

**METODOLOGÍA PARA REALIZAR AUDITORIAS EN SEGURIDAD VIAL EN
PUERTO RICO**

Por

Wilson Arias Rojas

Tesis sometida en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

MAESTRIA EN CIENCIAS

en

Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2007

Aprobado por:

Felipe Luyanda Villafañe, D.E., P.E.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Alberto M. Figueroa Medina, Ph.D., P.E.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Benjamín Colucci Ríos, Ph.D., P.E., PTOE
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Luis F. Cáceres, PhD
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Ismael Pagán Trinidad, MSCE
Director
Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura

Fecha

RESUMEN

Esta tesis presenta una metodología general para la realización y desarrollo de Auditorías en Seguridad Vial (RSA y RSAR por sus siglas en inglés) y su aplicación en un segmento de carretera representativa de la Red Vial Estratégica de Puerto Rico. El objetivo principal de esta metodología es proveer un proceso que integre los principios fundamentales de las Auditorías en Seguridad Vial y que sirva de un instrumento de apoyo a los profesionales de la transportación, así como a las agencias gubernamentales, a analizar el nivel de seguridad provistos por los elementos del diseño geométrico de las carreteras y así contribuyendo a reducir la frecuencia y severidad de los choques vehiculares en las carreteras de Puerto Rico. En proceso de desarrollo de la metodología se analizaron técnicas de RSA utilizadas en diferentes países y listas de cotejo fueron adaptadas y unas curvas de severidad, para las condiciones locales prevalecientes en la Isla. Las lecciones aprendidas durante en el desarrollo y análisis de la metodología, complementados con el insumo de profesionales en la transportación y la Academia proveen una metodología y unas listas de cotejos comprensivas para ser utilizadas en programas de mejoras de seguridad en las carreteras de Puerto Rico y cualquier otro país con una red de carreteras con características geométricas, operacionales y topográficas similares.

ABSTRACT

This thesis presents a general methodology for conducting and performing Road Safety Audits (RSA) and Road Safety Audit Reviews (RSAR) and its application in a representative highway segment of the Strategic Highway Network of Puerto Rico. The main objective of this methodology is to provide a process that integrates the fundamental principles of RSA's and serves as a supporting instrument to transportation professionals, as well as government agencies, to analyze the level of safety and provide by the geometric design elements, thus contributing to reduce the frequency and severity of vehicular accidents in Puerto Rican roads. During the process of developing this methodology, RSA techniques used in different countries were analyzed, and severity curves and checklists were adapted to local conditions prevailing in the island. The lessons learned during the development and analysis of the methodology complemented by the input provided by transportation professionals and the academy provide a methodology, and a checklist to be used in the highway safety transportation programs in comprehensive on the roads of Puerto Rico and any other country with a highway network with similar geometric and topographic characteristics.

Solamente con constancia y dedicación se logran las metas propuestas; la persistencia y el esfuerzo a través de todos estos años me regalaron hoy la satisfacción de ver realizados uno de mis más importantes sueños.

A mis padres, William y Marina, a mi hermano
Carlos Alberto y a mi tía Gladis, por su
incondicional compañía, por sus palabras de
aliento y porque con su amor y el apoyo que
siempre me brindaron en los buenos y sobre
todo, en los malos momentos,
fueron los propulsores para llegar
a la culminación de esta meta.

A mi primo Daniel Felipe, quien con la
inocencia de sus 7 años, me hizo ver
una nueva perspectiva de la vida.

AGRACEDIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a las siguientes personas:

BENJAMIN COLUCCI RIOS, PhD, PE, PTOE, director del proyecto de grado, por su apoyo incondicional, el conocimiento transmitido de maestro a alumno y su amistad, por preocuparse en los buenos y malos momentos.

FELIPE LUYANDA VILLAFÑE, DE, PE, miembro del comité graduado, por ser un excelente profesor y transmitirme parte de su conocimiento en el curso del cual fui su alumno.

ALBERTO M. FIGUEROA MEDINA, PhD, PE, miembro del comité graduado, aunque nunca fui su alumno, aprendí bastante trabajando a su lado, por su manera de ser, sencillo y descomplicado, pero con muchas ansias de enseñarme y de incentivar el trabajar en investigación.

DIDIER M. VALDÉS DIAZ, PhD, por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento en los momentos difíciles.

MIGUEL ARANGO, estudiante de Maestría de Suelos en el Departamento de Agronomía, quien me asesoró en la parte estadística del proyecto.

GRISEL VILLARUBIA, por toda la paciencia que me tuvo, por coordinar reuniones, encuentros y colaborar en muchos de los aspectos administrativos de la Universidad y por ser una buena amiga.

DWIGHT D. EISENHOWER TRANSPORTATION FELLOWSHIP PROGRAM, EISENHOWER HISPANIC SERVING INSTITUTIONS (HSI) FELLOWSHIPS, por el apoyo financiero otorgado por tan prestigiosa beca, con la cual se desarrolló gran parte del presente proyecto.

FRANCISCO KLEIN, PE, por ser un buen amigo, por ayudarme en los buenos y malos momentos, por hacerme reír en los momentos más difíciles y por enseñarme acerca de la cultura de Puerto Rico y como desenvolverse en el ámbito social.

OCTAVIO ORTIZ, administrador del centro de cómputo de Ingeniería Civil, por ser mi amigo y colaborar en los aspectos relacionados a su área.

MIGUEL BAEZ, técnico de reproducción, porque me trató siempre como a un hijo y por su colaboración incondicional.

A mis amigos **Alberto, Frank, Jorge, Nelson, Enrique, Kelvin, Laracuenta, Magaly, Juanky, Jahaira, Peter, Elizabeth, Mafe, Juan y María del Mar**, por la amistad tan desinteresada, porque me colaboraron en muchos aspectos como en la ejecución de las visitas de campo a la carretera, inventarios, y en los análisis de datos de campo de este proyecto, sin esperar nada a cambio.

A todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron en la realización del presente proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LAS AUDITORIAS EN SEGURIDAD	
VIAL.....	1
1.1 Trasfondo histórico.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Introducción.....	4
1.4 Objetivos	7
1.5 Alcance del proyecto.	8
1.6 Beneficios esperados	8
1.7 Organización de la tesis	9
CAPÍTULO 2: REPASO DE LITERATURA	11
2.1 Como se mide la seguridad en las carreteras	11
2.2 Sistemas gerenciales de seguridad (Safety Management Systems).....	12
2.3 Evolución de las Auditorias en Seguridad Vial	13
2.3.1 Estudios de Auditorias en diferentes países.....	13
2.3.2 Las listas de cotejo	24
2.4 Roadside Design Guide	25
2.5 Norma ASTM D 6433-99.....	25
2.6 Aditamentos de Control de Tránsito: MUTCD parte 6	26
2.7 Medidas correctivas: Accident Modification Factors.....	26
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	27
3.1 Logística de la metodología.....	27
CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	31
4.1 Selección del tramo de carretera: PR-2 entre Km 157 a Km 187.....	31
4.2 Descripción general de la carretera.....	33
4.2.1 Datos de accidentes	37
4.2.2 Geometría de la carretera.....	38
4.2.3 Aspectos topográficos de la carretera	39
CAPÍTULO 5: DESARROLLO Y ADAPTACIÓN DE LAS LISTAS DE	
COTEJO	55
5.1 Definición y Alcance delas Listas de Cotejo de RSAR	55
CAPÍTULO 6: ELABORACIÓN Y DESARROLLO DE LAS CURVAS DE	
SEVERIDAD	63
6.1 Selección de los miembros del equipo auditor	63
6.2 Recopilación de la información.....	64
6.3 Análisis de los choques vehiculares.....	65
6.4 Inspecciones de campo.....	65
6.5 Elaboración de las curvas de severidad	66

TABLA DE CONTENIDO (Cont.)

	Pág
6.5.1 Desarrollo del catálogo de fotografías de elementos representativos de la red vial.....	66
6.5.2 Pruebas en barreras semi-rígidas.....	69
6.5.3 Pruebas en barreras rígidas	71
6.5.4 Vegetación.....	73
6.5.5 Cunetas	76
6.5.6 Objetos fijos a la orilla de la carretera.....	79
6.6 Elaboración de curvas y ajustes de las curvas por regresión.....	82
6.6.1 Procesamiento de la información.....	82
6.6.2 Regresión lineal simple.....	83
CAPÍTULO 7: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	137
7.1 Elaboración de una auditoria en seguridad vial modificada	137
7.2 Análisis de resultados	162
7.2.1 Área urbana	165
7.2.2 Zona Rural	168
7.2.3 Zonas de construcción.....	175
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y GUIAS GENERALES	182
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	190
APÉNDICES	193

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1.1 Fatalidades ocurridas en Puerto Rico durante el período 2000-2004.....	2
Figura 1.2 Localización de la zona de estudio [8]	6
Figura 2.1 Países que han implantado Auditorias en Seguridad Vial modificado de: [22].....	18
Figura 2.2 Fatalidades anuales en carreteras por millon de personas en países de Africa, América, Asia y Europa en el período 1992-1994.	22
Figura 2.3 Porcentaje anual de accidentes fatales por cada 10,000 vehiculos en países de Africa, Asia, America y Europa (1992-1994).....	23
Figura 2.4 Cambio Porcentual en fatalidades en Accidentes de tránsito (1968-1992). Fuente: Wegman.....	23
Figura 3.1 Metodología propuesta para la investigación.....	29
Figura 3.2 Metodología detallada para la elaboración de una Auditoria en Seguridad Vial.....	30
Figura 4.1 Localización del área de estudio.....	31
Figura 4.2 Accidentes acumulados en la PR-2 en el área oeste durante los años 2002, 2003 y 2004.....	32
Figura 4.3 Distribución de fatalidades en la PR-2 en el área oeste desde 1998 a 2003.....	33
Figura 4.4 Regresión para pronosticar AADT futuro.....	35
Figura 4.5 Intersección de la PR-2 con la PR-114 Km 157 en Mayagüez	40
Figura 4.6 Perspectiva de la PR-2 con la PR- 114 dirección sur-norte (Km 157)	41
Figura 4.7 Perspectiva de la PR-2 con la PR- 114 dirección sur-norte (Km 157)	41
Figura 4.8 Perspectiva de la PR-2 con la PR- 114 sentido norte -sur (Km 157).....	42
Figura 4.9 Vista aérea del la intersección PR-2 CON PR-343 (Km 160)	42
Figura 4.10 Perspectiva de la Intersección PR-2 con PR-343 sentido norte-sur (Km 160).....	43
Figura 4.11 Perspectiva de la Intersección PR-2 con PR-343 sentido norte-sur (Km 160).....	43
Figura 4.12 Perspectiva de la Intersección PR-2 con PR-343 sentido Oriente- occidente (Km160).....	44
Figura 4.13 Vista aérea de la intersección de la PR-2 con la PR-100 (Km 161).....	45
Figura 4.14 Perspectiva de la Intersección PR-2 con la PR-100 sentido norte-sur (Km 161).....	45
Figura 4.15 Perspectiva de la Intersección PR-2 con PR-100 sentido sur-norte (Km 161).....	46
Figura 4.16 Barreras de Hormigón del tipo F en la mediana de la vía PR-2 (Km 162.5)	47

LISTA DE FIGURAS (Cont.)

	Pág
Figura 4.17 Construcción de un puente elevado en la intersección de la PR-2 con la PR-309 (Km 163)	47
Figura 4.18 Perspectiva de zona de construcción de la PR-2 sentido norte-sur (Km 164)	48
Figura 4.19 Zona de construcción de la intersección PR-2 con la PR-347 sentido norte-sur (Km 165.3)	49
Figura 4.20 Perspectiva en zona de construcción de la PR-2 sentido sur-norte (Km 164)	49
Figura 4.21 Perspectiva de la Intersección PR-2 con la PR-347. (Km 165.3) Nótese la falta del solo a la derecha	50
Figura 4.22 Perspectiva de la PR-2 en el Km 168 (municipio de San Germán)	50
Figura 4.23 Desvío de la zona de construcción en la PR-2 en el Km 170.5	51
Figura 4.24 Vista aérea de la PR-2 a la altura de San Germán	52
Figura 4.25 perspectiva de la PR-2 en zona rural de Sabana Grande (Km 183)	52
Figura 4.26 Orilla de la PR-2 en zona rural de sabana Grande sentido norte-sur (Km 184)	53
Figura 4.27 Mediana de la PR-2 zona rural de Sabana Grande sentido norte-sur (Km 185)	53
Figura 4.28 Perspectiva de la PR-2 en zona rural de Sabana Grande, finalizando el tramo a evaluar. sentido norte-sur (Km 187)	54
Figura 4.29 Vista aérea de la PR-2 con la PR-117 en el municipio de Sabana Grande	54
Figura 5.1 Proceso para realizar una Auditoria a partir de las listas de cotejo	62
Figura 6.1 Nivel de severidad bajo en barreras semi-rígidas	69
Figura 6.2 Nivel de severidad de carácter moderado en barreras semi-rígidas	70
Figura 6.3 Nivel de severidad de carácter alto en barreras semi-rígidas	70
Figura 6.4 Nivel de severidad bajo en barreras rígidas	72
Figura 6.5 Nivel de severidad moderado en barreras rígidas	72
Figura 6.6 Nivel de severidad alto en barreras rígidas	73
Figura 6.7 Nivel de severidad bajo en vegetación	74
Figura 6.8 Nivel de severidad moderado en vegetación	75
Figura 6.9 Nivel de severidad alto en barreras semi-rígidas	76
Figura 6.10 Nivel de severidad bajo en cunetas	77
Figura 6.11 Nivel de severidad moderado para cunetas	78
Figura 6.12 Nivel de severidad alto para cunetas	79
Figura 6.13 Nivel de severidad bajo para objetos fijos	80

LISTA DE FIGURAS (Cont.)

	Pág
Figura 6.14 Nivel de severidad moderado para objetos fijos	81
Figura 6.15 Nivel de severidad alto para objetos fijos.....	82
Figura 6.16 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo en barreras semi-rígidas	92
Figura 6.17 Curvas envolventes para nivel de severidad moderada en barreras semi-rígidas	93
Figura 6.18 Curvas envolventes para nivel de severidad alta en barreras semi-rígidas	93
Figura 6.19 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo y alto en barreras semi-rígidas.....	94
Figura 6.20 Curvas de severidad para vallas de metal tipo W beam strong post.....	95
Figura 6.21 Error estándar para cada elemento evaluado basado en el narrativo asignado a cada por fotografía.....	97
Figura 6.22 Bandas de confianza para la curva de severidad en el nivel bajo elemento W beam strong post (95% de nivel de confiabilidad).....	99
Figura 6.23 Residuales vs predichos para el nivel de severidad bajo: elemento W beam strong post	100
Figura 6.24 Bandas de confianza para la curva de severidad en el nivel moderado: elemento W beam strong post.....	100
Figura 6.25 Residuales vs predichos para el nivel de severidad moderado: elemento W beam strong post.....	101
Figura 6.26 Bandas de confianza para la curva de severidad en el nivel alto, elemento W beam strong post	102
Figura 6.27 Residuales vs predichos para el nivel de severidad alto elemento W beam strong post	103
Figura 6.28 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo en barreras rígidas.....	104
Figura 6.29 Curvas envolventes para nivel de severidad moderado en barreras rígidas.....	105
Figura 6.30 Curvas envolventes para nivel de severidad alto en barreras rígidas	106
Figura 6.31 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo y alto en barreras rígidas.....	106
Figura 6.32 Curvas de severidad para barreras rígidas.....	107
Figura 6.33 Error estándar para fotografías de barreras rígidas	109
Figura 6.34 Residuales vs predichos para el nivel de severidad bajo.....	111
Figura 6.35 Bandas de confianza para la curva de severidad en el nivel bajo Barrera rígida (95% de confiabilidad).....	111

LISTA DE FIGURAS (Cont.)

	Pág
Figura 6.36 Bandas de confianza para la curva de severidad en el nivel moderado Barrera rígida (95% de confiabilidad)	112
Figura 6.37 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo para vegetación	113
Figura 6.38 Curvas envolventes para nivel de severidad moderada para vegetación	114
Figura 6.39 Curvas envolventes para nivel de severidad alto para vegetación	114
Figura 6.40 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo y alto en vegetación	115
Figura 6.41 Curva de severidad para vegetación a la orilla y mediana de la carretera.....	116
Figura 6.42 Error estándar para la secuencia de fotografías de vegetación a la orilla de la carretera	117
Figura 6.43 Bandas de confianza para curvas de severidad	118
Figura 6.44 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel medio vegetación (95% de confiabilidad)	120
Figura 6.45 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel alto vegetación (95% de confiabilidad)	120
Figura 6.46 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo en cunetas	121
Figura 6.47 Curvas envolventes para nivel de severidad moderado en cunetas	122
Figura 6.48 Curvas envolventes para nivel de severidad alto en cunetas	122
Figura 6.49 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo y alto en cunetas	123
Figura 6.50 Curvas de severidad para cunetas	124
Figura 6.51 Error estándar para la secuencia de fotografías de cunetas.....	125
Figura 6.52 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel bajo para cunetas (95% de confiabilidad).....	127
Figura 6.53 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel moderado para cunetas (95% de confiabilidad).....	127
Figura 6.54 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel alto para cunetas (95% de confiabilidad).....	128
Figura 6.55 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo objetos fijos	129
Figura 6.56 Curvas envolventes para nivel de severidad moderado en objetos fijos.....	129
Figura 6.57 Curvas envolventes para nivel de severidad alto para objetos fijos	130
Figura 6.58 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo y alto en objetos fijos	131

LISTA DE FIGURAS (Cont.)

	Pág
Figura 6.59 Curvas de severidad para objetos fijos	132
Figura 6.60 Error estándar para fotografías de objetos fijos	134
Figura 6.61 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel moderado (95% de confiabilidad)	136
Figura 6.62 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel alto (95% de confiabilidad)	136
Figura 7.1 Componentes de una zona control de tráfico temporal	177
Figura 7.2 Aplicación típica 6H-30 del MUTCD.....	179
Figura 7.3 Diseño correcto que se debe usar para las zonas de construcción.....	181
Figura 8.1 Metodología detallada para la elaboración de una Auditoria en Seguridad Vial.....	186

LISTA DE TABLAS

Pág

Tabla 2.1. Implantación de la Auditoría de Seguridad Vial en diferentes países	25
Tabla 4.1: Características generales de la carretera estatal PR-2.....	34
Tabla 4.2 Afluencia vehicular diaria promedio de la PR-2 en los municipios de Mayagüez, Hormigueros y San Germán que comprenden del Km 157.6 al 176.4 en la zona de estudio en los años 1994-2004 (fuente: ACT)	36
Tabla 4.3 Afluencia vehicular diaria promedio de la PR-2 en el municipio de Sabana Grande que comprende del Km 179.1 al Km 186.4 en la zona de estudio en los años 1994-2004 (continuación)	37
Tabla 5.1. Ejemplo de una lista de cotejo	58
Tabla 6.1. Porcentaje del panel de expertos.....	68
Tabla 6.2. Formulario de recopilación de datos de la prueba de evaluación para obtener curvas de severidad.....	68
Tabla 6.3. Resultados estadísticos para el elemento barrera semi-rígida.	98
Tabla 6.4 Severidad para cada fotografía evaluada para barreras rígidas	110
Tabla 6.5 Severidad para cada fotografía evaluada para vegetación	119
Tabla 6.6 Severidad para cada fotografía evaluada para cunetas.....	126
Tabla 6.7 Severidad para cada fotografía evaluada para objetos fijos	135
Tabla 7.1 Secciones homogéneas de la PR-2 (Km 157 a Km 187)	140
Tabla 7.2. Inventario de la carretera PR-2 entre los Km 157 y 187.	162
Tabla 7.3 Matriz de dispositivos y/o elementos evaluados con medidas correctivas correspondiente a diferentes índices y severidades	163
Tabla 7.4 Criterio de longitud del entalle para zonas con control de tráfico temporal (adaptada).....	176
Tabla 7.5 Fórmulas para determinar la longitud del entalle.	176

ACRÓNIMOS

AADT	Annual Average Daily Traffic
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ADB	Asian Development Bank
ACT	Autoridad de Carreteras y Transportación
ADT	Average Daily Traffic
AIP	Accident Investigation and Prevention
AMIVTAC	Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres
ASTM	American Society of Testing and Materials
ATSB	Australian Transport Safety Bureau
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BMS	Bridge Management Systems
CMS	Congestion Management Systems
CRF	Crash Reduction Factors
CV	Coeficiente de variación
DFT	Department for Transport
DMCs	Developing Member Countries
DOT	Department of Transportation
EEUU	Estados Unidos de América
ETSC	European Transport Society Council
FAHP	Federal-Aid Highway Program
FHWA	Federal Highway Administration
GB	Gran Bretaña
HSI	Hispanic Serving Institutions
HSIP	Highway Safety Improvement Program
IMS	Intermodal Management Systems
IHT	The Institution of Highways and Transportation
IRF	International Road Federation
ISTEA	Intermodal Surface Transportation Efficiency Act
ITE	Institute of Transportation Engineers
MUTCD	Manual on Uniform Traffic Control Devices
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
NHS	National Highway System
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
PCI	Pavement Condition Index
PMS	Pavement Management Systems
PR	Puerto Rico
PTMS	Public Transportation Management Systems
RDG	Roadside Design Guide
RSA	Road Safety Audit
RSAP	Road Safety Audit Program
RSAR	Road Safety Audit Review
RUM	Recinto Universitario de Mayagüez

ACRÓNIMOS (Cont)

SAFETEA-LU	Safe, Accountable, Flexible, Efficient Transportation Equity Act: A Legacy for Users
TAC	Transportation Association of Canada
TL	Test Level
TRB	Transportation Research Board
TRL	Transportation Research Laboratory
TTC	Temporary Traffic Control
UK	United Kingdom
UNESCAP	United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific
USDOT	United States Department of Transportation

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LAS AUDITORIAS EN SEGURIDAD VIAL.

1.1 Trasfondo histórico

La problemática relacionada a la presencia de choques o intercambiando el término, de accidentes de tránsito en las vías públicas de Puerto Rico, ya sea en áreas urbanas o rurales, es un tema que se ha venido analizando desde hace algunos años. Al transitar por varias de las carreteras de este país es evidente la presencia de situaciones o condiciones inadecuadas en la carretera que influyen a la frecuencia o severidad de los choques de vehículos de motor, ya sea por el factor humano o por deficiencias en la geometría, y/o dispositivos de control de tránsito inadecuados o mal localizados a lo largo del corredor vial.

Según National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) [1], el número de fatalidades en Puerto Rico se ha mantenido en un promedio de 500 muertos en los cuatro años posteriores a la última enmienda realizada a la ley de tránsito de Puerto Rico en el año 2000. La Figura 1.1 presenta las muertes en las carreteras en Puerto Rico para el período 2002-2004. Como se observa en esta figura, hubo una reducción del número de muertes, luego del año 2000, debido a cambios realizados en la Ley 22 de Vehículos del 1 de enero de 200 según enmendada. Esta reducción de las fatalidades es la consecuencia del aumento en el costo de las multas, que ocasionó una posible modificación en la conducta de los usuarios del sistema de carreteras. Esta modificación está posiblemente asociada al nivel de vigilancia policíaca y la campaña educativa que se desarrolló durante el comienzo de la implantación de la ley. Este fenómeno ha permanecido constante desde 2001 hasta 2004. Sin embargo, el factor de la carretera juega también un rol significativo en la frecuencia y severidad de los choques en Puerto Rico, por lo que es necesario adoptar procesos de auditorias para mantener un nivel de seguridad adecuado.

de fatalidades

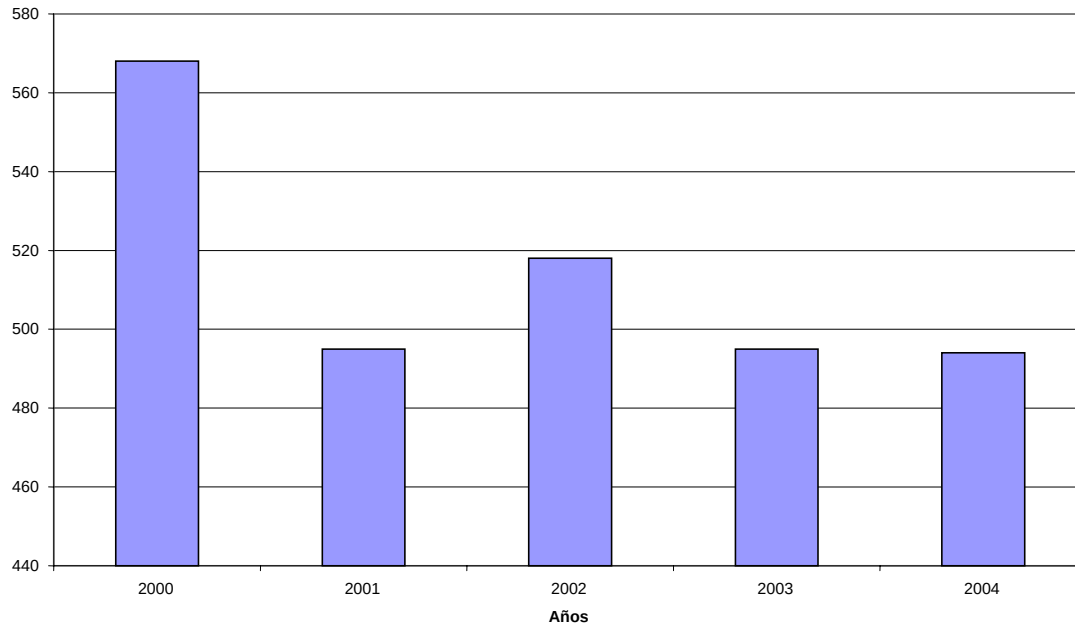


Figura 1.1 Fatalidades ocurridas en Puerto Rico durante el período 2000-2004

Rivera [2] realizó una tesis acerca de la seguridad vial en las intersecciones de las carreteras de Puerto Rico y los procesos relacionados a las Auditorías en Seguridad Vial (RSA, por sus siglas en inglés). Este proyecto concluye con la descripción de diez pasos propuestos en la metodología para realizar un estudio de seguridad, mediante un análisis de choques vehiculares, inspecciones de campo y la realización de estudios de ingeniería.

Colucci et al [3] realizaron un trabajo sobre el enfoque de analizar y evaluar la seguridad de las vías públicas y la metodología de auditorías desarrolladas en países como Gran Bretaña y Australia, entre otros. De este trabajo se concluyó que las Auditorías de Seguridad Vial han demostrado ser técnicas de ingeniería esenciales y útiles en el análisis y la evaluación de la seguridad, tanto en proyectos de carreteras nuevas como en carreteras existentes, se demostró la necesidad apremiante de implantar estos procesos en Puerto Rico.

1.2 Justificación

El tema central de esta tesis es desarrollar una metodología de Auditorias para evaluar la problemática de la seguridad en las carreteras en Puerto Rico. La ley de seguridad en las carreteras de 1966 establece que “El gobierno tiene la obligación de proveer vías seguras para los usuarios que transitan por ellas” [4]. El Artículo 1802 del Código Civil de Puerto Rico establece “el que por acción u omisión causa daño a otro, interviniendo culpa o negligencia, está obligado a reparar el daño causado. La imprudencia concurrente del perjudicado no exime de responsabilidad pero conlleva la reducción de la indemnización” [5]. En el caso de carreteras que se construyen con fondos federales es requisito fundamental cumplir con las normas de diseño de la American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO, [6] el Manual de Diseño de Carreteras de Puerto Rico [7], las Directrices de Diseño, los planos modelos de la Autoridad de Carreteras y Transportación ACT [8], las especificaciones para la construcción de carreteras y puentes a nivel estatal y el Manual of Uniform Traffic Control Devices MUTCD [9], que son de uso obligatorio, entre otros, También se deben seguir las indicaciones de la síntesis del NCHRP 336 [10], el cual provee guías para elaborar Auditorias en Seguridad Vial en los Estados Unidos, el reporte NCHRP 350 [11] que provee los procedimientos recomendados para la evaluación de dispositivos de seguridad en las carreteras, el reporte NCHRP 492 [12] el cual explica el programa para realizar análisis de seguridad en las áreas adyacentes a la orilla de la carretera (RSAP, por sus siglas en inglés), y el reporte NCHRP 500 [13], que consta de 17 volúmenes y provee guías para la implantación del plan estratégico de seguridad de la AASHTO en Estados Unidos y sus territorios. Estos últimos guías y trabajos desarrollados y se recomienda su uso pero no es obligatoria su implantación.

Al revisar la literatura existente y los estudios previos en Puerto Rico se ha encontrado que no existen estudios realizados sobre Auditorias en Seguridad Vial, de ahora en adelante denominadas solamente como Auditorias, tanto para proyectos nuevos como para carreteras existentes y para zonas en construcción

en carreteras. El NCHRP 336 es una metodología para ser usada en EEUU pero no aplica a las condiciones locales de la Isla, además no provee herramientas suficientes para dar un puntaje o calificación a los problemas encontrados en las carreteras, al igual que no establece prioridades para tomar acciones preventivas y/o correctivas de los mismos, así como el desarrollo de nuevos y mejores procesos para realizar Auditorías, lo cual genera una necesidad en esta área de la ingeniería.

1.3 Introducción

Las fatalidades que ocurren en las carreteras por la ausencia o falta de mantenimiento de los dispositivos de control de tráfico y de seguridad instalados, como la demarcación inadecuada, la señalización y demarcado en las vías, posiblemente sean la causa del aumento del número de los accidentes fatales que tienen un muy alto costo para la sociedad y para la economía de un país.

El 10 de agosto de 2005 el presidente de los Estados Unidos George W. Bush aprobó la ley SAFETEA-LU (*Safe, Accountable, Flexible, Efficient Transportation Equity Act: A Legacy for Users*) [14]. Dicha ley provee los fondos y mejora los programas de inversión necesarios para mantener y continuar con el crecimiento de la infraestructura de la transportación y atiende los problemas principales del sistema de transportación como la seguridad, la congestión de tránsito y los problemas ambientales, entre otros. Debido al alcance de SAFETEA-LU en la parte de la seguridad en las carreteras, es importante hacer un énfasis en las Auditorías de Seguridad Vial.

Existen tres “variaciones” en la definición de lo que representa una Auditoría en Seguridad Vial. La Administración Federal de Carreteras [15] (FHWA, por sus siglas en inglés) y El Instituto de Ingenieros de Transportación [16] (ITE, por sus siglas en inglés) definen una Auditoría como una evaluación formal de una carretera existente o futura por un equipo independiente de profesionales

entrenados en la ingeniería de transportación y otras disciplinas con el objetivo de asegurar un alto nivel de seguridad para todos los usuarios del sistema vial.

La Asociación de Autoridades de Carreteras, Transportación y Tráfico de Australia y Nueva Zelanda, (Austroads) [17] define una Auditoria como “una examinación formal de una carretera nueva o existente, en el cual un equipo independiente, calificado, realiza un informe sobre el potencial de accidentes que se pueden presentar en las carreteras y el funcionamiento de seguridad de las mismas”.

El Instituto de Carreteras y Transportación del Reino Unido (IHT, por sus siglas en inglés) [18] define las Auditorias como “un examen del funcionamiento formal de la seguridad de una vía, realizado por un equipo independiente de Auditoria. La Auditoria consiste en realizar una evaluación desde que se realizan los esquemas de una carretera, durante el diseño y al final de construcción para identificar los problemas de seguridad vial potenciales que pueden afectar a cualquier usuario de la carretera”.

Existen dos tipos de Auditorias: las Auditorias en Seguridad Vial (RSA por sus siglas en inglés) y la Revisión de Auditorias en Seguridad Vial (RSAR por sus siglas en inglés). La diferencia entre los dos tipos de Auditorias es que la primera se realiza en proyectos nuevos, durante cualquier etapa del proyecto, y la segunda se realiza en proyectos existentes que ya han sido abiertos a los usuarios de dichas facilidades.

Se ha generado una necesidad de desarrollar una Auditoria de Seguridad Vial y adaptar las metodologías de otros países para explicar las condiciones y su implicación en la seguridad de Puerto Rico, debido a las condiciones topográficas, climatológicas, condiciones geométricas de las carreteras, capacidad de las mismas y otros factores que se analizarán a lo largo del desarrollo del presente proyecto. Además, la metodología a desarrollarse en

esta investigación podría ser implantada por la Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT) para reducir las fatalidades en las carreteras de Puerto Rico en proyectos nuevos y en zonas de construcción.

Para aplicar la metodología de Auditoría en una carretera existente, se seleccionó un tramo de la carretera estatal PR-2 desde el km 157 localizado en el municipio de Mayagüez hasta el km 187, ubicado en el municipio de Sabana Grande. La Figura 1.2 presenta la localización de la zona de estudio en relación a la red vial estratégica de Puerto Rico.



Figura 1.2 Localización de la zona de estudio adaptado de [19]

Este tramo de la carretera PR-2 seleccionado fue escogido porque en el mismo confluyen varios factores como el cambio de una zona rural a una zona urbana, la presencia de zonas de construcción, existe bastante vegetación a la orilla de la carretera, tiene intersecciones semaforizadas y no semaforizadas, secciones transversales variables, cambios en la topografía y uso del suelo entre otros.

La severidad de un accidente puede estar relacionada con cambios repentinos en la velocidad límite de un segmento de carretera que podrían pasar

desapercibidos por los conductores si la geometría o las características generales del segmento no varían considerablemente. Esta situación puede ser más definitiva en un segmento de carretera donde la velocidad límite no es cónsona con las expectativas de los conductores de acuerdo a las características del segmento. Además, se deben tener en cuenta factores como la educación, la ingeniería, el manejo de incidentes en las carreteras y la ejecución de planes en las mismas para analizar las causas por las cuales ocurren accidentes sobre el corredor vial seleccionado.

Se puede considerar que un conductor que esté en la zona urbana, donde la velocidad máxima permitida es de 45 millas por hora, y cambia a una zona rural donde aumenta la velocidad a 55 millas por hora, y se encuentra con una zona de construcción temporal, donde se debe disminuir la velocidad de 35 millas por hora, puede no reaccionar adecuadamente a este cambio y perder el control del vehículo ocasionando un accidente, ya sean de índole severo o fatal.

1.4 Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es elaborar la metodología para realizar Auditorias de Seguridad Vial en Vías Existentes en Puerto Rico.

Los siguientes objetivos específicos están establecidos con el fin de alcanzar el objetivo principal propuesto en este trabajo:

- Analizar un tramo como prueba piloto en la carretera PR-2, entre los kilómetros 157 y 187 (entre los municipios de Mayagüez y Sabana Grande) y evaluar los dispositivos de seguridad instalados en la carretera.
- Presentar unas guías de implantación del proceso de Auditoria, que puedan ser usadas para cualquier tipo de carretera y por un equipo de trabajo con un entrenamiento básico en seguridad vial.

- Desarrollar una metodología para realizar Auditorias en zonas de construcción, de zonas rurales y zonas urbanas de una carretera.
- Analizar diferentes sectores de la vía y determinar, las causas principales de los accidentes, para reducir al mínimo los riesgos de choques en las vías, sobre la red de carreteras adyacente en particular en intersecciones y a la orilla de la carretera.
- Desarrollar curvas de severidad para incorporar al proceso de Auditoria una métrica en la evaluación de los dispositivos de seguridad.
- Adaptar las listas de cotejo para realizar las Auditorias de Seguridad Vial en proyectos nuevos y existentes disponibles en el reporte NCHRP 336 para las necesidades geométricas y operacionales de las carreteras de Puerto Rico y su entorno tropical y geográfico.

1.5 Alcance del proyecto.

El alcance de este proyecto de investigación es desarrollar una metodología piloto para realizar la evaluación de las Auditorias en Seguridad Vial en Puerto Rico, analizando un tramo de carretera que presenta zona urbana, zona rural y zonas de construcción temporales. Debido a la variedad de dispositivos que se encuentran instalados en una carretera, no es posible desarrollar las curvas de severidad para todos los dispositivos, concentrándose solo en vallas, barreras de hormigón, vegetación, cunetas y otros objetos fijos instalados a la orilla de la carretera.

1.6 Beneficios esperados

Se pretende que la metodología desarrollada se pueda utilizar por las agencias gubernamentales como la Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico. Esta metodología incluye unas guías para realizar estudios de seguridad en carreteras rurales y urbanas y también de las zonas de construcción que ayuden a reducir la frecuencia, severidad y costos asociados a los choques, mediante la identificación de defectos o problemas de seguridad.

En la actualidad los estudios de Auditorias que se realizan en las carreteras por los profesionales de transportación son basados en el uso de especificaciones y guías presentadas por las autoridades federales y reportes como en NCHPR 336. Para considerar las prácticas más comunes de otros países, incorporar las características de la Isla y enfocarse en la evaluación de las carreteras del sistema vial de PR, con la metodología desarrollada y las listas de cotejo, como herramienta útil, se proveerán a las agencias relacionadas a la transportación una metodología eficiente en la realización de las Auditorias. El resultado final de este proyecto de investigación estimulará a las diferentes agencias estatales y municipales a evaluar la seguridad de las carreteras identificando deficiencias a ser reducidas. De esta manera, se promueve un uso efectivo de los fondos con los que cuentan cada agencia de transportación.

1.7 Organización de la tesis

Obedeciendo a los fines perseguidos en el presente proyecto de investigación, el mismo se ha esquematizado de la siguiente manera:

En el primer capítulo se hace una introducción a las Auditorias en Seguridad Vial, el trasfondo histórico, los objetivos, el alcance del proyecto y los beneficios esperados.

En el segundo capítulo, se expone el repaso de literatura. Este repaso presenta como se mide la seguridad en las carreteras, describe los sistemas gerenciales de seguridad y los procesos existentes de Auditorias en Seguridad Vial, las listas de cotejo y los estudios que se han elaborado en algunos países y presenta información particular de guías y manuales de diseño existentes como el *AASHTO Roadside Design Guide*, la norma de American Standard for Testing and Materials ASTM D 6433-99, el MUTCD y las medidas correctivas como son los *Accident Modification Factors*.

El tercer capítulo presenta la metodología que se plantea para el proyecto y como se va a utilizar en el desarrollo del proyecto de investigación.

El cuarto capítulo se enfoca en la selección y la descripción del área de estudio. En este capítulo se presenta una descripción general de la carretera, los aspectos de tráfico, topografía, geometría de la carretera y la descripción de la zona rural, zona urbana y zonas de construcción temporal que se presentan en la carretera.

El quinto capítulo expone el desarrollo de las listas de cotejo, en que consisten, una breve explicación de sus componentes y la forma como deben ser usadas.

El sexto capítulo expone el desarrollo de las las curvas de severidad, con las cuales se cuantifican los problemas observados en la carretera; se expone de manera clara como se realizaron las observaciones en campo, el análisis estadístico del estudio, la obtención de datos para elaborar las curvas, depuración de datos, se explica la elaboración y modificación de las lista de cotejo adaptadas para las condiciones locales de Puerto Rico la ejecución de las pruebas de campo, la opinión de expertos en el área, la metodología de cómo se elaboraron las curvas, al igual de la elaboración de la Auditoria en Seguridad Vial y la calibración de las listas de cotejo.

En el séptimo capítulo se expone el ejemplo de la aplicación de la metodología y los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en campo, con las recomendaciones pertinentes a realizarse en la carretera tanto en zona rural, urbana y en zonas de construcción.

Finalmente en el capítulo ocho se presentan las conclusiones y recomendaciones, estudios futuros y las guías generales desarrolladas paso a paso y de manera clara y sencilla para el desarrollo de una auditoria.

CAPÍTULO 2: REPASO DE LITERATURA

En este capítulo se define el concepto de seguridad vial, como se mide la seguridad de las carreteras, la historia de las Auditorías en Seguridad Vial y su aplicación en diferentes partes del mundo, y las diferentes guías y procedimientos para evaluar la seguridad de las carreteras. Al final del capítulo se ilustra una tabla que resume la implantación de las Auditorías en Seguridad Vial en varios países del mundo.

2.1 Como se mide la seguridad en las carreteras

Para determinar como se mide la seguridad en las carreteras, lo primero que se debe analizar son los factores que influyen en la seguridad como son: la geometría de la vía: ancho de la vía, número de carriles, ancho de carril y tipo de carretera. También se debe determinar el Tráfico Promedio Diario (ADT por sus siglas en inglés) de la carretera; esta información se obtiene directamente de la ACT.

Las medidas de seguridad son la frecuencia, la severidad, y tasas de accidentes entre otros. Con la información obtenida se pueden determinar frecuencias de accidentes, choques, promedio de accidentes por segmento, por intersección, y horas de más alta accidentalidad. (Adicional a esta información, se puede recurrir a la información suministrada por los reportes de accidentes suministrados por la Policía de Carreteras). Aunque esta información es sesgada, debido a que no se identifica con exactitud el kilometro donde ha ocurrido un accidente, es de gran ayuda para determinar las medidas correctivas para mejorar la seguridad vial.

Para determinar los procesos de evaluación de seguridad se cuenta con herramientas como los Sistemas Gerenciales de Seguridad (SMS por sus siglas en inglés), Auditorías, Consistencia en el diseño como velocidad, accidentes,

Estudios de antes y después, y los Factores Reductores de Accidentes (ARF por sus siglas en inglés)

2.2 Sistemas gerenciales de seguridad (Safety Management Systems)

Los Sistemas Gerenciales de Seguridad son parte esencial del plan de trabajo desarrollado para FHWA para prevenir y reducir la alta tasa de accidentes que ocurren en las carreteras por diferentes motivos.

ISTEA recomendó las siguientes dos funciones para cumplir con el objetivo de los SMS:

1. Identificar las mayores actividades y responsabilidades para el desarrollo e implantación en todos los estados de la toma de decisiones, procesos, y seguridad interactiva.
2. Contener un cronograma demostrando todas las operaciones y que cubran a todos los estados que se han realizado a partir de octubre 1 de 1996.

Los objetivos del SMS son los siguientes:

1. Prevenir y reducir el número y la severidad de los accidentes en la carretera.
2. Garantizar que la seguridad vial sea considerada en todas las fases de los programas relacionados a carreteras.
3. Establecer una comunicación interactiva y formal, la coordinación y cooperación con todas las agencias locales y estatales y grupos ciudadanos relacionados.
4. Mantener y actualizar el mobiliario de seguridad, y los elementos y características operacionales de la carretera.

5. Establecer y mantener una base de datos de seguridad vial, para uso de todas las agencias locales y estatales y grupos relacionados.

A continuación se enumeran los componentes con que debe contar un SMS. Dichos componentes se deben identificar con ISTEА [14]

- Estructura organizacional
- Líder de equipo
- Misión y visión
- Recursos disponibles
- Seguridad integrada
- Herramientas
- Legislación y fondos
- Entorno externo

El proceso de Auditorías en Seguridad Vial es parte de los Sistemas Gerenciales de Seguridad y al realizarla, se debe interactuar con los diferentes componentes del SMS para realizar una Auditoría de una manera rigurosa.

2.3 Evolución de las Auditorías en Seguridad Vial

2.3.1 Estudios de Auditorías en diferentes países

Las Auditorías en Seguridad Vial han sido elaboradas en diferentes partes de mundo; a continuación se hace una breve reseña de los países donde se ha trabajado e implantado esta metodología.

2.3.1.1 Reino Unido

Las Auditorías de Seguridad Vial empezaron originalmente en el Reino Unido en el año 1980 [17]. Un grupo denominado Investigación de Accidentes y Prevención (AIP por sus siglas en inglés) fue organizado en respuesta a las

exigencias de legislación sucesiva para el Departamento de Transporte del Reino Unido, para tomar medidas para reducir la posibilidad de accidentes sobre sus vías. Los equipos AIP, conformados en los consejos municipales, en su comienzo se enfocaron solamente en los problemas de accidentes en vías existentes y luego se comenzó a evaluar diseños para nuevas vías.

En 1990, el Instituto de Carreteras y Transporte del Reino Unido publicó las primeras Directrices para las Auditorias de Seguridad Vial. Estas directrices fueron revisadas y reevaluadas en 1996 con el propósito de llenar los vacíos existentes que se fueron descubriendo e implantando a medida que se desarrollaban las Auditorias.

El esquema de Auditoria establecido en el Reino Unido ha sido usado como un modelo en otros países para la formulación de directrices y planificación de algunas carreteras nacionales. Las Auditorias también se han hecho obligatorias en la planificación de carreteras nacionales en Dinamarca.

2.3.1.2 Australia y Nueva Zelanda

La introducción de Auditorias de Seguridad Vial en Australia y Nueva Zelanda en 1990 surgió de visitas por ingenieros de seguridad vial entre estos dos países y el Reino Unido. Las primeras directrices de Auditorias de Seguridad Vial fueron producidas en 1993 en Nueva Zelanda y en 1994 por en Australia por Austroads, (Asociación de las autoridades de tráfico y de los departamentos de vías y transporte de Australia y Nueva Zelanda y autoridades de tráfico).

En respuesta al aumento significativo de la experiencia y con el entendimiento de las Auditorias de Seguridad Vial en aquellos primeros años, las directrices de Austroads fueron revisadas en su totalidad y republicadas en 2002. A diferencia del Reino Unido, las Auditorias de Seguridad Vial fueron aplicadas desde un

principio tanto a vías existentes como a diseños de nuevos proyectos en Australia y Nueva Zelanda.

El mayor valor del proceso de Auditorías a proyectos nuevos es el de disminuir el número de fatalidades al realzar la seguridad (y el quitar elementos u obstáculos fijos potenciales al costado de la vía que causan accidentes) de nuevos diseños antes que los proyectos sean construidos.

2.3.1.3 Estados Unidos

Las Auditorías de Seguridad Vial fueron presentadas en los Estados Unidos en 1996 como consecuencia de un viaje patrocinado FHWA a Australia y Nueva Zelanda. FHWA contactó todos los Departamentos de Transportación de los Estados (DOTs, por sus siglas en inglés) para identificar el interés de aplicar los conceptos de las Auditorías en un estudio piloto. En 1997 se patrocinó un taller en la ciudad de San Luís, Missouri, para discutir el alcance de las actividades pilotas. Trece estados y dos administraciones locales participaron en este proyecto piloto marcando el principio de la práctica estadounidense.

Siete años después de ese taller, Wilson y Lipinski [10] elaboraron una encuesta como parte del estudio de la síntesis NCHRP 336, para identificar el estado de la práctica de la implantación de las Auditorías en los Estados Unidos y sus territorios. Treinta y ocho estados (que es equivalente al 76 por ciento de los 50 estados) contestaron la encuesta indicando que realizan la síntesis de práctica en la carretera (la Síntesis NCHRP 336). Otro detalle importante del estudio de Wilson y Lipinski es que sólo 10 de los estados (equivalente al 20 por ciento de los 50 estados) han utilizando Auditorías de Seguridad Vial o Auditorías de Seguridad Vial en carreteras existentes en los proyectos de carreteras.

Los estados que indicaron que realizan RSA o RSAR al momento de la encuesta son:

1. Pennsylvania
2. South Dakota
3. Michigan
4. New York
5. South carolina
6. Alabama
7. Massachussets
8. Kentucky
9. Lousiana
10. Iowa

En enero de 2007, FHWA publicó el reporte FHWA-SA-06-06 "Road Safety Audits Guidelines" con el propósito de suministrar a todas las agencias locales y gubernamentales unas guías primarias para desarrollar sus propias metodologías para Auditorias y las políticas y procedimientos para identificar las oportunidades de mejorar las Auditorias en su jurisdicción.

Estas guías se dividen en tres secciones principales. La sección A provee información general acerca de las Auditorias en Seguridad Vial, información de la forma de implementarse un programa de Auditorias y los procesos a seguir. La parte B describe los pasos de una Auditoria y los diferentes tipos de Auditorias; la parte C describe las herramientas que se deben utilizar para realizar una Auditoria y como y cuando se deben utilizar. A pesar de esto, el reporte no incluye listas de cotejo que puedan ser utilizadas como modelo para desarrollar la Auditoria.

2.3.1.4 Unión Europea

El Consejo Europeo de Seguridad en Transporte (ETSC por sus siglas en inglés) es una organización internacional no gubernamental que fue formada en 1993 en respuesta al incremento de víctimas fatales en las carreteras europeas. Anteponiéndose sobre intereses nacionales y sectoriales, el ETSC proporciona una fuente imparcial de consejos sobre asuntos de seguridad del transporte a la Comisión Europea, el Parlamento europeo y, donde cree conveniente o

apropiado, a gobiernos nacionales y organizaciones preocupadas por la seguridad en todas partes de Europa.

El Consejo reúne a expertos de reputación internacional los cuales son miembros de una amplia gama de organizaciones nacionales e internacionales con intereses en seguridad del transporte y Parlamentarios de todos los partidos sobre su Consejo Principal para cambiar la experiencia y el conocimiento e identificar y promover contribuciones a base de investigación para sobre seguridad en el transporte.

El alcance de las Auditorias por lo general es limitado a un esquema individual de una vía, que puede ser aplicado a un nuevo proyecto o la modificación a una carretera existente. La base para la Auditoria de seguridad es el uso de principios de seguridad al diseñar una nueva o una sección modificada de la vía para prevenir futuros accidentes o reducir su severidad en dicho sector. El procedimiento por lo general es realizado en unos o todas las cinco etapas en realizar un esquema: estudio de viabilidad, diseño preliminar, diseño detallado, de preapertura y unos meses después de apertura. Un elemento esencial del proceso es que es realizado independientemente del equipo de diseño. Debería ser emprendido por un equipo de expertos quienes tienen la experiencia y los conocimientos actualizados en la ingeniería de seguridad vial y en la investigación de accidentes.

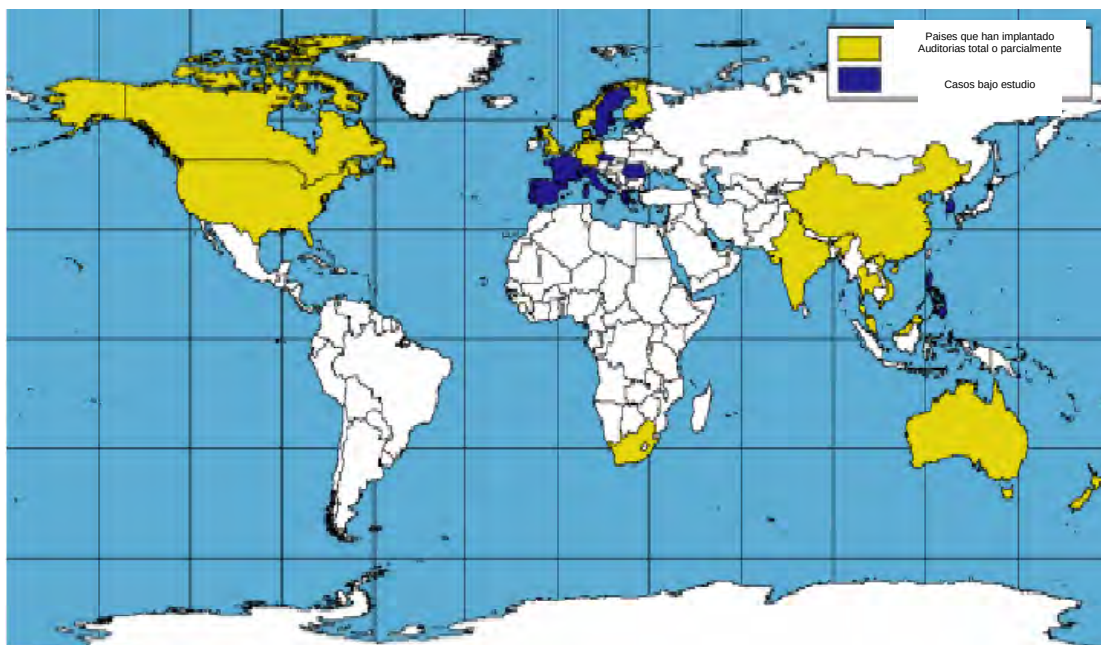
2.3.1.5 Japón

Para solucionar el problema de los accidentes de tráfico en Japón, el Reino Unido instituyó la primera Auditoria de Seguridad Vial en el año de 2003. [20]

La diferencia principal entre este sistema y las prácticas tradicionales de Auditorias es que un equipo de expertos externos realiza las evaluaciones de seguridad. Este sistema se ha extendido a muchos otros países.

En Japón, para reducir víctimas en accidentes de tránsito, hay una llamada general a la introducción de una nueva política de seguridad de tráfico similar a las Auditorías en Seguridad Vial. Sin embargo, ya que las recomendaciones de los interventores externos para las mejoras de diseño legalmente no tienen ningún compromiso, sería difícil para administradores de los sistemas viales de cumplir con tales recomendaciones, por lo cual las obligaciones de ejecutar dichas directrices se hace confusa.

La Figura 2.1 muestra los países que han implantado o que están en dicho proceso el sistema de Auditorías de Seguridad Vial, o han comenzado estudios de viabilidad incluyendo programas pilotos además de los países ya mencionados, Tailandia, Malasia, Singapur y África del Sur ya usan Auditorías, y varios estados y provincias en Estados Unidos y Canadá, Vietnam y China aplican Auditorías a algunos de sus diseños de carreteras. En países europeos del norte como Finlandia y Suecia y en Europa Occidental, el empleo de RSA es apoyado fuertemente y cada vez más países estudian el potencial de aplicabilidad del sistema.



**Figura 2.1 Países que han implantado Auditorías en Seguridad Vial
modificado de - [20]**

2.3.1.6 Canadá

La Asociación de Transporte del Canadá (TAC por sus siglas en inglés) publicó una guía de Auditorías. Estas guías presentan una revisión comprensiva del proceso de Auditorías enfocado hacia las agencias gubernamentales, consultores y otros grupos interesados.

El fondo del asunto es que una Auditoría es un proceso sistemático para comprobar la seguridad de proyectos de infraestructura vial, basados en la seguridad, principios de la ingeniería y evaluado desde la perspectiva de diferentes usuarios. Para la planificación y proyectos de diseño, las Auditorías proporcionan una evaluación independiente del funcionamiento de la seguridad vial de un proyecto en intervalos predeterminados por especialistas en el campo.

Una Auditoría no es, ni oportunidad de diseñar un proyecto, ni comprobación para la adhesión para diseñar directrices. El equipo del proyecto y el dueño del proyecto permanecen responsables del diseño. También, esto no sustituye otras estrategias de seguridad que las agencias ya usan. Una Auditoría debe ser vista como un instrumento adicional que puede ser usado para reducir la frecuencia y la severidad de choques.

2.3.1.7 Asia

La seguridad vial es reconocida como una preocupación principal socioeconómica que afronta Asia y la región del Pacífico y el Banco de Desarrollo Asiático (ADB, por sus siglas en inglés) [21] en un estudio regional, estimó en 1997 que más de 235,000 personas mueren cada año y aproximadamente de 3 a 4 millones son mutilados o perjudicados en accidentes de tráfico en los países miembros en vías de desarrollo (DMCs por sus siglas en inglés) cada año. Estas pérdidas humanas y económicas, estimadas en mas de 20 mil billones de dólares/al año, lo cual inhiben el desarrollo de la región. Es

por esto que, ADB, en la colaboración con otras agencias internacionales como el Banco Mundial y la Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico de las Naciones Unidas (UNESCAP, por sus siglas en inglés), está activamente implicada en el esfuerzo global para reducir el número de muertes sobre la red vial de la región. El alto porcentaje de vehículos de dos y tres ruedas generan accidentes y las agencias gubernamentales de la zona no habían podido implementar políticas en aras de mejorar la seguridad vial.

2.3.1.8 África

La conciencia creciente entre las agencias de ayudas multilaterales y bilaterales de la importancia de los choques vehiculares como la causa principal de muerte e inhabilidad en todas partes del mundo en desarrollo es reflejada en el establecimiento reciente de la Sociedad de Seguridad vial Global (GRSP, por sus siglas en inglés). Esto ha sido establecido bajo el marco de los Socios del Banco Mundial para el Programa de Desarrollo y es una sociedad de sectores privados, la sociedad civil y organizaciones de gobierno que colaboran para mejorar la situación de seguridad vial en naciones en vías de desarrollo.

El GRSP, solicitó al Laboratorio de Investigación de transporte (TRL por sus siglas en inglés) del Reino Unido, emprender una revisión de seguridad vial por todo el mundo. Este estudio identificó que el número de personas que murieron en accidentes de tránsito en 1999 estaba entre 750,000 y 880,000. Aproximadamente el 85 por ciento de estas muertes ocurrió en países en vías de desarrollo de África, Asia, América Latina y el Oriente Medio. El estudio también mostró que África, tiene una región con una parte desproporcionada de víctimas globales de accidentes en carreteras en comparación con el número de automóviles autorizados. Los estimados también sugieren que entre 23-34 millones de personas han sido perjudicados en todo el mundo por accidentes de tránsito.

En esta revisión mundial de seguridad era posible utilizar los resultados de estudios detallados emprendidos de la situación de seguridad vial en la región Pacífica de Asia (financiado por el Banco de Desarrollo Asiático y la Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico de las Naciones Unidas), en la región de América Latina y del Caribe (financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo) y en Europa Oriental (financiado por la Comisión Europea PHARE el Programa de Transporte de Multipaís).

Lamentablemente ningún estudio comparable de seguridad vial en los países de África ha sido emprendido en años recientes, un hecho identificado por los especialistas de seguridad vial dentro de los Departamentos de Transportación de Estados Unidos. Claramente los Estados Unidos tienen un interés directo en mejorar la seguridad vial en ultramar tanto de un punto de vista humanitario como también porque varios cientos de ciudadanos norteamericanos mueren cada año en accidentes de tránsito en ultramar, y muchos de estas fatalidades están ocurriendo en África.

La Figura 2.2 muestra el número de fatalidades en las carreteras en relación a GNP/capita por cada millón de personas en diferentes países para el año de 1992. En dicha gráfica se observa que en los países desarrollados el número de fatalidades es mayor con relación a los países en vías de desarrollo.

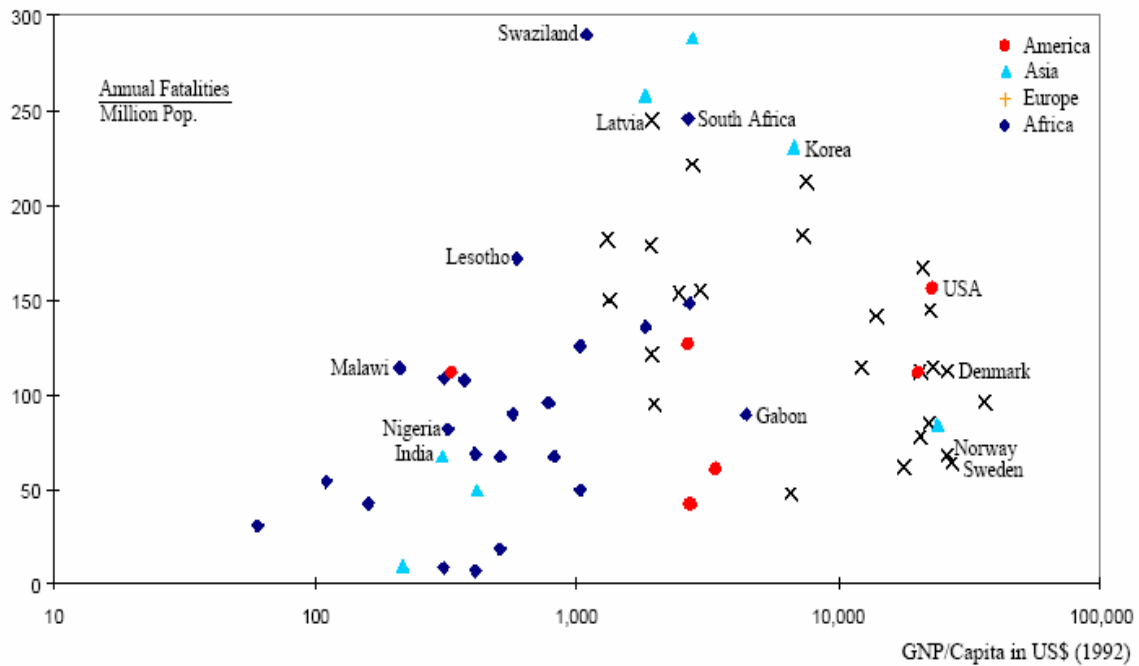


Figura 2.2 Fatalidades anuales en carreteras por millon de personas en paises de Africa, América, Asia y Europa en el período 1992-1994. - [22]

La Figura 2.3 muestra el cambio porcentual de accidentes de tránsito en los diferentes continentes con respecto al año base de 1968. Como se puede observar, en Europa y Norteamérica el cambio porcentual fue negativo, mientras que para Asia y África, los valores aumentan cada año.

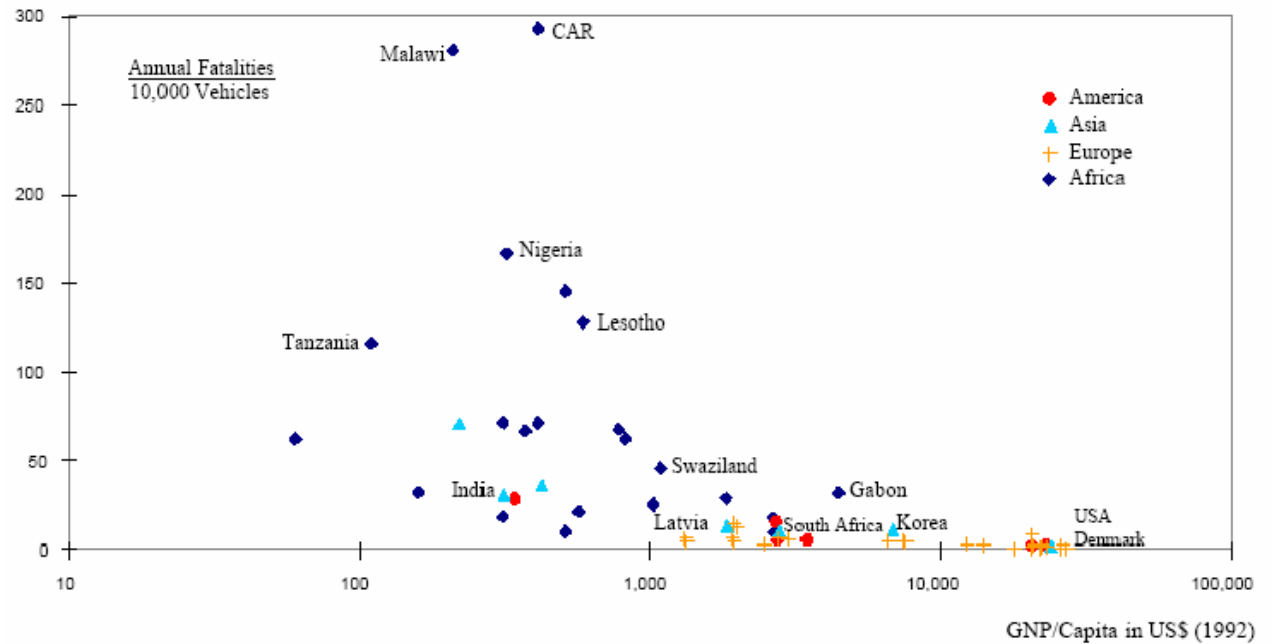


Figura 2.3 Porcentaje anual de accidentes fatales por cada 10,000 vehiculos en paises de Africa, Asia, America y Europa (1992-1994) - [22]

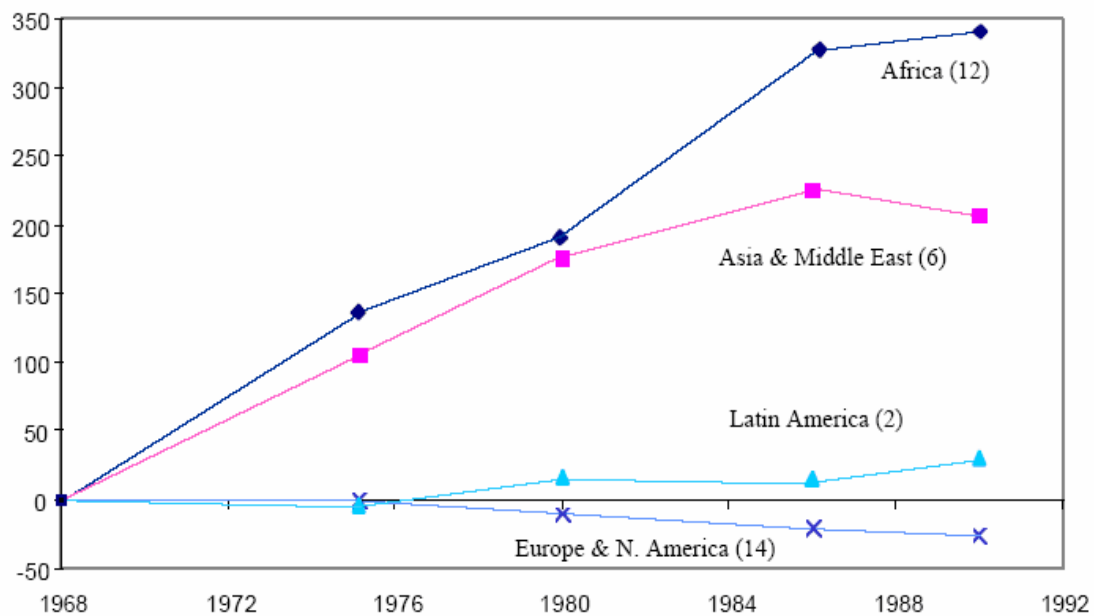


Figura 2.4 Cambio Porcentual en fatalidades en Accidentes de tránsito (1968-1992) - [22]

2.3.1.9 Puerto Rico

Durante los meses de marzo a mayo de 2003, Moraza y Colucci [23] enviaron un cuestionario a 25 departamentos de transportación de los Estados Unidos para conocer si los conceptos fundamentales de Auditorías en Seguridad Vial de Auditorías de Seguridad Vial en carreteras existentes, según definidos por la FHWA, Austroads, y la ITE, eran parte de sus programas. Los resultados de la revisión indicaron que los 25 estados encuestados han implantado ambos conceptos en un período de dos años y medio. El 36.4% de los Departamentos de Transportación encuestados realizan Auditorías durante el diseño de proyecto y el 54.5% realizan Revisión de Auditorías sobre las vías existentes.

La oficina de *Impact Team* de la ACT, está encargada de realizar Auditorías en las carreteras de Puerto Rico, identificando los problemas de seguridad como errores de diseño geométrico, señalización, demarcado de pavimento, barreras, diseño y falta de visibilidad en intersecciones entre otros que afectan la seguridad de las carreteras y zonas aledañas a la vía de rodaje, realizando los análisis correspondientes para ser corregidos por otras dependencias de la ACT. En Puerto Rico no existe un proceso formal de Auditoría, lo cual es un justificativo para la elaboración de esta tesis.

La Tabla 2.1 demuestra las etapas de implantación de Auditorías en varios países. Las Auditorías se llevan a cabo en varias etapas en el desarrollo del proyecto de una carretera. Austroads y los Departamentos de Transportación de Estados Unidos aplican Auditorías luego de haberse abierto el proyecto al público.

2.3.2 Las listas de cotejo

Las listas de cotejo son la herramienta utilizada para realizar una Auditoría en Seguridad Vial. En una lista de cotejo se evalúan todas las características,

situaciones y posibles problemas que pueda presentar una carretera, en la orilla, en el carril y en la mediana de la misma; y como estas situaciones afectan el entorno y al conductor a la hora de desplazarse por el corredor vial.

Tabla 2.1. Implantación de la Auditoría de Seguridad Vial en diferentes países

PASOS / ETAPAS	AUSTRALIA	CANADA	ESTADOS UNIDOS	JAPON	NUEVA ZELANDA	REINO UNIDO
1. Viabilidad	SI		SI	NO*	SI	NO*
2. Diseño preliminar	SI	SI	SI	SI*	SI	SI*
3. Diseño detallado	SI	SI	SI	SI	SI	SI
4. Pre-apertura	SI	SI**	SI	SI	SI**	SI**
5. Apertura al tráfico	SI	NO**	SI	SI	NO**	NO**
6. Auditorías en Seguridad Vial en vías existentes (RSAR)	SI	-	SI***	-	-	-

* Se superponen las etapas 1 y 2

** Se superponen las etapas 4 y 5

*** MUTCD y NCHRP 336

En el quinto capítulo se explica de manera detallada cada uno de los componentes de una lista de cotejo y su aplicación en una Auditoría.

2.4 Roadside Design Guide

El *Roadside Design Guide* son las guías que se utilizan para evaluar los diferentes dispositivos instalados en la orilla y mediana de la carretera y la forma de proteger los mismos, para brindar seguridad en la carretera [24].

Esta guía fue utilizada en el desarrollo de todo el proyecto de investigación, para evaluar los dispositivos como barreras, vallas, vegetación, objetos fijos a la orilla de la carretera, zonas libres de obstáculos y en general, para realizar el ejemplo de la Auditoría en el tramo de carretera seleccionado para el desarrollo del presente proyecto de investigación.

2.5 Norma ASTM D 6433-99

Esta norma describe el procedimiento para determinar el Índice de la Condición del pavimento (PCI, por sus siglas en inglés). Este procedimiento permite la

evaluación de los defectos que presentan los pavimentos rígidos y flexibles y presenta una forma de cuantificar la severidad dichos defectos mediante un índice de 0 (falla total) al 10 (condición excelente) Esta norma se utilizó para la evaluación de los pavimentos y como guía para elaborar la metodología de evaluación de barreras rígidas y semi-rígidas. [25]

2.6 Aditamentos de Control de Tránsito: MUTCD parte 6

Para evaluar la parte de señalización y demarcado en las carreteras se usó el “*Manual on Uniform Traffic Control Devices*” [9], en especial la parte 6, que describe los componentes de una zona con control temporal de tráfico (TTC, por sus siglas en inglés), las aplicaciones típicas, las fórmulas aplicables para entalles, la práctica recomendada u opcional de los dispositivos de control de tráfico para zonas de construcción.

2.7 Medidas correctivas: Accident Modification Factors

Los Factores de Modificación de Accidentes (AMF, por sus siglas en inglés), son una herramienta que ha ganado popularidad, que se usan para estimar los efectos de las mejoras en seguridad de acuerdo a los siguientes factores:

- Geometría de una carretera específica, ya sea de un segmento o una intersección.
- Dispositivos de control de tráfico usados en el segmento o intersección.
- Señalización usada en una intersección.
- Zona libre de obstáculos a la orilla de la carretera y otros aspectos relacionados a la seguridad.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

En este capítulo se describen los procesos que componen la metodología utilizada en la elaboración y adaptación de las listas de cotejo para la realización de Auditorías de Seguridad Vial en las carreteras de Puerto Rico. En la Figura 3.1 se ilustra un flujograma que presenta el orden y la relación de cada uno de los procesos que se desarrollan en la creación de una Auditoría en Seguridad enfocada a uno de los componentes del sistema de carreteras.

3.1 Logística de la metodología

Para cumplir con los objetivos fijados dentro del presente trabajo se llevó a cabo la siguiente metodología:

1. Recopilar información con el objetivo de conocer las diferentes metodologías de Auditorías de Seguridad Vial en el mundo.
2. Seleccionar un tramo de la vía a evaluar. Para el presente proyecto se seleccionó la carretera estatal PR-2 desde el kilómetro 157 en el Municipio de Mayagüez, hasta el kilómetro 187, en el municipio de San Germán.
3. Analizar la información suministrada en la síntesis NCHRP 336 y el informe NCHRP 350 para realizar un inventario en el tramo seleccionado de los dispositivos de seguridad instalados tanto en la mediana como a la orilla de la carretera e identificando zonas de tráfico urbano, rural y en zona de construcción.
4. Conformar de un equipo auditor, seleccionando expertos en el área de la ingeniería en transportación.

5. Realizar inspecciones de campo, tanto de día como de noche, identificando los diferentes problemas, deficiencias y zonas donde se cumple con lo exigido en los informes NCHRP 336, 350 y 500, utilizando inicialmente las listas de cotejo disponibles en la literatura consultada.
6. Desarrollo de las curvas de severidad para cuantificar de forma numérica los dispositivos instalados en inmediaciones a la carretera.
7. Adaptar y desarrollar las listas de cotejo para las condiciones locales de la isla, definiendo un orden de prioridad y un puntaje de evaluación de daños.
8. Actualizar las listas de cotejo y la metodología para realizar Auditorías de Seguridad Vial que sean prácticas, costo-efectivas y aplicables a todas las carreteras existentes en la isla, considerando nuestro entorno tropical, geográfica y aspectos geométricos y operacionales sin sacrificar las directrices locales, estatales y federales.

La Figura 3.1 y la Figura 3.2 muestra de manera detallada la metodología para la elaboración de una Auditoría en Seguridad Vial. En el capítulo ocho, en las guías generales se explica paso a paso, cada uno de los tópicos para el desarrollo general de una Auditoría.

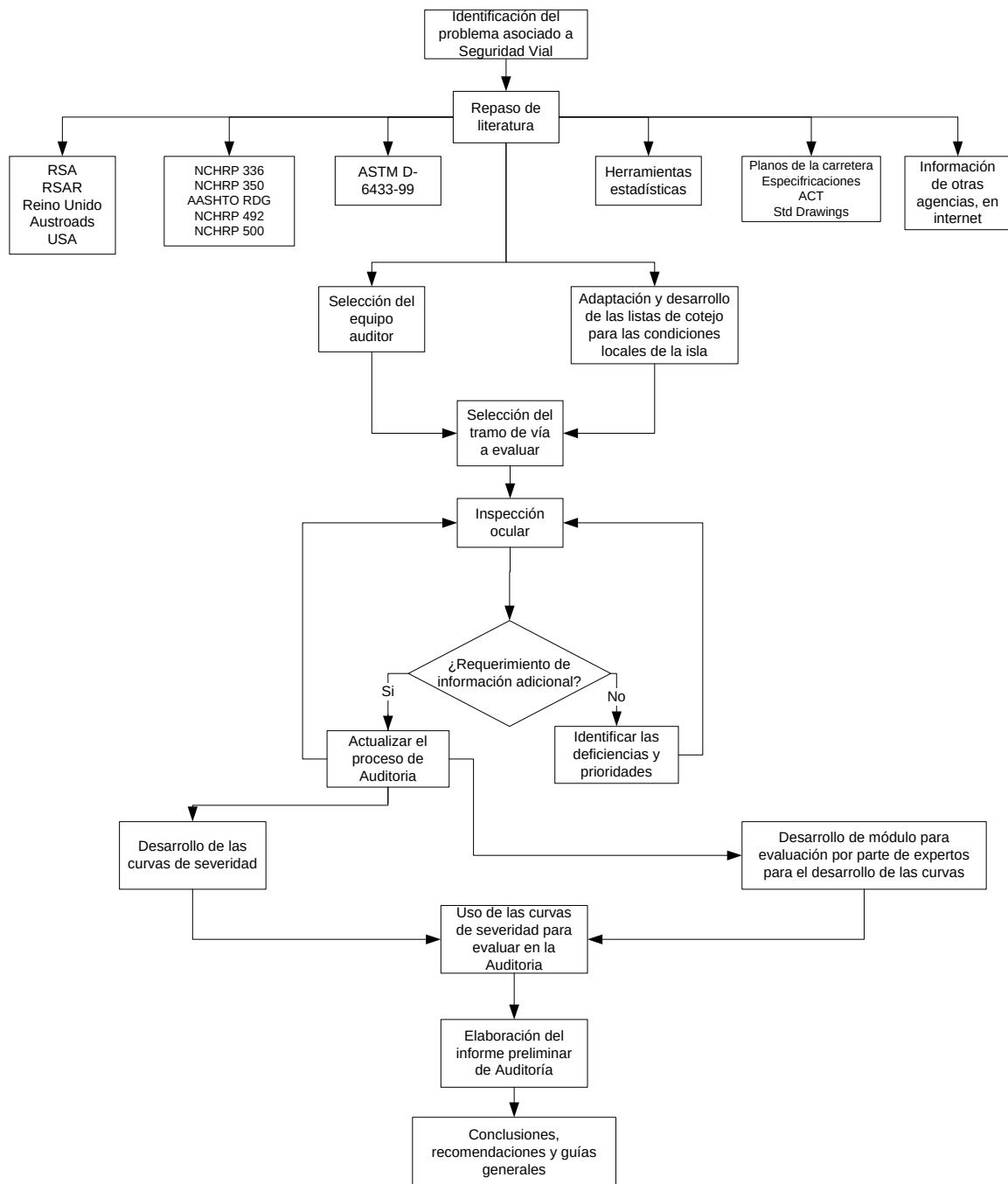


Figura 3.1 Metodología propuesta para la investigación.

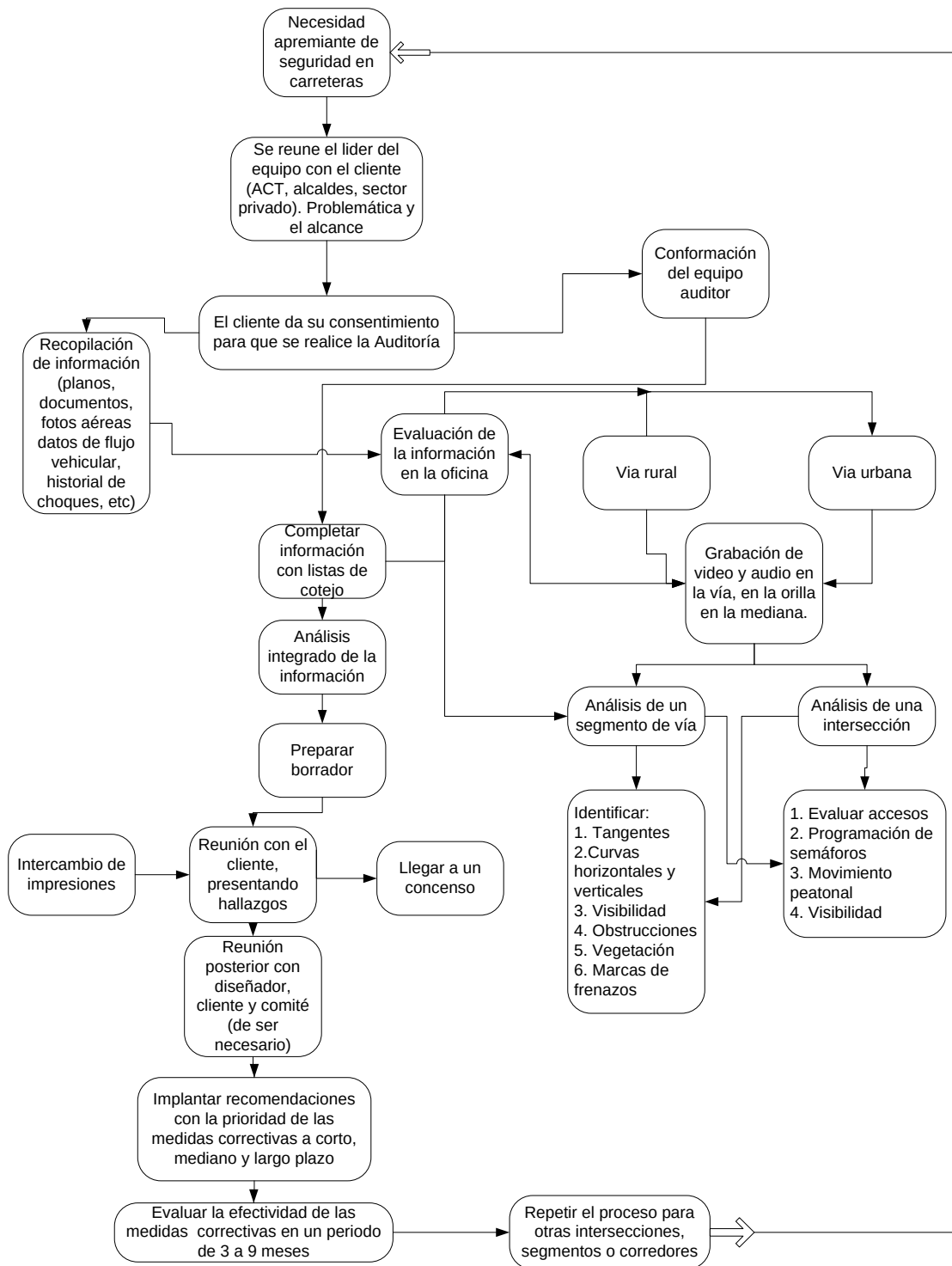


Figura 3.2 Metodología detallada para la elaboración de una Auditoría en Seguridad Vial

CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El propósito de este capítulo es enunciar las características de la carretera a evaluar, la selección del área de estudio y la descripción de la misma.

4.1 Selección del tramo de carretera: PR-2 entre Km 157 a Km 187

El área de estudio seleccionado fue un tramo de la carretera PR – 2 en el área oeste de Puerto Rico. Se escogió este segmento debido a que es parte de la Red Vial Estratégica (NHS, por sus siglas en inglés) de la isla, e incluye tramos en zona urbana, zona rural y zona de construcción. La proximidad del segmento al RUM; además permite evaluar cambios en el mismo durante la etapa investigativa del desarrollo de la metodología.

La Figura 4.1 muestra la localización general del área de estudio, iniciando en el Kilómetro 157 ubicado en el municipio de Mayagüez y finalizando en el municipio de Sabana Grande en el kilómetro 187.

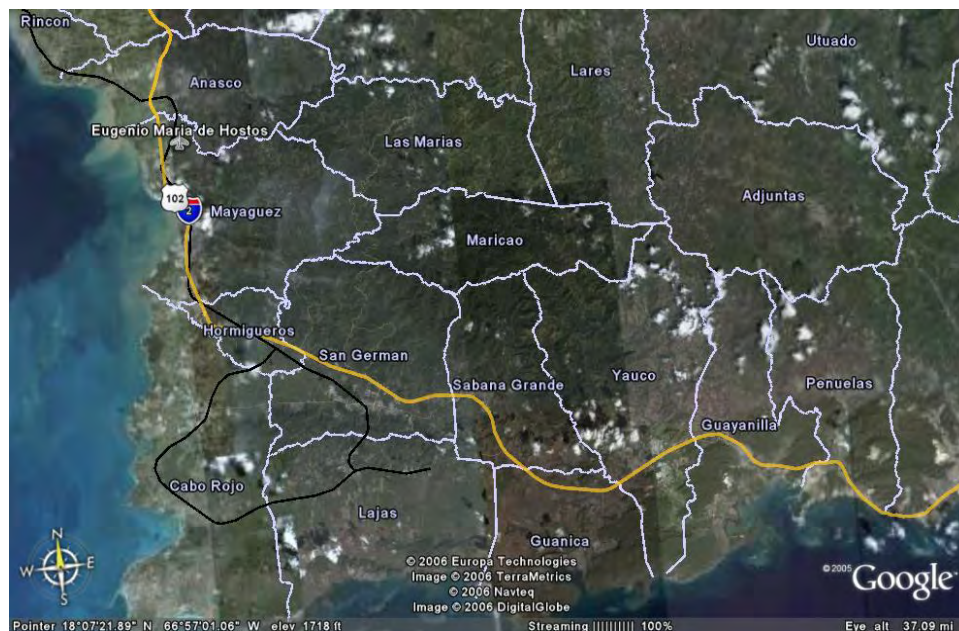


Figura 4.1 Localización del área de estudio

A lo largo del tramo a analizar, cambia la geometría y las características de la vía como se describe en cada una de las zonas

Analizando la información suministrada por la ACT de Puerto Rico, desde los años 2002 al 2004 la frecuencia de accidentes en el área oeste se concentra entre los kilómetros 150 a 160. Esta sección corresponde al área urbana Mayagüez. Estos accidentes posiblemente son atribuidos por choques de alta velocidad.

La Figura 4.2 muestra los accidentes acumulados en la PR-2 entre los Km 127 y Km 187 para los años 2002, 2003 y 2004. Los datos representan los accidentes acumulados desde el área urbana de Mayagüez a Sabana Grande. Como se observa, los accidentes se han concentrado en el área urbana de Mayagüez, entre los kilómetros 150 y 160. También se observa que el número de accidentes ha permanecido cerca de los 1500 en los tres años

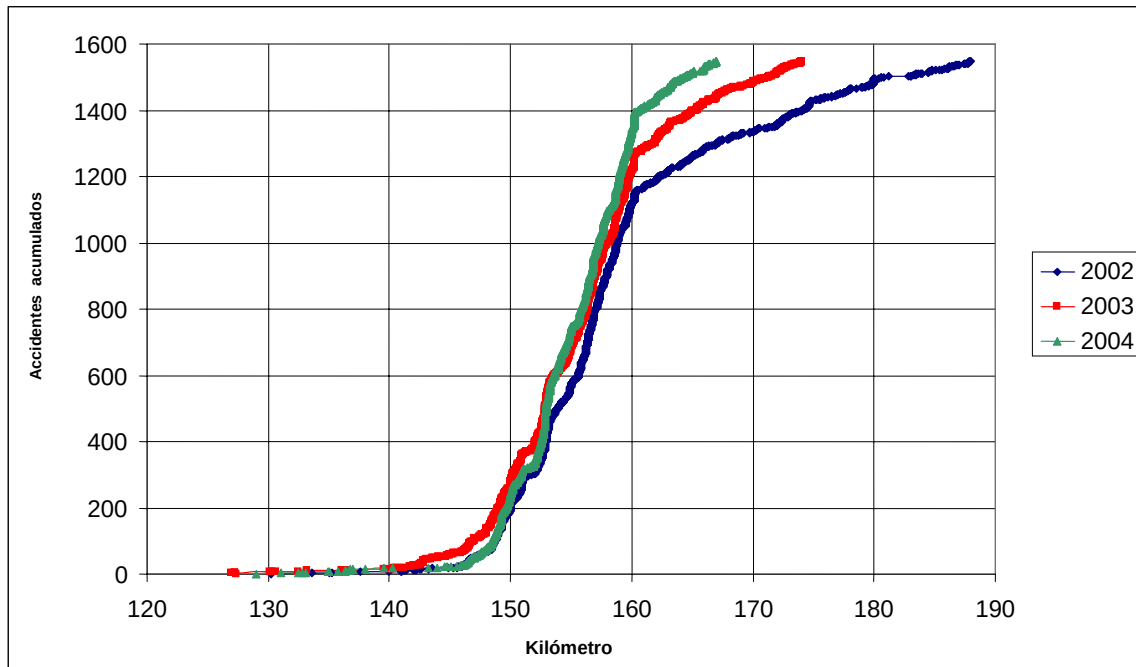


Figura 4.2 Accidentes acumulados en la PR-2 en el área oeste durante los años 2002, 2003 y 2004

La Figura 4.3 representa el número de fatalidades en el tramo de la PR-2 desde Aguadilla hasta Sabana Grande. Nótese que en el área de Mayagüez se presenta la mayor cantidad de fatalidades en el área oeste.

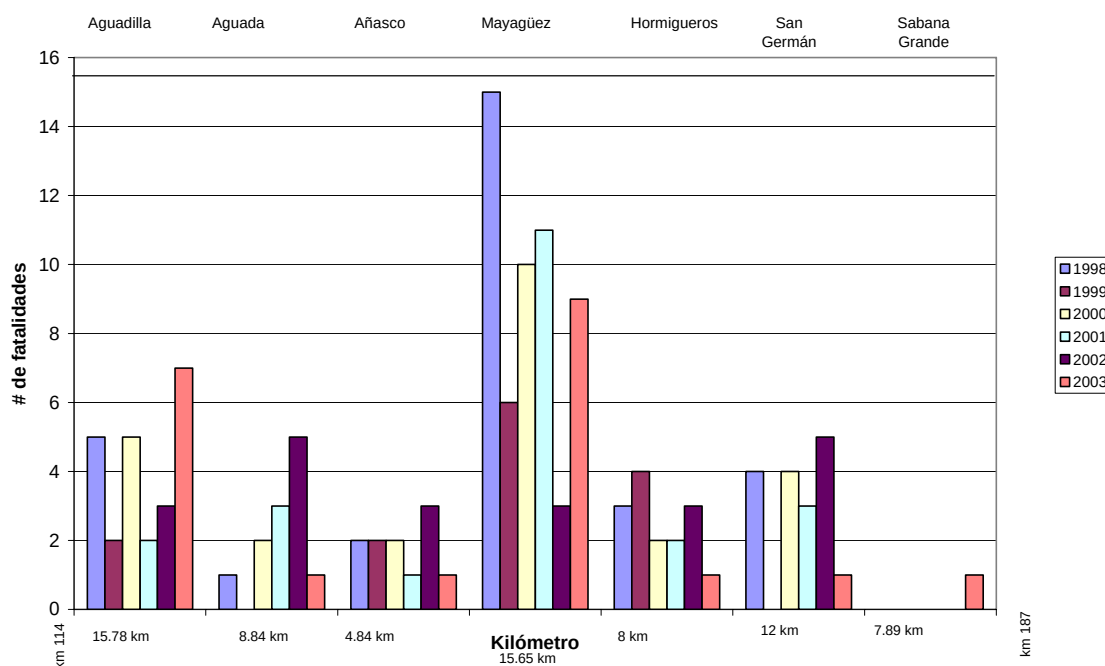


Figura 4.3 Distribución de fatalidades en la PR-2 en el área oeste desde 1998 a 2003

4.2 Descripción general de la carretera

A continuación se describen las principales características de la zona de estudio de la carretera estatal PR-2, iniciando en el Kilómetro 157 (municipio de Mayagüez) y terminando en el kilómetro 187 (municipio de Sabana Grande).

Tabla 4.1: Características generales de la carretera estatal PR-2

RENGLÓN	DESCRIPCIÓN
Tipo de carretera	Carretera de tres carriles dividida mas paseo en zona urbana (Km 157 a Km 159) y de 2 carriles en zona rural (Km 159 a Km 187)
Clasificación funcional	Carretera primaria, parte de la Red Estratégica Vial
Localización	Entre los municipios de Mayagüez y Sabana Grande
Longitud	30 km (Inicio: km 157;Fin : km 187)
AADT	de 55,000 a 70,000 vpd
Velocidad máxima rotulada	55 mph
Velocidad mínima rotulada	25 mph
Tipo de terreno	Ondulado a montañoso (pendiente máxima = 6.5%; pendiente mínima = 2%)
Ancho de carril	12 pies
Ancho de paseo	de 4 pies a 10 pies (promedio)
Precipitación promedio	80 pulg/año
Promedio de espaciamiento de accesos	1.2 km (antes de convertirse en expreso)
Superficie del pavimento	Mezcla asfáltico denso (Tipo S-1) en zona rural. Pavimento rígido en zona urbana. (Km 157 a Km 159)
Barrera en la mediana	Barreras rígidas tipo F y New Jersey con láminas reflectivas y postes de energía con luminarias con un espaciamiento de 50 m)

4.2.1 AADT

El AADT para esta vía cambia de acuerdo a la zona a evaluar, ya sea zona urbana o zona rural. Dichos valores se muestran en la Tabla 4.2. Los valores de AADT se deben actualizar al año en que se efectúa la Auditoria. Un proceso práctico consiste en analizar datos históricos de AADT y generar una regresión lineal o un polinomio para pronosticar AADT futuro. La Figura 4.4 muestra de manera gráfica el procedimiento descrito anteriormente.

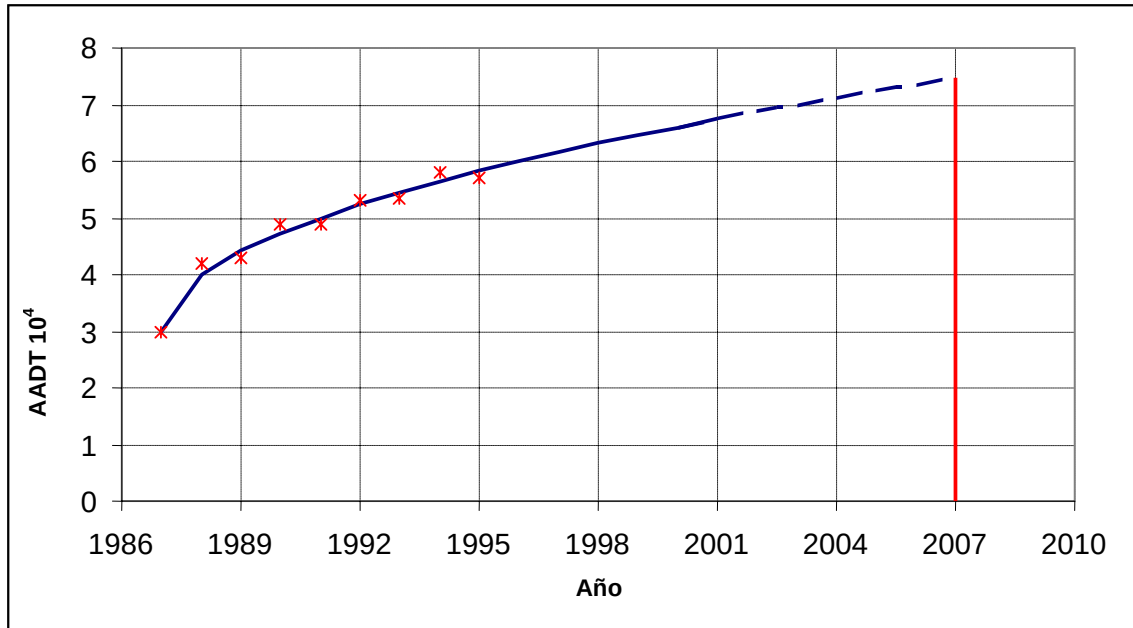


Figura 4.4 Regresión para pronosticar AADT futuro

Tabla 4.2 Afluencia vehicular diaria promedio de la PR-2 en los municipios de Mayagüez, Hormigueros y San Germán que comprenden del Km 157.6 al 176.4 en la zona de estudio en los años 1994-2004. Fuente [26]

Km.	Descripción	Municipio	Fecha	AADT
157.6	Frente Guardia Nacional	Mayagüez	1-Jan-94	67,800
157.6	Entre Calle Post Sur y Entrada Sultana	Mayagüez	1-Jan-97	68,400
157.6	Entre Calle Carolina y PR-2r Sur	Mayagüez	31-Mar-04	88,200
157.65	Entre Calle Carolina y Calle Post Sur/PR-2R	Mayagüez	1-Jan-99	75,100
158.4	Entre Calle Post Sur y Entrada Sultana	Mayagüez	11-Dec-00	70,000
158.8	Al sur Calle Los Vélez	Mayagüez	1-Jan-94	69,700
159	Entre Ent. Urb. Sultana y Mayaguez Mall	Mayagüez	1-Jan-99	65,800
159	Entre Calle San José y PR-102	Mayagüez	1-May-02	55,800
159.4	Entre Entrada Sultana y Mayaguez Mall	Mayagüez	1-Jan-96	67,320
160	Entre Entrada Mayaguez Mall y PR-343	Mayagüez	1-Jan-95	58,500
160	Entre Entrada. Mayagüez Mall y PR-343	Mayagüez	1-Jan-98	55,200
160.05	Entre Entrada Mayaguez Mall y PR-343	Hormigueros	1-Jan-99	66,300
160.4	Entre PR-343 y PR-100	Hormigueros	1-Jan-95	63,100
160.5	Entre PR-343 y PR-100	Hormigueros	1-Jan-98	64,100
161	Entre PR-100 y PR-319	Hormigueros	1-Jan-99	46,500
162	Al Sureste PR-100	Hormigueros	1-Jan-96	48,090
163.2	Entre PR-319 y PR-345	Hormigueros	17-Dec-01	41,000
165	Oeste PR-345	Hormigueros	7-Feb-01	35,700
165.5	Oeste PR-345	Hormigueros	1-Jan-98	41,100
166	Al Sureste PR-100	Hormigueros	1-Jan-95	37,900
166.7	Sur De Hormigueros	Hormigueros	24-Mar-00	36,200
166.9	Entre PR-345 y PR-330	Hormigueros	10-Jun-03	35,922
167.5	Al Noroeste PR-330	Hormigueros	1-Jan-96	33,910
170	Entre PR-358 y PR-347	San Germán	1-Jan-99	37,700
170	Sureste PR-347	San Germán	23-Oct-02	29,600
172	Al Oeste PR-119	San Germán	1-Jan-95	32,200
173	Entre PR-119 y PR-122	San Germán	1-Jan-99	37,300
173.5	Entre PR-119 y PR-122	San Germán	1-Jan-96	35,410
175	Entre PR-122 y PR-362	San Germán	1-Jan-95	29,300
176	Entre PR-122 y PR-102	San Germán	27-May-04	41,500
176.4	Entre PR-362 y PR-3362	San Germán	1-Jan-98	32,800

Tabla 4.3 Afluencia vehicular diaria promedio de la PR-2 en el municipio de Sabana Grande que comprende del Km 179.1 al Km 186.4 en la zona de estudio en los años 1994-2004 (continuación)

Km.	Descripción	Municipio	Fecha	AADT
179.1	Al Oeste PR-102	Sabana Grande	1-Jan-96	30,330
179.55	Oeste PR-102	Sabana Grande	1-Jan-96	33,420
180.3	Al Oeste PR-102	Sabana Grande	1-Jan-97	24,900
180.55	Al Oeste Río Flores	Sabana Grande	1-Jan-98	26,600
181.7	Al este PR-102	Sabana Grande	1-Jan-94	21,900
182	Entre Qda. L. Muertos y Calle Hacienda	Sabana Grande	10-May-00	25,600
182.3	Sur PR-328	Sabana Grande	27-Feb-01	26,600
182.85	Al Oeste Acceso PR-121	Sabana Grande	1-Jan-99	25,800
183	Al Este PR-102	Sabana Grande	27-Aug-03	27,584
183.2	Al Oeste PR-117	Sabana Grande	1-Jan-95	21,300
183.2	Al Oeste PR-117	Sabana Grande	1-Jan-97	23,700
184.75	Al Oeste y PR-117	Sabana Grande	7-Dec-00	29,000
185.5	Sur Sabana Grande	Sabana Grande	1-Jan-94	18,400
186.4	Entre PR-117 y PR-116	Sabana Grande	1-Jan-97	23,500

El AADT máximo de 88,200 vehículos se encuentra en la zona urbana de Mayagüez, en la intersección entre la Calle Carolina y la PR-2 ramal Sur (km 157.6); la fecha del aforo fue el 31 de marzo de 2004. El AADT mínimo de 18,400 vehículos se encuentra en la zona rural de Sabana Grande en el Km 185.5 y la fecha del aforo fue el 1 de enero de 1994. El AADT promedio para este tramo es de 42,802 vehículos.

4.2.1 Datos de accidentes

La intersección de la PR-2 con la PR-343 es la localidad donde se presenta la mayor frecuencia de accidentes en la carretera PR-2 en el área oeste. Se debe analizar que en esta intersección sirve de acceso al centro comercial Mayagüez Mall y la geometría de la carretera cambia de una carretera urbana de tres carriles mas paseo en dirección a Mayagüez, a una carretera rural de dos carriles más paseo en dirección a Hormigueros.

También se deben tener en cuenta los flujos de vehículos que entran y salen del estacionamiento del Centro Comercial de Mayagüez los cuales en las horas pico congestionan dicha intersección.

4.2.2 Geometría de la carretera

El tramo a evaluar se encuentra en el área oeste de la isla; la carretera presenta largos segmentos en línea recta con radios de curvatura de más de 100 m, curvas horizontales a la altura de Hormigueros, San Germán y Sabana Grande. La carretera tiene 12 pies por carril. Secciones transversales en Corte, en el Km 182.

Se debe tener en cuenta en la geometría de la carretera la alineación horizontal y vertical, buscando que no coincidan las curvas horizontales con curvas verticales, impidiendo así la visibilidad en la carretera.

Las curvas horizontales a la izquierda que hayan en el segmento elegido, son un aspecto importante a considerar. El usuario que va por una carretera y encuentra una de estas curvas, tiene a invadir el carril adyacente, con lo cual puede ocasionar un choque si paralelamente a él existen más vehículos.

La velocidad de diseño de la carretera es otro de los aspectos a evaluar en la geometría de la carretera la cual cambia de 45 mph en la zona urbana a 55 mph en zona rural y a 35 mph en zonas de construcción.

Las distancias de visibilidad son un aspecto muy importante a evaluar en la geometría de la carretera, ya que la misma, se debe diseñar de tal manera que el usuario de la carretera pueda disponer de una distancia lo suficientemente clara y visible para que no choque contra algún obstáculo inesperado y poder rebasar sin peligro alguno a los vehículos que circulen más lentos.

4.2.3 Aspectos topográficos de la carretera

La carretera presenta las siguientes características topográficas:

4.2.3.1 Zona rural

El terreno se encuentra entre plano y ondulado, con un rango de pendientes longitudinal desde 2 % hasta 6.5%. Las zonas de mayor pendiente se encuentran entre los municipios de San Germán (Km 176) y Sabana Grande (Km 182).

4.2.3.2 Zona Urbana

El tipo de terreno en la zona urbana se clasifica como plano, con pendientes de 2 %. Cabe resaltar que en la zona urbana queda localizada la intersección de la PR-2 con la PR-343. La topografía de la intersección confluye con la topografía, debido a que la PR-343 tiene una pendiente de 4%.

4.2.3.3 Zonas de construcción temporales

Las zonas de construcción (Km 162, Hormigueros, Km 173, San Germán) se encuentran en la zona rural de la carretera. Las pendientes longitudinales en estas zonas no sobrepasan el 1%.

A continuación se describirán los diferentes tramos en que se puede clasificar el tramo a seleccionado. Las imágenes aéreas fueron obtenidas utilizando el programa de información geográfica Google Earth.

Tramo # 1. Intersección entre la PR-2 y la PR-114.

Esta es una vía de 3 carriles por dirección, mas un carril para el sólo y un paseo. El ancho por carril es de 12 pies y se encuentra en la zona urbana de Mayagüez. En esta intersección se encuentran comercios y oficinas del gobierno la Figura 4.5.muestra la imagen aérea de la intersección.



Figura 4.5 Intersección de la PR-2 con la PR-114 Km 157 en Mayagüez

En la Figura 4.6 se puede apreciar parte la sección transversal típica en la zona urbana de Mayagüez. La vía se encuentra compuesta de tres carriles más un paseo y está separada en la mediana por una zona de protección ambiental.



Figura 4.6 Perspectiva de la PR-2 con la PR- 114 dirección sur-norte (Km 157)

En la Figura 4.7 se aprecia la configuración de la vía al aproximarse a la intersección; la geometría de la vía cambia para crear dos nuevos carriles destinados al giro a la izquierda.



Figura 4.7 Perspectiva de la PR-2 con la PR- 114 dirección sur-norte (Km 157)

Aquí se puede observar en detalle, la conformación de los carriles para giros a la izquierda y el carril con su respectiva oreja para el giro a la derecha.



Figura 4.8 Perspectiva de la PR-2 con la PR- 114 sentido norte -sur (Km 157)

Intersección PR-2 con PR- 343

En esta intersección cambia la geometría de la vía, se convierte de una vía urbana de 3 carriles a una vía rural de 2 carriles. La Figura 4.9 muestra este cambio de geometría.



Figura 4.9 Vista aérea del la intersección PR-2 CON PR-343 (Km 160)

En la Figura 4.11 se puede apreciar el cambio de la sección transversal de la vía, en el cual se cambia de tres carriles por dirección a dos carriles.



Figura 4.10 Perspectiva de la Intersección PR-2 con PR-343 sentido norte-sur (Km 160)



Figura 4.11 Perspectiva de la Intersección PR-2 con PR-343 sentido norte-sur (Km 160)

En la Figura 4.12 se puede observar la sección transversal de la PR-343, en el sentido este-oeste.. Se observa que está demarcado el giro a la izquierda para los vehículos que se desplazan desde el sur hacia el norte.



Figura 4.12 Perspectiva de la Intersección PR-2 con PR-343 sentido Oriente- occidente (Km160)

Intersección entre la PR-2 y PR-100

Las dos vías en este tramo son rurales. La PR-2 se convierte en una vía rural de 2 carriles por dirección y conserva su geometría hasta el municipio de Sabana Grande, la vía tiene 2 carriles de 12 pies de ancho y un paseo. A partir de este punto, en ciertos tramos, se utilizan barreras de tipo New Jersey en la mediana y en otro sectores de la carretera se utiliza la barrera longitudinal semi-rígida de tipo W. En esta intersección, se encuentra una intersección a desnivel, para evitar que se forme congestión debido a la alta congestión y a los diferentes movimientos vehiculares que se presentan. En la Figura 4.13 se aprecia la geometría de la PR-2 con la intersección a desnivel de la carretera PR-100. Cabe resaltar, que en la salida de la oreja de la intersección a desnivel, se ha construido un carril exclusivo para la salida de los vehículos



Figura 4.13 Vista aérea de la intersección de la PR-2 con la PR-100 (Km 161)

En la Figura 4.14 se observa la sección transversal de la intersección a desnivel de la PR-100 y como se ha mencionado anteriormente, es notoria la reducción de los carriles, solo hay 2 carriles más un paseo y la separación en la mediana carece de vegetación en este sector.



Figura 4.14 Perspectiva de la Intersección PR-2 con la PR-100 sentido norte-sur (Km 161)

En la Figura 4.15 se observa en sentido sur-norte, el carril construido para tomar la carretera PR-100, y la zona de demarcación para separar los carriles que se continúan en dirección a Mayagüez.



Figura 4.15 Perspectiva de la Intersección PR-2 con PR-100 sentido sur-norte (Km 161)

En el km 165 al llegar a Hormigueros, se encuentra una zona de construcción en la cual se están construyendo varias intersecciones a desnivel, para convertir la PR-2 en expreso.

En la Figura 4.16 se observa la instalación en la mediana de barreras rígidas portátiles de tipo F de 10 pies de longitud para proteger a los conductores de la zona de construcción en la mediana. Nótese que la barrera fue instalada sobre el encitado, perdiendo su funcionalidad.



Figura 4.16 Barreras de Hormigón del tipo F en la mediana de la vía PR-2 (Km 162.5)

En la Figura 4.17 se observa la barrera que separa el carril de la zona de construcción, en la zona de Hormigueros



Figura 4.17 Construcción de un puente elevado en la intersección de la PR-2 con la PR-309 (Km 163)

En la Figura 4.18 se puede apreciar los dos carriles de circulación, en la cual, por ser zona de construcción, se utilizan barreras tipo New Jersey en la mediana y al borde de la vía.



Figura 4.18 Perspectiva de zona de construcción de la PR-2 sentido norte-sur (Km 164)

En la zona rural, la intersección que presenta mas accidentes es la PR-2 con la PR-347. En dicha intersección, se está construyendo una intersección a desnivel y las características geométricas de la vía cambian considerablemente, debido a que se tiene cerrado el giro permitido a la derecha y se utiliza el carril de la derecha para tal fin. Cabe anotar que por ser zona de construcción, y por la falta de espacio disponible, no se han diseñado los entalles con las especificaciones requeridas por la ACT como se explica en el capítulo 7.



Figura 4.19 Zona de construcción de la intersección PR-2 con la PR- 347 sentido norte-sur (Km 165.3)



Figura 4.20 Perspectiva en zona de construcción de la PR-2 sentido sur-norte (Km 164)

En la Figura 4.21 es clara la configuración de la zona de construcción; en el costado izquierdo de la carretera una línea sólida amarilla de 6 pulgadas de ancho, al costado derecho se observa línea blanca de 6 pulgadas de ancho

seguido por barreras hormigón portátiles del tipo F de 10 pies de longitud, y el correspondiente rotulado de la intersección



Figura 4.21 Perspectiva de la Intersección PR-2 con la PR-347. (Km 165.3) Nótese la falta del solo a la derecha

Al llegar al municipio de San Germán (Km 169), la geometría de la vía cambia, debido a la construcción de un viaducto y para evitar que se presente congestión vehicular, se adecuó la vía con una especie de glorieta. Se puede observar que el tramo se encuentra señalizado como zona de construcción.



Figura 4.22 Perspectiva de la PR-2 en el Km 168 (municipio de San Germán)



Figura 4.23 Desvío de la zona de construcción en la PR-2 en el Km 170.5

Luego de haber pasado esta zona de construcción la vía conserva la geometría de carretera rural de dos carriles por sentido mas un paseo exterior. En las diferentes intersecciones, se encuentran pasos a desnivel y puentes peatonales.

En la Figura 4.24 se puede apreciar una vista en planta de la PR-2, donde la geometría de la vía permanece constante. En la mediana de la carretera se puede observar que se encuentra instalada una barrera semi-rígida. Las características geométricas se conservan hasta Sabana Grande.



Figura 4.24 Vista aérea de la PR-2 a la altura de San Germán

Una muestra característica de la zona rural, es la construcción de puentes peatonales sobre la carretera.

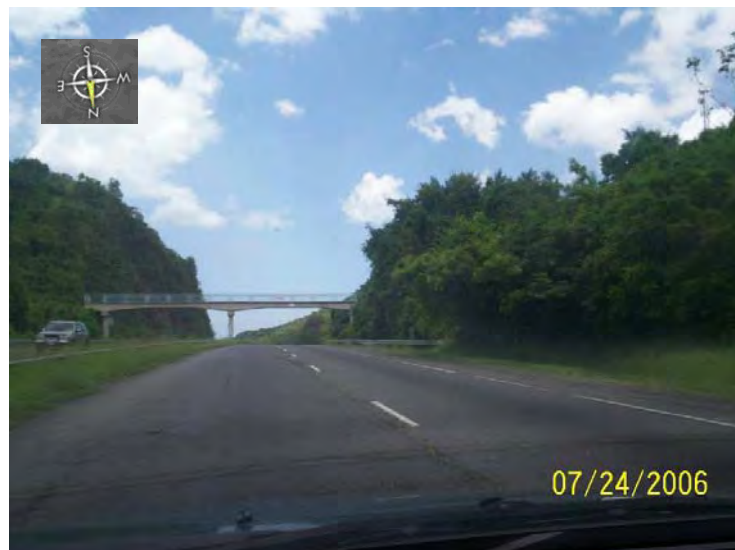


Figura 4.25 perspectiva de la PR-2 en zona rural de Sabana Grande (Km 183)

En los sectores donde no se dispone del espacio para ser usado como zonas libres de obstáculos en la orilla de la carretera, se han instalado barreras semi-rígidas, como la que se observa en la Figura 4.25. Este tipo de barreras también

ha sido instalado en la mediana de la carretera como un dispositivo de seguridad.



Figura 4.26 Orilla de la PR-2 en zona rural de sabana Grande sentido norte-sur (Km 184)

En la Figura 4.27 se observa la barrera semi-rígida instalada en la mediana de la carretera. En la orilla no hay instalado ningún dispositivo atenuador de impactos.



Figura 4.27 Mediana de la PR-2 zona rural de Sabana Grande sentido norte-sur (Km 185)

Al final del segmento elegido, se observa la geometría de la carretera, 2 carriles más el paseo, con barreras semi-rígidas tanto en la orilla como en la mediana de la carretera.



Figura 4.28 Perspectiva de la PR-2 en zona rural de Sabana Grande, finalizando el tramo a evaluar. sentido norte-sur (Km 187)



Figura 4.29 Vista aérea de la PR-2 con la PR-117 en el municipio de Sabana Grande

CAPÍTULO 5: DESARROLLO Y ADAPTACIÓN DE LAS LISTAS DE COTEJO

5.1 Definición y Alcance delas Listas de Cotejo de RSAR

Una lista de cotejo contiene tópicos específicos en los cuales se puede corroborar una serie de preguntas de manera clara y concisa con las cuales se puede determinar el estado en que se encuentra el elemento a auditar (vallas, postes, pavimento, vegetación, señalización, geometría, etc)

Es importante en el proceso de una Auditoria utilizar listas de cotejo, debido a que esta, como herramienta de trabajo, permite al auditor identificar todos los problemas y/o situaciones posibles que se presenten en la carretera a auditar, al igual que la lista de cotejo trae un espacio en el cual el auditor puede hacer sugerencias para mejorar, de manera dinámica la lista misma.

Las listas de cotejo elaboradas para el presente proyecto son el resultado de la adaptación de las diferentes listas desarrolladas en estudios previos en países que han implantado las Auditorias.

Las listas de cotejo se adaptaron de las listas inicialmente elaboradas en Australia por Austroroads, agregando preguntas que evalúan las condiciones locales de la Isla como es la exuberante vegetación, lluvias, condiciones para la orilla de la carretera, via de rodaje y mediana de la carretera. Como elementos adicionales se determina una prioridad a atender y un puntaje con el cual se penaliza la severidad de los dispositivos en la carretera.

Los aportes que se hacen en esta investigación en torno a las listas de cotejo son los siguientes:

Información general de la carretera, que incluye los siguientes tópicos:

- Identificación de la carretera
- Kilómetro donde se realiza la Auditoria
- Fecha de la auditoria
- Las condiciones climáticas
- Si la Auditoria se realizó de día o de noche
- La persona que realiza la Auditoria
- ADT o AADT de la carretera
- Finalmente identificar si la carretera es rural o urbana

El segundo aporte de las listas de cotejo es se decidió como metodología separar cada uno de los aspectos que se evalúan en la carretera en tres áreas específicas: en la orilla de la carretera, en las vías de rodaje y en la mediana. Para cada una de estas áreas, se seleccionaron las preguntas que mejor describen, de una manera clara y concisa, las características del segmento a evaluar, su impacto en la carretera, la prioridad de atender la deficiencia en la carretera, los comentarios que tenga el experto auditor y un puntaje que evalúa o cuantifica las deficiencias de los aspectos a evaluar en la carretera.

Se hace en el siguiente orden la evaluación de la carretera:

1. Barreras de impacto y zonas libres de obstáculos aledañas a las vías de rodaje
2. Iluminación de la carretera
3. Señales y semaforización
4. Puentes y drenajes
5. Peatones y ciclistas
6. Carriles auxiliares
7. Misceláneos (paisajismo, zonas de trabajo temporal, focos de carros)

8. Estacionamientos

9. Provisiones para vehículos pesados y otros tipos especiales de vehículos

El tercer aporte que se hace a las listas de cotejo es la elaboración de unas curvas de severidad que van atadas a las listas de cotejo, para poder realizar la evaluación de los dispositivos como barreras, cunetas, vegetación y objetos fijos a la orilla de la carretera, las cuales se explicaron el capítulo seis como se realizó el proceso para la elaboración y calibración de las mismas.

El cuarto aporte es la asignación de un peso a cada uno de los tópicos a auditar, debido a que no todos tienen la misma importancia a la hora de evaluar la seguridad de una carretera. Unos serán más importantes que otros.

La Tabla 5.1 muestra a manera de ejemplo, el formato elaborado para realizar una Auditoria.

Adicionalmente, se explica de manera detallada los componentes de la lista de cotejo.

Las listas de cotejo se dividen en la evaluación de carreteras urbanas y la evaluación de carreteras rurales, y a su vez cada una se compone de tres (3) de áreas generales:

1. Evaluación a la orilla de la carretera.
2. Evaluación en los carriles.
3. Evaluación de la mediana de la carretera.

La estructura de la lista de cotejo con sus divisiones y áreas de evaluación se presentan a continuación:

Orilla de la carretera

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad Alta, Media, Baja	Bueno >7	Regular 4.1<R≤6.9	Malo < 4	Km	Peso	Comentarios
BARRERAS DE IMPACTO Y ZONAS LIBRES DE OBSTÁCULOS										
1. Zonas libres de obstáculos										
¿El ancho de la zona libre de obstáculos es el adecuado?										
¿La zona libre de obstáculos está libre de objetos fijos?										
¿Todos los postes, arboles, etc., están a una distancia segura para el tráfico?										
¿Es apropiado proteger cualquier objeto que esté dentro de la zona libre de obstáculos?										
2. Barreras de impacto										
¿Se instalan barreras de impacto donde debe ser necesario?										
¿Las barreras de impacto son instaladas en todos los lugares de acuerdo con las normas establecidas?										
¿Los sistemas de barrera son convenientes para el objetivo?										
¿Las barreras de impacto son instaladas correctamente?										
¿La longitud de la barrera es la adecuada en cada instalación?										
¿El terminal de la barrera semi rígida está fijado a la barrera de los puentes correctamente?										
¿Es suficiente el ancho entre la barrera y el borde de la carretera para contener a un vehículo que la impacta?										

A. BARRERAS DE IMPACTO Y ZONAS LIBRES DE OBSTÁCULOS

1. Zonas libres de obstáculos
2. Barreras de impacto
3. Tratamientos al final de la barrera
4. Vallas
5. Visibilidad de barreras y vallas

B. SEÑALES Y SEMAFORIZACIÓN

1. Iluminación
2. Descripciones generales de señales de tránsito
3. Legibilidad de señales

C. PUENTES Y ALCANTARILLAS

1. Características de diseño
2. Barreras de impactos
3. Misceláneos

D. CARRILES AUXILIARES

1. Transiciones
2. Paseos
3. Señalización y demarcado
4. Giros

E. PEATONES Y CICLISTAS

1. Temas Generales
2. Peatones
3. Ciclistas
4. Transporte público

F. MISCELANEOS

1. Paisajismo
2. Zonas de trabajo temporal
3. Focos de los carros
4. Actividades a la orilla de la carretera
5. Vehículos errantes
6. Otros aspectos de seguridad
7. Motoras
8. Animales
9. Escuelas y centros educativos

G. PARQUEADEROS

1. Condiciones Generales

H. PROVISIONES PARA VEHÍCULOS PESADOS

1. Aspectos de diseño

I. ALINEAMIENTO DE LA CARRETERA Y SECCIONES TRANSVERSALES

1. Visibilidad: distancia de visibilidad
2. Velocidad de diseño
3. Límite de velocidad / división por zonas
4. Rebasamiento
5. Legibilidad para los conductores
6. Anchos
7. Paseos
8. Calzada
9. Terraplenes
10. Drenajes

J. INTERSECCIONES

1. Localización
2. Visibilidad; distancias de visibilidad
3. Controles y delineación
4. Entorno
5. Misceláneos

K. SEÑALES Y SEMAFORIZACIÓN

1. Iluminación
2. Descripciones generales de señales de tránsito
3. Legibilidad de señales
4. Señales de soporte

L. DELINEACIÓN Y DEMARCADO

1. Temas Generales
2. Líneas de eje, líneas de borde y líneas de carril
3. Señales informativas y reflectivos
4. Delineación y precaución en curvas

M. PAVIMENTO

1. Defectos en el Pavimento
2. Resistencia al deslizamiento
3. Estancamiento
4. Material/ grava suelta

N. CARRILES AUXILIARES

1. Transiciones
2. Paseos
3. Señalización y demarcado
4. Giros

Las listas de cotejo proveen además una columna en la cual se establece la prioridad de ser atendido el problema evaluado, una calificación, que se obtendrá de las curvas de severidad, (las cuales se desarrollan más adelante) y una columna para los comentarios, los cuales son observaciones que hace el auditor a la carretera y que especifican de una manera más clara cada una de las preguntas de la lista de cotejo.

El auditor debe seguir la siguiente metodología para usar las lista de cotejo;

1. Se realizará la evaluación a la orilla de la carretera de elementos como barreras, paseo, señalización, vegetación y objetos, fijos entre otros.
2. Después se evalúan los carriles, en los cuales se observa la visibilidad, demarcado, y alineamiento entre otros.
3. Finalmente se evalúa la mediana de la carretera y los dispositivos instalados en la misma, como vallas, postes de iluminación, vegetación, y aquellos elementos que afecten a la seguridad del posible usuario de la carretera.

La Figura 5.1 muestra el proceso secuencial en que se debe realizar la Auditoria.

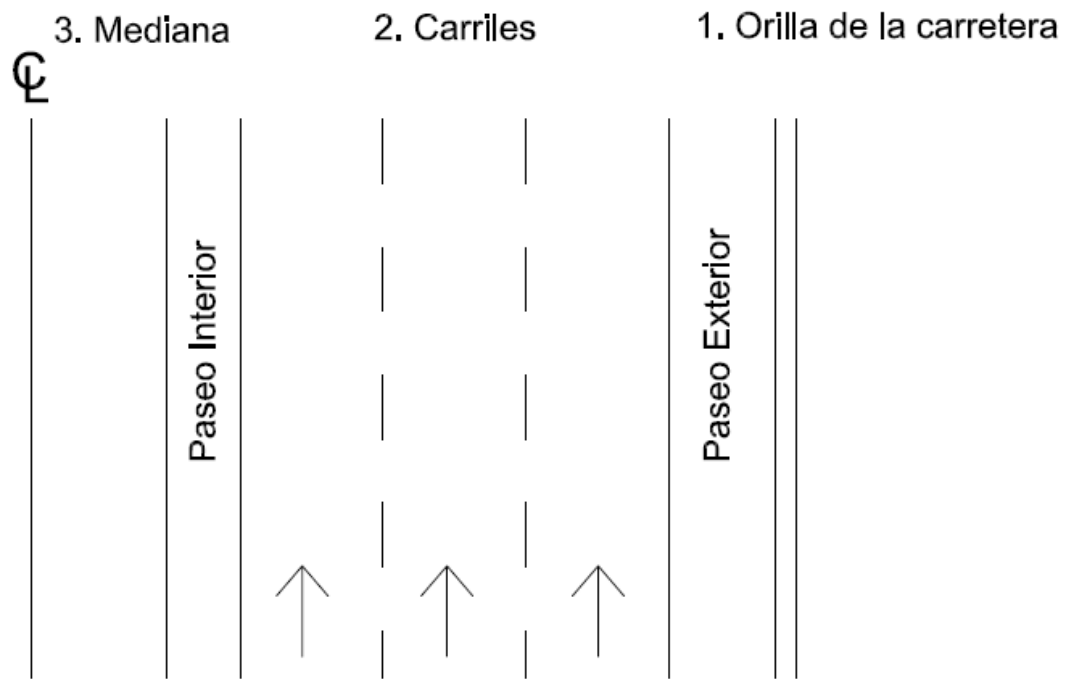


Figura 5.1 Proceso para realizar una Auditoría a partir de las listas de cotejo

CAPÍTULO 6: ELABORACIÓN Y DESARROLLO DE LAS CURVAS DE SEVERIDAD

En este capítulo se describe la aplicación del procedimiento de las técnicas de ingeniería y las Auditorias en Seguridad Vial, la metodología seguida para la selección del panel de expertos, el análisis de regresión lineal y demás análisis estadísticos y finalmente la elaboración de las curvas de severidad.

6.1 Selección de los miembros del equipo auditor

Para iniciar el proceso de la Auditoria se procedió a seleccionar los miembros que conforman el equipo auditor. Dichos miembros deben tener el conocimiento adecuado y deben ser entrenados en el área de transporte, entre otros. El equipo debe ser independiente al proyecto que va a ser analizado, para evitar que se presenten discrepancias o favoritismo de cualquiera de las auditorias.

La especialidad de los posibles miembros que conforman un equipo se enumeran a continuación:

- Ingeniero de transportación (seguridad vial)
- Ingeniero de diseño (diseño geométrico)
- Ingeniero con énfasis en gerencia de la construcción

Los miembros del equipo tienen la responsabilidad de hacer la Auditoria de una manera independiente. Este proceso debe ser dirigido por el ingeniero con énfasis en seguridad vial quien, junto al grupo de expertos, evalúan cada una de las situaciones que se presenten en el desarrollo de la Auditoria.

Adicionalmente se puede contar con la colaboración de personal con los siguientes perfiles:

- Ingeniero ambiental
- Abogado
- Psicólogo
- Sociólogo
- Uno o dos miembros adicionales con conocimientos relativos en la fase de auditoria

Los miembros adicionales se encargan de evaluar los aspectos legales, psicológicos y sociales de la información recopilada por el comité auditor de la carretera.

La Auditoria la realizan los ingenieros del equipo auditor, y los demás miembros hacen su aporte de acuerdo al reporte obtenido por el equipo mencionado anteriormente.

6.2 Recopilación de la información

Se debe identificar cual es el propósito o función de la vía existente y el estado del proyecto para evaluar de una manera clara y adecuada la Auditoria sobre la carretera, y de los tramos urbanos, rurales y zonas de construcción que existan sobre la misma.

Se requiere, de manera adicional recopilar toda la información del proyecto que aplique para la auditoria como se mencionan a continuación:

- Planos modelo
- Especificaciones y planos
- Fotografias aéreas

6.3 Análisis de los choques vehiculares

Para analizar los choques vehiculares se requiere contar con la siguiente información:

- Tráfico promedio diario (ADT por sus siglas en inglés)
- Tráfico promedio diario anual (AADT por sus siglas en inglés)
- Datos de accidentes

6.4 Inspecciones de campo

Se deben realizar las respectivas inspecciones de campo y los análisis correspondientes como la información y datos preliminares; también se debe hacer un repaso de los datos y la documentación. Repasar datos y documentación existente para registrar las impresiones iniciales.

El proceso de las inspecciones de campo es sencillo; consiste en medir la longitud total de barreras, vallas, longitud de vallas impactadas, densidad de vegetación a la orilla de la carretera, inventario de objetos fijos, postes, señalización vertical y marcado en el pavimento entre otros. Esta información debe ser apoyada por fotografías y videos y se debe hacer tanto de día como de noche para evaluar las condiciones de la carretera. De ser posible, se deben hacer inspecciones con diferentes condiciones climáticas.

En estas inspecciones de campo se realizó un inventario de los dispositivos encontrados en la carretera, como barreras rígidas, semi-rígidas, señales de tránsito, objetos fijos a la orilla de la carretera como lo son postes de alumbrado, demarcado del pavimento, postes de transmisión de energía y vegetación, entre otros. Cabe resaltar que la inspección de los datos obtenidos y el repaso de documentación tienen que ser repetidos cuantas veces como el equipo auditor crea que sea necesario.

6.5 Elaboración de las curvas de severidad

Para poder elaborar las curvas con las cuales se estableció la calificación para algunos elementos que se evaluaron en la Auditoria, se siguió una metodología que se explicará a continuación.

6.5.1 Desarrollo del catálogo de fotografías de elementos representativos de la red vial.

Se hizo una selección de fotografías categorizados en elementos en buen estado, regular y malos o con falla total; las fotografías de los elementos evaluados son:

- Barreras semi-rígidas
- Barreras rígidas
- Vegetación a la orilla de la carretera
- Cunetas
- Otros objetos fijos a la orilla de la carretera.

Para cada una de estas fotografías se elaboró un narrativo describiendo su condición y el entorno. En el apéndice A se muestra modulo de fotografias y el correspondiente libreto (narrativo) suministrado al panel de expertos para elaborar las curvas de severidad de un elemento típico evaluado para este estudio, que se presentó a un panel de 7 expertos.

La forma como se recopiló la información por parte del panel de expertos se expone a continuación:

Se seleccionó el panel de expertos que debían cumplir con los siguientes requisitos:

- Ingeniero Civil
- Haber tomado el curso de seguridad vial o estar cursándolo
- En caso de no haber visto dicho curso, haber tomado el curso de ingeniería de carreteras.
- En los casos que aplique, experiencia laboral en el áreas relacionadas a la transportación.
- Conocer las guías del RDG
- Conocer el MUTCD

El panel de expertos se reunió en un salón, donde se proyectó el módulo de fotografías con el correspondiente libreto para cada fotografía.

A cada uno de los expertos se les entregó un formato en el cual debía anotar la edad, el género y dar un puntaje a cada una de las fotografías que se fueron mostrando a lo largo de la prueba. Para fijar un parámetro de escala, se informó al panel que un valor de 1 es falla total y un valor de 10 un elemento con condiciones buenas o excelentes

Con la información suministrada, y a su criterio propio, los expertos evaluaron cada una de las fotografías y con los datos obtenidos, se elaboraron las curvas de severidad de los elementos a evaluar. En el apéndice B se muestra el módulo utilizado para esta fase de la investigación.

El panel de expertos estaba compuesto por 4 hombres y 3 mujeres, estudiantes graduados del área de ingeniería de transportación, los cuales, debido a su formación académica y en algunos casos, a su experiencia profesional fueron seleccionados para tal fin. Se decidió escoger a este panel, porque se debe tener un conocimiento básico de seguridad vial y de diseño de carreteras entre otros aspectos.

En la Tabla 6.1 se muestra la descripción general del panel de expertos.

Tabla 6.1. Por ciento del panel de expertos

Aspecto demográfico	Porcentaje (%)
Varones	57.1
Mujeres	42.9
Estudiantes de PR	85.7
Estudiantes extranjeros	14.3
Estudiantes graduados	85.7
Estudiantes subgraduados	14.3

En el cuestionario mencionado anteriormente, las fotografías con base en el nivel de severidad, fueron presentadas de manera aleatoria para evitar que se sesgaran los datos a evaluar. El cuestionario describe las características de la carretera como son la pendiente, el tipo de carretera, la descripción del elemento a evaluar y se define el rango de evaluación del dispositivo siendo uno (1) falla total y diez (10) un elemento con condiciones buenas o excelentes.

Los datos obtenidos de panel de expertos se registraron en un formato mostrado en la Tabla 6.2. En esta tabla se anota la edad, género y el experto simplemente escribe la calificación de la fotografía (Bueno, regular o malo) y el índice de calificación de cada una de estas (de 1 a 10).

Tabla 6.2. Formulario de recopilación de datos de la prueba de evaluación para obtener curvas de severidad

Edad

Género

Fotografía	Estado	
	Calificación (B, R, M)	Índice (1-10)

Leyenda:

(B) = Bueno

(R) = Regular

(M) = Malo

Para poder determinar cada uno de los rangos, se debe definir los niveles de severidad de cada uno de los elementos. A continuación se describe cada uno de los niveles de severidad.

6.5.2 Pruebas en barreras semi-rígidas

Niveles de severidad

La definición de los niveles de severidad para barreras del tipo W son las siguientes:

Severidad baja: La barrera no presenta impacto o si lo presenta es menor a 10 cm. La barrera sigue siendo funcional y se puede reparar en campo, sin necesidad de cambiarse el tramo impactado de barrera. La Figura 6.1 describe gráficamente este nivel de severidad.



Figura 6.1 Nivel de severidad bajo en barreras semi-rígidas

Severidad moderada: La barrera ha sido impactada y presenta deflexiones hasta de 49 cm con respecto al eje horizontal. En esta situación, la barrera debe

ser reparada, debido a que ha perdido sus características para redirigir los vehículos que las impacten. Se pueden reemplazar los elementos impactados. La Figura 6.2 muestra un ejemplo de este tipo de nivel de severidad.



Figura 6.2 Nivel de severidad de carácter moderado en barreras semi-rígidas

Severidad alta: La barrera presenta deflexiones mayores a las deflexiones máximas permitidas de 49 cm según lo establecido en el RDG. En este caso la barrera no es funcional y se requiere del reemplazo de la barrera, de los postes y los bloques que la conforman.



Figura 6.3 Nivel de severidad de carácter alto en barreras semi-rígidas

6.5.3 Pruebas en barreras rígidas

Las barreras rígidas más utilizadas son las del tipo New Jersey y las denominadas *F-shape*. Estas barreras presentan deflexiones muy bajas que se pueden despreciar.

La desviación esperada máxima dinámica de la barrera no debería exceder la distancia de desviación disponible. Las barreras rígidas cumplen con TL-4 y TL-5 según el reporte NCHRP 350[11].

Las barreras en hormigón continuas permanentes ofrecen ventajas debido a su rigidez y durabilidad, pero presentan desventajas asociadas con su rigidez. Las fuerzas relacionadas con barreras de concreto incluyen el bajo mantenimiento, la capacidad de redirigir vehículos, la capacidad de resistir golpes menores sin la necesidad de realizar reparaciones, la esperanza de la vida larga, la capacidad de contener vehículos, llevar a cero la desviación dinámica, la fuerza, el funcionamiento de perfeccionamiento, y facilidad de construcción en campo. Este tipo de barreras se pueden instalar en zonas con pendiente y se pueden acomodar sobre las capas del pavimento.

Niveles de severidad

La definición de los niveles de severidad para barreras del tipo W son las siguientes:

Severidad baja: la barrera no presenta daños o los daños son mínimos, la barrera sigue siendo funcional. Se puede observar este nivel de severidad en la Figura 6.4



Figura 6.4 Nivel de severidad bajo en barreras rígidas

Severidad moderada: La barrera se encuentra impactada y presenta daños, pero sigue siendo funcional. Los daños se pueden reparar en campo. Como se observa en la Figura 6.5, las secciones de barrera se encuentran separadas y esto ocasiona discontinuidad y puede presentar problemas al redirigir un vehículo que impacte a la misma.



Figura 6.5 Nivel de severidad moderado en barreras rígidas

Severidad alta: La barrera no es funcional, se requiere del cambio de las secciones dañadas. En la Figura 6.6 se observa una barrera con este tipo de severidad.



Figura 6.6 Nivel de severidad alto en barreras rígidas

6.5.4 Vegetación

Puerto Rico está localizado en una zona tropical. Debido a las condiciones climatológicas de la isla, la vegetación crece en abundancia. Al presentarse esta situación a la orilla y mediana de la carretera, se observan problemas de visibilidad, tanto de los obstáculos, los objetos fijos o las barreras localizadas en la orilla de la carretera o problemas relacionados a la distancia de visibilidad, creándose puntos ciegos para el usuario que se desplaza por el corredor. Como es un problema difícil de controlar, se deben aplicar herbicidas, y/o grava a la orilla de la carretera para evitar que dicha vegetación crezca de manera descontrolada.

Niveles de severidad

Severidad baja: La vegetación crece a una altura 0.5 pies o menos a la orilla de la carretera. Hay visibilidad total de las barreras semi-rígidas y/o de la orilla de la carretera, tanto de día como de noche, se puede realizar mantenimiento preventivo sin incurrir en gastos adicionales y por estética y paisajismo es agradable a los ojos de los conductores. En la Figura 6.7 se puede observar la vegetación aproximadamente de 10 pies a la orilla de la carretera.



Figura 6.7 Nivel de severidad bajo en vegetación

Severidad moderada: La vegetación crece a una altura de 1.5 a 2 pies. Parte de la vegetación cubre de manera parcial las barreras semi-rígidas como se observa en la Figura 6.8, pero se puede realizar mantenimiento correctivo, recortando la vegetación con podadoras y aplicando herbicidas.



Figura 6.8 Nivel de severidad moderado en vegetación

Severidad alta: La vegetación cubre en su totalidad las barreras e impide la visibilidad de la orilla de la carretera. Para solucionar este tipo de defecto correctivo, se requieren de brigadas que corten de raíz la vegetación existente en la orilla de la carretera, y de ser posible, aplicar herbicidas y grava, que eviten el nacimiento y/o crecimiento de hierbas que afecten la funcionalidad de los dispositivos instalados. En la Figura 6.9 se puede observar como la vegetación ha crecido de tal forma que cubre la barrera semi-rígida.



Figura 6.9 Nivel de severidad alto en barreras semi-rígidas

6.5.5 Cunetas

El área oeste de Puerto Rico es una de las zonas con húmedad de Puerto Rico, con un rango de precipitación promedio entre 60 y 80 pulgadas al año, lo cual hace necesario construir los drenajes adecuados para evacuar la esorrentía del agua de lluvia.

Niveles de severidad

Severidad baja: Las cunetas se encuentran en buen estado, se les ha realizado mantenimiento periódico y permite la libre circulación del cauce generado por la

escorrentía. La Figura 6.10 muestra las condiciones de una cuneta en buen estado.



Figura 6.10 Nivel de severidad bajo en cunetas

Severidad moderada: En este tipo de severidad se encuentra lodo y/o objetos como hojas y ramas que producen resaltos hidráulicos a lo largo el cauce, al igual que el crecimiento esporádico de vegetación, ocasionando desbordamientos esporádicos en épocas de lluvias. Como se puede observar en la Figura 6.11, las condiciones de la cuneta no permiten que funcione en óptimas condiciones si no de manera regular, ocasionando eventualmente lo descrito anteriormente.



Figura 6.11 Nivel de severidad moderado para cunetas

Severidad alta: La cuneta está cubierta de vegetación, basura o algún objeto que impide la libre circulación del flujo de agua; al presentarse este defecto en la cuneta, se corre el riesgo que se desborde y se puedan presentar posibles inundaciones en la carretera. Figura 6.12 muestra este tipo de problemas.



Figura 6.12 Nivel de severidad alto para cunetas

6.5.6 Objetos fijos a la orilla de la carretera

Sobre la orilla de la carretera se encuentran instalados gran diversidad de objetos fijos como postes, señales, buzones, etc., los cuales pueden ocasionar accidentes si no son escudados o relocalizados adecuadamente. A continuación se describen los niveles de severidad para objetos fijos.

Niveles de severidad

Severidad baja: Los objetos fijos se encuentran escudados por barreras semi-rígidas, o están localizados a más de 2 pies del encintado del paseo o fuera de

la zona libre de obstáculos, donde existan las mismas. En la Figura 6.13 se observa el caso mencionado anteriormente.



Figura 6.13 Nivel de severidad bajo para objetos fijos

Severidad moderada: Los objetos fijos se encuentran en el límite de la zona libre de obstáculos o cerca de la orilla de la carretera; aunque se encuentren escudados por barreras semi-rígidas, se cumple con la deflexión dinámica para barreras, pero se localizan en el límite de la misma. En el caso de árboles, arbustos u otros puede que existan ramas o troncos que invadan las zonas de deflexión dinámica máxima y afecten la funcionalidad de las barreras, como se observa en la Figura 6.14.



Figura 6.14 Nivel de severidad moderado para objetos fijos

Severidad alta: No se cumplen con las especificaciones estipuladas. Los objetos fijos son localizados a menos de 2 pies de la orilla de la carretera, en algunos casos sin ser escudados, y en otros, son escudados pero al instalar la barrera, se hace de manera inadecuada. En la Figura 6.15 se muestra un caso de la instalación inadecuada de un objeto fijo en el terminal porque afecta la función del terminal.



Figura 6.15 Nivel de severidad alto para objetos fijos

6.6 Elaboración de curvas y ajustes de las curvas por regresión.

Para elaborar las curvas de severidad se contó con un panel de expertos, el cual se menciona en la sección 6.3.1. A continuación se describe la metodología utilizada para la elaboración de las curvas de severidad.

6.6.1 Procesamiento de la información

Una vez obtenida la información, se procedió a hacer un procesamiento de la misma como se describe en este numeral.

Para evaluar el puntaje de cada una de las fotografías se obtuvo un promedio aritmético y con el valor obtenido, se procedió a elaborar cada una de las curvas de severidad.

A continuación se explicará el procedimiento para la obtención de las curvas de severidad para los diferentes dispositivos expuestos anteriormente.

6.6.2 Regresión lineal simple

La regresión y los análisis de correlación muestran como determinar la naturaleza y la fuerza de una relación entre dos variables. En el análisis de regresión desarrollaremos una ecuación de estimación, esto es, una formula matemática que relaciona las variables independientes con la variable dependiente. Entonces se puede aplicar el análisis de correlación para determinar el grado de en el que están relacionadas las variables. El análisis de correlación, que indica la linealidad con que están relacionadas las variables.

Estimación mediante la línea de regresión

Las líneas de regresión se usan para ajustar las líneas visualmente entre los puntos de datos, pero para graficar estas líneas de una forma más precisa se utiliza una ecuación que relaciona las dos variables matemáticamente.

La ecuación para una línea recta donde la variable dependiente Y esta determinada por la varianza dependiente X es:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i \quad (1)$$

Donde:

Y_i = Variable dependiente

β_0 = Intersección con el eje Y_i

β_1 = Pendiente de la línea

X_i = Variable independiente para la observación i

ε_i = Término de disturbancia o variable aleatoria

Usando esta ecuación se toma un valor dado en X_i y se puede calcular el valor de Y_i ; el término β_0 se denomina intersección en Y_i por que su valor es el punto en el cual la línea de regresión cruza el eje Y_i por que su valor es el punto en el cual la línea de regresión cruza el eje Y_i , es decir el eje vertical. El término β_1 es la pendiente de la línea, representa que tanto cada cambio de unidad de la variable independiente X_i cambia la variable dependiente Y_i . Tanto β_0 como β_1 son constantes numéricas, puesto que para cada recta dada, sus valores no cambian. El valor ε_i de la ecuación del modelo es una variable aleatoria, que se supone está normalmente distribuida con $E[\varepsilon_i] = 0$ y $\text{Var} [\varepsilon_i] = \sigma^2$.

Una forma en que se puede medir el error de una línea de estimación es sumando todas las diferencias, o errores, individuales entre los puntos observados y los puntos estimados. La suma de las diferencias individuales para calcular el error no es una forma confiable de juzgar la bondad de ajuste de una línea de estimación.

El problema al añadir los errores individuales es el efecto de cancelación de los valores positivos y negativos, por eso se usan valores absolutos en esta diferencia a modo de cancelar la anulación de los signos positivos y negativos, pero como se busca es hallar el menor error se debe buscar un método que muestre la magnitud del error, que la suma de los valores absolutos no pone énfasis en la magnitud del error. Mientras más lejos este un punto de la línea de estimación, mayor es el error, se prefiere entonces tener varios errores pequeños que uno grande.

Como se está buscando la línea de estimación que minimiza la suma de los cuadrados de los errores se le conoce a esta técnica como el método de mínimos cuadrados.

Si se usa el método de mínimos cuadrados, se puede determinar si una línea de estimación tiene un mejor ajuste que otro. Pero para un conjunto de puntos de datos a través de los cuales se puedan trazar un número infinito de líneas de estimación, ¿cómo se puede saber cuando se ha encontrado la mejor línea de ajuste?

Los estadísticos han derivado dos ecuaciones que se utilizan para encontrar la pendiente y la intersección Y de la línea de regresión del mejor ajuste. La ecuación (2) se utiliza para calcular la pendiente” [26].

$$b = \frac{\sum XY - n \bar{X} \bar{Y}}{\sum X^2 - n \bar{X}^2} \quad (2)$$

Donde:

b = pendiente de la línea de estimación de mejor ajuste

X = valores de la variable independiente

Y = valores de la variable dependiente

$\bar{X}$ = media de los valores de la variable independiente

$\bar{Y}$ = media de los valores de la variable dependiente

n = numero de puntos de datos

La ecuación (3) se utiliza para calcular la intersección en Y:

$$a = \bar{Y} - b \bar{X} \quad (3)$$

Donde:

a = intersección en Y

b = pendiente de la ecuación anterior

$\bar{Y}$ = media de los valores de la variable dependiente

$\bar{x}$ = media de los valores de la variable independiente

La verificación de la ecuación de estimación se efectúa aplicando la ecuación (4).

$$\varepsilon = Y - \bar{Y} = Y - X\beta \quad (4)$$

Error estándar de la estimación.

El error estándar permite deducir la confiabilidad de la ecuación de regresión. Este error se simboliza S_e y es similar a la desviación estándar en cuanto a que ambas son medidas de dispersión. El error estándar de la estimación mide la variabilidad, o la dispersión de los valores observados alrededor de la línea de regresión y su fórmula es la siguiente:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{n - 2}} \quad (5)$$

Donde:

$\bar{Y}$ = media de los valores de la variable dependiente

Y = valores de la variable dependiente

n = numero de puntos de datos

Interpretación del error estándar de la estimación

Como se aplicaba en la desviación estándar, mientras más grande sea el error estándar de estimación, mayor será la dispersión de los puntos alrededor de la línea de regresión. De manera que inversa, si $S_e = 0$, se espera que la ecuación de estimación sea un estimador perfecto de la variable dependiente. En este

caso todos los puntos deben estar en la línea de regresión y no habría puntos dispersos.

Intervalos de confianza utilizando desviación estándar.

En estadística, la probabilidad que se asocia con una estimación de intervalo se conoce como el nivel de confianza. Esta probabilidad indica que tanta confianza hay en que la estimación del intervalo incluya al parámetro de la población. Una probabilidad más alta significa mayor confianza.

El intervalo de confianza es el alcance de la estimación que se hace pero a menudo se hace el intervalo de confianza en términos de errores estándar, para esto se debe calcular el error estándar de la media según descrita en la ecuación (6):

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

Donde:

$\sigma_{\bar{X}}$ = el error estándar de la media para una población infinita,

σ = la desviación estándar de la población.

Análisis de correlación.

El análisis de correlación es la herramienta estadística que se utiliza para describir el grado hasta el cual una variable está linealmente relacionada con la otra. Con frecuencia el análisis de correlación se utiliza junto con el análisis de regresión para medir que tan bien la línea de regresión explica los cambios de la variable dependiente Y. Sin embargo, la correlación también se puede usar sola para medir el grado de asociación entre dos variables.

Los estadísticos han desarrollado dos medidas para describir la correlación entre dos variables: el coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación.

Coeficiente de determinación.

El coeficiente de determinación R^2 es la principal forma en que se puede medir la extensión, o fuerza de asociación que existe entre dos variables, X y Y. Puesto que se han desarrollado una muestra de puntos para desarrollar las líneas de regresión, se le llama a esta medida como el coeficiente de determinación de la muestra.

El coeficiente de determinación de la muestra se desarrolla de la relación entre dos tipos de variación: la variación de los valores Y en conjunto de los datos alrededor de

- (1) la línea de regresión ajustada y
- (2) su propia media.

El término variación en estos dos casos se refiere a “la suma de un grupo de desviaciones cuadradas”, entonces es razonable expresar la variación de los valores Y alrededor de la línea de regresión con la ecuación (7):

$$\sum (Y - \hat{Y})^2 \quad (7)$$

La segunda variación, la de los valores de Y con respecto a su propia media, esta determinada por la variación de los valores de Y alrededor de su propia media según descrita en la ecuación (8)

$$\sum (Y - \bar{Y})^2 \quad (8)$$

Uno (1) menos la razón entre estas dos variaciones es el coeficiente de determinación de la muestra que se simboliza R^2 .

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} \quad (9)$$

La ecuación (9) es una medida del grado de asociación lineal entre X y Y

Una correlación perfecta es aquella en que todos los valores de Y están en la línea de estimación, por lo tanto el coeficiente de determinación es 1. Cuando el valor del coeficiente de determinación es 0 quiere decir que no hay correlación entre las dos variables [26]

En los problemas con toma de decisiones, R^2 estará en alguna parte entre estos dos extremos de 1 y 0, no obstante que un R^2 cercano a 1 indica una fuerte correlación entre X y Y, mientras que un R^2 cercano a 0 significa que existe poca correlación entre estas dos variables. Dependiendo del tamaño de la muestra y de que tan alejados o cercanos estén los valores al promedio obtenido, se verán reflejados los valores de R^2 . A menor dispersión su valor será cercano a 1 y a mayor dispersión, su valor se acercará a 0.

Intervalo de confianza.

La estimación y las pruebas de hipótesis constituyen las dos ramas principales de la estadística clásica. El enfoque de intervalos de confianza esta basado en el concepto de estimación de intervalos, el cual es un rango de tal manera que tenga una probabilidad de contener dentro de sus limites el verdadero valor del parámetro desconocido. El intervalo de confianza normalmente se define en forma factible acerca del valor del parámetro desconocido. Si el valor que hace referencia la hipótesis nula se encuentra en el intervalo de confianza, la

hipótesis no se rechaza, mientras que si se encuentra por fuera de este intervalo, la hipótesis puede ser rechazada [26].

Distribución F.

Es una distribución que analiza de forma grupal, para las variables independientes, si cumplen con la hipótesis del investigador; es decir, la distribución F realiza una inferencia estadística de manera grupal.

La distribución F es una distribución de probabilidad mediante la cual se comprueba que el estimador obtenido en la regresión (β) es diferente de cero, para que tenga un comportamiento lineal, ya que la regresión parte del principio del modelo de regresión lineal simple, donde β es la pendiente que indica el cambio generado en la variable dependiente, ante un cambio marginal de la variable independiente.

Si el valor de F calculado es mayor al valor tabular, (mayor de 4), quiere decir que el p-value está por debajo del 5%, de forma tal que se rechaza la hipótesis nula, es decir que β es diferente de cero [26].

P-value

Es la probabilidad resultante de la regresión con la cual compara el valor o la probabilidad de la distribución F, teniendo en cuenta que el estimador debe estar en un nivel de significancia del 5 %.

El p-value es la probabilidad que corresponde al estimador obtenido por la regresión, el cual se debe encontrar dentro de un nivel de significancia del 5%; si la probabilidad es menor a 0.05, indica que el parámetro obtenido está fuera del intervalo de confianza del 95 %, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna H_a que es la que busca todo investigador [26].

A los expertos se les suministró la información del eje Y de la gráfica, que corresponde al índice que será utilizado para asignar el puntaje a cada uno de los elementos a evaluar en las listas de cotejo. El eje X es el porcentaje de daño en que presenta cada uno de los dispositivos evaluados.

En las curvas obtenidas se observa que la pendiente obtenida es negativa, eso tiene un sentido lógico, con lo cual indica que a mayor severidad, menor será el índice con el cual se evalúa cada dispositivo y por lo tanto, la necesidad que se repare dicho defecto es mayor.

6.6.2.1 Barreras semi-rígidas:

Del total del grupo de expertos, con los datos obtenidos y promediados, se elaboraron las curvas de severidad. Lo primero que se hizo fue determinar los promedios ponderados y las curvas envolventes para cada uno de los niveles de severidad. Para determinar la envolvente, se tomaron los valores máximos y mínimos para cada una de las fotografías evaluadas por el panel de expertos.

Como se muestra en la Figura 6.20. se observa las envolventes para la curva de severidad baja. A mayor porcentaje de daños, se presenta mayor variabilidad en los datos. La causa de esta variabilidad puede ser ocasionada ya sea porque la fotografía evaluada no es clara y no suministra la información necesaria que se quiere evaluar o el experto en este caso no es tan experto y presenta deficiencias en aspectos relacionados con el tema.

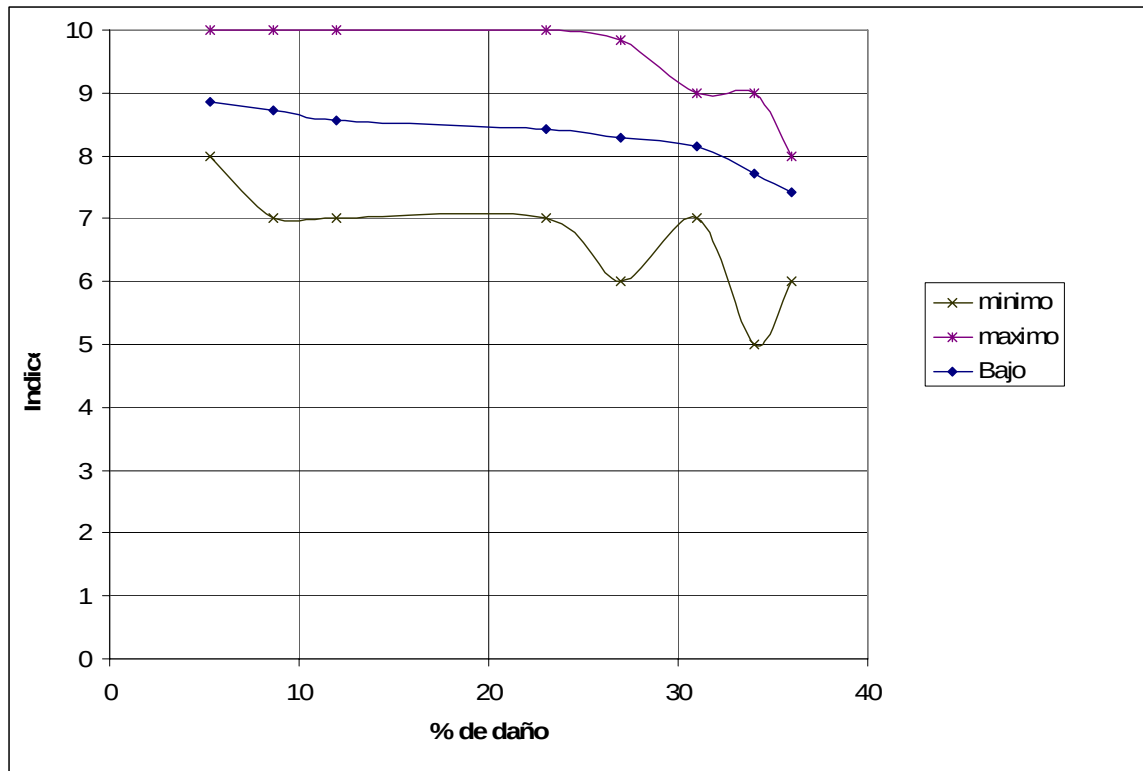


Figura 6.16 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo en barreras semi-rígidas

La Figura 6.17 muestra las envolventes para el nivel de severidad medio. Nótese que los valores obtenidos por el panel de expertos es uniforme, sin embargo, el problema que se presenta es que cada uno de los evaluadores determinaron independientemente los rangos para la evaluación. Es por esto que se encuentran valores máximos que se cruzan los datos obtenidos para las envolventes de la curva con nivel de severidad bajo. Esta situación se presenta de manera similar para las envolventes de la curva de severidad baja.

La Figura 6.18 presenta una variabilidad más alta en cada uno de los puntos evaluados. Una vez más, se puede concluir que en los casos extremos, el experto se enfrentó a situaciones en las cuales no era clara la información suministrada por la fotografía y tiende a confundirse, asignando valores de índice ya sean muy altos o muy bajos.

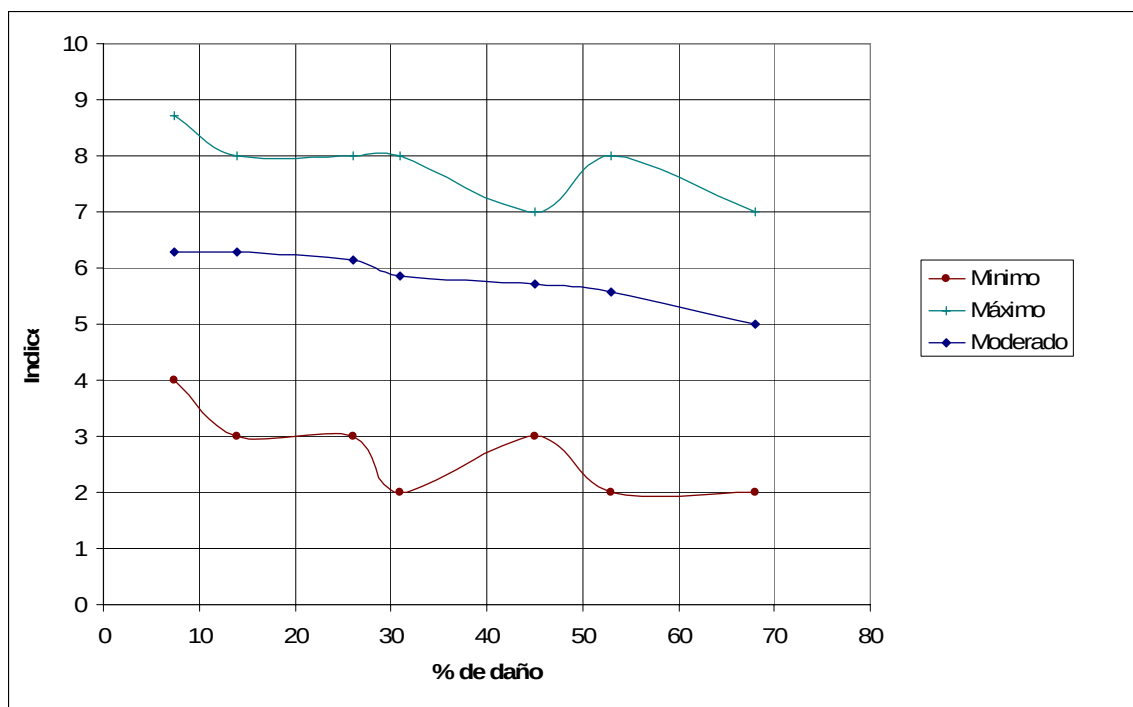


Figura 6.17 Curvas envolventes para nivel de severidad moderada en barreras semi-rígidas

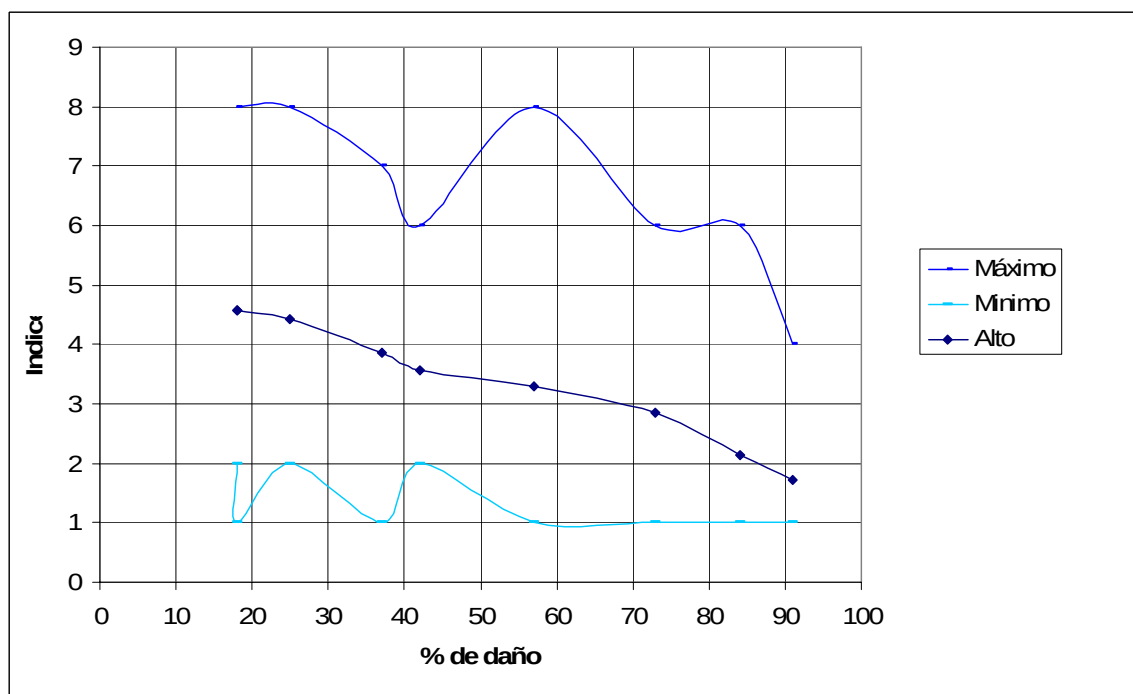


Figura 6.18 Curvas envolventes para nivel de severidad alta en barreras semi-rígidas

En la Figura 6.19 se observa como se solapan las envolventes de las curvas de severidad para el nivel bajo y el nivel alto. De esta gráfica se observa que la envolvente de los máximos para el nivel de severidad bajo está por debajo de la curva envolvente de los valores máximos para el nivel de severidad alto. Por esta razón, es que se decidió trabajar con curvas promedio y calcular la regresión, para minimizar el error de los valores asignados para la severidad de cada uno de las fotografías evaluadas por los expertos.

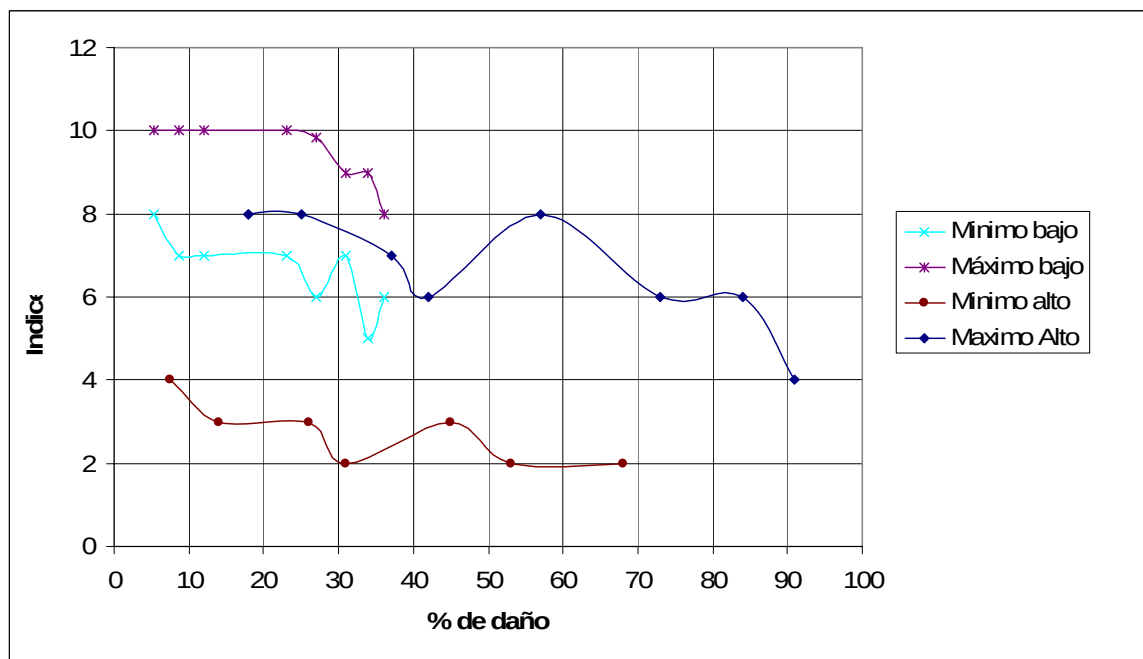


Figura 6.19 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo y alto en barreras semi-rígidas

En la Figura 6.20 se observan las curvas promedio para obtener las curvas de severidad para barreras semi-rígidas. Para obtener dichas curvas, se promedió el valor de las observaciones realizadas por el panel de expertos, y el porcentaje de daños se calculó a partir de la longitud total de valla por longitud impactada de la misma, y la deflexión dinámica máxima permitida para este tipo de vallas de seguridad.

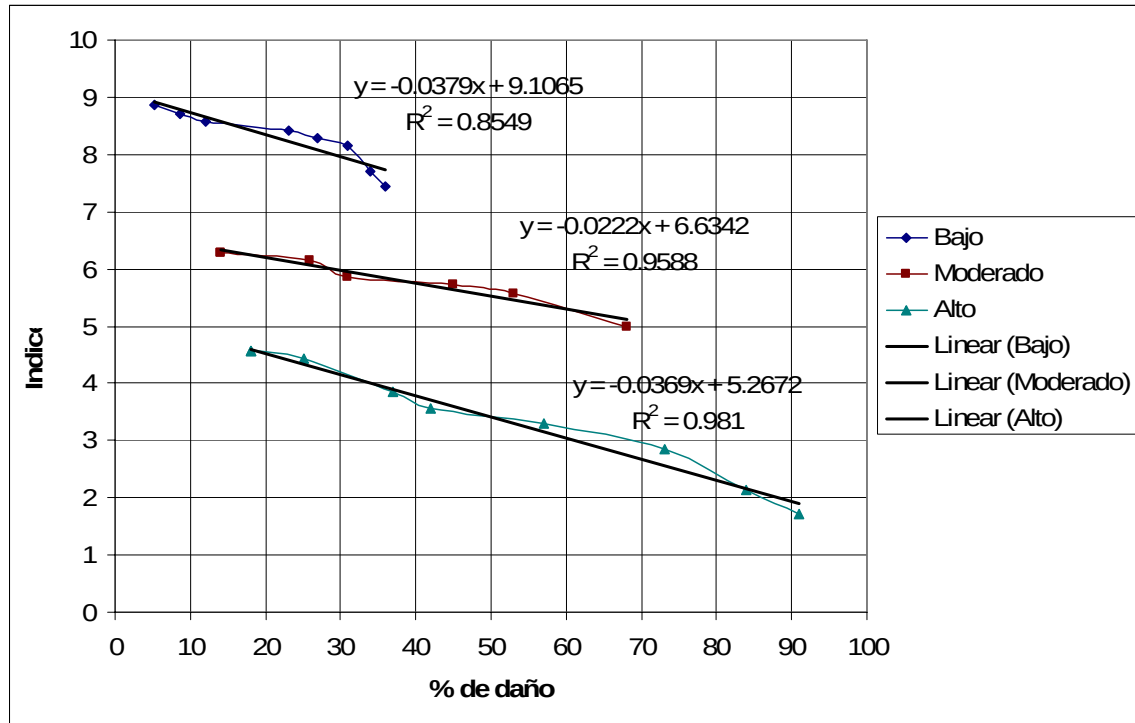


Figura 6.20 Curvas de severidad para vallas de metal tipo W beam strong post

$$\% D_i = \left(\frac{L_i}{L_T} \right) * 100 \quad (8)$$

Donde:

D_i = Porcentaje de daño.

L_i = Longitud de barrera impactada

L_T = Longitud Total de barrera.

Los valores obtenidos con la regresión para los diferentes niveles de severidad son los siguientes para un nivel de significancia del 95%:

Severidad Baja

$R^2 = 0.8549$

F-test = 39.569

p-value = 0.0008

Criterio de aceptación $F_{Mod} > F_{Crítico}$. $\rightarrow 39.569 > 4$.

Severidad Moderada

$$R^2 = 0.9588$$

$$F\text{-test} = 127.222$$

$$p\text{-value} = 0.0001$$

$$\text{Criterio de aceptación } F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 127.222 > 4.$$

Severidad Alta

$$R^2 = 0.981$$

$$F\text{-test} = 327.759$$

$$p\text{-value} = 0.0001$$

$$\text{Criterio de aceptación } F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 327.759 > 4.$$

Criterio de aceptación de la hipótesis: si $F\text{-test}_i > 4$ se acepta, siendo i ella severidad i

Como se explicó anteriormente, el valor F es mucho mayor que 4, para cada una de las regresiones calculadas, por lo cual se aceptan las hipótesis. Esto significa que son válidos los datos para determinar la regresión.

El criterio para desarrollar estas curvas de severidad es el de longitud total de valla por longitud de valla impactada. Con este criterio, y dependiendo del nivel de severidad del daño en la valla, se desarrollaron las curvas de severidad. La tendencia de las curvas es convexa, a medida que aumenta el porcentaje de daño, las curvas tienden a ser una línea recta. Esto se puede explicar observando que el porcentaje de daño es directamente proporcional al índice de penalización de daños.

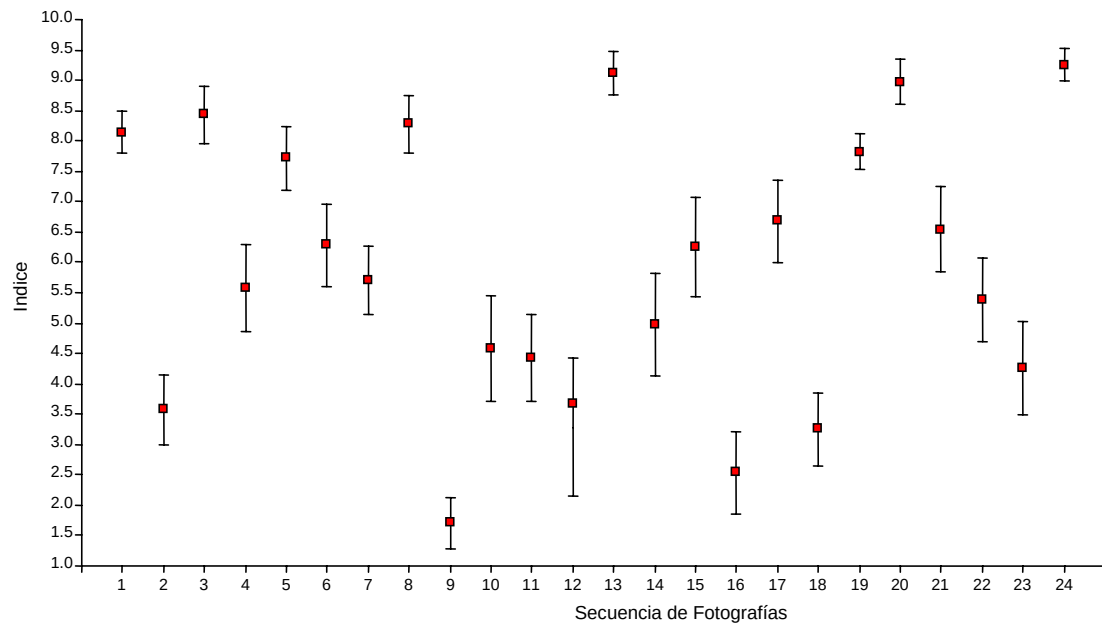


Figura 6.21 Error estándar para cada elemento evaluado basado en el narrativo asignado a cada por fotografía

La Figura 6.21 muestra el error estándar de cada elemento evaluado basado en el narrativo asignado a cada fotografía. A mayor separación del promedio de la barra, mayor es el error. Esto indica que la información suministrada en la fotografía no es clara y la opinión de los expertos o que no son expertos propiamente en dicha disciplina difiere en el momento de calificar los defectos, creándose dispersión en los datos.

A medida que se aleje el valor observado por cada uno de los expertos del promedio, se verá reflejado en la barra. A mayor dispersión, mayor será la distancia al promedio y viceversa. La Tabla 6.3 muestra los resultados estadísticos para la barrera semi-rígida.

Tabla 6.3. Resultados estadísticos para el elemento barrera semi-rígida.

Fotografía	Promedio	Desv Std	CV
1	8.1	0.90	0.11
2	3.6	1.51	0.42
3	8.4	1.27	0.15
4	5.6	1.90	0.34
5	7.7	1.38	0.18
6	6.3	1.80	0.29
7	5.7	1.50	0.26
8	8.3	1.25	0.15
9	1.7	1.11	0.65
10	4.6	2.30	0.50
11	4.4	1.90	0.43
12	3.3	2.98	0.91
13	8.7	0.95	0.11
14	4.6	2.23	0.49
15	5.9	2.19	0.37
16	2.1	1.77	0.83
17	6.3	1.80	0.29
18	2.9	1.57	0.55
19	7.4	0.79	0.11
20	8.6	0.98	0.11
21	6.1	1.86	0.30
22	5.0	1.83	0.37
23	3.9	2.04	0.53
24	8.9	0.69	0.08

La Figura 6.22 muestra el comportamiento de los datos y la banda de confianza de los mismos para la curva en el nivel de severidad bajo. Como se puede observar, dos de los datos están fuera de los niveles máximos y mínimos, sin embargo, como los datos analizados están dentro del nivel de confianza del 95%, son aceptados para la elaboración de la curva.

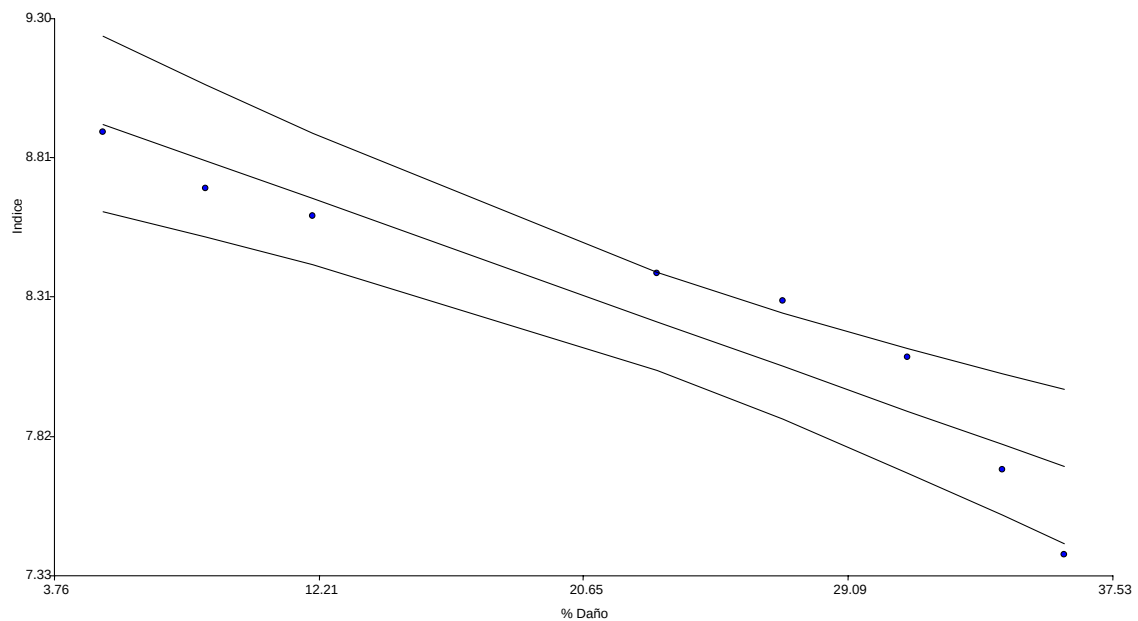


Figura 6.22 Bandas de confianza para la curva de severidad en el nivel bajo elemento W beam strong post (95% de nivel de confiabilidad)

Como se observa en la Figura 6.23, los residuales graficados contra los valores predichos obtenidos a partir de la regresión lineal, y se observa que los datos los residuales se obtienen a partir del error estocástico y los predichos son los estimados a partir de una muestra

En el caso de la curva de severidad para nivel moderado, solo uno de los datos está fuera del intervalo de confianza, como se observa en la Figura 6.24, pero es significativo.

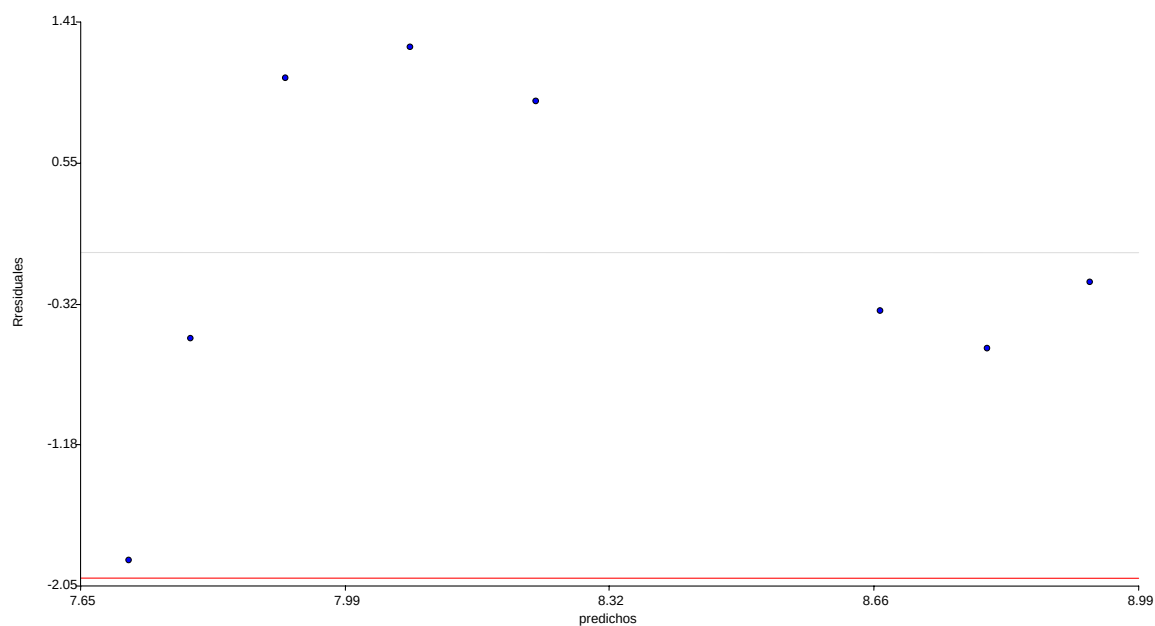


Figura 6.23 Residuales vs predichos para el nivel de severidad bajo: elemento W beam strong post

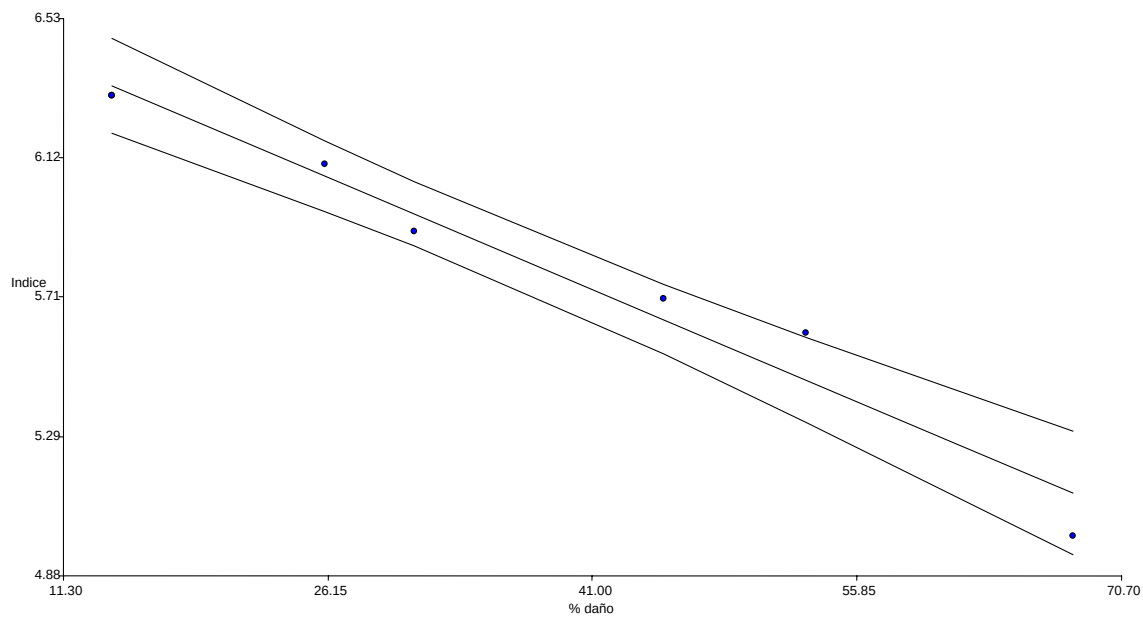


Figura 6.24 Bandas de confianza para la curva de severidad en el nivel moderado: elemento W beam strong post

En la Figura 6.25 se observan que los residuales de los datos están dentro del intervalo de confianza.

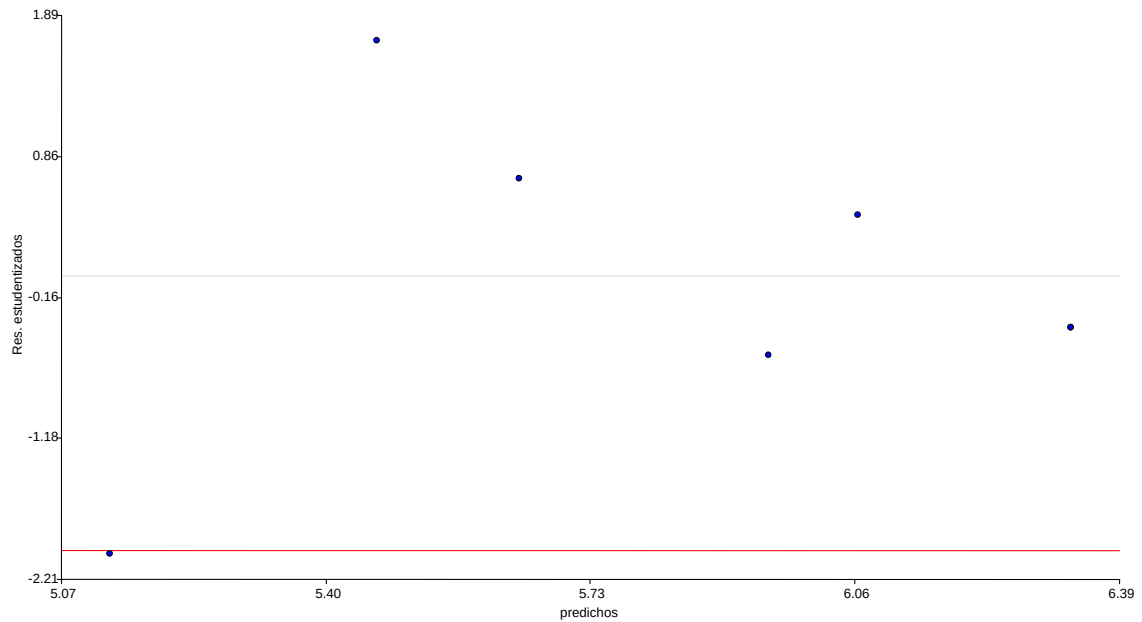


Figura 6.25 Residuales vs predichos para el nivel de severidad moderado: elemento W beam strong post

Los datos obtenidos para la curva en el nivel de severidad alto, se observa que uno de los datos se encuentra fuera de la banda de confianza superior. Todos los análisis estadísticos demuestran que todos los datos de la muestra están dentro del intervalo de confianza del 95 %. La Figura 6.26 muestra lo expuesto anteriormente

0

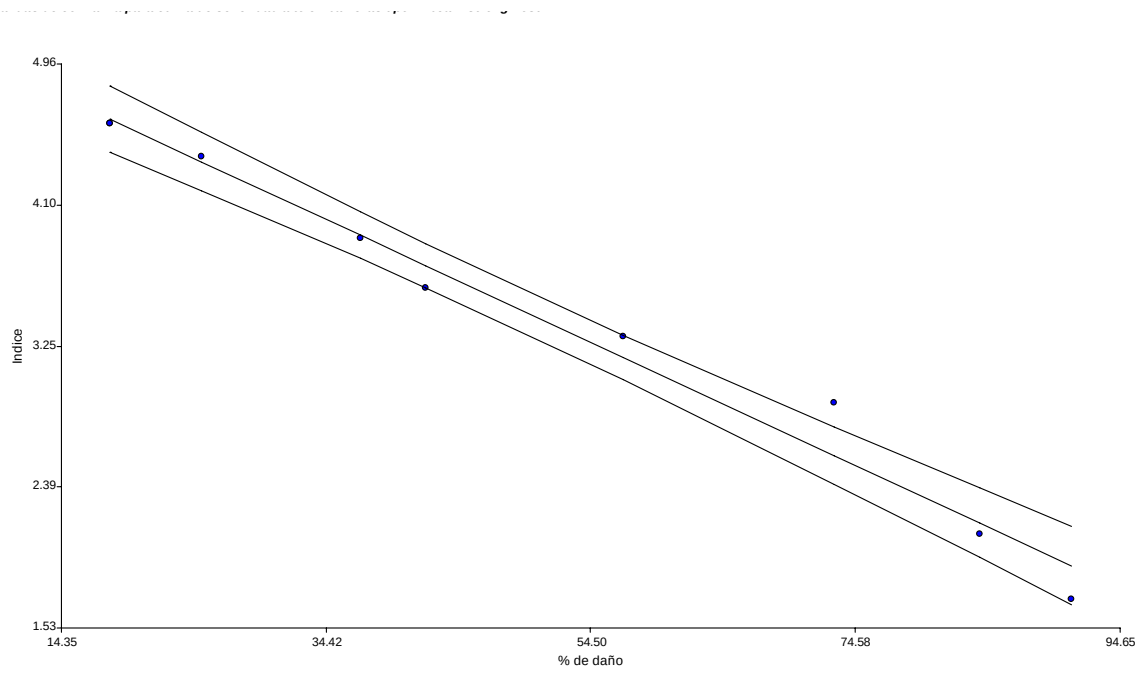


Figura 6.26 Bandas de confianza para la curva de severidad en el nivel alto, elemento W beam strong post

La Figura 6.27 muestra los residuales para la curva del nivel de severidad alto y como los datos están dentro de los parámetros estipulados.

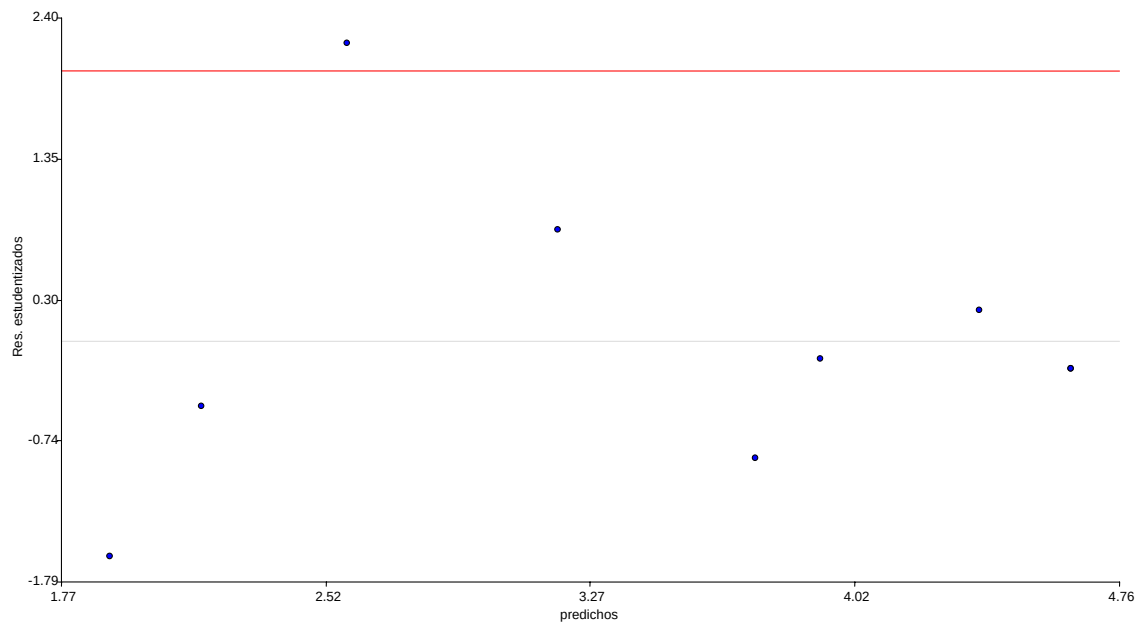


Figura 6.27 Residuales vs predichos para el nivel de severidad alto elemento W beam strong post

6.6.2.2 Barreras rígidas

Al igual que en las barreras semi-rígidas, se determinaron los promedios ponderados y las curvas envolventes para cada uno de los niveles de severidad. Para determinar la envolvente, se tomaron los valores máximos y mínimos para cada una de las fotografías evaluadas por el panel de expertos.

Como se muestra en la Figura 6.28 se observa las envolventes para la curva de severidad baja. Los valores determinados por cada uno de los expertos permanecieron constantes, pero a medida que aumentaba el porcentaje de daño se encontró una variación en la envolvente de los valores mínimos. En este caso se puede concluir que para el experto no evaluó de manera clara y concisa la información suministrada por la fotografía, presentándose esta anomalía en la evaluación.

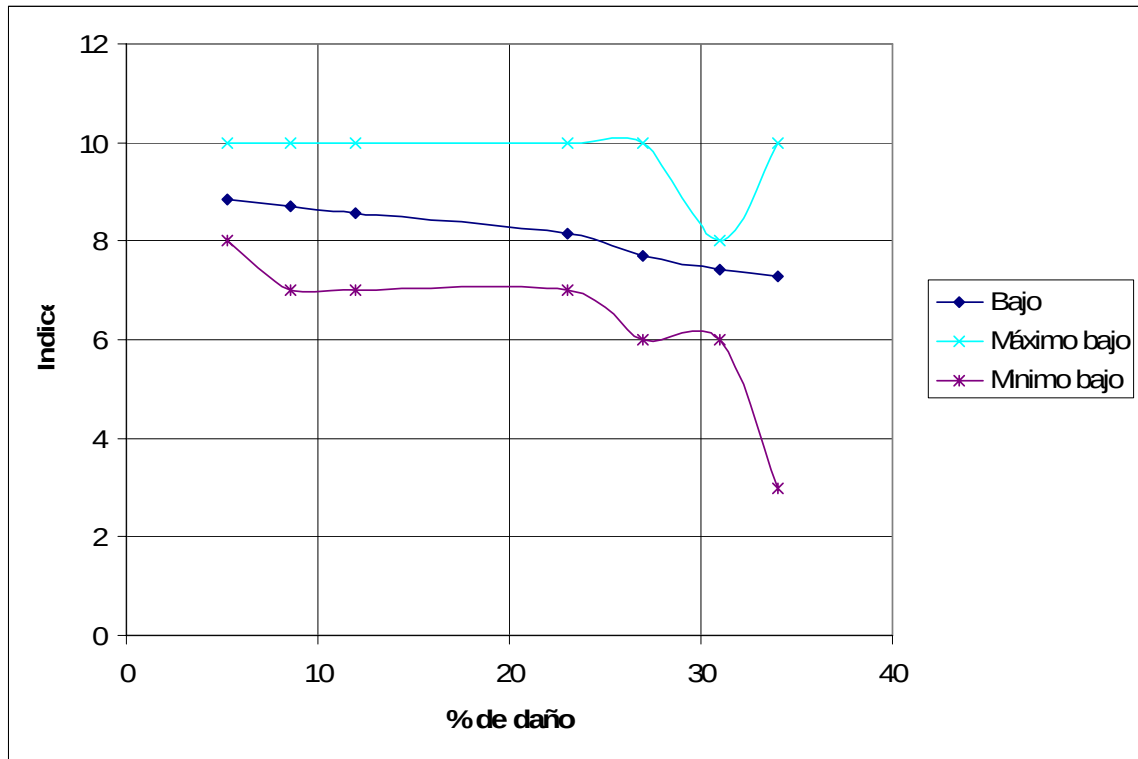


Figura 6.28 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo en barreras rígidas

La Figura 6.29 muestra las envolventes para el nivel de severidad medio. Nótese que los valores obtenidos por el panel de expertos es uniforme, pero al igual que en la evaluación para las barreras semi-rígidas, los rangos de evaluación se trocan con los del nivel de severidad bajo. Para cada evaluador es muy difícil diferenciar la severidad de daños tanto bajos como moderados para una barrera. El evaluador diferencia muy bien la severidad baja y la severidad alta, pero se confunde en el caso moderado.

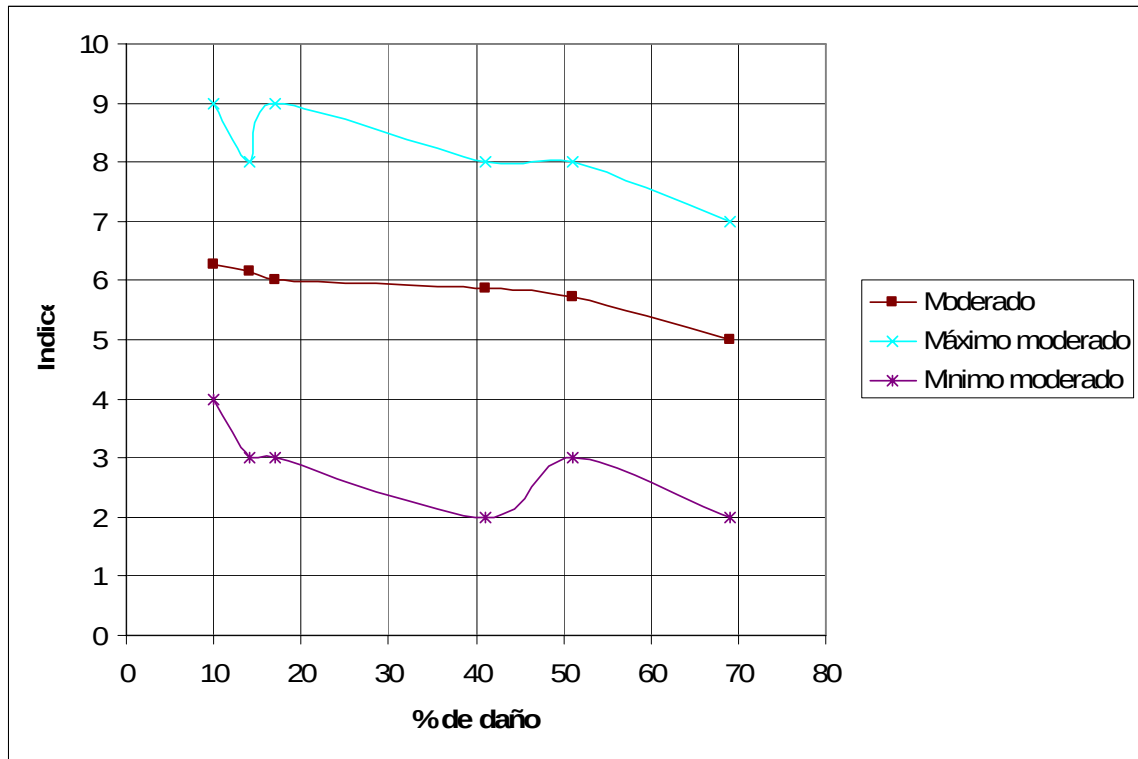


Figura 6.29 Curvas envolventes para nivel de severidad moderado en barreras rígidas

La figura 6.30 muestra las envolventes para la curva de severidad alta. Se observa que en la envolvente de valores mínimos permanecen constantes, mientras que en la envolvente con valores máximos presenta variaciones.

En la Figura 6.31 se observa como se solapan las envolventes de las curvas de severidad para el nivel bajo y el nivel alto. Nótese que en esta gráfica se observa que la envolvente de los mínimos para el nivel de severidad bajo se cruza con la curva envolvente de los valores máximos para el nivel de severidad alto.

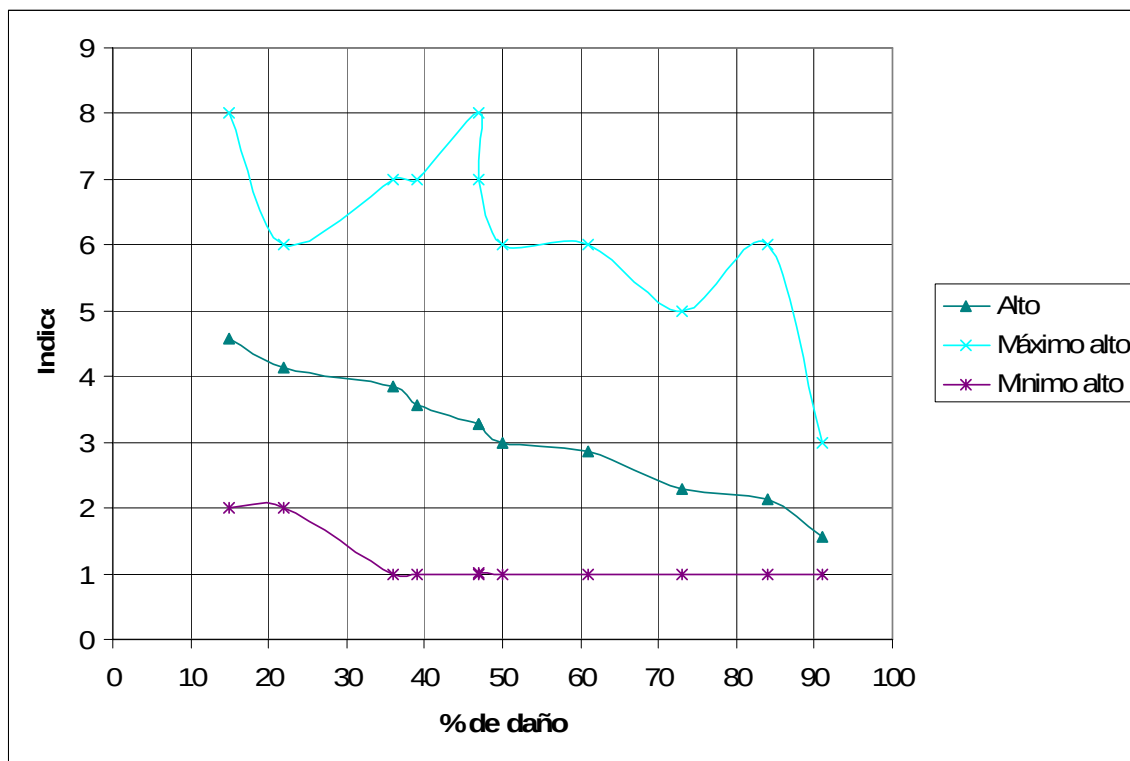


Figura 6.30 Curvas envolventes para nivel de severidad alto en barreras rígidas

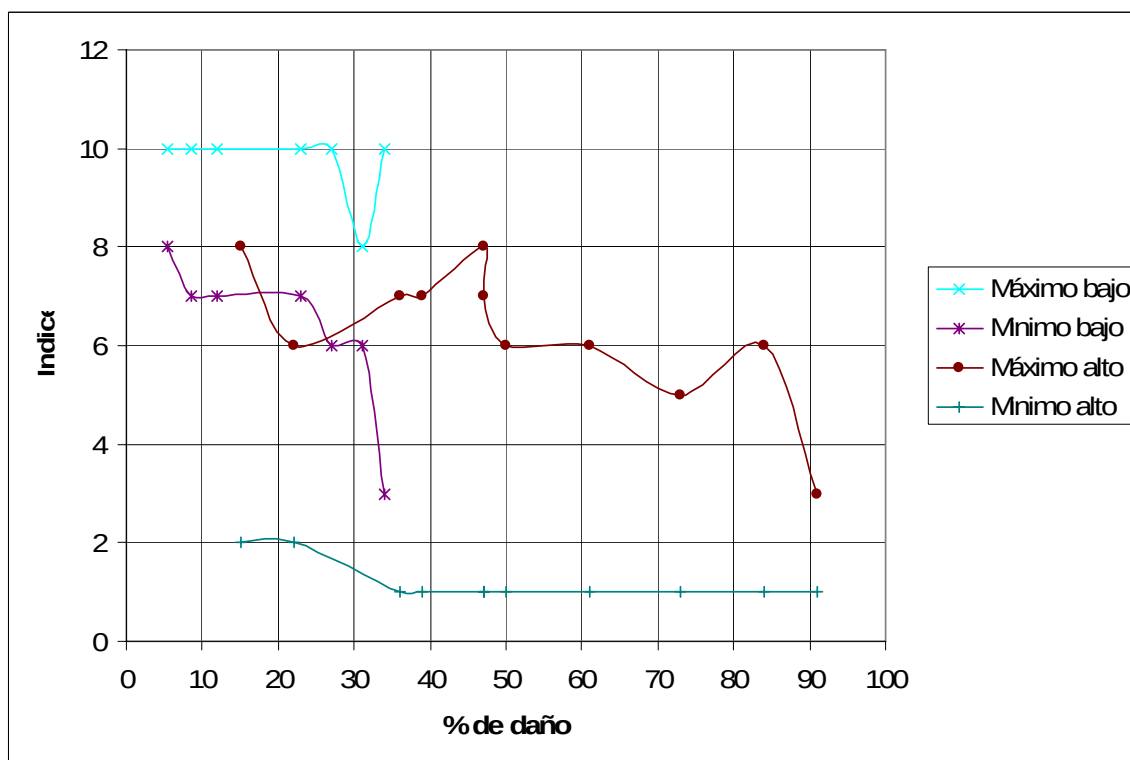


Figura 6.31 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo y alto en barreras rígidas

En la Figura 6.32 se observa la curva de severidad para barreras rígidas new Jersey y tipo F. Las barreras rígidas se encuentran en su mayoría, según el concepto de los expertos, en buen estado o en mal estado, ya sea porque están rotas o nuevas. Para la condición de nivel de severidad medio, se encontró que los expertos califican las barreras en este rango cuando se encuentran sucias, mal instaladas y en algunos casos con las esquinas rotas o con las láminas retro reflectivas sucias y/o dobladas. Se esperaba que la curva de severidad baja tuviera una pendiente más suave.

El criterio para desarrollar estas curvas de severidad es similar al usado para barreras semi-rígidas, que consiste en determinar la longitud total de barrera, por longitud de barrera impactada. Con este parámetro se desarrollan las curvas como se observa en la Figura 6.33.

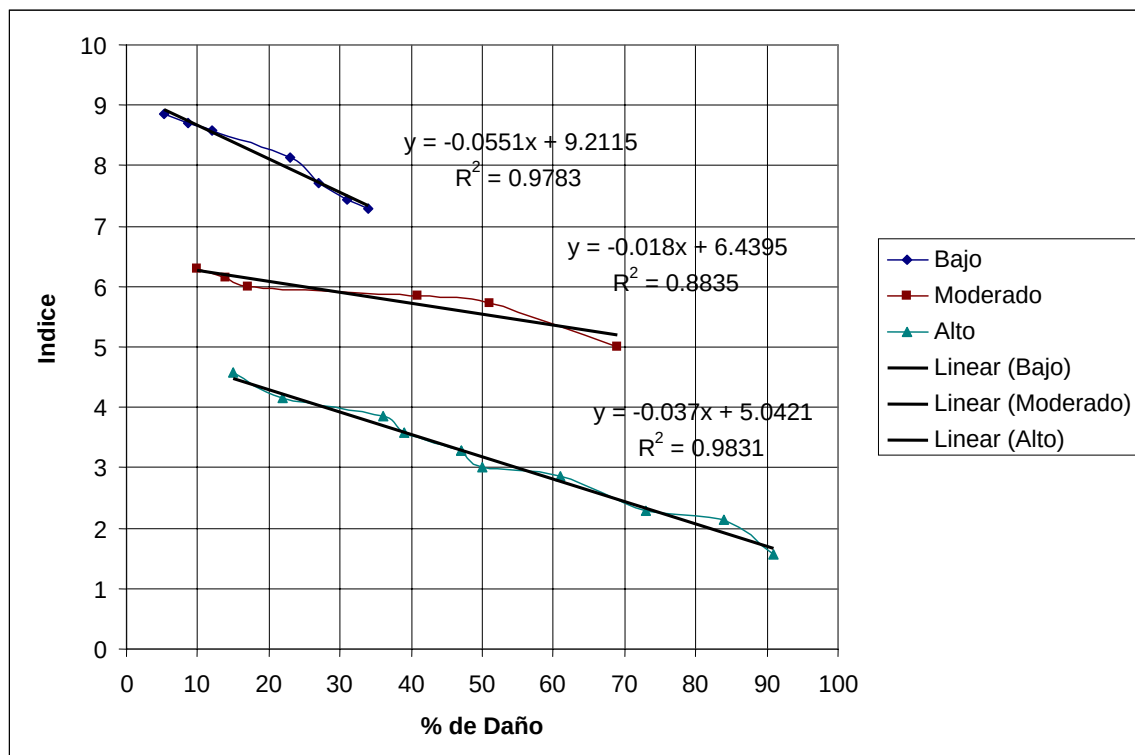


Figura 6.32 Curvas de severidad para barreras rígidas

Los valores obtenidos con la regresión para los diferentes niveles de severidad son los siguientes para un nivel de significancia del 95% :

Severidad Baja

$$R^2 = 0.9783$$

$$F\text{-test} = 484.08$$

$$p\text{-value} = 0.0001$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 484.08 > 4$$

Severidad Moderada

$$R^2 = 0.9831$$

$$F\text{-test} = 314.27$$

$$p\text{-value} = 0.0001$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 314.27 > 4$$

Severidad Alta

$$R^2 = 0.981$$

$$F\text{-test} = 26.11$$

$$p\text{-value} = 0.0069$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 26.11 > 4$$

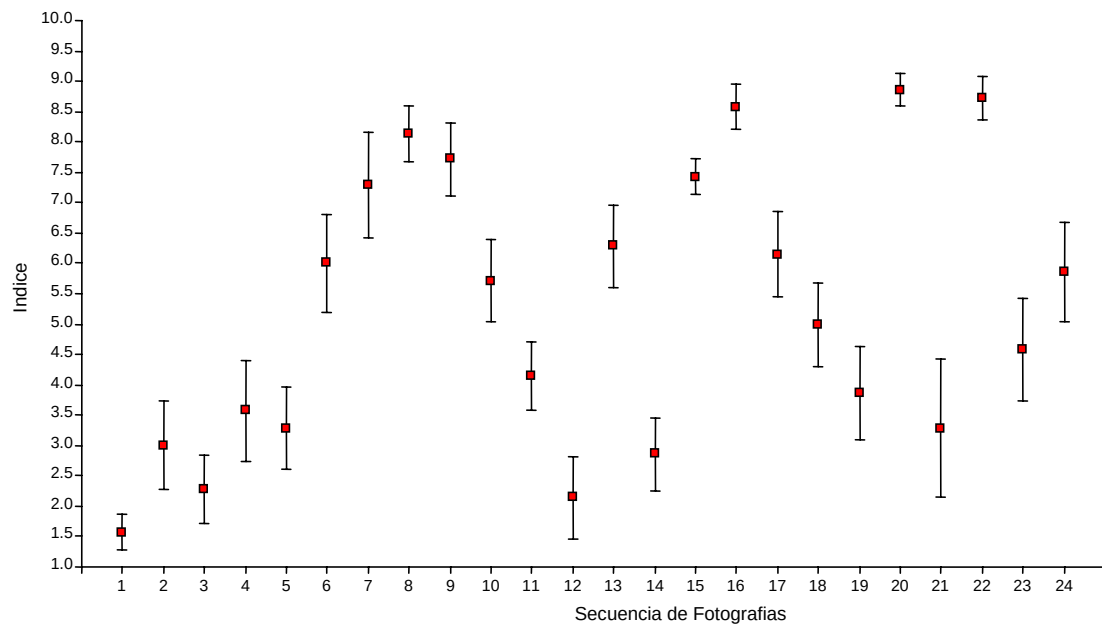


Figura 6.33 Error estándar para fotografías de barreras rígidas

En la Figura 6.33 se observa que la mayor dispersión de datos se encuentra en las fotografías con un nivel de severidad medio, indicando nuevamente, que las fotos no son claras para la evaluación por parte de los expertos. La Figura 6.37 muestra que los valores son representativos y por lo cual se pueden utilizar los resultados obtenidos para elaborar las curvas de severidad.

La Tabla 6.4 asocia la severidad de cada fotografía para barreras rígidas.

Tabla 6.4 Severidad para cada fotografía evaluada para barreras rígidas

Fotografía	Promedio	Desv Std	CV
1	1.6	0.79	0.50
2	3.0	1.91	0.64
3	2.3	1.50	0.65
4	3.6	2.23	0.62
5	3.3	1.80	0.55
6	6.0	2.16	0.36
7	7.3	2.29	0.31
8	8.1	1.21	0.15
9	7.7	1.60	0.21
10	5.7	1.80	0.31
11	4.1	1.46	0.35
12	2.1	1.77	0.83
13	6.3	1.80	0.29
14	2.9	1.57	0.55
15	7.4	0.79	0.11
16	8.6	0.98	0.11
17	6.1	1.86	0.30
18	5.0	1.83	0.37
19	3.9	2.04	0.53
20	8.9	0.69	0.08
21	3.3	2.98	0.91
22	8.7	0.95	0.11
23	4.6	2.23	0.49
24	5.9	2.19	0.37

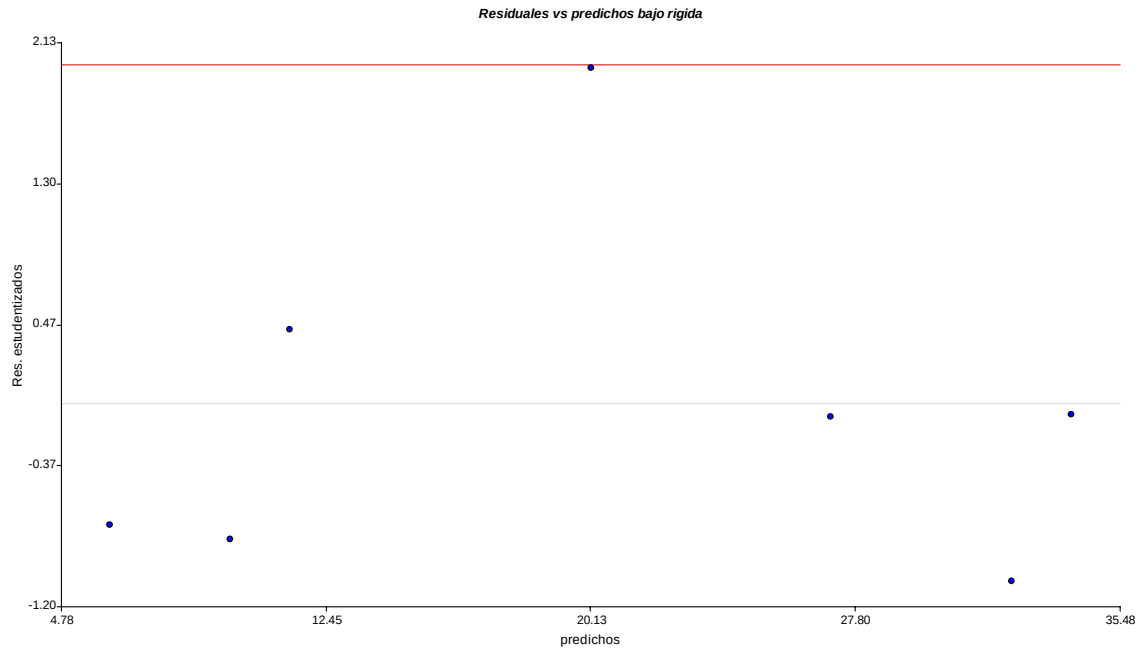


Figura 6.34 Residuales vs predichos para el nivel de severidad bajo

En las Figuras 6.35 y 6.36 se muestran las bandas de confianza de los datos obtenidos. Estos datos están dentro de los rangos de confianza, por lo cual los datos son validados para la elaboración de las curvas.

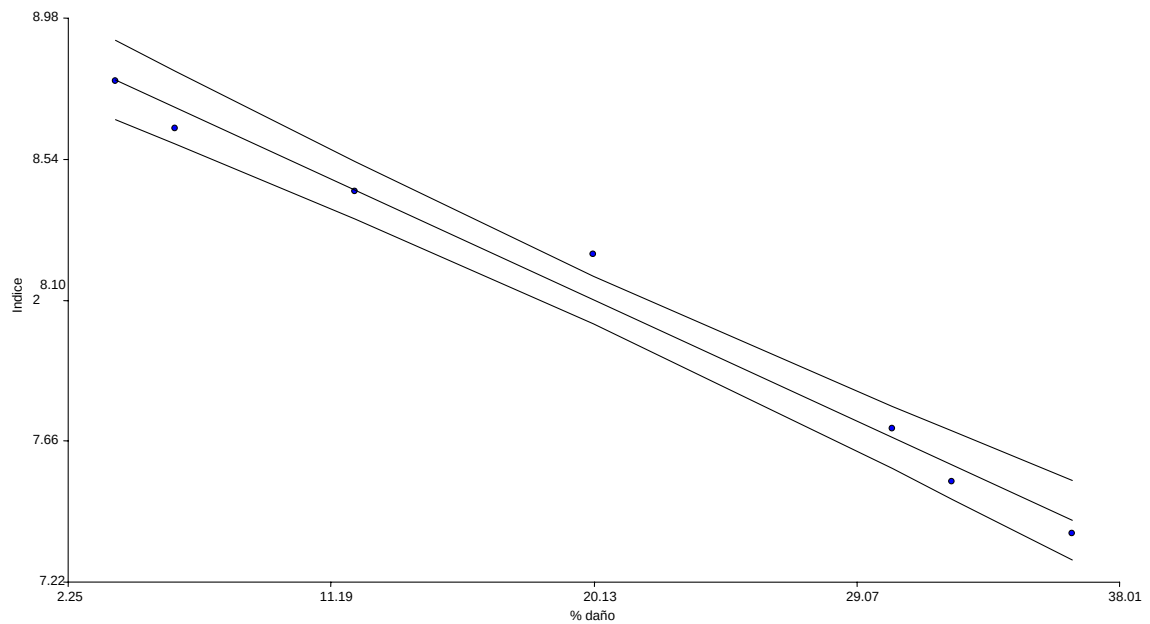


Figura 6.35 Bandas de confianza para la curva de severidad en el nivel bajo Barrera rígida (95% de confiabilidad)

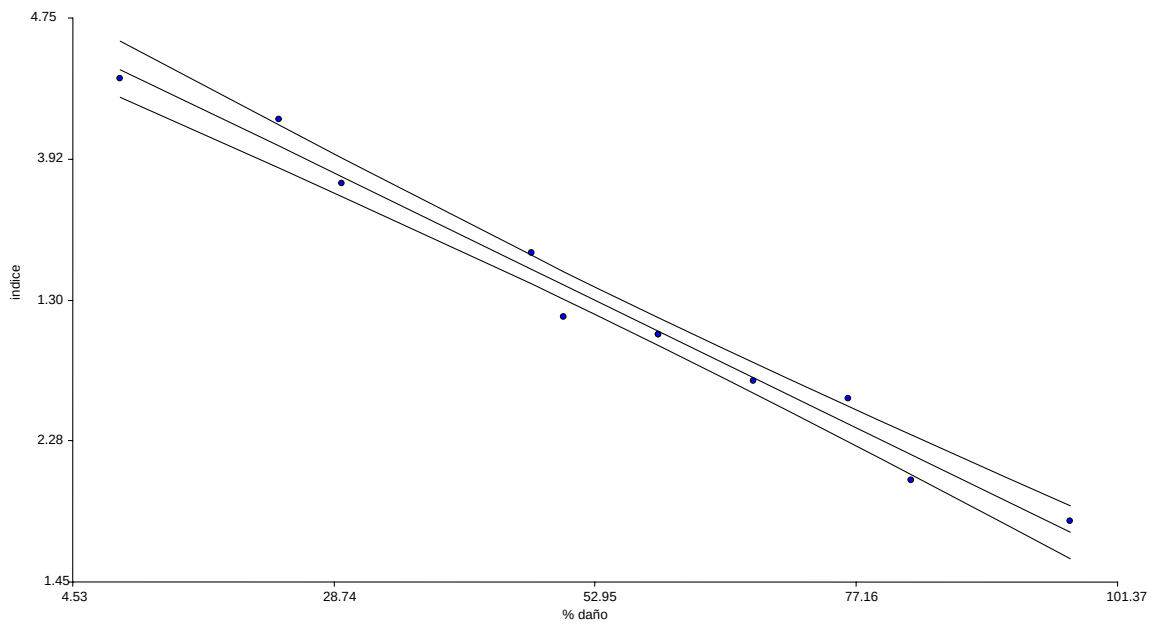


Figura 6.36 Bandas de confianza para la curva de severidad en el nivel moderado Barrera rígida (95% de confiabilidad)

6.6.2.3 Vegetación

En la Figura 6.37 se observa que los datos de las envolventes de máximos y mínimos presentan poca variabilidad para la curva de severidad baja. Debido a que al evaluar el nivel de severidad de la vegetación se facilita al evaluar y se puede determinar si la vegetación está alta o baja.

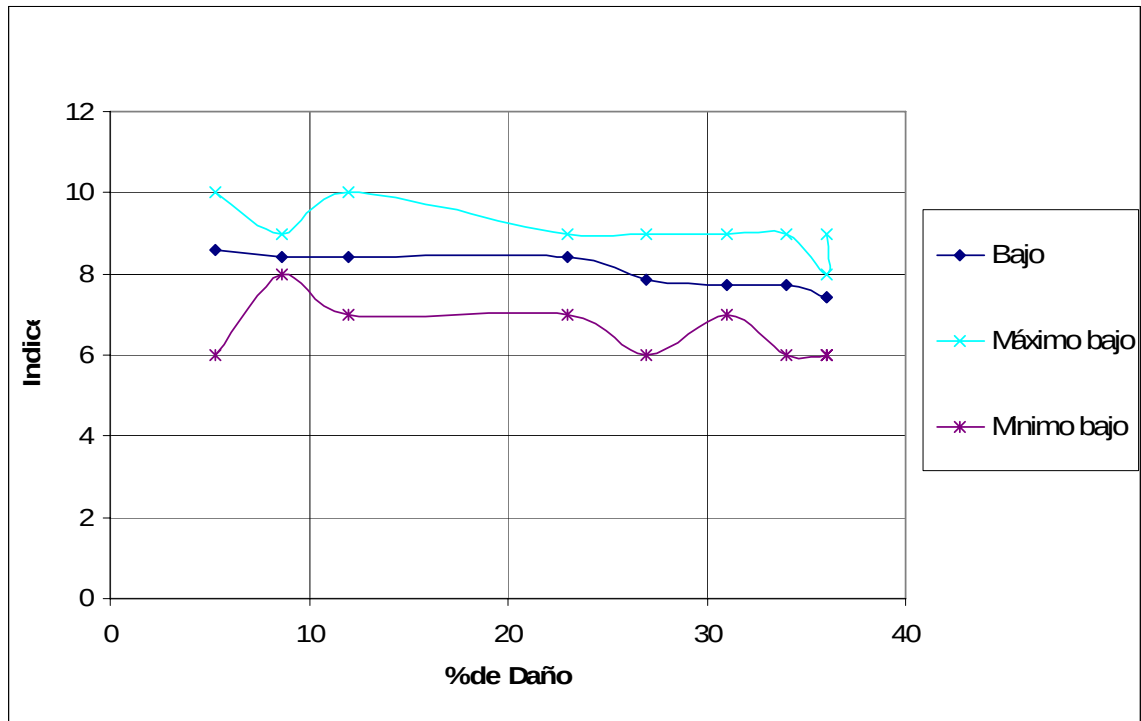


Figura 6.37 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo para vegetación

En la Figura 6.38 los datos de las curvas envolventes no conservan la misma tendencia como en el caso anterior, ya que es muy difícil evaluar la severidad moderada para este caso y no se suministró información como área cubierta por la vegetación y altura de la misma entre otros aspectos.

La Figura 6.39 muestra las envolventes para el nivel de severidad alto. La envolvente mínima permanece constante, lo que significa que la información suministrada para los evaluadores fue clara, mientras que la envolvente de valores máximos presenta variaciones. Se puede afirmar que algunos de los expertos siempre presentaron la tendencia de evaluar las fotografías y dar índices altos.

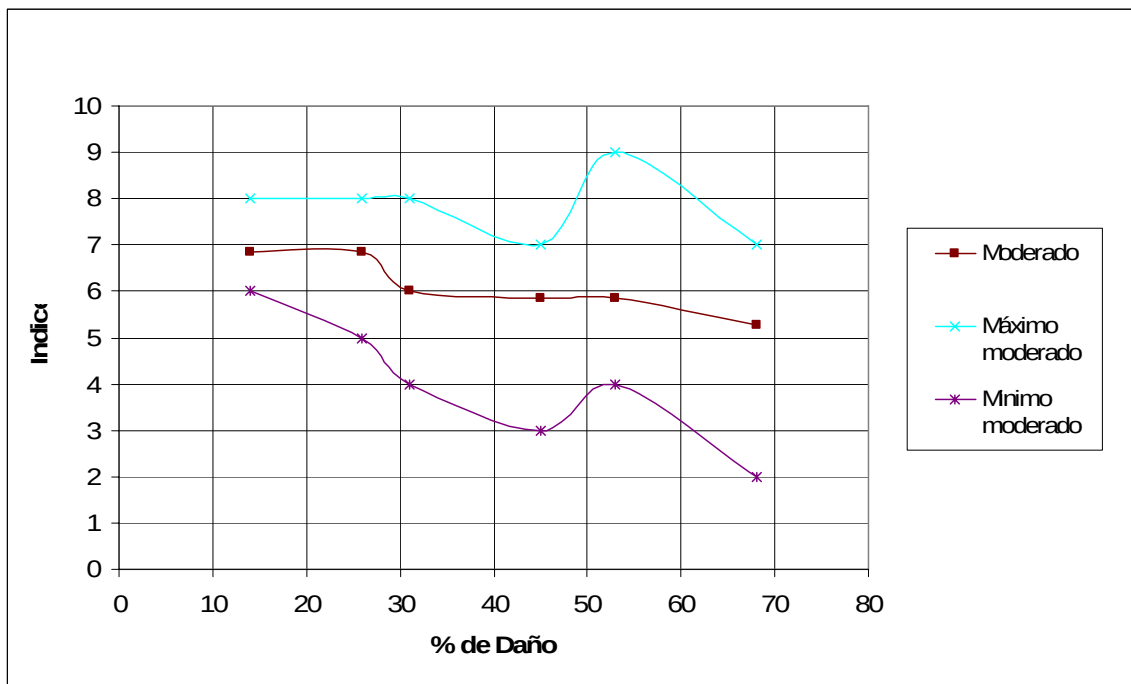


Figura 6.38 Curvas envolventes para nivel de severidad moderada para vegetación

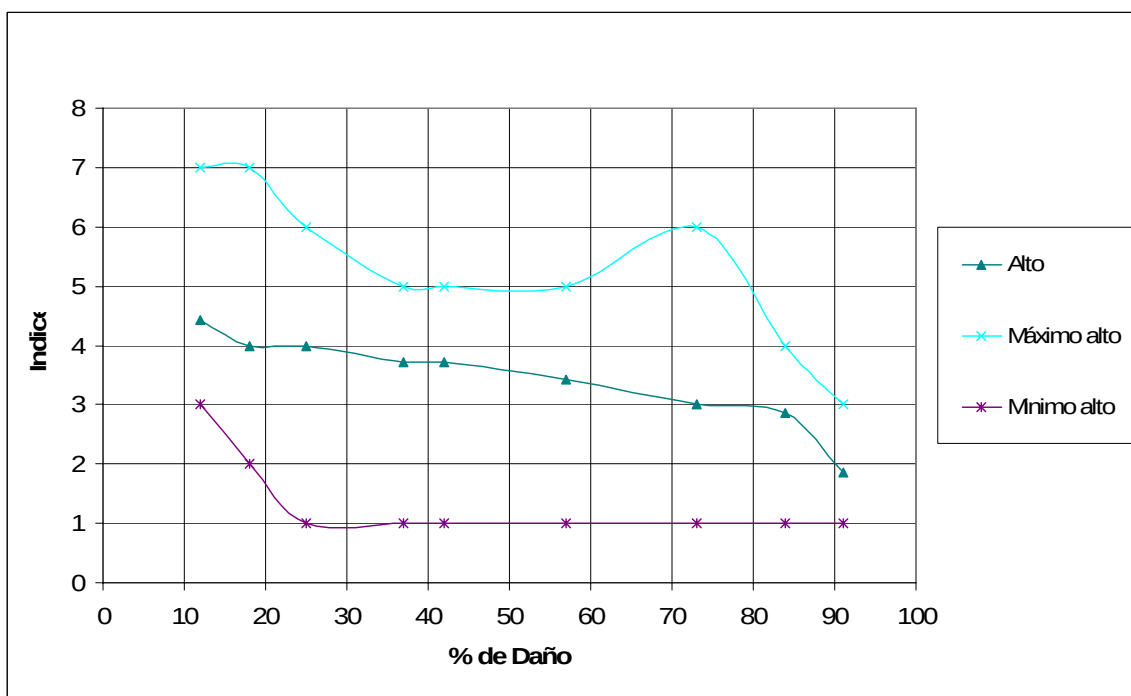


Figura 6.39 Curvas envolventes para nivel de severidad alto para vegetación

En la Figura 6.40 se observa como se cruzan los datos de la envolvente mínima para el nivel de severidad bajo con la envolvente máxima para el nivel de severidad alto.

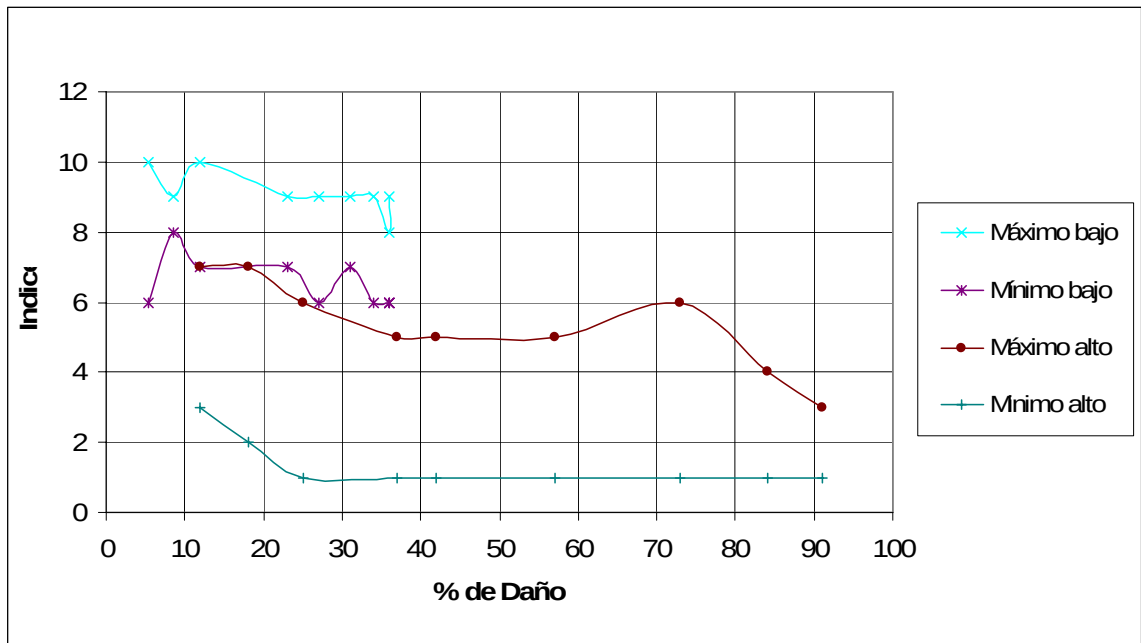


Figura 6.40 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo y alto en vegetación

El mayor problema que se presenta con la vegetación, según lo concluido por el panel de expertos, y que se observa en la Figura 6.41 es la presencia de abundante vegetación a la orilla de la carretera, cuando cubre las barreras semi-rígidas y cuando las ramas de los árboles obstaculizan la visual de la carretera o cuando tapan los rótulos instalados a la orilla de la misma. El criterio para evaluar la vegetación, es la longitud lineal de vegetación por longitud de objeto cubierto por la misma. En algunos casos se cuenta el área de vegetación que afecta a la carretera.

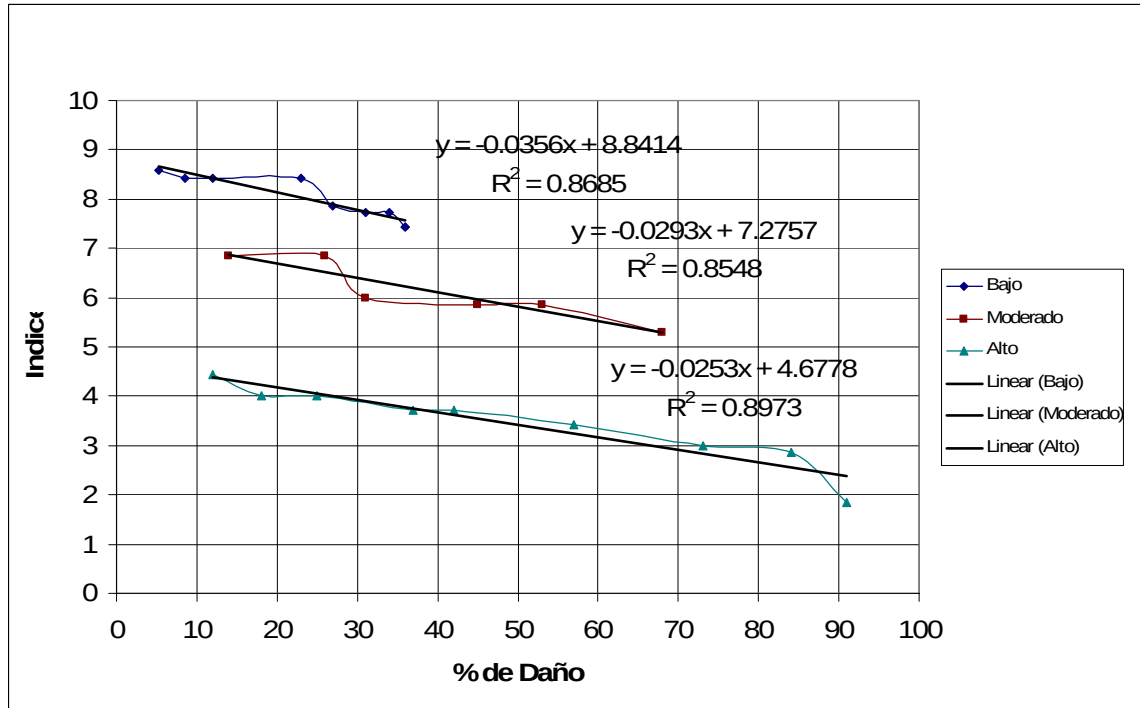


Figura 6.41 Curva de severidad para vegetación a la orilla y mediana de la carretera

Los valores obtenidos con la regresión para los diferentes niveles de severidad son los siguientes para un nivel de significancia del 95%:

Severidad Baja

$$R^2 = 0.8685$$

$$F\text{-test} = 62.05$$

$$p\text{-value} = 0.0001$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 62.05 > 4$$

Severidad Moderada

$$R^2 = 0.8548$$

$$F\text{-test} = 48.61$$

$$p\text{-value} = 0.0002$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 48.61 > 4$$

Severidad Alta

$$R^2 = 0.8973$$

$$F\text{-test} = 21.41$$

$$p\text{-value} = 0.0098$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 21.41 > 4$$

La mayor dispersión de los datos se presenta en las fotografías con un nivel de severidad alto y medio, debido a que es muy difícil para los expertos cuantificar el límite para las fotografías que evalúan estos niveles de severidad.

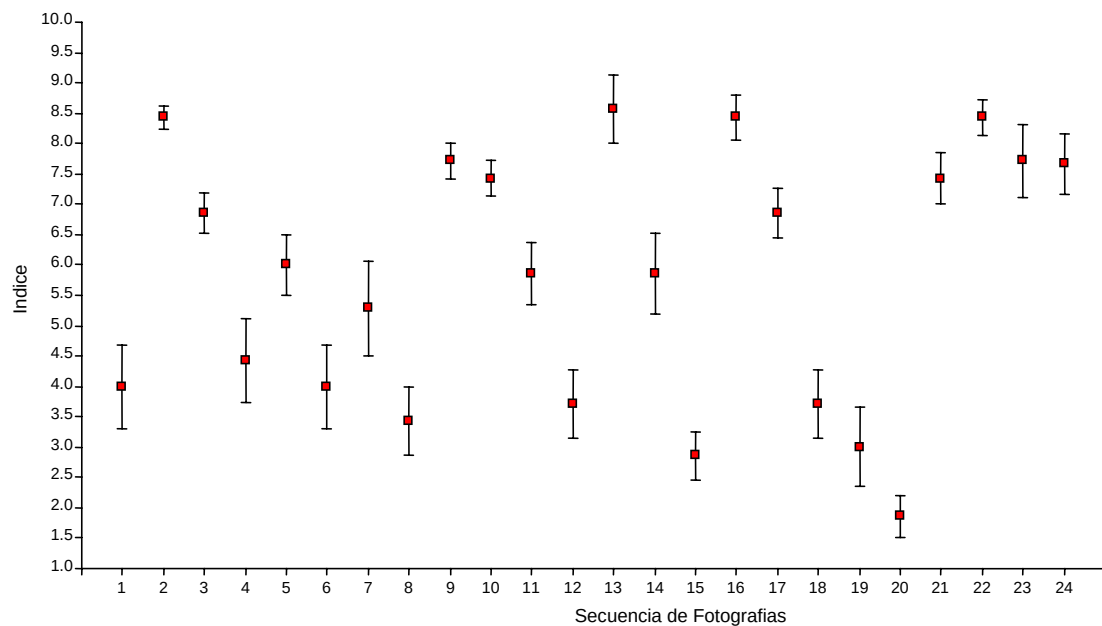
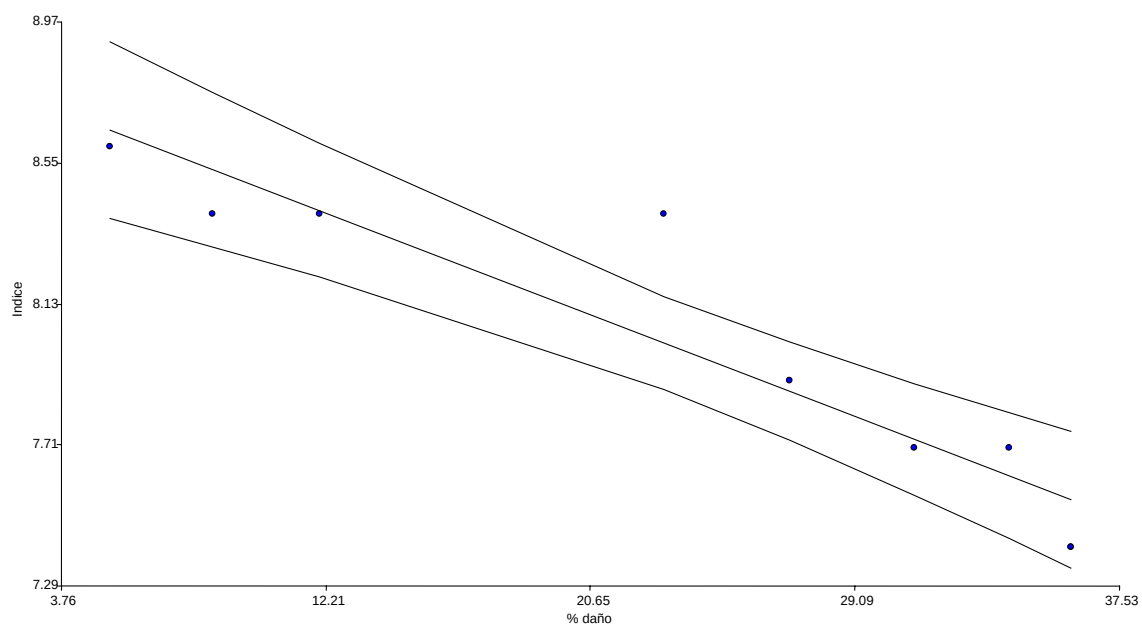


Figura 6.42 Error estándar para la secuencia de fotografías de vegetación a la orilla de la carretera



**Figura 6.43 Bandas de confianza para curvas de severidad
de nivel bajo vegetación (95% de confiabilidad)**

Tabla 6.5 Severidad para cada fotografía evaluada para vegetación

Fotografía	Promedio	Desv Std	CV
1	4.0	1.83	0.46
2	8.4	0.53	0.06
3	6.9	0.90	0.13
4	4.4	1.81	0.41
5	6.0	1.29	0.22
6	4.0	1.83	0.46
7	5.3	2.06	0.39
8	3.4	1.51	0.44
9	7.7	0.76	0.10
10	7.4	0.79	0.11
11	5.9	1.35	0.23
12	3.7	1.50	0.40
13	8.6	1.51	0.18
14	5.9	1.77	0.30
15	2.9	1.07	0.37
16	8.4	0.98	0.12
17	6.9	1.07	0.16
18	3.7	1.50	0.40
19	3.0	1.73	0.58
20	1.9	0.90	0.48
21	7.4	1.13	0.15
22	8.4	0.79	0.09
23	7.7	1.60	0.21
24	7.9	1.21	0.15

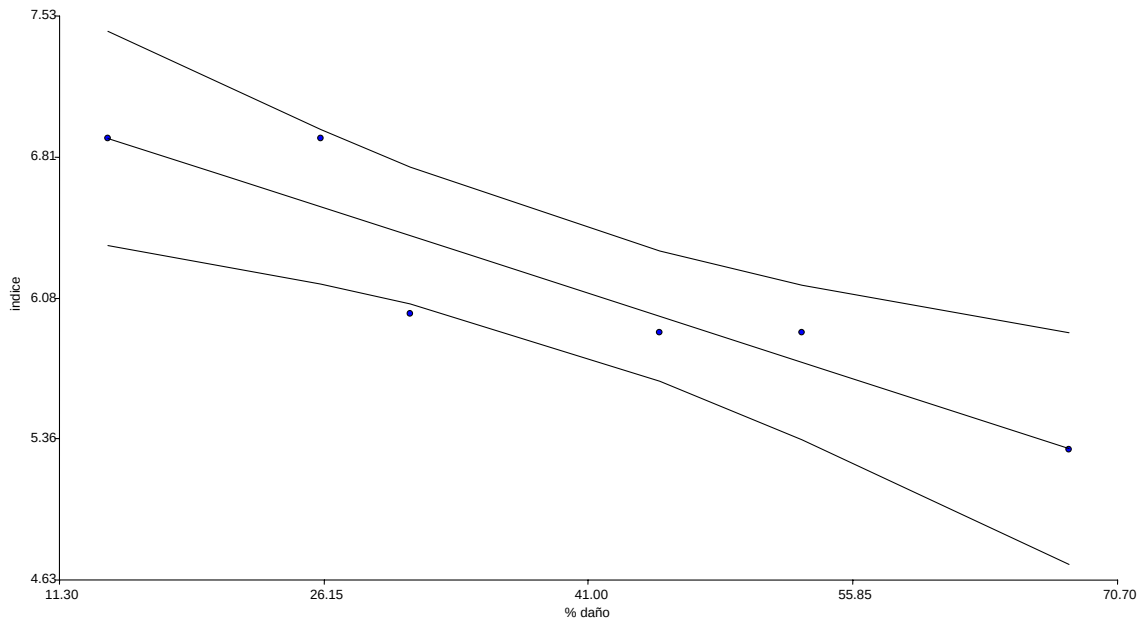


Figura 6.44 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel medio vegetación (95% de confiabilidad)

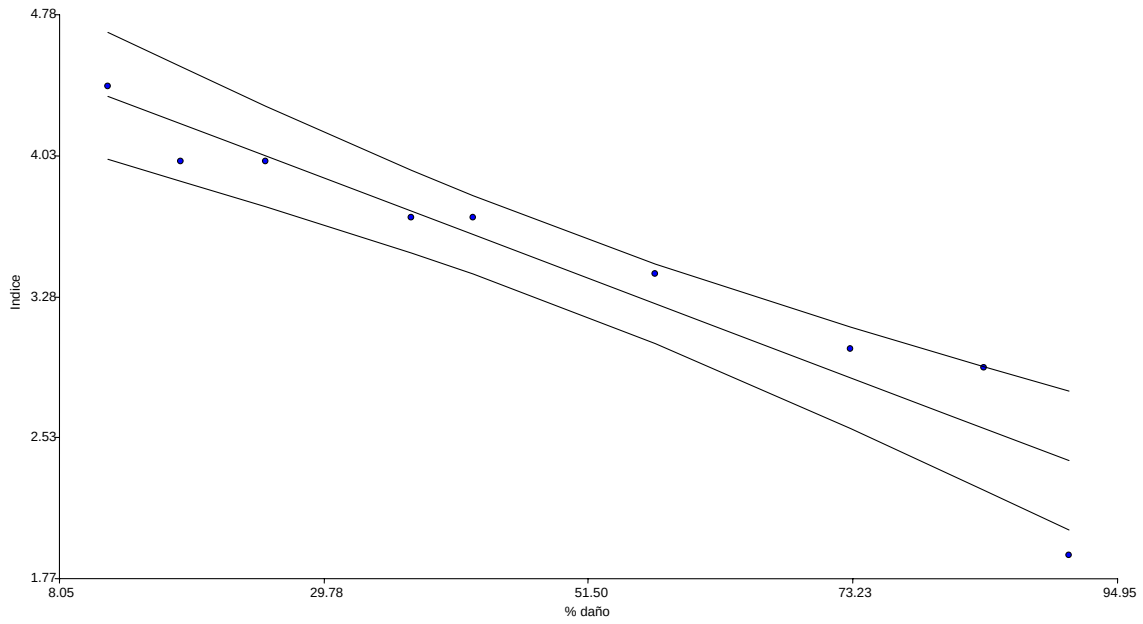


Figura 6.45 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel alto vegetación (95% de confiabilidad)

6.6.2.4 Cunetas

Como se observa en la Figura 6.46, los datos obtenidos permanecen constantes, lo cual indica que la evaluación de los expertos es acorde a las expectativas del estudio.

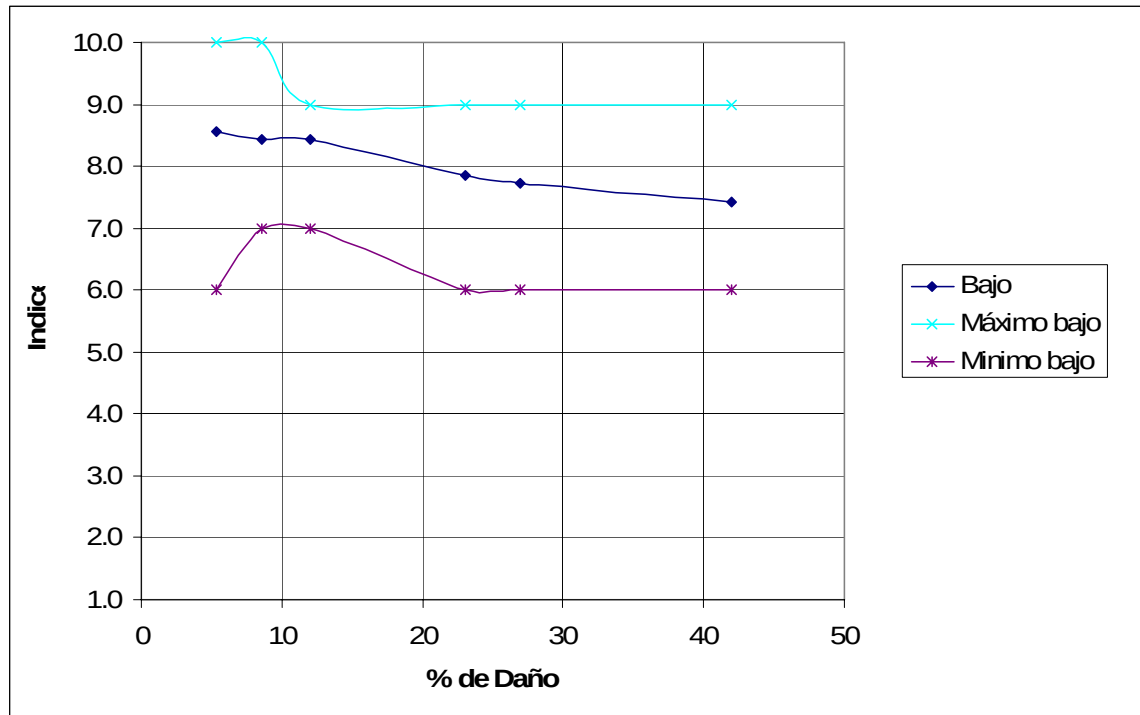


Figura 6.46 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo en cunetas

La Figura 6.47 muestra la variabilidad de la información de los expertos, ya que las curvas envolventes de máximos y mínimos presentan picos los cuales representan valores atípicos en la evaluación. Al obtener el promedio, se compensan estos valores atípicos.

Situación similar a la anterior se presenta en la Figura 6.48, donde la envolvente de valores máximos presenta valores dispersos mientras que la envolvente de valores mínimos permanece constante para 6 de 7 evaluadores.

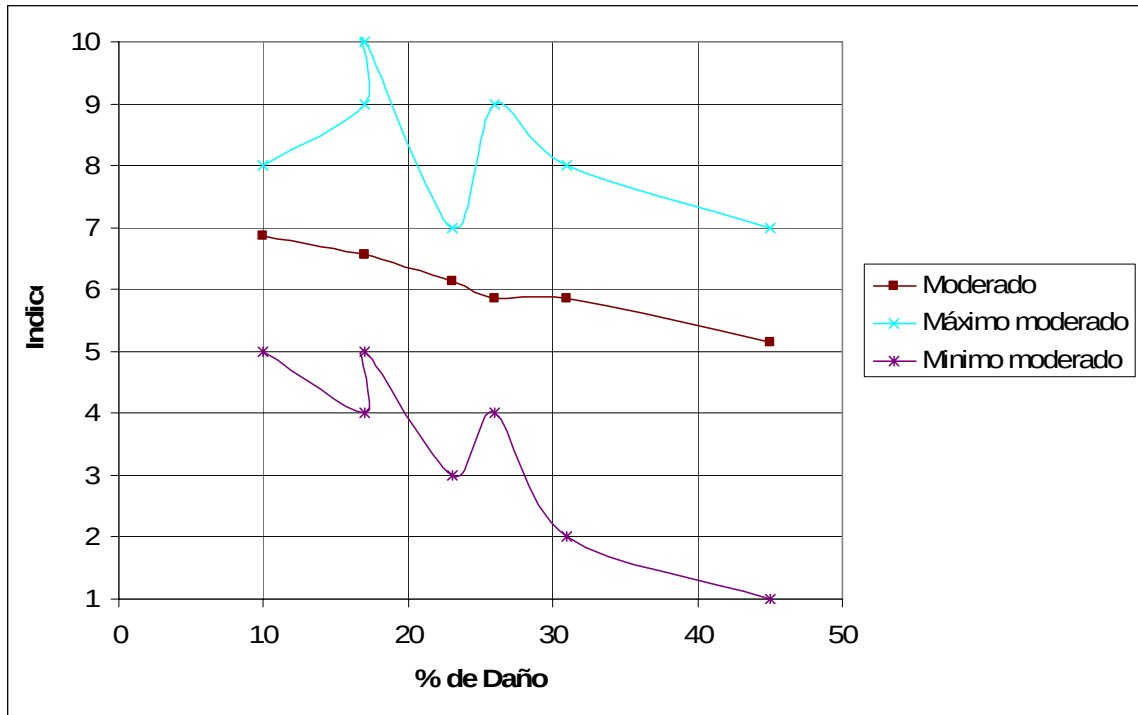


Figura 6.47 Curvas envolventes para nivel de severidad moderado en cunetas

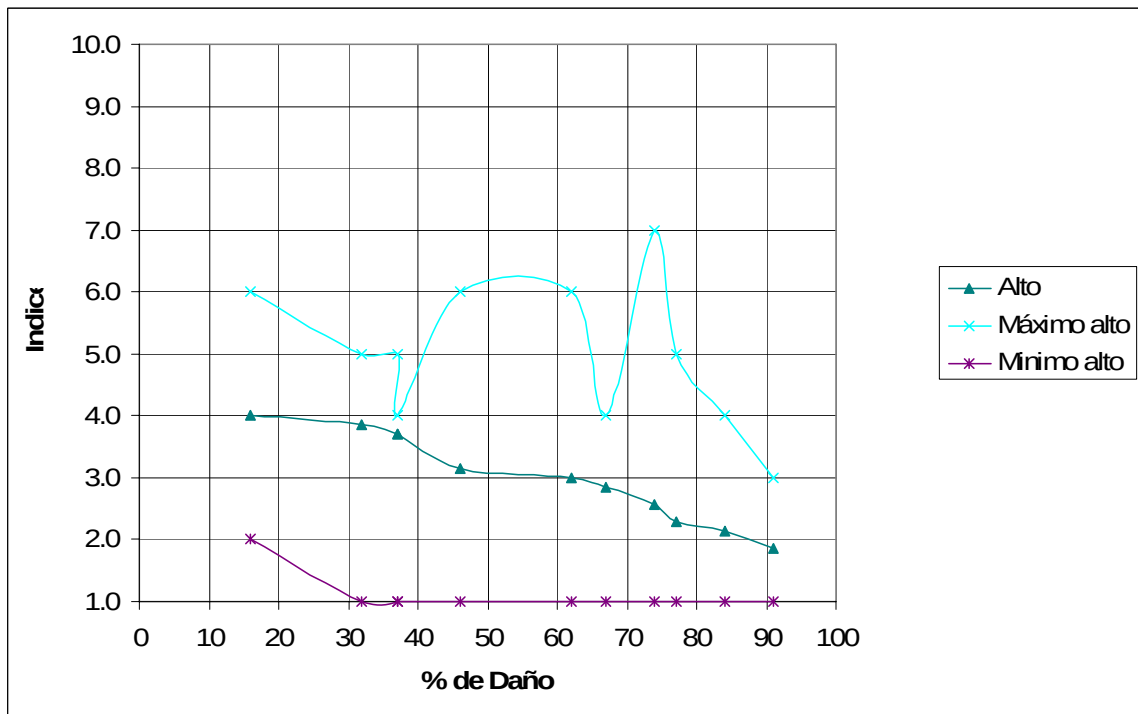


Figura 6.48 Curvas envolventes para nivel de severidad alto en cunetas

La Figura 6.49 muestra las envolventes para las curvas de nivel de severidad bajo y alto respectivamente. Se observa que la envolvente de mínimos para el nivel de severidad bajo no se solapa con la envolvente de máximos para el nivel de severidad alto. Sin embargo, si se extrapolaran los datos de la envolvente inferior del nivel de severidad bajo se cruzarían los datos con la curva anteriormente mencionada para el nivel de severidad alto.

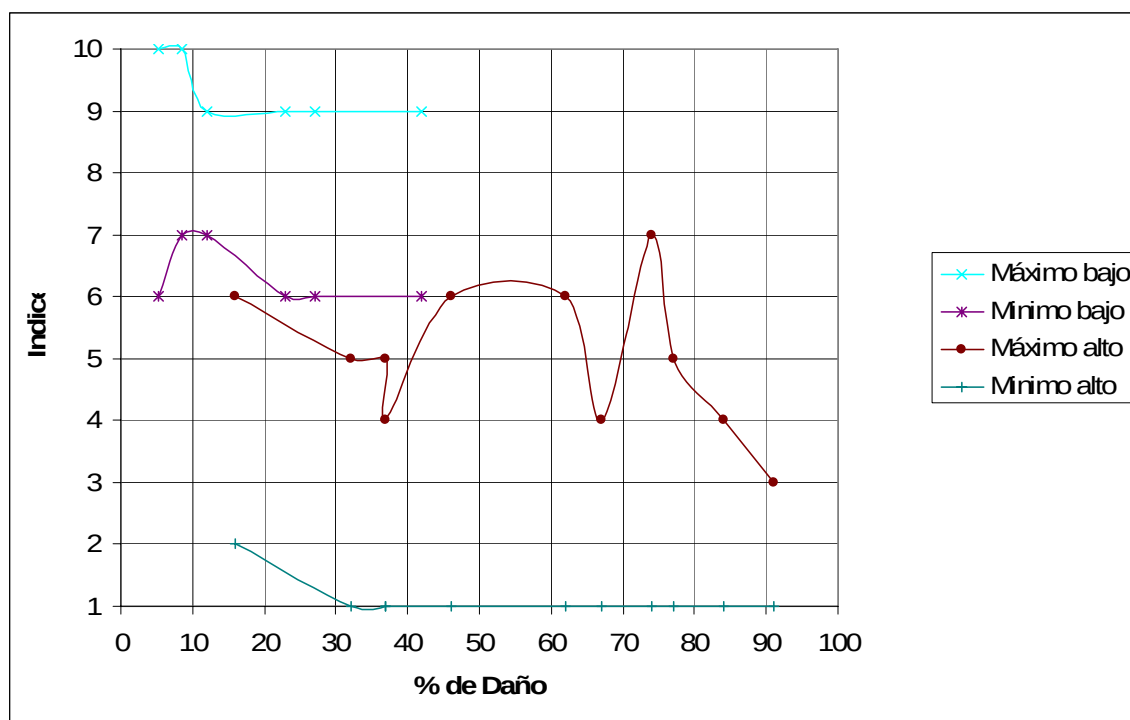


Figura 6.49 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo y alto en cunetas

Las cunetas, según el panel de expertos, presentan problemas al encontrarse saturadas de vegetación y fango. Los niveles de severidad varían de acuerdo al mantenimiento que se les hace a las mismas por parte del Departamento de Obras Públicas. La tendencia de las curvas de severidad baja y media decaen con una pendiente pronunciada a medida que aumenta la severidad, mientras que en el caso de la curva de severidad alta, la pendiente es constante, lo cual refleja que el índice disminuye a medida que aumenta la severidad de los daños. La Figura 6.50 muestra las curvas elaboradas para este renglón.

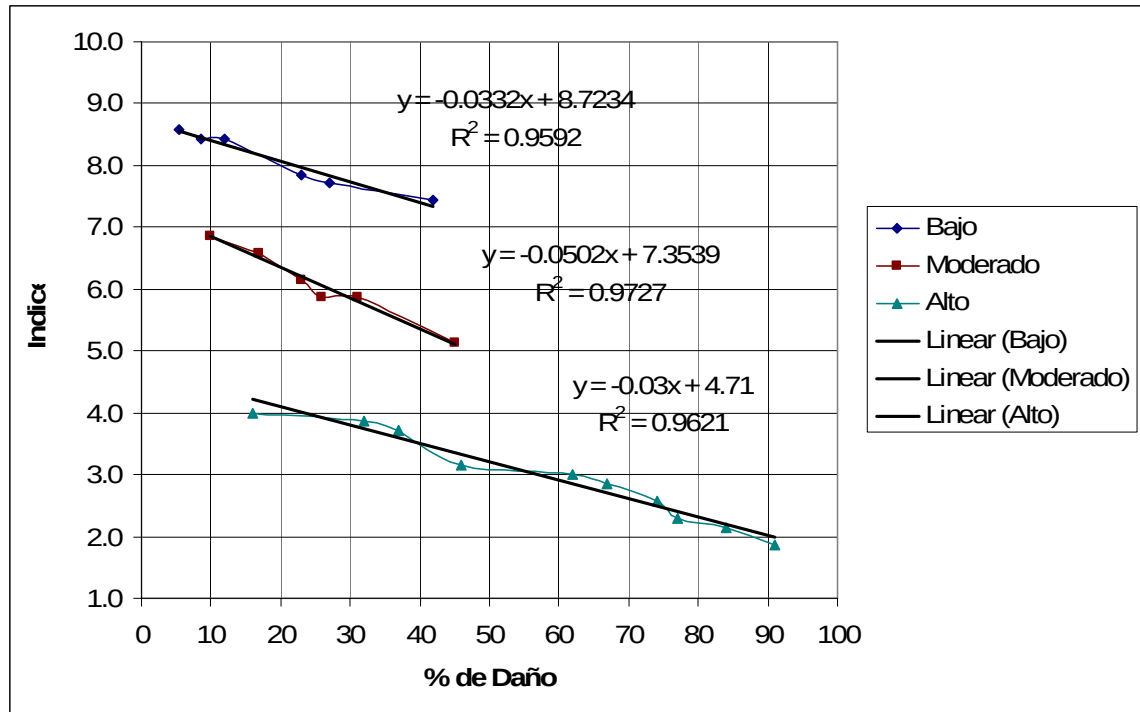


Figura 6.50 Curvas de severidad para cunetas

Se observa que la tendencia que tienen las curvas de severidad de nivel bajo y medio es similar, pero la curva para el nivel de severidad alto varía en su pendiente, esto debido a la severidad de los daños en las cunetas. Como se observa en la Figura 6.51 la mayor dispersión se presenta en las fotografías con un nivel de severidad alto, debido a la complejidad de las imágenes y la opinión de los expertos varía considerablemente al evaluar las mismas.

Los valores obtenidos con la regresión para los diferentes niveles de severidad son los siguientes para un nivel de significancia del 95% :

Severidad Baja

$$R^2 = 0.9592$$

$$F\text{-test} = 484.08$$

$$p\text{-value} = 0.0001$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 484.08 > 4$$

Severidad Moderada

$$R^2 = 0.9727$$

$$F\text{-test} = 314.07$$

$$p\text{-value} = 0.0001$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 314.01 > 4$$

Severidad Alta

$$R^2 = 0.9621$$

$$F\text{-test} = 26.11$$

$$p\text{-value} = 0.0069$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 26.11 > 4$$

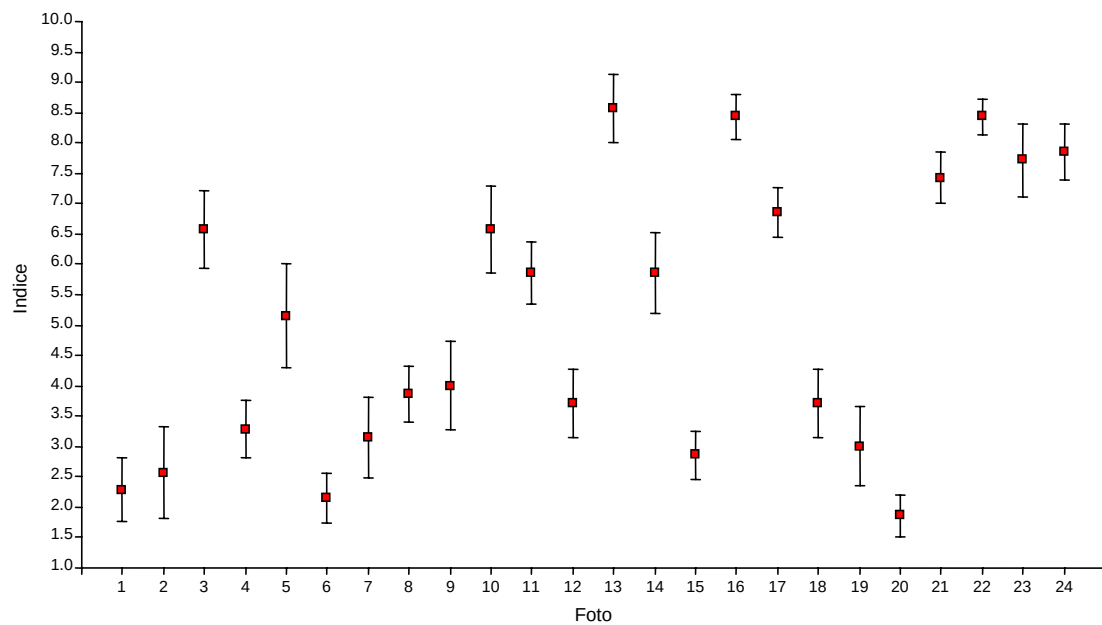


Figura 6.51 Error estándar para la secuencia de fotografías de cunetas

Las bandas de confianza para las curvas de severidad de los tres niveles, muestran nuevamente que los datos son confiables, al cumplir el nivel de

confianza del 95%, como se puede observar en las Figuras 6.52, 6.53 y 6.54 respectivamente.

La Tabla 6.6 relaciona cada fotografía con la severidad para las cunetas.

Tabla 6.6 Severidad para cada fotografía evaluada para cunetas

Fotografía	Promedio	Desv Std	CV
1	2.3	1.38	0.60
2	2.6	1.99	0.77
3	6.6	1.72	0.26
4	3.3	1.25	0.38
5	5.1	2.27	0.44
6	2.1	1.07	0.50
7	3.1	1.77	0.56
8	3.9	1.21	0.31
9	4.0	1.91	0.48
10	6.6	1.90	0.29
11	5.9	1.35	0.23
12	3.7	1.50	0.40
13	8.6	1.51	0.18
14	5.9	1.77	0.30
15	2.9	1.07	0.37
16	8.4	0.98	0.12
17	6.9	1.07	0.16
18	3.7	1.50	0.40
19	3.0	1.73	0.58
20	1.9	0.90	0.48
21	7.4	1.13	0.15
22	8.4	0.79	0.09
23	7.7	1.60	0.21
24	7.9	1.21	0.15

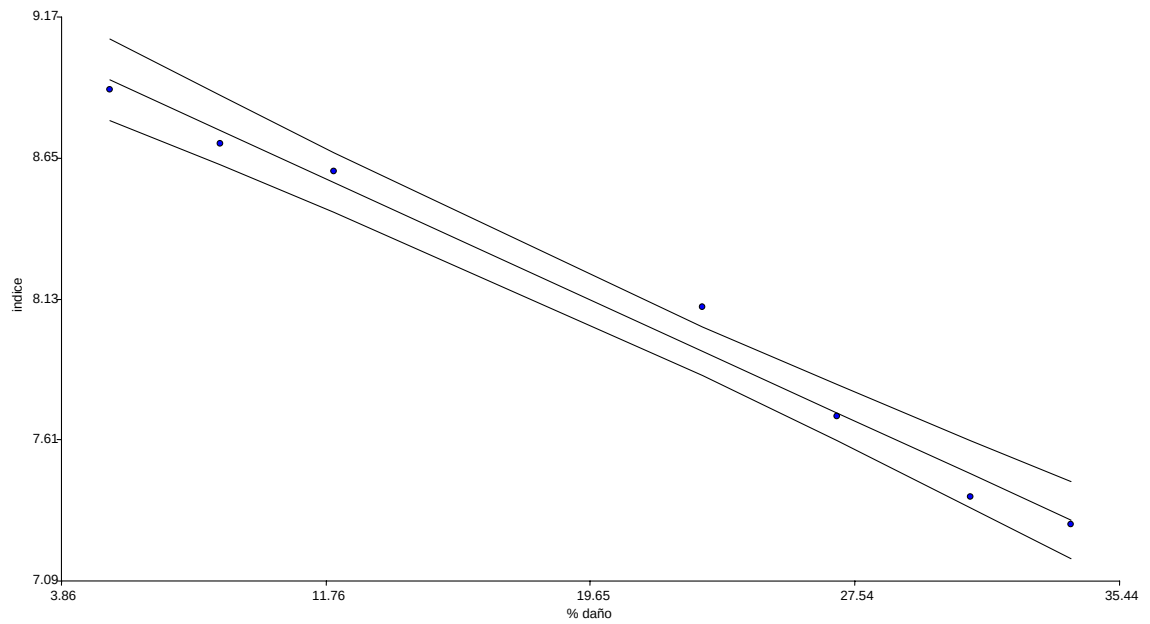


Figura 6.52 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel bajo para cunetas (95% de confiabilidad)

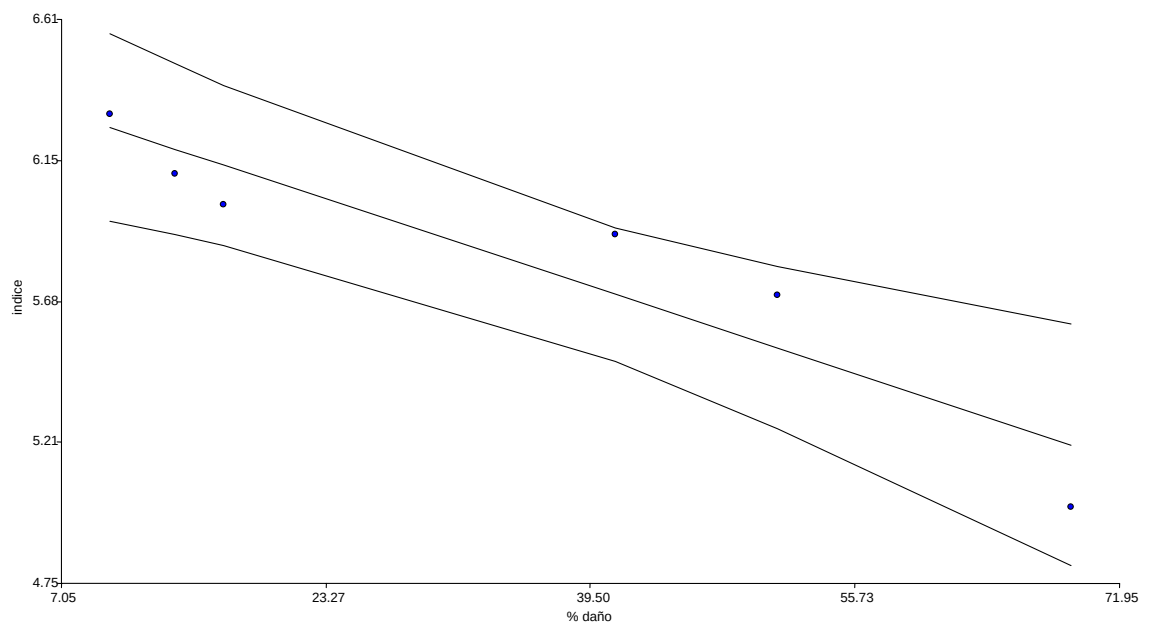


Figura 6.53 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel moderado para cunetas (95% de confiabilidad)

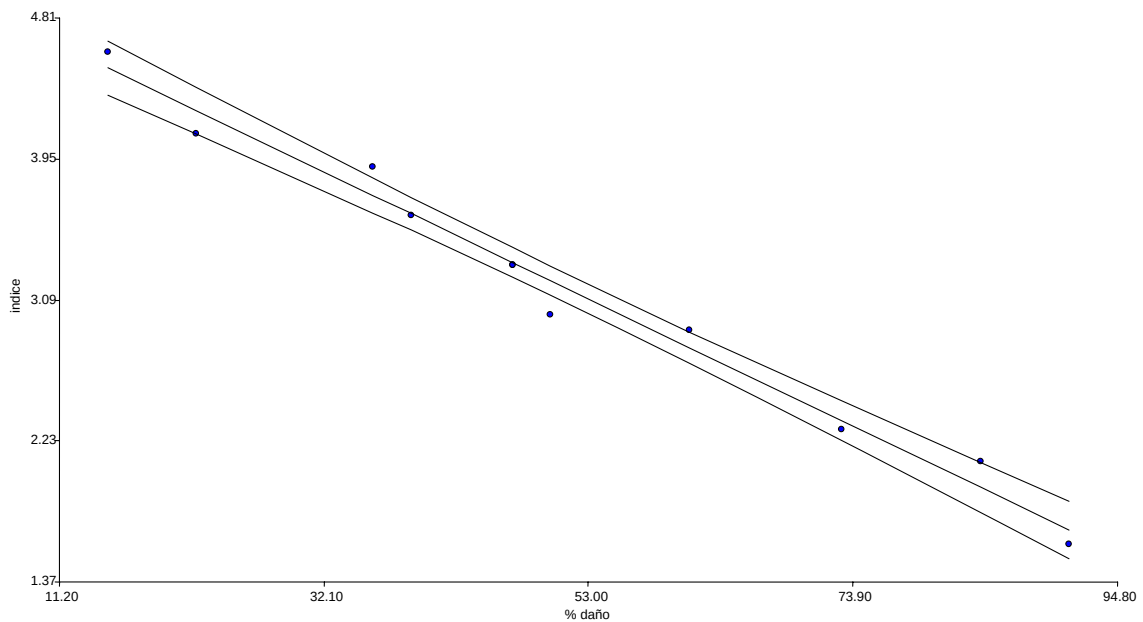


Figura 6.54 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel alto para cunetas (95% de confiabilidad)

6.6.2.5 Objetos fijos a la orilla de la carretera

La Figura 6.55 muestra las envolventes máximas y mínimas para el nivel de severidad bajo. Se observa que se presenta mucha variabilidad en la información, con lo cual es claro que la información suministrada en las fotografías no es clara para el panel de expertos.

La misma situación se presenta para los niveles de severidad moderado y alto como se puede observar en las Figuras 6.56 y 6.57 respectivamente, solo que en la envolvente de minima para el nivel de severidad alto permanece constante para 6 de 7 evaluadores.

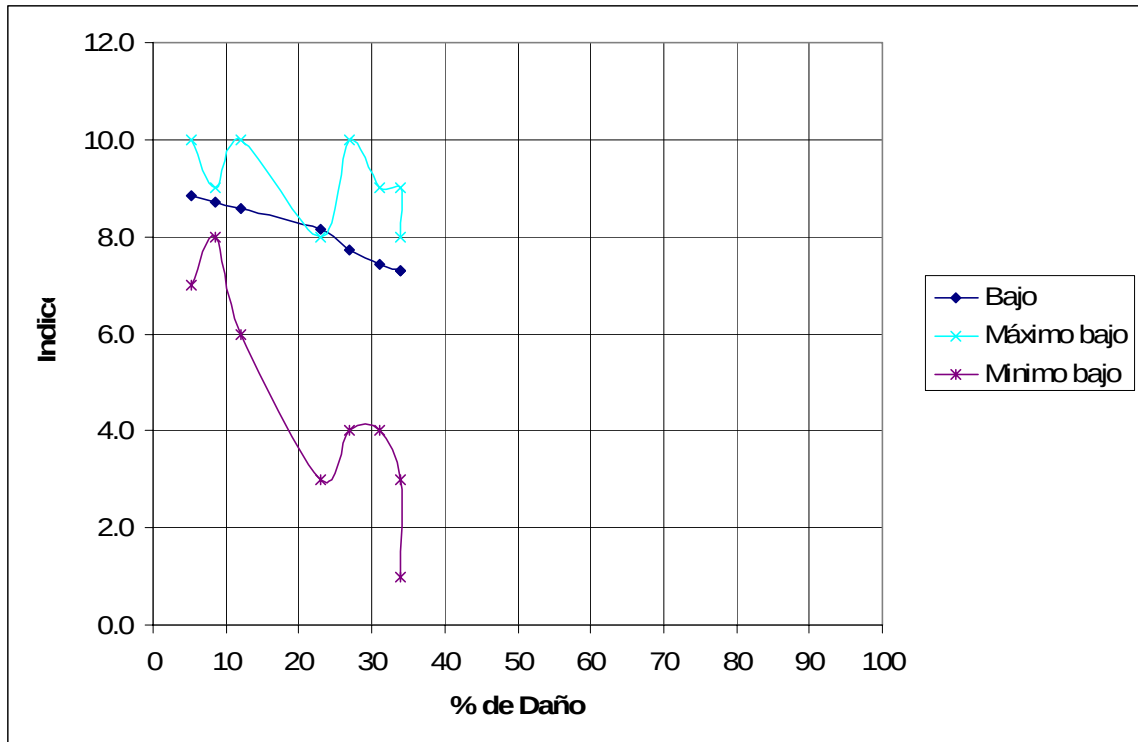


Figura 6.55 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo objetos fijos

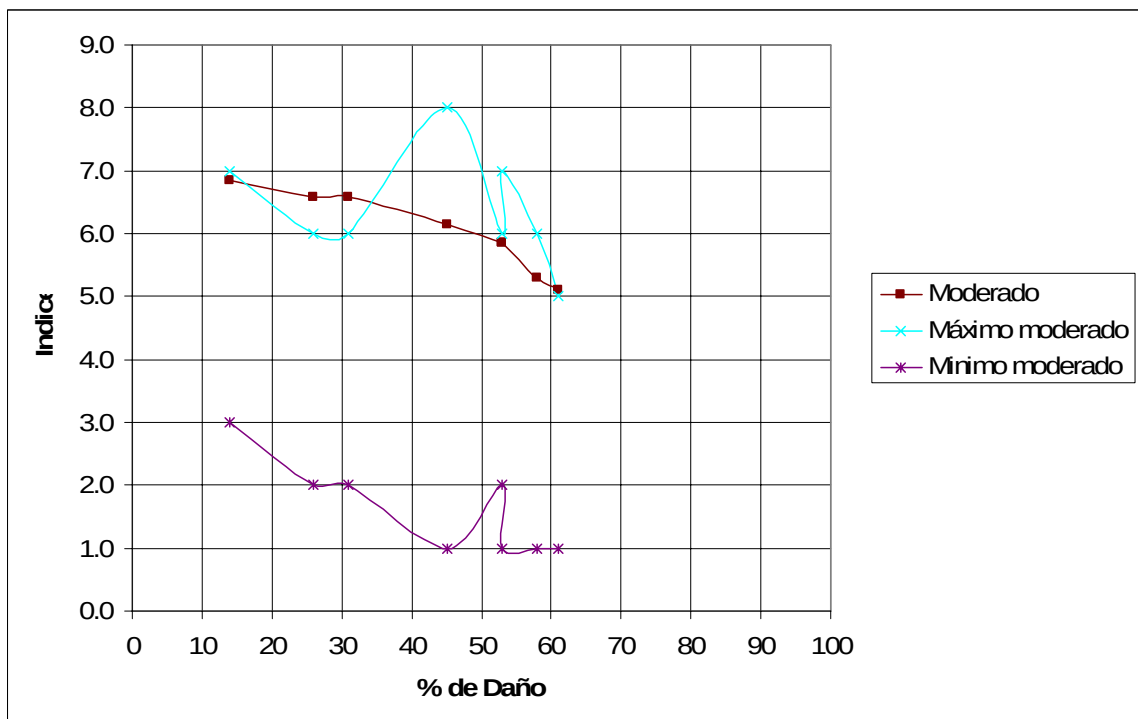


Figura 6.56 Curvas envolventes para nivel de severidad moderado en objetos fijos

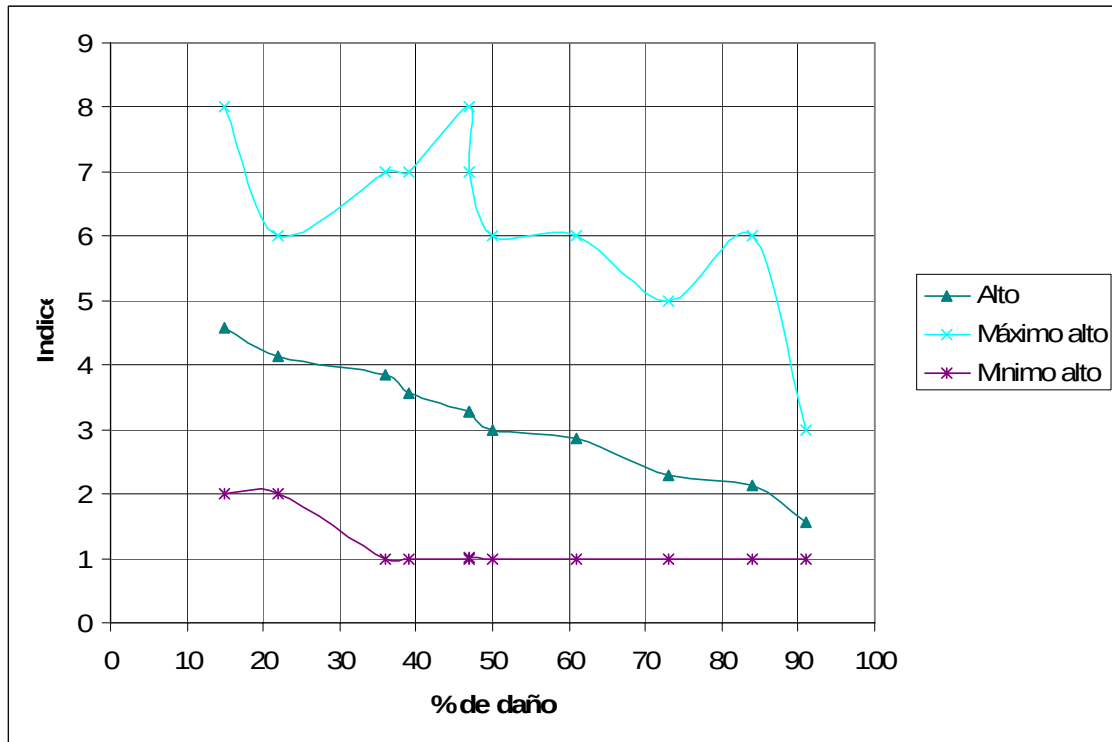


Figura 6.57 Curvas envolventes para nivel de severidad alto para objetos fijos

En la Figura 6.58 se observa como en los casos anteriores que se cruxan las curvas, motivo por el cual se decidió trabajar con los promedios de los datos obtenidos por parte de los expertos.

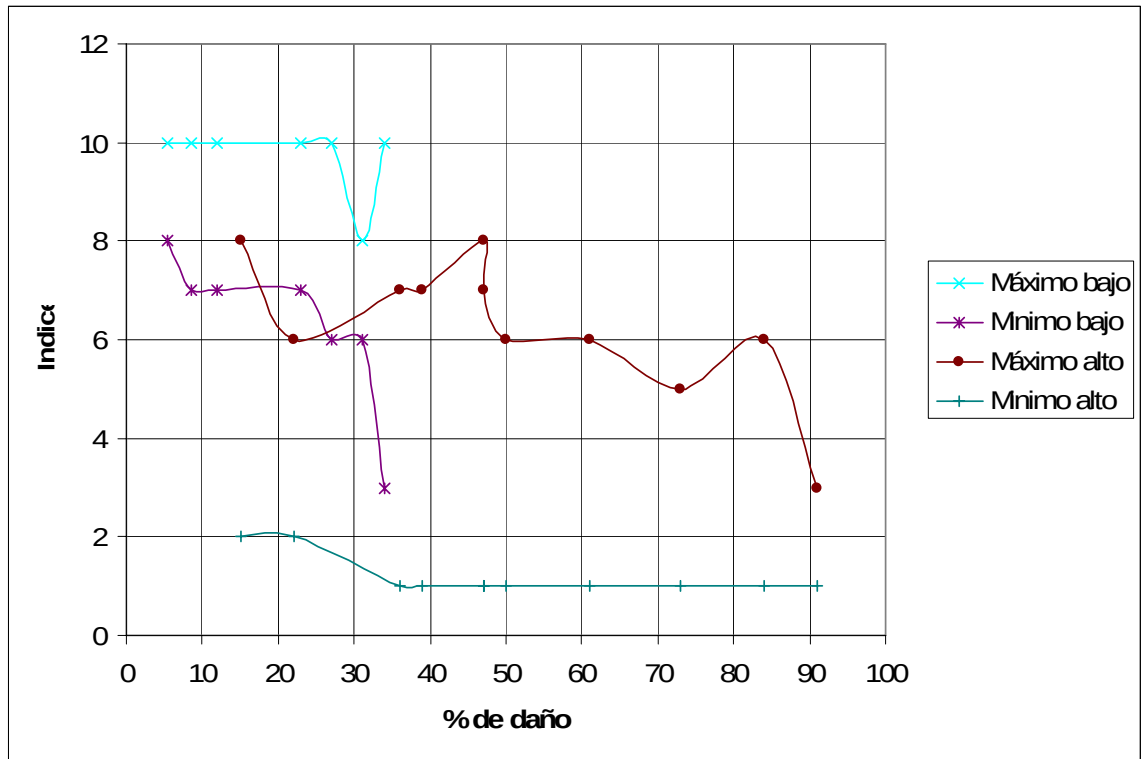


Figura 6.58 Curvas envolventes para nivel de severidad bajo y alto en objetos fijos

Para la elaboración de las curvas de severidad en objetos fijos, se analizaron diferentes dispositivos como postes, señales de tránsito, árboles, buzones, vehículos estacionados a las afueras de negocios para venta de carros y paraderos entre otros. En el tramo analizado, se encontraron postes de aluminio y concreto, buzones y otros localizados de manera adecuada y en general, debido a la falta de conocimiento a la hora de instalarse estos dispositivos, de la manera errada. Cabe anotar que el personal al instalar dichos dispositivos, y las barreras que los escudan, creen que al instalarse la barrera lo más cercano al objeto fino es mas seguro, sin que nadie les explique que no lo es. La Figura 6.59 muestra las curvas elaboradas para la evaluación de dichos objetos.

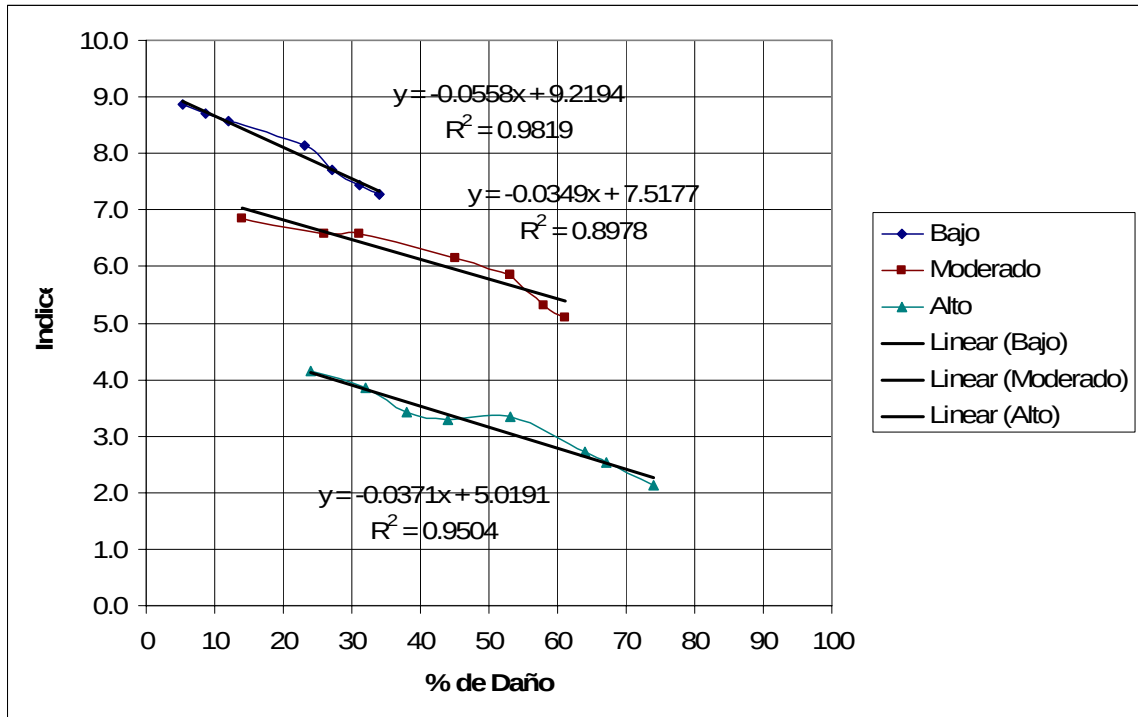


Figura 6.59 Curvas de severidad para objetos fijos

La unidad de evaluación de objetos fijos es el número de objetos fijos a la orilla de la carretera por cada 100 m o 328 pies aproximadamente y la distancia desde el borde del pavimento (si aplica). Con estos criterios, se evaluaron los diferentes objetos fijos.

Los valores obtenidos con la regresión para los diferentes niveles de severidad son los siguientes para un nivel de significancia del 95% :

Severidad baja

$$R^2 = 0.9819$$

$$F\text{-test} = 86.43$$

$$p\text{-value} = 0.0001$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 86.43 > 4$$

Severidad Moderada

$$R^2 = 0.8978$$

$$F\text{-test} = 458.83$$

$$p\text{-value} = 0.0001$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 458.83 > 4$$

Severidad Alta

$$R^2 = 0.9504$$

$$F\text{-test} = 52.40$$

$$p\text{-value} = 0.0004$$

$$F_{\text{Mod}} > F_{\text{Crítico}} \rightarrow 52.40 > 4$$

Se observa que la tendencia de la curva de severidad alto presenta un cambio en la pendiente, mientras que las curvas de severidad bajo y medio conservan una tendencia decreciente. Resulta mas difícil evaluar objetos fijos con un nivel severidad alto, que en los casos de niveles de severidad bajo y medio. En la Figura 6.60 se observa que el error es mayor en el nivel de severidad alto, confirmado lo expuesto anteriormente. Las bandas de confianza para estas curvas, confirman una vez más que los datos son confiables para la elaboración de las mismas, como se observa en las Figuras 6.61 y 6.62.

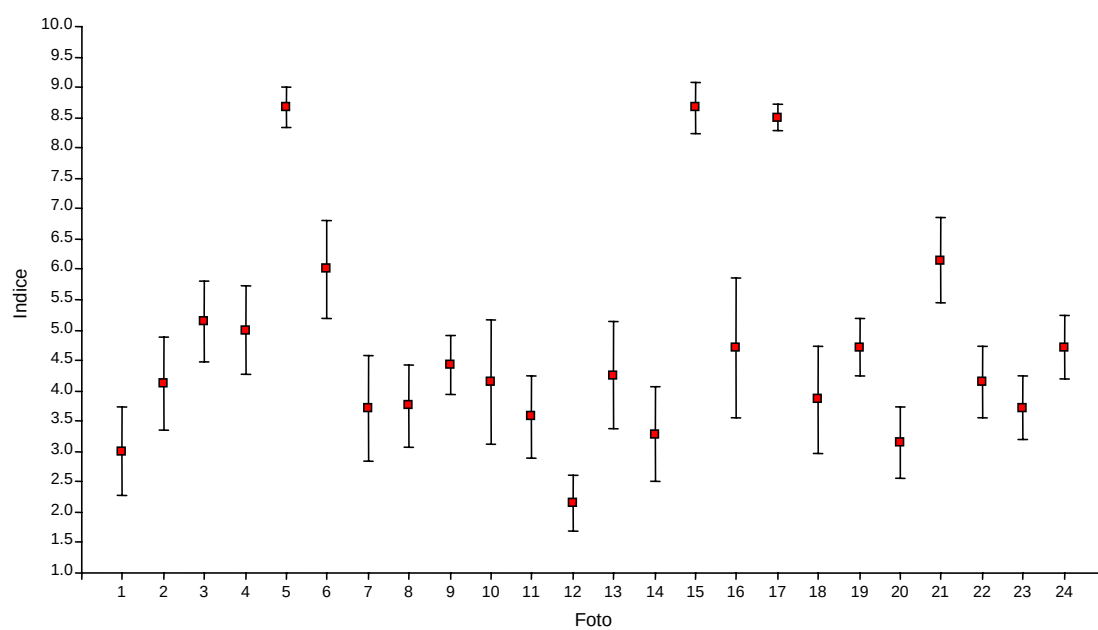


Figura 6.60 Error estándar para fotografías de objetos fijos

Tabla 6.7 Severidad para cada fotografía evaluada para objetos fijos

Fotografía	Promedio	Desv Std	CV
1	3.0	1.91	0.64
2	3.6	1.62	0.45
3	5.1	1.77	0.34
4	5.0	1.91	0.38
5	8.3	1.25	0.15
6	6.0	2.16	0.36
7	3.7	2.29	0.62
8	3.4	1.81	0.53
9	4.4	1.27	0.29
10	4.1	2.73	0.66
11	3.6	1.81	0.51
12	2.3	1.38	0.60
13	3.4	1.72	0.50
14	3.3	2.06	0.63
15	8.7	0.95	0.11
16	4.7	3.04	0.64
17	8.4	0.53	0.06
18	3.9	2.34	0.61
19	4.7	1.25	0.27
20	3.1	1.57	0.50
21	6.1	1.86	0.30
22	4.1	1.57	0.38
23	3.7	1.38	0.37
24	4.7	1.38	0.29

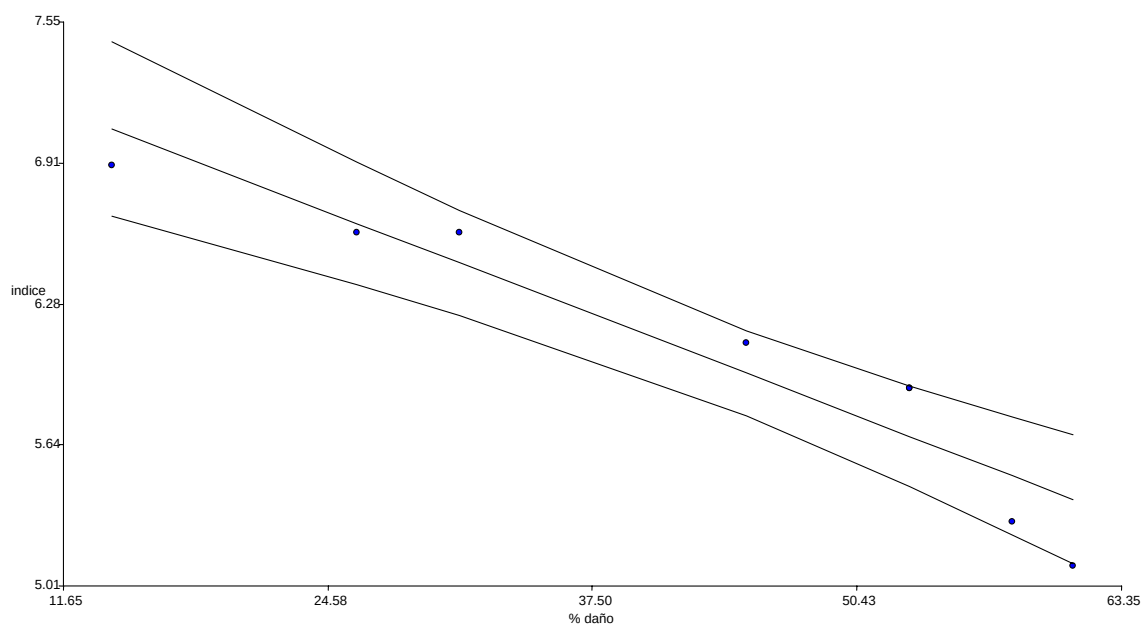


Figura 6.61 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel moderado (95% de confiabilidad)

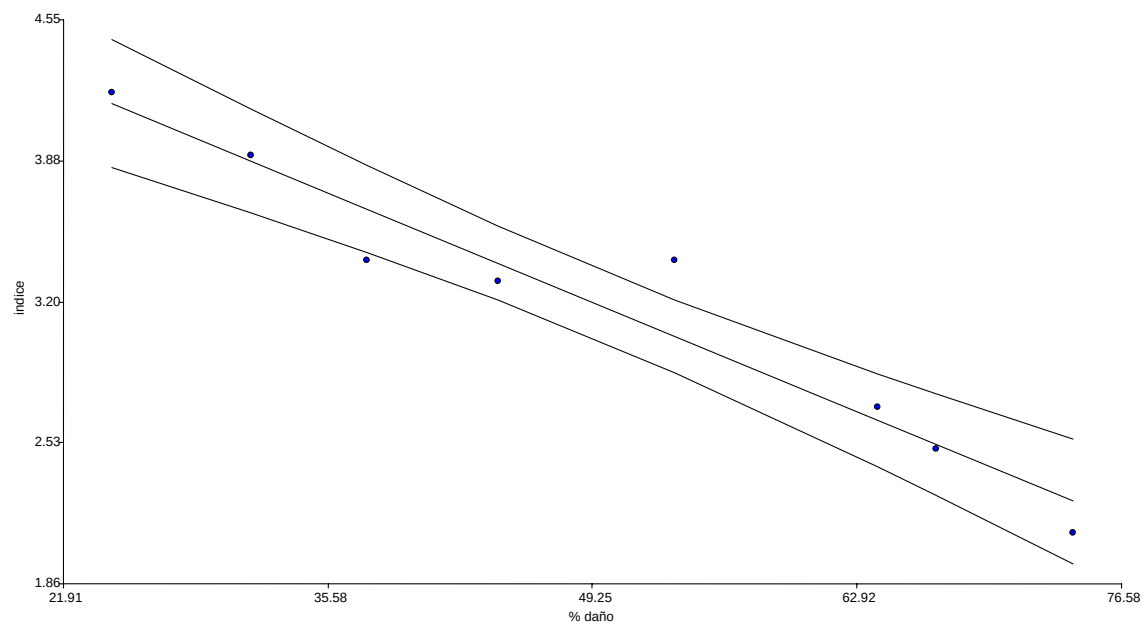


Figura 6.62 Bandas de confianza para curvas de severidad de nivel alto (95% de confiabilidad)

CAPÍTULO 7: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

En este capítulo se explicará la aplicación de la metodología elaborada para desarrollar una Auditoria en el tramo seleccionado de la carretera estatal PR-2, el inventario de los dispositivos de la carretera y un análisis de la auditoria, con las sugerencias propuestas.

7.1 Elaboración de una auditoria en seguridad vial modificada

La metodología utilizada para la elaboración de la Auditoria se explica a continuación.

1. Se realizaron visitas al tramo seleccionado, haciendo una inspección general para determinar los tópicos a evaluar en la carretera.
2. Se dividió la realización de la Auditoria en zona urbana, zona rural y zonas de construcción
3. La Auditoria, se realizó primero observando la orilla de la carretera, luego el carril y finalmente la mediana de la carretera, tanto de día como de noche. Adicionalmente se tomaron fotografías de cada una de las situaciones, que a juicio del autor, se debían catalogar como un defecto o una situación que se atendió de la manera adecuada en la carretera. se hizo conteos de postes, longitud total de barreras, longitud de barreras impactadas, y porcentajes de daños de pavimentos entre otros.
4. A medida que se avanzaba en la carretera se fueron utilizando las listas de cotejo, y las curvas de severidad, se calificaron cada uno de los elementos en la carretera. Para el caso de la evaluación de pavimentos, se utilizó el protocolo expuesto en la norma ASTM-D 6433-99 "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys".

5. Finalmente, cuando se terminó el proceso en campo, se analiza la información obtenida y se procedió a elaborar el reporte de Auditoria, sugiriendo las mejoras y medidas correctivas que se deben tomar en el tramo auditado.

A continuación se expone la información de campo recolectada para la elaboración de la Auditoria.

Cada una de las listas de cotejo tiene una descripción del segmento a evaluar con las siguientes variables:

- Carretera: nombre de la carretera a auditar.
- Kilómetro de inicio
- Kilómetro de finalización
- Dirección en que se hace la Auditoria en la carretera
- Clasificación funcional: si es una autopista, un expreso, arteria principal, colectura, vial local o carretera rural.
- Condiciones climáticas: si el clima es seco, mojado, o hay neblina.
- Paseo: si existe paseo en ambos carriles, solo a la orilla de la carretera o solo en la mediana de la carretera.
- Hora en que se realiza la Auditoria
- Número de carriles auditados

El proceso de realizar la Auditoria se hace primero observando todos los elementos a la orilla de la carretera, luego se realiza en los carriles y finalmente en la mediana de la carretera. Este proceso se debe hacer en ambos sentidos de la carretera, de día y de noche.

La metodología para usar las curvas de severidad es muy sencilla; simplemente se observa el defecto a auditar, se mide el defecto y de acuerdo a lo estipulado

en cada uno de defectos evaluados anteriormente, se selecciona la curva adecuada.

Obteniendo el nivel de daño, (a criterio del evaluador y de acuerdo a los niveles de severidad explicados anteriormente) se lee el porcentaje de daño y así, se puede obtener el índice de daño para el elemento a evaluar. El valor obtenido se anota en la casilla correspondiente de la lista de cotejo. La metodología fue realizada por el ingeniero experto en seguridad vial, quien en este caso es el autor de esta investigación.

La Tabla 7.1 resume los tramos en secciones homogeneas en los cuales se dividió la carretera para realizar la auditoria. Estas secciones se asignaron de acuerdo a las características de la sección transversal, su geometría, si se encontraba en zona de construcción, si se encontraba entre intersecciones y zonas de instalación de barreras semi-rigidas entre otros. Cabe anotar que estas secciones se dividen en subsecciones, pero por motivos de tipo académico se recomienda hacer este estudio para futuras investigaciones.

Tabla 7.1 Secciones homogéneas de la PR-2 (Km 157 a Km 187)

Sección Homogenea	Km de inicio	Km final	Características generales
1	157.0	159.0	Zona urbana, carretera de 3 carriles por sentido mas paseo, pavimento rígido, comienza y finaliza en intersección
2	159.0	160.0	Cambio de 3 carriles a 2 carriles, cambio de pavimento rigido a flexible
3	160.0	161.9	Carretera de 2 carriles mas paseo. Inicia zona de construcción en el km 161.9
4	161.9	163.1	Termina zona de construcción km 163.1. Carretera de 2 carriles mas paseo
5	163.1	168.0	Zona rural, carretera de 2 carriles mas paseo; carretera con barrera semi-rígida
6	168.0	172.6	Barreras semi-rigidas nuevas a la orilla de la carretera y barrera rígida en la mediana
7	172.6	176.2	Zona rural, inicia instalación de barrera semi-rígida a la orilla de la carretera
8	176.6	178.4	Zona rural, 2 carriles más paseo.
9	178.4	183.5	Zona de construcción
10	183.0	187.0	Zonal rural, carretera de 2 carriles más paseo. Barrera semi-rígida a la orilla

Orilla de la carretera

[illegible]

[illegible]

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 157 Km terminación: 159 ADT _____
 Clasificación funcional: Autopista principal urbana
 Fecha: 02-04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 3 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
2. Descripciones generales de señales de tránsito									25	
¿Es necesario instalar todas las señales preventivas, obligatorias e informativas en la vía? Estas son claras y sencillas?		x		A	10				20	
¿Las señales utilizadas son las adecuadas en cada situación y estas son necesarias?		x		A		6			20	
¿Todos las señales son eficaces para todas las condiciones probables (por ejemplo, el día, la noche, la lluvia, la niebla, amanecer o el sol poniente, luces de vehículos, la iluminación pobre)?			x	A		5			20	Hay confusión con señales
¿Si las restricciones aplican a cualquier clase de vehículo, son lo suficientemente claras para los conductores?		x		A	9				20	Señales que no son reflectivas
¿Si las restricciones aplican para cualquier clase de vehículo, los conductores son informados de rutas alternativas?			x	A		5			20	No existen rutas alternas
3. Legibilidad de señales									25	
¿De día y de noche, las señales las señales son satisfactorias en cuanto a la visibilidad?			x	M			3		20	Señales sucias
-¿Es claro el mensaje?		x		A		6			15	
Son legibles las señales?		x		A		6			15	
¿La retrorreflectividad o iluminación de la señal es satisfactoria?			x	A		5			20	Señales que no son fabricadas con lámina reflectiva
¿Las señales pueden ser vistas sin han sido ocultadas por sus mensajes de fondo o mensajes adyacentes que distraigan?			x	A			2		20	
¿El conductor se puede confundir debido a demasiadas señales?		x		M		6			10	

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 157 Km terminación: 159 ADT _____
 Clasificación funcional: Autopista principal urbana
 Fecha: 02-04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 3 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

REGLON	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 6			
4. Señales de soporte									25	
¿Todas las señales está fuera de la zona libre de obstáculos?			x	A		5			50	Mirar curvas de objetos fijos
Si no:										
-¿ Son frágiles?		x		A	9				25	
-¿Están escudadas por barreras (por ejemplo, atenuadores de impacto)?			x	A		5			25	
PUENTES Y ALCANTARILLAS									5	
1. características de diseño									30	
¿Los puentes y las alcantarillas tienen el ancho requerido?		x		A	9				50	
¿Son el puente y ancho de alcantarilla compatibles con condiciones de la via?		x		A	9				25	
¿El alineamiento es compatible con el 85 percentil de la velocidad de viaje?		x		A	9				25	
2. Barreras de impactos									40	
¿Son las barreras de tráfico convenientes sobre puentes y alcantarillas y sus accesos para proteger a vehículos errantes?		x		A		6			50	
¿La conexión entre la barrera y el puente es segura?		x		A		6			25	
¿El puente es capaz de reducir la eficacia de las barreras?		x		A		6			25	
3. Miscelaneos									30	
¿Las facilidades para peatones en el puente son seguras y apropiadas?	x								60	
¿Es prohibida la pesca sobre el puente? ¿Si no, tiene la provisión sido hecho para que la pesca sea segura?	x								20	
¿El demarcado continua sobre el puente?		x		A	10				20	

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 157 Km terminación: 159 ADT _____
 Clasificación funcional: Autopista principal urbana
 Fecha: 02-04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 3 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
CARRILES AUXILIARES									10	
1. Transiciones									20	
¿Las alineaciones del comienzo y final de las transiciones están alineadas correctamente?			x	A			3		50	Zonas en construcción no cumplen mirar MUTCD
¿La distancia de visibilidad es suficiente al final del carril auxiliar?		x		A		6			50	
2. Paseos									20	
¿Es apropiado el ancho del paseo provisto para las confluencias?			x	A			4		50	
¿Se mantiene el ancho del paseo al lado del carril auxiliar?			x	A			4		50	
3. Señalización y demarcado									30	
¿Se tienen instaladas todas las señales de tránsito de acuerdo con las normas exigidas?		x		A		6			30	
¿Todas las señales son claras y concisas?		x		A		6			30	
¿El demarcado de carriles cumple con las normas?		x		A		6			20	
¿Las señales de precaución se encuentran instaladas al acercarse a carriles auxiliares?		x		A		6			20	Zonas de construcción
4. Giros									30	
¿Se provee un carril para hacer los giros a la derecha?		x		A		6			50	
¿Existen señales de advertencia para realizar los giros?		x		A		6			50	

[illegible]

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 157 Km terminación: 159 ADT _____

Clasificación funcional: Autopista principal urbana

Fecha: 02-04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM

Número de carriles por dirección 3 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
3. Ciclistas									30	
¿El ancho del pavimento es el adecuado para el numero de ciclistas que utilizan la vía?		x		M		6			40	
¿La ciclo ruta es continua?	x								50	
¿Las rejillas de los drenajes en la ciclo ruta son seguras?	x								10	
4. Transporte público									20	
¿Las paradas de bus están localizadas en zonas seguras y son visibles y claras en el carril de tráfico?		x				6			25	
¿Las paradas de autobus en zonas rurales son anunciadas con anterioridad?	x								25	
¿Los asientos son localizados para evitar que la visual se pierda?		x				6			25	
¿La forma y altura del encintado en las paradas de bus es la adecuada para peatones y conductores?		x				6			25	
MISCELANEOS									5	
1. Paisajismo									5	
¿El paisajismo está de acuerdo con las normas establecidas?			x	A		5			10	Exceso de vegetación
¿Se recorta la hierba, cesp�ed y ramas de los árboles que crece en la mediana y la orilla de la carretera?		x		A	9				20	Mirar curvas de vegetación
¿La vegetación genera problemas de visibilidad en la vía?		x		A			4		20	
El paisajismo afecta:										
¿La visibilidad?		x		A			4		10	
¿Salidas o accesos??		x		A			4		10	
¿Cuando se siembran árboles									10	
¿Los conductores observan los árboles?		x		A		6			10	
¿Es seguro transitar fuera de la carretera??			x	A		5			10	No hay espacio lateral

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 157 Km terminación: 159 ADT _____
 Clasificación funcional: Autopista principal urbana
 Fecha: 02-04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 3 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
2.Zonas de trabajo temporal									5	
¿Todas las locaciones y equipos de la construcción disponen de espacio?		x		A		6			50	
¿Todas las locaciones tienen señalización de zona de tráfico temporal?		x		A	9				50	

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 157 Km terminación: 159 ADT _____
 Clasificación funcional: Autopista principal urbana
 Fecha: 02-04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 3 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
4. Señales de soporte									5	
¿Todas las señales está fuera de la zona libre de obstáculos?			x	A			2		60	Mirar curvas objetos fijos
Si no:										
- ¿son frágiles?		x		A	9				20	
- ¿Están escudadas por barreras (por ejemplo, atenuadores de impacto)?			x	A		6			20	
									5	
									50	
SEMAFORIZACIÓN										
1. Operaciones									20	
¿El semáforo opera correctamente?		x		A	9				20	
¿El número, ubicación y tipo de semáforo suado es el apropiado para tráfico mixto?		x		A	9				20	
¿Dónde necesario, existen las provisiones para peatones visualmente perjudicados?			x	A			4		20	
¿Dónde necesario, existen la provisiones para peatones ancianos o discapacitados?			x	A			3		20	
¿El controlador está localizado en una posición segura?		x		A		6			20	
¿En condiciones (en especial la resistencia a patinar) de la superficie de la carrereta es o satisfactoria?		x		A		5				
2. Visibilidad									50	
¿Los semáforos son claramente visibles para los conductores?		x		A	9				20	
¿las distancias de parada en los semáforos son las adecuadas para que los vehiculos se detengan?		x		A		6			20	
¿Existen problemas de visibilidad causadas por el brillo en el amanecer o en el ocaso del sol sobre los conductores?		x		A		5			30	

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 157 Km terminación: 159 ADT _____
 Clasificación funcional: Autopista principal urbana
 Fecha: 02-04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 3 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
¿Los semáforos son escudados para que sean vistos solo por los motoristas?			x	A	8				10	
¿Donde los semáforos no son visibles es adecuado instalar señales de advertencia y/o señales intermitentes?		x		A	8				10	
¿Donde los semáforos son instalados en zonas altas es adecuado instalar señales de advertencia y/o señales intermitentes?	x								10	
SEÑALES DE TRÁNSITO Y SEMAFORIZACIÓN										
1. Iluminación									5	
¿Se requiere de la iluminación y, si es así, es proporcionada lo suficientemente?			x	A	8				25	
¿La carretera está libre de características que interrumpen la iluminación?			x	A		6			20	Vegetación en zona rural
¿La carretera está libre de postes de iluminación o de objetos fijos a la orilla de la carretera peligrosos?			x	A			4		10	No están protegidas
¿Iluminación ambiental: ¿si esto crea necesidades de iluminación especiales, hay satisfacción?			x	A		6			20	
¿La iluminación temporal puede confundir o crear efectos sobre las señales de tránsito?	x								10	
¿Hay zonas que no estén cubiertas por la iluminación?	x								10	
2. Descripciones generales de señales de tránsito									25	
¿Es necesario instalar todas las señales preventivas, obligatorias e informativas en la vía? Estas son claras y sencillas?		x		A	9				30	
¿Las señales utilizadas son las adecuadas en cada situación y estas son necesarias?		x		A		5			20	Saturación de señales en zonas de construcción

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 157 Km terminación: 159 ADT _____
 Clasificación funcional: Autopista principal urbana
 Fecha: 02-04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 3 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
¿Todos las señales son eficaces para todas las condiciones probables (por ejemplo, el día, la noche, la lluvia, la niebla, amanecer o el sol poniente, luces de vehículos, la iluminación pobre)?			x	A		5			20	Hay confusión con señales, no cumplen con MUTCD
¿Si las restricciones aplican a cualquier clase de vehículo, son lo suficientemente claras para los conductores?		x		A	7				20	Señales que no son reflectivas
¿Si las restricciones aplican para cualquier clase de vehículo, los conductores son informados de rutas alternativas?			x	A			1		10	No existen rutas alternas
3. Legibilidad de señales									25	
¿De día y de noche, las señales las señales son satisfactorias en cuanto a la visibilidad?			x	M		6			30	Señales sucias
-¿Es claro el mensaje?		x		A		6			10	
¿Son legibles las señales?		x		A		6			10	
¿La retrorreflectividad o iluminación de la señal es satisfactoria?			x	A		5			20	Señales que no son fabricadas con lámina reflectiva
¿Las señales pueden ser vistas sin han sido ocultadas por sus mensajes de fondo o mensajes adyacentes que distraigan?			x	A			4		20	
¿El conductor se puede confundir debido a demasiadas señales?		x		M		6			20	

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 157 Km terminación: 159 ADT _____
 Clasificación funcional: Autopista principal urbana
 Fecha: 02-04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 3 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
4. Señales de soporte									25	
¿Todas las señales están fuera de la zona libre de obstáculos?			x	A		5			50	
Si no:										
- ¿Son frágiles?		x		A	9				25	
- Están escudadas por barreras (por ejemplo, atenuadores de impacto)?			x	A		6			25	Señales instaladas fuera de la barrera

DELINEACIÓN Y DEMARCADO									5	
1. Temas Generales									25	
¿Cuando el marcado y delineación es una línea:									20	
- ¿Es apropiada su función en la carretera?		x		A	9				20	
- ¿Es consistente a lo largo de la carretera?			x	B		6			20	No lo es en la zona de construcción
- ¿Puede ser efectiva bajo todas las condiciones esperadas?			x	A			4		20	No se ve cuando llueve debido a desgaste.
¿El pavimento está libre de marcas excesivas?			x	M		5			20	Doble demarcado
2. Líneas de eje, líneas de borde y líneas de carril									25	
¿Están las línea de eje, las líneas de borde y las líneas de carril? Si no, los conductores van en la dirección adecuada?		x		A	8				20	
¿Se requiere de ojos de gato?		x		A			3		20	En algunas zonas no hay instalados
¿Si se instalan ojos de gato, se hace de la manera correcta, con los colores adecuados y en buenas condiciones?			x	M		6			20	Ausencia de ojos de gato
¿La condición del marcado es buena?		x		M		6			20	en zonas nuevas Km 170
¿Es suficiente el contraste entre la línea de marcado y el pavimento?			x	M		5			20	

[illegible]

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 157 Km terminación: 159 ADT _____
 Clasificación funcional: Autopista principal urbana
 Fecha: 02-05-2006 Condiciones climáticas: día , mojado Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 3 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
PAVIMENTO									10	
1. Defectos en el Pavimento									30	
¿El pavimento está libre de defectos que puedan reflejarse en problemas de seguridad?			x	A		6			50	Consultar ASTM D 6433-99
¿las condiciones del borde del pavimento son satisfactorias?			x	A		6			30	
¿la transición entre el pavimento y el paseo está libre de peligros como desniveles?			x	A		6			20	
2. resistencia al deslizamiento									30	
¿El pavimento tiene la adecuada resistencia al deslizamiento, particularmente en curvas, zonas escarpadas y en cecanías a las intersecciones?		x		A		5			50	
¿Han sido realizadas las pruebas de resistencia de deslizamiento donde es necesario?	x								50	
3. Estancamiento									20	
¿El pavimento está libre de áreas donde se pueda estancar láminas de agua que puedan contribuir a problemas de seguridad?			x	A		6				
4. Material/ grava suelta									20	
¿El pavimento está libre de pérdida de gravas o de otro material?			x	M		6				

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 157 Km terminación: 159 ADT _____
 Clasificación funcional: Autopista principal urbana
 Fecha: 02-04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 3 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
CARRILES AUXILIARES									10	
1. Transiciones									20	
¿Las alineaciones del comienzo y final de las transiciones están alineadas correctamente?			x	A			4		50	Zonas en construcción no cumplen
¿La distancia de visibilidad es suficiente al final del carril auxiliar?		x		A		6			50	
2. Paseos									20	
¿Es apropiado el ancho del paseo provisto para las confluencias?			x	A			4		50	
¿Se mantiene el ancho del paseo al lado del carril auxiliar?			x	A			4		50	
3. Señalización y demarcado									30	
¿Se tienen instaladas todas las señales de tránsito de acuerdo con las normas exigidas?		x		A		6			30	
¿Todas las señales son claras y concisas?		x		A		6			30	
¿El demarcado de carriles cumple con las normas?		x		A		6			20	
¿Las señales de precaución se encuentran instaladas al acercarse a carriles auxiliares?		x		A		6			20	Zonas de construcción
4. Giros									30	
¿Se provee un carril para hacer los giros a la derecha?		x		A		6			50	
¿Existen señales de advertencia para realizar los giros?		x		A		6			50	

Mediana de la carretera

[illegible]

[illegible]

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 161.3 Km terminación: 168 ADT _____
 Clasificación funcional: Carretera Primaria Rural
 Fecha: 08-04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 2 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
PUENTES Y ALCANTARILLAS									5	
1.características de diseño									30	
¿Los puentes y las alcantarillas tienen el ancho requerido?		x		A	10				50	
¿Son el puente y ancho de alcantarilla compatibles con condiciones de la vía?		x		A	9				25	
¿El alineamiento es compatible con el 85 percentil de la velocidad de viaje?		x		A	9				25	
2. Barreras de impactos									40	
¿Son las barreras de tráfico convenientes sobre puentes y alcantarillas y sus accesos para proteger a vehículos errantes?		x		A		6			50	
¿La conexión entre la barrera y el puente es segura?		x		A		6			25	
¿El puente es capaz de reducir la eficacia de las barreras?		x		A		6			25	
CARRILES AUXILIARES									10	
1. Transiciones									20	
¿Las alineaciones del comienzo y final de las transiciones están alineadas correctamente?			x	A			3		50	Zonas en construcción no cumplen
¿La distancia de visibilidad es suficiente al final del carril auxiliar?		x		A		6			50	
2.Paseos									20	
¿Es apropiado el ancho del paseo provisto para las confluencias?			x	A			4		50	
¿Se mantiene el ancho del paseo al lado del carril auxiliar?			x	A			4		50	

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 163.1 Km terminación: 168 ADT _____
 Clasificación funcional: Carretera Primaria Rural
 Fecha: 09-04-2006 Condiciones climáticas: noche seco Hora: 7:00 PM
 Número de carriles por dirección 2 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
3. Señalización y demarcado									30	
¿Se tienen instaladas todas las señales de tránsito de acuerdo con las normas exigidas?		x		A		6			30	
¿Todas las señales son claras y concisas?		x		A		6			20	
¿El demarcado de carriles cumple con las normas?		x		A		6			20	
¿Las señales de precaución se encuentran instaladas al acercarse a carriles auxiliares?		x		A		5				Zonas de construcción
									30	
4. Giros									50	
¿Se provee un carril para hacer los giros a la izquierda?		x		A		5			50	Tapers muy cortos
¿Existen señales de advertencia para realizar los giros?		x		A		5				
									5	
MISCELANEOS									10	
1. Paisajismo									10	
¿El paisajismo está de acuerdo con las normas establecidas?			x	A		6			20	Exceso de vegetación
¿Se recorta la hierba, cesp�ed y ramas de los árboles que crece en la mediana y la orilla de la carretera?		x		A	9					
									20	
¿La vegetación genera problemas de visibilidad en la vía?		x		A			4			
El paisajismo afecta:									10	
¿La visibilidad?		x		A			4		10	
¿Salidas o accesos??		x		A			4		10	
¿Cuando se siembran árboles									10	
¿Los conductores observan los árboles?		x		A		6			10	
¿Es seguro transitar fuera de la carretera??			x	A		5			10	No hay espacio

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 161.3 Km terminación: 168 ADT _____
 Clasificación funcional: Carretera Primaria Rural
 Fecha: 09-04-2006 Condiciones climáticas: noche seco Hora: 8:00 PM
 Número de carriles por dirección 2 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
2.Zonas de trabajo temporal									20	Consultar MUTCD
¿Todas las locaciones y equipos de la construcción disponen de espacio?		x		A		6			50	Cap 6 MUTCD
¿Todas las locaciones tienen señalización de zona de tráfico temporal?		x		A	9				50	
3.Focos de los carros									10	
¿Se presenta algún problema por encandelillamiento de los ojos por farolas de carros?		x		A			3		100	Falta de educación a conductores
4. Actividades a la orilla de la carretera									10	
¿El limite de la carretera se encuentra libre de actividades que puedan distraer a los conductores (v.g. venta de carros, publicidad)?			x	A		5			50	Dealers de carros
¿Todas las señales instaladas no constituyen un peligro para los conductores?		x		A		6			50	
5. vehiculos errantes									10	
¿Si en la orilla de la carretera existen verjas o caminos peatonales un vehiculo errante puede causar un posible problema, peligro o conflicto en el sitio?		x		A		6			100	Buzones
6. Otros aspectos de seguridad									15	
¿La carretera está libre de objetos que caigan a la misma?			x	A			4		20	Corte en Sabana Grande
¿Existen problemas de visibilidad por obstrucciones de la vegetación?		x		A		6			30	Intersecciones
¿El viento afecta algunas áreas de la carretera?	x								10	
la carretera :										
- ¿Está adecuadamente alineada?		x		A		6			10	

Carretera : PR-2 Dirección: Norte-sur Km de comienzo: 161 Km terminación: 168 ADT _____
 Clasificación funcional: Carretera Primaria Rural
 Fecha: 10 -04-2006 Condiciones climáticas: día seco Hora: 8:00 AM
 Número de carriles por dirección 2 Paseo si al lado derecho Auditado por WAR

RENGLÓN	N/A	SI	No	Prioridad	Bueno	Regular	Malo	Km	Peso	Comentarios
				Alta, Media, Baja	>7	4.1<R<6.9	< 4			
- ¿Existen zonas de inundación por mareas?			x	A	9				10	
- ¿Las intersecciones son obvias?		x		A	9				20	
7. Motoras									15	
¿La carretera tiene rotulación correspondiente a motoras?			x	A			1		20	
¿Existen carriles exclusivos para motoras?			x	A			1		50	
¿Existen rotulos de velocidad máxima para motoras?			x	A			1		30	
8. Animales									10	
¿La carretera está libre de la presencia de animales a lo largo de la misma?			x	A		6			40	Se observan perros caballos chivos
¿Si no es asi, existe alguna barrera que impida el paso de animales a la carretera?			x	A			1		30	
¿Transitan caballos, burros, vacas o carretas a lo largo de la vía?			x	B		5			30	Se observan caballos

7.2 Análisis de resultados

Una vez realizada la Auditoria, se procede a evaluar la misma y hacer las recomendaciones pertinentes, las cuales deben ser atendidas por las agencias correspondientes para mejorar la calidad de la carretera.

A continuación se expone en la tabla 7.2 los datos obtenidos del inventario del tramo a evaluar y se enunciarán las recomendaciones para el tramo evaluado.

Tabla 7.2. Inventario de la carretera PR-2 entre los Km 157 y 187.

RENGLÓN	UNIDADES	VALOR
Barreras semi rígidas en la orilla (Mayagüez Sabana Grande)	Km	13. 03
Barreras semi rígidas en la mediana (Mayagüez Sabana Grande)	Km	8.7
Barreras semi rígidas en la orilla (Sabana Grande - Mayagüez)	Km	10.3
Barreras semi rígidas en la mediana (Sabana Grande - Mayagüez)	Km	8.7
Barreras en buen estado (Mayagüez Sabana Grande)	%	28.4
Barreras impactadas (Mayagüez Sabana Grande)	%	71.6
Barreras en buen estado (Sabana Grande Mayagüez)	%	39.0
Barreras impactadas (Sabana Grande Mayagüez)	%	61.0
Zonas a la orilla con problemas de vegetación excesiva	%	15.0
Zona de construcción en la carretera	%	4.0
Zona rural	%	2.0
Zona urbana	%	98.0
Distancia entre postes con luminarias	m	30
Zonas con problemas de desnivel (zonas nuevas de construcción)	%	5.0
Pavimento flexible en excelente o buen estado	%	80.0
Pavimento flexible en regular estado	%	18.0
Pavimento flexible en mal estado	%	2.0
Rotulación en buen estado	%	90.0
Rotulación en zona de construcción	%	12.0
Ojos de gato instalados en la carretera (longitud total)	%	30.0
Demarcado del pavimento a lo largo del corredor	%	85.0
Postes de metal instalados a la orilla (Mayagüez Sabana Grande)	Cada uno	84
Postes de hormigón instalados a la orilla (Mayagüez Sabana Grande)	Cada uno	73
Postes de madera instalados a la orilla (Mayagüez Sabana Grande)	Cada uno	30
Postes de metal instalados en la mediana (Mayagüez Sabana Grande)	Cada uno	133
Postes de metal instalados a la orilla (Sabana Grande - Mayagüez)	Cada uno	132
Postes de hormigón instalados a la orilla (Sabana Grande - Mayagüez)	Cada uno	95
Postes de madera instalados a la orilla (Sabana Grande - Mayagüez)	Cada uno	30

Tabla 7.3 Matriz de dispositivos y/o elementos evaluados con medidas correctivas correspondiente a diferentes índices y severidades

DISPOSITIVO Y/O ELEMENTO	INDICE	SEVERIDAD	MEDIDAS CORRECTIVAS
Barreras semi-rígidas	> 7	Bajo	No haga nada, limpie la barrera
	Entre 5 y 7	Moderado	Hacer mantenimiento preventivo, en los casos que se pueda, corregir la deflexión con un esfuerzo mínimo sin cambiar su función y/o efectividad con un marrón u otro aditamento provisto por el fabricante
	< 5	Alto	Cambiar el segmento de barrera, en los casos que no exista, instalar barrera nueva
Barreras Rígidas	> 7	Bajo	No haga nada, limpie la barrera o se recomienda pintar la barrera
	Entre 5 y 7	Moderado	Hacer mantenimiento en campo, instalar formaleta y reconstruir las secciones dañadas.
	< 5	Alto	Cambiar el elemento, ya sea trayendo uno nuevo al sitio o construirlo en el sitio
Vegetación	> 7	Bajo	No haga nada
	Entre 5 y 7	Moderado	Se debe recortar la vegetación 1 vez al mes dependiendo de la precipitación del lugar
	< 5	Alto	Aplicar herbicidas y grava para evitar el crecimiento de vegetación a la orilla de la carretera.
Cunetas	> 7	Bajo	No haga nada
	Entre 5 y 7	Moderado	Realizar limpieza de cunetas cada 2 meses
	< 5	Alto	Realizar mantenimiento 1 vez al mes, retirar escombros, vegetación y basura
Objetos fijos (Pósteres, árboles, señales, etc)	> 7	Bajo	No haga nada
	Entre 5 y 7	Moderado	Escudar los objetos con barreras semi-rígidas
	< 5	Alto	Retirar los objetos a la orilla de la carretera; si no es posible, escudar con barrera de metal siempre y cuando al instalarse, cumpla con la deflexión dinámica máxima, si no es posible, instalar barrera de hormigón

En la Tabla 7.3 se resume la matriz de dispositivos evaluados con sus respectivos niveles de severidad, su métrica y las medidas correctivas a tomar para cada uno de los casos presentados.

Para realizar la Auditoria se viajó a la zona de estudio, e inspeccionaron la condición de los diferentes dispositivos como son barreras de hormigón, vallas, terminales, condiciones del pavimento, marcado, señales de tránsito, objetos fijos a la orilla de la carretera, el diseño geométrico, marcado en el pavimento, iluminación, drenajes, intersecciones, vegetación, entalles y facilidades para peatones entre otros.

En el proceso de RSAR el equipo auditor ha tenido que viajar en ambos sentidos de la vía, tanto de día como de noche, para identificar los problemas presentes en área urbana, rural y de la zona de construcción de la carretera y se ha elaborado una lista de cotejo como herramienta para realizar dicho estudio. En esta labor se encontraron las siguientes situaciones:

- Existen dispositivos que no cumplen con el NCHRP 350 como son las vallas semi-rigidas instaladas hace mas de 5 años.
- El 71% de las barreras semi-rigidas han sido impactados, sin embargo, el mantenimiento que se les realiza es mínimo, ya que desde el momento inicial de la auditoria y pasados mas de 12 meses, en las secciones de vallas impactadas no se hizo mantenimiento de las mismas.
- Por su situación geográfica, la localización de Puerto Rico favorece que crezca la vegetación de manera frondosa, y esto es un problema, porque cubre las barreras y las señales de tránsito, a lo cual se suma la falta de mantenimiento por Obras Públicas.
- El marcado en el pavimento es deficiente tanto en la pintura como en las láminas retrorreflectivas y ojos de gato.

- En las zonas de trabajo, se han encontrado inconsistencias en las señales de precaución.
- Del Km 168 al Km 170 de la sección a evaluar cumplen con NCHRP 350
- Hay una ausencia de las normas básicas sobre las barreras de seguridad y de zonas libres de obstáculos.
- Obstrucción de objetos fijos en las zonas libres de obstáculos.
- Desnivel entre el asfalto y la orilla de la vías
- La calidad de la vía en los kilómetros 161 a 165 es deficiente debido a la zona de construcción.
- Los cambios de zona urbana a rural y a zona de construcción generan accidentes debido al exceso de velocidad. Hay cambios de rotulación de 45 mph a 55 mph y 35 mph respectivamente.
- Un problema actual es el uso masivo de motocicletas especialmente los fines de semana. Las personas que conducen dichos vehículos son inexpertas e imprudentes y son causantes de accidentes por tales motivos.

7.2.1 Área urbana

En el área urbana se encontraron situaciones en las cuales las barreras semi-rígidas escudan de manera inadecuada los objetos fijos a la orilla de la carretera; también se observa que en muchos tramos, los segmentos de barreras impactados no son reparados o reemplazados.

Desde el inicio del proyecto (Km 157), hasta la intersección entre la PR-2 y la PR-343 (frente al mall de Mayagüez) se encuentra instalado una combinación de pavimento rígido y flexible, además, en esta zona, debido a la ampliación que se realizó, las juntas de concreto no coinciden con las líneas de separación de carril; esto es un inconveniente para los conductores que viajan de día, porque el usuario de la carretera tiende a seguir la línea de la junta, invadiendo los carriles adyacentes.

En esta intersección de la PR-2 con la PR-343, se presenta la mayor tasa de accidentes de toda el área oeste (ver figura 4.2), debido a los cambios de geometría, topografía, cambio de carretera urbana a rural y adicionalmente, un centro comercial es un gran atractor de gente, por lo cual los flujos vehiculares aumentan considerablemente, sobre todo en las horas pico y en ocasiones especiales.

7.2.1.1 Barreras

La zona urbana del proyecto solo tiene instalado barreras semi-rígidas, las cuales a la altura de la intersección de la PR-2 con la PR-343, se encuentran impactadas varias secciones de la barrera las cuales no han sido reparadas o en algunos casos, reemplazadas. Al inicio del proyecto en sentido norte-sur, la barrera se encuentra bien instalada, escudando los objetos fijos a la orilla de la carretera. Pero en el sentido sur- norte en el mismo punto, la barrera está mal instalada, escudando árboles en donde no se está cumpliendo la distancia mínima de separación de la barrera al objeto fijo, cumpliendo así con la deflexión dinámica máxima permitida.

7.2.1.2 Vegetación

En la zona urbana del proyecto los problemas de vegetación son menores debido a la presencia de negocios a la orilla de la carretera. Sin embargo, la grama crece en algunas zonas, las cuales no se recortan periódicamente, caso que se presenta a la orilla de la carretera en inmediaciones de la intersección 343 en sentido norte-sur. El recorte de vegetación se hace cada 2 meses. En la mediana no se presentan problemas de vegetación, ya que se hace un mantenimiento periódico recortando la grama 1 vez al mes, lo cual ayuda a mejorar el paisaje.

Rotulación y demarcado

La rotulación instalada en la zona urbana de la carretera cumple con las especificaciones de las agencias locales. Se recomienda hacer un mantenimiento preventivo a los tableros, programando cada 3 meses, lavado a presión para eliminar polvo y otros residuos que se adhieran sobre la lámina retro-reflectiva.

Cabe resaltar que la vegetación presente a lo largo de la zona urbana se encuentra recortada en su mayoría, sin embargo, en el sentido sur-norte, hay sembrados muchos árboles a la orilla de la carretera y se encuentran escudados de manera inadecuada, lo cual puede ocasionar que a la hora de presentarse un accidente, las barreras no sean funcionales.

Las luminarias instaladas en la zona urbana son funcionales, y se ve claramente la carretera de noche y el demarcado del pavimento es el adecuado, además se encuentran instalados ojos de gato para definir claramente los carriles en cada sentido.

Los ciclos de semaforización en las intersecciones de la zona urbana se encuentran sincronizados y solo se presenta congestión en las horas pico, pero hay libre circulación de vehículos. Los carriles auxiliares están contruidos de acuerdo a las especificaciones estipuladas por la ACT.

7.2.1.3 Drenajes

Los drenajes en la zona urbana se encuentran en buen estado y se les realiza el mantenimiento adecuado; se observa que en la zona urbana se encuentran contruidos sumideros que recogen las aguas de la escorrentía generada por lluvias. En términos generales, la carretera se encuentra libre de escombros y

cantos rodados, producto del deterioro de los pavimentos o por material acumulado por el paso de los vehículos.

7.2.1.4 Objetos fijos

La presencia de postes y señales verticales de tránsito son en general, la mayor presencia de objetos fijos en el área urbana. Dichos elementos se encuentran escudados con barreras semi-rígidas, en algunos casos de manera errada. Los postes y las señales de tránsito instaladas en esta zona son del tipo que cede al impacto, cumpliendo con las especificaciones de la ACT. En el km 158.9, la base y el poste que sostiene el semáforo instalado, está a 2 ft de la orilla de la carretera y no se encuentra escudado por ningún tipo de dispositivo.

A la altura del centro comercial de Mayagüez, (km 160) se encuentra construido un puente peatonal, el cual fue construido a la orilla de la carretera. En este caso, muy particular, se instalaron barreras semi-rígidas para proteger el puente, pero como no hay espacio de separación entre la barrera y la base del puente, no es funcional el dispositivo de seguridad. Este caso se presenta en los dos sentidos de la carretera.

7.2.2 Zona Rural

A partir del kilómetro 160 de la PR-2, el tramo seleccionado cambia su geometría, y se convierte de una carretera urbana de 3 carriles mas paseo, en una carretera rural de 2 carriles mas paseo. Al presentarse este cambio, los aspectos de la evaluación de seguridad de la carretera cambian, adicionalmente, en la zona rural hay tramos en los cuales se está construyendo puentes y modificando la geometría de la carretera, presentado problemas como se explicará a continuación.

El pavimento flexible se encuentra generalmente en buen estado, no presenta piel de cocodrilo ni fallas por la capacidad portante. En el kilómetro 171, el pavimento es nuevo, debido a que en este sector, se ha modificado la carretera y se han construido puentes y se han atendido en general, las especificaciones de la ACT.

El mayor problema que se encontró en el pavimento fue el desnivel que existe entre el paseo y la orilla de la carretera. Este defecto se puede atender a la hora de instalar el pavimento, o en el caso de zonas donde el pavimento fue instalado previamente, se recomienda corregir el desnivel regando gravas las cuales, de paso, evitan el crecimiento de hierba y maleza a la orilla de la carretera.

7.2.2.1 Barreras

Barreras semi- rígidas

El mayor problema que se presenta a lo largo del tramo seleccionado, es la cantidad de barreras semi-rígidas impactadas. En algunos sectores de la carretera simplemente la barrera no es funcional porque faltan secciones de la misma.

Empezando en el km 161 (pasando la intersección a nivel entre la carretera PR-2 y PR-100) se encuentran problemas con las barreras, ya que son impactadas y no son reparadas o reemplazadas, perdiendo así su capacidades de redirigir.

Como se menciona en la Tabla 7.2, el 71.6% de las barreras instaladas en sentido Norte –sur están impactadas con algún grado de severidad, y en el sentido sur-norte corresponde a un 61%. En dicha tabla se observa que en el sentido Norte-sur hay instalada más barrera que en el sentido sur-norte; esto se debe a que la carretera está construida en el pie de monte, que es una sección

encorte, mientras que en el sentido norte –sur, está construida en terraplen, por lo cual se necesita instalar barreras en aquellos sitios donde no exista el espacio suficiente para las zonas libres de obstáculos.

También se encontró que muchas de las barreras no cumplen con lo establecido con el NCHRP 350, por lo cual se recomienda cambiar, en especial a barreras de tipo plastic block out. Se recomienda hacer un mantenimiento periódico de las barreras, limpiando las mismas de hongos, instalación de pernos, y cambio de postes entre otros. Adicionalmente, se recomienda hacer una inspección periódica para observar los daños ocasionados por choques sobre las barreras, con eso, de manera oportuna, reparar o reemplazar los elementos impactados, y así, evitar fatalidades a futuro por negligencia o por desconocimiento de los daños. Se resalta la ausencia en la mayoría de las barreras de tratamientos al final de la misma (70% del total instaladas). En las barreras que lo tienen instalados, están impactados.

Barreras Rígidass

Las barreras rígidas son utilizadas en su gran mayoría, para separar la mediana de la carretera en ambos sentidos de la misma. También se encontró que se utilizaron en las zonas de construcción, para reducir carriles.

Los problemas de este tipo de barrera se encuentran en la zona de construcción, donde por exceso de uso y descuido en su movilización, se encuentran parcialmente dañadas, faltándole partes a la barrera. Naturalmente, el tiempo de vida útil de una barrera rígida es mucho mayor que el de una barrera semi-rígida, por el material en que se encuentra fabricada; sin embargo, estas mutilaciones a las barreras crean desconfianza al usuario de la carretera, haciendo el símil de barrera impactada, es carretera insegura.

Una situación muy peculiar y muy particular se presenta en la mediana de la carretera, donde se encuentran instaladas facilidades luminarias. Los postes se encuentran instalados cada 30 m o 100 pies, interrumpiendo la continuidad de la barrera. Esto se convierte en un problema, ya que no se sabe que pueda pasar con un vehículo errante que pueda chocar en esta sección de la barrera, y la misma pierda su funcionalidad y no pueda redirigir el vehículo que impacta sobre la misma.

En las zonas de construcción, se debe tener mayor cuidado a la hora de instalar las barreras, para que no haya discontinuidad de las mismas y no queden instaladas a desnivel, como se observó en varios casos. También se debe realizar un mantenimiento preventivo a las láminas reflectivas instaladas en la solapa de la barrera, ya que por el movimiento de tierras, dichas láminas se ensucian y pierden su funcionalidad.

7.2.2.2 Vegetación

La vegetación que crece a la orilla de la carretera en la zona rural de la carretera crece de manera abundante y no se hace un mantenimiento de la misma, por lo cual se recomienda recortarla y aplicar herbicidas a la orilla de la carretera. También es recomendable aplicar grava para evitar el crecimiento de grama a la orilla de la carretera.

Un problema notorio es el crecimiento de grama en la orilla que cubre las barreras semi-rígidas. Un conductor de un vehículo errante evitará llevarlo a la orilla de la carretera, porque desconoce que existe barrera y se crea un temor, que haya un abismo. Una recomendación es la de aplicar herbicida a la barrera y en las áreas adyacentes a la misma y grava en la base de las vallas.

7.2.2.3 Rotulación y demarcado

En el área rural se encontraron problemas referentes a la señalización vertical y del demarcado del pavimento. La rotulación debe cumplir con lo establecido en el MUTCD. Las señales de tránsito se encuentran sucias y cubiertas por vegetación en zonas como el km 164 en el cual, las ramas de los árboles cubren los tableros. En otras zonas, como en el km 163.4, se encuentra que los tableros se encuentran cubiertos por hongos y tierra. Esta situación afecta a los conductores sobre todo en horas de la noche, ya que las señales no son visibles y pueden ocasionar accidentes para un usuario que transite por primera vez por el corredor vial. En el km 173.1, se presentan problemas de inconsistencia de rotulación, y que es una zona de construcción, donde se encuentran instalados rótulos de velocidad máxima de 25 mph y 35 mph, creando confusión al conductor. También se encuentran problemas de rotulado, donde se indica que se inicia zona de construcción a 150 m y mas adelante, han instalado un rótulo indicando que la zona de construcción inicia en 500 metros.

En el kilómetro 179.5 de la PR-2, se encontró instalado un rótulo de zona de construcción el cual no cumple con las especificaciones de seguridad. Este rótulo se encuentra construido en madera y es pintado de color naranja, sabiéndose que los rótulos deben ser fabricados con láminas reflectivas grado alta intensidad o diamante. A lo largo de la zona de construcción se encontraron varias señales fabricadas de esta manera.

Otro problema que se encontró en la carretera es la presencia de rótulos en los cuales se ha adherido en el centro del tablero, información de adopción de carreteras; este material no es reflectivo lo cual genera confusión en horas de la noche a los conductores, ya que se observa que brilla el borde del tablero pero el centro es opaco y no hay nitidez y claridad en el mensaje escrito en el mismo.

El mayor problema que presentan los rótulos en la zona rural es que se encuentran sucios o cubiertos por vegetación, y las medidas correctivas sugeridas son la limpieza de tableros con agua a presión y recortar la vegetación que crece en inmediaciones a los mástiles.

El demarcado de pavimento presenta varios problemas. Al inicio del proyecto, el demarcado es pobre, y no es visible para los usuarios. En el km 166.7 hay ausencia total de demarcado, siendo muy peligroso para conducir en horas de la noche, ya que los conductores pueden invadir los carriles adyacentes por falta de delineación. En el km 168.6 se encuentra un doble marcado en el eje de la carretera en el sentido norte-sur; para una persona que no conozca la carretera, esta condición puede generar confusión y conducir en contravía.

En las zonas de construcción hay ausencia total del demarcado, pero para evitar accidentes, se instalaron tambores reflectivos los cuales definen el carril. En otros sectores de la construcción, simplemente se instalaron barreras rígidas conformando un solo carril, con láminas reflectivas en la parte superior de la barrera, evitando así los problemas mencionados anteriormente.

A la altura de San Germán, se realizaron labores de modificación en la geometría y sección transversal de la carretera, por lo cual el pavimento es nuevo en toda esta zona. Las condiciones de demarcado del pavimento en esta zona cumplen con las especificaciones de la ACT; adicionalmente, se han instalado ojos de gato en el demarcado para definir los carriles y la orilla de la carretera, con lo cual el usuario que utiliza el corredor en horas de la noche, se siente mas seguro al desplazarse por el mismo.

7.2.2.4 Drenajes

Los sistemas de drenaje a lo largo de la carretera cumplen la función para los cuales fueron contruidos.Sin embargo, se encontraron problemas como las

aletas de alcantarillas longitudinales que no están protegidas por ningún dispositivo, convirtiéndose en un objeto fijo contra el cual puede colisionar un vehículo errante.

Por reglamentación de la ACT, en carreteras estatales no se construyen cunetas, pero se encuentran construidas las obras civiles necesarias para recopilar la escorrentía de lluvias. Adicionalmente, por la topografía de la carretera y la pendiente longitudinal y transversal de la vía.

7.2.2.5 Objetos fijos

Los mayores problemas que se encontraron en la carretera, fue la instalación de buzones sobre barreras semi-rígidas, postes y señales de tránsito que no están escudados y árboles. También se encontraron puentes peatonales que se escudaron de manera inadecuada sus bases. Estos buzones no cumplen con lo establecido capítulo 11 del RDG, debido a que para carreteras estatales, autopistas y arterias, se prohíbe la instalación de buzones en la orilla de la carretera

En el área rural el mayor problema que se presenta es con rótulos instalados a la orilla de la carretera, y los postes de utilidades, ya que estos no son instalados con el sistema que cede al impacto y al no estar escudados, un vehículo que se impacte contra uno de estos postes tiene más probabilidades de terminar en una fatalidad. Se recomienda escudar estos postes cumpliendo las especificaciones del NCHRP 350.

Se observó que en algunos lugares, se instalan buzones de correo con bases en concreto, creándose un objeto muy rígido y el cual instalado a la orilla de la carretera, se convierte en un punto de accidentes potencial. Se recomienda retirar estos buzones y relocalizarlos.

Una situación muy particular se observa sobre la orilla de la carretera con los concesionarios de vehículos, quienes estacionan los carros que tienen a la venta a la orilla de la carretera, en muchos casos, invadiendo la zona libre de obstáculos y siendo un punto potencial de accidentes, ya que los carros, por su tamaño y material se convierten en objetos fijos, aumentando los daños en un posible choque.

Para los árboles se recomiendan dos alternativas: escudar con barreras semi-rígidas, permitiendo que haya el espacio suficiente para que cumpla con la deflexión máxima permitida o utilizar el concepto de conservación del momento.

7.2.3 Zonas de construcción

En las zonas de construcción se presentan situaciones bastantes particulares que deben ser atendidas.

Los entalles que se utilizan en estas zonas no cumplen con las especificaciones suministradas en el MUTCD y la rotulación instalada es inconsistente ya que tiende a confundir a los conductores que transitan por esta zona. En algunos casos se encontró que la rotulación utilizada no cumple con las normas establecidas por el MUTCD, como son señales en material que no es reflectivo.

Desafortunadamente, no se informa con anticipación al usuario que está por entrar a una zona de construcción. Normalmente, se utilizan rotulos y señales luminosas instaladas dos millas antes de iniciar obra, pero en las condiciones locales simplemente avisan máximo a $\frac{1}{4}$ de milla, ocasionando congestión al no poder utilizar rutas alternas.

También se observa la situación mencionada anteriormente, es la falta de rutas alternas en zonas de construcción. Desafortunadamente, no existe una carretera

paralela a la PR-2, y en las zonas de construcción se genera congestión vehicular, sin encontrar una solución inmediata para solucionar dicha situación.

Uno de los problemas que se encuentra a lo largo del corredor vial, es que donde se inicia obra, o hay alguna reparación. Simplemente se instalan en inmediaciones de la obra o el desperfecto. También son utilizados dichos dispositivos para cerrar carriles, lo cual se podría mejorar diseñando el taper e instalando los dispositivos de la manera correcta. Se recomienda cumplir con el parte 6 del MUTCD.

Las Tabla 7.2 y Tabla 7.4 que son adaptadas de las tablas 6C3 y 6C-4 del MUTCD exponen de manera clara los criterios que se deben cumplir para diseñar un entalle. En dicha tabla se describen los diferentes tipos de entalles y las fórmulas que se deben usar para el cálculo de los mismos

Tabla 7.4 Criterio de longitud del entalle para zonas con control de tráfico temporal (adaptada)

Tipo de entalle	Longitud del Entalle (L)
Confluencia	Al menos L
Desvío	al menos 0.5L
Paseo	al menos 0.3L
Un carril, dos sentidos	30 m (100 pies) máximo
Aguas abajo	31 m (100 pies) por carril

Tabla 7.5 Fórmulas para determinar la longitud del entalle.

Velocidad límite (S)	Longitud del entalle (L) en Pies
40 mph o menos	$L = \frac{WS^2}{60}$
45 mph o mas	$L = WS$

Donde:

W = ancho de carril (en pies)

La geometría de un entalle y sus componetes se describen de manera gráfica en la Figura 7.1.

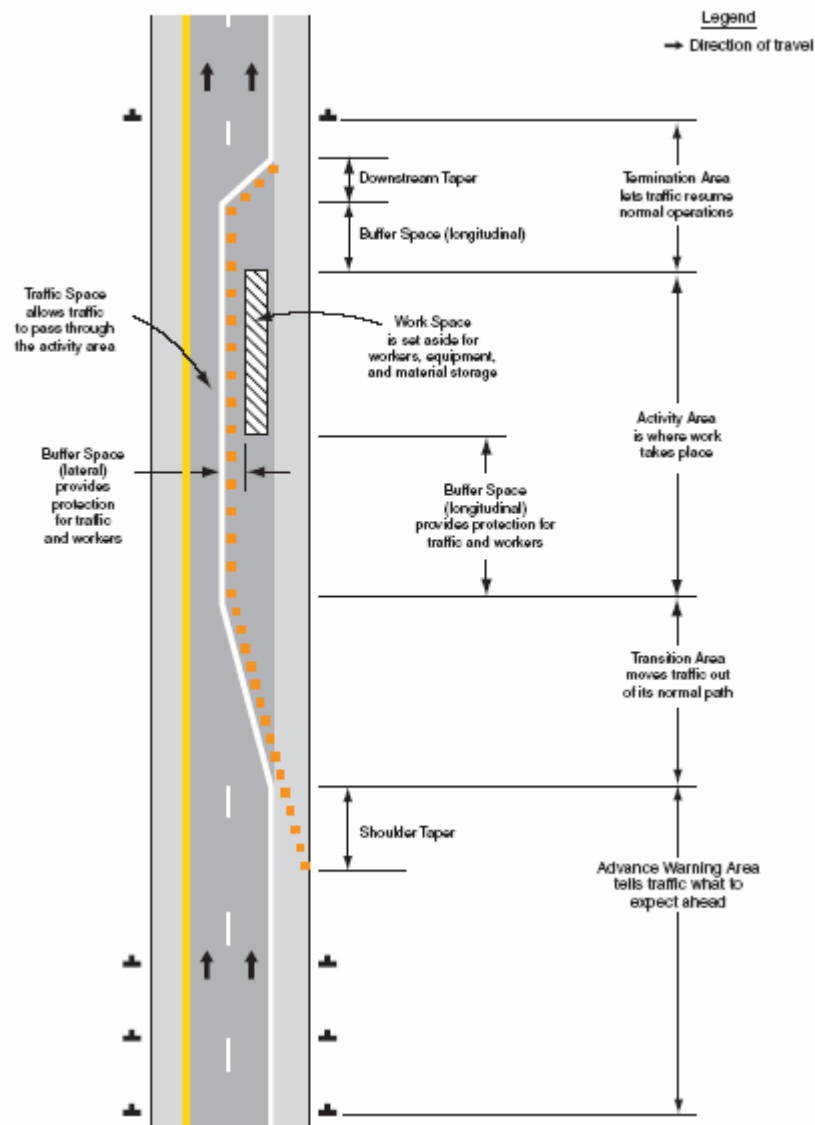


Figura 7.1 Componentes de una zona control de tráfico temporal

Una zona de control de tráfico temporal se divide en cuatro áreas: el área de advertencia, el área de transición, el área de actividad y el área de terminación. A continuación se describirá cada una de estas áreas.

Área de advertencia: es la sección de carrereta donde los usuarios de la carrereta son informados sobre la cercanía de una zona de trabajo.

Área de Transición: es la sección de carretera donde los usuarios son redirigidos fuera de la ruta normal. Las áreas de transición usualmente involucran el uso estratégico de entalles.

Área de actividad: es la sección de carretera donde se desarrollan las actividades de trabajo. Esta área la componen el área de trabajo, el área el espacio de tráfico y una zona para evitar choques y proteger a los trabajadores.

Área de terminación: esta área se utiliza para que los usuarios de la carretera retornen a la ruta normal. Esta área de terminación se extenderá a partir del final del entalle de aguas abajo del área de trabajo al último dispositivo de la zona de control de tráfico temporal.

En la zona de construcción se encontraron entalles de desvío, en los Km 165 y Km 171, esta es la aplicación típica 6H-30 del MUTCD, en donde se cerró un carril para realizar labores de construcción de puentes o remoción e instalación de pavimento flexible. Figura 7.2, muestra la configuración de este entalle. Como se mencionó anteriormente, dichos entalles, no cumplen con lo establecido por el MUTCD. A continuación se describe de manera numérica y gráfica, la geometría que deben tener estos entalles.

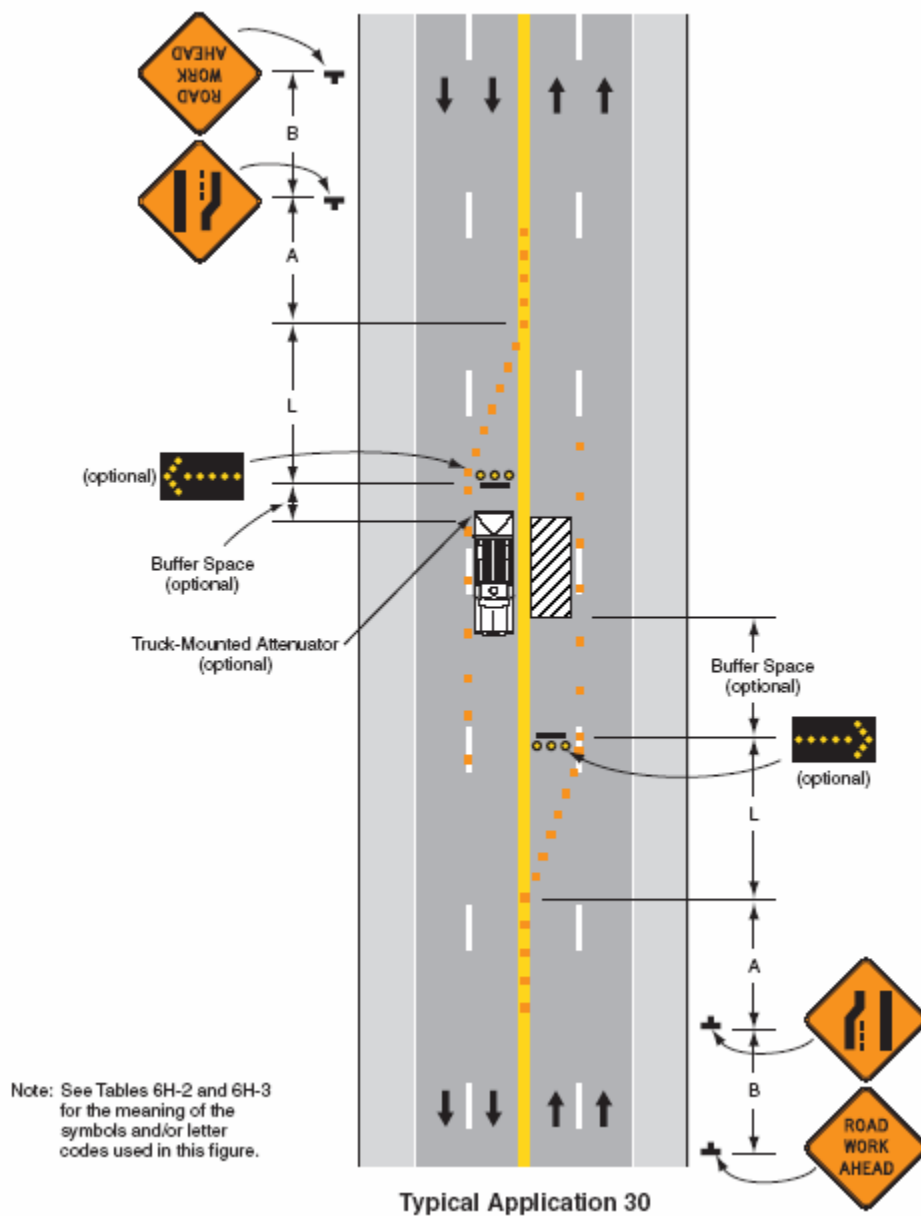


Figura 7.2 Aplicación típica 6H-30 del MUTCD

Utilizando la fórmula de la Tabla 7.5, se escoge la fórmula establecida para velocidades mayores a 45 mph debido a que la PR-2 está rotulada con una velocidad máxima de 55 mph en el tramo escogido. Los datos necesarios son:

$$S = 55 \text{ mph}$$

$$W = 12 \text{ pies}$$

Entonces:

$$L = WS$$

$$L = (12 \text{ pies}) * (55 \text{ mph})$$

$$L = 660 \text{ pies.}$$

Una vez se obtiene el valor del entalle, se procede a diseñarse el entalle como se muestra en la figura 7.3. Para aguas abajo, se recomienda usar la longitud de 30m o 100 pies por carril. Se recomienda instalar drones antes de hacer la configuración del entalle y este se debe hacer con barrera portátil rígida de hormigón de 10 pies de longitud.

En zonas de construcción se recomienda instalar la rotulación descrita en la aplicación típica, y realizar un mantenimiento diario, recogiendo escombros sobre la carretera y un mantenimiento de al menos 1 vez al mes de las señales de tránsito de zona de construcción.

Se recomienda utilizar barreras rígidas que se encuentren en buen estado. Toda barrera que haya sido impactada y que esté parcialmente deteriorada, debe ser reemplazada para evitar posibles choques. En épocas de lluvias, se recomienda tener los carriles libres de escombros y adecuar los drenajes para evitar inundaciones en la zona de construcción.

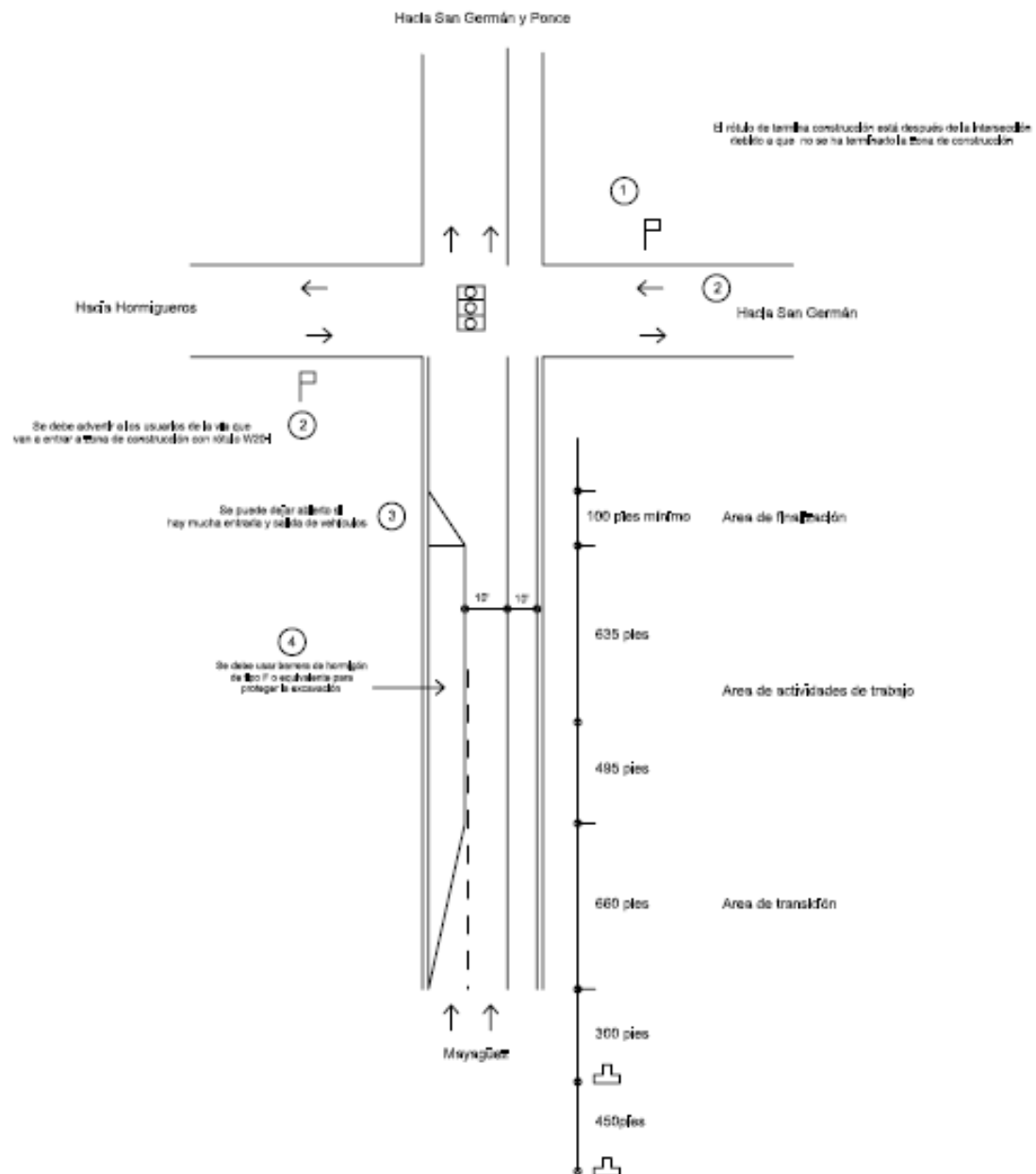


Figura 7.3 Posible diseño carretera PR-2 Km 163 al Km 165 para las zonas de construcción, hormigueros

La Tabla 7.6 resume en una matriz las medidas correctivas a tomarse como proceso final de una Auditoría.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y GUIAS GENERALES

En este documento se presentó el desarrollo de una metodología para realizar Auditorias en seguridad Vial como parte de un proyecto de investigación para el Recinto Universitario de Mayagüez (RUM). El desarrollo de esta metodología estimulará la realización de estudios de seguridad en cuanto al entorno de una carretera. Los resultados de los estudios relacionados a la seguridad vial a reducir la tasa de accidentes que ocurren en la Isla, contribuyendo positivamente dentro del campo de la ingeniería y de la sociedad en general.

A partir de un repaso de literatura comprensivo sobre el estado del arte de Auditorias de Seguridad aplicable a carreteras, listas de cotejo. Evaluación y otras metodologías para inspeccionar y cuantificar la condición de una red existente y su mobiliario, aplicando estos conceptos de una manera integrada con mediciones y fotografías de diferentes condiciones de la infraestructura vial y la opinión de un panel de expertos, se pudieron desarrollar las curvas de severidad para la evaluación de dichos elementos representativos de la red que son parte fundamental y contribuyen a mejorar la seguridad de una carretera.

Se desarrollaron unas listas de cotejo, adaptadas a las condiciones locales de la Isla, para ser utilizadas por las agencias gubernamentales en la evaluación de diseños y de carreteras en uso, implantando todos los aspectos de seguridad para evitar el incremento de accidentes en la red vial de Puerto Rico.

El tramo analizado sirve propósitos alternos (autopista interurbano y carretera principal urbana) y la zona rural. Adicionalmente, cuenta con varias zonas de construcción, en las cuales, se debe tener especial cuidado en el momento de la instalación de dispositivos temporales de tráfico, para así prevenir accidentes en las mismas.

Es fundamental contar con los dispositivos adecuados, dado que es una zona en la cual se producen bastantes accidentes debido al cambio de geometría y de uso de carretera urbana a rural. (las barreras existentes están impactadas).

Los dispositivos de seguridad en el tránsito necesitan de un mayor mantenimiento para que cumplan efectivamente con su propósito.

La aplicación de Auditorias resultan de gran utilidad para señalar las mejoras necesarias en el aspecto de seguridad de las carreteras, tanto rurales como urbanas y el uso apropiado de las herramientas existentes ayudarán a contar con carreteras más seguras en Puerto Rico.

Limitación del proyecto de investigación

El desarrollo de Auditorias en Seguridad Vial contribuyen directamente al componente de la ingeniería dentro del concepto de seguridad vial. Este hallazgo indica que el problema de los accidentes vehiculares no son solo por falla humana, si no que influyen considerablemente el diseño geométrico y los dispositivos que se encuentren instalados; adicionalmente, si las agencias del estado no realizan estudios de seguridad complementando las Auditorias se presentarán problemas mas adelante,

Los componentes de la educación, aplicación de la ley y sistemas de emergencias eficientes deben ser optimizados y a los Sistemas de Gerencia en Seguridad, unidos al componente de la ingeniería dentro de los planes estatales. Este plan ayudará a definir de una manera más clara las funciones, responsabilidades y metas de cada agencia involucrada en la seguridad vial.

Recomendaciones

Este proyecto de investigación reflejó las siguientes recomendaciones que las agencias de gubernamentales pueden considerar para incrementar la seguridad de la red vial de Puerto Rico:

1. Desarrollar futuros proyectos de investigación en el área, continuando con la investigación realizada, analizando todos los dispositivos posibles que son utilizados para mejorar la seguridad vial.
2. Ampliar el estudio a otro tipo de carreteras en Puerto Rico, para analizar todas las condiciones que puedan afectar la seguridad en las carreteras de la isla.
3. Ampliar el grupo del panel de expertos, al igual que la base de datos y el equipo auditor, para realizar las pruebas para elaborar curvas de severidad, desarrollando nuevas técnicas de evaluación y desarrollo de este tipo de gráficas, para evaluar, de una manera mas precisa, la severidad de los dispositivos en las carreteras.
4. Realizar un mantenimiento preventivo y no correctivo de las condiciones que afecten los dispositivos y el entorno de la seguridad de las carreteras, con planes estratégicos y con un costo bajo, evitando asi el incremento de accidentes por el aparente abandono del estado.

Proyectos futuros por investigadores interesados en el tema de la seguridad vial

Entre los proyectos futuros que se pueden desarrollar por otros investigadores y relacionados al tema desarrollado en este documento se encuentran los siguientes:

1. Desarrollo de metodologías similares para carreteras urbanas en Puerto Rico.
2. Elaboración de una metodología para elaborar curvas de severidad de diferentes dispositivos y componentes en una carretera.
3. Desarrollo de Auditorias para realizar evaluaciones relacionadas a la seguridad en proyectos de carreteras que se encuentren en la fase de diseño.

GUIAS GENERALES PARA REALIZAR AUDITORIAS EN SEGURIDAD VIAL EN PUERTO RICO

En la Figura 8.1 representa el flujograma de la metodología recomendable para seguir para realizar una Auditoria en Seguridad Vial. Se presenta la secuencia detallada aplicable a intersecciones y segmentos urbanos y/ rurales y zonas de construcción temporales describe a continuación la metodología que se debe seguir para elaborar una Auditoria, de una manera clara, como parte de este proyecto de investigación.

1. Se debe identificar el problema relacionado a la seguridad vial, identificar la carretera o intersección a la cual se desea hacer la Auditoría.
2. Dependiendo de la clasificación funcional, el lider del equipo auditor (el cual debe ser un ingeniero con énfasis en transportación) se reúne con el cliente, (ACT, alcaldías, sector privado) y analizan el problema y el alcance del mismo.
3. El cliente luego de esta reunión, debe dar su consentimiento para que se pueda realizar la Auditoria.

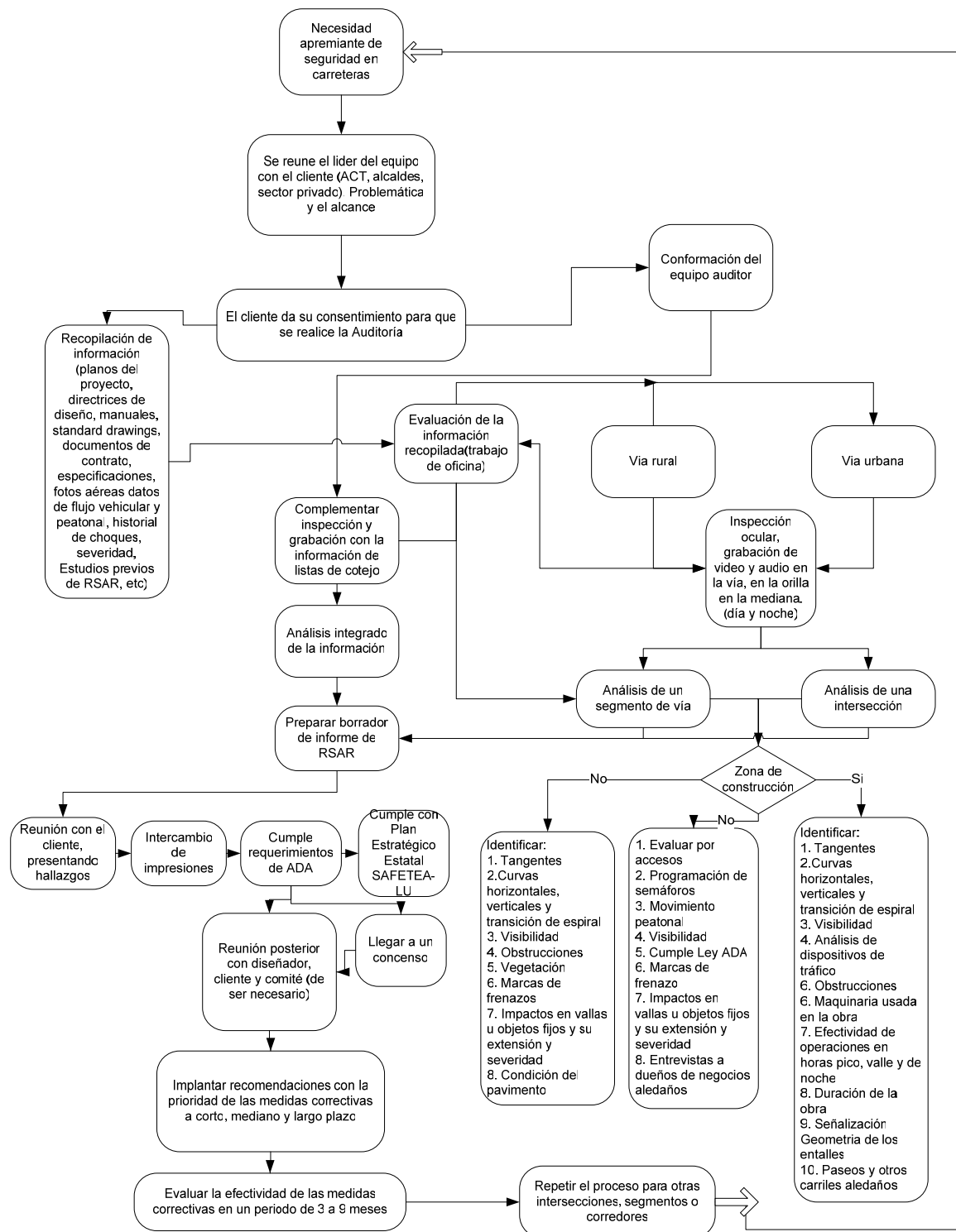


Figura 8.1 Metodología detallada para la elaboración de una Auditoría en Seguridad Vial

4. Una vez dada la aprobación se procede a crear el equipo auditor. Este equipo debe estar conformado por un ingeniero con énfasis en seguridad vial, un ingeniero con especialidad en carreteras, un ingeniero ambiental, ingeniero estructural si se deben analizar columnas de puentes u otras estructuras presentes en la carretera a auditar, un abogado, un psicólogo para que analice el comportamiento de las personas que usan la carretera, un sociólogo, policía de carreteras, bomberos, maestros de escuela que estén localizadas cercanas a la vía, y 2 o 3 miembros de la comunidad que puedan ayudar a identificar los problemas más comunes y necesidades a mejorar de la carretera.
5. En proceso paralelo al anterior, se debe hacer un repaso de bibliografía (literatura existente de la vida de la carretera) y de toda la información posible que sea de ayuda para la elaboración de la Auditoria como son planos del proyecto, documentos de contrato, especificaciones, fotografías aéreas, directrices de diseño, manuales, datos de flujo vehicula y peatonal, historial de choque y severidad, estudios previos de RSAR entre otros.
6. Toda la información recopilada se debe depurar en oficina, para optimizar el proceso de la auditoria.
7. Es primordial identificar el tipo de carretera que se va a auditar; una vez identificada su clasificación funcional, se determinan los componentes a evaluar ya sea carretera urbana o rural.
8. Se recomienda para todo proceso de Auditoria, grabar en video y audio la carretera, en la orilla y la mediana de la misma, tanto de día como de noche y llevar un archivo fotográfico de la carretera, identificado kilómetro a kilómetro, los problemas que observe el equipo auditor.
9. El proceso de inspección de campo consiste de los siguientes pasos:
 - a. se hacen visitas a la carretera de día y de noche, y de ser posible con diferentes condiciones climáticas.

- b. Se recorre la carretera identificando primero los problemas a la orilla de la carretera, luego en los carriles y finalmente en la mediana de la carretera. Durante todo este proceso, se debe identificar el problema el kilómetro o estacionado del mismo.
 - c. Se debe tener un archivo de fotografías en diferentes ángulos y perspectivas del mismo, al igual que videos de 360° en intersecciones. Toda información obtenida se debe anotar como material adicional a las listas de cotejo.
10. Si se hace el análisis de un segmento de vía se debe identificar las tangentes, las curvas horizontales y verticales, las distancias de visibilidad, obstrucciones, vegetación y marcas de frenazos entre otros.
11. Si se va a analizar una intersección, se deben evaluar los accesos, la programación de los semáforos, el movimiento peatonal y la visibilidad de la intersección, las marcas de frenazo y objetos que han sido impactados previamente complementando con entrevistas a dueños de negocios aledaños.
12. Para zonas de construcción sobre la carretera, se deben evaluar todos los dispositivos de seguridad asociados a la misma, como son los entalles, señalización vertical y horizontal, accesos y carriles de paseo entre otros. Este proceso se compone de los siguientes pasos:
- a. Análisis de dispositivos de control de tráfico.
 - b. Maquinaria utilizada en la construcción.
 - c. Efectividad de las operaciones en horas pico, horas valle y en la noche.
 - d. Duración del trabajo a realizarse, ya sea móvil, de corta duración, intermedio y de larga duración.
 - e. Geometría de los entalles.
 - f. Señalización y demarcado de la zona de construcción
 - g. Paseos y otros carriles aledaños a la zona de construcción

13. para realizar la Auditoria, se completará la información usando las listas de cotejo, desarrolladas en este proyecto de investigación, las cuales ayudan a identificar de manera clara la problemática que se presenta en la carretera y permite cuantificar los mismos con las curvas de severidad.
14. Una vez analizada la carretera, se prepara un borrador para ser presentado al cliente, mostrando los hallazgos. En dicha etapa, habrá un intercambio de impresiones por parte del cliente y el equipo auditor y se llegará a un consenso.
15. Después se realizará una reunión posterior con el diseñador de la carretera o la intersección, el cliente y de ser necesario el comité auditor, presentando los hallazgos en la carretera.
16. La efectividad de las medidas correctivas deben ser evaluadas en un periodo de 3 a 9 meses y se puede repetir este proceso en otras intersecciones o segmentos.
17. Finalmente, se vuelven a identificar los problemas que se presentan en la carretera para realizar una nueva Auditoria, de ser requerida por el cliente.

Este proceso es interactivo y se puede adaptar, calibrar, verificar su efectividad y readaptar a través de los años, cuando se observa una reducción en los choques y la severidad en los tramos o intersecciones en los cuales se ha aplicado la Auditoría

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), US Department of Transportation, web site <http://www.nhtsa.dot.gov>, consulta realizada el 17 de agosto de 2006.
2. Rivera J., Guías para realizar estudios de seguridad en las intersecciones a nivel de la zona rural de Puerto Rico, Proyecto de grado, Maestría en Ingeniería en Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico. 2004.
3. Colucci B., Moraza J., Rivera J. Un Nuevo Enfoque para Analizar y Evaluar la Seguridad de las Carreteras, Revista Dimensión, Publicación del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico, Año 17 Volumen 3. Edición septiembre, diciembre de 2003.
4. Ley de Seguridad en las carreteras de 1966.
5. Código Civil de Puerto Rico, Artículo 1802
6. ASSHTO, Transportation Research Board TRB, Washington D.C. 2005.
7. Manual de diseño de carreteras de Puerto Rico, Autoridad de Carreteras y Transportación, Departamento de Transportación y Obras Públicas, Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
8. “*Standard Drawings*”, planos modelo de diseño de la Autoridad de Carreteras y Transportación, Departamento de Transportación y Obras Públicas, Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
9. Manual of Uniform Traffic Control Devices, AASHTO, 2003.
10. Wilson E., Lipinski M. Road Safety Audits A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 336. Transportation Research Board, Washington D.C. 2004.
11. NCHRP Report 350, Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features, Transportation Research Board TRB, Washington D.C. 1993.
12. NCHRP Report 492, Roadside Safety Analysis Program (RSAP) Engineer's Manual, Transportation Research Board TRB, Washington D.C. 2003.

13. NCHRP Report 500, Vol 1-17, Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan, Transportation Research Board TRB, Washington D.C. 2003.
14. Intermodal Surface Transportation Efficiency Act ISTEA, Department of Transportation, <http://www.dot.gov/ost/govtaffairs/istea/isteap&p.html> consulta realizada el 24 de octubre de 2005, revisada el 21 de agosto de 2006.
15. Federal Highway Administration, web site <http://safety.fhwa.dot.gov/rsa/>, consulta realizada el 25 de octubre de 2005.
16. Institute of Transportation Engineers, web site http://www.ite.org/meetcon/2005AM/Navin_B1_Mon.pdf, consulta realizada el 25 de octubre de 2005.
17. Austroads, web site <http://www.austroads.com.au> consulta realizada el 24 de octubre de 2005.
18. The Institution of Highways & Transportation of United Kingdom, web site <http://www.iht.org/sigs/RoadSafetyAudit.asp> consulta realizada el 26 de octubre de 2005.
19. Departamento de Transportación y Obras Públicas de Puerto Rico, web site <http://www.dtop.gov.pr/act/proyestra/redvial.jpg>, consulta realizada el 24 de octubre de 2005, revisada el 21 de agosto de 2006.
20. Hisarawa M., Asano M., Saito K., Study on Designing and Introduction of a Road Safety Management a New Road Safety Policy, Civil Engineering Research Institute of Hokkaido, 2005.
21. Road Safety Guidelines, Asian Development Bank (ADB) web site <http://www.adb.org/Documents/Books/Road-Projects/default.asp> consulta realizada el 28 de octubre de 2005, revisada el 21 de agosto de 2006.
22. Wegman F. Legislation, Regulation and Enforcement to Improve Road Safety in Developing countries. Institute for Road Safety Research IRF, The Netherlands, 2002.
23. Moraza J., Colucci, B., Desarrollo de formularios de RSA, publicación interna, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico, mayo de 2003.

24. Roadside Design Guide 3rd Edition 2006. with update chapter 6, American Association of State Highway and Transportation Officials.
25. ASTM D 6433-99 "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys" American Standard for Testing and Materials, 1999.
26. Departamento de Transportación y Obras Públicas de Puerto Rico, web site http://www.dtop.gov.pr/act/analisis_trans.htm, consulta realizada el 24 de octubre de 2005, revisada el 21 de agosto de 2006.
27. Devore J. Probabilidad y estadística para ciencias e ingeniería, cuarta edición, Editorial educativa, México, 1999.

APÉNDICES