño del Revestimiento de la Vía. Pág. 9.

A partir de los registros de deflexiones, se obtuvieron los resultados siguientes:

Tramo I, II y III: $M_r = 8,839.6 \text{ psi} \approx \text{CBR} = 10.5\%$

Tramo IV: $M_r = 10,914.11 \text{ psi} \approx \text{CBR} = 14.5\%$

Tomando en consideración, los resultados de la tabla anterior, y los módulos de resiliencia obtenidos a partir de los ensayos de deflexiones, se establece para este estudio un CBR de diseño de 10%.

En aquellos sectores donde se encuentren suelos inadecuados, con características expansivas, y/o valores de CBR inferior al de diseño, se deberá remover el material inapropiado por debajo de la Subrasante y sustituirse con materiales apropiados que cumplan la condición de Diseño. La profundidad de subexcavación será de acuerdo a las recomendaciones indicadas en el Estudio Geotécnico de la Vialidad.

2.3.2.2 PERIODO DE DISEÑO

Los períodos de diseño a considerar en el presente estudio serán de 15 años y 20 años, de acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia.

2.3.2.3 TRAFICO

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN

Para efectos de diseño, el tráfico que se debe considerar es el que utiliza el carril de diseño, por lo que generalmente se admite que en cada dirección circule el 50% del tránsito total (del que viaja en ambas direcciones), que dependiendo del lugar puede variar entre el 30% y 70%. En el presente análisis se utilizó una distribución direccional del 50%.

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL

Para carreteras de dos o más carriles por sentido, la Guía AASHTO 93, recomienda los siguientes valores de la Tabla 2. 53 Factores de distribución por carril según Guía AASHTO 93:

Número de carriles en una sola dirección.	Porcentaje de ESAL en carril de diseño.
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Tabla 2. 53 Factores de distribución por carril según Guía AASHTO 93

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993, Pág. II-9.

La vialidad consta en ciertos sectores de dos carriles por sentido y de tres carriles por dirección en otros. En base a lo anterior y las recomendaciones de la tabla 2, se establece un factor de distribución por carril de 80%.

2.3.2.4 TASA DE CRECIMIENTO

La tasa de crecimiento vehicular a utilizar en el presente diseño será la determinada en el Estudio de Tráfico del Proyecto, de acuerdo a la Tabla 2. 54 Tasas de crecimiento vehicular:

Tipo vehiculo	Tasa 2014- 2024	Tasa 2025- 2034
Livianos, Pick ups, microbuses y buses	1.46%	2.25%
Camiones y trailers	1.80%	1.97%

Tabla 2. 54 Tasas de crecimiento vehicular

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 9. Diseño del Revestimiento de la Vía. Pág. 10.

2.3.2.5 CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE FLOTA VEHICULAR

Para la determinación y cálculo de los ejes equivalentes se requiere el uso de factores de camión para cada clase particular de vehículo, principalmente para camiones pesados. Esto debe hacerse usando los pesos límites de cada vehículo conforme lo establecido en la Tabla 2. 55 Límites de pesos en toneladas / kips de ejes por tipo de vehículos.

Tipo de Vehículo	Tipo de eje del tractor				Tipo de eje del semirremolque			Total Toneladas
	Eje simple direccional	Eje de tracción			Eje de arrastre			
		Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	
Autos	1.0 / 2.2	1.0 / 2.2						2.0 / 4.4
Pick Ups	1.0 / 2.2	2.5 / 5.5						3.5 / 7.7
Microbús	2.5 / 5.5	5.0 / 11.0						7.5 / 16.5
Autobús	5.0 / 11.0	9.0 / 19.8						14.0 / 30.8
C2	5.0 / 11.0	10.0 / 22.0						15.0 / 33.0
C3	5.0 / 11.0		16.5 / 36.3					21.6 / 47.3
C4	5.0 / 11.0			20.0 / 44.0				25.0 / 55.0
T2-S1	5.0 / 11.0	9.0 / 19.8			9.0 / 19.8			23.0 / 50.6
T2-S2	5.0 / 11.0	9.0 / 19.8				16.0 / 35.2		30.0 / 66.0
T2-S3	5.0 / 11.0	9.0 / 19.8					20.0 / 44.0	34.0 / 74.8
T3-S1	5.0 / 11.0		16.0 / 35.2		9.0 / 19.8			30.0 / 66.0
T3-S2	5.0 / 11.0		16.0 / 35.2			16.0 / 35.2		37.0 / 81.4
T3-S3	5.0 / 11.0		16.0 / 35.2				20.0 / 44.0	41.0 / 90.2
Otros	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Variable

Tabla 2. 55 Límites de pesos en toneladas / kips de ejes por tipo de vehículos

Fuente: Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras, SIECA, 2000.

2.3.2.6 TRAFICO PROMEDIO ANUAL

El tráfico promedio diario anual (TPDA) y distribución vehicular, a ser utilizados en el cálculo de los ESAL's de diseño de este tramo de carretera, son los resultantes del estudio de tráfico del proyecto; presentados desde la Tabla 2. 40 Crecimiento del tráfico normal, CA8AW Tramo: Bypass Sonsonate. hasta la Tabla 2. 51 Tráfico total CA12S, Tramo: Dv. La Hachadura - Acajutla., del apartado 2.3.1.9 PROYECCIONES DEL CRECIMIENTO DEL TRAFICO.

2.3.2.7 CONFIABILIDAD

Esta variable se refiere a la incorporación de un grado de certeza al proceso de diseño para asegurar que las diferentes alternativas durarán el período de análisis para el cual son diseñadas. El factor de confiabilidad de diseño toma en cuenta las posibles variaciones del tráfico y del desempeño esperado, consecuentemente provee un nivel predeterminado de aseguramiento que la serviciabilidad será mantenida a niveles adecuados para los usuarios, a lo largo del periodo de diseño.

En la Tabla 2. 56 Valores recomendados de Confiabilidad, se presentan valores recomendados de confiabilidad para diferentes tipos de vías.

Clasificación funcional	Confiabilidad (%) - R_{total}	
	Urbano	Rural
Interestatal y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Tabla 2. 56 Valores recomendados de Confiabilidad

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO, 1993

Considerando la vialidad diseñada de acuerdo a la tabla anterior, como una Interestatal de carácter rural, se establece para el presente diseño una confiabilidad de 90%.

2.3.2.8 DESVIACIÓN ESTANDAR

Los valores de S_o , recomendados en la guía AASHTO 93 son los siguientes:

Para pavimentos flexibles	0.45 – 0.49
En construcción nueva	0.45
En sobrecapa	0.49
Para pavimentos rígidos	0.35 – 0.39
En construcción nueva	0.35
En sobrecapa	0.39

Considerando las recomendaciones anteriores, se establece:

Estructura nueva de concreto asfáltico:	0.45
Estructura nueva de concreto hidráulico:	0.35

2.3.2.9 SERVICIABILIDAD

Los índices inicial y final deberán estar acordes con la función de la estructura de pavimento diseñada y la calidad de construcción. Los índices de serviciabilidad final recomendados son con frecuencia del orden de 2.5 o más para vías de gran importancia y de 2 a 2.5 para las menos importantes.

Los índices de serviciabilidad inicial y final a emplear en el presente diseño, son los siguientes:

Serviciabilidad Inicial, P_i :

Pavimento Flexible:	4.2
Pavimento Rígido:	4.5

Serviciabilidad Final, P_f : 2.5

2.3.2.10 MODULO RESILIENTE EFECTIVO DE LA SUBRASANTE

En el presente diseño para calcular el módulo resiliente de la subrasante a partir del CBR de diseño considerado, se utilizará la correlación siguiente:

$$M_r = 1941.488 * (CBR)^{0.6444709},$$

desarrollada por la American Concrete Pavement Association para el Pavement Analysis Software, a partir del NCHRP Project 128 "Evaluation of the AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures".

2.3.2.11 MODULO EFECTIVO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE.

Como en el diseño de pavimentos flexibles se considera; que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales que constituyen la subrasante de un pavimento de una carretera, es el parámetro denominado módulo de resiliencia, el módulo efectivo de reacción de la subrasante (valor k) ha sido desarrollado para el diseño de pavimentos rígidos. El valor de k está directamente relacionado al módulo de resiliencia de la subrasante (M_r), sin embargo, este depende además de los factores siguientes:

 Espesor y características del tipo de subbase a ser utilizada.

 Pérdida de soporte del material de subrasante.

 Profundidad de estrato rocoso, si éste es menor a 3.0 metros.

El módulo de reacción de la subrasante (k), será determinado a partir de los valores recomendados de k de acuerdo a los rangos de CBR para cada tipo de suelo, el espesor y propiedades del tipo de capa de base considerado en el diseño, y la pérdida de soporte establecida.

2.3.2.12 COEFICIENTES DE CAPA

La Guía AASHTO, se apoya en la determinación de las propiedades de los materiales para la estimación de los valores apropiados del coeficiente de capa. El coeficiente de capa del pavimento flexible de AASHTO (a_i) es una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de un material dado para funcionar como componente estructural del pavimento.

La determinación de los coeficientes de capa apropiados puede lograrse derivándolos de ensayos de carretera (como fue hecho en el Ensayo de Carretera AASHTO) o mediante el uso de relaciones predeterminadas basadas en las propiedades de los materiales.

Carpeta asfáltica.

Se propone para el presente diseño la utilización de una carpeta asfáltica que presente las características siguientes:

Coefficiente estructural, $a_1 \approx 0.40$ promedio

Estabilidad Marshall

Capa de rodadura: 9000 N (2000lb)

Capa intermedia: 8100 N (1800lb)

Módulo resiliente: 3150 MPa (450,000psi)

Se propone para aquellos tramos con ESAL's superiores a 10 millones, correspondientes a vías de alto volumen de tráfico de acuerdo a designación de la National Asphalt Pavement Association, NAPA, que a la segunda capa de mezcla asfáltica que se coloque, se le incorpore polímeros para brindarle una mayor resistencia a las deformaciones permanentes (ahuellamiento) a temperaturas altas de servicio, y reducir el fisuramiento por efecto térmico y por fatiga.

Base tratada con emulsión asfáltica

Se propone la utilización de material pétreo que cumpla con las especificaciones de una base granular, mezclado con emulsión asfáltica.

La Guía AASHTO recomienda valores de coeficiente estructural para bases bituminosas desde 0.10, para mezclas con estabilidades Marshall inferiores a 200 libras o módulo de elasticidad menor a 100,000 psi, hasta 0.30 para mezclas con estabilidad Marshall en el orden de 1,600 lb o módulo elástico de 350,000 psi.

En el presente diseño, para este tipo de base se propone un coeficiente estructural de 0.23, equivalente a un valor de estabilidad Marshall de 1,000 lb.

Base / subbase de suelo cemento.

Considerando una resistencia a la compresión simple a los 7 días de 400 psi (35 kg/cm²), se obtiene a partir de la figura 2.8 de la GUIA AASHTO:

Coeficiente estructural, $a_2 \approx 0.17$

Módulo de elasticidad, $E = 650,000$ psi

2.3.2.13 MODULO DE ELASTICIDAD DE MATERIALES DE BASE Y SUB BASE

En la página II-27, de la Guía AASHTO 93, se presentan rangos de valores de módulo de resiliencia para diferentes tipos de materiales usualmente empleados como bases y subbases en estructuras de pavimentos, en la Tabla 2. 57 Valores típicos de módulos de elasticidad de varios tipos de materiales, se muestran estos valores:

Tipos de subbase o base	Módulo de resiliencia (psi)
Sub bases granulares tratadas con cemento	1,000,000 – 2,000,000
Sub bases tratadas con cemento	500,000 - 1,000,000
Bases asfálticas	350,000 - 1,000,000
Subbases estabilizadas con asfalto	40,000 - 300,000
Estabilización con cal	20,000 – 70,000
Materiales granulares sin tratar	15,000 - 45,000
Suelos finos y sub rasantes naturales	3,000 – 40,000

*Tabla 2. 57 Valores típicos de módulos de elasticidad de varios tipos de materiales
Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO, 1993.*

2.3.3 MODULO DE RUPTURA

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'_c) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

El módulo de ruptura se mide mediante ensayos de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo. Esta prueba está normalizada por las normas AASHTO T 97 / ASTM C 78.

En el presente diseño se utilizará un módulo de ruptura igual a **48 kg/cm² (682 psi)**.

2.3.3.1 MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

El Instituto Americano del Concreto, ACI, recomienda el cálculo del módulo de elasticidad de concreto de cemento Portland de peso normal, utilizando la siguiente correlación:

$$\text{a) } E_s = 57,000 (f'_c)^{0.5},$$

Donde

E_s = Módulo de elasticidad de concreto (en psi) y

f'_c = Resistencia a la compresión, como se determina en AASHTO T22, T140 o ASTM C 39.

No obstante, para el presente diseño se utilizará la correlación recomendada por la American Concrete Pavement Association, que estima E_s en función del módulo de ruptura, de acuerdo a lo siguiente:

$$\text{b) } E_s = 6,750 * S_c'$$

Donde

E_s = Módulo de elasticidad de concreto (en psi) y

S_c' = Módulo de ruptura del concreto

El valor del módulo de ruptura establecido en el diseño es de **48 kg/cm² (682 psi)**, y en base a la función anterior se obtiene un valor de **$E_s = 4,603,500$ psi**.

2.3.3.2 COEFICIENTE DE DRENAJE

La guía AASHTO 93 relaciona el tiempo en que tarda el agua en ser evacuado con la calidad de drenaje de acuerdo a la Tabla 2. 58 Niveles de drenaje de estructuras de pavimento:

Calidad del drenaje	Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Tabla 2. 58 Niveles de drenaje de estructuras de pavimento
Fuente: *Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO, 1993.*

En la Tabla 2. 59 Coeficientes de drenaje, Cd, recomendados para pavimentos asfálticos y en la Tabla 2. 60 Coeficientes de drenaje, Cd, recomendados para pavimentos hidráulicos, se presentan los valores de coeficientes de drenaje, Cd, en función de la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo durante el año que la estructura de pavimento podría estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Calidad del Drenaje	Porcentaje de tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad acercándose a saturación			
	Menos del 1%	1-5%	5-25%	Mayor a 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Mediano	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Malo	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy Malo	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Tabla 2. 59 Coeficientes de drenaje, Cd, recomendados para pavimentos asfálticos
Fuente: *Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO, 1993, Pág. II-25.*

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad acercándose a saturación			
	Menos del 1%	1-5%	5-25%	Mayor a 25%
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Mediano	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Malo	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy malo	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Tabla 2. 60 Coeficientes de drenaje, Cd, recomendados para pavimentos hidráulicos
Fuente: *Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO, 1993, Pág. II-25.*

A partir de las tablas anteriores, se establece un coeficiente de drenaje, Cd, para el presente diseño de **1.0** para ambos tipos de pavimentos de estructuras, pavimentos de concreto hidráulico y para pavimentos de concreto asfáltico, valor conservador considerando que la vialidad será diseñada y construida con un sistema de drenaje apropiado, estructuras de soporte (capa de base y subbase) resistentes a los efectos del agua.

2.3.3.3 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA

La transferencia de carga es la habilidad de las losas de transferir parte de las cargas a las losas adyacentes. En términos generales, los pavimentos con buena transferencia de carga, presentan menos escalonamientos, menos quiebra en los bordes y un mejor desempeño.

En el procedimiento de diseño de AASHTO, la transferencia de la carga es afectada por el tipo de pavimento, la presencia de barras pasa juntas, y la existencia de soporte lateral. La incorporación de barras pasa juntas y hombros mejoran el desempeño del pavimento minimizando las deflexiones y esfuerzos que se desarrollan en el borde exterior del pavimento. Esto reduce el potencial de grietas transversales, bombeo y escalonamiento.

Los valores de J, recomendados por AASHTO, han sido modificados y actualizados por la Asociación del Cemento Portland, PCA, con el objeto de proveer una guía más específica para la selección del coeficiente de

transferencia de carga. Los valores recomendados son presentados en la Tabla 2. 61 Valores de coeficiente de transferencia de carga, J

E 18's (millions)	Doweled & Mesh Reinforced		Aggregate Interlock		Continuously Reinforced		Pavement Class
	Edge	Support	Edge	Support	Edge	Support	
	No	Yes	No	Yes	No	Yes	
Up to 0.30	3.2	2.7	3.2	2.8			Local
0.30 to 1	3.2	2.7	3.4	3.0			Streets & Roads
1 to 3	3.2	2.7	3.6	3.1			
3 to 10	3.2	2.7	3.8	3.2	2.9	2.5	Arterials
10 to 30	3.2	2.7	4.1	3.4	3.0	2.6	and
Over 30	3.2	2.7	4.3	3.6	3.1	2.6	Highways

*Tabla 2. 61 Valores de coeficiente de transferencia de carga, J
Fuente: Portland cement Association, PCA.*

En función del tipo de pavimento, las condiciones de soporte lateral, el tráfico de diseño esperado, y la clasificación de la carretera, se considera un valor de **2.7**.

2.3.3.4 PERDIDA DE SOPORTE

Este factor, es el valor que se le da a la pérdida de soporte que pueden llegar a tener las losas de un pavimento de concreto, por efecto de la erosión en la subbase por corrientes de agua o por los asentamientos diferenciales de la subrasante.

Este factor no aparece en forma directa en la fórmula de diseño para obtener el espesor de un pavimento de concreto; pero si está en forma indirecta a través de la reducción del Módulo de Reacción efectivo de la superficie (subrasante) en que se apoyan las losas.

La pérdida de soporte fue el principal modo de falla en los pavimentos rígidos, en la prueba AASHO. El bombeo de finos de la subrasante precedió todos los tipos de grietas. Por consiguiente, los efectos de pérdida de soporte son inherentes en la ecuación de diseño AASHTO que predice el desempeño de los pavimentos rígidos o la pérdida de serviciabilidad.

La ACPA recomienda utilizar una pérdida de soporte igual a cero para cualquier diseño de pavimento rígido. Las mejoras necesarias en las condiciones de soporte de la sub base o subrasante pueden lograrse mejorando los materiales de subbase o un drenaje adecuado.

En el presente diseño se está considerando una subbase de suelo cemento para la alternativa de pavimento hidráulico, un CBR mínimo de la subrasante de 10%, y un sistema de drenaje adecuado; por consiguiente, se ha considerado un valor de pérdida de soporte igual a **cero**.

2.3.3.5 RESUMEN DE LAS VARIABLES DE DISEÑO

Se presenta un resumen de todas las variables de diseño utilizadas en los diferentes tramos. Dichas variables se presentan en la Tabla 2. 62 Resumen de variables de diseño.

VARIABLES DE DISEÑO	CONCRETO	ASFALTO
CBR	10%	10%
Período de diseño	20 años	20 años
Factor de distribución por dirección	50%	50%
Factor de distribución por carril	80%	80%
Tasa de crecimiento livianos 2014 - 2024	1.46%	1.46%
Tasa de crecimiento livianos 2025 - 2034	2.25%	2.25%
Tasa de crecimiento pesados 2014 - 2024	1.80%	1.80%
Tasa de crecimiento pesados 2025 - 2034	1.97%	1.97%
ESAL's	33,019,697	23,419,733
Confiabilidad	90%	90%
Desviación Estándar	0.35	0.45
Serviciabilidad Inicial	4.5	4.2
Serviciabilidad final	2.5	2.5
Modulo efectivo de reacción de la Subrasante	1103.4 pci	1103.4 pci
Coefficiente de capa mezcla asfáltica (promedio)	-	0.4
Coefficiente de capa Base tratada con emulsión asfáltica	-	0.23
Coefficiente de capa Base de Suelo cemento	-	0.17
Módulo de elasticidad de la base de SC	650,000 psi	650,000 psi
Módulo de elasticidad de sub base con emulsión	-	350,000 psi
Módulo de Ruptura concreto	MR 48kg/cm2	-
Módulo de elasticidad del concreto	4,603,500 psi	-
Coefficiente de drenaje	1	1
Coefficiente de transferencia de carga	2.7	-
Perdida de soporte	0	0

Tabla 2. 62 Resumen de variables de diseño

Fuente: Creación propia con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño.

2.3.4 RESULTADOS FINALES DE LOS DISEÑOS

2.3.4.1 CALCULO DE EJES EQUIVALENTES (ESALS)

A partir del TPDA, distribución vehicular, tasa de crecimiento, factor direccional, factor de carril, y factores de daño por tipo de vehículo, se procedió a calcular

los ESAL's de diseño del proyecto. En la Tabla 2. 63 Esal's resultantes para los tramos en estudio, se presenta el resumen de los ESAL's resultantes para cada tramo.

Periodo de Diseño (Años)	Tramo I: CA8AW, Bypass Sonsonate.		Tramo II: CA12S, Bypass Sonsonate -Dv. La Libertad.		Tramo III: CA12S, Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura		Tramo IV: CA12S, Dv. La Hachadura - Acajutla	
	Flexible	Rigido	Flexible	Rigido	Flexible	Rigido	Flexible	Rigido
15	23,419,733	33,019,697	21,868,816	31,785,055	21,058,921	29,507,689	14,728,033	23,515,273
20	32,937,578	46,429,345	30,745,255	44,681,666	29,608,484	44,917,566	20,705,621	33,054,922

Tabla 2. 63 Esal's resultantes para los tramos en estudio

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 9. Diseño del Revestimiento de la Vía. Pag.23.

2.3.4.2 ALTERNATIVAS PAVIMENTOS

Como lo mencionamos en la sección 2.2 ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO DISEÑADAS Y CONSTRUIDAS, las estructuras finales construidas son las detalladas en la Tabla 2. 64 Alternativas de pavimento definitivas construidas:

TRAMO	TIPO DE SUPERFICIE	ESPESOR (cm)		
		CAPA DE RODADURA	BASE	SUB BASE
Tramo I CA8W CA12S	CONCRETO	MR 48 kg/cm ² E = 25 cm Est 16+900 a Est 19+360. E = 24 cm Est 19+360 a Est 24+200.	-	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² E = 25cms
Tramo II Sonsonate - Dv. Las Tablas	CONCRETO	MR 48 kg/cm ² E = 25 cms	-	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² E = 25cms
Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad	ASFALTO	E = 12 cm (dos capas, 5 m capa superior con asfalto modificado y 7 cm capa intermedia)	Base tratada con Asfalto E = 18 cm	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² E = 25cms
Dv. La Libertad - Acajutla	ASFALTO	E = 12 cm (dos capas, 5 m capa superior con asfalto modificado y 7 cm capa intermedia)	Base tratada con Asfalto E = 18 cm	Sub Base Estabilizada con Cemento Hidráulico f'c = 35 kg/cm ² E = 25cms

Tabla 2. 64 Alternativas de pavimento definitivas construidas

Fuente: Creación propia. Con información proveniente del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño.

Para las cuales se muestran el cálculo de los diseños en base a la información de las variables ya descritas anteriormente.

2.3.4.2.1 TRAMO I Y II, SUPERFICIE DE RODADURA DE CONCRETO HIDRAULICO.

En la Imagen 2. 5 Diseño de pavimento, tramo I y II. se presentan los resultados del diseño de los tramos a construir en concreto hidráulico.

Rigid Design Inputs			
Agency:			
Company:			
Contractor:			
Project Description:			
Location:			
Rigid Pavement Design/Evaluation			
PCC Thickness	9.44 inches	Load Transfer, J	2.70
Design ESALS	33,019,697.00	Mod. Subgrade Reaction, k	1,103 psi/in
Reliability	90.00 percent	Drainage Coefficient, Cd	1.00
Overall Deviation	0.35	Initial Serviceability	4.50
Modulus of Rupture	683 psi	Terminal Serviceability	2.50
Modulus of Elasticity	4,610,250 psi		
Modulus of Subgrade Reaction (k-value) Determination			
Resilient Modulus of the Subgrade		9,388.70 psi	
Resilient Modulus of the Subbase		650,000.00 psi	
Subbase Thickness		9.84 inches	
Depth to Rigid Foundation		0.00 feet	
Loss of Support Value (0,1,2,3)		0.00	
Modulus of Subgrade Reaction		1,103.40 psi/in	

Imagen 2. 5 Diseño de pavimento, tramo I y II.

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 9. Diseño del Revestimiento de la Vía. Pág. 24.

ASPECTOS COMPLEMENTARIOS AL DISEÑO

a) Transferencia de carga en juntas longitudinales y barras de amarre.

La transferencia de carga a través de las juntas longitudinales entre los carriles de circulación y entre hombros de concreto hidráulico ligados a los carriles principales, afecta los esfuerzos de tensión y las deflexiones de las losas de concreto. En consecuencia, una eficiente transferencia de carga a través de las juntas longitudinales minimiza la formación de grietas transversales y el escalonamiento en las juntas. Además de optimizar la eficiencia de transferencia de carga en las juntas longitudinales, el sistema de barras de amarre también previene la separación entre carriles. La separación entre

carriles puede llevar a una mayor infiltración de agua al pavimento, aparte de convertirse en un problema de seguridad vial. Un adecuado sistema de barras de amarre es crítico para asegurar la efectividad de la construcción de las juntas longitudinales.

Las barras de amarre a utilizar serán de acero **No 5** corrugado, grado **40**.

Longitud y espaciamiento de barras de amarre:

Para la junta longitudinal central, las barras de amarre a utilizar serán de **76.2** cm de longitud y una separación de **60** cm. Para las juntas restantes, las barras de amarre serán de **76.2** cm de longitud y una separación de **76.2** cm.

Las barras de amarre, no se deben insertar a menos de 40 cms. de las juntas transversales para evitar que interfieran con el movimiento de las losas.

b) Transferencia de carga en juntas transversales, pasa juntas.

La transferencia de carga a través de las juntas transversales es el factor más crítico para controlar el escalonamiento en los pavimentos de concreto hidráulico y por consecuencia la rugosidad. Una eficiente transferencia de carga a través de las juntas transversales también minimiza la formación de grietas en el espesor de la losa de concreto. La utilización de dispositivos de transferencia de carga (pasa juntas) reduce significativamente el potencial de escalonamiento en las juntas, donde el diámetro de la dovela es un factor importante. Las bases estabilizadas también contribuyen a incrementar la transferencia de carga.

Atendiendo las recomendaciones de la American Concrete Pavement Association, ACPA, y de otras fuentes consultadas para el diseño de pasa juntas, se proponen como dispositivos de transferencia de carga barras de acero de 1-¼ pulg. Liso, grado 60, de 18 in. (46 cm.) de longitud, y una separación de 12 pulg. (30cm). Las barras pasa juntas no deben insertarse a menos de 16 cm. del borde de las losas.

c) Modulación de las losas.

El espaciamiento entre juntas de contracción en pavimentos de concreto hidráulico simple afecta la formación de grietas transversales y los costos de construcción. En menor grado, tiene incidencia en el escalonamiento de las losas. A mayor separación entre juntas, se incrementa el potencial de formación de grietas transversales. La separación entre juntas debe seleccionarse dentro del contexto de los criterios de diseño considerados como espesor y dimensiones de losas, propiedades de los materiales de la mezcla de concreto, y tipo de base. El objetivo es poder seleccionar el máximo espaciamiento entre juntas que provee un nivel aceptable de grietas trasversales y confort a los usuarios en el período de diseño de la carretera a un nivel deseado de fiabilidad.

En general, el espaciamiento de ambas juntas de contracción, transversales y longitudinales dependen de las condiciones locales del material y el medio ambiente. El espaciamiento para prevenir agrietamiento intermedio decrece a medida que el coeficiente térmico, los cambios de temperatura, o resistencia de fricción en la base, incrementan y el espaciamiento es mayor a medida que la resistencia a la tensión en el concreto aumenta. El espaciamiento esta también relacionado al espesor de la losa y la capacidad o efectividad del sellador de juntas. Como una guía aproximada, el espaciamiento (en pies) para pavimento de concreto no reforzados no debe exceder dos veces en espesor de losa en pulgadas. Por ejemplo, el máximo espaciamiento para una losa de 8 in (200 mm) es 16 pies (4.8 m). También, como lineamiento general, la razón largo / ancho de la losa no debe exceder 1.25. (AASHTO 1993: II-49).

La relación entre ancho y espaciamiento de losas, anteriormente citada, puede expresarse como:

$$S = 0.024 D,$$

Donde S = espaciamiento de junta en m y D = espesor de losa en mm, o

$$S = 2D,$$

Donde S = espaciamiento de junta en pies (ft) y D = espesor de losa en pulgadas (in)

En el presente diseño se considerarán las siguientes configuraciones de dimensionamiento de losas:

Carriles de circulación:

Losas de 3.65 metros de ancho por 3.65 metros de largo

Sección de separador central y hombro interno:

Losas de 1.20 metros de ancho por 1.825 metros de largo

Hombro externo:

Losas de 2.35 metros de ancho por 1.825 metros de largo

2.3.4.2.2 TRAMO III Y IV SUPERFICIE DE RODADURA DE CONCRETO ASFALTICO.

En la Imagen 2. 5 Diseño de pavimento, tramo I y II. se presentan los resultados del diseño de los tramos a construir en concreto asfaltico.

Flexible Design Inputs				
Agency:				
Company:				
Contractor:				
Project Description:				
Location:				
Flexible Pavement Design/Evaluation				
Structural Number	5.20		Soil Resilient Modulus	9,388.70 psi
Design ESALs	23,419,733.00		Initial Serviceability	4.20
Reliability	90.00	percent	Terminal Serviceability	2.50
Overall Deviation	0.45			
Layer Pavement Design/Evaluation				
Layer Material	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Layer SN
Asphalt Cement Concrete	0.40	1.00	4.74	1.89
Asphalt Treated Agg. Base	0.23	1.00	7.09	1.63
Cement Treated Agg. Base	0.17	1.00	9.84	1.67
	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00
			Σ SN	5.19

Imagen 2. 6 Diseño tramos III y IV .

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Contendida en el Anexo 9. Diseño del Revestimiento de la Vía. Pág. 29.

Capa superior (superficie de rodadura) Mezcla asfáltica densa en caliente, de granulometría **gruesa**, de **5.0 cm** de espesor, con tamaño nominal máximo de ½ “(12.7 mm).

Capa Intermedia Mezcla asfáltica densa en caliente, de granulometría **gruesa**, de **7.0 cm** de espesor, con tamaño máximo nominal ¾” (19.05 mm)

2.3.5 ANALISIS DE DETERIOROS EN ETAPA DE DISEÑO

Los parámetros que a continuación que se muestran en la Tabla 2. 65 Alternativas de Pavimento Flexible y la Tabla 2. 66 Alternativas de Concreto Hidráulico, son sugeridos por HDM4 en función de relacionar el tipo de carretera, velocidad de proyecto y la serviciabilidad inicial y final considerada en el diseño estructural del pavimento, con el objetivo de definir los parámetros que definirán el momento y nivel de intervención durante su vida útil para mantener la vía en condiciones aceptables.

Alternativas de Pavimento Flexible:

Parámetro	Condición			Adoptado en análisis
	Buena	Aceptable	Pobre	
IRI (*)	3	5	7	3.0 a 5.0
Fisuras (%)	0.00	5.00	15.00	5.0 a 10.0
Desprendimiento de Agregado (%)	1.00	10.00	20.00	10.0 a 15.0
Numero de Baches por Km	0.00	0.00	5.00	3.0 a 5.0
Rotura de Borde m2/km	0.00	10.00	100.00	10.0 a 25.0
Profundidad media de rodadura (mm)	2.0	5.0	15.0	5.0 a 10.0

Tabla 2. 65 Alternativas de Pavimento Flexible

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Análisis económico de las alternativas, Pág. 5 y 6.

(*): En base al tipo de vía

Pavimento de Concreto Hidráulico

Parámetro	Condición			Adoptado en análisis
	Buena	Aceptable	Pobre	
IRI (*)	3	5	7	3.0 a 5.0
Fisuras transversales (%)	5.00	20.00	30.00	20.0 a 25.0
Desconchado de Juntas (%)	0.00	10.00	20.00	10.0 a 15.0
Resalto entre losas (escalonamiento) mm	1.00	2.00	4.00	2.0 a 4.0

Tabla 2. 66 Alternativas de Concreto Hidráulico

Fuente: Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño. Análisis económico de las alternativas, Pág. 6.

(*): En base al tipo de vía

INTERVENCIONES DE MEJORA Y CONSERVACIÓN EN EL PERIODO DE DISEÑO CONSIDERADAS EN CADA ALTERNATIVA

Las intervenciones de mejora y conservación en cada alternativa, fueron asignadas con el objetivo de mantener en lo posible las condiciones iniciales de tipo estructural y funcional especificadas en el tramo, y no sobrepasar las condiciones límite asignadas por HDM4 al final del periodo de diseño.

Las intervenciones de Mejora (Mantenimiento Periódico), modeladas en HDM4 para cada Alternativa son:

Alternativa de Pavimento de Concreto Hidráulico

Sello de juntas

Cepillado de superficie

Alternativas de Pavimento Flexible

Colocación de refuerzo (e = 50 mm)

Fresado y reemplazo de carpeta asfáltica (Considerada en la Alternativa Base)

Mantenimiento Rutinario

Además, para cada alternativa, se ha considerado el respectivo mantenimiento rutinario (Sello de fisuras o grietas, bacheo, etc.)

La cantidad de trabajo a realizar en cada asignación, es presentada en el reporte Calendario de actuaciones por año del costo de construcción y mantenimiento por alternativa, realizándose en el presente análisis solo lo relativo a la Estructura del Pavimento ya que los demás rubros de trabajo se comportan constante en la inversión inicial y mantención de estas durante la vida útil del proyecto en todas las alternativas.

Considerándose lo anterior, se definirán las dos (2) alternativas de Pavimento, que más rentables resulten al proyecto.

CONDICIONES CLIMATICAS EN LA ZONA DONDE SE DESARROLLA EL PROYECTO

Se creó una base de datos de clima específica para el proyecto en estudio, los factores considerados son los siguientes:

Clasificación por humedad: Húmeda.

Índice de Humedad: 60

Duración estación seca: 0.43 (Como parte de un año)

Precipitación media mensual: 125 mm.

Clasificación por temperatura: Subtropical cálido

Temperatura media: 25.80 °C

Días T > 32°C: 60 días.

Índice de helada: 0 °C-día.

RESULTADOS DEL DESEMPEÑO ESTRUCTURAL

PAVIMENTOS FLEXIBLES

Las alternativas de pavimento asfáltico consideradas en el análisis poseen una proyección satisfactoria de comportamiento estructural y funcional durante el periodo de análisis de 20 años. Las intervenciones de mantenimiento periódico logran mantener en lo posible el número estructural inicial, y controlan la formación de agrietamiento, roderas y baches en el periodo de análisis considerado en este estudio, de 20 años. Los parámetros de comportamiento son detallados en las Tabla 2. 67 Parámetros de comportamiento de pavimentos

flexibles y Tabla 2. 68 Parámetros de comportamiento de pavimentos rígidos.

Parámetro	Resultado de análisis después de 15 años
IRI (m/km)	3.12
Fisuras (%)	0.00
Desprendimiento de Agregado (%)	0.00
Numero de Baches por Km	0.00
Rotura de Borde m ² /km	0.00
Profundidad media de rodadura (mm)	3.49

Tabla 2. 67 Parámetros de comportamiento de pavimentos flexibles

Fuente: creación propia con información del Contrato CO-148/2013. Análisis económico de las alternativas, Pág. 14 a 23.

PAVIMENTOS RIGIDOS

El estado de condición para este tipo de estructura al final del periodo de análisis es el siguiente:

Parámetro	Resultado de análisis después de 15 años
IRI (m/km)	3.2
Fisuras transversales (%)	25
Desconchado de Juntas (%)	2.17
Resalto entre losas (escalonamiento) mm	1.89

Tabla 2. 68 Parámetros de comportamiento de pavimentos rígidos

Fuente: creación propia con información del Contrato CO-148/2013. Análisis económico de las alternativas, Pág. 24 a la 27.

CAPITULO III
METODOLOGIA DE MEDICION

3.1 DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA DE MEDICION

Para efectos de poder hacer comparaciones de tráfico con las mediciones realizadas en la consultoría del diseño con las mediciones del tráfico objeto del presente trabajo de graduación, las mediciones se realizaron en los mismos tramos, siendo estos los siguientes:

- Tramo I: CA8AW S: By Pass Sonsonate (CA08W – Et. CA12S, sin sus derivadores).
- Tramo II: CA12S D: Sonsonate By Pass Sur (final CA08AW) – Dv. Las Tablas (SON18W).
- Tramo III: CA12S D: Dv. Las Tablas (SON18W) – Dv. La Libertad.
- Tramo IV: CA12S E: Dv. La Libertad – Puerto Acajutla.

En cada uno de los tramos se hicieron mediciones en ambos sentidos de circulación.

Las mediciones se hicieron en las fechas indicadas en la Tabla 3. 1 Fechas de mediciones de tráfico por tramos.

MEDICION	TRAMO	LATERAL	INICIO		FIN		COMENTARI
			FECHA	HORA	FECHA	HORA	
1	I	L.D.	23-oct-22	00:00:00	29-oct-22	23:59:59	Sin Zafra
2	I	L.I.	30-oct-22	12:00:00	6-nov-22	11:59:59	Sin Zafra
3	II	L.D.	6-nov-22	15:00:00	13-nov-22	14:59:59	Sin Zafra
4	II	L.I.	14-nov-22	00:00:00	20-nov-22	23:59:59	Sin Zafra
5	II	L.I.	21-nov-22	00:00:00	27-nov-22	23:59:59	Con Zafra
6	I	L.I.	30-nov-22	00:00:00	6-dic-22	23:59:59	Con Zafra
7	III	L.I.	7-ene-23	09:43:00	14-ene-23	09:42:59	Con Zafra
8	III	L.D.	14-ene-23	12:00:00	21-ene-23	11:59:59	Con Zafra
9	IV	L.I.	21-ene-23	14:00:00	28-ene-23	13:59:59	Con Zafra
10	IV	L.D.	29-ene-23	00:00:00	4-feb-23	23:59:59	Con Zafra

*Tabla 3. 1 Fechas de mediciones de tráfico por tramos
Fuente: Creación propia*

3.2 PERSONAL UTILIZADO

Se necesitaron tres personas para poder hacer los trabajos de montaje y desmontaje del sistema de medición de tráfico.

- Un banderillero
- Dos personas para el montaje y desmontaje

3.3 RECURSOS UTILIZADOS

Los recursos que fueron utilizados son:

- Equipamiento para el banderillero: chaleco y banderilla
- 6 conos para señalización

Herramientas varias para montaje / desmontaje del sistema de medición de tráfico:

- Taladros inalámbricos
- Brocas para concreto
- Cinchas abrazaderas para las mangueras
- Tornillos / clavos para sujetar la manguera al pavimento
- Tiza para marcar el pavimento
- Cinta métrica
- Escantillón premarcado para ubicar las perforaciones.
- Martillos
- Arandelas sencillas y Arandelas de presión.

3.4 PROGRAMACIÓN DE TRABAJO

En un inicio las mediciones se programaron para ejecutarlas en ocho semanas consecutivas.

En total las mediciones se extendieron por un total de 105 días calendario. Desde el 23 de octubre de 2022 hasta el 04 de febrero de 2023. Repartidos en dos periodos.

El primero periodo desde el 23 de octubre hasta el 6 de diciembre de 2022.

Se dio una interrupción en las mediciones debido a la temporada navideña, entre el 07 de diciembre de 2022 y el 06 de enero de 2023 no se hicieron mediciones.

Se reiniciaron las mediciones el 07 de enero de 2023, finalizando el 04 de febrero del mismo año.

El orden de mediciones se inició en el By Pass de Sonsonate (Tramo I), haciendo la medición en ambos carriles y así hacerlo sucesivamente hasta finalizar las ocho mediciones. Como se detalla en la Imagen 3. 1 Mediciones de trafico

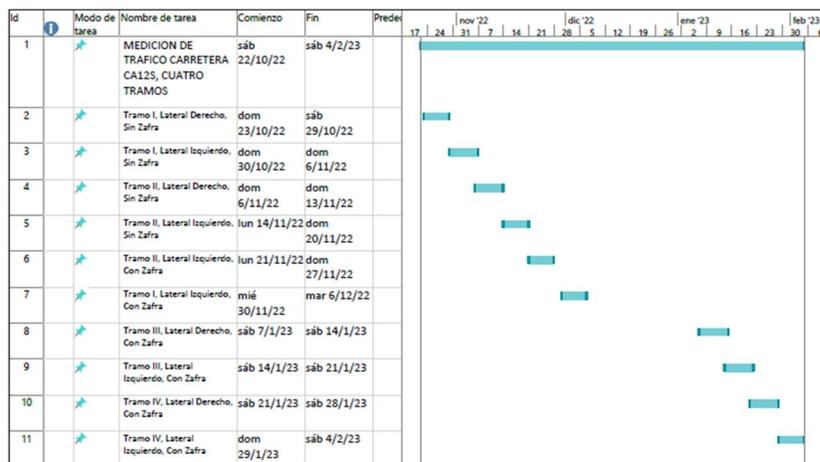


Imagen 3. 1 Mediciones de trafico
Fuente: Creación propia

La programación de las mediciones, se vio alterada por los siguientes factores:

- El primer día de instalación del sistema de medición del tráfico, no programamos adecuadamente el inicio de la medición con el ROADPOD VT4. Inicio las mediciones seis horas después de la hora en que se formateo para tal fin. Por lo anterior, prácticamente tuvimos que mover un día la segunda medición de tráfico.
- Después de finalizar la tercera medición de tráfico, se observó el movimiento de vehículos pesados transportando caña.
- Aunque no es parte de los objetivos de presente trabajo de investigación, nos pareció determinante hacer mediciones en periodo de zafra.
- Por ellos, hicimos dos mediciones adicionales, en los Tramos I y II, ambas en el lateral Izquierdo, que es donde se ve el movimiento más grande de los vehículos que transportan caña.

3.5 EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado para la medición del tráfico es marca METROCOUNT, del Tipo ROADPOD VT4, Modelo MC5904²⁰.

Es un contador y clasificador de vehículos de cuádruple manguera neumática.

El ROADPOD VT4 utiliza dos canales y cuatro mangueras neumáticas para monitorear y registrar vías de carriles múltiples²¹.

METROCOUNT, fabricantes del aparato de Medición del tráfico, a través de su página web, proporcionan soporte técnico a través de videos de la instalación

²⁰ PAGINA WEB DE METROCOUNT
<https://metrocount.com/es/our-counters-es/roadpod-vt4>

²¹PAGINA WEB DE METROCOUNT
<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://metrocount.com/wp-content/uploads/2019/10/MetroCount-RoadPodVT4es-1.pdf>

del aparato y del análisis de los datos²²

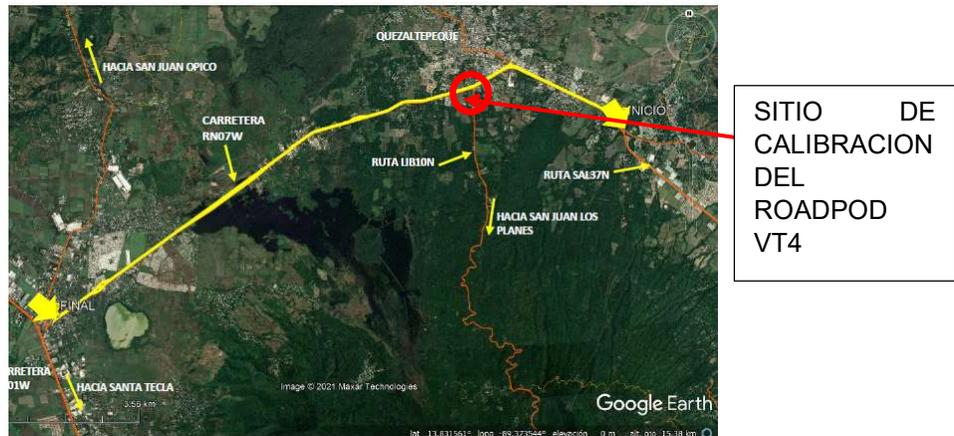
Además, obtuvimos el soporte técnico directo con el personal de METROCOUNT designado para tal fin.

El ROADPOD VT4 permite medir y registrar diversas variables de tránsito, para identificar y establecer las condiciones de movilidad en vías de múltiples carriles.

Entre las variables que registra el equipo ROADPOD VT4 están:

- Volumen de tránsito por carril,
- Clasificación de vehículos por eje,
- Intervalos de tiempo entre vehículos,
- Velocidad, y
- Dirección

3.6 CONTEOS DE TRAFICO



*Imagen 3. 2 Ubicación del lugar de calibración del ROADPOD VT4.
Fuente: Documentos de licitación del tramo²³ y Creación propia*

²² PAGINA WEB DE METROCOUNT
<https://metrocount.com/es/empezar>

²³ LICITACION PUBLICA No. FOVIAL LP 082/2021

3.7 ESTACION DE PRUEBA Y CALIBRACION



Imagen 3. 3 Calibración del ROADPOD VT4, RN047W, tramo RN07W D - Dv Quezaltepeque - Dv San Juan Los Planes (LIB10N).

Fuente: Creación propia

Con el objetivo de hacer una verificación de los registros automáticos del equipo ROADPOD VT4, se hicieron mediciones manuales, tomando nota de la cantidad y tipo de vehículos que pasaban en el carril izquierdo del Tramo II, el domingo 13 de noviembre de 2022. Ver Imagen 3. 3 Calibración del ROADPOD VT4, RN047W, tramo RN07W D - Dv Quezaltepeque - Dv San Juan Los Planes (LIB10N).

"MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA CARRETERA RN07W TRAMOS B, C, D Y E: DV. SAL37N – CA01W" VER. 11/2021, CONDICIONES PARTICULARES DEL PROYECTO, CPP-03.1 UBICACIÓN Y RUTA., página CPP-4.



*Imagen 3. 4 Conteo vehicular de forma manual.
Fuente: Creación propia*

Además, para verificar el tipo de vehículos que registra el equipo ROADPOD VT4, se hizo la verificación mediante conteos manuales, tal y como se muestra en la Imagen 3. 4 Conteo vehicular de forma manual., además de la toma de videos en el Carril Derecho, del Tramo IV. El video se tomó con una cámara del tipo GOPRO. Ver la Imagen 3. 5 Conteo vehicular utilizando una cámara de video.



*Imagen 3. 5 Conteo vehicular utilizando una cámara de video.
Fuente: Creación propia*

3.8 APARATO DE MEDICION ROAD PRO VT4.

A continuación, se describe el medidor de tráfico. En la Imagen 3. 6 Accesorios para la instalación del ROADPOD VT4, se muestran todos los accesorios del aparato de medición



*Imagen 3. 6 Accesorios para la instalación del ROADPOD VT4
Fuente: Creación propia*

Los componentes del equipo Medidor de Trafico ROADPOD VT4, son los siguientes:

- Aparato para registro del trafico
- Cable de conexión entre el Medidor de Trafico y la computadora, para Programar las mediciones y descarga de información a la computadora
- Memoria USB para instalación del programa ROADPOD VT4.
- Protector metálico del Medidor de trafico
- Dos mangueras de 30 mts de longitud cada una, que luego se partieron cada una en dos mitades de 15 mts cada una.

- Lazos metálicos para sostener las mangueras.
- Cinchas sujetadoras para estabilizar las mangueras de medición de tráfico.
- Clavos de acero, para sujetar las cinchas.

3.9 SITIOS DE INSTALACIÓN DEL ROADPOD VT4

En la Tabla 3. 2 Ubicación geodésica de los puntos de medición del tráfico, se puede observar las coordenadas en las que se instaló el Medidor de Tráfico ROADPOD VT4, para cada uno de los tramos, es de hacer notar que las primeras cuatro mediciones se hicieron en periodo sin zafra, y las últimas seis mediciones se hicieron en periodo de zafra:

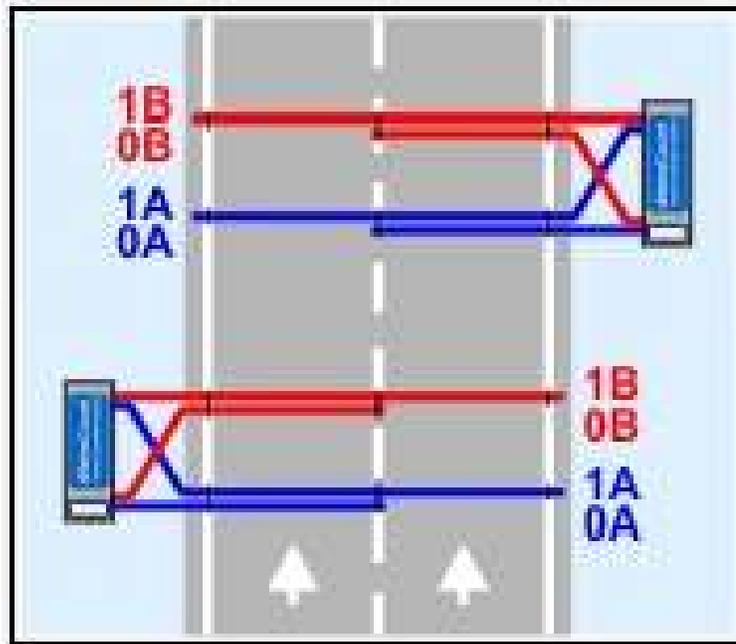
Medición No.	Tramo	Lateral	Latitud	Longitud	Comentarios
1	I	D	13.7262343	-89.7035364	SIN ZAFRA
2	I	I	13.7262343	-89.7035364	SIN ZAFRA
3	II	D	13.6476389	-89.7696111	SIN ZAFRA
4	II	I	13.6476389	-89.7696111	SIN ZAFRA
5	II	I	13.6476389	-89.7696111	CON ZAFRA
6	I	I	13.7262343	-89.7035364	CON ZAFRA
7	III	I	13.6615103	-89.7580426	CON ZAFRA
8	III	D	13.6615103	-89.7580426	CON ZAFRA
9	IV	I	13.6232220	-89.7899560	CON ZAFRA
10	IV	D	13.6232220	-89.7899560	CON ZAFRA

*Tabla 3. 2 Ubicación geodésica de los puntos de medición del tráfico
Fuente: Creación propia*

3.10 INSTALACIÓN DE LAS MANGUERAS Y PROGRAMACIÓN DE LAS MEDICIONES.

El aparato ROADPOD VT4, tiene capacidad para medir tráfico en dos carriles simultáneamente, para lo cual hay un orden establecido para la instalación de las 4 mangueras en la calzada.

De igual manera, hay un orden establecido para conectar cada una de las mangueras en el Medidor de Trafico. Ver Imagen 3. 7 Esquema de instalación de las mangueras para la medición del tráfico.



*Imagen 3. 7 Esquema de instalación de las mangueras para la medición del tráfico.
Fuente: Manual de Instalación del ROADPOD VT4.*

Obsérvese que la ubicación de las mangueras, depende del sentido de circulación del tráfico.

Las mangueras cortas, identificadas como “0A” y “0B”, son las que miden el tráfico de uno de los carriles. Siendo estas las primeras mangueras que registran los datos del tráfico.

Las mangueras largas, identificadas con el prefijo “1A” y “1B” son las que miden el tráfico del carril adyacente. Siendo estas las segundas mangueras que registran los datos del tráfico.

Independientemente de la ubicación del medidor, que puede ser a la derecha o izquierda de el o los carriles de rodaje, las mangueras “0A” y “0B” serán las

primeras que registraran el tráfico, y las mangueras “1A” y “1B, serán las segundas que registraran el tráfico.



*Imagen 3. 8 Aparato medidor de tráfico ROADPOD VT4.
Fuente: Manual de instalación del ROADPOD VT4.*

En la Imagen 3. 8 Aparato medidor de tráfico ROADPOD VT4., se puede ver que en dicho aparato está indicado el lugar de instalación correcta de cada una de las mangueras.

A la izquierda se observa que se instalan las mangueras “0A” y “0B”.

El otro par de mangueras, identificadas como “1A” y “1B” se instalan en el lado derecho.

En la Imagen 3. 9 Instalación de mangueras, Tramo III, Lateral Derecho, 07.01.23, se puede observar la instalación de las mangueras que miden el tráfico en el carril externo (mangueras cortas), identificadas como “0A” y “0B”, y de las mangueras que miden el tráfico en el carril interno (mangueras largas) identificadas como “1A” y “1B”.



*Imagen 3. 9 Instalación de mangueras, Tramo III, Lateral Derecho, 07.01.23
Fuente: Creación propia*

3.11 CONFIGURACIÓN DEL MEDIDOR DE TRAFICO

Posteriormente a la instalación de las mangueras en la calzada y su respectiva conexión al aparato medidor de tráfico, se procede a la configuración del mismo para posteriormente proceder a iniciar la medición.

Los datos básicos a configurar son los siguientes:

Site: CA08LDT1 (esto indica que es la Carretera CA08, Lateral Derecho, Tramo I)

Attribute: 13.6262343, -897035364 (coordenadas geodésicas del punto de medición del tráfico)

Operator: AP (Alex Pineda)

Start Time: Inmediately (Indica que la medición se hará inmediatamente después del Set Up)

Site descripción: CA08 LATERAL DERECHO, TRAMO I (90).

Sensor Layout: Short / Long (esto indica la disposición de los sensores, que se ubican primero el sensor corto y luego el sensor largo)

Direction: 0 A> B, 4.- Sentido hacia el Oeste, Lane 1
1 B> A, 4.- Sentido hacia el Oeste, Lane 2

En ambos casos se describe la dirección aproximada del sentido del flujo

vehicular.

Spacing: 1000 mm (Este es el espaciamiento entre las mangueras "0A" y "0B". y las mangueras "1A" y "1B")

Es importante mencionar que la separación entre las mangueras "0A" y "1A" y entre las mangueras "0B" y "1B", es de 100 mm.

En la Imagen 3. 10 Captura de pantalla. Datos básicos para programar el Medidor de Trafico., se puede observar una captura de pantalla conteniendo la información básica a introducir.

Direction	Lane
0 A>B 4 - Sentido Hacia el Oeste.	1
0 - Sin Uso o Desconocido.	0
1 A>B 4 - Sentido Hacia el Oeste.	2
0 - Sin Uso o Desconocido.	0

Imagen 3. 10 Captura de pantalla. Datos básicos para programar el Medidor de Trafico.
Fuente: Software de registro de datos d2 ROADPOD VT4.

En la Imagen 3. 11 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo I, Lateral Derecho e Imagen 3. 12 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo I, Lateral Izquierdo., puede observarse la instalación de las mangueras en el Tramo I.



*Imagen 3. 11 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo I, Lateral Derecho
Fuente: Creación propia*



*Imagen 3. 12 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo I, Lateral Izquierdo.
Fuente: Creación propia*

En la Imagen 3. 13 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo II, Lateral Derecho.
e Imagen 3. 14 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo II, Lateral Izquierdo,
puede observarse la instalación de las mangueras en el Tramo II.



*Imagen 3. 13 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo II, Lateral Derecho.
Fuente: Creación propia*



*Imagen 3. 14 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo II, Lateral Izquierdo
Fuente: Creación propia*

En la Imagen 3. 15 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo III, Lateral Derecho e Imagen 3. 16 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo III, Lateral Izquierdo, puede observarse la instalación de las mangueras en el Tramo III.



*Imagen 3. 15 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo III, Lateral Derecho
Fuente: Creación propia*



*Imagen 3. 16 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo III, Lateral Izquierdo
Fuente: Creación propia*

En la Imagen 3. 17 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo IV, Lateral Izquierdo e Imagen 3. 18 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo IV, Lateral Derecho, puede observarse la instalación de las mangueras en el Tramo IV.



*Imagen 3. 17 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo IV, Lateral Izquierdo
Fuente: Creación propia*



*Imagen 3. 18 Instalación del ROADPOD VT4. Tramo IV, Lateral Derecho
Fuente: Creación propia*

Antes de retirarse es importante verificar que:

- Las mangueras estén correctamente conectadas al ROADPOD VT4.
- Que la programación de la hora de inicio de la medición de tráfico, este correctamente ingresada.
- Que el ROADPOD VT4 este registrando los datos del tráfico, esto se hace verificando en las luces indicadoras que se encienden al paso de cualquier vehículo.
- En la computadora, se esté registrando el paso de cada vehículo.

3.12 DESCARGA DE DATOS A LA COMPUTADORA

Previo al desmontaje del dispositivo, se hace una descarga de los datos a la computadora.

Durante al descarga de datos en la computadora, se ira graficando en forma creciente los datos desde el inicio de la toma de los datos, hasta finalizar, separándolos por fecha.

3.13 MEDICIÓN DE PESOS

Se hicieron gestiones para poder tener acceso a información producto del pesaje de vehículos de transporte de carga, obtenida en basculas móviles o en basculas fijas.

Con fecha 12 de julio de 2022, se envió correspondencia al Vice Ministro de Transporte²⁴.

Además, con fecha 17 de abril de 2023, se envió nota al Director General de Transporte de Carga²⁵

Ambas cartas tuvieron respuesta positiva y es así como tuvimos acceso a datos de una báscula móvil y a datos de basculas fijas, ambas proporcionadas por el Viceministerio de Transporte (VMT).

Adelante se hace una breve reseña de los pesajes en bascula móvil y en bascula fija.

Ambas basculas proporcionan información importante.

Pero es la báscula fija la que aporta más información debido al periodo de tiempo en que se hacen los pesajes y la cantidad de vehículos que fueron pesados.

²⁴ Ver ANEXO C. CARTA ENVIADA AL VICE MINISTERIO DE TRANSPORTE (VMT) SOLICITANDO INFORMACION DE LA SERIE HISTORICA DEL PESAJE VEHICULAR DESDE EL AÑO 2011 HASTA EL AÑO 2021 DE LAS RUTAS “CA08W: BY PASS SONSONATE Y CA12S: SONSONATE BY PASS SUR (FINAL CA08AW) – PUERTO DE ACAJUTLA”.

²⁵ Ver ANEXO F. CARTA ENVIADA A LA DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE DE CARGA (DGTC), SOLICITANDO INFORMACION DE PESAJE DE LAS ESTACIONES FIJAS DE PESAJE DE ACAJUTLA Y ZACATECOLUCA.

3.13.1 MEDICION DE PESOS EN BASCULAS MOVILES

Después de haber presentado la nota de correspondencia citada, personal del Vice Ministerio de Transporte (VMT), establecieron comunicación telefónica con los maestranes interesados.

Fuimos invitados a presenciar una medición de pesos en el Tramo III, Lateral Izquierdo.

La medición se realizó el día jueves 29 de septiembre de 2022.

Para la medición de pesos, los vehículos fueron seleccionados por el personal designado para tales efectos. Ver Imagen 3. 19 Obsérvese las dos bandas en el piso y la unidad de pesaje en el dentro de cada banda. La selección de unidades es al azar.

El equipo de medición que utiliza el VMT son dos bandas paralelas ubicadas en el sentido de circulación del tráfico, para guiar cada una de las roderas de los vehículos. A mitad del largo de las bandas, están las unidades de pesaje.



Imagen 3. 19 Obsérvese las dos bandas en el piso y la unidad de pesaje en el dentro de cada banda. La selección de unidades es al azar.

Fuente: Creación propia



*Imagen 3. 20 Unidad de Pesaje. Marca Havenni.
Fuente: Creación propia*

Se procedía a pesar cada eje del vehículo seleccionado.

Las bandas cuentan con sensores, los cuales en forma remota transmiten los datos a una unidad receptora, que muestra los pesos de cada eje. Ver Imagen 3. 20 Unidad de Pesaje. Marca Havenni. Imagen 3. 21 Pesaje de unidad en el punto de control de pesos. e Imagen 3. 22 A la derecha se observa la unidad receptora del peso de los ejes.



*Imagen 3. 21 Pesaje de unidad en el punto de control de pesos.
Fuente: Creación propia*



*Imagen 3. 22 A la derecha se observa la unidad receptora del peso de los ejes.
Fuente: Creación propia*

Posteriormente a la medición de pesos, nos proporcionaron información referente a registros históricos realizados en el mismo tramo de carretera.

Durante la toma de datos en la computadora, se va graficando en forma creciente los datos desde el inicio de la toma de los datos, hasta finalizar, separándolos por fecha.

Previo al desmontaje del dispositivo, se hace una descarga de los datos a la computadora.

3.13.2 MEDICION DE PESOS EN BASCULAS FIJAS

Para la generación de los espectros de carga vehicular se solicitó información a la Dirección General de Transporte de Carga de la estación de pesaje de Acajutla.

El día 20 de abril de 2023, en las instalaciones del Viceministerio de Transporte, ubicado en la carretera Santa Tecla hacia San Salvador, sostuvimos una reunión con el Lic. Carlos Rodolfo Valdez Aguilar, Director General de Transporte de Carga, en la cual se le solicito datos de pesajes de carga de la Estación fija de Acajutla, esto mediante nota de correspondencia²⁶.

Mediante comunicación electrónica, posteriormente a la fecha de la reunión nos fue enviada información de pesaje de las Estaciones de Acajutla y Zacatecoluca²⁷

La bascula de pesaje fija de Acajutla está en el Tramo IV, objeto de nuestro análisis.

Por lo tanto, esa es la información que nos fue de utilidad para la generación de los espectros de carga.

La información proporcionada por la DGTC es desde el 03 de enero de 2013 y

²⁶ Ver ANEXO F. CARTA ENVIADA A LA DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE DE CARGA (DGTC), SOLICITANDO INFORMACION DE PESAJE DE LAS ESTACIONES FIJAS DE PESAJE DE ACAJUTLA Y ZACATECOLUCA.

²⁷ Ver ANEXO G. CORREO ELECTRONICO ENVIADO A LOS MAESTRANTES POR PARTE DE LA DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE DE CARGA (DGTC), REMITIENDO INFORMACION DE LAS ESTACIONES DE FIJAS DE PESAJE DE ACAJUTLA Y ZACATECOLUCA.

el 22 de febrero de 2021

En el Capítulo IV, se profundizará sobre la información proporcionada por la DGT, el procesamiento de datos y resultados obtenidos.

CAPITULO IV
GENERACION DE ESPECTROS DE
CARGA. BASCULA FIJA DE
ACAJUTLA

4.1 GENERACION DE ESPECTROS DE CARGA PARA DATOS DE LA BASCULA FIJA DE ACAJUTLA.

En el presente capitulo, se hace un análisis de los pesos registrados en la báscula fija de Acajutla.

A partir de la información proporcionada por la DGTC, se hace un análisis de los pesos de los ejes sencillo direccional, sencillo dual, tándem y trídem.

Se analizaron de manera independiente cada uno de los ejes analizados y se generaron las gráficas de los espectros de carga para cada uno de los ejes.

4.1.1 ESTACION DE BASCULA FIJA DE PESAJE DEL VMT EN ACAJUTLA

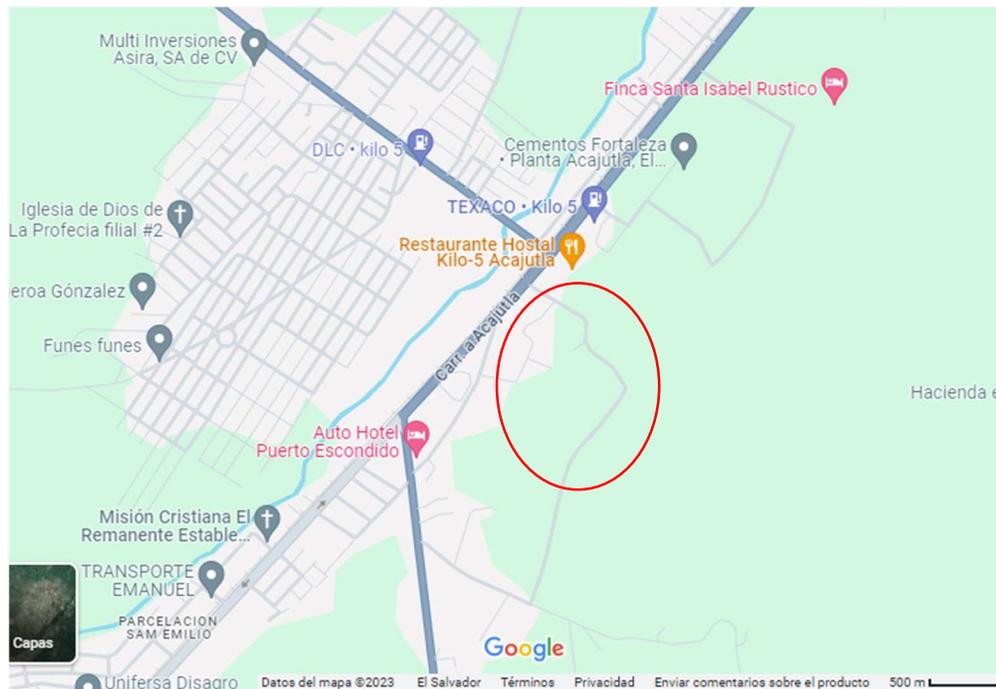


Imagen 4. 1 Ubicación de la Báscula fija de Acajutla

Fuente: internet²⁸

La báscula fija de pesaje de la Dirección General de Transporte de Carga - Vice Ministerio de Transporte (DGTC – VMT), se encuentra ubicada en el Km 83 de

²⁸IMAGEN DESCARGADA DE GOOGLE MAPS

<https://www.google.com/maps/place/Club+Kilo+5+Restaurante+Sonsonate/@13.6072279,-89.813051,15z/data=!4m6!3m5!1s0x8f62b73a3628b3d9:0x9f74c1884f9427e2!8m2!3d13.7064167!4d-89.7300597!16s%2Fg%2F11t30xb07j?entry=ttu>

la carretera CA12S.

Para el pesaje de los vehículos, el personal del VMT, selecciona las unidades que serán pesadas en la báscula. Ver la Imagen 4. 1 Ubicación de la Báscula fija de Acajutla.

4.1.2 DATOS DEL PESAJE

Para la generación de los espectros de carga vehicular se solicitó información a la Dirección General de Transporte de Carga²⁹ de la báscula fija de Acajutla.

La báscula fija de Acajutla está ubicada en el tramo identificado como “Tramo IV” en el presente documento y que es objeto de nuestro análisis

Por lo tanto, esa es la información que nos fue de utilidad para la generación de los espectros de carga.

La información proporcionada por la Dirección General de Transporte de Carga del Vice Ministerio de Transporte³⁰, comprende un periodo de medición de pesos de 8 años, 1 mes y 20 días (desde el 03 de enero de 2013 y el 22 de febrero de 2021).

En la Tabla 4. 1 Tipos de ejes por cada vehículo objeto del pesaje, se indican los tipos de ejes que tiene cada uno de los vehículos objeto de la presente investigación.

²⁹ El día 20 de abril de 2023, en las instalaciones del Viceministerio de Vivienda, ubicado en la carretera Santa Tecla hacia San Salvador, sostuvimos una reunión con el Lic. Carlos Rodolfo Valdez Aguilar, Director General de Transporte de Carga, en la cual se le solicitó datos de pesajes de carga de la Estación fija de Acajutla, además se le entregó nota de correspondencia. Ver ANEXO F. CARTA ENVIADA A LA DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE DE CARGA (DGTC), SOLICITANDO INFORMACION DE PESAJE DE LAS ESTACIONES FIJAS DE PESAJE DE ACAJUTLA Y ZACATECOLUCA.

³⁰ Información proporcionada mediante correo electrónico con fecha 13 de julio de 2023, en el cual anexaron el archivo en EXCEL conteniendo los datos de pesajes en la estación fija de Acajutla. Ver ANEXO G. CORREO ELECTRONICO ENVIADO A LOS MAESTRANTES POR PARTE DE LA DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE DE CARGA (DGTC), REMITIENDO INFORMACION DE LAS ESTACIONES DE FIJAS DE PESAJE DE ACAJUTLA Y ZACATECOLUCA.

TIPO DE VEHÍCULO	EJE SENCILLO DIRECCIONAL	EJE SENCILLO DUAL	EJE TÁNDEM	EJE TRÍDEM
C-2	X	X		
C-2A	X	X		
C-3	X		X	
C-4	X			X
T3-S1	X	X	X	
T3-S2	X		XX	
T3-S3	X		X	X

*Tabla 4. 1 Tipos de ejes por cada vehículo objeto del pesaje
Fuente: Creación propia*

4.1.3 PROCESAMIENTO DE DATOS.

En este estudio y análisis se utilizó una hoja de cálculo de EXCEL como herramienta, para el ordenamiento, la tabulación de datos y la elaboración de los gráficos.

Los datos básicos de partida contenidos en el archivo de EXCEL proporcionados por la DGTC – VMT para el análisis efectuado, ver Imagen 4. 2 Datos básicos proporcionados por la DGTC – VMT, son los siguientes:

Fecha de pesaje

Lugar de Pesaje

Tipo de Vehículo

Pesaje de eje 1 (Sencillo direccional)

Pesaje de ejes 2 y 3 (Sencillo dual y Tándem)

Ejes 4, 5 y 6 (Eje Trídem)

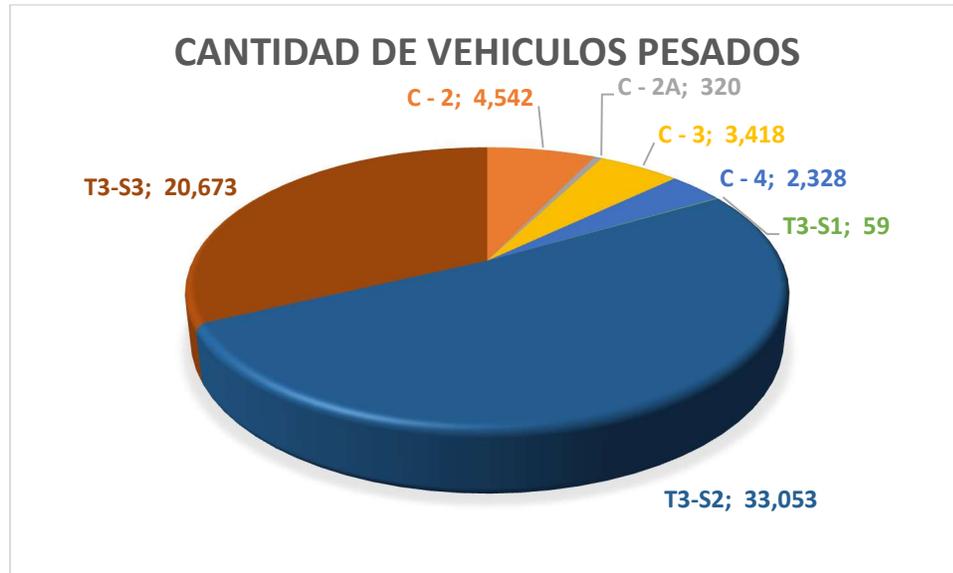
*Imagen 4. 2 Datos básicos proporcionados por la DGTC – VMT
Fuente: Información proporcionada por la DGTC – VMT*

4.1.4 CANTIDAD DE VEHICULOS PESADOS EN LA BASCULA FIJA DE ACAJUTLA

En total se pesaron 64,393 vehículos, lo que incluye vehículos tipo C-2, C-2A, C-3, C-4, T3-S1, T3-S2 Y T3-S3. Ver Imagen 4. 2 Datos básicos proporcionados por la DGTC – VMT.

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD DE VEHICULOS PESADOS	PORCENTAJE
C - 2	4,542	7.05%
C - 2A	320	0.50%
C - 3	3,418	5.31%
C - 4	2,328	3.62%
T3-S1	59	0.09%
T3-S2	33,053	51.33%
T3-S3	20,673	32.10%
TOTAL	64,393	100.00%

*Tabla 4. 2 Cantidad de vehículos pesados por tipo
Fuente: Creación propia*



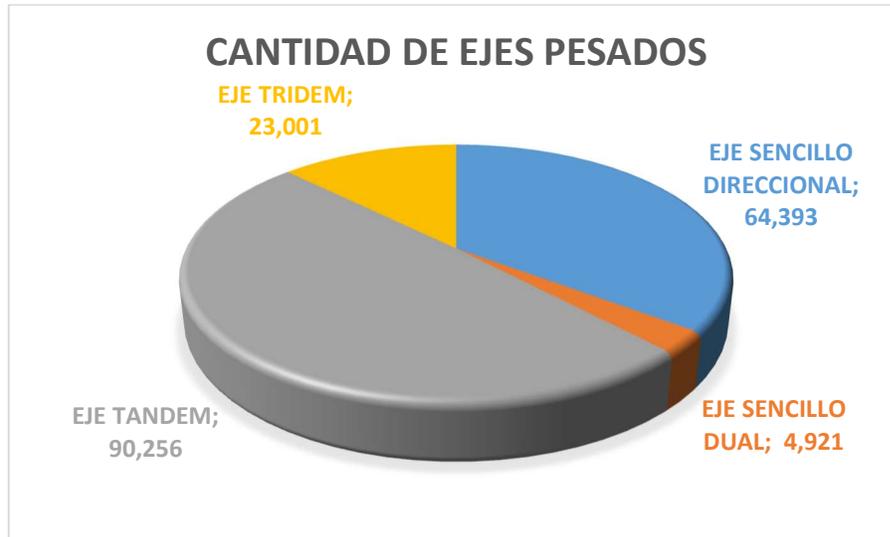
*Grafica 4. 1 Cantidad de vehículos pesados por tipo
Fuente: Creación propia*

En la Tabla 4. 2 Cantidad de vehículos pesados por tipo y en la Grafica 4. 1 Cantidad de vehículos pesados por tipo, puede apreciarse la cantidad de vehículos pesados por cada una de las clasificaciones de los vehículos de carga acuerdo de al número de ejes que tienen.

4.1.5 CANTIDAD DE EJES PESADOS

TIPO DE EJE	CANTIDAD DE EJES PESADOS	PORCENTAJE
EJE SENCILLO DIRECCIONAL	64,393	35.27%
EJE SENCILLO DUAL	4,921	2.70%
EJE TANDEM	90,256	49.44%
EJE TRIDEM	23,001	12.60%
TOTAL	182,571	

*Tabla 4. 3 Cantidad de ejes pesados
Fuente: Creación propia*



*Grafica 4. 2 Cantidad de ejes pesados
Fuente: Creación propia*

En la Tabla 4. 3 Cantidad de ejes pesados y en la Grafica 4. 2 Cantidad de ejes pesados se aprecia que el total de vehículos pesados es el mismo número que los ejes sencillos direccionales, y corresponde a los tipos de vehículos C-2, C-2A, C-3, C-4, T3-S1, T3-S2 Y T3-S3, y que es de 64,393 ejes y corresponde al 35.27% del total de ejes pesados.

El total de ejes sencillos duales pesados, que corresponden a los vehículos tipo C-2, C-2A y T3-S1 es de 4,921, que corresponde al 2.70% de los pesajes totales.

El total de ejes tándem pesados es de 90,256 y corresponde a los tipos de vehículos C-3, T3-S1, T3-S2 (doble eje tándem) y T3-S3, y corresponde al 49.44% de los pesajes totales.

El total de ejes trídem pesados es de 23,001 y corresponde a los tipos de vehículos C-4 y T3-S3, y corresponde al 12.60 % de los pesajes totales.

La información proporcionada por la DGTC – VMT, se clasifico de acuerdo al tipo de eje a analizar, y, además, se ordenó en rangos de 1000 kg, para facilitar el procesamiento, evaluación, graficar e interpretación de las mediciones.

4.2 ESPECTROS DE CARGA VEHICULAR DE EJE SENCILLO DIRECCIONAL.

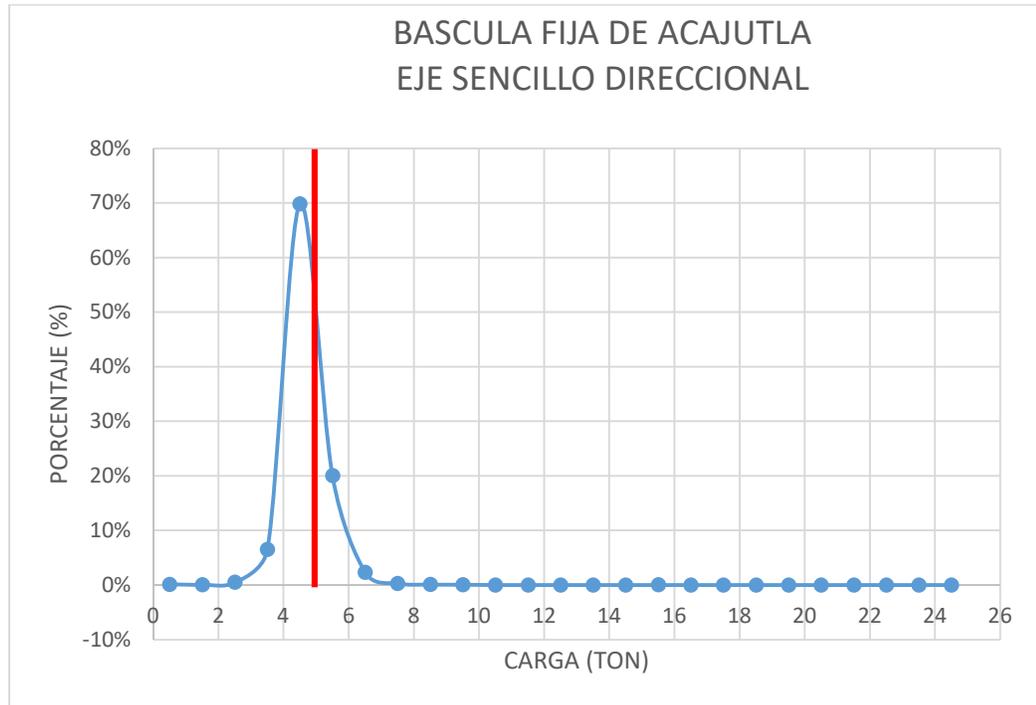
A partir de la información proporcionada por la DGTC – VMT, se procedió a clasificar los ejes sencillos direccionales.

Los resultados de la clasificación y ordenamiento de datos se presentan en la Tabla 4. 4 Espectro de carga del EJE SENCILLO DIRECCIONAL.

EJE SENCILLO DIRECCIONAL							
CORR	LIMITE INFERIOR (KG)	LIMITE SUPERIOR (KG)	VALOR MEDIO (TON)	CANTIDAD DE VEHICULOS	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO ASCENDENTE	PORCENTAJE ACUMULADO DESCENDENTE
1	0	1,000	0.50	86	0.1336%	0.1336%	99.866%
2	1,000	2,000	1.5	45	0.0699%	0.2034%	99.797%
3	2,000	3,000	2.5	323	0.5016%	0.7050%	99.295%
4	3,000	4,000	3.5	4,200	6.5224%	7.2275%	92.773%
5	4,000	5,000	4.5	44,980	69.8523%	77.0798%	22.920%
6	5,000	6,000	5.5	12,911	20.0503%	97.1301%	2.870%
7	6,000	7,000	6.5	1,511	2.3465%	99.4767%	0.523%
8	7,000	8,000	7.5	196	0.3044%	99.7810%	0.219%
9	8,000	9,000	8.5	64	0.0994%	99.8804%	0.120%
10	9,000	10,000	9.5	45	0.0699%	99.9503%	0.050%
11	10,000	11,000	10.5	8	0.0124%	99.9627%	0.037%
12	11,000	12,000	11.5	3	0.0047%	99.9674%	0.033%
13	12,000	13,000	12.5	3	0.0047%	99.9720%	0.028%
14	13,000	14,000	13.5	0	0.0000%	99.9720%	0.028%
15	14,000	15,000	14.5	1	0.0016%	99.9736%	0.026%
16	15,000	16,000	15.5	13	0.0202%	99.9938%	0.006%
17	16,000	17,000	16.5	3	0.0047%	99.9984%	0.002%
18	17,000	18,000	17.5	1	0.0016%	100.0000%	0.000%

TOTAL	64,393
--------------	---------------

*Tabla 4. 4 Espectro de carga del EJE SENCILLO DIRECCIONAL
Fuente: Creación propia*



Gráfica 4.3 Espectro de carga del EJE SENCILLO DIRECCIONAL
Fuente: Creación propia

Análisis de la información de la Tabla 4. 4 Espectro de carga del EJE SENCILLO DIRECCIONAL y de la Gráfica 4. 3 Espectro de carga del EJE SENCILLO DIRECCIONAL

El peso máximo para el Eje Sencillo Direccional es de 5.00 Tons (5,000 kg)

La muestra de ejes sencillos direccionales es de 64,393.

La línea vertical color rojo, representa el peso máximo permisible, que son 5.00 toneladas para el Eje Sencillo Direccional.

La carga se concentra entre las 4.0 toneladas y las 6.0 toneladas, teniendo un total de ejes pesados en ese rango de 57,891, lo que representa el 89.90% de los ejes pesados.

El valor máximo de la gráfica, representa la parte donde se encuentra focalizada la carga que es el 69.85%. Es el intervalo de carga donde circulan la mayoría de ejes sencillos direccionales de los vehículos de carga.

El porcentaje de ejes sencillos direccionales que cumplen con el límite de carga permitido es de 77.08%, que equivalen a 49,634 de ejes.

El porcentaje de ejes sencillos direccionales que no cumplen con el límite de carga permitido es de 22.92%, que equivalen a 14,759 ejes.

El total de sobrepeso para el eje sencillo direccional es de 7,534.13 Tons.

Haciendo un sobrepeso promedio de 510 Kg.

4.3 ESPECTROS DE CARGA VEHICULAR DE EJE SENCILLO DUAL.

A partir de la información proporcionada por la DGTC – VMT, se procedió a clasificar los ejes sencillos duales.

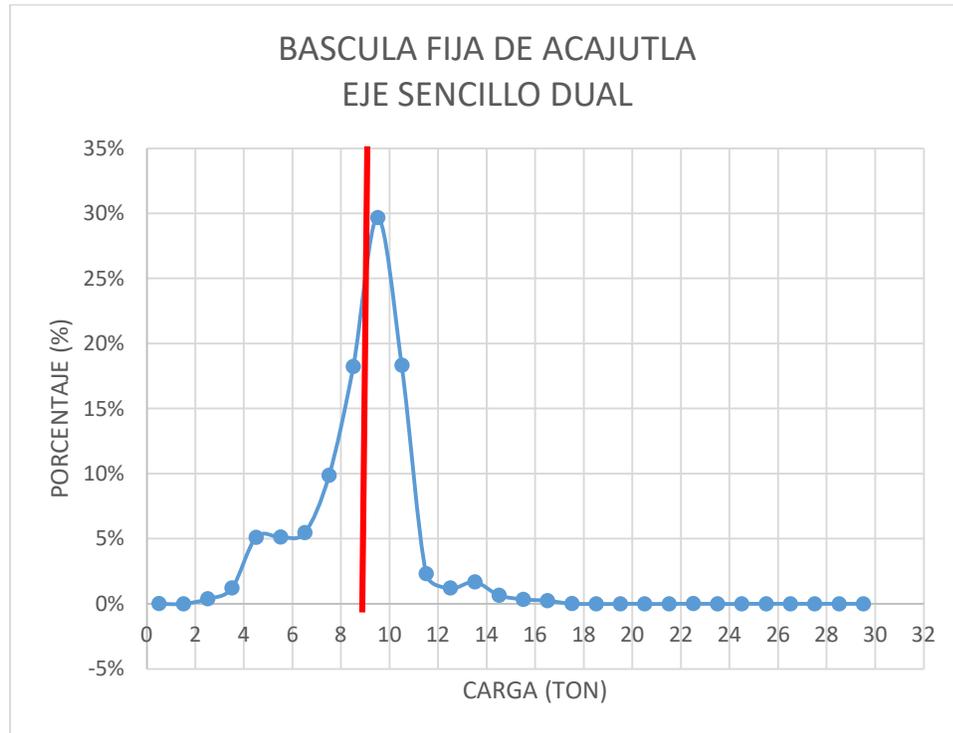
Los resultados de la clasificación y ordenamiento de datos se presenta en la Tabla 4. 5 Espectro de carga del EJE SENCILLO DUAL.

EJE SENCILLO DUAL							
CORR	LIMITE INFERIOR (KG)	LIMITE SUPERIOR (KG)	VALOR MEDIO (TON)	CANTIDAD DE VEHICULOS	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO ASCENDENTE	PORCENTAJE ACUMULADO DESCENDENTE
1	0	1,000	0.50	1.00	0.0203%	0.0203%	99.9797%
2	1,000	2,000	1.50	0.00	0.0000%	0.0203%	99.9797%
3	2,000	3,000	2.50	19.00	0.3861%	0.4064%	99.5936%
4	3,000	4,000	3.50	60.00	1.2193%	1.6257%	98.3743%
5	4,000	5,000	4.50	252.00	5.1209%	6.7466%	93.2534%
6	5,000	6,000	5.50	253.00	5.1412%	11.8878%	88.1122%
7	6,000	7,000	6.50	269.00	5.4664%	17.3542%	82.6458%
8	7,000	8,000	7.50	486.00	9.8760%	27.2302%	72.7698%
9	8,000	9,000	8.50	897.00	18.2280%	45.4582%	54.5418%
10	9,000	10,000	9.50	1,461.00	29.6891%	75.1473%	24.8527%
11	10,000	11,000	10.50	902.00	18.3296%	93.4769%	6.5231%
12	11,000	12,000	11.50	114.00	2.3166%	95.7935%	4.2065%
13	12,000	13,000	12.50	60.00	1.2193%	97.0128%	2.9872%
14	13,000	14,000	13.50	83.00	1.6866%	98.6995%	1.3005%
15	14,000	15,000	14.50	33.00	0.6706%	99.3700%	0.6300%
16	15,000	16,000	15.50	17.00	0.3455%	99.7155%	0.2845%
17	16,000	17,000	16.50	12.00	0.2439%	99.9594%	0.0406%
18	17,000	18,000	17.50	1.00	0.0203%	99.9797%	0.0203%
19	18,000	19,000	18.50	0.00	0.0000%	99.9797%	0.0203%
20	19,000	20,000	19.50	0.00	0.0000%	99.9797%	0.0203%
21	20,000	21,000	20.50	0.00	0.0000%	99.9797%	0.0203%
22	21,000	22,000	21.50	0.00	0.0000%	99.9797%	0.0203%
23	22,000	23,000	22.50	1.00	0.0203%	100.0000%	0.0000%

TOTAL	4,921
--------------	--------------

Tabla 4. 5 Espectro de carga del EJE SENCILLO DUAL

Fuente: Creación propia



Gráfica 4. 4 Espectro de carga del EJE SENCILLO DUAL
Fuente: Creación propia

Análisis de la información de la Tabla 4. 5 Espectro de carga del EJE SENCILLO DUAL y de la Gráfica 4. 4 Espectro de carga del EJE SENCILLO DUAL

El peso máximo para el eje sencillo dual es de 9.00 Tons (9,000 kg)

La muestra de ejes sencillos duales es de 4,921.

La línea vertical color rojo, representa el peso máximo permisible, que son 9.00 toneladas para el eje sencillo dual.

La carga se concentra entre las 7.0 toneladas y las 11.0 toneladas, teniendo un total de ejes pesados en ese rango de 3,746, lo que representa el 76.12% de los ejes pesados.

El valor máximo de la gráfica, representa la parte donde se encuentra focalizada la carga que es el 29.69%. Es el intervalo de carga donde circulan la mayoría de ejes sencillos duales de los vehículos de carga.

El porcentaje de ejes sencillos duales que cumplen con el límite de carga permitido es de 45.46%, que equivalen a 2,237 ejes.

El porcentaje de ejes sencillos duales que no cumplen con el límite de carga permitido es de 54.54%, que equivalen a 2,684 ejes.

El total de sobrepeso para el eje sencillo dual es de 3,323.79 Tons.

Haciendo un sobrepeso promedio de 1,238 Kg.

4.4 ESPECTROS DE CARGA VEHICULAR DE EJE TANDEM

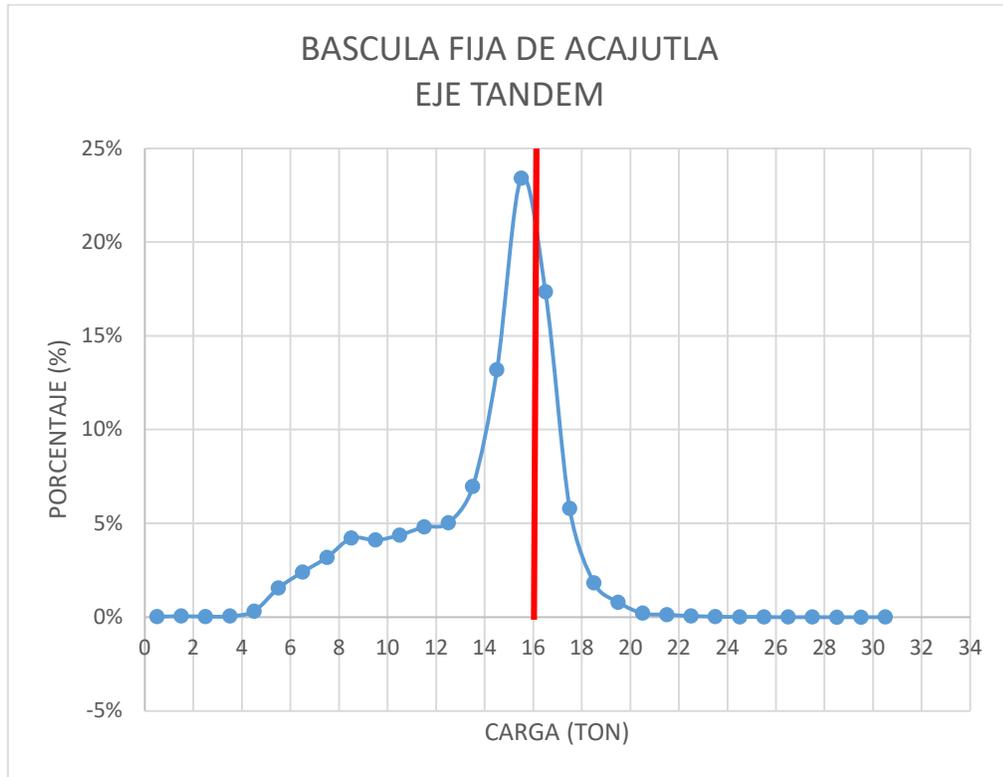
A partir de la información proporcionada por la DGTC – VMT, se procedió a clasificar los ejes tándem.

Los resultados de la clasificación y ordenamiento de datos se presentan en la Tabla 4. 6 Espectro de carga del EJE TANDEM.

EJE TANDEM							
CORR	LIMITE INFERIOR (KG)	LIMITE SUPERIOR (KG)	VALOR MEDIO (TON)	CANTIDAD DE VEHICULOS	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO ASCENDENTE	PORCENTAJE ACUMULADO DESCENDENTE
1	0	1,000	0.50	18	0.0199%	0.0199%	99.9801%
2	1,000	2,000	1.50	51	0.0565%	0.0764%	99.9236%
3	2,000	3,000	2.50	29	0.0321%	0.1086%	99.8914%
4	3,000	4,000	3.50	49	0.0543%	0.1629%	99.8371%
5	4,000	5,000	4.50	287	0.3180%	0.4809%	99.5191%
6	5,000	6,000	5.50	1,406	1.5578%	2.0386%	97.9614%
7	6,000	7,000	6.50	2,175	2.4098%	4.4485%	95.5515%
8	7,000	8,000	7.50	2,879	3.1898%	7.6383%	92.3617%
9	8,000	9,000	8.50	3,805	4.2158%	11.8541%	88.1459%
10	9,000	10,000	9.50	3,714	4.1150%	15.9690%	84.0310%
11	10,000	11,000	10.50	3,951	4.3775%	20.3466%	79.6534%
12	11,000	12,000	11.50	4,341	4.8097%	25.1562%	74.8438%
13	12,000	13,000	12.50	4,536	5.0257%	30.1819%	69.8181%
14	13,000	14,000	13.50	6,285	6.9635%	37.1455%	62.8545%
15	14,000	15,000	14.50	11,914	13.2002%	50.3457%	49.6543%
16	15,000	16,000	15.50	21,139	23.4212%	73.7668%	26.2332%
17	16,000	17,000	16.50	15,660	17.3506%	91.1175%	8.8825%
18	17,000	18,000	17.50	5,238	5.8035%	96.9210%	3.0790%
19	18,000	19,000	18.50	1,646	1.8237%	98.7447%	1.2553%
20	19,000	20,000	19.50	718	0.7955%	99.5402%	0.4598%
21	20,000	21,000	20.50	185	0.2050%	99.7452%	0.2548%
22	21,000	22,000	21.50	115	0.1274%	99.8726%	0.1274%
23	22,000	23,000	22.50	60	0.0665%	99.9391%	0.0609%
24	23,000	24,000	23.50	27	0.0299%	99.9690%	0.0310%
25	24,000	25,000	24.50	13	0.0144%	99.9834%	0.0166%
26	25,000	26,000	25.50	8	0.0089%	99.9922%	0.0078%
27	26,000	27,000	26.50	4	0.0044%	99.9967%	0.0033%
28	27,000	28,000	27.50	2	0.0022%	99.9989%	0.0011%
29	28,000	29,000	28.50	0	0.0000%	99.9989%	0.0011%
30	29,000	30,000	29.50	0	0.0000%	99.9989%	0.0011%
31	30,000	31,000	30.50	1	0.0011%	100.0000%	0.0000%

TOTAL	90,256
--------------	---------------

Tabla 4. 6 Espectro de carga del EJE TANDEM
Fuente: Creación propia



*Gráfica 4. 5 Espectro de carga del EJE TANDEM
Fuente: Creación propia*

Análisis de la información de la Tabla 4. 6 Espectro de carga del EJE TANDEM y de la Gráfica 4. 5 Espectro de carga del EJE TANDEM.

El peso máximo para el eje tándem es de 16.00 Tons (16,000 kg)

La muestra de ejes tándem es de 90,256.

La línea vertical color rojo, representa el peso máximo permisible, que son 16.00 toneladas para el eje tándem.

La carga se concentra entre las 14.0 toneladas y las 17.0 toneladas, teniendo un total de ejes pesados en ese rango de 48,713, lo que representa el 53.97% de los ejes pesados.

El valor máximo de la gráfica, representa la parte donde se encuentra focalizada la carga que es el 23.42%. Es el intervalo de carga donde circulan la mayoría de ejes tándem de los vehículos de carga.

El porcentaje de ejes tándem que cumplen con el límite de carga permitido es de 73.77%, que equivalen a 66,579 de ejes.

El porcentaje de ejes tándem que no cumplen con el límite de carga permitido es de 26.23%, que equivalen a 23,677 ejes.

El total de sobrepeso para el eje tándem es de 23,197.42 Tons.

Haciendo un sobrepeso promedio de 980 Kg.

4.5 ESPECTROS DE CARGA VEHICULAR DE EJE TRIDEM

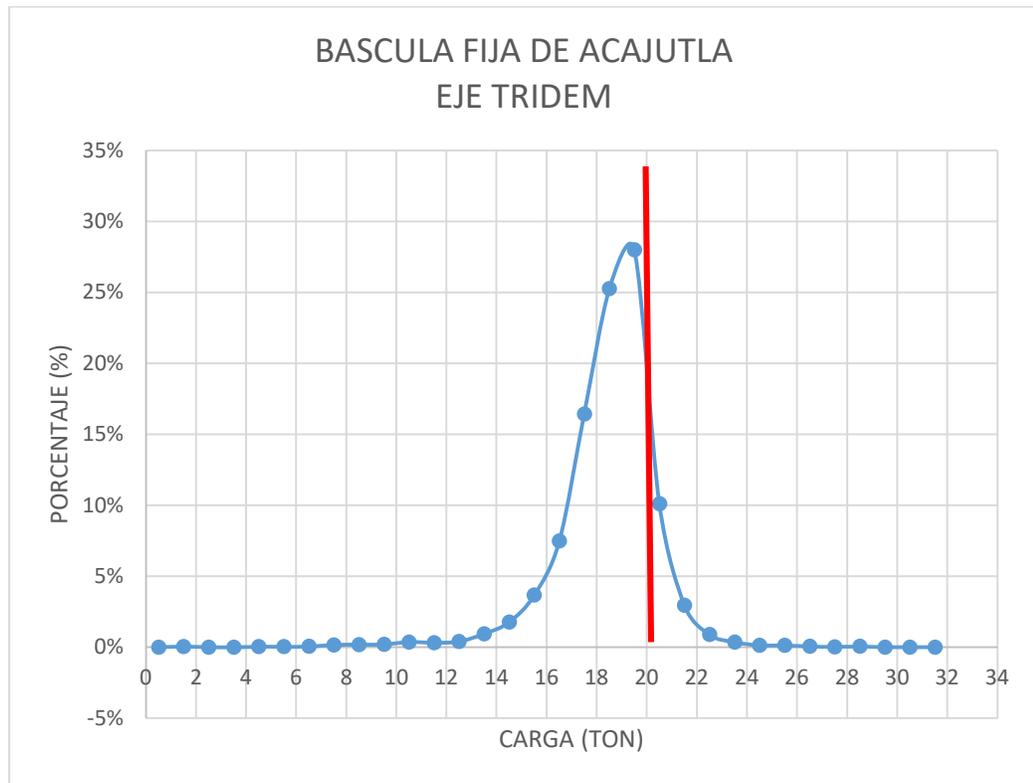
A partir de la información proporcionada por la DGTC – VMT, se procedió a clasificar los ejes trídem.

Los resultados de la clasificación y ordenamiento de datos se presentan en la Tabla 4. 7 Espectro de carga de EJE TRIDEM.

EJE TRIDEM							
CORR	LIMITE INFERIOR (KG)	LIMITE SUPERIOR (KG)	VALOR MEDIO (TON)	CANTIDAD DE VEHICULOS	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO ASCENDENTE	PORCENTAJE ACUMULADO DESCENDENTE
1	0	1,000	0.50	0	0.0000%	0.0000%	100.0000%
2	1,000	2,000	1.50	10	0.0435%	0.0435%	99.9565%
3	2,000	3,000	2.50	0	0.0000%	0.0435%	99.9565%
4	3,000	4,000	3.50	0	0.0000%	0.0435%	99.9565%
5	4,000	5,000	4.50	8	0.0348%	0.0783%	99.9217%
6	5,000	6,000	5.50	8	0.0348%	0.1130%	99.8870%
7	6,000	7,000	6.50	12	0.0522%	0.1652%	99.8348%
8	7,000	8,000	7.50	35	0.1522%	0.3174%	99.6826%
9	8,000	9,000	8.50	42	0.1826%	0.5000%	99.5000%
10	9,000	10,000	9.50	45	0.1956%	0.6956%	99.3044%
11	10,000	11,000	10.50	82	0.3565%	1.0521%	98.9479%
12	11,000	12,000	11.50	73	0.3174%	1.3695%	98.6305%
13	12,000	13,000	12.50	93	0.4043%	1.7738%	98.2262%
14	13,000	14,000	13.50	217	0.9434%	2.7173%	97.2827%
15	14,000	15,000	14.50	405	1.7608%	4.4781%	95.5219%
16	15,000	16,000	15.50	843	3.6651%	8.1431%	91.8569%
17	16,000	17,000	16.50	1,723	7.4910%	15.6341%	84.3659%
18	17,000	18,000	17.50	3,780	16.4341%	32.0682%	67.9318%
19	18,000	19,000	18.50	5,808	25.2511%	57.3192%	42.6808%
20	19,000	20,000	19.50	6,441	28.0031%	85.3224%	14.6776%
21	20,000	21,000	20.50	2,322	10.0952%	95.4176%	4.5824%
22	21,000	22,000	21.50	677	2.9434%	98.3609%	1.6391%
23	22,000	23,000	22.50	204	0.8869%	99.2479%	0.7521%
24	23,000	24,000	23.50	82	0.3565%	99.6044%	0.3956%
25	24,000	25,000	24.50	30	0.1304%	99.7348%	0.2652%
26	25,000	26,000	25.50	28	0.1217%	99.8565%	0.1435%
27	26,000	27,000	26.50	12	0.0522%	99.9087%	0.0913%
28	27,000	28,000	27.50	5	0.0217%	99.9304%	0.0696%
29	28,000	29,000	28.50	12	0.0522%	99.9826%	0.0174%
30	29,000	30,000	29.50	1	0.0043%	99.9870%	0.0130%
31	30,000	31,000	30.50	1	0.0043%	99.9913%	0.0087%
32	31,000	32,000	31.50	0	0.0000%	99.9913%	0.0087%
33	32,000	33,000	32.50	0	0.0000%	99.9913%	0.0087%
34	33,000	34,000	33.50	0	0.0000%	99.9913%	0.0087%
35	34,000	35,000	34.50	0	0.0000%	99.9913%	0.0087%
36	35,000	36,000	35.50	2	0.0087%	100.0000%	0.0000%

TOTAL	23,001
--------------	---------------

Tabla 4. 7 Espectro de carga de EJE TRIDEM
Fuente: Creación propia



Grafica 4. 6 Espectro de carga de EJE TRIDEM
Fuente: Creación propia

Análisis de la información de la Tabla 4. 7 Espectro de carga de EJE TRIDEM y de la Grafica 4. 6 Espectro de carga de EJE TRIDEM

El peso máximo para el eje trídem es de 20.00 Tons (20,000 kg)

La muestra de ejes trídem es de 23,001.

La línea vertical color rojo, representa el peso máximo permisible, que son 20.00 toneladas para el eje trídem.

La carga se concentra entre las 17.0 toneladas y las 21.0 toneladas, teniendo un total de ejes pesados en ese rango de 18,351, lo que representa el 79.78% de los ejes pesados.

El valor máximo de la gráfica, representa la parte donde se encuentra focalizada la carga que es el 28.00%. Es el intervalo de carga donde circulan la mayoría de ejes trídem de los vehículos de carga.

El porcentaje de ejes trídem que cumplen con el límite de carga permitido es de 85.32%, que equivalen a 19,625 de ejes.

El porcentaje de ejes trídem que no cumplen con el límite de carga permitido es de 14.68%, que equivalen a 3,376 ejes.

El total de sobrepeso para el eje trídem es de 3,393.23 Tons.

Haciendo un sobrepeso promedio de 1,005 Kg.

4.6 RESUMEN DE LAS CANTIDADES DE EJES Y EL CUMPLIMIENTO DE LOS PESOS

En la Tabla 4. 8 Cantidad de ejes que exceden el peso de máximo permitido por la ley, se muestran los totales de ejes pesados por cada tipo, además de la cantidad de ejes que cumplen y no cumplen con los pesos establecidos por la ley. Se muestra además el sobrepeso total de los ejes, así como el sobrepeso promedio por tipo de eje

TIPO DE EJE	MUESTRA	CUMPLE CON EL PESO		NO CUMPLE CON EL PESO		EXCEDENTE TOTAL DE PESO (TON)	PROMEDIO DE EXCEDENTE DE PESO (KG)
		CANTIDAD	%	CANTIDAD	%		
EJE SENCILLO DIRECCIONAL	64,393	49,634	77.08%	14,759	22.92%	7,534.13	510
EJE SENCILLO DUAL	4,921	2,237	45.46%	2,684	54.54%	3,323.79	1,238
EJE TANDEM	90,256	66,579	73.77%	23,677	26.23%	23,197.42	980
EJE TRIDEM	23,001	19,625	85.32%	3,376	14.68%	3,393.23	1,005

*Tabla 4. 8 Cantidad de ejes que exceden el peso de máximo permitido por la ley
Fuente: Creación propia*

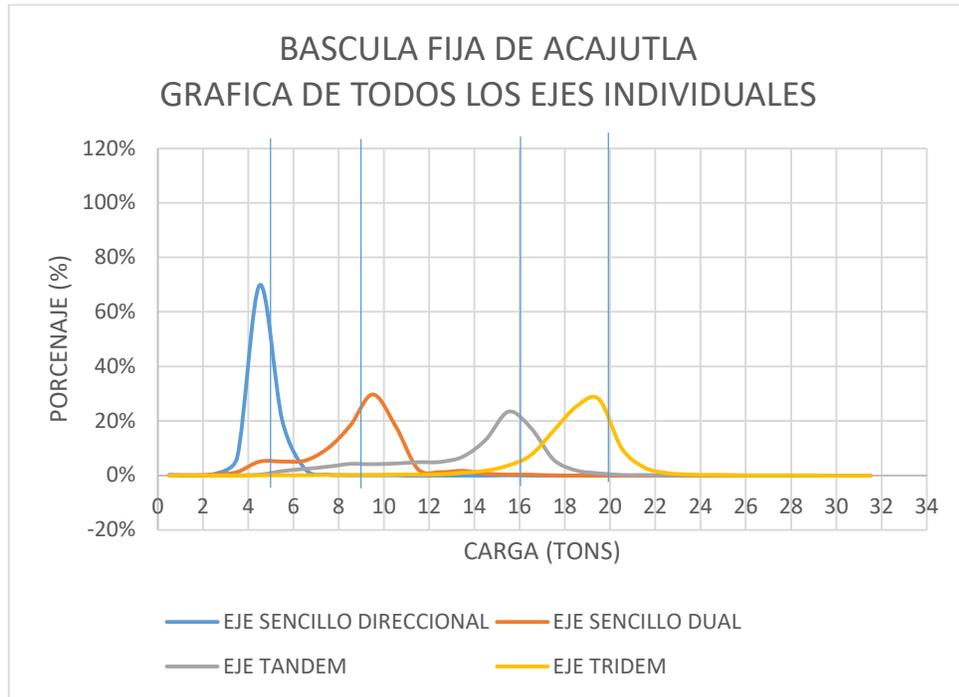
4.7 ESPECTROS DE CARGA PARA TODOS LOS EJES

En la Tabla 4. 9 Espectro de carga EJE SENCILLO DIRECCIONAL, EJE SENCILLO DUAL, EJE TANDEM Y EJE TRIDEM y Grafica 4. 7 Espectro de carga EJE SENCILLO DIRECCIONAL, EJE SENCILLO DUAL, EJE TANDEM Y EJE TRIDEM, se presenta un resumen de los espectros de carga de todos los ejes pesados.

ESPECTRO DE CARGA PARA TODOS LOS EJES							
CORR	LIMITE INFERIOR (KG)	LIMITE SUPERIOR (KG)	PESO (TON)	EJE SENCILLO DIRECCIONAL	EJE SENCILLO DUAL	EJE TANDEM	EJE TRIDEM
1	0.01	1,000.00	0.50	0.1336%	0.0203%	0.0199%	0.0000%
2	1,000.00	2,000.00	1.50	0.0699%	0.0000%	0.0565%	0.0435%
3	2,000.00	3,000.00	2.50	0.5016%	0.3861%	0.0321%	0.0000%
4	3,000.00	4,000.00	3.50	6.5224%	1.2193%	0.0543%	0.0000%
5	4,000.00	5,000.00	4.50	69.8523%	5.1209%	0.3180%	0.0348%
6	5,000.00	6,000.00	5.50	20.0503%	5.1412%	1.5578%	0.0348%
7	6,000.00	7,000.00	6.50	2.3465%	5.4664%	2.4098%	0.0522%
8	7,000.00	8,000.00	7.50	0.3044%	9.8760%	3.1898%	0.1522%
9	8,000.00	9,000.00	8.50	0.0994%	18.2280%	4.2158%	0.1826%
10	9,000.00	10,000.00	9.50	0.0699%	29.6891%	4.1150%	0.1956%
11	10,000.00	11,000.00	10.50	0.0124%	18.3296%	4.3775%	0.3565%
12	11,000.00	12,000.00	11.50	0.0047%	2.3166%	4.8097%	0.3174%
13	12,000.00	13,000.00	12.50	0.0047%	1.2193%	5.0257%	0.4043%
14	13,000.00	14,000.00	13.50	0.0000%	1.6866%	6.9635%	0.9434%
15	14,000.00	15,000.00	14.50	0.0016%	0.6706%	13.2002%	1.7608%
16	15,000.00	16,000.00	15.50	0.0202%	0.3455%	23.4212%	3.6651%
17	16,000.00	17,000.00	16.50	0.0047%	0.2439%	17.3506%	7.4910%
18	17,000.00	18,000.00	17.50	0.0016%	0.0203%	5.8035%	16.4341%
19	18,000.00	19,000.00	18.50	0.0000%	0.0000%	1.8237%	25.2511%
20	19,000.00	20,000.00	19.50	0.0000%	0.0000%	0.7955%	28.0031%
21	20,000.00	21,000.00	20.50	0.0000%	0.0000%	0.2050%	10.0952%
22	21,000.00	22,000.00	21.50	0.0000%	0.0000%	0.1274%	2.9434%
23	22,000.00	23,000.00	22.50	0.0000%	0.0203%	0.0665%	0.8869%
24	23,000.00	24,000.00	23.50	0.0000%	0.0000%	0.0299%	0.3565%
25	24,000.00	25,000.00	24.50	0.0000%	0.0000%	0.0144%	0.1304%
26	25,000.00	26,000.00	25.50	0.0000%	0.0000%	0.0089%	0.1217%
27	26,000.00	27,000.00	26.50	0.0000%	0.0000%	0.0044%	0.0522%
28	27,000.00	28,000.00	27.50	0.0000%	0.0000%	0.0022%	0.0217%
29	28,000.00	29,000.00	28.50	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0522%
30	29,000.00	30,000.00	29.50	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0043%
31	30,000.00	31,000.00	30.50	0.0000%	0.0000%	0.0011%	0.0043%
32	31,000.00	32,000.00	31.50	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
33	32,000.00	33,000.00	32.50	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
34	33,000.00	34,000.00	33.50	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
35	34,000.00	35,000.00	34.50	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
36	35,000.00	36,000.00	35.50	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0087%

Tabla 4. 9 Espectro de carga EJE SENCILLO DIRECCIONAL, EJE SENCILLO DUAL, EJE TANDEM Y EJE TRIDEM

Fuente: Creación propia



*Grafica 4. 7 Espectro de carga EJE SENCILLO DIRECCIONAL, EJE SENCILLO DUAL, EJE TANDEM Y EJE TRIDEM
Fuente: Creación propia*

4.8 EXCESOS DE PESO REGISTRADOS EN LA BASCULA FIJA DE ACAJUTLA.

En el análisis siguiente se muestra el comportamiento de los pesos obtenidos por cada tipo de eje en la báscula fija de Acajutla.

Para cada uno de los siguientes apartados, primero se muestra el análisis en la tabla, y posteriormente se muestra el grafico que representa gráficamente el comportamiento de lo expresado en las tablas.

4.8.1 CANTIDAD DE EJES QUE EXCEDEN EL PESO PERMITIDO

De acuerdo a la información contenida en la Tabla 4. 10 Cantidad de ejes que exceden el peso permitido, obsérvese que el tipo de eje tándem es del que más registros de sobrepesos que se tienen. Siendo un total de 23,677 unidades las que se registran con peso excesivo al permitido por la ley, que representa el 53.21%. En comparación con los registros de pesaje de los otros ejes.

En la Grafica 4. 8 Cantidad de ejes que exceden el peso permitido, puede observarse la representación de la cantidad de ejes que exceden el peso permitido por la ley.

TIPO DE EJE	CANTIDAD DE EJES QUE EXCEDEN EL PESO PERMITIDO (U)	PORCENTAJE
EJE SENCILLO DIRECCIONAL	14,759	33.17%
EJE SENCILLO DUAL	2,684	6.03%
EJE TANDEM	23,677	53.21%
EJE TRIDEM	3,376	7.59%
TOTAL	44,496	100.00%

Tabla 4. 10 Cantidad de ejes que exceden el peso permitido
Fuente: Creación propia



Grafica 4. 8 Cantidad de ejes que exceden el peso permitido
Fuente: Creación propia

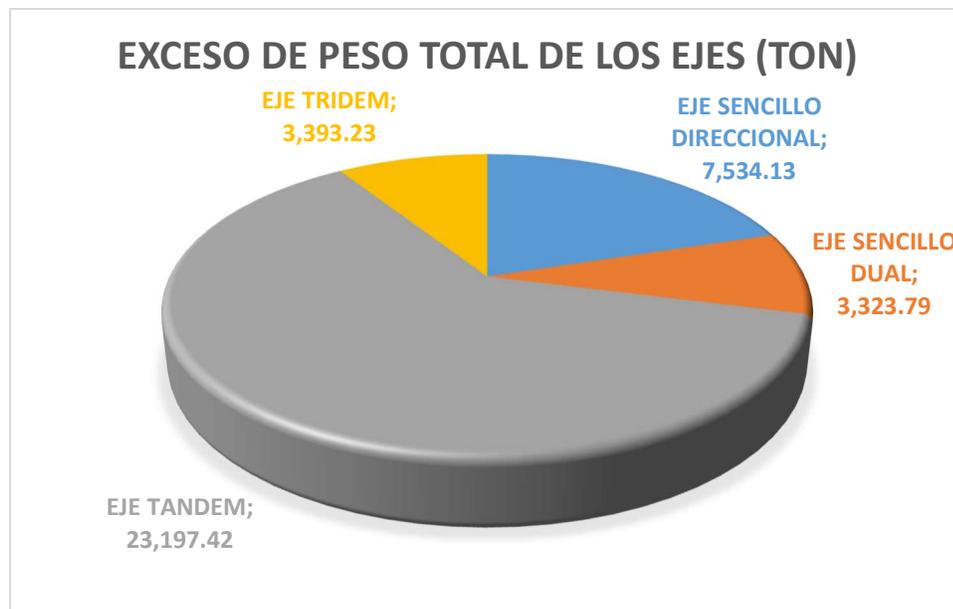
4.8.2 EXCESO DEL PESO TOTAL DE LOS EJES

Obsérvese en la Tabla 4. 11 Exceso de peso total de los ejes. que el tipo de eje tándem es del que más registros se tienen de sobrepesos totales. Siendo un total de 23,197 toneladas las que se registran con peso excesivo al permitido por la ley, que corresponde al 61.94%. En comparación con los registros de pesaje de los otros ejes.

En la Grafica 4. 9 Exceso de peso total de los ejes. puede observarse la representación del total de sobrepeso de cada uno de los ejes, comparado con lo permitido por la ley.

TIPO DE EJE	EXCESO DE PESO TOTAL (TON)	PORCENTAJE	EQUIVALENTE EN EJES	INCREMENTO EQUIVALENTE
EJE SENCILLO DIRECCIONAL	7,534	20.12%	1,507	2.34%
EJE SENCILLO DUAL	3,324	8.88%	332	6.75%
EJE TANDEM	23,197	61.94%	1,450	1.61%
EJE TRIDEM	3,393	9.06%	170	0.74%
TOTAL	37,449	100.00%		

*Tabla 4. 11 Exceso de peso total de los ejes.
Fuente: Creación propia*



*Grafica 4. 9 Exceso de peso total de los ejes.
Fuente: Creación propia*

El sobrepeso de 7,534 ton en el eje sencillo direccional, equivale al paso de 1,507 ejes adicionales durante el periodo.

El sobrepeso de 3,324 ton en el eje sencillo direccional, equivale al paso de 332 ejes adicionales durante el periodo.

El sobrepeso de 23,197 ton en el eje sencillo direccional, equivale al paso de

1,450 ejes adicionales durante el periodo.

El sobrepeso de 3,393 ton en el eje sencillo direccional, equivale al paso de 170 ejes adicionales durante el periodo.

4.8.3 EXCESO DE PESO PROMEDIO DEL TOTAL DE LOS EJES.

Por último, analizamos el sobrepeso promedio de que se tiene registro por cada tipo de eje pesado.

En la Tabla 4. 12 Exceso de peso promedio del total de los ejes se aprecia el promedio de sobrepeso que tiene cada uno de los ejes pesados.

Diferente a los análisis anteriores, el que más peso promedio registra es el eje sencillo dual, seguido por el eje tándem. En comparación con los registros de pesaje de los otros ejes.

En la Grafica 4. 10 Exceso de peso promedio del total de los ejes puede observarse la representación del total de sobrepeso promedio de cada uno de los ejes, comparado con lo permitido por la ley.

TIPO DE EJE	EXCESO DE PESO PROMEDIO (KG)	PORCENTAJE
EJE SENCILLO DIRECCIONAL	510	13.67%
EJE SENCILLO DUAL	1,238	33.17%
EJE TANDEM	980	26.24%
EJE TRIDEM	1,005	26.92%
TOTAL	3,734	100.00%

*Tabla 4. 12 Exceso de peso promedio del total de los ejes
Fuente: Creación propia*



*Grafica 4. 10 Exceso de peso promedio del total de los ejes
Fuente: Creación propia*

El sobre peso promedio del eje sencillo direccional es de 510 kg.

El sobre peso promedio del eje sencillo dual es de 1,238 kg

El sobre peso promedio del eje tándem es de 980 kg

El sobre peso promedio del eje trídem es de 1,005 kg

CAPITULO V

RESULTADOS Y ANALISIS

5.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE CADA UNO DE LOS TRAMOS

Este capítulo está dedicado en resumir los resultados obtenidos de las mediciones de tráfico y el análisis de los mismos para cada uno de los tramos.

Además, en el presente capítulo, se hacen comparaciones entre los datos del diseño de los tramos y los datos obtenidos en las mediciones de tráfico.

Como se detalla en el Capítulo III Metodología de Medición, se realizaron todas las mediciones de tráfico por tramo y por sentido, identificando todos los tipos de vehículo y el carril en el que circula.

Además, las mediciones coincidieron en parte con la temporada de zafra, por lo que pudimos hacer mediciones sin zafra y con zafra.

A partir de las mediciones de tráfico efectuadas con el ROADPOD VT4, se obtuvieron tablas y graficas de lo medido. Así:

- Análisis de Transito promedio diario anual (TPDA)
- Análisis de Ejes equivalentes (ESAL's), y
- Análisis del nivel de servicio.

Los tres análisis son fundamentales para conocer el comportamiento de los vehículos que circulan por cada uno de los tramos.

Con los análisis anteriores, se puede hacer una comparación entre lo proyectado por los diseños de cada uno de los tramos y por los datos obtenidos producto de las mediciones para ser utilizado en el presente trabajo de investigación.

Es así como para cada uno de los tramos se hacen comparaciones graficas de los resultados proyectados por los diseños y los resultados obtenidos en las mediciones realizadas.

Inicialmente se realiza un análisis general del parque vehicular del país y cómo

ha evolucionado su crecimiento desde el año 2015, año desde el cual se tiene la disponibilidad de la información. En la Imagen 5. 1 Parque Vehicular vigente El Salvador enero 2024, se muestra el parque vehicular para el año 2024, siendo de 1,774,328 unidades circulando en el país. La Grafica 5. 1 Parque Vehicular y variación histórica anual El Salvador del 2015 al 2023 muestra que el parque vehicular en el país crece anualmente aproximadamente el 8% a excepción del año 2020 que creció el 5.5% por efecto de la pandemia de COVID-19.

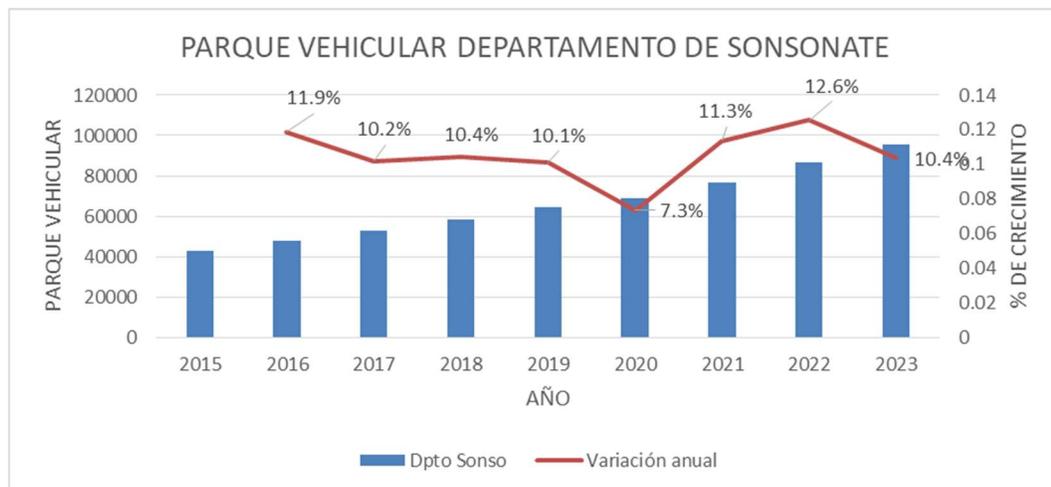


Imagen 5. 1 Parque Vehicular vigente El Salvador enero 2024
 Fuente: <https://observatoriovial.fonat.gob.sv/parque-vehicular/>



Grafica 5. 1 Parque Vehicular y variación histórica anual El Salvador del 2015 al 2023
 Fuente: <https://observatoriovial.fonat.gob.sv/parque-vehicular/>

Sin embargo, nuestra área de análisis es la zona desde el municipio de Sonsonate hasta Acajutla, por lo tanto, realizamos un análisis más específico de la zona. Para ello, se evalúa que las zonas que afectan esta ruta son muchas por tener influencia de comercio, turismo e industria, por lo tanto, se tomó como referencia en el análisis el tráfico de todo el departamento de Sonsonate. En la Grafica 5. 2 Parque Vehicular y variación anual Departamento de Sonsonate del 2015 al 2023 se observa que el crecimiento anual varía entre el 10% y el 12% a excepción del año 2020 que crece el 7.3% por efecto de la pandemia de COVID-19.



Grafica 5. 2 Parque Vehicular y variación anual Departamento de Sonsonate del 2015 al 2023

Fuente: creación propia con datos de <https://observatoriovial.fonat.gob.sv/parque-vehicular/>

Esta información nos servirá de base para hacer el análisis de cada uno de los tramos, para cada uno realizamos una comparación entre el TPDA y el parque vehicular y hacer una correlación entre los mismos.

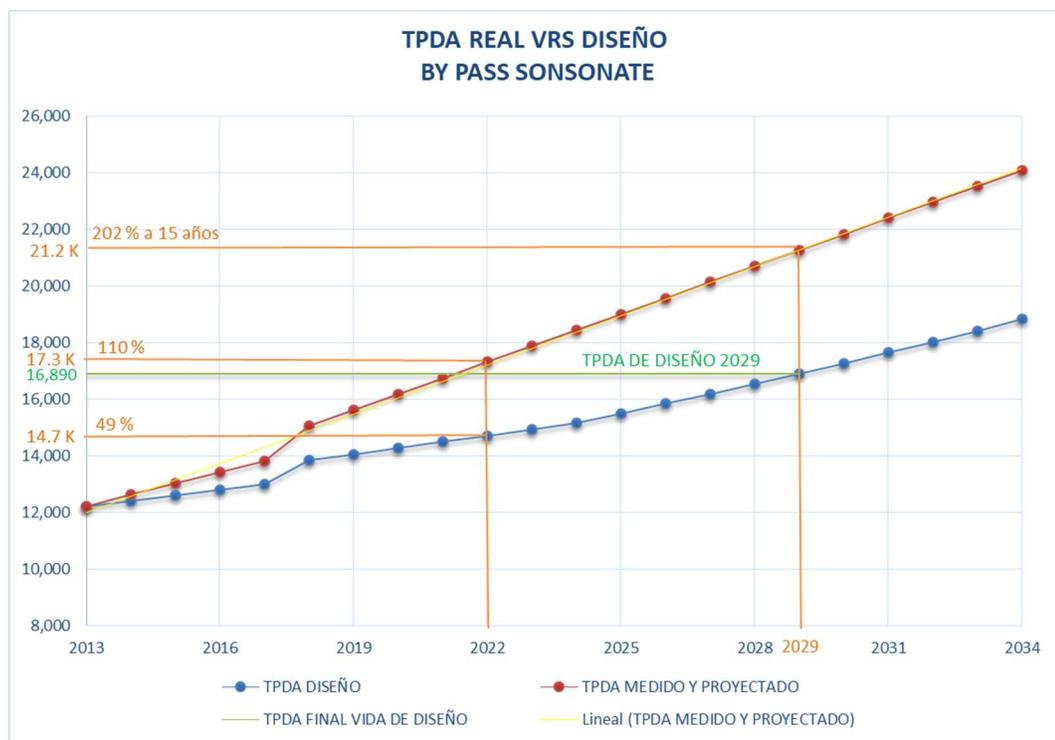
5.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS TRAMO I – BY PASS SONSONATE

Las mediciones en este tramo fueron realizadas entre el 23 y 29 de octubre de 2022 en el lateral derecho sin zafra, entre el 30 octubre y el 6 de noviembre en el lateral izquierdo sin zafra y entre el 30 de noviembre y el 6 de diciembre en el lateral izquierdo con zafra.

Sin presencia de lluvia en los días de la instalación y desinstalación del aparato de medición de tráfico.

5.2.1 ANALISIS DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)

Para poder hacer una comparación entre lo proyectado por el diseño y lo medido en campo en el año 2022, se ha elaborado la Grafica 5. 3 TPDA de diseño vs. TPDA real. Tramo I, By Pass - Sonsonate.



Grafica 5. 3 TPDA de diseño vs. TPDA real. Tramo I, By Pass - Sonsonate

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En la misma Grafica 5. 3 TPDA de diseño vs. TPDA real. Tramo I, By Pass - Sonsonate, se observa una brecha importante entre el tráfico de diseño y el que se midió. Realizando la comparación para el año de medición, se tiene una cantidad de vehículos que llega al 110% del TPDA proyectado para el año 2029, es decir, ya sobrepasó la cantidad de vehículos que se había estimado en el diseño para su vida útil.

Para el 2029, se tendrá un 202% del tráfico que se había proyectado en el diseño, por lo que se verá afectado directamente el nivel de servicio de la vía, el cual detallamos adelante en este mismo capítulo.

La variación principal se encuentra en el número de vehículos livianos, ya que estos representan al 2022 un 45% del total de vehículos, cuando en el diseño se había proyectado un 36% para este mismo año.

Se realizaron mediciones de tráfico en condiciones sin zafra y con zafra, lo que nos ha permitido tener una medida más precisa de lo que en realidad está circulando en la vía. Es por eso que podemos diferenciar los meses que no están afectados por la zafra y los meses que sí.

Hemos realizado, además, la medición de la cantidad de motos que circulan en el tramo, revisando que estas representan un 10% del total de vehículos que circulan en la zona, esta medición es importante ya que la cantidad de motos afecta la velocidad del resto de los vehículos y por consiguiente el nivel de servicio de la vía.

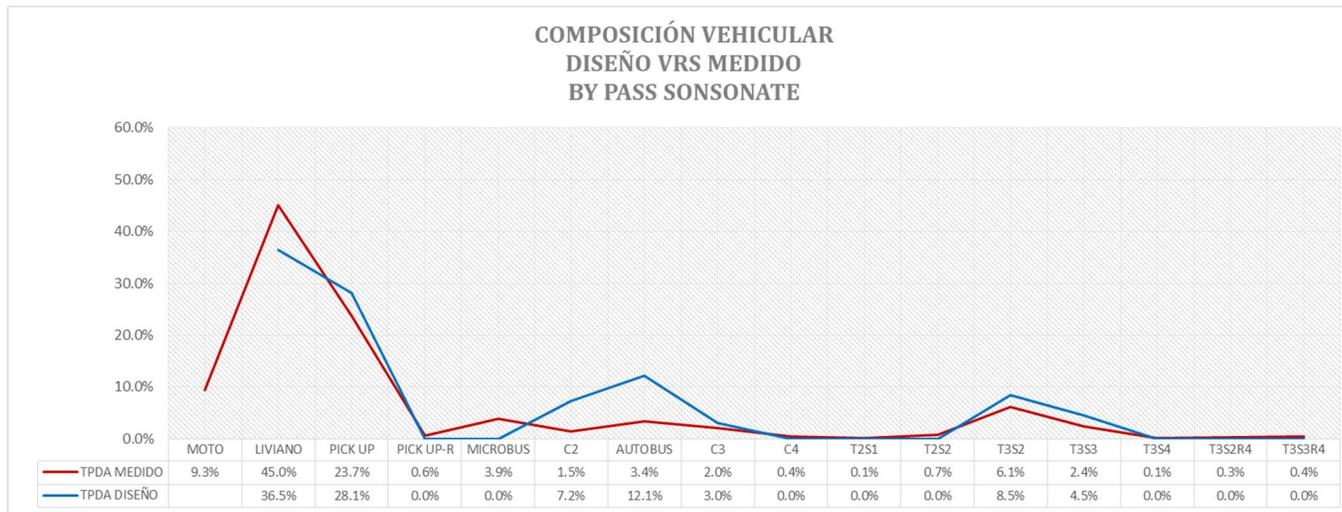
Nótese en la Grafica 5. 4 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo I By Pass Sonsonate, una marcada diferencia (mayor para en los datos de diseño) entre la cantidad de camiones C2 y autobuses, lo que posteriormente se verá reflejado en el cálculo de los ejes equivalentes.

El detalle en cuanto a cantidades y porcentajes los podemos apreciar en la siguiente tabla y gráfica.

En cuanto a detalle y porcentaje, los podemos apreciar en la Tabla 5. 1 TPDA medido 2022, Tramo I By Pass Sonsonate y en la Grafica 5. 4 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo I By Pass Sonsonate

MES	FACTOR MENSUAL	MOTOS	LIVIANO	PICK UP	PICK UP-R	MICROBUS	C2	AUTOBUS	C3	C4	T2S1	T2S2	T3S2	T3S3	T3S4	T3S2R4	T3S3R4	TOTAL SIN MOTOS	TOTAL CON MOTOS
ENERO	0.9485	1764	7187	5246	100	1025	244	664	358	89	20	123	1105	537	28	67	82	16875	18639
FEBRERO	0.9665	1797	7324	5345	102	1044	249	676	365	90	21	125	1126	548	29	68	84	17196	18993
MARZO	0.9552	1776	7238	5283	101	1032	246	668	361	89	21	124	1112	541	28	67	83	16994	18770
ABRIL	0.9409	1750	7130	5204	99	1017	242	658	355	88	20	122	1096	533	28	66	81	16739	18489
MAYO	1.0218	1764	9406	3929	119	540	295	622	403	75	16	153	1178	381	16	56	80	17269	19033
JUNIO	1.0493	1812	9659	4035	122	555	303	638	414	77	16	157	1209	391	16	57	82	17731	19543
JULIO	1.1016	1902	10141	4236	128	582	318	670	435	81	17	165	1270	410	17	60	86	18616	20518
AGOSTO	1.0306	1779	9487	3963	120	545	297	627	407	76	16	154	1188	384	16	56	81	17417	19196
SEPTIEMBRE	1.0515	1815	9680	4044	122	556	303	640	415	77	16	157	1212	392	16	57	83	17770	19585
OCTUBRE	1.0420	1799	9592	4007	121	551	301	634	411	77	16	156	1201	388	16	57	82	17610	19409
NOVIEMBRE	1.0183	1758	9374	3916	119	538	294	620	402	75	16	152	1174	379	16	55	80	17210	18968
DICIEMBRE	0.9060	1685	6865	5011	96	979	233	634	342	85	20	117	1055	513	27	64	78	16119	17804
TPDA		1784	8591	4519	113	747	278	646	389	82	18	143	1161	450	22	61	82	17302	19086
CON ZAFRA																			
SIN ZAFRA																			

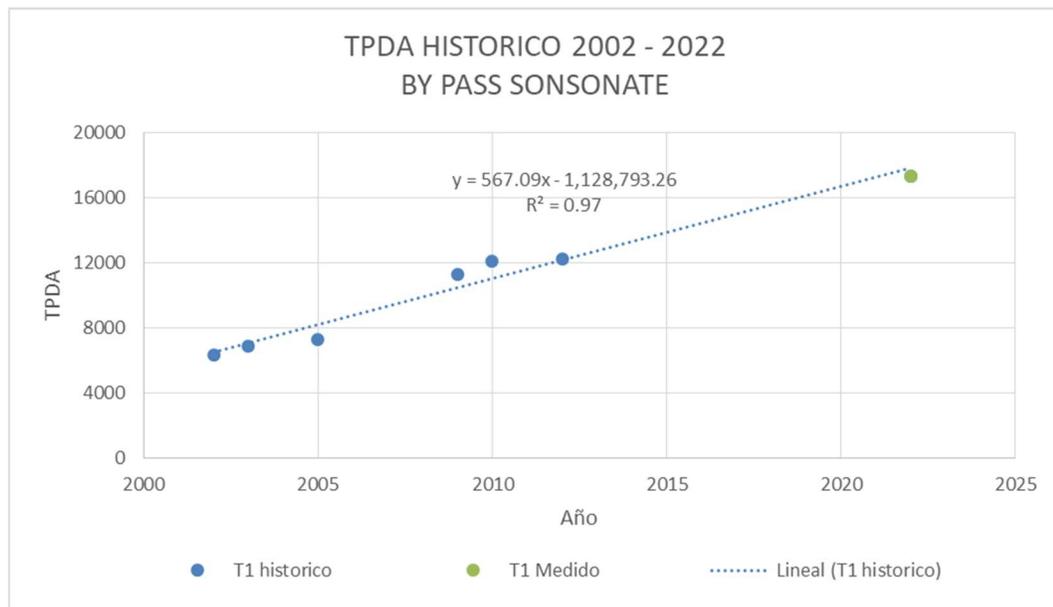
Tabla 5. 1 TPDA medido 2022, Tramo I By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia



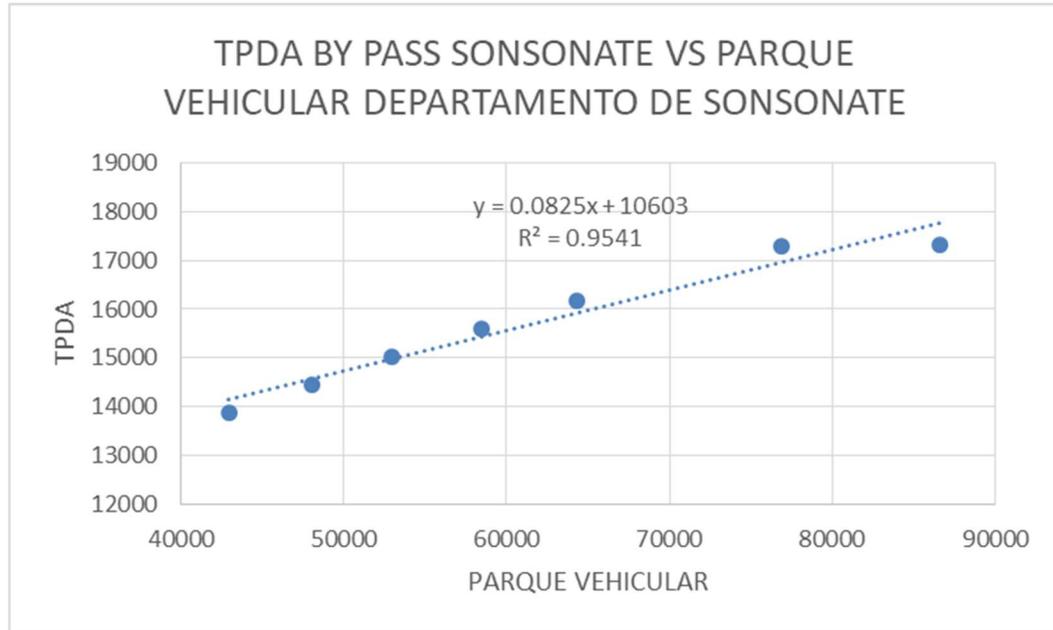
Grafica 5. 4 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo I By Pass Sonsonate

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

Además del análisis anterior, se realizan dos graficas más para lograr tener una correlación entre el TPDA y el parque vehicular, la primera es la Grafica 5. 5 TPDA Histórico 2002 – 2022 By Pass Sonsonate donde utilizamos los datos históricos del TPDA y el dato medido en esta investigación en el año 2022, obteniendo así una ecuación de la línea de tendencia con un valor de coeficiente de determinación de 0.97, lo que indica que es una ecuación muy confiable. Esa ecuación la utilizamos para posteriormente generar la Grafica 5. 6 TPDA By Pass Sonsonate vs parque vehicular departamento de Sonsonate en la que correlacionamos el TPDA y parque vehicular, obteniendo así una fórmula que describe esta correlación con un valor de coeficiente de determinación de 0.95 lo que indica que es una ecuación muy confiable, concluyendo con esto que para hacer proyecciones de TPDA podemos utilizar el parque vehicular que actualmente se encuentra actualizado y se espera que siga estándolo para que futuros diseñadores lo puedan adoptar.



Grafica 5. 5 TPDA Histórico 2002 – 2022 By Pass Sonsonate
Fuente: creación propia con información histórica de TPDA tomada del Contrato CO-148/2013 y medición propia para el año 2022.



Grafica 5. 6 TPDA By Pass Sonsonate vs parque vehicular departamento de Sonsonate
Fuente: creación propia con información histórica de TPDA tomada del Contrato CO-148/2013, medición propia para el año 2022 y parque vehicular tomado de <https://observatoriovial.fonat.gob.sv/parque-vehicular/>

5.2.2 ANALISIS EJES EQUIVALENTES (ESAL's)

En la Tabla 5. 2 ESAL's acumulados de diseño y medidos, Tramo I By Pass Sonsonate detallada adelante, se hace una comparación entre los ESAL's de diseño y los medidos en el año 2022, y proyectados para los años posteriores.

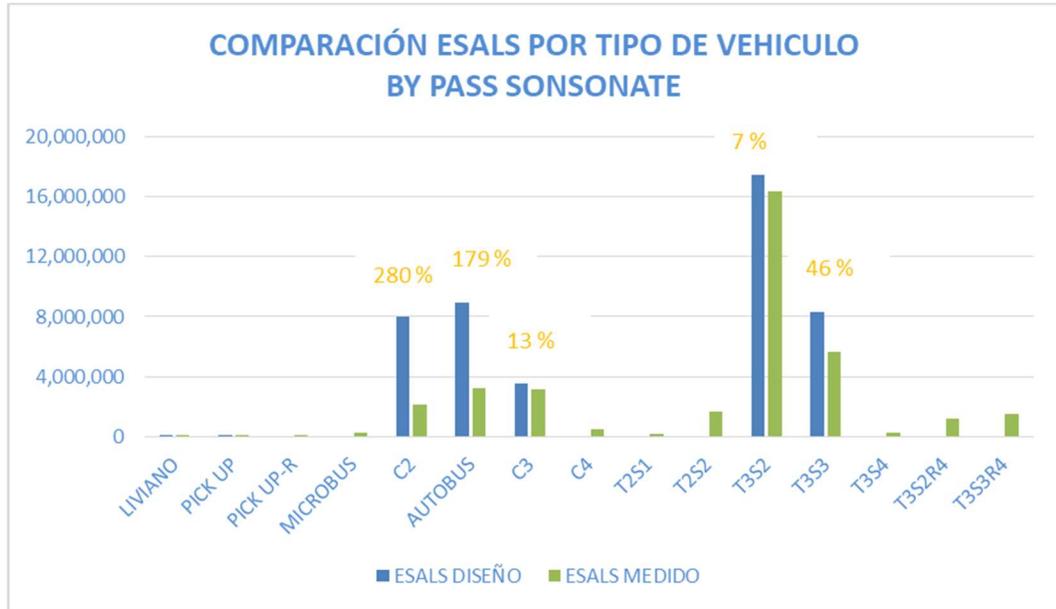
Este análisis se hace desde el año 2015, año del diseño y el año 2034, para ser congruente con los documentos de diseño.

ESALS ACUMULADOS		
AÑO	ESAL DISEÑO	ESAL MEDIDO
2015	1,864,081	1,263,259
2016	3,760,482	2,565,399
2017	5,689,442	3,906,419
2018	7,750,294	5,366,274
2019	9,847,186	6,881,001
2020	11,979,999	8,450,599
2021	14,150,502	10,075,069
2022	16,358,311	11,754,410
2023	18,603,094	13,488,623
2024	20,887,690	15,277,707
2025	23,217,629	17,121,663
2026	25,595,035	19,020,490
2027	28,020,359	20,974,189
2028	30,495,318	22,982,760
2029	33,019,697	25,046,202
2030	35,595,532	27,164,516
2031	38,222,748	29,337,701
2032	40,903,756	31,565,757
2033	43,638,840	33,848,686
2034	46,429,345	36,186,486

Tabla 5. 2 ESAL's acumulados de diseño y medidos, Tramo I By Pass Sonsonate

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

Se realizó el análisis de ESAL's por cada tipo de vehículo para analizar cuáles son los vehículos que más incidencia tienen en el valor de los ESAL's.



Grafica 5. 7 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo I By Pass Sonsonate
 Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

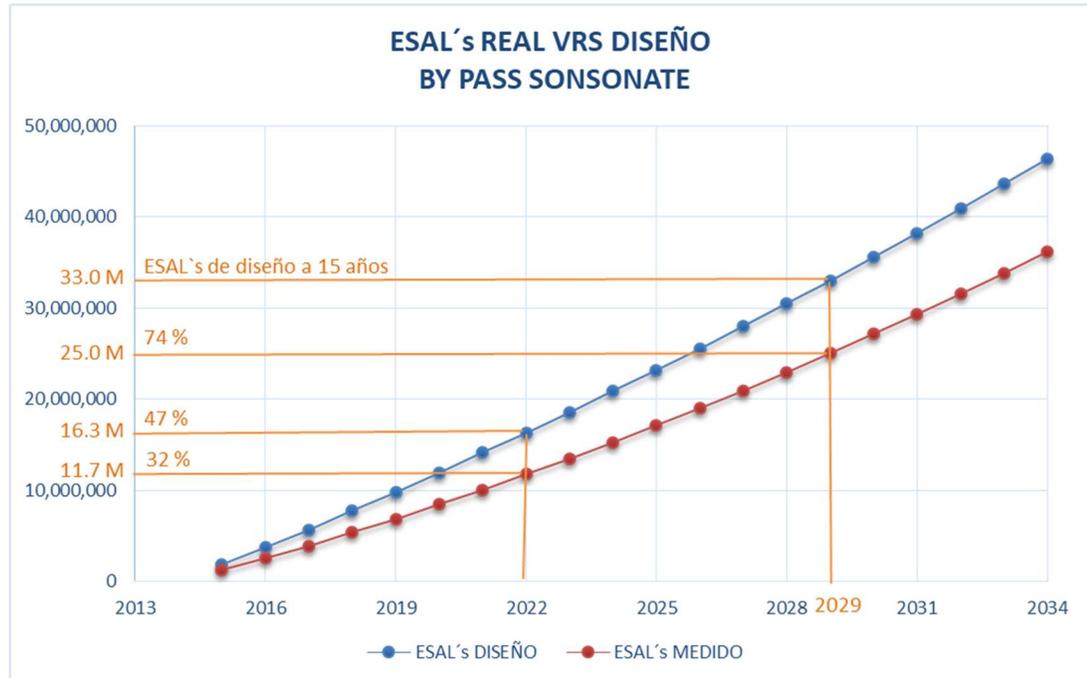
En la Grafica 5. 7 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo I By Pass Sonsonate, podemos observar cómo varía la cantidad de ejes equivalentes calculados en base a la medición respecto al de diseño, teniendo en su mayoría valores más altos en el diseño, esto afectado por el número de vehículos C2, Autobuses, T3S2 y T3S3 considerados, que actualmente en la medición representan valores más bajos que los descritos en el diseño.

Para el cálculo de los ESAL´s es importante obtener el valor de los factores de dirección y factor carril, lo cuales detallamos en la Tabla 5. 3 Factor de dirección y factor de carril, Tramo I By Pass Sonsonate.

CON ZAFRA		
FACTOR DIRECCIÓN	52.00%	
FACTOR CARRIL	77.62%	
FC*FD	40.36%	
SIN ZAFRA		
FACTOR DIRECCIÓN	55.89%	
FACTOR CARRIL	67.67%	
FC*FD	37.83%	
FC*FD PROM PONDERADO	38.88%	CONSIDERANDO 5 MESES CON ZAFRA Y 7 MESES SIN ZAFRA

Tabla 5. 3 Factor de dirección y factor de carril, Tramo I By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia

Es importante resaltar, que los factores calculados son en base a ejes equivalentes. El diseñador en este caso utilizó Factor Dirección de 50% y Factor Carril del 80% tomados de bibliografía, cuyo producto que es el que afecta finalmente a los ejes equivalentes es de $80\% \times 50\% = 40\%$, valor muy cercano al valor obtenido del análisis de las mediciones efectuadas.

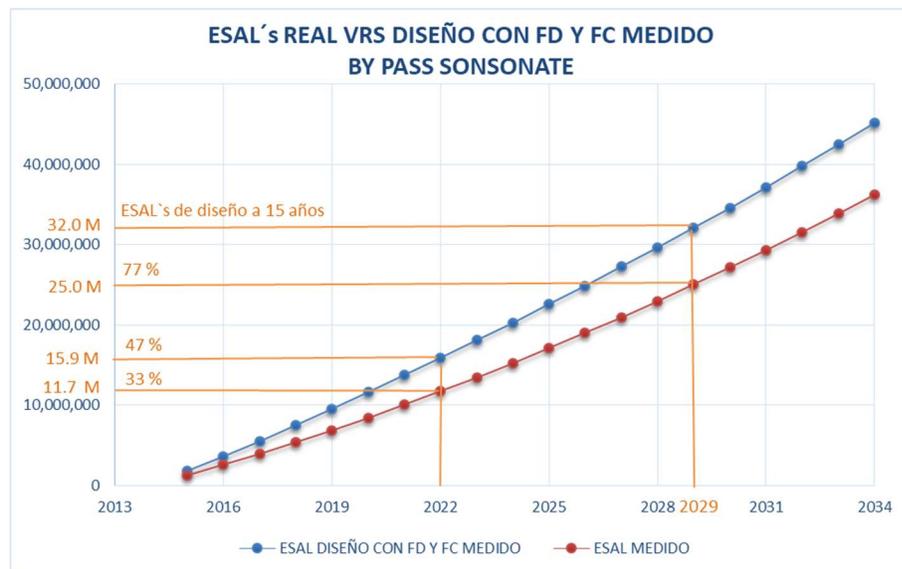


Grafica 5. 8 ESAL's medidos vs. ESAL's de diseño, Tramo I By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En esta Grafica 5. 8 ESAL´s medidos vs. ESAL´s de diseño, Tramo I By Pass Sonsonate, se observa que los ESAL´s de diseño son mayores a los ESAL´s medidos. Realizando una comparación para el 2022, se tiene un 32% de ejes equivalentes en la vía y según el diseño debió haber 47%, para el 2029 el pavimento tendría un 74% de los ejes equivalentes bajos los cuales se diseñó este tramo. Esto es una ventaja para la estructura ya que no estaría alcanzando su total de ejes para cuales se diseñó y esto debería traducirse a mayor vida del pavimento.

En la misma Grafica 5. 8 ESAL´s medidos vs. ESAL´s de diseño, Tramo I By Pass Sonsonate, se consideran para el diseño los factores de dirección y carril mismos utilizados en el diseño.

Adicionalmente realizamos una corrida utilizando los valores de los factores, obtenidos por nuestras mediciones de tráfico y posteriores análisis. Se observa la diferencia mostrada en la Grafica 5. 9 ESAL´s real vs. ESAL´s de diseño con FC y FD calculados, Tramo I By Pass Sonsonate.



Grafica 5. 9 ESAL´s real vs. ESAL´s de diseño con FC y FD calculados, Tramo I By Pass Sonsonate
 Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

Se observa que con los factores dirección y carril reales, la diferencia se hace menor en una cantidad mínima y para el 2029 el valor se acerca un poco más al valor de diseño, pasando del 74% al 77%.

Luego de hacer el análisis de los ejes equivalentes de diseño, los medidos en esta investigación y los de diseño utilizando los factores reales de distribución por carril y dirección, viene la siguiente parte en la que realizamos un análisis mucho más real, ya que ahora se incorpora el análisis de los daños considerando el espectro de carga. Dadas las condiciones de cualquier vía, los vehículos pasan con pesos diferentes a los que están regulados, ya sea con una carga mayor o menor, siendo eso lo que describe un espectro de carga. Para explicar mejor esto, se presenta la gráfica Grafica 5. 10 % Peso vs % Daño de vehículos, que describe en su eje vertical el porcentaje de daño y en el eje horizontal el peso en porcentaje. Es decir, que para un peso del 100%, el cual es el permitido, se genera un daño del 100%, si el peso incrementa al 120%, el daño se incrementa a un 217%, al contrario, si el peso fuera del 80% del permitido, el daño se reduce a un 39%. Esta grafica es aplicable para todos los pesos de ejes y para pavimentos de concreto como asfálticos.



Grafica 5. 10 % Peso vs % Daño de vehículos
Fuente: Creación propia

La Grafica 5. 10 % Peso vs % Daño de vehículos nos da la fórmula para conocer como calcular los LEF para cada peso dentro del espectro, y con la cantidad de vehículos circulando poder calcular un daño total. Dicha fórmula potencial calculada y utilizada es la siguiente:

$$\% \text{ PESO} = 0.9969 \times (\% \text{ DAÑO})^{0.2389}$$

Regresión de 0.999; lo que nos indica que es una formula muy precisa.

En lo que hemos calculado de los ESAL's hasta el momento se ha realizado con los pesos teóricos que debería tener un vehículo, sin embargo, ahora que en esta misma investigación se han generado los espectros de carga, se aprovecha para hacer el cálculo de los ESAL's por medio de ello.

Para esto, se realizó una matriz en la que se hace la relación entre los LEF y el espectro de carga, teniendo así definido que daño genera cada carga y porcentaje de vehículos del espectro, llevando esto a relacionarlo con la cantidad de vehículos medidos para cada tramo y así calcular los ESAL's con base a los espectros ya realizados en el capítulo V de este documento.

De la Tabla 5. 4 Cantidad de ejes por año, By Pass Sonsonate, se realiza la conversión de tipo de vehículos a cantidad de ejes de cada tipo, sencillos, sencillo direccional, tándem, trídem y cuádruple, quedando de la siguiente manera:

EJES					
EJE	SENCILLO	SENCILLO DUAL	TANDEM	TRIDEM	CUADRUPLE
2015	23047	1284	2871	569	17
2016	23756	1324	2959	587	17
2017	24466	1363	3047	604	18
2018	26634	1484	3317	658	19
2019	27635	1540	3442	683	20
2020	28636	1595	3567	708	21
2021	29637	1651	3691	732	21
2022	30638	1707	3816	757	22
2023	31639	1763	3941	782	23
2024	32640	1819	4065	806	23
2025	33641	1874	4190	831	24
2026	34642	1930	4315	856	25
2027	35643	1986	4439	881	26
2028	36644	2042	4564	905	26
2029	37646	2097	4689	930	27
2030	38647	2153	4813	955	28
2031	39648	2209	4938	980	28
2032	40649	2265	5063	1004	29
2033	41650	2321	5188	1029	30
2034	42651	2376	5312	1054	31
Total 2015 - 2034	660189	36783	82227	16311	475

*Tabla 5. 4 Cantidad de ejes por año, By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia*

Luego de tener la cantidad de ejes por año y tomando en cuenta la distribución de cada espectro por eje, se calculan los LEF para cada carga del espectro. En la Tabla 5. 5 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje sencillo se deja una muestra de cómo se calcula el LEF para un eje sencillo y para un año, haciendo esto mismo posteriormente para cada eje y cada año, dando como resultado la Tabla 5. 6 LEF y ESAL por año y por eje By Pass Sonsonate.

SENCILLO		LEF 5000	0.12133 KG				y = 0.9969x0.2389 R² = 0.9999				
ESPPECTRO						CALCULO DE LEF			2015		
CORR	LIMITE INFERIOR (KG)	LIMITE SUPERIOR (KG)	VALOR MEDIO (TON)	CANTIDAD DE VEHICULOS	PORCENTAJE	% PESO PERMITIDO	% LEF	LEF EQQ	EJES	LEF EQQ * EJES	
1	0.01	1000	0.50	86	0.134%	10%	0.007%	0.00001	31	0.0002	
2	1000	2000	1.50	45	0.070%	30%	0.650%	0.00079	16	0.0126	
3	2000	3000	2.50	323	0.502%	50%	5.512%	0.00669	116	0.7757	
4	3000	4000	3.50	4200	6.522%	70%	22.540%	0.02735	1503	41.1035	
5	4000	5000	4.50	44980	69.852%	90%	64.538%	0.07830	16099	1260.6120	
6	5000	6000	5.50	12911	20.050%	110%	149.490%	0.18138	4621	838.1393	
7	6000	7000	6.50	1511	2.347%	130%	300.814%	0.36498	541	197.4531	
8	7000	8000	7.50	196	0.304%	150%	547.571%	0.66437	70	46.5057	
9	8000	9000	8.50	64	0.099%	170%	924.642%	1.12187	23	25.8030	
10	9000	10000	9.50	45	0.070%	190%	1472.888%	1.78705	16	28.5929	
11	10000	11000	10.50	8	0.012%	210%	2239.291%	2.71693	3	8.1508	
12	11000	12000	11.50	3	0.005%	230%	3277.084%	3.97609	1	3.9761	
13	12000	13000	12.50	3	0.005%	250%	4645.862%	5.63682	1	5.6368	
14	13000	14000	13.50	0	0.000%	270%	6411.700%	7.77932	0	0.0000	
15	14000	15000	14.50	1	0.002%	290%	8647.248%	10.49171	0	0.0000	
16	15000	16000	15.50	13	0.020%	310%	11431.827%	13.87024	5	69.3512	
17	16000	17000	16.50	3	0.005%	330%	14851.521%	18.01935	1	18.0194	
18	17000	18000	17.50	1	0.002%	350%	18999.257%	23.05180	0	0.0000	
									23047	2544.1322	

Tabla 5. 5 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje sencillo
Fuente: Creación propia

LOAD EQUIVALENT FACTOR						F. DIRECCION X F.CARRIL	38.88%
EJE	SENCILLO	SENCILLO DUAL	TANDEM	TRIDEM	CUADRUPLE	ESALS	ESALS ACUMULADOS
2015	2544	2432	4654	765	28	1,479,315	1,479,315
2016	2620	2509	4798	786	28	1,524,317	3,003,632
2017	2694	2583	4936	811	30	1,568,697	4,572,329
2018	2924	2816	5369	880	31	1,705,850	6,278,178
2019	3042	2915	5567	914	33	1,769,771	8,047,949
2020	3152	3032	5784	950	34	1,838,183	9,886,132
2021	3258	3130	5984	983	34	1,900,294	11,786,427
2022	3363	3232	6198	1015	36	1,964,641	13,751,068
2023	3469	3332	6396	1050	38	2,027,249	15,778,316
2024	3651	3431	6591	1081	38	2,099,084	17,877,401
2025	3757	3556	6794	1113	39	2,165,456	20,042,857
2026	3862	3676	6996	1147	41	2,231,202	22,274,059
2027	3968	3758	7201	1181	43	2,292,031	24,566,090
2028	4078	3865	7397	1212	43	2,355,061	26,921,151
2029	4197	3966	7605	1243	44	2,420,419	29,341,570
2030	4303	4059	7797	1274	46	2,480,660	31,822,230
2031	4410	4183	8000	1323	46	2,549,061	34,371,290
2032	4514	4297	8205	1360	48	2,614,665	36,985,956
2033	4621	4403	8420	1391	49	2,680,014	39,665,969
2034	4741	4502	8626	1422	51	2,744,965	42,410,934
Total 2015 - 2034	73167	69679	133317	21901	779	42,410,934	

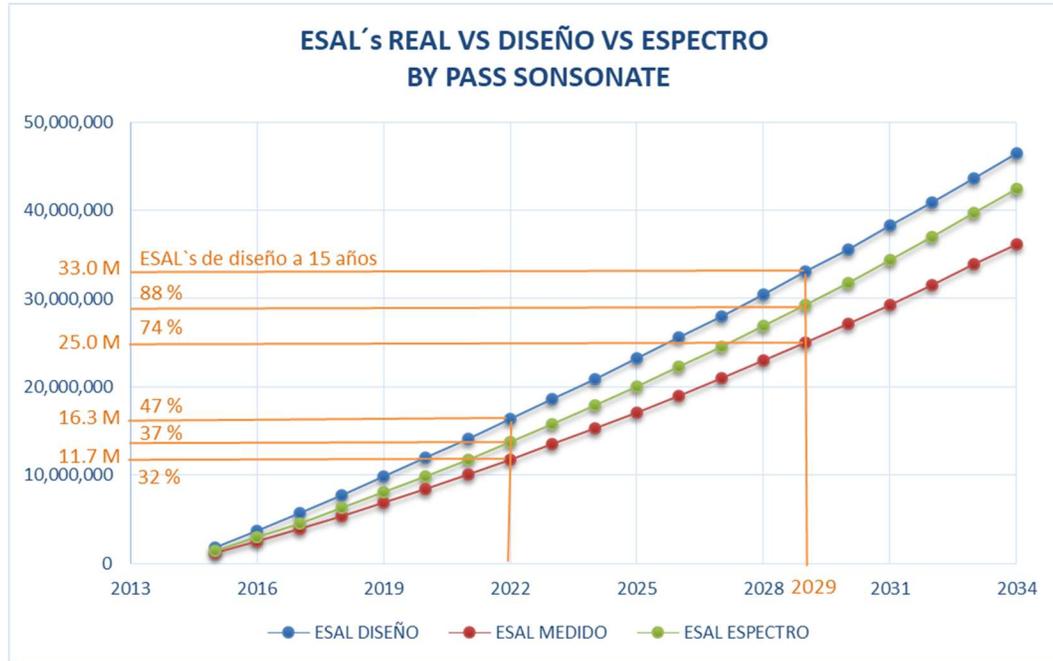
Tabla 5. 6 LEF y ESAL por año y por eje By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia

Posteriormente realizamos la comparación de ESAL´s incorporando ahora este nuevo cálculo considerando los espectros. En la Tabla 5. 7 ESAL´s acumulados diseño, medido y espectro By Pass Sonsonate, se puede observar las variables mencionadas, para cada uno de los años.

ESALS ACUMULADOS			
AÑO	ESAL DISEÑO	ESAL MEDIDO	ESAL ESPECTRO
2015	1,864,081	1,263,259	1,479,315
2016	3,760,482	2,565,399	3,003,632
2017	5,689,442	3,906,419	4,572,329
2018	7,750,294	5,366,274	6,278,178
2019	9,847,186	6,881,001	8,047,949
2020	11,979,999	8,450,599	9,886,132
2021	14,150,502	10,075,069	11,786,427
2022	16,358,311	11,754,410	13,751,068
2023	18,603,094	13,488,623	15,778,316
2024	20,887,690	15,277,707	17,877,401
2025	23,217,629	17,121,663	20,042,857
2026	25,595,035	19,020,490	22,274,059
2027	28,020,359	20,974,189	24,566,090
2028	30,495,318	22,982,760	26,921,151
2029	33,019,697	25,046,202	29,341,570
2030	35,595,532	27,164,516	31,822,230
2031	38,222,748	29,337,701	34,371,290
2032	40,903,756	31,565,757	36,985,956
2033	43,638,840	33,848,686	39,665,969
2034	46,429,345	36,186,486	42,410,934

Tabla 5. 7 ESAL´s acumulados diseño, medido y espectro By Pass Sonsonate

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.



Grafica 5. 11 ESAL's medido vs diseño vs espectro By Pass Sonsonate

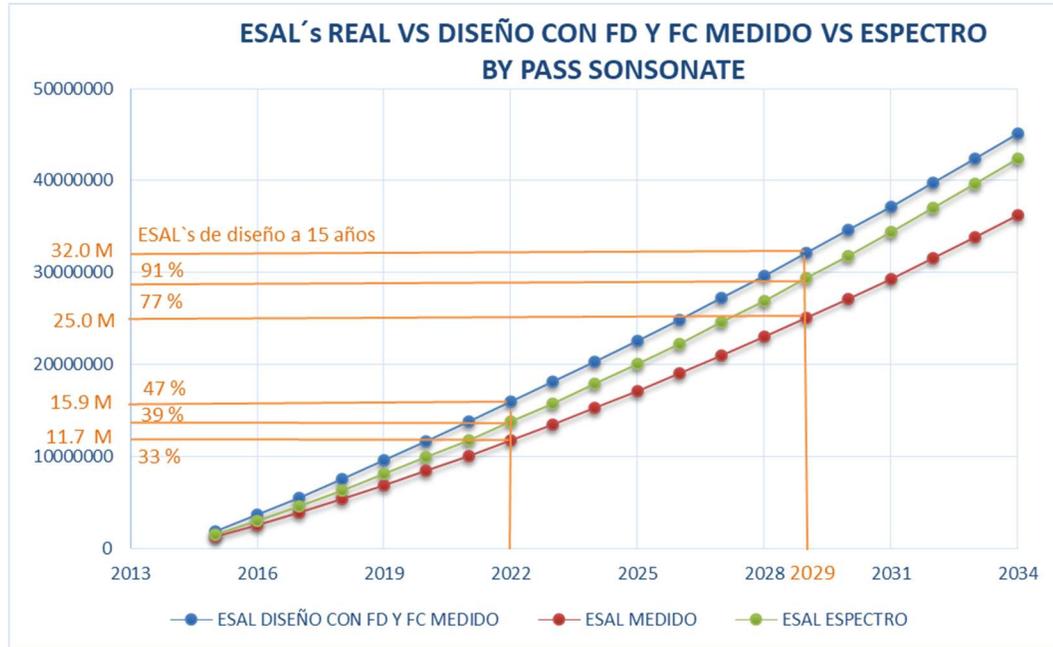
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En la Grafica 5. 11 ESAL's medido vs diseño vs espectro By Pass Sonsonate se observa que la línea que representa el cálculo con base al espectro, se acerca más a valores del diseño ya que esta es más realista en términos de pesos, indicando que para el 2029, año en el que el pavimento cumple su vida de diseño, llegaría a un 88% de sus ESAL's proyectados por el diseñador. Además, para hacer un análisis más exacto hacemos también la corrida con los datos de diseño, pero con los factores reales de carril y dirección, esto arrojándonos datos más interesantes ya que es lo que en realidad está pasando en la vía.

En la Tabla 5. 8 ESAL's acumulados diseño FC*FD, medido y espectro By Pass Sonsonate, se introducen las variables del Factor Carril y Factor de Dirección, que fueron medidos directamente en la presente investigación.

ESALS ACUMULADOS (con FC y FD medidos)			
AÑO	ESAL DISEÑO CON FD Y FC MEDIDO	ESAL MEDIDO	ESAL ESPECTRO
2015	1,811,945	1,263,259	1,479,315
2016	3,655,307	2,565,399	3,003,632
2017	5,530,316	3,906,419	4,572,329
2018	7,533,529	5,366,274	6,278,178
2019	9,571,775	6,881,001	8,047,949
2020	11,644,937	8,450,599	9,886,132
2021	13,754,736	10,075,069	11,786,427
2022	15,900,797	11,754,410	13,751,068
2023	18,082,799	13,488,623	15,778,316
2024	20,303,500	15,277,707	17,877,401
2025	22,568,276	17,121,663	20,042,857
2026	24,879,191	19,020,490	22,274,059
2027	27,236,684	20,974,189	24,566,090
2028	29,642,423	22,982,760	26,921,151
2029	32,096,200	25,046,202	29,341,570
2030	34,599,993	27,164,516	31,822,230
2031	37,153,730	29,337,701	34,371,290
2032	39,759,755	31,565,757	36,985,956
2033	42,418,342	33,848,686	39,665,969
2034	45,130,800	36,186,486	42,410,934

*Tabla 5. 8 ESAL's acumulados diseño FC*FD, medido y espectro By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.*



*Grafica 5. 12 ESAL's medido vs diseño FC*FD vs espectro By Pass Sonsonate*
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

La Grafica 5. 12 ESAL's medido vs diseño FC*FD vs espectro By Pass Sonsonate es la más real que se puede presentar de acuerdo a lo que está sucediendo en el tramo. Siendo la línea verde la mejor representación ya que considera tráfico real medido, factores de dirección y carril medidos, pesos en base a espectro de carga y no en base a pesos teóricos. Por lo tanto, a nuestro criterio, la línea verde es lo que actualmente está ocurriendo en el pavimento y esto nos indica que para el año 2022 de la medición ya se lleva un 39% del ESAL's de diseño y para el 2029, año en el que el pavimento cumpliría su vida útil de diseño, el pavimento tendría el 91% de sus ejes para los cuales fue diseñado.

5.2.3 ANALISIS DE NIVELES DE SERVICIO

El análisis de niveles de servicio se ha realizado para el año de medición de tráfico en este tramo que fue en el año 2022, para el año 2024 que el proyecto tiene 10 años de haberse construido y para el 2034 que es el año que el diseñador lo calculó, lo anterior para poder realizar la comparación del nivel de servicio en los mismos años.

Durante la medición de tráfico también se midió la velocidad de cada uno de los vehículos y se calculó la velocidad promedio para el año de medición. Para el resto de los años se ha considerado una tendencia lineal, partiendo de la velocidad al año cero y la velocidad medida en el año 2022.

En la Tabla 5. 9 Velocidades promedio medidas, Tramo I By Pass Sonsonate, se presentan las velocidades promedio medidas en el Tramo I.

En la Tabla 5. 10 Velocidades por año, Tramo I By Pass Sonsonate, se presenta la proyección de las velocidades proyectadas a los años 2024 y 2034.

VELOCIDAD PROMEDIO MEDIDA					
T1	81.95	LD	82.5	CE	78.8
				CI	86.2
		LI	81.4	CI	87.5
				CE	75.3

*Tabla 5. 9 Velocidades promedio medidas, Tramo I By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia*

VELOCIDADES POR TRAMO EN EL TIEMPO					
AÑO / TRAMO	2013	2022	2024	2034	Formula utilizada
TRAMO 1 LATERAL DERECHO	95	82.5	79.67	65.78	Vel = -1.3889*Año + 2890.8
TRAMO 1 LATERAL IZQUIERDO	95	81.4	78.43	63.32	Vel = -1.5111*Año + 3136.9

*Tabla 5. 10 Velocidades por año, Tramo I By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia*

El factor de hora pico es clave para el cálculo del nivel de servicio, el cual lo calculamos en base la información bajada del sistema del equipo de medición.

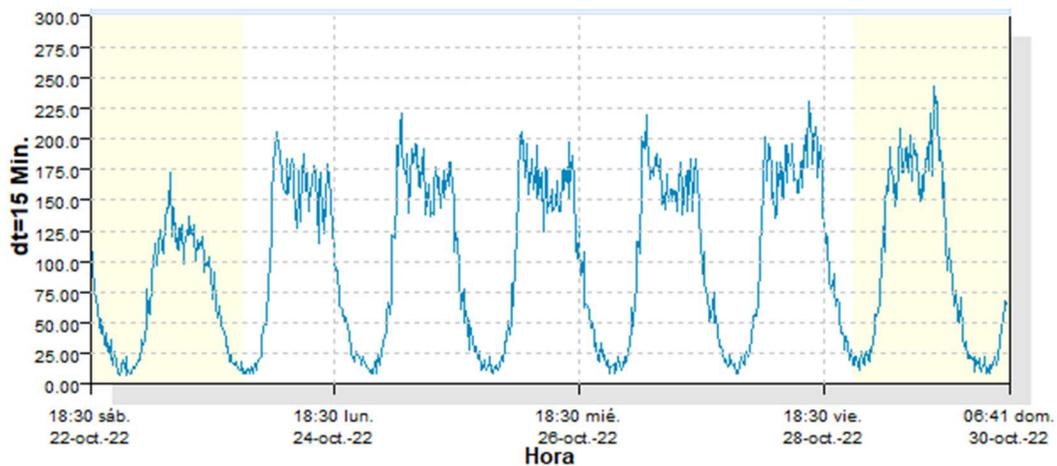
Se presentan las gráficas para cada sentido, donde se muestra la cantidad de vehículos por cada 15 minutos para todos los días de medición.

Lateral Derecho:

Los resultados de las mediciones realizadas en el Tramo I, Lateral Derecho pueden observarse en la Tabla 5. 11 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo I By Pass Sonsonate y en la Grafica 5. 13 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo I By Pass Sonsonate.

HORA PICO	920
15 MIN PICO	242
FHP	0.950

*Tabla 5. 11 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo I By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia*

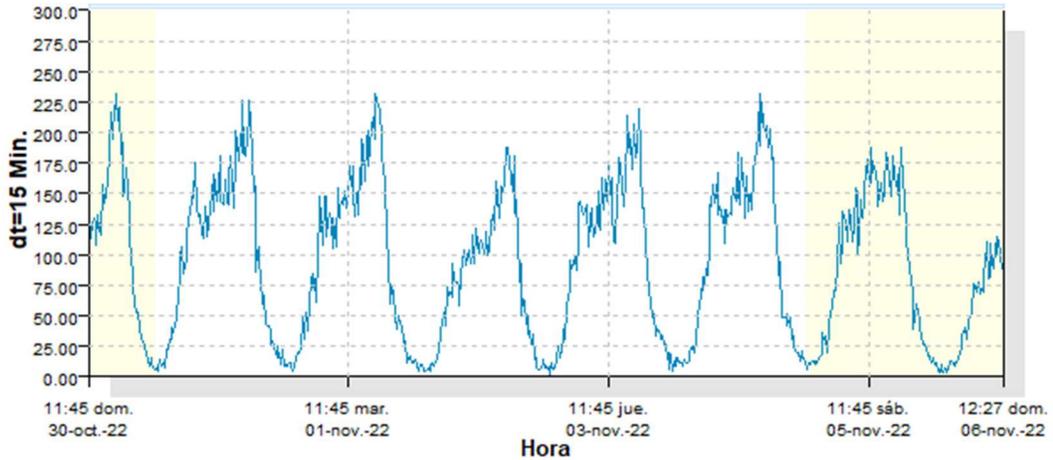


*Grafica 5. 13 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo I By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia*

Los resultados de las mediciones realizadas en el Tramo I, Lateral Izquierdo pueden observarse en la Tabla 5. 12 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo I By Pass Sonsonate y en la Grafica 5. 14 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo I By Pass Sonsonate.

HORA PICO	859
15 MIN PICO	227
FHP	0.946

Tabla 5. 12 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo I By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia



Grafica 5. 14 Cantidad de vehiculos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo I By Pass Sonsonate
Fuente: Creación propia

Se ha hecho un análisis del nivel de servicio del Tramo I, ambos laterales, para los años 2022, 2024 y 2034, hechos respectivamente en la Imagen 5. 2 Calculo de niveles de servicio, Tramo I By Pass Sonsonate, Lateral Derecho e Izquierdo año 2022, Imagen 5. 3 Calculo de niveles de servicio, Tramo I By Pass Sonsonate, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024, e Imagen 5. 4 Calculo de niveles de servicio, Tramo I By Pass Sonsonate, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO I - BY PASS SONSONATE

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Lane width	3.60	m	3.60	m
Lateral clearance				
Right edge	1.80	m	1.80	m
Left edge	0.30	m	0.30	m
Total lateral clearance	2.10	m	2.10	m
Median type	Divided		Divided	
Free-flow speed (FFS) Measure	82.50	km/h	81.40	km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Volume, V	920	veh/hour	859	veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.95		0.95	
Peak 15-minute volume, v15	242		227	
Trucks and buses, PT	18.4%		22.4%	
Recreational vehicles, PR	9.4%		9.1%	
Terrain type	Level		Level	
Grade	0.0	%	0.0	%
Segment length	0.00	km	0.00	km
Number of lanes	2		2	
Driver population adjustment, Fp	1		1	
Trucks and buses PCE, ET	1.5		1.5	
Recreational vehicles PCE, ER	1.2		1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.900		0.885	
Flow rate, vp	538	veh/hour/lane	514	veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Flow rate, vp	538	veh/hour/lane	514	veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Measure	82.50	km/h	81.40	km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	82.50	km/h	81.40	km/h
Level of service, LOS	A		A	
Density, D	6.5	veh/km/lane	6.3	veh/km/lane

*Imagen 5. 2 Calculo de niveles de servicio, Tramo I By Pass Sonsonate, Lateral Derecho e Izquierdo año 2022
Fuente: Creación propia*

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO I - BY PASS SONSONATE

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO	LATERAL IZQUIERDO
Lane width	3.60 m	3.60 m
Lateral clearance		
Right edge	1.80 m	1.80 m
Left edge	0.30 m	0.30 m
Total lateral clearance	2.10 m	2.10 m
Median type	Divided	Divided
Free-flow speed (FFS) Estimada	79.67 km/h	78.43 km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO	LATERAL IZQUIERDO
Volume, V	981 veh/hour	916 veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.95	0.95
Peak 15-minute volume, v15	258	242
Trucks and buses, PT	18.4%	22.4%
Recreational vehicles, PR	9.4%	9.1%
Terrain type	Level	Level
Grade	0.0 %	0.0 %
Segment length	0.00 km	0.00 km
Number of lanes	2	2
Driver population adjustment, Fp	1	1
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5
Recreational vehicles PCE, ER	1.2	1.2
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.900	0.885
Flow rate, vp	574 veh/hour/lane	548 veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO	LATERAL IZQUIERDO
Flow rate, vp	574 veh/hour/lane	548 veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Estimada	79.67 km/h	78.43 km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	79.67 km/h	78.43 km/h
Level of service, LOS	B	B
Density, D	7.2 veh/km/lane	7.0 veh/km/lane

*Imagen 5. 3 Calculo de niveles de servicio, Tramo I By Pass Sonsonate, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024
Fuente: Creación propia*

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO I - BY PASS SONSONATE

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Lane width	3.60	m	3.60	m
Lateral clearance				
Right edge	1.80	m	1.80	m
Left edge	0.30	m	0.30	m
Total lateral clearance	2.10	m	2.10	m
Median type	Divided		Divided	
Free-flow speed (FFS) Estimada	65.78	km/h	63.32	km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Volume, V	1281	veh/hour	1196	veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.95		0.94	
Peak 15-minute volume, v15	337		317	
Trucks and buses, PT	18.4%		22.4%	
Recreational vehicles, PR	9.4%		9.1%	
Terrain type	Level		Level	
Grade	0.0	%	0.0	%
Segment length	0.00	km	0.00	km
Number of lanes	2		2	
Driver population adjustment, Fp	1		1	
Trucks and buses PCE, ET	1.5		1.5	
Recreational vehicles PCE, ER	1.2		1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.900		0.885	
Flow rate, vp	749	veh/hour/lane	717	veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Flow rate, vp	749	veh/hour/lane	717	veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Estimada	65.78	km/h	63.32	km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	65.78	km/h	63.32	km/h
Level of service, LOS	C		C	
Density, D	11.4	veh/km/lane	11.3	veh/km/lane

*Imagen 5. 4 Calculo de niveles de servicio, Tramo I By Pass Sonsonate, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034
Fuente: Creación propia*

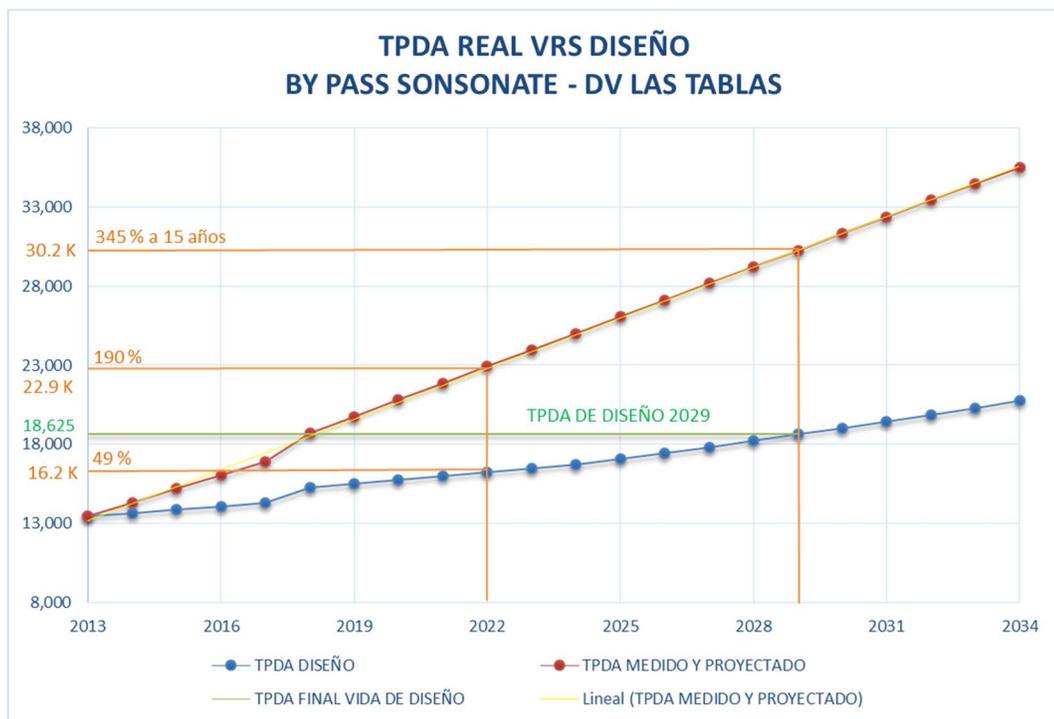
5.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS TRAMO II – BY PASS SONSONATE – DV. LAS TABLAS

Las mediciones en este tramo fueron realizadas entre el 6 y 13 de noviembre del 2022 en el lateral derecho sin zafra, entre el 14 y el 20 de noviembre en el lateral izquierdo sin zafra y entre el 21 y el 27 de noviembre en el lateral izquierdo con zafra.

Sin presencia de lluvia en los días de la instalación y desinstalación del aparato de medición de tráfico.

5.3.1 ANALISIS DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)

Para poder hacer una comparación entre lo proyectado por el diseño y lo medido en campo en el año 2022, se ha elaborado la Grafica 5. 15 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo II, By Pass - Sonsonate - Dv. Las Tablas.



Grafica 5. 15 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo II, By Pass - Sonsonate - Dv. Las Tablas

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

Además, en la misma Grafica 5. 15 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo II, By Pass - Sonsonate - Dv. Las Tablas se observa una brecha importante entre el tráfico de diseño y el que se midió. Realizando la comparación para el año de medición, se tiene una cantidad de vehículos que llega al 190% del TPDA proyectado para el año 2029, es decir, ya sobrepasó la cantidad de vehículos que se había estimado en el diseño para su vida útil casi por el doble.

Para el 2029, se tendrá un 345% del tráfico que se había proyectado en el diseño, por lo que se verá afectado directamente el nivel de servicio de la vía, el cual detallamos adelante en este mismo capítulo.

La variación principal se encuentra en el número de vehículos livianos, ya que estos representan al 2022 un 43% del total de vehículos, cuando en el diseño se había proyectado un 36% para este mismo año.

Se realizaron mediciones de tráfico en condiciones sin zafra y con zafra, lo que nos ha permitido tener una medida más precisa de lo que en realidad está circulando en la vía. Es por eso que podemos diferenciar los meses que no están afectados por la zafra y los meses que sí.

Hemos realizado, además, la medición de la cantidad de motos que circulan en el tramo, revisando que estas representan un 13% del total de vehículos que circulan en la zona, esta medición es importante ya que la cantidad de motos afecta la velocidad del resto de los vehículos y por consiguiente el nivel de servicio de la vía.

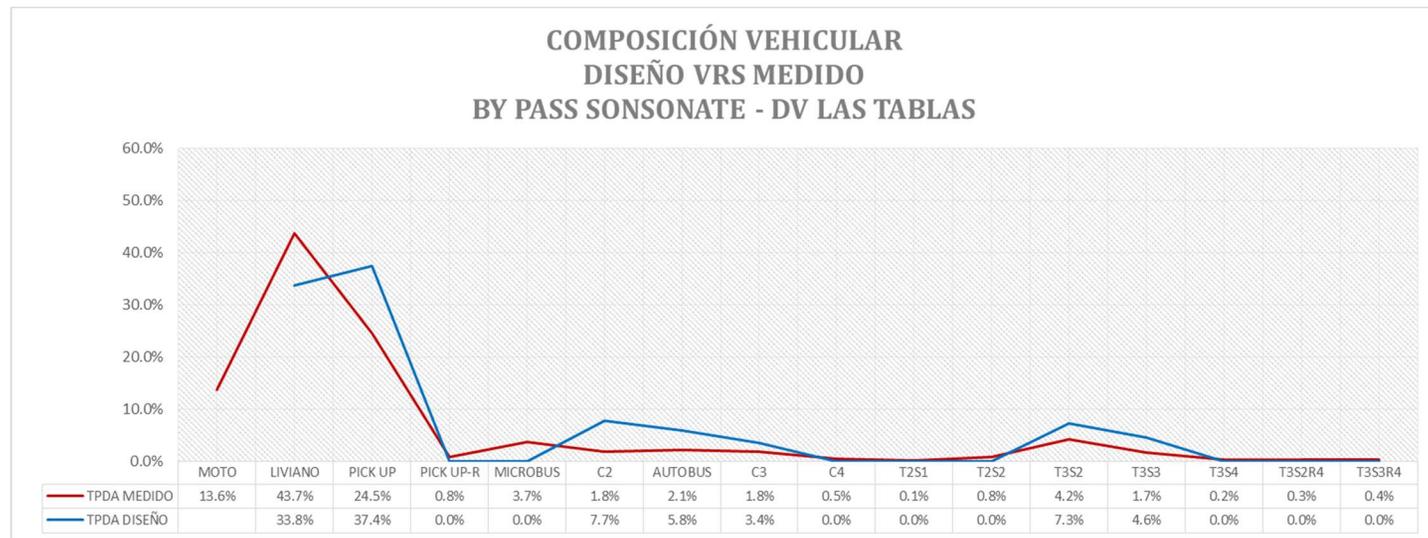
Nótese en la Grafica 5. 16 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, una marcada diferencia (mayor para en los datos de diseño) entre la cantidad de camiones C2 y autobuses, lo que posteriormente se verá reflejado en el cálculo de los ejes equivalentes.

El detalle en cuanto a cantidades y porcentajes los podemos apreciar en la Tabla 5. 13 TPDA medido 2022, Tramo II By Pass Sonsonate- Dv. La Tablas y

en la Grafica 5. 16 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo II By
Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas

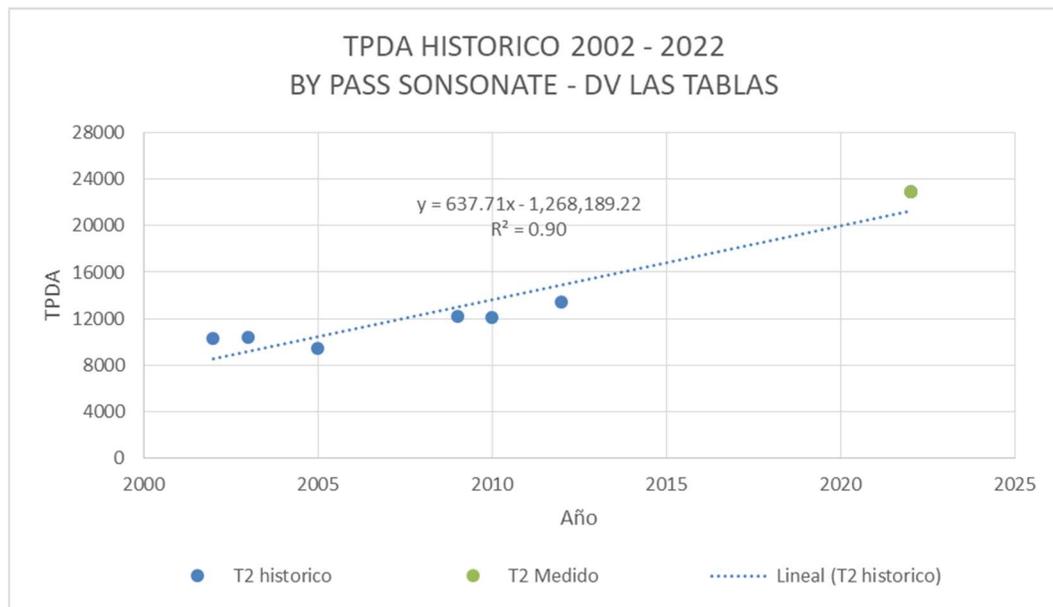
MES	FACTOR MENSUAL	MOTOS	LIVIANO	PICK UP	PICK UP-R	MICROBUS	C2	AUTOBUS	C3	C4	T2S1	T2S2	T3S2	T3S3	T3S4	T3S2R4	T3S3R4	TOTAL SIN MOTOS	TOTAL CON MOTOS
ENERO	0.9485	3393	12064	5724	219	684	453	523	456	150	16	201	1073	490	116	88	94	22351	25744
FEBRERO	0.9665	3458	12293	5832	223	697	462	533	464	153	16	204	1094	499	118	89	96	22773	26231
MARZO	0.9552	3417	12150	5764	220	689	456	527	459	151	16	202	1081	493	117	88	95	22508	25925
ABRIL	0.9409	3366	11968	5678	217	679	449	519	452	149	16	199	1065	486	115	87	94	22173	25539
MAYO	1.0218	3687	11035	6923	191	1151	477	568	494	128	16	204	1104	399	16	68	93	22867	26554
JUNIO	1.0493	3786	11332	7110	196	1182	489	583	507	132	16	209	1134	410	16	70	96	23482	27268
JULIO	1.1016	3975	11897	7464	205	1241	514	612	533	138	17	220	1190	430	17	73	101	24652	28627
AGOSTO	1.0306	3719	11130	6983	192	1161	481	572	498	129	16	206	1114	402	16	69	94	23063	26782
SEPTIEMBRE	1.0515	3794	11356	7124	196	1184	490	584	508	132	16	210	1136	411	16	70	96	23529	27323
OCTUBRE	1.0420	3760	11253	7060	194	1174	486	579	504	131	16	208	1126	407	16	69	95	23318	27078
NOVIEMBRE	1.0183	3675	10997	6899	190	1147	475	566	492	128	16	203	1100	398	16	68	93	22788	26463
DICIEMBRE	0.9060	3241	11524	5467	209	654	433	500	435	144	15	192	1025	468	111	84	90	21351	24592
TPDA		3606	11584	6503	205	971	473	556	484	139	16	205	1104	442	58	77	95	22912	26518
CON ZAFRA						SIN ZAFRA													

Tabla 5. 13 TPDA medido 2022, Tramo II By Pass Sonsonate- Dv. La Tablas
Fuente: Creación propia

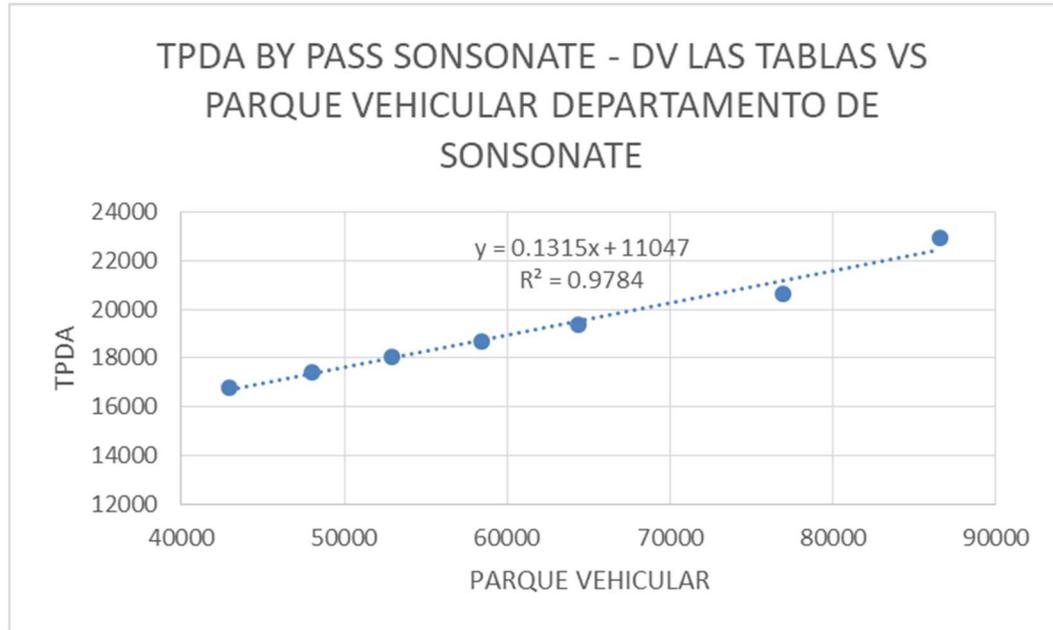


Gráfica 5. 16 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

Además del análisis anterior, se realizan dos graficas más para lograr tener una correlación entre el TPDA y el parque vehicular, la primera es la Grafica 5. 17 TPDA Histórico 2002 – 2022 By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas donde utilizamos los datos históricos del TPDA y el dato medido en esta investigación en el año 2022, obteniendo así una ecuación de la línea de tendencia con un valor de coeficiente de determinación de 0.90, lo que indica que es una ecuación muy confiable. Esa ecuación la utilizamos para posteriormente generar la Grafica 5. 18 TPDA By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas vs parque vehicular departamento de Sonsonate en la que correlacionamos el TPDA y parque vehicular, obteniendo así una fórmula que describe esta correlación con un valor de coeficiente de determinación de 0.97 lo que indica que es una ecuación muy confiable, concluyendo con esto que para hacer proyecciones de TPDA podemos utilizar el parque vehicular que actualmente se encuentra actualizado y se espera que siga estándolo para que futuros diseñadores lo puedan adoptar.



Grafica 5. 17 TPDA Histórico 2002 – 2022 By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas
Fuente: creación propia con información histórica de TPDA tomada del Contrato CO-148/2013 y medición propia para el año 2022.



Gráfica 5. 18 TPDA By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas vs parque vehicular departamento de Sonsonate
Fuente: creación propia con información histórica de TPDA tomada del Contrato CO-148/2013, medición propia para el año 2022 y parque vehicular tomado de <https://observatoriovial.fonat.gob.sv/parque-vehicular/>

5.3.2 ANALISIS EJES EQUIVALENTES (ESAL´s)

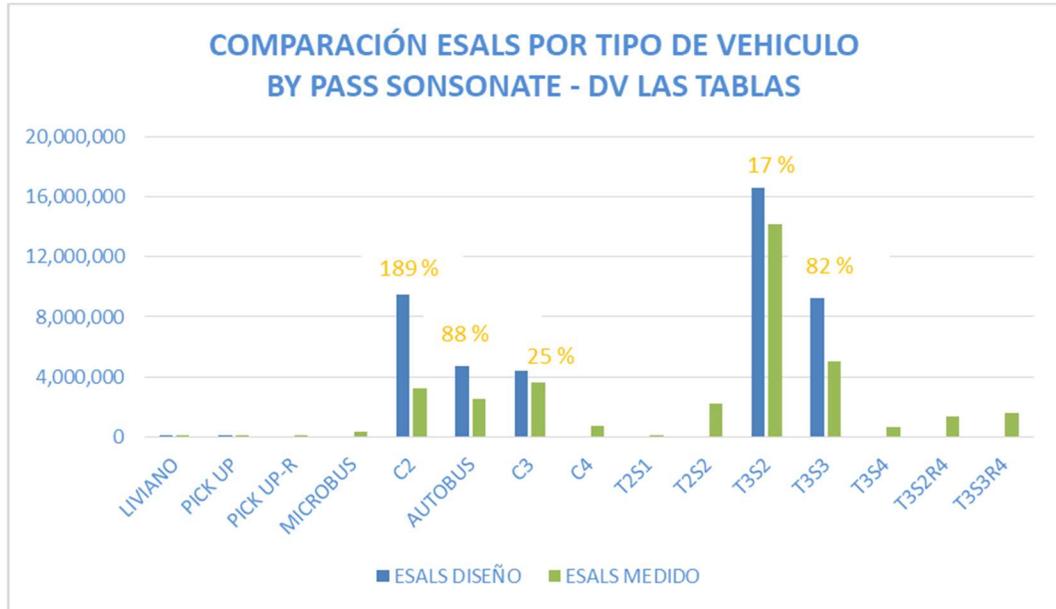
En la Tabla 5. 14 ESAL´s acumulados de diseño y medidos, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas detallada adelante, se hace una comparación entre los ESAL´s de diseño y los medidos en el año 2022, y proyectados para los años posteriores.

Este análisis se hace desde el año 2015, año del diseño y el año 2034, para ser congruente con los documentos de diseño.

ESALS ACUMULADOS		
AÑO	ESAL DISEÑO	ESAL MEDIDO
2015	1,791,412	1,068,586
2016	3,614,196	2,198,190
2017	5,468,739	3,388,814
2018	7,451,847	4,704,436
2019	9,469,365	6,093,873
2020	11,522,087	7,557,125
2021	13,611,080	9,094,192
2022	15,736,373	10,705,074
2023	17,899,157	12,389,771
2024	20,100,677	14,148,282
2025	22,345,699	15,980,609
2026	24,636,233	17,886,750
2027	26,972,732	19,866,707
2028	29,354,753	21,920,478
2029	31,785,057	24,048,064
2030	34,264,087	26,249,465
2031	36,792,392	28,524,681
2032	39,369,950	30,873,712
2033	42,000,056	33,296,558
2034	44,681,666	35,793,218

*Tabla 5. 14 ESAL's acumulados de diseño y medidos, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.*

Se realizó el análisis de ESAL's por cada tipo de vehículo para analizar cuáles son los vehículos que más incidencia tienen en el valor de los ESAL's.



Grafica 5. 19 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En la Grafica 5. 19 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, podemos observar cómo varía la cantidad de ejes equivalentes calculados en base a la medición respecto al de diseño, teniendo en su mayoría valores más altos en el diseño, esto afectado por el número de vehículos C2, Autobuses, T3S2 y T3S3 considerados, que actualmente en la medición representan valores más bajos que los descritos en el diseño.

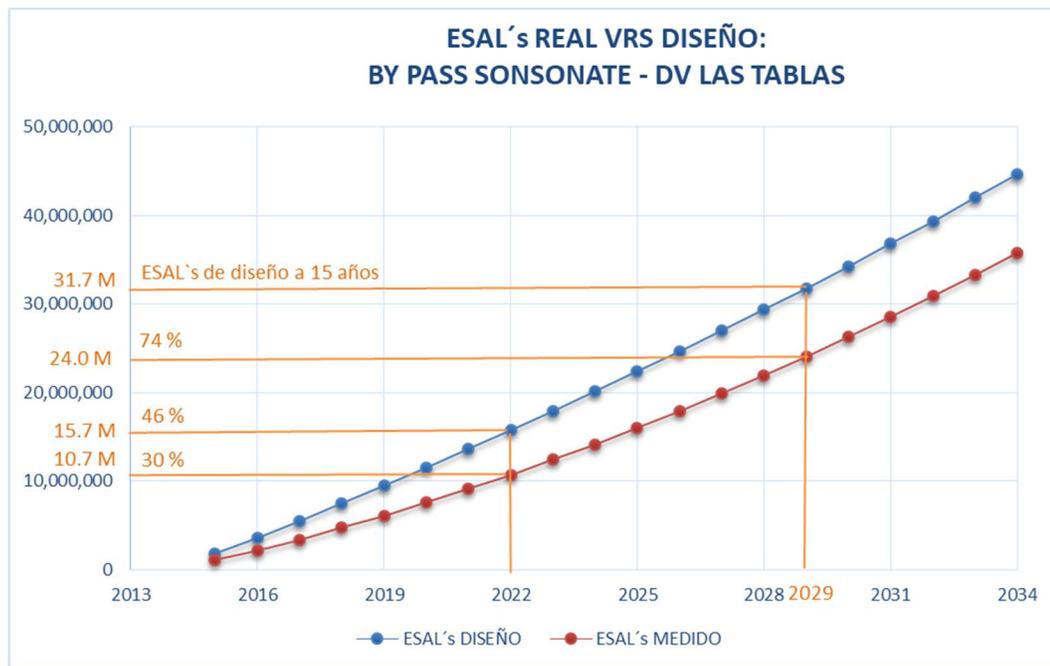
Para el cálculo de los ESAL´s es importante obtener el valor de los factores de dirección y factor carril, lo cuales detallamos en la Tabla 5. 15 Factor de dirección y factor de carril, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas.

CON ZAFRA	
FACTOR DIRECCIÓN	50.05%
FACTOR CARRIL	69.80%
FC*FD	34.93%
SIN ZAFRA	
FACTOR DIRECCIÓN	55.73%
FACTOR CARRIL	60.95%
FC*FD	33.97%
FC*FD PROM PONDERADO	34.37%

CONSIDERANDO 5 MESES CON ZAFRA Y 7 MESES SIN ZAFRA

Tabla 5. 15 Factor de dirección y factor de carril, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia

Es importante resaltar, que los factores calculados son en base a ejes equivalentes. El diseñador en este caso utilizó Factor Dirección de 50% y Factor Carril del 80%, cuyo producto que es el que afecta finalmente a los ejes equivalentes es de $80\% \times 50\% = 40\%$, valor que representa una diferencia del 5.63 puntos porcentuales.



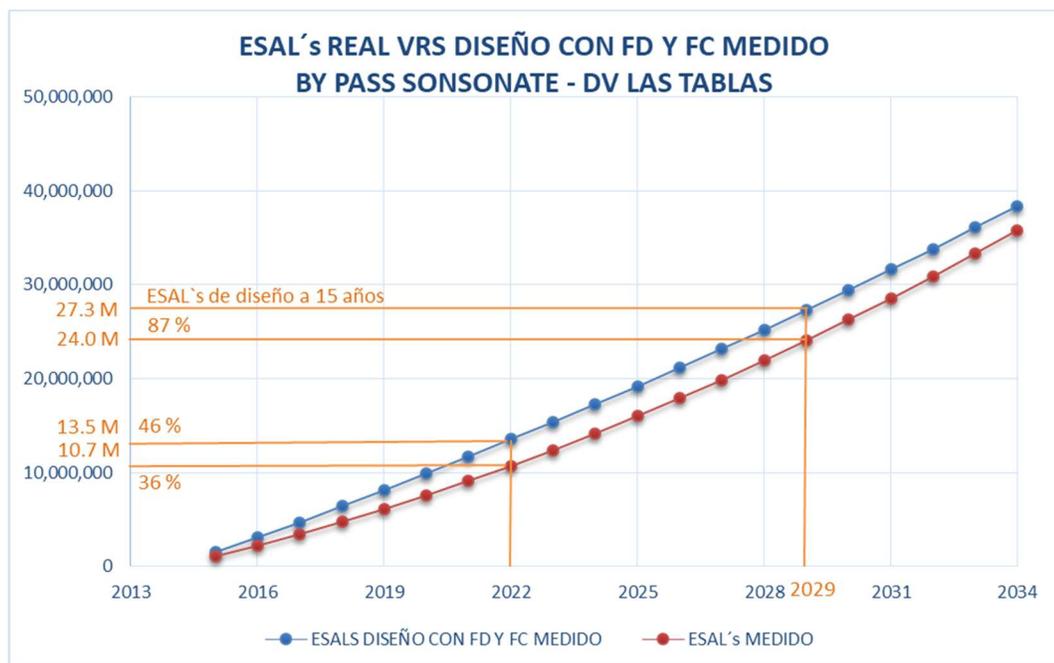
Grafica 5. 20 ESAL's medidos vs ESAL's de diseño, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En esta Grafica 5. 20 ESAL's medidos vs ESAL's de diseño, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, se observa que los ESAL's de diseño son mayores

a los ESAL's medidos. Realizando una comparación para el 2022, se tiene un 30% de ejes equivalentes en la vía y según el diseño debió haber 46%, para el 2029 el pavimento tendría un 74% de los ejes equivalentes bajos los cuales se diseñó este tramo. Esto es una ventaja para la estructura ya que no estaría alcanzando su total de ejes para cuales se diseñó y esto debería traducirse a mayor vida del pavimento.

En la misma Grafica 5. 20 ESAL's medidos vs ESAL's de diseño, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, se consideran para el diseño los factores de dirección y carril mismos utilizados en el diseño.

Adicionalmente realizamos una corrida utilizando los valores de los factores, obtenidos por nuestras mediciones de tráfico y posteriores análisis. Se observa la diferencia mostrada en la Grafica 5. 21 ESAL's real vrs ESAL's de diseño con FC y FD calculados, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas.



Grafica 5. 21 ESAL's real vrs ESAL's de diseño con FC y FD calculados, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas
 Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

Se observa que con los factores dirección y carril reales, la diferencia se hace mucho menor y para el 2029 el valor se acerca más al valor de diseño, pasando del 74% al 87%.

Luego de hacer el análisis de los ejes equivalentes de diseño, los medidos en esta investigación y los de diseño utilizando los factores reales de distribución por carril y dirección, viene la siguiente parte en la que realizamos un análisis mucho más real, ya que ahora se incorpora el análisis de los daños considerando el espectro de carga. Dadas las condiciones de cualquier vía, los vehículos pasan con pesos diferentes a los que están regulados, ya sea con una carga mayor o menor, siendo eso lo que describe un espectro de carga.

Al igual que para el tramo I, se realiza el mismo análisis de la matriz TPDA – LEF – Espectro, y en base a la Grafica 5. 10 % Peso vs % Daño de vehículos obtenemos los siguientes resultados.

De la Tabla 5. 16 Cantidad de ejes por año, By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas se realiza la conversión de tipo de vehículos a cantidad de ejes de cada tipo, sencillos, sencillo direccional, tándem, trídem y cuádruple, quedando de la siguiente manera:

EJES					
EJE	SENCILLO	SENCILLO DUAL	TANDEM	TRIDEM	CUADRUPLE
2015	27469	1348	2647	584	38
2016	29037	1425	2798	618	41
2017	30606	1502	2949	651	43
2018	33819	1660	3259	720	47
2019	35717	1753	3442	760	50
2020	37614	1846	3624	800	53
2021	39512	1939	3807	841	55
2022	41409	2032	3990	881	58
2023	43306	2125	4173	921	61
2024	45204	2218	4356	962	63
2025	47101	2311	4538	1002	66
2026	48999	2404	4721	1042	69
2027	50896	2498	4904	1083	71
2028	52794	2591	5087	1123	74
2029	54691	2684	5270	1164	77
2030	56589	2777	5453	1204	79
2031	58486	2870	5635	1244	82
2032	60384	2963	5818	1285	85
2033	62281	3056	6001	1325	87
2034	64179	3149	6184	1365	90
Total 2015 - 2034	920093	45151	88656	19575	1289

*Tabla 5. 16 Cantidad de ejes por año, By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia*

Luego de tener la cantidad de ejes por año y tomando en cuenta la distribución de cada espectro por eje, se calculan los LEF para cada carga del espectro. En la Tabla 5. 17 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje sencillo dual se deja una muestra de cómo se calcula el LEF para un eje sencillo dual y para un año, haciendo esto mismo posteriormente para cada eje y cada año, dando como resultado la Tabla 5. 18 LEF y ESAL por año y por eje By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas.

SENCILLO DUAL		LEF 1.50616		y = 0.9969x0.2389 R² = 0.9999						
ESPECTRO						CALCULO DE LEF			2015	
CORR	LIMITE INFERIOR (KG)	LIMITE SUPERIOR (KG)	VALOR MEDIO (TON)	CANTIDAD DE VEHICULOS	PORCENTAJE	% PESO PERMITIDO	% LEF	LEF EQQ	EJES	LEF EQQ * EJES
1	0	1,000	0.50	1.00	0.0203%	6%	0.001%	0.00001	0	0.0000
2	1,000	2,000	1.50	0.00	0.0000%	17%	0.055%	0.00084	0	0.0000
3	2,000	3,000	2.50	19.00	0.3861%	28%	0.471%	0.00709	5	0.0354
4	3,000	4,000	3.50	60.00	1.2193%	39%	1.925%	0.02899	16	0.4639
5	4,000	5,000	4.50	252.00	5.1209%	50%	5.512%	0.08301	69	5.7280
6	5,000	6,000	5.50	253.00	5.1412%	61%	12.767%	0.19229	69	13.2678
7	6,000	7,000	6.50	269.00	5.4664%	72%	25.690%	0.38693	74	28.6331
8	7,000	8,000	7.50	486.00	9.8760%	83%	46.764%	0.70433	133	93.6764
9	8,000	9,000	8.50	897.00	18.2280%	94%	78.966%	1.18936	246	292.5814
10	9,000	10,000	9.50	1,461.00	29.6891%	106%	125.787%	1.89456	400	757.8232
11	10,000	11,000	10.50	902.00	18.3296%	117%	191.240%	2.88037	247	711.4523
12	11,000	12,000	11.50	114.00	2.3166%	128%	279.869%	4.21527	31	130.6735
13	12,000	13,000	12.50	60.00	1.2193%	139%	396.765%	5.97592	16	95.6147
14	13,000	14,000	13.50	83.00	1.6866%	150%	547.571%	8.24729	23	189.6877
15	14,000	15,000	14.50	33.00	0.6706%	161%	738.491%	11.12285	9	100.1057
16	15,000	16,000	15.50	17.00	0.3455%	172%	976.299%	14.70462	5	73.5231
17	16,000	17,000	16.50	12.00	0.2439%	183%	1268.347%	19.10333	3	57.3100
18	17,000	18,000	17.50	1.00	0.0203%	194%	1622.571%	24.43852	0	0.0000
19	18,000	19,000	18.50	0.00	0.0000%	206%	2047.499%	30.83861	0	0.0000
20	19,000	20,000	19.50	0.00	0.0000%	217%	2552.257%	38.44107	0	0.0000
21	20,000	21,000	20.50	0.00	0.0000%	228%	3146.574%	47.39244	0	0.0000
22	21,000	22,000	21.50	0.00	0.0000%	239%	3840.790%	57.84845	0	0.0000
23	22,000	23,000	22.50	1.00	0.0203%	250%	4645.862%	69.97412	0	0.0000
									1346	2550.5763

Tabla 5. 17 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje sencillo dual
Fuente: Creación propia

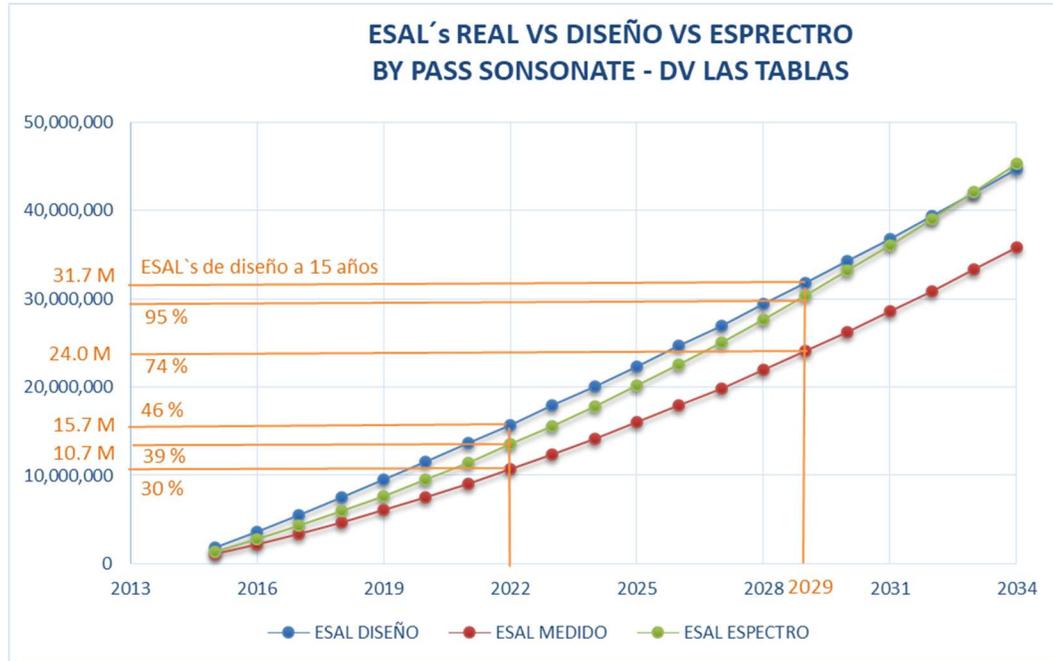
LOAD EQUIVALENT FACTOR						F. DIRECCION X F.CARRIL	34.37%
EJE	SENCILLO	SENCILLO DUAL	TANDEM	TRIDEM	CUADRUPLE	ESALS	ESALS ACUMULADOS
2015	3026	2551	4284	784	62	1,343,141	1,343,141
2016	3194	2693	4535	827	67	1,419,646	2,762,788
2017	3360	2843	4777	873	71	1,495,808	4,258,596
2018	3777	3142	5274	967	77	1,660,631	5,919,226
2019	3976	3319	5567	1021	82	1,751,867	7,671,093
2020	4193	3497	5877	1074	87	1,847,561	9,518,654
2021	4395	3686	6183	1127	90	1,942,009	11,460,662
2022	4596	3850	6479	1181	95	2,032,351	13,493,013
2023	4810	4016	6769	1232	100	2,123,472	15,616,485
2024	5015	4196	7070	1299	103	2,218,394	17,834,879
2025	5229	4380	7356	1356	108	2,311,932	20,146,811
2026	5429	4554	7656	1408	113	2,403,738	22,550,549
2027	5631	4830	7944	1462	116	2,507,010	25,057,559
2028	5848	4997	8244	1515	121	2,599,877	27,657,436
2029	6075	5182	8560	1573	126	2,699,040	30,356,476
2030	6277	5368	8845	1626	130	2,790,820	33,147,296
2031	6492	5523	9149	1684	134	2,883,056	36,030,353
2032	6695	5702	9450	1740	139	2,976,490	39,006,843
2033	6911	5877	9750	1796	143	3,070,525	42,077,367
2034	7111	6062	10046	1846	148	3,162,904	45,240,272
Total 2015 - 2034	102040	86267	143814	26392	2114	45,240,272	

Tabla 5. 18 LEF y ESAL por año y por eje By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia

Posteriormente realizamos la comparación de ESAL's incorporando ahora este nuevo cálculo considerando los espectros. En la Tabla 5. 19 ESAL's acumulados diseño, medido y espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas, se puede observar las variables mencionadas, para cada uno de los años.

ESALS ACUMULADOS			
AÑO	ESAL DISEÑO	ESAL MEDIDO	ESAL ESPECTRO
2015	1,791,412	1,068,586	1,343,141
2016	3,614,196	2,198,190	2,762,788
2017	5,468,739	3,388,814	4,258,596
2018	7,451,847	4,704,436	5,919,226
2019	9,469,365	6,093,873	7,671,093
2020	11,522,087	7,557,125	9,518,654
2021	13,611,080	9,094,192	11,460,662
2022	15,736,373	10,705,074	13,493,013
2023	17,899,157	12,389,771	15,616,485
2024	20,100,677	14,148,282	17,834,879
2025	22,345,699	15,980,609	20,146,811
2026	24,636,233	17,886,750	22,550,549
2027	26,972,732	19,866,707	25,057,559
2028	29,354,753	21,920,478	27,657,436
2029	31,785,057	24,048,064	30,356,476
2030	34,264,087	26,249,465	33,147,296
2031	36,792,392	28,524,681	36,030,353
2032	39,369,950	30,873,712	39,006,843
2033	42,000,056	33,296,558	42,077,367
2034	44,681,666	35,793,218	45,240,272

Tabla 5. 19 ESAL's acumulados diseño, medido y espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.



Grafica 5. 22 ESAL's medido vs diseño vs espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas

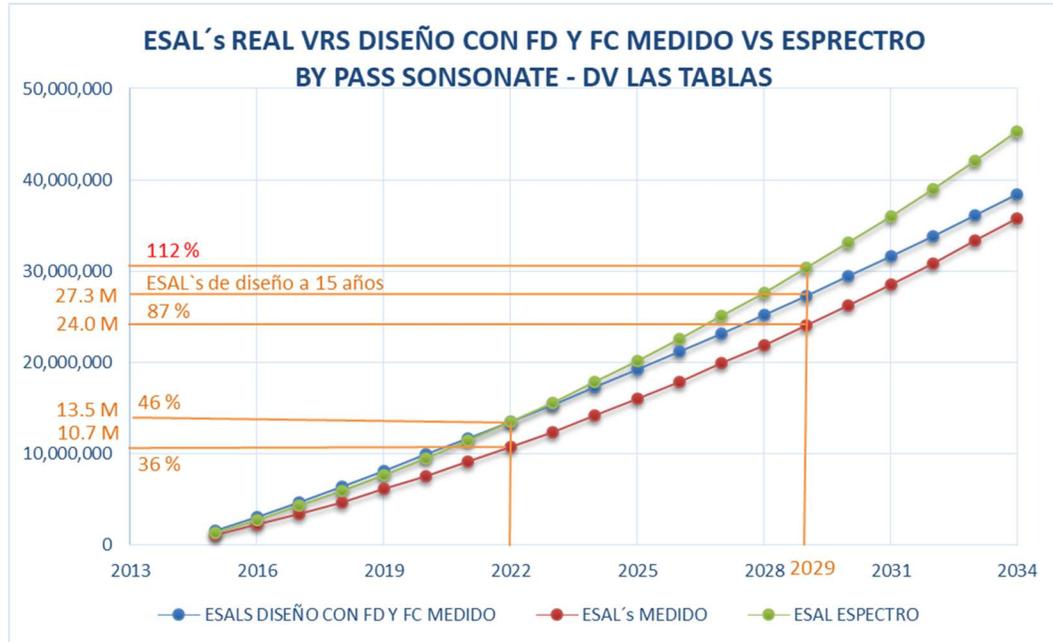
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En la Grafica 5. 22 ESAL's medido vs diseño vs espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas se observa que la línea que representa el cálculo con base al espectro, se acerca mucho más a valores del diseño ya que esta es más realista en términos de pesos, indicando que para el 2029, año en el que el pavimento cumple su vida de diseño, llegaría a un 95% de sus ESAL's proyectados por el diseñador. Además, para hacer un análisis más exacto hacemos también la corrida con los datos de diseño, pero con los factores reales de carril y dirección, esto arrojándonos datos más interesantes ya que es lo que en realidad está pasando en la vía.

En la Tabla 5. 20 ESAL's acumulados diseño $FC \cdot FD$, medido y espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas, se introducen las variables del Factor Carril y Factor de Dirección, que fueron medidos directamente en la presente investigación.

ESALS ACUMULADOS CON FD Y FC MEDIDOS			
AÑO	ESALS DISEÑO CON FD Y FC MEDIDO	ESAL MEDIDO	ESAL ESPECTRO
2015	1,539,255	1,068,586	1,343,141
2016	3,105,465	2,198,190	2,762,788
2017	4,698,964	3,388,814	4,258,596
2018	6,402,931	4,704,436	5,919,226
2019	8,136,466	6,093,873	7,671,093
2020	9,900,248	7,557,125	9,518,654
2021	11,695,196	9,094,192	11,460,662
2022	13,521,334	10,705,074	13,493,013
2023	15,379,687	12,389,771	15,616,485
2024	17,271,323	14,148,282	17,834,879
2025	19,200,338	15,980,609	20,146,811
2026	21,168,458	17,886,750	22,550,549
2027	23,176,073	19,866,707	25,057,559
2028	25,222,803	21,920,478	27,657,436
2029	27,311,020	24,048,064	30,356,476
2030	29,441,104	26,249,465	33,147,296
2031	31,613,527	28,524,681	36,030,353
2032	33,828,269	30,873,712	39,006,843
2033	36,088,165	33,296,558	42,077,367
2034	38,392,313	35,793,218	45,240,272

*Tabla 5. 20 ESAL's acumulados diseño FC*FD, medido y espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y
de la presente investigación.*



Grafica 5. 23 ESAL's medido vs diseño FC*FD vs espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas
 Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

La Grafica 5. 23 ESAL's medido vs diseño FC*FD vs espectro By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas es la más real que se puede presentar de acuerdo a lo que está sucediendo en el tramo. Siendo la línea verde la mejor representación ya que considera tráfico real medido, factores de dirección y carril medidos, pesos en base a espectro de carga y no en base a pesos teóricos. Por lo tanto, a nuestro criterio, la línea verde es lo que actualmente está ocurriendo en el pavimento y esto nos indica que para el año 2022 de la medición ya se lleva un 46% del ESAL's de diseño y para el 2029, año en el que el pavimento cumpliría su vida útil de diseño, el pavimento tendría el 122% de sus ejes para los cuales fue diseñado.

5.3.3 ANALISIS DE NIVELES DE SERVICIO

El análisis de niveles de servicio se ha realizado para el año de medición de tráfico en este tramo que fue en el año 2022, para el año 2024 que el proyecto tiene 10 años de haberse construido y para el 2034 que es el año que el

diseñador lo calculó, lo anterior para poder realizar la comparación del nivel de servicio en los mismos años.

Durante la medición de tráfico también se midió la velocidad de cada uno de los vehículos y se calculó la velocidad promedio para el año de medición. Para el resto de los años se ha considerado una tendencia lineal, partiendo de la velocidad al año cero y la velocidad medida en el año 2022.

En la Tabla 5. 21 Velocidades promedio medidas, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, se presentan las velocidades promedio medidas en el Tramo II.

En la Tabla 5. 22 Velocidades por año, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, se presenta la proyección de velocidades para los años 2024 y 2034.

VELOCIDAD PROMEDIO MEDIDA					
T2	75.2	LD	76.8	CE	72.6
				CI	81
		LI	73.6	CI	79.7
				CE	67.5

*Tabla 5. 21 Velocidades promedio medidas, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia*

VELOCIDADES POR TRAMO EN EL TIEMPO					
AÑO / TRAMO	2013	2022	2024	2034	Formula utilizada
TRAMO 2 LATERAL DERECHO	95	76.8	72.77	52.55	$Vel = -2.0222 * Año + 4165.7$
TRAMO 2 LATERAL IZQUIERDO	95	73.6	68.83	45.05	$Vel = -2.3778 * Año + 4881.5$

*Tabla 5. 22 Velocidades por año, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia*

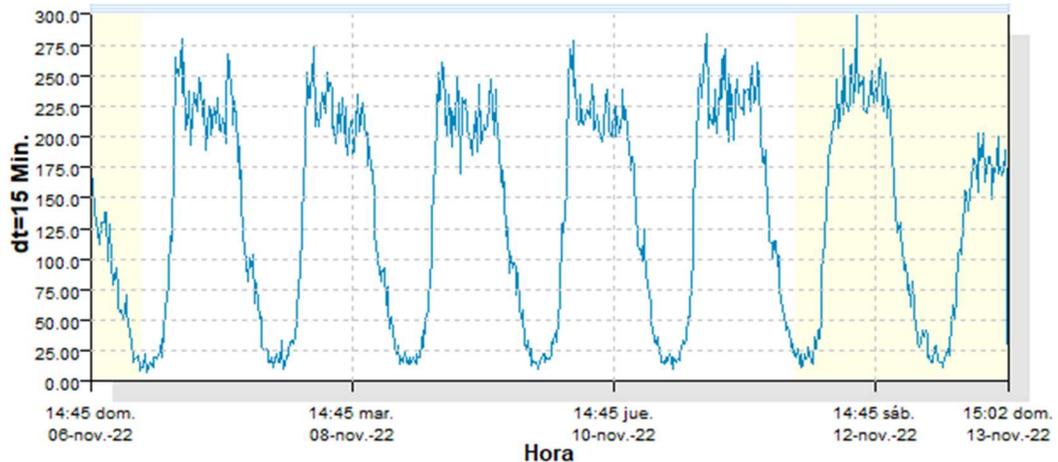
El factor de hora pico es clave para el cálculo del nivel de servicio, el cual lo calculamos en base la información bajada del sistema del equipo de medición. Se presentan las gráficas para cada sentido, donde se muestra la cantidad de vehículos por cada 15 minutos para todos los días de medición.

Lateral Derecho:

Los resultados de las mediciones realizadas en el Tramo II, Lateral derecho pueden observarse en la Tabla 5. 23 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo II By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas y en la Grafica 5. 24 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas

HORA PICO	1043
15 MIN PICO	298
FHP	0.875

*Tabla 5. 23 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo II By Pass Sonsonate - Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia*

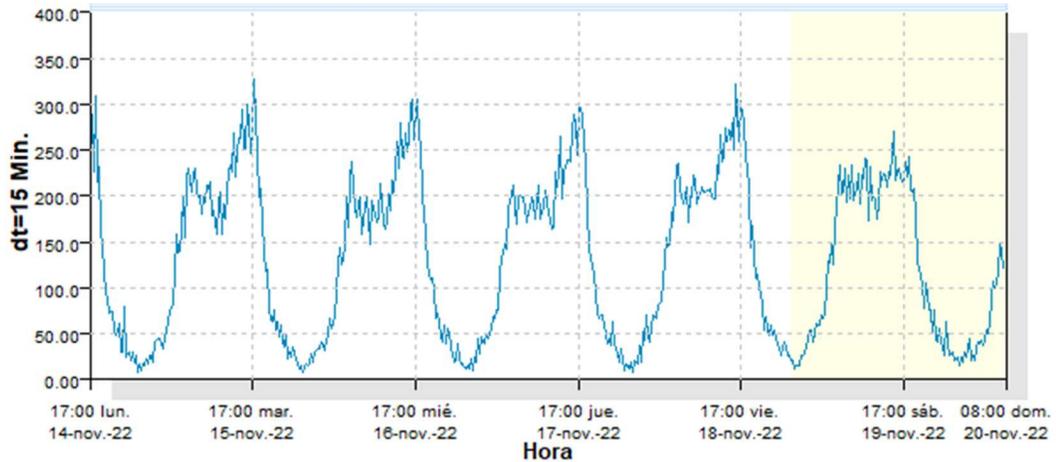


*Grafica 5. 24 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia*

Los resultados de las mediciones realizadas en el Tramo II, Lateral Izquierdo pueden observarse en la Tabla 5. 24 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo II By Pass Sonsonate Dv. Las Tablas y en la Grafica 5. 25 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo II By Pass Sonsonate Dv. Las Tablas.

HORA PICO	1125
15 MIN PICO	325
FHP	0.865

Tabla 5. 24 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo II By Pass Sonsonate Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia



Grafica 5. 25 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo II By Pass Sonsonate Dv. Las Tablas
Fuente: Creación propia

Se ha hecho un análisis del nivel de servicio del Tramo II, ambos laterales, para los años 2022, 2024 y 2034, hechos respectivamente en la Imagen 5. 5 Calculo de niveles de servicio, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, Lateral Derecho e Izquierdo año 2022, Imagen 5. 6 Calculo de niveles de servicio, Tramo II By Pass Sonsonate Dv. Las Tablas, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024 e Imagen 5. 7 Calculo de niveles de servicio, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034.

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO II - BY PASS SONSONATE - DV LAS TABLAS

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Lane width	3.60	m	3.60	m
Lateral clearance				
Right edge	1.80	m	1.80	m
Left edge	0.30	m	0.30	m
Total lateral clearance	2.10	m	2.10	m
Median type	Divided		Divided	
Free-flow speed (FFS) Measure	76.80	km/h	73.60	km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Volume, V	1043	veh/hour	1125	veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.88		0.87	
Peak 15-minute volume, v15	298		325	
Trucks and buses, PT	18.1%		15.5%	
Recreational vehicles, PR	13.5%		14.1%	
Terrain type	Level		Level	
Grade	0.0	%	0.0	%
Segment length	0.00	km	0.00	km
Number of lanes	2		2	
Driver population adjustment, Fp	1		1	
Trucks and buses PCE, ET	1.5		1.5	
Recreational vehicles PCE, ER	1.2		1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.895		0.904	
Flow rate, vp	667	veh/hour/lane	719	veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Flow rate, vp	667	veh/hour/lane	719	veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Measure	76.80	km/h	73.60	km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	76.80	km/h	73.60	km/h
Level of service, LOS	B		B	
Density, D	8.7	veh/km/lane	9.8	veh/km/lane

*Imagen 5. 5 Calculo de niveles de servicio, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, Lateral Derecho e Izquierdo año 2022
Fuente: Creación propia*

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO II - BY PASS SONSONATE - DV LAS TABLAS

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Lane width	3.60	m	3.60	m
Lateral clearance				
Right edge	1.80	m	1.80	m
Left edge	0.30	m	0.30	m
Total lateral clearance	2.10	m	2.10	m
Median type	Divided		Divided	
Free-flow speed (FFS) Estimada	72.77	km/h	68.83	km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Volume, V	1139	veh/hour	1229	veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.87		0.87	
Peak 15-minute volume, v15	326		355	
Trucks and buses, PT	18.1%		15.5%	
Recreational vehicles, PR	13.5%		14.1%	
Terrain type	Level		Level	
Grade	0.0	%	0.0	%
Segment length	0.00	km	0.00	km
Number of lanes	2		2	
Driver population adjustment, Fp	1		1	
Trucks and buses PCE, ET	1.5		1.5	
Recreational vehicles PCE, ER	1.2		1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.895		0.904	
Flow rate, vp	729	veh/hour/lane	786	veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Flow rate, vp	729	veh/hour/lane	786	veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Estimada	72.77	km/h	68.83	km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	72.77	km/h	68.83	km/h
Level of service, LOS	B		C	
Density, D	10.0	veh/km/lane	11.4	veh/km/lane

Imagen 5. 6 Calculo de niveles de servicio, Tramo II By Pass Sonsonate Dv. Las Tablas, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024

Fuente: Creación propia

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO II - BY PASS SONSONATE - DV LAS TABLAS

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Lane width	3.60	m	3.60	m
Lateral clearance				
Right edge	1.80	m	1.80	m
Left edge	0.30	m	0.30	m
Total lateral clearance	2.10	m	2.10	m
Median type	Divided		Divided	
Free-flow speed (FFS) Estimada	52.55	km/h	45.05	km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Volume, V	1617	veh/hour	1744	veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.88		0.87	
Peak 15-minute volume, v15	462		504	
Trucks and buses, PT	18.1%		15.5%	
Recreational vehicles, PR	13.5%		14.1%	
Terrain type	Level		Level	
Grade	0.0	%	0.0	%
Segment length	0.00	km	0.00	km
Number of lanes	2		2	
Driver population adjustment, Fp	1		1	
Trucks and buses PCE, ET	1.5		1.5	
Recreational vehicles PCE, ER	1.2		1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.895		0.904	
Flow rate, vp	1033	veh/hour/lane	1115	veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Flow rate, vp	1033	veh/hour/lane	1115	veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Estimada	52.55	km/h	45.05	km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	52.55	km/h	45.05	km/h
Level of service, LOS	D		E	
Density, D	19.7	veh/km/lane	24.7	veh/km/lane

*Imagen 5. 7 Calculo de niveles de servicio, Tramo II By Pass Sonsonate – Dv. Las Tablas, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034
Fuente: Creación propia*

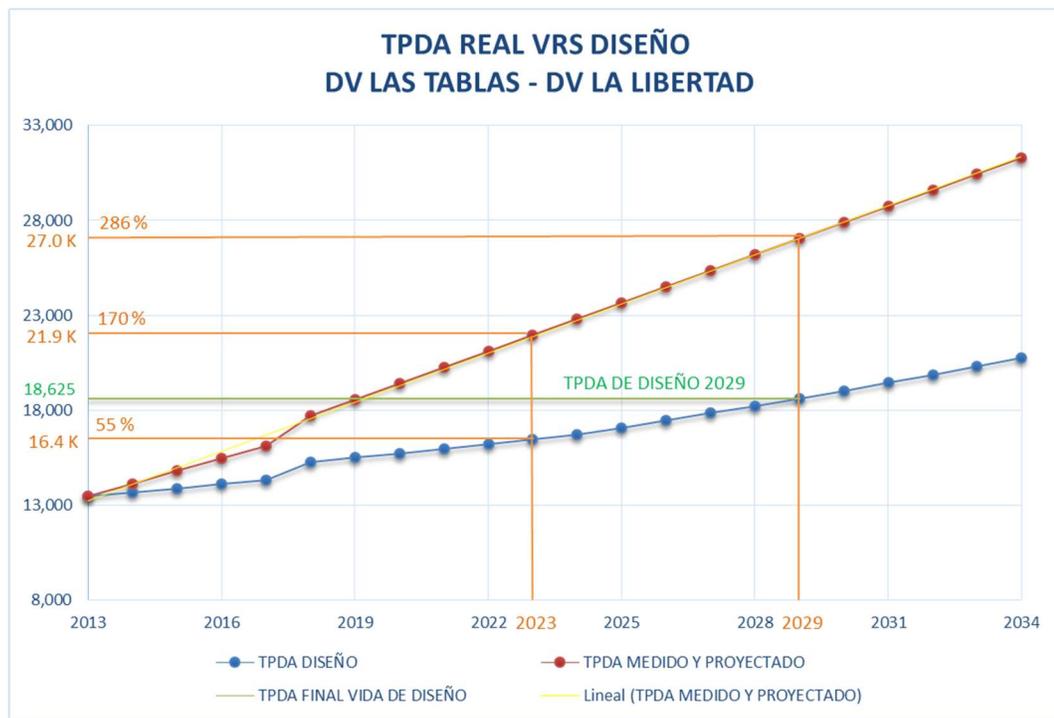
5.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS TRAMO III – DV. LAS TABLAS – DV. LA LIBERTAD

Las mediciones en este tramo fueron realizadas entre el 7 y 14 de enero del 2023 en el lateral izquierdo con zafra, entre el 14 y el 21 de enero en el lateral derecho con zafra.

Sin presencia de lluvia en los días de la instalación y desinstalación del aparato de medición de tráfico.

5.4.1 ANALISIS DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)

Para poder hacer una comparación entre lo proyectado por el diseño y lo medido en campo en el año 2023, se ha elaborado la Grafica 5. 26 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo III, Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad.



Grafica 5. 26 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo III, Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad
 Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En la misma Grafica 5. 26 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo III, Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad se observa una brecha importante entre el tráfico de diseño y el que se midió. Realizando la comparación para el año de medición, se tiene una cantidad de vehículos que llega al 170% del TPDA proyectado para el año 2029, es decir, ya sobrepasó la cantidad de vehículos que se había estimado en el diseño para su vida útil.

Para el 2029, se tendrá un 286% del tráfico que se había proyectado en el diseño, por lo que se verá afectado directamente el nivel de servicio de la vía, el cual detallamos adelante en este mismo capítulo.

La variación principal se encuentra en el número de vehículos livianos, ya que estos representan al 2022 un 46% del total de vehículos, cuando en el diseño se había proyectado un 33% para este mismo año.

Se realizaron mediciones de tráfico en condiciones con zafra y para los cálculos se ha utilizado el factor de tráfico sin zafra para poder proyectar los meses que no están influenciados por la zafra, lo que nos ha permitido tener una medida más precisa de lo que en realidad está circulando en la vía. Es por eso que podemos diferenciar los meses que no están afectados por la zafra y los meses que sí.

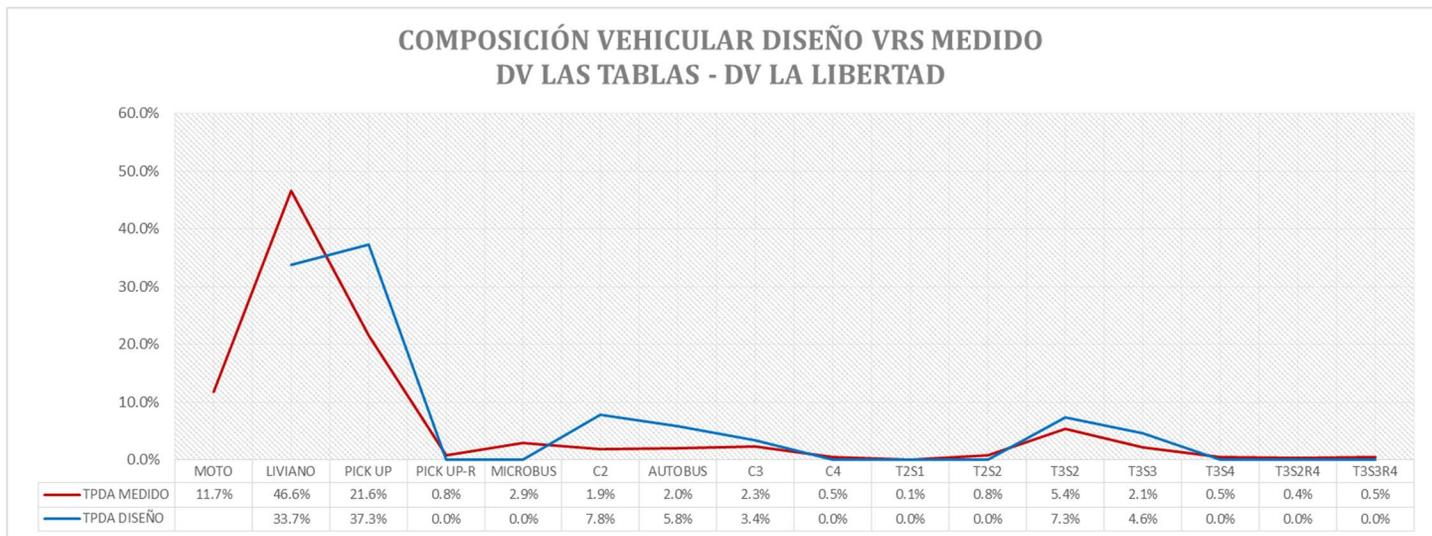
Hemos realizado, además, la medición de la cantidad de motos que circulan en el tramo, revisando que estas representan un 11% del total de vehículos que circulan en la zona, esta medición es importante ya que la cantidad de motos afecta la velocidad del resto de los vehículos y por consiguiente el nivel de servicio de la vía.

Nótese en la Grafica 5. 27 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, una marcada diferencia (mayor para en los datos de diseño) entre la cantidad de camiones C2 y autobuses, lo que posteriormente se verá reflejado en el cálculo de los ejes equivalentes.

El detalle en cuanto a cantidades y porcentajes los podemos apreciar en la Tabla 5. 25 TPDA medido 2022, Tramo III Dv. La Tablas – Dv. La Libertad y la Grafica 5. 27 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad.

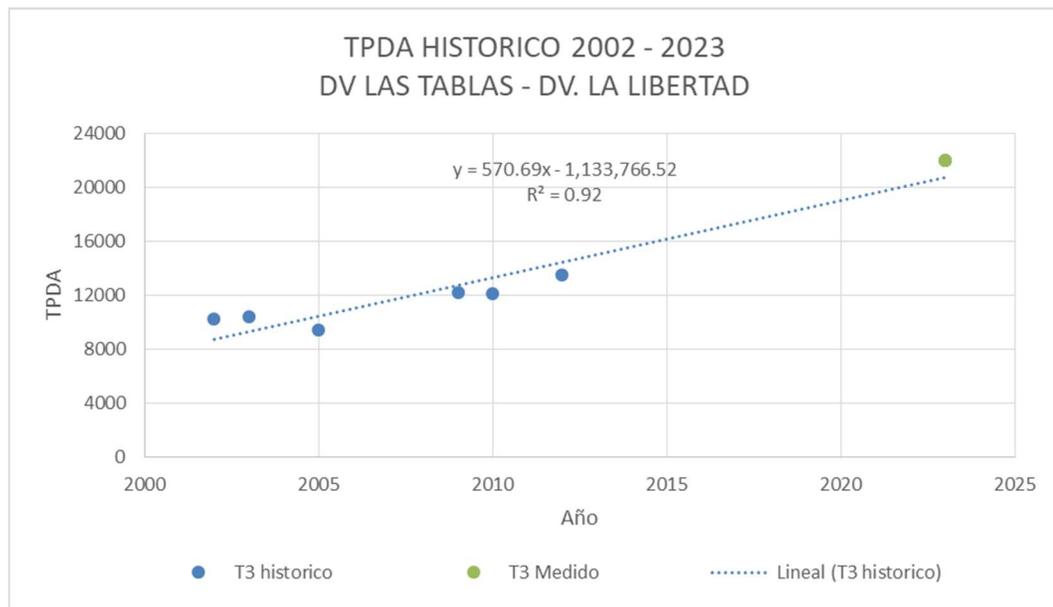
MES	FACTOR MENSUAL	MOTOS	LIVIANO	PICK UP	PICK UP-R	MICROBUS	C2	AUTOBUS	C3	C4	T2S1	T2S2	T3S2	T3S3	T3S4	T3S2R4	T3S3R4	TOTAL SIN MOTOS	TOTAL CON MOTOS	
ENERO	0.9485	2812	10959	5555	194	816	427	493	525	130	19	192	1290	613	220	102	119	21654	24466	
FEBRERO	0.9665	2865	11167	5660	198	832	435	502	535	133	20	196	1315	625	224	104	121	22067	24932	
MARZO	0.9552	2832	11037	5594	195	822	430	496	529	131	20	193	1300	618	221	103	120	21809	24641	
ABRIL	0.9409	2789	10872	5510	192	810	424	489	521	129	19	191	1280	608	218	101	118	21482	24271	
MAYO	1.0218	2925	11786	5131	196	654	481	495	579	111	18	216	1350	465	49	82	117	21730	24655	
JUNIO	1.0493	3004	12103	5269	201	672	494	508	594	114	18	222	1387	478	50	84	120	22314	25318	
JULIO	1.1016	3153	12706	5532	211	706	518	534	624	119	19	233	1456	502	52	89	126	23427	26580	
AGOSTO	1.0306	2950	11887	5175	197	660	485	499	584	112	18	218	1362	469	49	83	118	21916	24866	
SEPTIEMBRE	1.0515	3010	12129	5280	201	673	495	509	596	114	18	222	1390	479	50	85	120	22361	25371	
OCTUBRE	1.0420	2983	12019	5232	200	667	490	505	590	113	18	220	1377	475	49	84	119	22158	25141	
NOVIEMBRE	1.0183	2915	11746	5113	195	652	479	493	577	110	18	215	1346	464	48	82	117	21655	24570	
DICIEMBRE	0.9060	2686	10468	5306	185	780	408	471	502	125	19	184	1233	586	210	97	114	20688	23374	
TPDA		2911	11574	5364	198	729	464	500	563	121	19	209	1341	532	120	92	120	21946	24857	
CON ZAFRA																				
SIN ZAFRA																				

Tabla 5. 25 TPDA medido 2022, Tramo III Dv. La Tablas – Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia

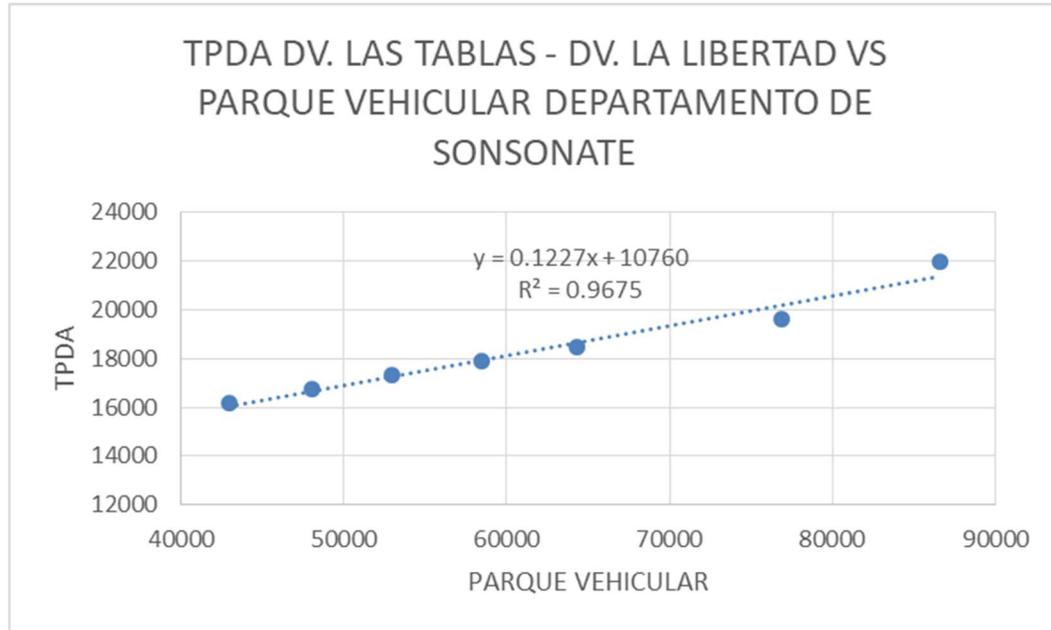


Grafica 5. 27 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

Además del análisis anterior, se realizan dos graficas más para lograr tener una correlación entre el TPDA y el parque vehicular, la primera es la Grafica 5. 28 TPDA Histórico 2002 – 2023 Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad donde utilizamos los datos históricos del TPDA y el dato medido en esta investigación en el año 2023, obteniendo así una ecuación de la línea de tendencia con un valor de coeficiente de determinación de 0.92, lo que indica que es una ecuación muy confiable. Esa ecuación la utilizamos para posteriormente generar la Grafica 5. 29 TPDA Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad vs parque vehicular departamento de Sonsonate en la que correlacionamos el TPDA y parque vehicular, obteniendo así una fórmula que describe esta correlación con un valor de coeficiente de determinación de 0.96 lo que indica que es una ecuación muy confiable, concluyendo con esto que para hacer proyecciones de TPDA podemos utilizar el parque vehicular que actualmente se encuentra actualizado y se espera que siga estándolo para que futuros diseñadores lo puedan adoptar.



Grafica 5. 28 TPDA Histórico 2002 – 2023 Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
Fuente: creación propia con información histórica de TPDA tomada del Contrato CO-148/2013 y medición propia para el año 2023.



Grafica 5. 29 TPDA Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad vs parque vehicular departamento de Sonsonate
Fuente: creación propia con información histórica de TPDA tomada del Contrato CO-148/2013, medición propia para el año 2023 y parque vehicular tomado de <https://observatoriovial.fonat.gob.sv/parque-vehicular/>

5.4.2 ANALISIS EJES EQUIVALENTES (ESAL´s)

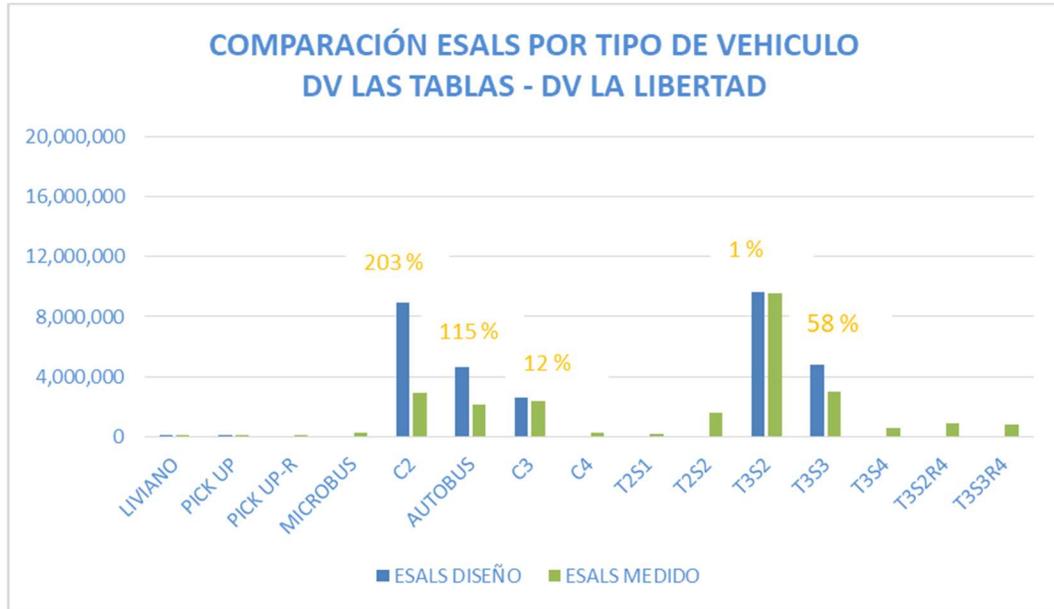
En la Tabla 5. 26 ESAL´s acumulados de diseño y medidos, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad detallada adelante, se hace una comparación entre los ESAL´s de diseño y los medidos en el año 2023, y proyectados para los años posteriores.

Este análisis se hace desde el año 2015, año del diseño y el año 2034, para ser congruente con los documentos de diseño.

ESALS ACUMULADOS		
AÑO	ESAL DISEÑO	ESAL MEDIDO
2015	1,233,644	793,447
2016	2,488,733	1,622,626
2017	3,765,494	2,487,536
2018	5,130,470	3,436,979
2019	6,518,882	4,431,914
2020	7,931,345	5,472,342
2021	9,368,511	6,558,261
2022	10,830,533	7,689,672
2023	12,318,028	8,866,575
2024	13,831,793	10,088,970
2025	15,375,652	11,356,856
2026	16,950,866	12,670,235
2027	18,558,014	14,029,106
2028	20,196,789	15,433,469
2029	21,868,814	16,883,324
2030	23,574,608	18,378,671
2031	25,314,456	19,919,509
2032	27,088,475	21,505,840
2033	28,899,031	23,137,663
2034	30,745,255	24,814,978

*Tabla 5. 26 ESAL's acumulados de diseño y medidos, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia*

Se realizó el análisis de ESAL's por cada tipo de vehículo para analizar cuáles son los vehículos que más incidencia tienen en el valor de los ESAL's.



Grafica 5. 30 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
 Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

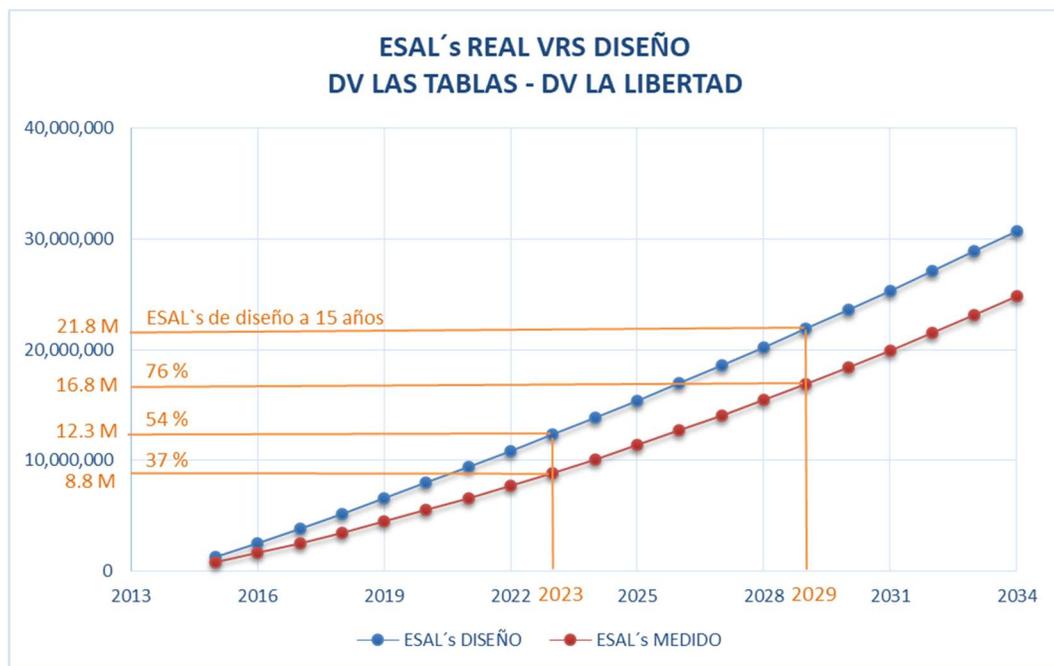
En la Grafica 5. 30 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, podemos observar cómo varia la cantidad de ejes equivalentes calculados en base a la medición respecto al de diseño, teniendo en su mayoría valores más altos en el diseño, esto afectado por el número de vehículos C2, Autobuses y T3S3 considerados, que actualmente en la medición representan valores más bajos que los descritos en el diseño.

Para el cálculo de los ESAL´s es importante obtener el valor de los factores de dirección y factor carril, lo cuales detallamos en la Tabla 5. 27 Factor de dirección y factor de carril, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad.

CON ZAFRA	
FACTOR DIRECCIÓN	49.94%
FACTOR CARRIL	70.36%
FC*FD	35.14%

Tabla 5. 27 Factor de dirección y factor de carril, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
 Fuente: Creación propia

Es importante resaltar, que los factores calculados son en base a ejes equivalentes. El diseñador en este caso utilizó Factor Dirección de 50% y Factor Carril del 80%, cuyo producto que es el que afecta finalmente a los ejes equivalentes es de $80\% \times 50\% = 40\%$, valor que representa una diferencia del 4.86 puntos porcentuales.



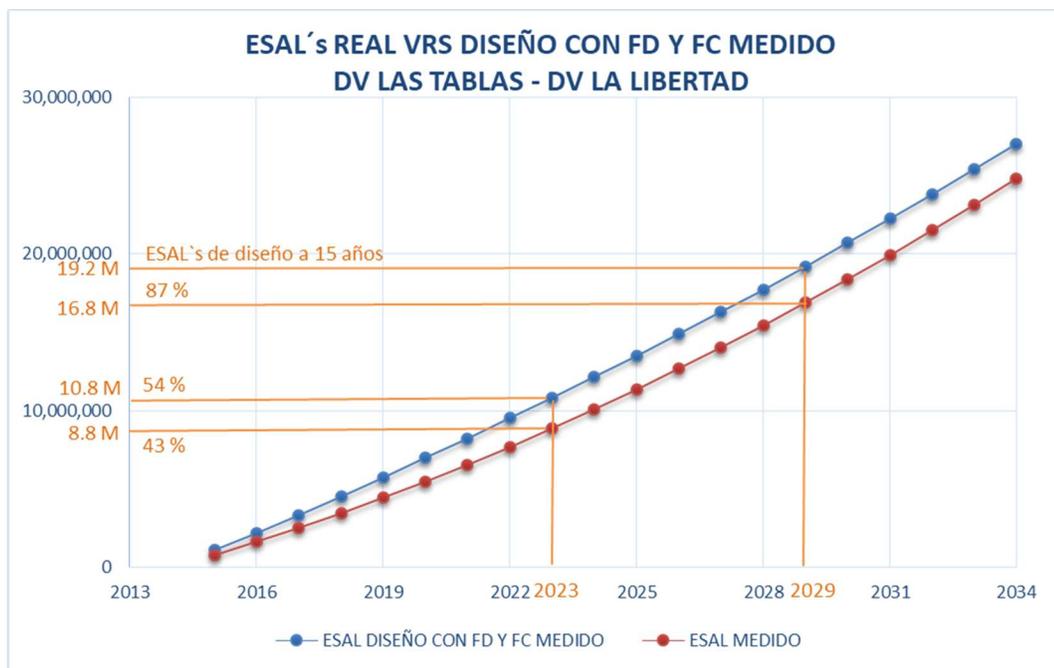
Grafica 5. 31 ESAL's medidos vs ESAL's de diseño, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En esta Grafica 5. 31 ESAL's medidos vs ESAL's de diseño, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, se observa que los ESAL's de diseño son mayores a los ESAL's medidos. Realizando una comparación para el 2022, se tiene un 37% de ejes equivalentes en la vía y según el diseño debió haber 54%, para el 2029 el pavimento tendría un 76% de los ejes equivalentes bajos los cuales se diseñó este tramo. Esto es una ventaja para la estructura ya que no estaría alcanzando su total de ejes para cuales se diseñó y esto debería traducirse a mayor vida del pavimento.

En la misma Grafica 5. 31 ESAL´s medidos vs ESAL´s de diseño, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, se consideran para el diseño los factores de dirección y carril mismos utilizados en el diseño.

Adicionalmente realizamos una corrida utilizando los valores de los factores, obtenidos por nuestras mediciones de tráfico y posteriores análisis. Se observa la diferencia mostrada en la Grafica 5. 32 ESAL´s real vs. ESAL´s de diseño con FC y FD calculados, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad.



Grafica 5. 32 ESAL´s real vs. ESAL´s de diseño con FC y FD calculados, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
 Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

Se observa que con los factores dirección y carril reales, la diferencia se hace mucho menor y para el 2029 el valor se acerca más al valor de diseño, pasando del 76% al 87%.

Luego de hacer el análisis de los ejes equivalentes de diseño, los medidos en esta investigación y los de diseño utilizando los factores reales de distribución por carril y dirección, viene la siguiente parte en la que realizamos un análisis mucho más real, ya que ahora se incorpora el análisis de los daños

considerando el espectro de carga. Dadas las condiciones de cualquier vía, los vehículos pasan con pesos diferentes a los que están regulados, ya sea con una carga mayor o menor, siendo eso lo que describe un espectro de carga.

Al igual que para el tramo I y II, se realiza el mismo análisis de la matriz TPDA – LEF – Espectro, y en base a la Grafica 5. 10 % Peso vs % Daño de vehículos obtenemos los siguientes resultados.

De la Tabla 5. 28 Cantidad de ejes por año, Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad se realiza la conversión de tipo de vehículos a cantidad de ejes de cada tipo, sencillos, sencillo direccional, tándem, trídem y cuádruple, quedando de la siguiente manera:

EJES					
EJE	SENCILLO	SENCILLO DUAL	TANDEM	TRIDEM	CUADRUPLE
2015	26482	1167	3259	662	81
2016	27674	1220	3406	692	85
2017	28867	1272	3553	722	88
2018	31688	1396	3900	792	97
2019	33207	1463	4087	830	101
2020	34725	1530	4273	868	106
2021	36243	1597	4460	906	111
2022	37762	1664	4647	944	115
2023	39280	1731	4834	982	120
2024	40798	1798	5021	1020	125
2025	42317	1865	5208	1058	129
2026	43835	1932	5395	1096	134
2027	45353	1999	5581	1134	139
2028	46872	2066	5768	1172	143
2029	48390	2132	5955	1210	148
2030	49908	2199	6142	1248	152
2031	51427	2266	6329	1286	157
2032	52945	2333	6516	1324	162
2033	54463	2400	6703	1362	166
2034	55982	2467	6889	1400	171
Total 2015 - 2034	828218	36497	101926	20708	2530

*Tabla 5. 28 Cantidad de ejes por año, Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia*

Luego de tener la cantidad de ejes por año y tomando en cuenta la distribución de cada espectro por eje, se calculan los LEF para cada carga del espectro. Tabla 5. 29 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje tandem se deja una muestra de cómo se calcula el LEF para un eje tándem y para un año, haciendo esto mismo posteriormente para cada eje y cada año, dando como resultado la Tabla 5. 30 LEF y ESAL por año y por eje Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad.

TANDEM		LEF		1.25611		y = 0.9969x0.2389		R ² = 0.9999		
		16000		KG						
ESPECTRO						CALCULO DE LEF			2015	
CORR	LIMITE INFERIOR (KG)	LIMITE SUPERIOR (KG)	VALOR MEDIO (TON)	CANTIDAD DE VEHICULOS	PORCENTAJE	% PESO PERMITIDO	% LEF	LEF EQQ	EJES	LEF EQQ * EIES
1	0	1,000	0.50	18	0.0199%	3%	0.000%	0.0000	1	0.0000
2	1,000	2,000	1.50	51	0.0565%	9%	0.005%	0.0006	2	0.0001
3	2,000	3,000	2.50	29	0.0321%	16%	0.042%	0.00053	1	0.0005
4	3,000	4,000	3.50	49	0.0543%	22%	0.173%	0.00218	2	0.0044
5	4,000	5,000	4.50	287	0.3180%	28%	0.496%	0.00623	10	0.0623
6	5,000	6,000	5.50	1,406	1.5578%	34%	1.148%	0.01443	51	0.7357
7	6,000	7,000	6.50	2,175	2.4098%	41%	2.311%	0.02903	79	2.2933
8	7,000	8,000	7.50	2,879	3.1898%	47%	4.207%	0.05284	104	5.4956
9	8,000	9,000	8.50	3,805	4.2158%	53%	7.104%	0.08923	137	12.2247
10	9,000	10,000	9.50	3,714	4.1150%	59%	11.316%	0.14214	134	19.0467
11	10,000	11,000	10.50	3,951	4.3775%	66%	17.204%	0.21610	143	30.9023
12	11,000	12,000	11.50	4,341	4.8097%	72%	25.177%	0.31625	157	49.6514
13	12,000	13,000	12.50	4,536	5.0257%	78%	35.693%	0.44834	164	73.5284
14	13,000	14,000	13.50	6,285	6.9635%	84%	49.260%	0.61875	227	140.4571
15	14,000	15,000	14.50	11,914	13.2002%	91%	66.435%	0.83449	430	358.8319
16	15,000	16,000	15.50	21,139	23.4212%	97%	87.828%	1.10322	763	841.7534
17	16,000	17,000	16.50	15,660	17.3506%	103%	114.101%	1.43323	565	809.7745
18	17,000	18,000	17.50	5,238	5.8035%	109%	145.967%	1.83350	189	346.5318
19	18,000	19,000	18.50	1,646	1.8237%	116%	184.193%	2.31367	59	136.5065
20	19,000	20,000	19.50	718	0.7955%	122%	229.601%	2.88404	26	74.9852
21	20,000	21,000	20.50	185	0.2050%	128%	283.066%	3.55562	7	24.8894
22	21,000	22,000	21.50	115	0.1274%	134%	345.518%	4.34008	4	17.3603
23	22,000	23,000	22.50	60	0.0665%	141%	417.942%	5.24981	2	10.4996
24	23,000	24,000	23.50	27	0.0299%	147%	501.381%	6.29789	1	6.2979
25	24,000	25,000	24.50	13	0.0144%	153%	596.931%	7.49811	0	0.0000
26	25,000	26,000	25.50	8	0.0089%	159%	705.748%	8.86497	0	0.0000
27	26,000	27,000	26.50	4	0.0044%	166%	829.043%	10.41369	0	0.0000
28	27,000	28,000	27.50	2	0.0022%	172%	968.086%	12.16023	0	0.0000
29	28,000	29,000	28.50	0	0.0000%	178%	1124.205%	14.12125	0	0.0000
30	29,000	30,000	29.50	0	0.0000%	184%	1298.786%	16.31419	0	0.0000
31	30,000	31,000	30.50	1	0.0011%	191%	1493.275%	18.75718	0	0.0000
									3258	2961.8332

Tabla 5. 29 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje tandem
Fuente: Creación propia

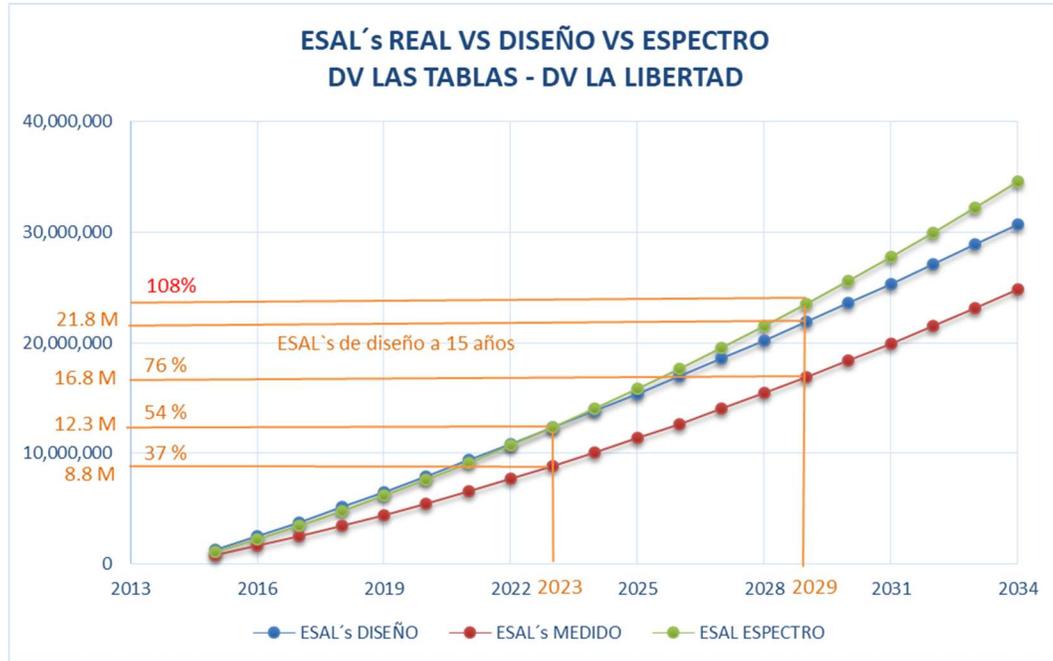
LOAD EQUIVALENT FACTOR						F. DIRECCION X F.CARRIL	35.14%
EJE	SENCILLO	SENCILLO DUAL	TANDEM	TRIDEM	CUADRUPLE	ESALS	ESALS ACUMULADO S
2015	3074	2152	2962	361	43	1,101,892	1,101,892
2016	3221	2243	3095	378	45	1,151,921	2,253,813
2017	3358	2336	3236	394	46	1,201,739	3,455,552
2018	3672	2561	3555	433	51	1,317,314	4,772,865
2019	3922	2704	3724	452	53	1,392,134	6,164,999
2020	4093	2814	3892	475	56	1,452,850	7,617,849
2021	4264	2949	4062	494	58	1,516,825	9,134,674
2022	4449	3062	4234	514	60	1,579,803	10,714,477
2023	4619	3183	4399	542	63	1,642,303	12,356,780
2024	4790	3299	4573	563	66	1,704,409	14,061,190
2025	4975	3437	4746	582	68	1,770,726	15,831,915
2026	5145	3573	4918	603	70	1,835,083	17,666,998
2027	5316	3673	5084	623	73	1,894,105	19,561,103
2028	5487	3802	5264	644	75	1,958,662	21,519,766
2029	5670	3911	5435	667	78	2,021,315	23,541,081
2030	5841	4049	5606	688	80	2,085,729	25,626,810
2031	6011	4177	5768	710	82	2,147,813	27,774,623
2032	6198	4297	5939	731	85	2,212,270	29,986,893
2033	6397	4410	6112	750	87	2,277,104	32,263,997
2034	6567	4644	6285	770	90	2,353,980	34,617,977
Total 2015 - 2034	97068	67275	92891	11373	1328	34,617,977	

*Tabla 5. 30 LEF y ESAL por año y por eje Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia*

Posteriormente realizamos la comparación de ESAL´s incorporando ahora este nuevo cálculo considerando los espectros. En la Tabla 5. 37 TPDA medido 2022, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, se puede observar las variables mencionadas, para cada uno de los años.

ESALS ACUMULADOS			
AÑO	ESAL DISEÑO	ESAL MEDIDO	ESAL ESPECTRO
2015	1,233,644	793,447	1,101,892
2016	2,488,733	1,622,626	2,253,813
2017	3,765,494	2,487,536	3,455,552
2018	5,130,470	3,436,979	4,772,865
2019	6,518,882	4,431,914	6,164,999
2020	7,931,345	5,472,342	7,617,849
2021	9,368,511	6,558,261	9,134,674
2022	10,830,533	7,689,672	10,714,477
2023	12,318,028	8,866,575	12,356,780
2024	13,831,793	10,088,970	14,061,190
2025	15,375,652	11,356,856	15,831,915
2026	16,950,866	12,670,235	17,666,998
2027	18,558,014	14,029,106	19,561,103
2028	20,196,789	15,433,469	21,519,766
2029	21,868,814	16,883,324	23,541,081
2030	23,574,608	18,378,671	25,626,810
2031	25,314,456	19,919,509	27,774,623
2032	27,088,475	21,505,840	29,986,893
2033	28,899,031	23,137,663	32,263,997
2034	30,745,255	24,814,978	34,617,977

Tabla 5. 31 ESAL's acumulados diseño, medido y espectro Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.



Grafica 5. 33 ESAL's medido vs diseño vs espectro Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad

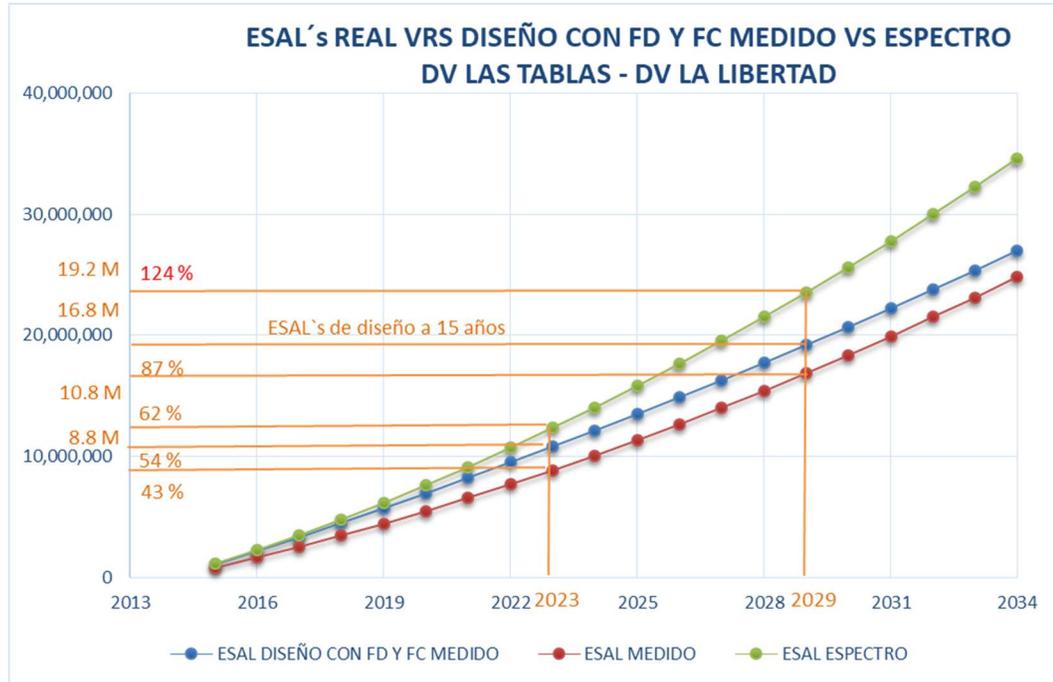
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En la Grafica 5. 33 ESAL's medido vs diseño vs espectro Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad, se observa que la línea que representa el cálculo con base al espectro, se acerca mucho más a valores del diseño ya que esta es más realista en términos de pesos, indicando que para el 2029, año en el que el pavimento cumple su vida de diseño, llegaría a un 108% de sus ESAL's proyectados por el diseñador. Además, para hacer un análisis más exacto hacemos también la corrida con los datos de diseño, pero con los factores reales de carril y dirección, esto arrojándonos datos más interesantes ya que es lo que en realidad está pasando en la vía.

En la Tabla 5. 32 ESAL's acumulados diseño FC*FD, medido y espectro Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad, se introducen las variables del Factor Carril y Factor de Dirección, que fueron medidos directamente en la presente investigación.

ESALS ACUMULADOS CON FD Y FC MEDIDOS - ESPECTROS			
AÑO	ESAL DISEÑO CON FD Y FC MEDIDO	ESAL MEDIDO	ESAL ESPECTRO
2015	1,083,624	793,447	1,101,892
2016	2,186,086	1,622,626	2,253,813
2017	3,307,584	2,487,536	3,455,552
2018	4,506,570	3,436,979	4,772,865
2019	5,726,142	4,431,914	6,164,999
2020	6,966,840	5,472,342	7,617,849
2021	8,229,237	6,558,261	9,134,674
2022	9,513,467	7,689,672	10,714,477
2023	10,820,072	8,866,575	12,356,780
2024	12,149,753	10,088,970	14,061,190
2025	13,505,869	11,356,856	15,831,915
2026	14,889,526	12,670,235	17,666,998
2027	16,301,234	14,029,106	19,561,103
2028	17,740,723	15,433,469	21,519,766
2029	19,209,418	16,883,324	23,541,081
2030	20,707,776	18,378,671	25,626,810
2031	22,236,047	19,919,509	27,774,623
2032	23,794,333	21,505,840	29,986,893
2033	25,384,713	23,137,663	32,263,997
2034	27,006,424	24,814,978	34,617,977

*Tabla 5. 32 ESAL's acumulados diseño FC*FD, medido y espectro Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.*



Grafica 5. 34 ESAL's medido vs diseño FC*FD vs espectro Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

La Grafica 5. 34 ESAL's medido vs diseño FC*FD vs espectro Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad, es la más real que se puede presentar de acuerdo a lo que está sucediendo en el tramo. Siendo la línea verde la mejor representación ya que considera tráfico real medido, factores de dirección y carril medidos, pesos en base a espectro de carga y no en base a pesos teóricos. Por lo tanto, a nuestro criterio, la línea verde es lo que actualmente está ocurriendo en el pavimento y esto nos indica que para el año 2023 de la medición ya se lleva un 62% del ESAL's de diseño y para el 2029, año en el que el pavimento cumpliría su vida útil de diseño, el pavimento tendría el 124% de sus ejes para los cuales fue diseñado.

5.4.3 ANALISIS DE NIVELES DE SERVICIO

El análisis de niveles de servicio se ha realizado para el año de medición de tráfico en este tramo que fue en el año 2023, para el año 2024 que el proyecto tiene 10 años de haberse construido y para el 2034 que es el año que el diseñador lo calculó, lo anterior para poder realizar la comparación del nivel de servicio en los mismos años.

Durante la medición de tráfico también se midió la velocidad de cada uno de los vehículos y se calculó la velocidad promedio para el año de medición. Para el resto de los años se ha considerado una tendencia lineal, partiendo de la velocidad al año cero y la velocidad medida en el año 2023.

En la Tabla 5. 33 Velocidades promedio medidas, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, se presentan las velocidades promedio medidas en el Tramo III.

En la Tabla 5. 34 Velocidades por año, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, se presenta la proyección de velocidades para los años 2024 y 2034.

VELOCIDAD PROMEDIO MEDIDA					
T3	77.4	LD	79.5	CE	72.7
				CI	86.3
		LI	75.3	CI	79.5
				CE	71.1

*Tabla 5. 33 Velocidades promedio medidas, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia*

VELOCIDADES POR TRAMO EN EL TIEMPO					
AÑO / TRAMO	2013	2022	2024	2034	Formula utilizada
TRAMO 3 LATERAL DERECHO	95	79.5	76.07	58.85	$Vel = -1.7222 * Año + 3561.8$
TRAMO 3 LATERAL IZQUIERDO	95	75.3	70.87	48.98	$Vel = -2.1889 * Año + 4501.2$

*Tabla 5. 34 Velocidades por año, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia*

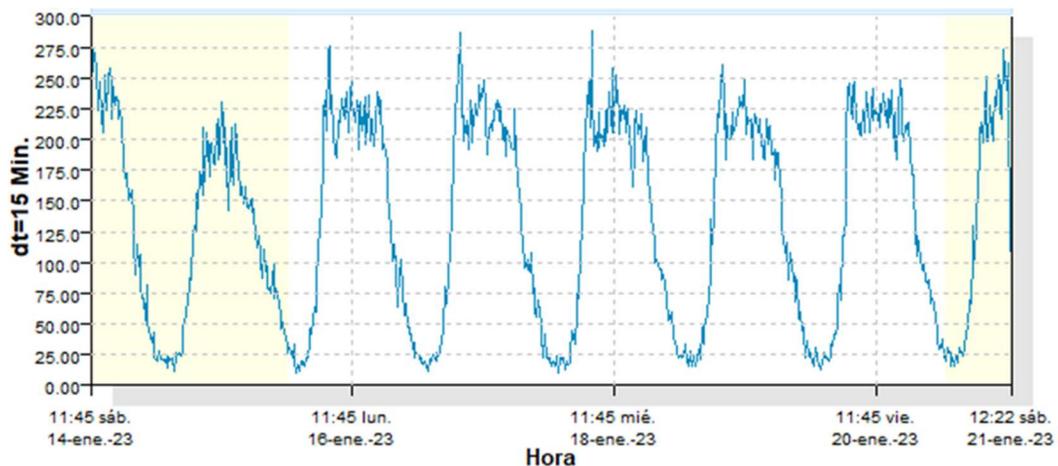
El factor de hora pico es clave para el cálculo del nivel de servicio, el cual lo calculamos en base la información bajada del sistema del equipo de medición. Se presentan las gráficas para cada sentido, donde se muestra la cantidad de vehículos por cada 15 minutos para todos los días de medición.

Lateral Derecho:

Los resultados de las mediciones realizadas en el Tramo III, Lateral Derecho pueden observarse en la Tabla 5. 35 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad y en la Grafica 5. 35 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad.

HORA PICO	1008
15 MIN PICO	286
FHP	0.881

*Tabla 5. 35 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia*



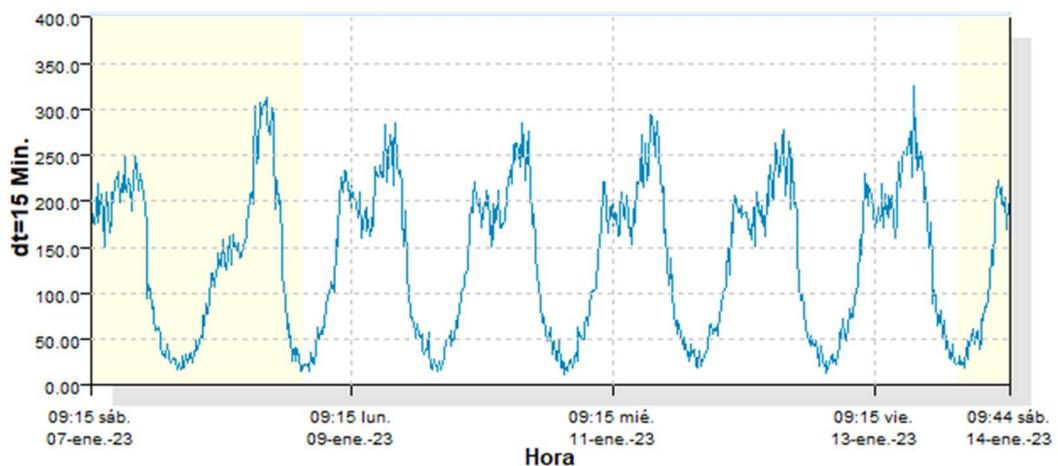
*Grafica 5. 35 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia*

Los resultados de las mediciones realizadas en el Tramo III, Lateral Izquierdo pueden observarse en la Tabla 5. 36 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad y en la Grafica 5. 36 Cantidad de

vehículos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad.

HORA PICO	1051
15 MIN PICO	275
FHP	0.955

*Tabla 5. 36 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia*



*Grafica 5. 36 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad
Fuente: Creación propia*

Se ha hecho un análisis del nivel de servicio del Tramo III, ambos laterales, para los años 2022, 2024 y 2034, hechos respectivamente en la Imagen 5. 2 Calculo de niveles de servicio, Tramo I By Pass Sonsonate, Lateral Derecho e Izquierdo año 2022, Imagen 5. 9 Calculo de niveles de servicio, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024 e Imagen 5. 10 Calculo de niveles de servicio, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO III - DV LAS TABLAS - DV LA LIBERTAD

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO	LATERAL IZQUIERDO
Lane width	3.60 m	3.60 m
Lateral clearance		
Right edge	1.80 m	1.80 m
Left edge	0.30 m	0.30 m
Total lateral clearance	2.10 m	2.10 m
Median type	Divided	Divided
Free-flow speed (FFS) Measure	79.50 km/h	75.30 km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO	LATERAL IZQUIERDO
Volume, V	1008 veh/hour	1051 veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.88	0.96
Peak 15-minute volume, v15	286	275
Trucks and buses, PT	23.3%	20.7%
Recreational vehicles, PR	12.2%	11.2%
Terrain type	Level	Level
Grade	0.0 %	0.0 %
Segment length	0.00 km	0.00 km
Number of lanes	2	2
Driver population adjustment, Fp	1	1
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5
Recreational vehicles PCE, ER	1.2	1.2
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.876	0.888
Flow rate, vp	653 veh/hour/lane	620 veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO	LATERAL IZQUIERDO
Flow rate, vp	653 veh/hour/lane	620 veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Measure	79.50 km/h	75.30 km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	79.50 km/h	75.30 km/h
Level of service, LOS	B	B
Density, D	8.2 veh/km/lane	8.2 veh/km/lane

*Imagen 5. 8 Cálculo de niveles de servicio, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, Lateral Derecho e Izquierdo año 2023
Fuente: Creación propia*

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO III - DV LAS TABLAS - DV LA LIBERTAD

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Lane width	3.60	m	3.60	m
Lateral clearance				
Right edge	1.80	m	1.80	m
Left edge	0.30	m	0.30	m
Total lateral clearance	2.10	m	2.10	m
Median type	Divided		Divided	
Free-flow speed (FFS) Estimada	78.00	km/h	73.32	km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Volume, V	1048	veh/hour	1092	veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.88		0.95	
Peak 15-minute volume, v15	298		286	
Trucks and buses, PT	23.3%		20.7%	
Recreational vehicles, PR	12.2%		11.2%	
Terrain type	Level		Level	
Grade	0.0	%	0.0	%
Segment length	0.00	km	0.00	km
Number of lanes	2		2	
Driver population adjustment, Fp	1		1	
Trucks and buses PCE, ET	1.5		1.5	
Recreational vehicles PCE, ER	1.2		1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.876		0.888	
Flow rate, vp	680	veh/hour/lane	644	veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Flow rate, vp	680	veh/hour/lane	644	veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Estimada	78.00	km/h	73.32	km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	78.00	km/h	73.32	km/h
Level of service, LOS	B		B	
Density, D	8.7	veh/km/lane	8.8	veh/km/lane

Imagen 5.9 Cálculo de niveles de servicio, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024

Fuente: Creación propia

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO III - DV LAS TABLAS - DV LA LIBERTAD

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Lane width	3.60	m	3.60	m
Lateral clearance				
Right edge	1.80	m	1.80	m
Left edge	0.30	m	0.30	m
Total lateral clearance	2.10	m	2.10	m
Median type	Divided		Divided	
Free-flow speed (FFS) Estimada	62.50	km/h	53.62	km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Volume, V	1437	veh/hour	1498	veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.88		0.96	
Peak 15-minute volume, v15	408		392	
Trucks and buses, PT	23.3%		20.7%	
Recreational vehicles, PR	12.2%		11.2%	
Terrain type	Level		Level	
Grade	0.0	%	0.0	%
Segment length	0.00	km	0.00	km
Number of lanes	2		2	
Driver population adjustment, Fp	1		1	
Trucks and buses PCE, ET	1.5		1.5	
Recreational vehicles PCE, ER	1.2		1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.876		0.888	
Flow rate, vp	931	veh/hour/lane	883	veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Flow rate, vp	931	veh/hour/lane	883	veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Estimada	62.50	km/h	53.62	km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	62.50	km/h	53.62	km/h
Level of service, LOS	C		D	
Density, D	14.9	veh/km/lane	16.5	veh/km/lane

*Imagen 5. 10 Calculo de niveles de servicio, Tramo III Dv. Las Tablas – Dv. La Libertad, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034
Fuente: Creación propia*

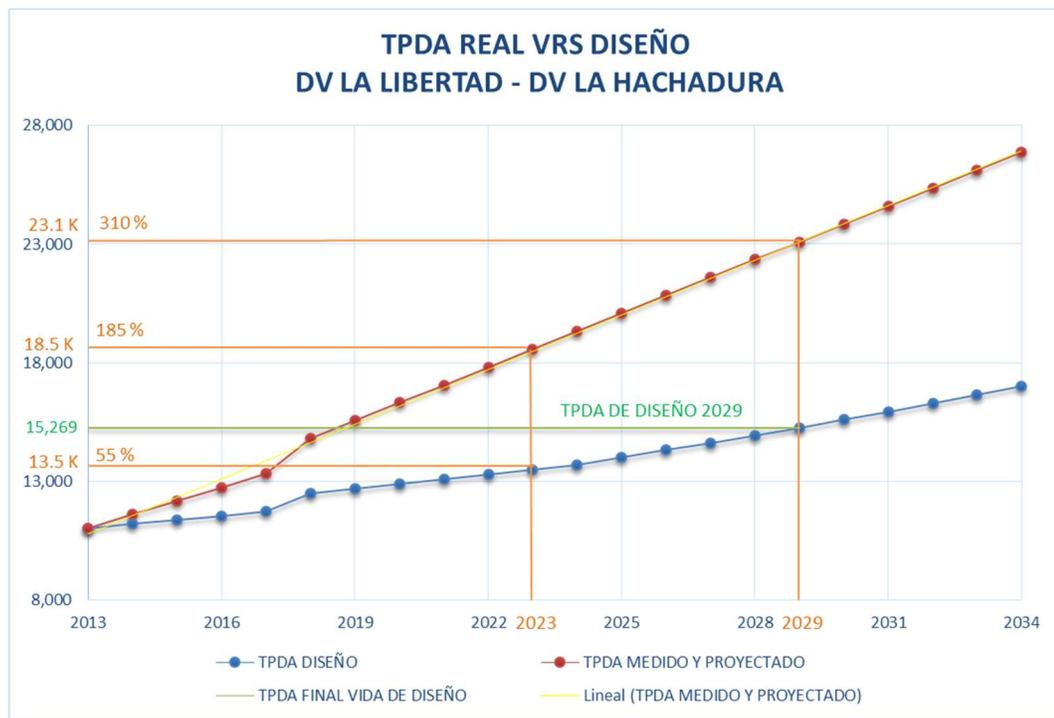
5.5 RESULTADOS Y ANÁLISIS TRAMO IV – DV. LA LIBERTAD – DV. LA HACHADURA

Las mediciones en este tramo fueron realizadas entre el 21 y 28 de enero del 2023 en el lateral izquierdo con zafra, entre el 29 y el 04 de febrero en el lateral derecho con zafra.

Sin presencia de lluvia en los días de la instalación y desinstalación del aparato de medición de tráfico.

5.5.1 ANALISIS DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)

Para poder hacer una comparación entre lo proyectado por el diseño y lo medido en campo en el año 2023, se ha elaborado la Grafica 5. 37 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.



Grafica 5. 37 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
 Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En la misma Grafica 5. 37 TPDA de diseño vs TPDA real Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, se observa una brecha importante entre el tráfico de diseño y el que se midió. Realizando la comparación para el año de medición, se tiene una cantidad de vehículos que llega al 185% del TPDA proyectado para el año 2029, es decir, ya sobrepasó la cantidad de vehículos que se había estimado en el diseño para su vida útil.

Para el 2029, se tendrá un 310% del tráfico que se había proyectado en el diseño, por lo que se verá afectado directamente el nivel de servicio de la vía, el cual detallamos adelante en este mismo capítulo.

La variación principal se encuentra en el número de vehículos livianos, ya que estos representan al 2022 un 44% del total de vehículos, cuando en el diseño se había proyectado un 33% para este mismo año.

Se realizaron mediciones de tráfico en condiciones con zafra y para los cálculos se ha utilizado el factor de tráfico sin zafra para poder proyectar los meses que no están influenciados por la zafra, lo que nos ha permitido tener una medida más precisa de lo que en realidad está circulando en la vía. Es por eso que podemos diferencia los meses que no están afectados por la zafra y los meses que sí.

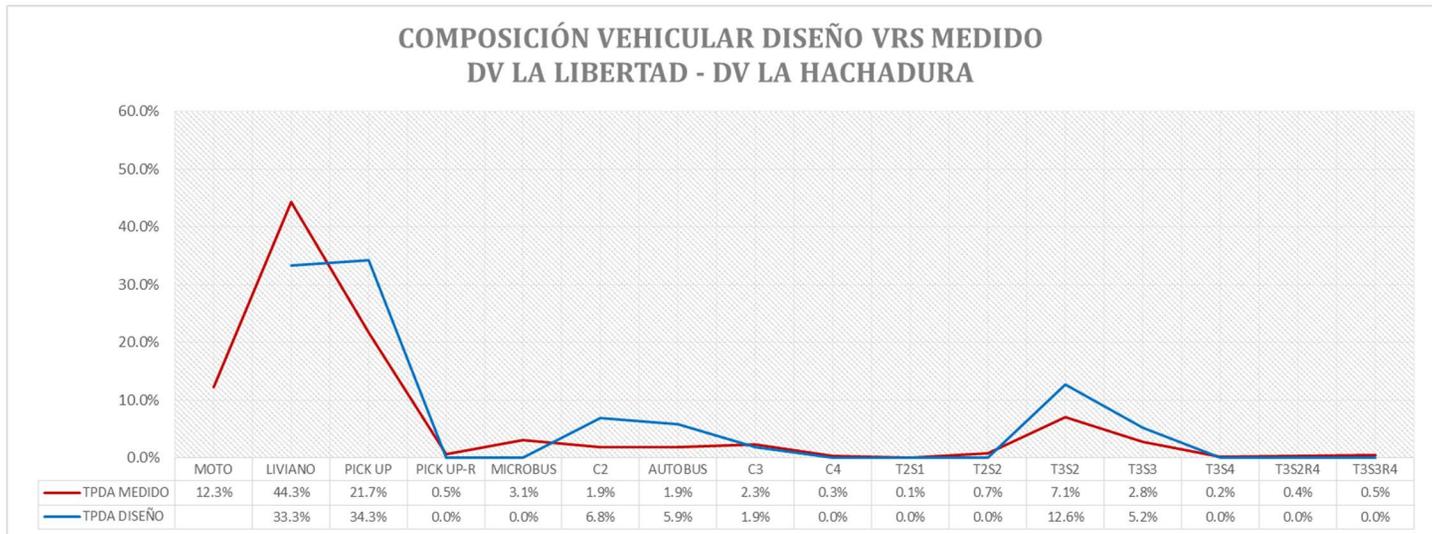
Hemos realizado, además, la medición de la cantidad de motos que circulan en el tramo, revisando que estas representan un 12% del total de vehículos que circulan en la zona, esta medición es importante ya que la cantidad de motos afecta la velocidad del resto de los vehículos y por consiguiente el nivel de servicio de la vía.

Nótese en la Grafica 5. 38 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, una marcada diferencia (mayor para en los datos de diseño) entre la cantidad de camiones C2 y autobuses, lo que posteriormente se verá reflejado en el cálculo de los ejes equivalentes.

El detalle en cuanto a cantidades y porcentajes los podemos apreciar en la Tabla 5. 37 TPDA medido 2022, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura y la Grafica 5. 38 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura

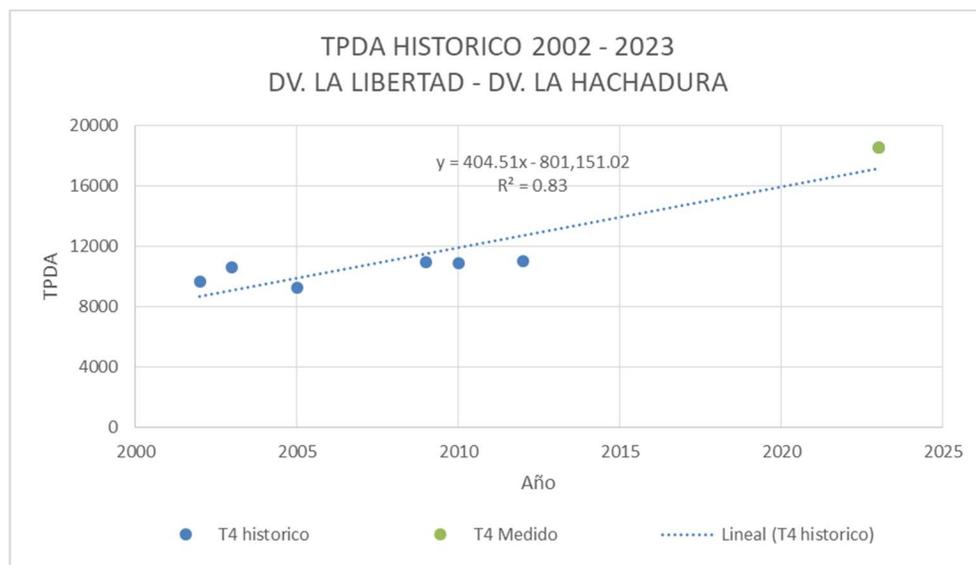
MES	FACTOR MENSUAL	MOTOS	LIVIANO	PICK UP	PICK UP-R	MICROBUS	C2	AUTOBUS	C3	C4	T2S1	T2S2	T3S2	T3S3	T3S4	T3S2R4	T3S3R4	TOTAL SIN MOTOS	TOTAL CON MOTOS
ENERO	0.9485	2512	8882	4763	114	731	370	394	453	77	13	140	1447	675	57	85	99	18300	20812
FEBRERO	0.9665	2560	9051	4853	116	745	377	402	462	79	13	143	1474	688	58	87	101	18649	21209
MARZO	0.9552	2530	8945	4797	115	736	373	397	456	78	13	141	1457	680	58	86	100	18432	20962
ABRIL	0.9409	2492	8811	4725	113	725	367	391	449	77	13	139	1435	669	57	84	98	18153	20645
MAYO	1.0218	2613	9552	4399	115	586	417	396	499	66	12	157	1514	511	14	69	99	18406	21019
JUNIO	1.0493	2684	9809	4518	118	602	429	407	513	68	12	161	1555	525	14	71	101	18903	21587
JULIO	1.1016	2817	10298	4743	124	632	450	427	538	71	13	169	1632	551	15	74	106	19843	22660
AGOSTO	1.0306	2636	9635	4437	116	591	421	399	503	66	12	158	1527	516	14	70	99	18564	21200
SEPTIEMBRE	1.0515	2689	9830	4527	118	603	430	407	514	68	12	161	1558	526	14	71	101	18940	21629
OCTUBRE	1.0420	2665	9741	4486	117	598	426	404	509	67	12	160	1544	521	14	70	101	18770	21435
NOVIEMBRE	1.0183	2604	9520	4384	115	584	416	395	497	66	12	156	1509	510	14	69	98	18345	20949
DICIEMBRE	0.9060	2400	8484	4550	109	698	354	376	433	74	12	134	1382	645	55	81	95	17482	19882
TPDA		2601	9380	4599	116	653	403	400	486	72	13	152	1503	585	32	77	100	18571	21172
CON ZAFRA																			
SIN ZAFRA																			

Tabla 5. 37 TPDA medido 2022, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia



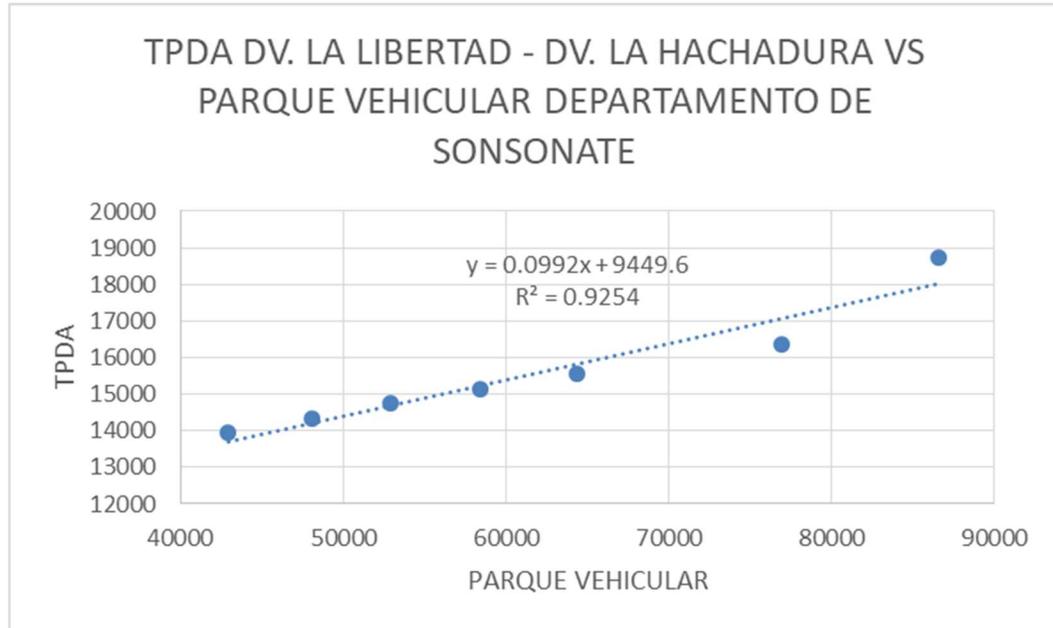
Grafica 5. 38 Composición vehicular de diseño vs. el medido, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

Además del análisis anterior, se realizan dos graficas más para lograr tener una correlación entre el TPDA y el parque vehicular, la primera es la Grafica 5. 39 TPDA Histórico 2002 – 2023 Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura donde utilizamos los datos históricos del TPDA y el dato medido en esta investigación en el año 2023, obteniendo así una ecuación de la línea de tendencia con un valor de coeficiente de determinación de 0.83, lo que indica que es una ecuación confiable. Esa ecuación la utilizamos para posteriormente generar la Grafica 5. 40 TPDA Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura vs parque vehicular departamento de Sonsonate en la que correlacionamos el TPDA y parque vehicular, obteniendo así una fórmula que describe esta correlación con un valor de coeficiente de determinación de 0.92 lo que indica que es una ecuación muy confiable, concluyendo con esto que para hacer proyecciones de TPDA podemos utilizar el parque vehicular que actualmente se encuentra actualizado y se espera que siga estándolo para que futuros diseñadores lo puedan adoptar.



Grafica 5. 39 TPDA Histórico 2002 – 2023 Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura

Fuente: creación propia con información histórica de TPDA tomada del Contrato CO-148/2013 y medición propia para el año 2023.



Grafica 5. 40 TPDA Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura vs parque vehicular departamento de Sonsonate
Fuente: creación propia con información histórica de TPDA tomada del Contrato CO-148/2013, medición propia para el año 2023 y parque vehicular tomado de <https://observatoriovial.fonat.gob.sv/parque-vehicular/>

5.5.2 ANALISIS EJES EQUIVALENTES (ESAL´S)

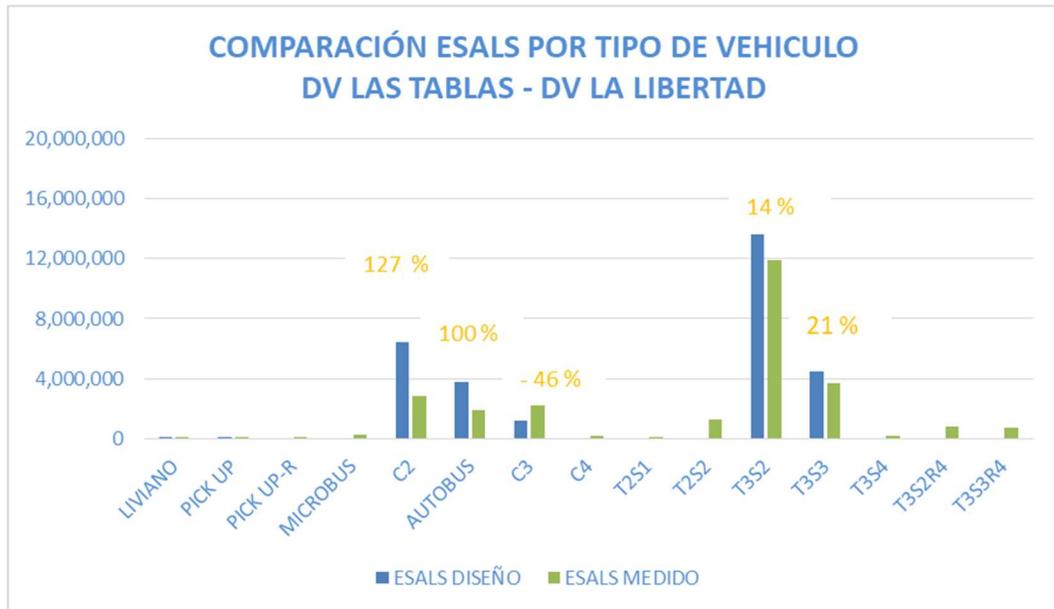
En la Tabla 5. 38 ESAL´S acumulados de diseño y medidos, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura detallada adelante, se hace una comparación entre los ESAL´S de diseño y los medidos en el año 2023, y proyectados para los años posteriores.

Este análisis se hace desde el año 2015, año del diseño y el año 2034, para ser congruente con los documentos de diseño.

ESALS ACUMULADOS		
AÑO	ESAL DISEÑO	ESAL MEDIDO
2015	1,187,488	817,426
2016	2,395,737	1,673,256
2017	3,625,444	2,567,491
2018	4,939,109	3,561,226
2019	6,275,965	4,605,584
2020	7,636,269	5,700,566
2021	9,019,766	6,846,171
2022	10,427,798	8,042,400
2023	11,860,597	9,289,252
2024	13,318,350	10,586,727
2025	14,805,626	11,934,826
2026	16,322,482	13,333,548
2027	17,869,953	14,782,894
2028	19,448,380	16,282,862
2029	21,058,919	17,833,455
2030	22,701,423	19,434,670
2031	24,377,161	21,086,509
2032	26,086,589	22,788,971
2033	27,830,130	24,542,057
2034	29,608,484	26,345,766

*Tabla 5. 38 ESAL's acumulados de diseño y medidos, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.*

Se realizó el análisis de ESAL's por cada tipo de vehículo para analizar cuáles son los vehículos que más incidencia tienen en el valor de los ESAL's.



Grafica 5. 41 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En la Grafica 5. 41 Comparación ESAL´s de diseño vs. el medido para cada tipo de vehículo, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, podemos observar cómo varía la cantidad de ejes equivalentes calculados en base a la medición respecto al de diseño, teniendo en su mayoría valores más altos en el diseño, esto afectado por el número de vehículos C2, Autobuses y T3S3, que actualmente en la medición representan valores más bajos que los descritos en el diseño a excepción del C3 que fue un valor más alto.

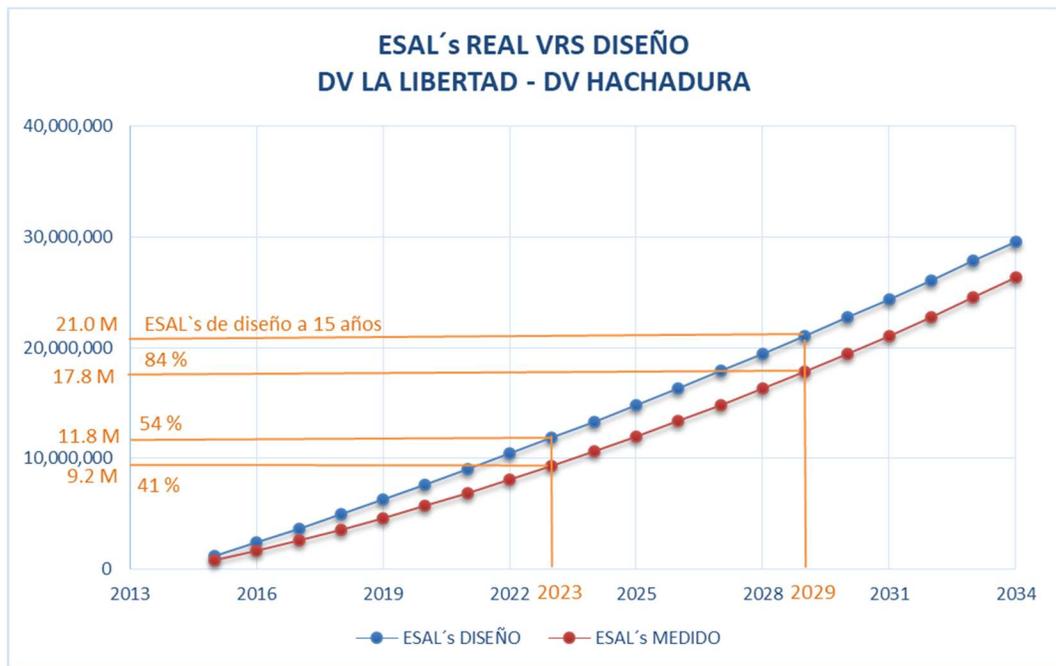
Para el cálculo de los ESAL´s es importante obtener el valor de los factores de dirección y factor carril, lo cuales detallamos en la Tabla 5. 39 Factor de dirección y factor de carril, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.

CON ZAFRA	
FACTOR DIRECCIÓN	49.63%
FACTOR CARRIL	78.38%
FC*FD	38.90%

Tabla 5. 39 Factor de dirección y factor de carril, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura

Fuente: Creación propia

Es importante resaltar, que los factores calculados son en base a ejes equivalentes. El diseñador en este caso utilizó Factor Dirección de 50% y Factor Carril del 80%, cuyo producto que es el que afecta finalmente a los ejes equivalentes es de $80\% \times 50\% = 40\%$, valor que representa una diferencia mínima de 1.1 puntos porcentuales.

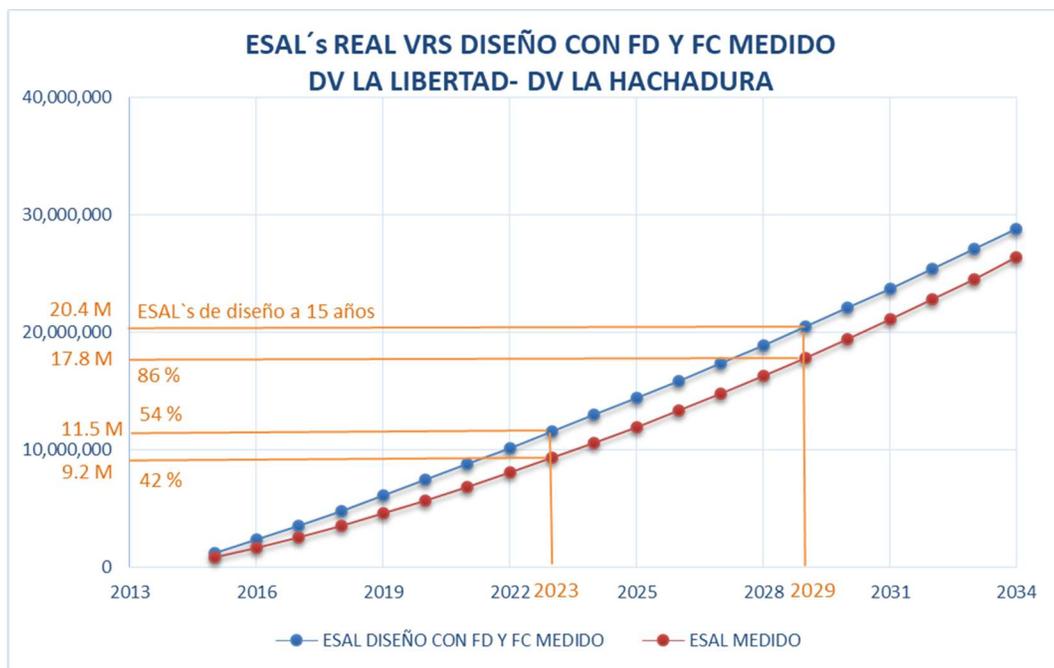


Grafica 5. 42 ESAL's medidos vs ESAL's de diseño, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En esta Grafica 5. 42 ESAL's medidos vs ESAL's de diseño, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, se observa que los ESAL's de diseño son mayores a los ESAL's medidos. Realizando una comparación para el 2022, se tiene un 41% de ejes equivalentes en la vía y según el diseño debió haber 54%, para el 2029 el pavimento tendría un 84% de los ejes equivalentes bajos los cuales se diseñó este tramo. Esto es una ventaja para la estructura ya que no estaría alcanzando su total de ejes para cuales se diseñó y esto debería traducirse a mayor vida del pavimento.

En la misma Grafica 5. 42 ESAL´s medidos vs ESAL´s de diseño, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, se consideran para el diseño los factores de dirección y carril mismos utilizados en el diseño.

Adicionalmente realizamos una corrida utilizando los valores de los factores, obtenidos por nuestras mediciones de tráfico y posteriores análisis. Se observa la diferencia mostrada en la Grafica 5. 43 ESAL´s real vs. ESAL´s de diseño con FC y FD calculados, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.



Grafica 5. 43 ESAL´s real vs. ESAL´s de diseño con FC y FD calculados, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

Se observa que con los factores dirección y carril reales, la diferencia se hace menor y para el 2029 el valor se acerca más al valor de diseño, pasando del 84% al 86%.

Luego de hacer el análisis de los ejes equivalentes de diseño, los medidos en esta investigación y los de diseño utilizando los factores reales de distribución por carril y dirección, viene la siguiente parte en la que realizamos un análisis mucho más real, ya que ahora se incorpora el análisis de los daños

considerando el espectro de carga. Dadas las condiciones de cualquier vía, los vehículos pasan con pesos diferentes a los que están regulados, ya sea con una carga mayor o menor, siendo eso lo que describe un espectro de carga.

Al igual que para el tramo I, II y III, se realiza el mismo análisis de la matriz TPDA – LEF – Espectro, y en base a la Grafica 5. 10 % Peso vs % Daño de vehículos obtenemos los siguientes resultados.

De la Tabla 5. 40 Cantidad de ejes por año, Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura se realiza la conversión de tipo de vehículos a cantidad de ejes de cada tipo, sencillos, sencillo direccional, tándem, trídem y cuádruple, quedando de la siguiente manera:

EJES					
EJE	SENCILLO	SENCILLO DUAL	TANDEM	TRIDEM	CUADRUPLE
2015	21492	972	3192	596	21
2016	22501	1017	3342	624	22
2017	23511	1063	3492	652	23
2018	26127	1181	3881	724	26
2019	27458	1241	4078	761	27
2020	28789	1301	4276	798	28
2021	30120	1362	4474	835	29
2022	31451	1422	4671	872	31
2023	32782	1482	4869	909	32
2024	34113	1542	5067	946	33
2025	35444	1602	5264	983	35
2026	36775	1663	5462	1020	36
2027	38106	1723	5660	1057	37
2028	39437	1783	5857	1094	38
2029	40768	1843	6055	1130	40
2030	42099	1903	6253	1167	41
2031	43430	1963	6450	1204	42
2032	44761	2024	6648	1241	44
2033	46092	2084	6846	1278	45
2034	47423	2144	7044	1315	46
Total 2015 - 2034	692679	31315	102881	19206	676

*Tabla 5. 40 Cantidad de ejes por año, Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia*

Luego de tener la cantidad de ejes por año y tomando en cuenta la distribución de cada espectro por eje, se calculan los LEF para cada carga del espectro. Tabla 5. 41 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje tridem se deja una muestra de cómo se calcula el LEF para un eje tridem y para un año, haciendo esto mismo posteriormente para cada eje y cada año, dando como resultado la Tabla 5. 42 LEF y ESAL por año y por eje Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura.

TRIDEM		LEF		0.71502		y = 0.9969x0.2389		R ² = 0.9999		
		20000		KG						
ESPECTRO						CALCULO DE LEF			2015	
CORR	LIMITE INFERIOR (KG)	LIMITE SUPERIOR (KG)	VALOR MEDIO (TON)	CANTIDAD DE VEHICULOS	PORCENTAJE	% PESO PERMITIDO	% LEF	LEF EQQ	EJES	LEF EQQ * EIES
1	0	1,000	0.50	0	0.0000%	3%	0.000%	0.00000	0	0.0000
2	1,000	2,000	1.50	10	0.0435%	8%	0.002%	0.00001	0	0.0000
3	2,000	3,000	2.50	0	0.0000%	13%	0.017%	0.00012	0	0.0000
4	3,000	4,000	3.50	0	0.0000%	18%	0.068%	0.00049	0	0.0000
5	4,000	5,000	4.50	8	0.0348%	23%	0.195%	0.00139	0	0.0000
6	5,000	6,000	5.50	8	0.0348%	28%	0.451%	0.00323	0	0.0000
7	6,000	7,000	6.50	12	0.0522%	33%	0.908%	0.00649	0	0.0000
8	7,000	8,000	7.50	35	0.1522%	38%	1.653%	0.01182	1	0.0118
9	8,000	9,000	8.50	42	0.1826%	43%	2.792%	0.01996	1	0.0200
10	9,000	10,000	9.50	45	0.1956%	48%	4.447%	0.03179	1	0.0318
11	10,000	11,000	10.50	82	0.3565%	53%	6.760%	0.04834	2	0.0967
12	11,000	12,000	11.50	73	0.3174%	58%	9.894%	0.07074	2	0.1415
13	12,000	13,000	12.50	93	0.4043%	63%	14.026%	0.10029	2	0.2006
14	13,000	14,000	13.50	217	0.9434%	68%	19.357%	0.13841	6	0.8304
15	14,000	15,000	14.50	405	1.7608%	73%	26.106%	0.18666	10	1.8666
16	15,000	16,000	15.50	843	3.6651%	78%	34.513%	0.24677	22	5.4290
17	16,000	17,000	16.50	1,723	7.4910%	83%	44.837%	0.32059	45	14.4267
18	17,000	18,000	17.50	3,780	16.4341%	88%	57.359%	0.41013	98	40.1927
19	18,000	19,000	18.50	5,808	25.2511%	93%	72.381%	0.51754	150	77.6305
20	19,000	20,000	19.50	6,441	28.0031%	98%	90.224%	0.64512	167	107.7353
21	20,000	21,000	20.50	2,322	10.0952%	103%	111.234%	0.79534	60	47.7207
22	21,000	22,000	21.50	677	2.9434%	108%	135.775%	0.97082	18	17.4747
23	22,000	23,000	22.50	204	0.8869%	113%	164.235%	1.17431	5	5.8716
24	23,000	24,000	23.50	82	0.3565%	118%	197.023%	1.40875	2	2.8175
25	24,000	25,000	24.50	30	0.1304%	123%	234.570%	1.67722	1	1.6772
26	25,000	26,000	25.50	28	0.1217%	128%	277.331%	1.98297	1	1.9830
27	26,000	27,000	26.50	12	0.0522%	133%	325.781%	2.32940	0	0.0000
28	27,000	28,000	27.50	5	0.0217%	138%	380.420%	2.72008	0	0.0000
29	28,000	29,000	28.50	12	0.0522%	143%	441.768%	3.15873	0	0.0000
30	29,000	30,000	29.50	1	0.0043%	148%	510.372%	3.64926	0	0.0000
31	30,000	31,000	30.50	1	0.0043%	153%	586.798%	4.19572	0	0.0000
32	31,000	32,000	31.50	0	0.0000%	158%	671.639%	4.80235	0	0.0000
33	32,000	33,000	32.50	0	0.0000%	163%	765.507%	5.47353	0	0.0000
34	33,000	34,000	33.50	0	0.0000%	168%	869.043%	6.21383	0	0.0000
35	34,000	35,000	34.50	0	0.0000%	173%	982.907%	7.02798	0	0.0000
36	35,000	36,000	35.50	2	0.0087%	178%	1107.786%	7.92089	0	0.0000
									594	326.1582

Tabla 5. 41 Ejemplo de Cálculo de LEF a partir del espectro de carga para eje tridem
Fuente: Creación propia

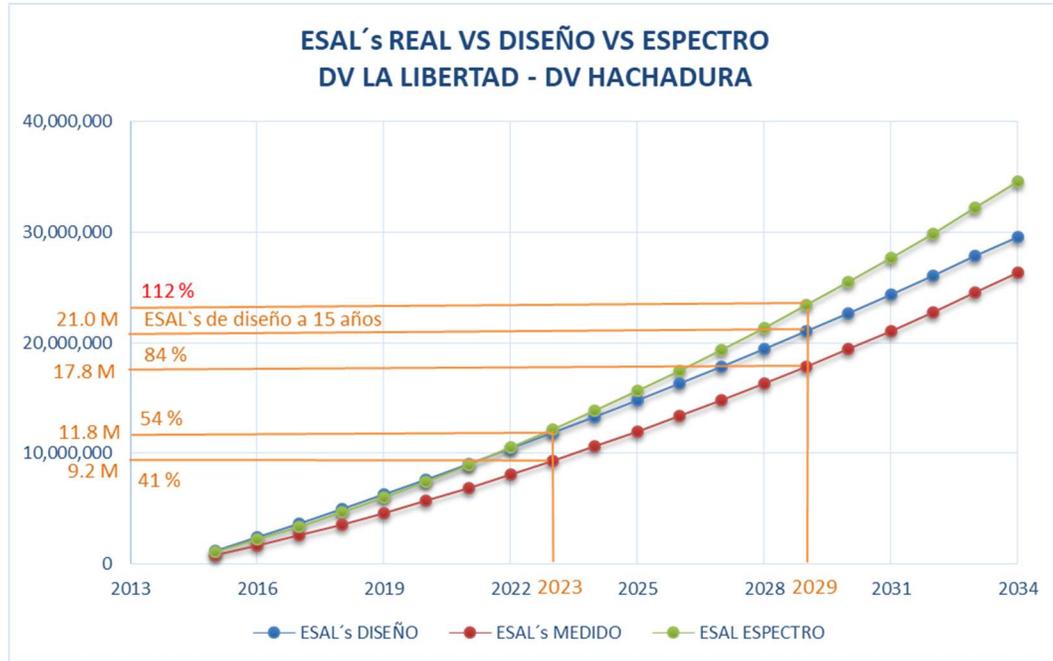
LOAD EQUIVALENT FACTOR						F. DIRECCION X F.CARRIL	38.90%
EJE	SENCILLO	SENCILLO DUAL	TANDEM	TRIDEM	CUADRUPLE	ESALS	ESALS ACUMULADO S
2015	2500	1781	2902	326	11	1,067,736	1,067,736
2016	2628	1868	3040	342	12	1,120,098	2,187,835
2017	2740	1971	3181	357	12	1,172,831	3,360,666
2018	3034	2171	3539	396	14	1,299,500	4,660,166
2019	3197	2274	3713	416	14	1,364,995	6,025,161
2020	3350	2385	3894	436	15	1,430,934	7,456,095
2021	3498	2507	4078	456	15	1,498,609	8,954,704
2022	3647	2613	4253	476	16	1,562,378	10,517,082
2023	3876	2732	4433	496	17	1,640,331	12,157,413
2024	4024	2837	4612	516	17	1,704,591	13,862,004
2025	4173	2963	4797	542	18	1,773,732	15,635,736
2026	4326	3061	4979	563	19	1,838,203	17,473,939
2027	4489	3173	5166	582	19	1,906,639	19,380,578
2028	4637	3272	5345	601	20	1,969,925	21,350,503
2029	4785	3371	5522	621	21	2,033,118	23,383,621
2030	4934	3515	5705	642	22	2,103,845	25,487,466
2031	5097	3616	5879	663	22	2,168,888	27,656,354
2032	5249	3732	6060	685	23	2,235,823	29,892,178
2033	5399	3827	6245	706	24	2,299,935	32,192,113
2034	5562	3931	6422	726	24	2,366,066	34,558,178
Total 2015 - 2034	81143	57600	93763	10548	355	34,558,178	

*Tabla 5. 42 LEF y ESAL por año y por eje Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia*

Posteriormente realizamos la comparación de ESAL's incorporando ahora este nuevo cálculo considerando los espectros. En la Tabla 5. 43 ESAL's acumulados diseño, medido y espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura, se pueden observar las variables mencionadas, para cada uno de los años.

ESALS ACUMULADOS			
AÑO	ESAL DISEÑO	ESAL MEDIDO	ESAL ESPECTRO
2015	1,187,488	817,426	1,067,736
2016	2,395,737	1,673,256	2,187,835
2017	3,625,444	2,567,491	3,360,666
2018	4,939,109	3,561,226	4,660,166
2019	6,275,965	4,605,584	6,025,161
2020	7,636,269	5,700,566	7,456,095
2021	9,019,766	6,846,171	8,954,704
2022	10,427,798	8,042,400	10,517,082
2023	11,860,597	9,289,252	12,157,413
2024	13,318,350	10,586,727	13,862,004
2025	14,805,626	11,934,826	15,635,736
2026	16,322,482	13,333,548	17,473,939
2027	17,869,953	14,782,894	19,380,578
2028	19,448,380	16,282,862	21,350,503
2029	21,058,919	17,833,455	23,383,621
2030	22,701,423	19,434,670	25,487,466
2031	24,377,161	21,086,509	27,656,354
2032	26,086,589	22,788,971	29,892,178
2033	27,830,130	24,542,057	32,192,113
2034	29,608,484	26,345,766	34,558,178

*Tabla 5. 43 ESAL's acumulados diseño, medido y espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.*



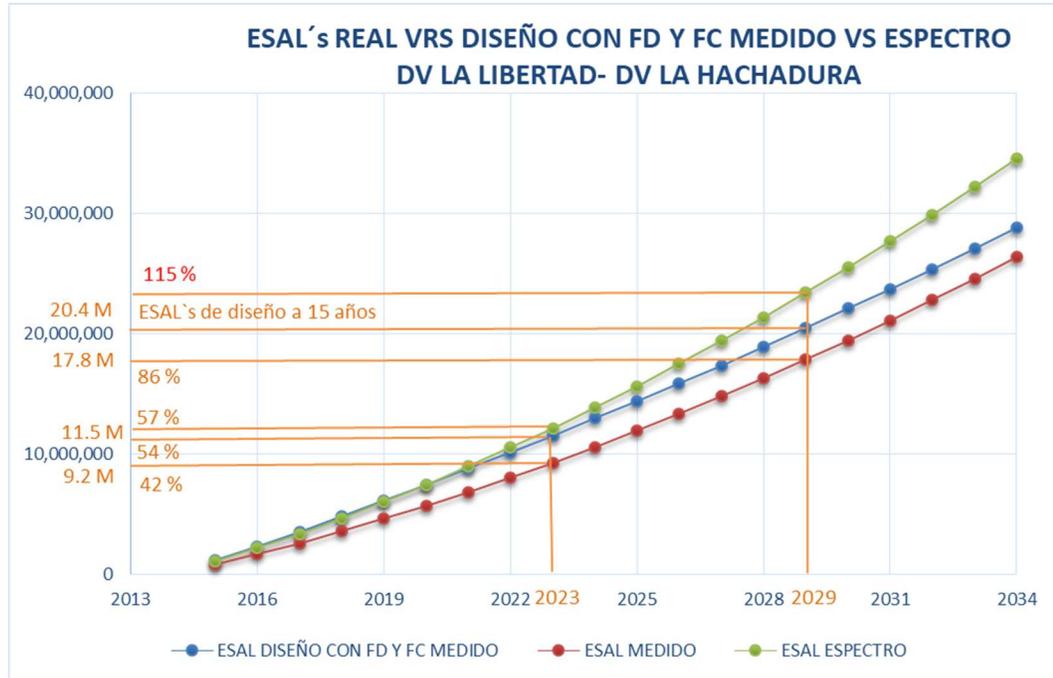
Grafica 5. 44 ESAL's medido vs diseño vs espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura
 Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

En la Grafica 5. 44 ESAL's medido vs diseño vs espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura, se observa que la línea que representa el cálculo con base al espectro, se acerca mucho más a valores del diseño ya que esta es más realista en términos de pesos, indicando que para el 2029, año en el que el pavimento cumple su vida de diseño, llegaría a un 112% de sus ESAL's proyectados por el diseñador. Además, para hacer un análisis más exacto hacemos también la corrida con los datos de diseño, pero con los factores reales de carril y dirección, esto arrojándonos datos más interesantes ya que es lo que en realidad está pasando en la vía.

En la Tabla 5. 44 ESAL's acumulados diseño FC*FD, medido y espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura, se introducen las variables del Factor Carril y Factor de Dirección, que fueron medidos directamente en la presente investigación.

ESALS ACUMULADOS CON FD Y FC MEDIDOS Y ESPECTRO			
AÑO	ESAL DISEÑO CON FD Y FC MEDIDO	ESAL MEDIDO	ESAL ESPECTRO
2015	1,154,761	817,426	1,067,736
2016	2,329,712	1,673,256	2,187,835
2017	3,525,527	2,567,491	3,360,666
2018	4,802,988	3,561,226	4,660,166
2019	6,103,001	4,605,584	6,025,161
2020	7,425,816	5,700,566	7,456,095
2021	8,771,184	6,846,171	8,954,704
2022	10,140,411	8,042,400	10,517,082
2023	11,533,723	9,289,252	12,157,413
2024	12,951,301	10,586,727	13,862,004
2025	14,397,588	11,934,826	15,635,736
2026	15,872,640	13,333,548	17,473,939
2027	17,377,463	14,782,894	19,380,578
2028	18,912,389	16,282,862	21,350,503
2029	20,478,542	17,833,455	23,383,621
2030	22,075,779	19,434,670	25,487,466
2031	23,705,334	21,086,509	27,656,354
2032	25,367,651	22,788,971	29,892,178
2033	27,063,141	24,542,057	32,192,113
2034	28,792,483	26,345,766	34,558,178

*Tabla 5. 44 ESAL's acumulados diseño FC*FD, medido y espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.*



Grafica 5. 45 ESAL's medido vs diseño FC*FD vs espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

La Grafica 5. 45 ESAL's medido vs diseño FC*FD vs espectro Dv. La Libertad - Dv. La Hachadura, es la más real que se puede presentar de acuerdo a lo que está sucediendo en el tramo. Siendo la línea verde la mejor representación ya que considera tráfico real medido, factores de dirección y carril medidos, pesos en base a espectro de carga y no en base a pesos teóricos. Por lo tanto, a nuestro criterio, la línea verde es lo que actualmente está ocurriendo en el pavimento y esto nos indica que para el año 2023 de la medición ya se lleva un 57% del ESAL's de diseño y para el 2029, año en el que el pavimento cumpliría su vida útil de diseño, el pavimento tendría el 115% de sus ejes para los cuales fue diseñado.

5.5.3 ANALISIS DE NIVELES DE SERVICIO

El análisis de niveles de servicio se ha realizado para el año de medición de tráfico en este tramo que fue en el año 2023, para el año 2024 que el proyecto tiene 10 años de haberse construido y para el 2034 que es el año que el

diseñador lo calculó, lo anterior para poder realizar la comparación del nivel de servicio en los mismos años.

Durante la medición de tráfico también se midió la velocidad de cada uno de los vehículos y se calculó la velocidad promedio para el año de medición. Para el resto de los años se ha considerado una tendencia lineal, partiendo de la velocidad al año cero y la velocidad medida en el año 2023.

En la Tabla 5. 45 Velocidades promedio medidas, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, se presentan las velocidades promedio medidas en el Tramo IV.

En la Tabla 5. 46 Velocidades por año, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, se presenta la proyección de velocidades para los años 2024 y 2034.

VELOCIDAD PROMEDIO MEDIDA					
T4	77.9	LD	79.5	CE	72.2
				CI	86.8
		LI	76.3	CI	81.3
				CE	71.3

*Tabla 5. 45 Velocidades promedio medidas, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia*

VELOCIDADES POR TRAMO EN EL TIEMPO					
AÑO / TRAMO	2013	2022	2024	2034	Formula utilizada
TRAMO 4 LATERAL DERECHO	95	79.5	76.07	58.85	$Vel = -1.7222 * Año + 3561.8$
TRAMO 4 LATERAL IZQUIERDO	95	76.3	72.13	51.35	$Vel = -2.0778 * Año + 4277.6$

*Tabla 5. 46 Velocidades por año, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia*

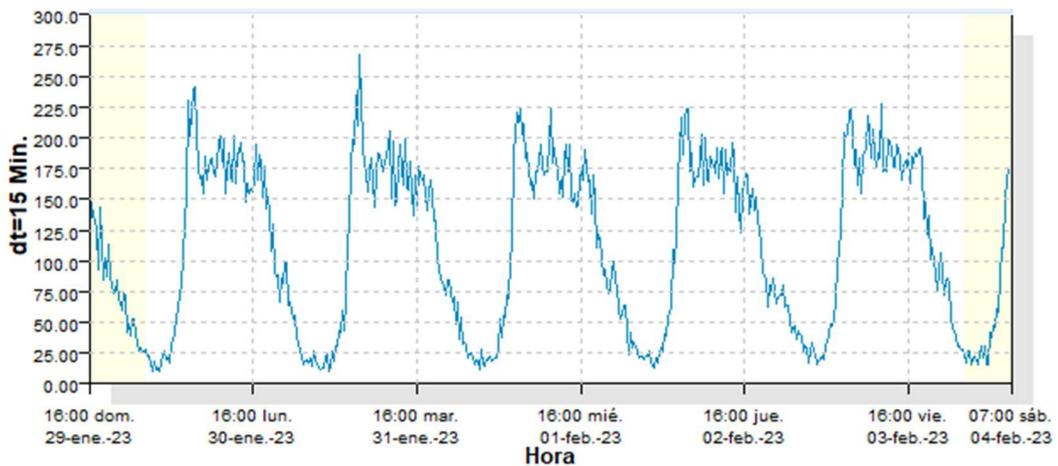
El factor de hora pico es clave para el cálculo del nivel de servicio, el cual lo calculamos en base la información bajada del sistema del equipo de medición. Se presentan las gráficas para cada sentido, donde se muestra la cantidad de vehículos por cada 15 minutos para todos los días de medición.

Lateral Derecho:

Los resultados de las mediciones realizadas en el Tramo IV, Lateral Derecho pueden observarse en la Tabla 5. 47 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura y en la Grafica 5. 46 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.

HORA PICO	938
15 MIN PICO	266
FHP	0.882

*Tabla 5. 47 Factor de Hora Pico, Lateral Derecho, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia*

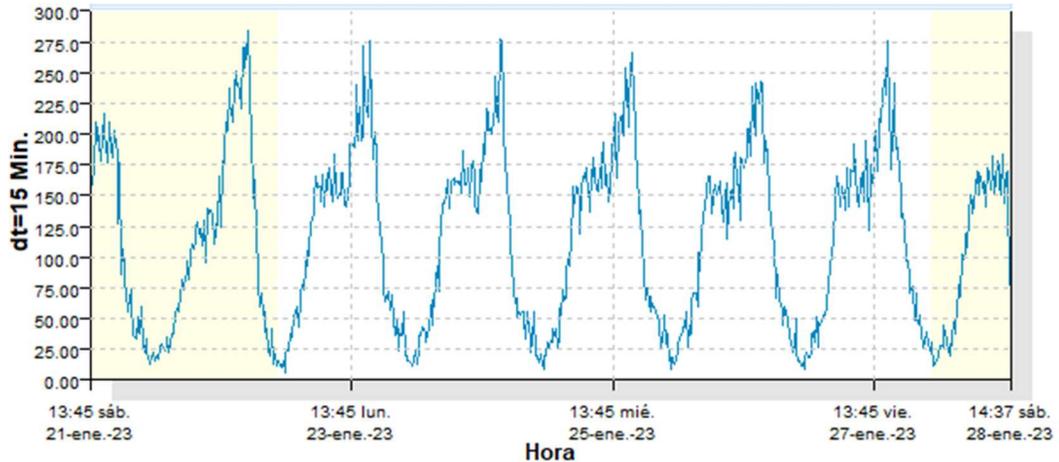


*Grafica 5. 46 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral derecho, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia*

Los resultados de las mediciones realizadas en el Tramo IV, Lateral Izquierdo pueden observarse en la Tabla 5. 48 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura y en la Grafica 5. 47 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura.

HORA PICO	1070
15 MIN PICO	283
FHP	0.945

*Tabla 5. 48 Factor de Hora Pico, Lateral Izquierdo, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia*



*Grafica 5. 47 Cantidad de vehículos por cada 15 minutos, Lateral izquierdo, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura
Fuente: Creación propia*

Se ha hecho un análisis del nivel de servicio del Tramo IV, ambos laterales, para los años 2022, 2024 y 2034, hechos respectivamente en la Imagen 5. 11 Calculo de niveles de servicio, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, Lateral Derecho e Izquierdo año 2023, Imagen 5. 12 Calculo de niveles de servicio, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024 e Imagen 5. 13 Calculo de niveles de servicio, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO IV - DV LA LIBERTAD - DV LA HACHADURA

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Lane width	3.60	m	3.60	m
Lateral clearance				
Right edge	1.80	m	1.80	m
Left edge	0.30	m	0.30	m
Total lateral clearance	2.10	m	2.10	m
Median type	Divided		Divided	
Free-flow speed (FFS) Measure	79.50	km/h	76.30	km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Volume, V	938	veh/hour	1070	veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.88		0.95	
Peak 15-minute volume, v15	266		283	
Trucks and buses, PT	24.3%		12.4%	
Recreational vehicles, PR	12.9%		10.6%	
Terrain type	Level		Level	
Grade	0.0	%	0.0	%
Segment length	0.00	km	0.00	km
Number of lanes	2		2	
Driver population adjustment, Fp	1		1	
Trucks and buses PCE, ET	1.5		1.5	
Recreational vehicles PCE, ER	1.2		1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.872		0.923	
Flow rate, vp	611	veh/hour/lane	613	veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Flow rate, vp	611	veh/hour/lane	613	veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Measure	79.50	km/h	76.30	km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	79.50	km/h	76.30	km/h
Level of service, LOS	B		B	
Density, D	7.7	veh/km/lane	8.0	veh/km/lane

Imagen 5. 11 Calculo de niveles de servicio, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, Lateral Derecho e Izquierdo año 2023

Fuente: Creación propia

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO IV - DV LA LIBERTAD - DV LA HACHADURA

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO	LATERAL IZQUIERDO
Lane width	3.60 m	3.60 m
Lateral clearance		
Right edge	1.80 m	1.80 m
Left edge	0.30 m	0.30 m
Total lateral clearance	2.10 m	2.10 m
Median type	Divided	Divided
Free-flow speed (FFS) Estimada	78.00 km/h	74.42 km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO	LATERAL IZQUIERDO
Volume, V	977 veh/hour	1114 veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.88	0.94
Peak 15-minute volume, v15	277	295
Trucks and buses, PT	24.3%	12.4%
Recreational vehicles, PR	12.9%	10.6%
Terrain type	Level	Level
Grade	0.0 %	0.0 %
Segment length	0.00 km	0.00 km
Number of lanes	2	2
Driver population adjustment, Fp	1	1
Trucks and buses PCE, ET	1.5	1.5
Recreational vehicles PCE, ER	1.2	1.2
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.872	0.923
Flow rate, vp	636 veh/hour/lane	639 veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO	LATERAL IZQUIERDO
Flow rate, vp	636 veh/hour/lane	639 veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Estimada	78.00 km/h	74.42 km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	78.00 km/h	74.42 km/h
Level of service, LOS	B	B
Density, D	8.2 veh/km/lane	8.6 veh/km/lane

Imagen 5. 12 Calculo de niveles de servicio, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, Lateral Derecho e Izquierdo año 2024

Fuente: Creación propia

LEVEL OF SERVICE OF MULTILANE HIGHWAYS

TRAMO IV - DV LA LIBERTAD - DV LA HACHADURA

FREE FLOW SPEED

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Lane width	3.60	m	3.60	m
Lateral clearance				
Right edge	1.80	m	1.80	m
Left edge	0.30	m	0.30	m
Total lateral clearance	2.10	m	2.10	m
Median type	Divided		Divided	
Free-flow speed (FFS) Estimada	62.50	km/h	55.72	km/h

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Volume, V	1357	veh/hour	1548	veh/hour
Peak-hour factor, PHF	0.88		0.94	
Peak 15-minute volume, v15	385		410	
Trucks and buses, PT	24.3%		12.4%	
Recreational vehicles, PR	12.9%		10.6%	
Terrain type	Level		Level	
Grade	0.0	%	0.0	%
Segment length	0.00	km	0.00	km
Number of lanes	2		2	
Driver population adjustment, Fp	1		1	
Trucks and buses PCE, ET	1.5		1.5	
Recreational vehicles PCE, ER	1.2		1.2	
Heavy vehicle adjustment, fHV	0.872		0.923	
Flow rate, vp	884	veh/hour/lane	889	veh/hour/lane

VOLUME

Direction	LATERAL DERECHO		LATERAL IZQUIERDO	
Flow rate, vp	884	veh/hour/lane	889	veh/hour/lane
Free-flow speed (FFS) Estimada	62.50	km/h	55.72	km/h
Avg. passenger-car travel speed, S	62.50	km/h	55.72	km/h
Level of service, LOS	C		C	
Density, D	14.1	veh/km/lane	15.95	veh/km/lane

Imagen 5. 13 Calculo de niveles de servicio, Tramo IV Dv. La Libertad – Dv. La Hachadura, Lateral Derecho e Izquierdo año 2034

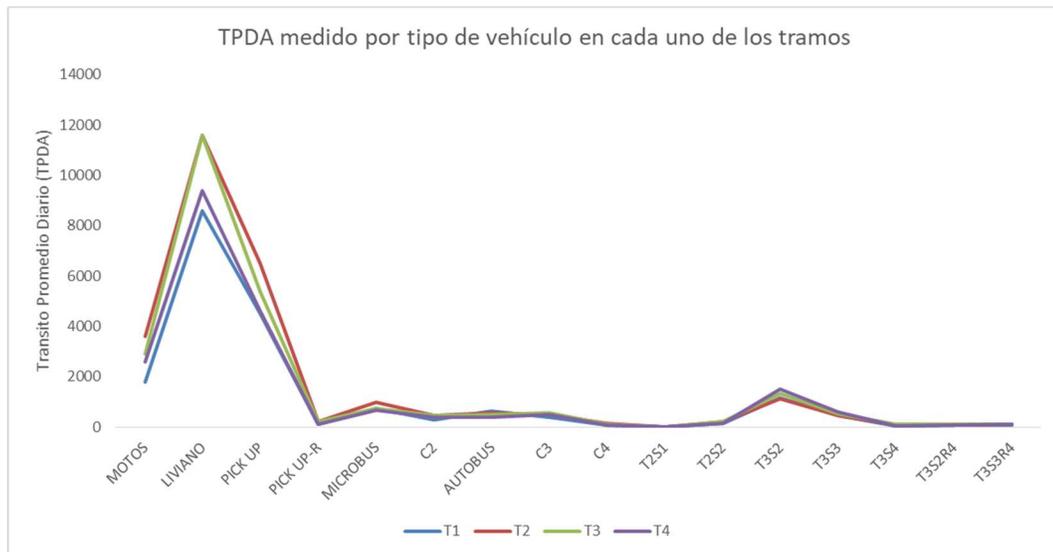
Fuente: Creación propia

5.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CUATRO TRAMOS.

En este apartado se realiza un consolidado, a manera de realizar la comparación de resultados entre tramos, y entre información de diseño y lo obtenido en las mediciones.

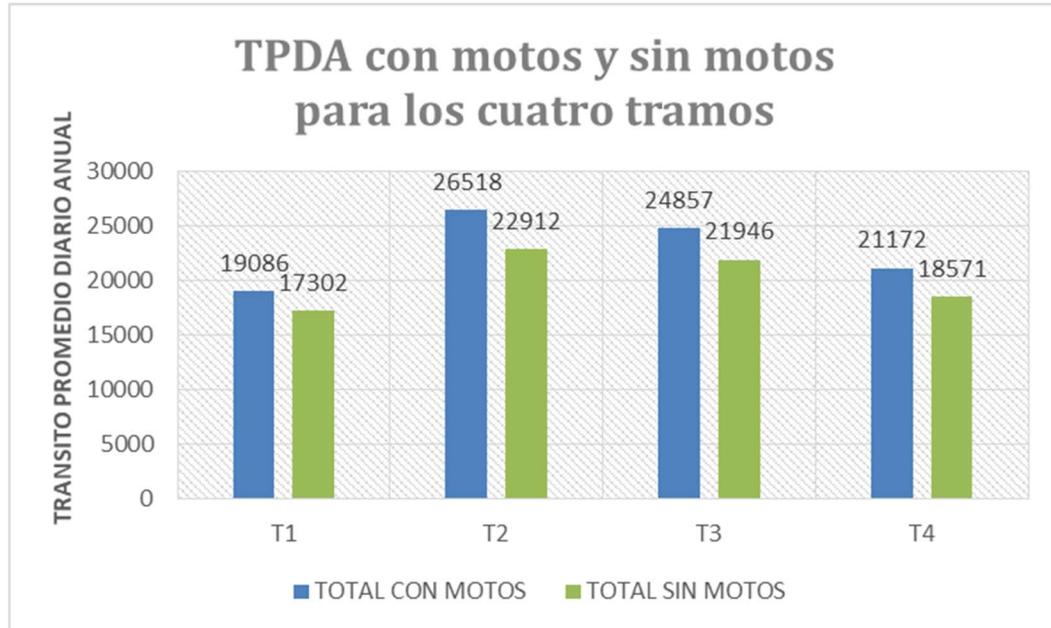
5.6.1 ANALISIS DEL TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)

En la Grafica 5. 48 TPDA medido por tipo de vehículo en cada uno de los tramos realizamos una comparación del TPDA entre tramos, pudiendo observar que los dos tramos con mayor tráfico son los tramos 2 y 3, que, si comparamos con los niveles de servicio calculados, corresponden a los que se tendrán niveles de servicio más altos en el futuro, esto, influenciado por la cantidad de vehículos livianos principalmente y camiones de carga como el T3S2.



Grafica 5. 48 TPDA medido por tipo de vehículo en cada uno de los tramos
Fuente: Creación propia

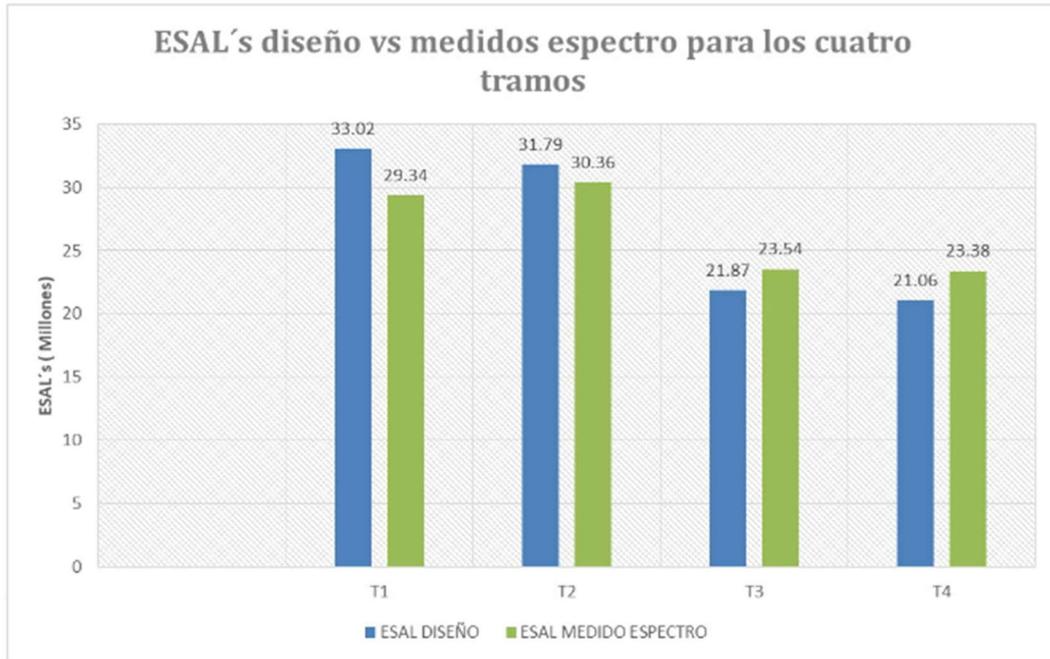
A pesar que las motos no se incluyen en los análisis de los TPDA, queremos resaltar su relevancia, por lo que en la Grafica 5. 49 TPDA con motos y sin motos para los cuatro tramos podemos ver la influencia de estas en cada uno de los tramos, observando que tienen una presencia similar, representando aproximadamente el 10% de todos los vehículos que circulan en la zona.



*Grafica 5. 49 TPDA con motos y sin motos para los cuatro tramos
Fuente: Creación propia*

5.6.2 ANALISIS EJES EQUIVALENTES (ESAL´s)

Se presenta la Grafica 5. 50 ESAL´s diseño vs medidos para los cuatro tramos hacemos la comparación para los cuatro tramos en términos de ESAL´s, observando que en los Tramos I y II, los ejes equivalentes son medidos son menores a los de diseño, y lo Tramos III y IV, los ejes equivalentes medidos son mayores a los que se consideró en el diseño. Estos resultados deberían dar un mejor comportamiento del pavimento de los Tramos I y II. Para los Tramos III y IV se prevé que haya daños prematuros ya que el tráfico real que está pasando es mayor al que se diseñó



Grafica 5. 50 ESAL's diseño vs medidos para los cuatro tramos

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

5.6.3 ANALISIS DE NIVELES DE SERVICIO

En la Imagen 5. 14 Comparación de los niveles de servicio para los cuatro tramos se hace un consolidado respecto a los niveles de servicio de cada tramo en el tiempo. Nuevamente vemos que los tramos 2 y 3 son los más sacrificados en términos de cantidad de vehículos y reducción de velocidad que tendrán en el tiempo. Aquí, podemos resaltar la importancia de la continua medición de tráfico para tener mejores proyecciones en términos de conocer la necesidad o prioridades que hay que tomar con la vía, así como la influencia del uso de motocicletas.

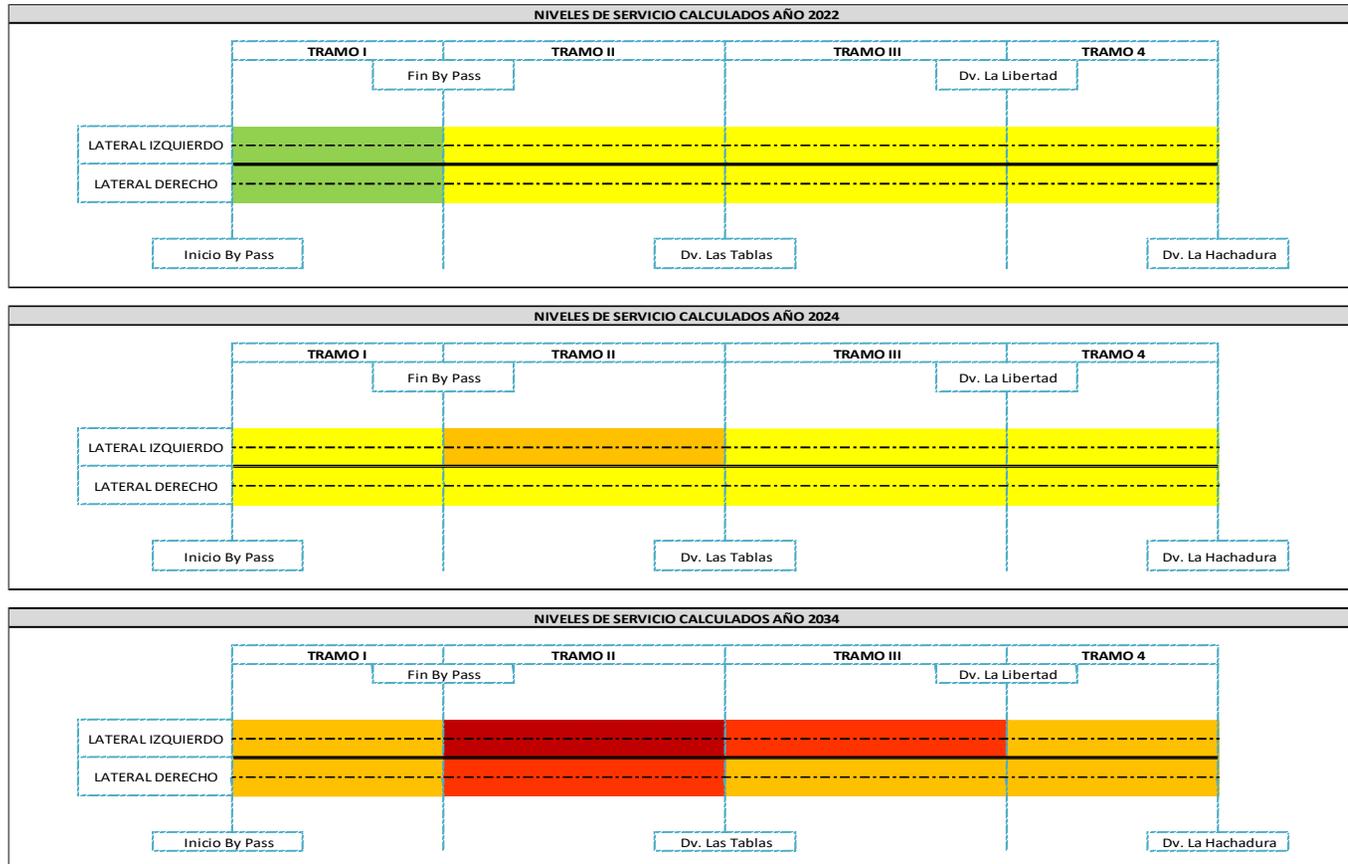


Imagen 5. 14 Comparación de los niveles de servicio para los cuatro tramos
Fuente: Creación propia

5.6.4 ANALISIS ESTRUCTURAL

En este apartado se realiza el cálculo estructural del pavimento tomando como base el diseño original expuesto en el capítulo II. Se ha realizado la corrida de los diseños cambiando únicamente los valores de ejes equivalentes calculados y analizados anteriormente (Diseño, Diseño con FC y FD medido, Medido y el calculado en base al espectro).

Los diseños se realizaron en el programa WinPas 12³¹, versión gratuita por 30 días, descargada de la página oficial de la American Concrete Pavement Association³² cuya metodología de diseño está basado en la Guía AASHTO 1993, Guide for Design of Pavements Structures.

En la Tabla 5. 49 ESAL´s por Tramo y por tipo de cálculo se muestra el resumen de los ESAL´s que se han calculado en este capítulo como la base principal para hacer las corridas de los diseños.

ESAL´s POR TRAMO Y POR TIPO DE CALCULO				
TRAMO	DISEÑO	DISEÑO FC Y FD MEDIDO	MEDIDO	MEDIDO CON SPRECTRO
T1	33,019,697	32,096,200	25,046,202	29,341,570
T2	33,019,697	27,311,020	24,048,064	30,356,476
T3	23,419,733	19,209,418	16,883,324	23,541,081
T4	23,419,733	20,478,542	17,833,455	23,383,621

Tabla 5. 49 ESAL´s por Tramo y por tipo de cálculo

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la investigación.

Para la realización de cada diseño, se toma como referencia la información de la Tabla 2. 62 Resumen de variables de diseño, CAPITULO II, DESCRIPCIÓN Y DISEÑOS ESTRUCTURALES DE LOS TRAMOS EN ANALISIS, además de

³¹ Ver ANEXO H. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS CUATRO TRAMOS DE CARRETERA OBJETO DE LA PRESENTE INVESTIGACION.

³² LIBRERÍA DIGITAL DE LA AMERICAN CONCRETE PAVIMENT ASOCIATION (ACPA)
<http://apps.acpa.org/applibrary>

información de la presente investigación

En la Tabla 5. 50 Espesores de estructura de pavimento Tramo I, se presenta la comparación de los espesores de diseño de Pavimento Hidráulico, variando los ESAL's obtenidos en el Diseño, Diseño utilizando Factor de Carril y Factor de Dirección, Medido, Medido y Medido con Espectro de Carga.

Como puede observarse, el pavimento de mayor espesor es el del Diseño.

ESPEORES (cm) DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO TRAMO I - BY PASS SONSONATE				
Estructura	DISEÑO	DISEÑO FC Y FD MEDIDO	MEDIDO	MEDIDO CON ESPECTRO
Carpeta de Concreto Hidráulico (MR = 48 Kg/cm ²)	23.98	23.85	22.73	23.44
Base de Suelo Cemento (qu = 35 Kg/cm ²)	25.00	25.00	25.00	25.00

Tabla 5. 50 Espesores de estructura de pavimento Tramo I

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la investigación.

En la Tabla 5. 51 Espesores de estructura de pavimento Tramo II, se presenta la comparación de los espesores de diseño de Pavimento Hidráulico, variando los ESAL's obtenidos en el Diseño, Diseño utilizando Factor de Carril y Factor de Dirección, Medido, Medido y Medido con Espectro de Carga.

Como puede observarse, el pavimento de mayor espesor es el del Diseño.

ESPEORES (cm) DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO TRAMO II - BY PASS SONSONATE - DV. LAS TABLAS				
Estructura	DISEÑO	DISEÑO FC Y FD MEDIDO	MEDIDO	MEDIDO CON ESPECTRO
Carpeta de Concreto Hidráulico (MR = 48 Kg/cm ²)	23.98	23.11	22.56	23.60
Base de Suelo Cemento (qu = 35 Kg/cm ²)	25.00	25.00	25.00	25.00

Tabla 5. 51 Espesores de estructura de pavimento Tramo II

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la investigación.

En la Tabla 5. 52 Espesores de estructura de pavimento Tramo III, se presenta la comparación de los espesores de diseño de Pavimento Asfáltico, variando los ESAL's obtenidos en el Diseño, Diseño utilizando Factor de Carril y Factor de Dirección, Medido, Medido y Medido con Espectro de Carga.

Como puede observarse, el pavimento de mayor espesor es el Medido con Espectro de Carga.

ESPESORES (cm) DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO TRAMO III - DV LAS TABLAS - DV. LA LIBERTAD				
Estructura	DISEÑO	DISEÑO FC Y FD MEDIDO	MEDIDO	MEDIDO CON ESPECTRO
Carpeta de Concreto Asfáltico	5.00	11.13	10.54	12.04
Carpeta de Concreto Asfáltico	7.00			
Base Tratada con Emulsión Asfáltica	18.00	18.00	18.00	18.00
Sub Base de Suelo Cemento ($q_u = 35 \text{ Kg/cm}^2$)	25.00	25.00	25.00	25.00

Tabla 5. 52 Espesores de estructura de pavimento Tramo III

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la investigación.

En la Tabla 5. 53 Espesores de estructura de pavimento Tramo IV, se presenta la comparación de los espesores de diseño de Pavimento Asfáltico, variando los ESAL's obtenidos en el Diseño, Diseño utilizando Factor de Carril y Factor de Dirección, Medido, Medido y Medido con Espectro de Carga.

Como puede observarse, el pavimento de mayor espesor es el Medido con Espectro de Carga.

ESPEORES (cm) DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO TRAMO IV - DV. LA LIBERTAD - DV. LA HACHADURA				
Estructura	DISEÑO	DISEÑO FC Y FD MEDIDO	MEDIDO	MEDIDO CON ESPECTRO
Carpeta de Concreto Asfáltico	5.00	11.43	10.80	12.04
Carpeta de Concreto Asfáltico	7.00			
Base Tratada con Emulsión Asfáltica	18.00	18.00	18.00	18.00
Sub Base de Suelo Cemento ($q_u = 35 \text{ Kg/cm}^2$)	25.00	25.00	25.00	25.00

Tabla 5. 53 Espesores de estructura de pavimento Tramo IV

Fuente: Creación propia, con información del Contrato CO-148/2013. Informe final de diseño y de la presente investigación.

Como podemos observar en los resultados obtenidos de las estructuras de pavimento con los diferentes valores de ESAL's, especialmente en el escenario más realista calculado por medio del espectro de carga, el espesor no varía mucho respecto a lo diseñado, debiendo esto traducirse en un desempeño adecuado de la estructura en el tiempo y a pesar que en términos de TPDA no se tienen valores cercanos entre el diseño versus lo real, en términos de ESAL's y estructura de pavimento calculada si lo hay. Siendo esto un resultado muy bueno para el pavimento como tal, sin embargo, es uno de los muchos factores que se pueden evaluar y analizar la condición actual de la estructura.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Luego de la realización de los trabajos en campo, recolección de información por medio del MOP, FOVIAL y VMT, análisis de la información, detallamos a continuación las conclusiones de nuestra investigación.

- Los cuatro tramos de carretera en estudio, antes de esta investigación no tenían antecedentes de ser estudiados en ningún aspecto. Esta investigación marca el inicio y la base de información necesaria para realizar más estudios dando continuidad a lo realizado en esta investigación.
- Es importante que los estudios de tráfico que se realicen, tomen en cuentas las variables de la zona, en este caso, la consideración de la zafra es importante por el daño que generan este tipo de vehículos, así como el período de influencia, ya que no es permanente en el año.
- Los resultados de la medición del TPDA determinan una cantidad de vehículos arriba del valor de diseño, y aunque es normal que haya variaciones, estas no deberían ser tan grandes, llegando a la conclusión que las tasas de crecimiento han cambiado y debe tenerse otra manera de proyectarlas y no las que se han utilizado hasta el momento ya que esto afecta directamente al nivel de servicio de vía.
- La cantidad de motocicletas representa aproximadamente el 10% del total de vehículos que circulan, siendo este un valor alto, promoviendo la reducción de la velocidad y afectando directamente al nivel de servicio de la vía. Es importante tener el control de esto, ya que además de verse afectado el nivel de servicio, el tema de accidentabilidad se volvería relevante.
- Existe una correlación entre el parque vehicular y el TPDA, generando una ecuación con un coeficiente de correlación muy alto, por lo tanto,

dicha correlación encontrada puede ser utilizada para la proyección de TPDA para otros proyectos, realizando la respectiva validación con los TPDA históricos y su respectiva curva.

- Los estudios de tráfico que se realicen para hacer diseño de pavimento deben medir la cantidad de vehículos por carril y no solo por sentido, con el objetivo de tener factores carril y dirección correspondientes a la vía y no utilizar valores teóricos que posiblemente no van a corresponder a la realidad de la vía.
- Podemos observar que, para una medición de tráfico, medimos la cantidad de vehículos con equipos especializados y se obtienen valores certeros, por otra parte, en términos de peso, cuando lo realizamos por medio de los pesos teóricos, estamos asumiendo un peso fijo de cada eje, no importando si el vehículo en realidad transita cargado o descargado. Es por esto que se desarrolló en esta investigación la generación de los espectros de carga, los cuales nos darán un mejor resultado en términos de daños que los vehículos generen a la estructura y de la estructura propuesta. Adoptar el uso de los espectros de carga para los diseños de pavimento se vuelve en la actualidad una necesidad para generar mejores propuestas.
- Al realizar el cálculo de ESAL's para los cuatro tramos, observamos que es ligeramente menor al proyectado en el diseño, esto considerando su cálculo por medio los espectros. Lo anterior debería traducirse en un mejor desempeño de la vía.
- Actualmente el nivel de servicio de la vía es diferente al proyectado en el diseño, marcado principalmente por la diferencia de vehículos livianos. Además, la proyección de dichos niveles de servicio se ve disminuido y teniendo para el 2034 condiciones desfavorables.

6.2 RECOMENDACIONES

En base a todo lo planteado en este documento y las conclusiones antes descritas, se recomienda lo siguiente:

- Realizar otra medición de tráfico para definir mejor la tendencia de crecimiento ya que en este análisis se tenía la medición de diseño y la que se realizó en este estudio, proyectando linealmente por solo tener dos puntos.
- Cuando se haga cálculo de ESAL's realizar el cálculo del Load Equivalent Factor (LEF) por medio de la ecuación y no por medio de la tabla, ya que por esta última se hace por medio de interpolación y no es exacto.
- Cuando se hace el cálculo de niveles de servicio siempre se debe tomar en cuenta la reducción de la velocidad en el tiempo ya que no siempre será la velocidad de diseño.
- Al realizar otro estudio de la vía, se recomienda que se vuelva a medir la velocidad promedio, ya que actualmente se ha asumido que decrece linealmente, esto debido a que solo se tiene el punto de partida de la velocidad de diseño y la medida en este estudio. Con un punto más se podría definir mejor la tendencia de esta.
- A las instituciones encargadas de la administración y la gestión vial, se les recomienda la generación de espectros de carga de las principales rutas y zonas del país, para que los diseñadores tengan mejores herramientas y así presentar diseños más apegados al comportamiento del tráfico.
- Para dar continuidad a esta investigación se deberían realizar los siguientes estudios:
 - o Otra medición de tráfico y velocidad (por carril y por sentido), a

manera de tener gráficas con mejor tendencia.

- Comparar TPDA históricos de diferentes carreteras de nuestro país y el parque vehicular de la zona o departamento para obtener correlaciones entre ellos.
- Medir deterioros de la sección completa de los tramos, ya que esto sería una manera de calibrar los resultados de lo real versus lo proyectado.
- Medición de Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y compararlo con el IRI inicial de la vía.
- Campaña de deflectometría para conocer las trasferencias de carga entre losas, así como los módulos de las capas que lo componen, comparándolo con lo que debería tener de acuerdo a reflectometría la proyección de diseño y revisar la vida remanente.
- Colocación de equipos que permitan medir el peso real de los todos los vehículos que circulan, sin necesidad de detenerlos para su realización, esto para generar un espectro de carga mucho más real, ya que el actual, se basa en muestreo y no en el total de vehículos.

BIBLIOGRAFIA

- TRABAJO DE GRADUACION: Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las alternativas: IMT-PAVE y CR-ME del método mecanicista empírico, con el método AASHTO 93
AUTOR: Ángel Baltazar García Vargas, Felipe Alberto Gutiérrez Romero y Josué David Hernández Soriano
PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador, septiembre de 2014.
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6344/>
- Quinta Conferencia Magistral “Alfonso Rico Rodríguez”
TEMA: Espectros de Carga y Daño para Diseño de Pavimentos
AUTOR: Paul Garnica Anguas.
Sociedad Mexicana de Geotecnia.
<https://es.scribd.com/document/567961662/1624385387-Arch-Ivo>
- TRABAJO DE GRADUACION: Generación de los espectros de carga vehicular de los años 2014, 2015 y 2016 para El Salvador.
PRESENTADO POR: Marvin Vitalicio López Romero.
PARA OPTAR AL TITULO DE: Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador, noviembre de 2017.
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15198/>
- Fondo de Conservación Vial
Memoria de labores. 2021.
<https://www.transparencia.gob.sv/institutions/foviaal/documents/memorias-de-labores>
- AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES, AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS 1993 (Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO, 1993)
- CONTRATO FOVIAL CO-148/2013. Informe Final
Proyecto: Diseño del Mantenimiento Periódico de las Rutas CA8AW S: By Pass Sonsonate y CA12S: Sonsonate - By Pass Sur (Final CA8AW S)- Puerto Acajutla.

ANEXOS

ANEXO A. CARTA ENVIADA AL FOVIAL SOLICITANDO INFORMACION DEL DISEÑO DE LOS CUATRO TRAMOS DE CARRETERA OBJETO DE LA INVESTIGACION.

San Salvador, 10 de noviembre de 2021

Ing. Alexander Ernesto Beltrán Flores
Director de Fondo de Conservación Vial
FOVIAL

Presente

Estimado Ing. Beltrán:

Le saludamos los Ings. Alex Javier Pineda Manca y Carlos Alfredo Zaldaña Trigueros, ambos estudiantes de la Maestría en Ingeniería Vial de la Universidad de El Salvador, primera Cohorte.

Actualmente tenemos la calidad de egresados de dicha Maestría.

Estamos iniciando nuestro trabajo de graduación, cuyo nombre es "COMPARACIÓN DE TRÁFICO DE DISEÑO VERSUS TRÁFICO REAL Y SUS CONSECUENCIAS EN EL DESEMPEÑO PREVISTO DE CUATRO TRAMOS DE CARRETERA EN EL SALVADOR".

Como parte del desarrollo del trabajo de graduación, hemos escogido preliminarmente los cuatro tramos a los que hace referencia el trabajo de graduación en el departamento de Sonsonate, siendo estos:

DESCRIPCIÓN DE LOS TRAMOS OBJETO DE ESTUDIO

RUTA	TRAMO	SUPERFICIE
By Pass de Sonsonate	CA8W – CA12S	CONCRETO
CA12 S	Sonsonate – Dv. Las Tablas	CONCRETO
CA12 S	Las Tablas – Dv. La Libertad	ASFALTO
CA12 S	Dv. La Libertad - Acajutla	ASFALTO

Como se observa, son dos tramos construidos en Concreto Hidráulico y dos tramos construidos en Concreto Asfáltico.

El objetivo es comparar los datos de proyección del tráfico que fueron tomados al momento del diseño versus los tráficos que se tienen actualmente, realizar los diseños estructurales nuevamente con los nuevos datos medidos y evaluar cuál será el nuevo comportamiento en el desempeño de los mismos.

Parte de los trabajos a desarrollar son la medición del tráfico actual utilizando cualquier técnica aceptada para tales fines.

Los objetivos específicos del Trabajo de Graduación son:

- Medir tráfico por lo menos 3 días consecutivos en cada uno de los cuatro tramos a evaluar.
- Comparar tráfico de diseño vs. tráfico real
- Realizar corrida de los diseños estructurales del pavimento con el tráfico real y comparar resultados con los originales.

Atentamente,

- Comparar desempeño previsto calculado con tráfico de diseño vs desempeño calculado con tráfico real.
- Evaluar posibles factores a considerar en la proyección de tráfico durante el diseño que sean particulares de nuestro país o zonas y dar recomendaciones a diseñadores para tomar en cuenta en futuros proyectos.

Por lo anterior, y para poder hacer las evaluaciones técnicas respectivas, solicitamos a usted atentamente:

Nos proporcionen los diseños estructurales de los tramos de pavimento, incluyendo los estudios de tráfico realizados al momento del diseño y las proyecciones que se consideraron, teniendo así nosotros la base para iniciar nuestros análisis técnicos acompañado de las mediciones que realizaremos.

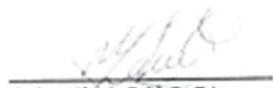
Sin otro particular, y en espera de una respuesta favorable, se despiden de usted,

- Atte.



Alex Javier Pineda Mancía
Estudiante de Maestría

7736-2662



Carlos Alfredo Zaldivia Trigueros
Estudiante de Maestría

7886-8994

c.c.

Ing. Luis Gerardo Moreno Gutiérrez, Gerente Técnico.

Ing. Miguel Napoleón Mendoza Ramírez, Gerente de Planificación

Se adjunta

Resumen de perfil de trabajo de graduación

Copia de la carta de la Universidad de El Salvador, de aprobación del tema de trabajo de graduación, que nos acredita como egresados

ANEXO B. CORREO ELECTRONICO RECIBIDO POR LOS MAESTRANTES DE PARTE DEL FOVIAL REMITIENDO INFORMACION DEL DISEÑO DE LOS CUATRO TRAMOS DE CARRETERA OBJETO DE LA INVESTIGACION.

1/24, 19:40 Gmail - Fwd: Respuesta a requerimiento FOVIAL

 Carlos Zaldaña <zaldanatrigueros@gmail.com>

Fwd: Respuesta a requerimiento FOVIAL
1 mensaje

Alex Javier Pineda Manola <pineda88alex@gmail.com> 19 de septiembre de 2022, 20:59
Para: Carlos Zaldaña <zaldanatrigueros@gmail.com>

PSI

----- Forwarded message -----
De: Carlos Zaldaña <zaldanatrigueros@gmail.com>
Date: mié, 9 feb 2022 a las 11:19
Subject: Re: Respuesta a requerimiento FOVIAL
To: Claudia Guardado <cguardado@fovial.com>
Cc: pineda88alex@gmail.com <pineda88alex@gmail.com>

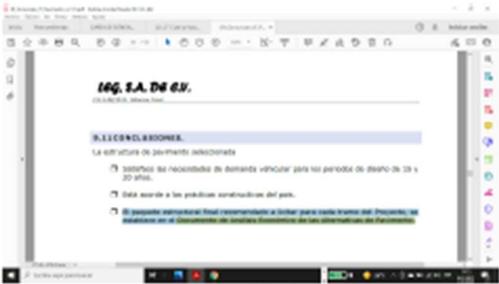
Estimada Ing Claudia Guardado:

Le saluda Carlos Zaldaña, estudiante de maestría en Ingeniería Vial.

Hace unos días muy amablemente nos proporcionaron información sobre unos diseños de carreteras.

Parte de la información que nos proporcionaron es el Anexo 9: Diseño del revestimiento de la Vía.

En el apartado 9.11 CONCLUSIONES, párrafo 3, menciona que El paquete estructural final recomendado a licitar para cada tramo del Proyecto, se establece en el Documento de Análisis Económico de las Alternativas de Pavimento (Ver captura de pantalla).



esto último se refiere al estudio con la herramienta HDM-4.

¿Podrían proporcionarnos el documento de Análisis Económico de las Alternativas de Pavimento realizado con HDM-4?

Atte.

Carlos Zaldaña

El mié, 19 ene 2022 a las 10:12, Claudia Guardado (<cguardado@fovial.com>) escribió:

Estados:

Un gusto saludarte por este medio, lo cual aprovecho para remitirte respuesta a su solicitud, adjunto encontrara los documentos en pdf, pero les copio el link para la versión en Word.

https://fovialcsp-my.sharepoint.com/:?ig=personal/henriquez_fovial.com/EtkxOutD-phOihRTUwh6yoBmLTQsuJl0tSunQJuvqow?e=uvUKJ

tps://mail.google.com/mail/u/0/?ik=a0a0f119fb&view=pt&search=all&permid=thread-f.1744455734512077484&siml=msg-f.1744455734512077484

5/1/24, 19:40

Gmail - Fwd: Respuesta a requerimiento FOVIAL

Les agradeceremos nos confirmen de recibido y si hay problemas en ver la información nos lo comunican y con gusto les resolveremos a la brevedad, las disculpas del caso por la demora.

Sin otro particular, les reiteramos las muestras de consideración,

Atte.,



FOVIAL
GOBIERNO DE
EL SALVADOR

Claudia Guardado
Asistente de Dirección Ejecutiva

Móvil: (503) 7745-1873 | Teléfono: (503) 2205-8333 | Ext.: 8333
Correo: cguardado@fovial.com

Fondo de Conservación Vial
Km. 20 1/2 carretera al Puerto de La Libertad, Antiguo Cuscatlán

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=a0a0f119fb&view=pt&search=all&permthid=thread-f1744455734512977484&siml=msg-f1744455734512977484>

ANEXO C. CARTA ENVIADA AL VICE MINISTERIO DE TRANSPORTE (VMT) SOLICITANDO INFORMACION DE LA SERIE HISTORICA DEL PESAJE VEHICULAR DESDE EL AÑO 2011 HASTA EL AÑO 2021 DE LAS RUTAS “CA08W: BY PASS SONSONATE Y CA12S: SONSONATE BY PASS SUR (FINAL CA08AW) – PUERTO DE ACAJUTLA”

San Salvador, 12 de julio de 2022

Ing. MsC. Saul Castelar
Vice Ministro de Transporte
MOPT
Presente



Estimado Ing. Castelar:

Le saludamos los lngs. Alex Javier Pineda Mancía y Carlos Alfredo Zaldaña Trigueros, ambos estudiantes de la Maestría en Ingeniería Vial de la Universidad de El Salvador, primera Cohorte.

Actualmente tenemos la calidad de egresados de dicha Maestría.

Estamos iniciando nuestro trabajo de graduación, cuyo nombre es “COMPARACIÓN DE TRÁFICO DE DISEÑO VERSUS TRÁFICO REAL Y SUS CONSECUENCIAS EN EL DESEMPEÑO PREVISTO DE CUATRO TRAMOS DE CARRETERA EN EL SALVADOR”.

Como parte del desarrollo del trabajo de graduación, hemos escogido los cuatro tramos a los que hace referencia el trabajo de graduación en el departamento de Sonsonate, siendo estos:

DESCRIPCIÓN DE LOS TRAMOS OBJETO DE ESTUDIO

RUTA	TRAMO	SUPERFICIE DE RODAJE
By Pass de Sonsonate	CA8W – CA12S	CONCRETO
CA12 S	Sonsonate – Dv. Las Tablas	CONCRETO
CA12 S	Las Tablas – Dv. La Libertad	ASFALTO
CA12 S	Dv. La Libertad - Acajutla	ASFALTO

Como se observa, son dos tramos construidos en Concreto Hidráulico y dos tramos construidos en Concreto Asfáltico.

El diseño de los cuatro tramos fue ejecutado por la empresa LEG S.A. de C.V. entre los años 2013 y 2014, por medio del contrato CO-148/2013: Diseño de Mantenimiento Periódico de la Rutas CA8W S: By Pass Sonsonate y CA12S: Sonsonate By Pass Sur (Final CA8W S) – Puerto de Acajutla.

El objetivo general del Trabajo de Graduación es comparar los datos de proyección del tráfico que fueron tomados al momento del diseño versus los tráfico que se tienen actualmente.

Los objetivos específicos del Trabajo de Graduación son:

- Comparar tráfico de diseño vs. tráfico real
- Realizar corrida de los diseños estructurales del pavimento con el tráfico real y comparar resultados con los originales.
- Comparar desempeño previsto calculado con tráfico de diseño vs desempeño calculado con tráfico real.

- Evaluar posibles factores a considerar en la proyección de tráfico durante el diseño que sean particulares de nuestro país o zonas y dar recomendaciones a diseñadores para tomar en cuenta en futuros proyectos.

Pero queremos agregarle un detalle adicional a nuestro trabajo de graduación que es hacer un análisis de los pesos de los vehículos que circulan por los tramos arriba mencionados.

Analizando los pesos de los vehículos estaríamos considerando otra variable de análisis que podría aportar datos interesantes sobre la vida de las carreteras en El Salvador. Por lo anterior, solicitamos a usted atentamente:

- Nos proporcionen la información del pesaje de los tramos de pavimento antes mencionados, para tener la información completa de los tramos mencionados y así poder continuar con nuestros análisis técnicos.
 - o Serie histórica del pesaje vehicular desde el año 2011 hasta el año 2021 de las rutas "CA08W: By Pass Sonsonate y CA12S: Sonsonate By Pass Sur (Final CADBAW) – Puerto de Acajutla".
- Se nos conceda en calidad de préstamo el equipo de pesaje, para hacer un muestreo aleatorio en los tramos antes mencionados.
 - o La programación del muestreo dependerá de las fechas de préstamo del mismo.

Sin otro particular, y en espera de una respuesta favorable, se despiden de usted,

Atte.


 Alex Javier Pineda Mancía
 Estudiante de Maestría
pineda88alex@gmail.com
 7736-2662


 Carlos Alfredo Zaldivar Trigueros
 Estudiante de Maestría
zaldivartrigueros@gmail.com
 7886-8994

c.c.

Archivos

Se adjunta

Resumen de perfil de trabajo de graduación

Copia de la carta de la Universidad de El Salvador, de aprobación del tema de trabajo de graduación, que nos acredita como egresados

ANEXO D. CARTA ENVIADA AL FOVIAL SOLICITANDO INFORMACION REFERENTE AL ANALISIS ECONOMICO DE LAS ALTERNATIVAS DEL PAVIMENTO Y RESUMEN EJECUTIVO DEL DISEÑO FINAL COMPLETO, DE LOS TRAMOS OBJETO DE LA PRESENTE INVESTIGACION.

San Salvador, 23 de septiembre de 2022.

Ing. Alex Beltrán
Director Ejecutivo
FOVIAL
Presente



Estimado Ing. Alex Beltrán:

Le saludamos los Ings. Alex Javier Pineda Mancía y Carlos Alfredo Zaldivia Trigueros, ambos estudiantes de la Maestría en Ingeniería Vial y egresados de la misma, en la Universidad de El Salvador, primera cohorte.

Nos encontramos en desarrollo de nuestro trabajo de graduación denominado: COMPARACIÓN DE TRAFICO DE DISEÑO VERSUS TRAFICO REAL Y SUS CONSECUENCIAS EN EL DESEMPEÑO PREVISTO DE CUATRO TRAMOS DE CARRETERA EN EL SALVADOR.

Los cuatro tramos a los que se refiere el trabajo de graduación están ubicados en el Municipio y Departamento de Sonsonate y son los siguientes:

RUTA	TRAMO	RODAJE
By Pass de Sonsonate	CABW - CA125	CONCRETO
CA125	Sonsonate - Dv. Las Tablas	CONCRETO
CA125	Dv. Las Tablas - Dv. La Libertad	ASFALTO
CA125	Dv. La Libertad - Acajutla	ASFALTO

LA empresa LEG S.A. de C.V. desarrollo la consultoría para el diseño de los cuatro tramos, mediante el Concurso Público CP 148/2013.

En el presente año, nos facilitaron la parte del documento que corresponde a la medición, análisis de tráfico y diseño de la estructura del pavimento.

Como parte del análisis de la documentación de diseño, hemos leído el documento y en el apartado 9.11 CONCLUSIONES, párrafo 3, menciona que en "El paquete estructural final recomendado a licitar para cada tramo del Proyecto, se establece en el Documento de Análisis Económico de las Alternativas de Pavimento."

Por lo anteriormente expuesto, solicitamos a ustedes atentamente nos proporcionen copia en digital de los siguientes documentos:

- Análisis económico de las alternativas del pavimento, y
- Resumen ejecutivo del Diseño Final Completo.

Atte.



Ing. Alex Javier Pineda Mancía
Estudiante de la Maestría
7736-2662



Carlos Alfredo Zaldaña Trigueros
Estudiante de la Maestría
7886-8994

C.C.

Archivos

Ing. Luis Moreno, Gerente Técnico. FOVIAL.

Ing. Herberth Iraheta, Jefe de Control de Calidad. FOVIAL.

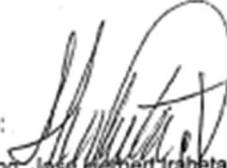
ANEXO E. NOTA DE ENTREGA DE INFORMACION DEL FOVIAL A LOS MAESTRANTES, REMITIENDO INFORMACION REFERENTE AL DISEÑO FINAL DE LOS TRAMOS OBJETOS DE LA PRESENTE INVESTIGACION.

San Salvador, 27 de octubre de 2022

Por este medio se hace constar que se le ha entregado la siguiente información al Ing. Carlos Saldaña, con fines de estudios académicos, del proyecto: DISEÑO DEL MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LAS RUTAS CA8AW S: BY PASS SONSONATE Y CA12S: SONSONATE BY PASS SUR (FINAL CA8AW S) – PUERTO ACAJUTLA:

1. - CD INFORME FINAL. CAJA 117
2. - CD DISEÑO BY PASS SONSONATE. CAJA 116
- 3.- CD INFORME FINAL: PRESUPUESTO + PLANO. CAJA 116
- 4.- ANALISIS ECONOMICO DE LAS ALTERNATIVAS DE PAV. ORIGINAL T1/T1
- 5.- DOCUNTO 5: RESUMEN EJECUTIVO ORIGINAL TOMO 1/TOMO 1
- 6.- INFORME FINAL. CAJA 117
- 7.- DISEÑO DE REVESTIMIENTO DE LA VIA. CAJA 118
- 8.- PLAN PROPUESTA DE MANTENIMIENTO. CAJA 118

Entrega:


Ing. José Herbert Trubeta
Jefe de la Unidad de Calidad
FOVIAL



Recibe:


Ing. Carlos Saldaña
Solicitante.

ANEXO F. CARTA ENVIADA A LA DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE DE CARGA (DGTC), SOLICITANDO INFORMACION DE PESAJE DE LAS ESTACIONES FIJAS DE PESAJE DE ACAJUTLA Y ZACATECOLUCA.

San Salvador, 17 de abril de 2023

Lic. Carlos Rodolfo Valdez Aguilar
Director General de Transporte de Carga
Ad Honorem
MOP
Presente

Estimado Lic. Valdez:

Le saludamos los Ings. Alex Javier Pineda Mancía y Carlos Alfredo Zaldaña Trigueros, ambos estudiantes de la Maestría en Ingeniería Vial de la Universidad de El Salvador, primera Cohorte.

Actualmente tenemos la calidad de egresados de dicha Maestría.

Estamos desarrollando el trabajo de graduación "COMPARACIÓN DE TRÁFICO DE DISEÑO VERSUS TRÁFICO REAL Y SUS CONSECUENCIAS EN EL DESEMPEÑO PREVISTO DE CUATRO TRAMOS DE CARRETERA EN EL SALVADOR".

Como parte del desarrollo del trabajo de graduación, hemos escogido los cuatro tramos a los que hace referencia el trabajo de graduación en el departamento de Sonsonate, siendo estos:

DESCRIPCIÓN DE LOS TRAMOS OBJETO DE ESTUDIO

RUTA	TRAMO	SUPERFICIE
By Pass de Sonsonate	CA8W – CA12S	CONCRETO
CA12 S	Sonsonate – Dv. Las Tablas	CONCRETO
CA12 S	Las Tablas – Dv. La Libertad	ASFALTO
CA12 S	Dv. La Libertad - Acajutla	ASFALTO

Hemos solicitado información a Instituciones gubernamentales en diferentes áreas que son complementarias para el desarrollo de nuestro trabajo de graduación, siendo ellas:

Ministerio de Obras Públicas, solicitamos información referente a las mediciones vehiculares.

Fondo de Conservación Vial, solicitamos información referente a la sectorización del diseño y mediciones de tráfico vehicular realizadas para el diseño.

Universidad de El Salvador, solicitamos información referente a trabajos de graduación que investigan sobre el diseño de carreteras en el Salvador basados en Espectros.

Por nuestra parte, ya realizamos mediciones de tráfico en los cuatro tramos de carretera mencionados en el cuadro anterior.

Entre la información bibliográfica que hemos consultado encontramos que para el desarrollo del trabajo de graduación "ANÁLISIS COMPARATIVO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE LAS ALTERACIONES EN EL TRÁFICO Y CR-ME DEL MÉTODO MECANICISTA EMPÍRICO, CON EL MÉTODO AASHTO 93.



Como parte del desarrollo del trabajo de graduación, solicitaron al VMT información referente al pesaje de vehículos en Estaciones fijas.

El VMT amablemente accedió a proporcionarles información solicitada de los años 2012 y 2013.

En nuestro trabajo de graduación tenemos un objetivo adicional, que es de darle un nuevo aporte para El Salvador. Y es el de generar un modelo de espectro de carga como un insumo para el diseño de carreteras en El Salvador.

Por lo anteriormente expuesto, solicitamos a ustedes amablemente nos proporcionen desde el año 2012 hasta el año 2022 información por lo menos de las Estaciones fijas de Acajutla y Zacatecoluca, que contenga la siguiente información como mínimo:

- Fecha de pesaje
- Lugar de pesaje (Estación Acajutla, por ejemplo)
- Tipo de Vehículo, de acuerdo al número de ejes,
- Peso máximo permisible,
- pesaje por cada eje del vehículo,
- sumatoria de los pesos de los ejes,
- Comparación del peso máximo permisible contra el peso del vehículo

Atte.



Alex Javier Pineda Mancía
Estudiante de Maestría
pineda88alea@gmail.com
7736-2662



Carlos Alfredo Zaldivia Trigueros
Estudiante de Maestría
zaldantrigueros@gmail.com
7886-8994

c.c.

Archivos

Se adjunta

Resumen de perfil de trabajo de graduación

ANEXO G. CORREO ELECTRONICO ENVIADO A LOS MAESTRANTES POR PARTE DE LA DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE DE CARGA (DGTC), REMITIENDO INFORMACION DE LAS ESTACIONES DE FIJAS DE PESAJE DE ACAJUTLA Y ZACATECOLUCA.

1/24, 20:37

Yahoo Mail - Fwd: Estadística Acajutla

Fwd: Estadística Acajutla

De: Alex Javier Pineda Mancía (pineda88alex@gmail.com)

Para: zaldanatrigueros@yahoo.es; zaldanatrigueros@gmail.com; mancia19fex@gmail.com; alex.pineda@lafargeholcim.com

Fecha: jueves, 13 de julio de 2023, 23:40 GMT-6

Ps!

----- Forwarded message -----

From: <joel.nacheco@mop.pob.mx>

Date: Thu, Jul 13, 2023, 2:49 PM

Subject: RV: Estadística Acajutla

To: <pineda88alex@gmail.com>

Cc: <rodolfo.valdez@mop.pob.mx>

Buenas tardes, saludos.

En relación a la información pendiente de remitirle, le adjunto cuadro 1 de lo recopilado.

De: Mario Alexander Chavez <mario.chavez@mop.pob.mx>

Enviado el: jueves, 13 de julio de 2023 13:14

Para: joel.nacheco@mop.pob.mx

Asunto: Estadística Acajutla



ACAJUTLA DATOS.xlsx
4.6MB

ANEXO H. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS CUATRO TRAMOS DE CARRETERA OBJETO DE LA PRESENTE INVESTIGACION.

WinPAS

Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
 American Concrete Pavement Association

Rigid Design Inputs

Project Name: TRAMO I - BY PASS SONSONATE - DISEÑO ORIGINAL
 Route:
 Location:
 Owner/Agency:
 Design Engineer:

Rigid Pavement Design/Evaluation

Concrete Thickness	9.44 inches	Load Transfer Coefficient	2.70
Total Rigid ESALS	33,019,997	Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
Reliability	90.00 percent	Drainage Coefficient	1.00
Overall Standard Deviation	0.35	Initial Serviceability	4.50
Flexural Strength	683 psi	Terminal Serviceability	2.50
Modulus of Elasticity	4,610,250 psi		

Modulus of Subgrade Reaction (k-value) Determination

Resilient Modulus of the Subgrade 9,388.7 psi
 Unadjusted Modulus of Subgrade Reaction 1,103 psi/in
 Depth to Rigid Foundation 0.00 feet
 Loss of Support Value (0,1,2,3) 0.0

Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
------------------------------	---------------

WinPAS

Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
 American Concrete Pavement Association

Rigid Design Inputs

Project Name: TRAMO I - BY PASS SONSONATE - DISEÑO FC Y FD MEDIDO
 Route:
 Location:
 Owner/Agency:
 Design Engineer:

Rigid Pavement Design/Evaluation

Concrete Thickness	9.39 inches	Load Transfer Coefficient	2.70
Total Rigid ESALS	32,096,200	Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
Reliability	90.00 percent	Drainage Coefficient	1.00
Overall Standard Deviation	0.35	Initial Serviceability	4.50
Flexural Strength	683 psi	Terminal Serviceability	2.50
Modulus of Elasticity	4,610,250 psi		

Modulus of Subgrade Reaction (k-value) Determination

Resilient Modulus of the Subgrade 9,388.7 psi
 Unadjusted Modulus of Subgrade Reaction 0 psi/in
 Depth to Rigid Foundation 0.00 feet
 Loss of Support Value (0,1,2,3) 0.0

Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
------------------------------	---------------

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Rigid Design Inputs

Project Name: TRAMO I - BY PASS SONSONATE - MEDIDO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Rigid Pavement Design/Evaluation

Concrete Thickness	8.05 inches	Load Transfer Coefficient	2.70
Total Rigid ESALS	26,046,202	Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
Reliability	90.00 percent	Drainage Coefficient	1.00
Overall Standard Deviation	0.35	Initial Serviceability	4.50
Flexural Strength	683 psi	Terminal Serviceability	2.50
Modulus of Elasticity	4,610,250 psi		

Modulus of Subgrade Reaction (k-value) Determination

Resilient Modulus of the Subgrade 9,398.7 psi
Unadjusted Modulus of Subgrade Reaction 1,103 psi/in
Depth to Rigid Foundation 0.00 feet
Loss of Support Value (0,1,2,3) 0.0

Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
------------------------------	---------------

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Rigid Design Inputs

Project Name: TRAMO I - BY PASS SONSONATE - ESPRECTRO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Rigid Pavement Design/Evaluation

Concrete Thickness	9.23 inches	Load Transfer Coefficient	2.70
Total Rigid ESALS	29,341,570	Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
Reliability	90.00 percent	Drainage Coefficient	1.00
Overall Standard Deviation	0.35	Initial Serviceability	4.50
Flexural Strength	683 psi	Terminal Serviceability	2.50
Modulus of Elasticity	4,610,250 psi		

Modulus of Subgrade Reaction (k-value) Determination

Resilient Modulus of the Subgrade 9,388.7 psi
Unadjusted Modulus of Subgrade Reaction 1,103 psi/in
Depth to Rigid Foundation 0.00 feet
Loss of Support Value (0,1,2,3) 0.0

Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
------------------------------	---------------

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Rigid Design Inputs

Project Name: TRAMO II - BY PASS SONSONATE -DV. LAS TABLAS - DISEÑO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Rigid Pavement Design/Evaluation

Concrete Thickness	9.44 inches	Load Transfer Coefficient	2.70
Total Rigid ESALs	33,019,897	Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
Reliability	90.00 percent	Drainage Coefficient	1.00
Overall Standard Deviation	0.35	Initial Serviceability	4.50
Flexural Strength	883 psi	Terminal Serviceability	2.50
Modulus of Elasticity	4,610,250 psi		

Modulus of Subgrade Reaction (k-value) Determination

Resilient Modulus of the Subgrade 9,388.7 psi
Unadjusted Modulus of Subgrade Reaction 1,103 psi/in
Depth to Rigid Foundation 0.00 feet
Loss of Support Value (0,1,2,3) 0.0

Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
------------------------------	---------------

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Rigid Design Inputs

Project Name: TRAMO II - BY PASS SONSONATE -DV. LAS TABLAS - DISEÑO FC Y FD MEDIDO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Rigid Pavement Design/Evaluation

Concrete Thickness	9.10 inches	Load Transfer Coefficient	2.70
Total Rigid ESALs	27,311,020	Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
Reliability	90.00 percent	Drainage Coefficient	1.00
Overall Standard Deviation	0.35	Initial Serviceability	4.50
Flexural Strength	883 psi	Terminal Serviceability	2.50
Modulus of Elasticity	4,610,250 psi		

Modulus of Subgrade Reaction (k-value) Determination

Resilient Modulus of the Subgrade 9,388.7 psi
Unadjusted Modulus of Subgrade Reaction 1,103 psi/in
Depth to Rigid Foundation 0.00 feet
Loss of Support Value (0,1,2,3) 0.0

Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
------------------------------	---------------

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Rigid Design Inputs

Project Name: TRAMO II - BY PASS SONSONATE -DV. LAS TABLAS - MEDIDO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Rigid Pavement Design/Evaluation

Concrete Thickness	8.88 inches	Load Transfer Coefficient	2.70
Total Rigid ESALS	24,048,064	Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
Reliability	90.00 percent	Drainage Coefficient	1.00
Overall Standard Deviation	0.35	Initial Serviceability	4.50
Flexural Strength	683 psi	Terminal Serviceability	2.50
Modulus of Elasticity	4,610,250 psi		

Modulus of Subgrade Reaction (k-value) Determination

Resilient Modulus of the Subgrade 9,388.7 psi
Unadjusted Modulus of Subgrade Reaction 1,103 psi/in
Depth to Rigid Foundation 0.00 feet
Loss of Support Value (0,1,2,3) 0.0

Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
------------------------------	---------------

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Rigid Design Inputs

Project Name: TRAMO II - BY PASS SONSONATE -DV. LAS TABLAS - ESPECTRO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Rigid Pavement Design/Evaluation

Concrete Thickness	9.29 inches	Load Transfer Coefficient	2.70
Total Rigid ESALS	30,356,476	Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
Reliability	90.00 percent	Drainage Coefficient	1.00
Overall Standard Deviation	0.35	Initial Serviceability	4.50
Flexural Strength	683 psi	Terminal Serviceability	2.50
Modulus of Elasticity	4,610,250 psi		

Modulus of Subgrade Reaction (k-value) Determination

Resilient Modulus of the Subgrade 9,388.7 psi
Unadjusted Modulus of Subgrade Reaction 1,103 psi/in
Depth to Rigid Foundation 0.00 feet
Loss of Support Value (0,1,2,3) 0.0

Modulus of Subgrade Reaction	1,103 psi/in.
------------------------------	---------------

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Flexible Design Inputs

Project Name: TRAMO III - DV LAS TABLAS - DV LA LIBERTAD - DISEÑO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Flexible Pavement Design/Evaluation

Structural Number	5.20	Subgrade Resilient Modulus	9,388.70 psi
Total Flexible ESALs	23,419,733	Initial Serviceability	4.20
Reliability	90.00 percent	Terminal Serviceability	2.50
Overall Standard Deviation	0.45		

Layer Pavement Design/Evaluation

Layer Material	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Layer SN
Asphalt Cement Concrete	0.40	1.00	4.74	1.90
Asphalt Treated Agg. Base	0.23	1.00	7.09	1.83
Cement Treated Agg. Base	0.17	1.00	9.84	1.87
			Σ SN	5.20

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Flexible Design Inputs

Project Name: TRAMO III-DV LAS TABLAS-DV LA LIBERTAD-DISEÑO FC Y FD MEI
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Flexible Pavement Design/Evaluation

Structural Number	5.05	Subgrade Resilient Modulus	9,388.70 psi
Total Flexible ESALs	19,209,418	Initial Serviceability	4.20
Reliability	90.00 percent	Terminal Serviceability	2.50
Overall Standard Deviation	0.45		

Layer Pavement Design/Evaluation

Layer Material	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Layer SN
Asphalt Cement Concrete	0.40	1.00	4.38	1.75
Asphalt Treated Agg. Base	0.23	1.00	7.09	1.83
Cement Treated Agg. Base	0.17	1.00	9.84	1.87
			Σ SN	5.05

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Flexible Design Inputs

Project Name: TRAMO III-DV LAS TABLAS-DV LA LIBERTAD-MEDIDO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Flexible Pavement Design/Evaluation

Structural Number	4.96	Subgrade Resilient Modulus	9,388.70 psi
Total Flexible ESALs	16,883,324	Initial Serviceability	4.20
Reliability	90.00 percent	Terminal Serviceability	2.50
Overall Standard Deviation	0.45		

Layer Pavement Design/Evaluation

Layer Material	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Layer SN
Asphalt Cement Concrete	0.40	1.00	4.15	1.66
Asphalt Treated Agg. Base	0.23	1.00	7.09	1.63
Cement Treated Agg. Base	0.17	1.00	9.84	1.67
				4.96

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Flexible Design Inputs

Project Name: TRAMO III-DV LAS TABLAS-DV LA LIBERTAD-ESPECTRO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Flexible Pavement Design/Evaluation

Structural Number	5.20	Subgrade Resilient Modulus	9,388.70 psi
Total Flexible ESALs	23,541,081	Initial Serviceability	4.20
Reliability	90.00 percent	Terminal Serviceability	2.50
Overall Standard Deviation	0.45		

Layer Pavement Design/Evaluation

Layer Material	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Layer SN
Asphalt Cement Concrete	0.40	1.00	4.74	1.00
Asphalt Treated Agg. Base	0.23	1.00	7.09	1.63
Cement Treated Agg. Base	0.17	1.00	9.84	1.67
				5.20

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Flexible Design Inputs

Project Name: TRAMO IV-DV LA LIBERTAD-DV LA HACHADURA- DISEÑO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Flexible Pavement Design/Evaluation

Structural Number	5.20	Subgrade Resilient Modulus	9,388.70 psi
Total Flexible ESALs	23,419,733	Initial Serviceability	4.20
Reliability	90.00 percent	Terminal Serviceability	2.50
Overall Standard Deviation	0.45		

Layer Pavement Design/Evaluation

Layer Material	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Layer SN
Asphalt Cement Concrete	0.40	1.00	4.74	1.90
Asphalt Treated Agg. Base	0.23	1.00	7.09	1.63
Cement Treated Agg. Base	0.17	1.00	9.84	1.67
			Σ SN	5.20

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Flexible Design Inputs

Project Name: TRAMO IV-DV LA LIBERTAD-DV LA HACHADURA- DISEÑO FC Y FD
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Flexible Pavement Design/Evaluation

Structural Number	5.10	Subgrade Resilient Modulus	9,388.70 psi
Total Flexible ESALs	20,478,542	Initial Serviceability	4.20
Reliability	90.00 percent	Terminal Serviceability	2.50
Overall Standard Deviation	0.45		

Layer Pavement Design/Evaluation

Layer Material	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Layer SN
Asphalt Cement Concrete	0.40	1.00	4.50	1.80
Asphalt Treated Agg. Base	0.23	1.00	7.09	1.63
Cement Treated Agg. Base	0.17	1.00	9.84	1.67
			Σ SN	5.10

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Flexible Design Inputs

Project Name: TRAMO IV-DV LA LIBERTAD-DV LA HACHADURA-MEDIDO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Flexible Pavement Design/Evaluation

Structural Number	5.00	Subgrade Resilient Modulus	9,388.70 psi
Total Flexible ESALs	17,833,465	Initial Serviceability	4.20
Reliability	90.00 percent	Terminal Serviceability	2.50
Overall Standard Deviation	0.45		

Layer Pavement Design/Evaluation

Layer Material	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Layer SN
Asphalt Cement Concrete	0.40	1.00	4.25	1.70
Asphalt Treated Agg. Base	0.23	1.00	7.09	1.63
Cement Treated Agg. Base	0.17	1.00	9.84	1.67
				5.00

WinPAS
Pavement Thickness Design According to
1993 AASHTO Guide for Design of Pavements Structures
American Concrete Pavement Association

Flexible Design Inputs

Project Name: TRAMO IV-DV LA LIBERTAD-DV LA HACHADURA-ESPECTRO
Route:
Location:
Owner/Agency:
Design Engineer:

Flexible Pavement Design/Evaluation

Structural Number	5.20	Subgrade Resilient Modulus	9,388.70 psi
Total Flexible ESALs	23,383,621	Initial Serviceability	4.20
Reliability	90.00 percent	Terminal Serviceability	2.50
Overall Standard Deviation	0.45		

Layer Pavement Design/Evaluation

Layer Material	Layer Coefficient	Drainage Coefficient	Layer Thickness	Layer SN
Asphalt Cement Concrete	0.40	1.00	4.74	1.90
Asphalt Treated Agg. Base	0.23	1.00	7.09	1.63
Cement Treated Agg. Base	0.17	1.00	9.84	1.67
				5.20