

EVALUACIÓN DE ASPECTOS DE SEGURIDAD Y DESARROLLO DE GUÍAS PARA IDENTIFICAR INTERSECCIONES PELIGROSAS EN PUERTO RICO

**Kathleen Díaz Carrasquillo¹, Benjamín Colucci Ríos,² Julio Quintana Díaz³,
y Felipe Luyanda Villafañe⁴**

Resumen: En los Estados Unidos para el año 2000, 2.8 millones de accidentes estuvieron relacionados a intersecciones, el cual representa aproximadamente el 44% de todos los accidentes y un costo a la sociedad estimado en \$40 mil millones. Los objetivos principales de esta investigación son explorar alternativas utilizadas en investigaciones anteriores para desarrollar un procedimiento analítico que se ajuste a las necesidades y disponibilidad de información en Puerto Rico, y realizar un análisis estadístico que ayude a caracterizar los accidentes en intersecciones. Como parte de la primera fase de la investigación se adaptó la metodología desarrollada por el Departamento de Transportación de Iowa para identificar las intersecciones peligrosas. Se efectuó un estudio de reconocimiento en combinación con una inspección visual por las intersecciones identificadas como peligrosas en el análisis preliminar para cuantificar la problemática asociada a seguridad en dichos lugares. El área de estudio se redujo a 17 municipios de la región oeste de Puerto Rico que son representativas de toda la isla en términos de topografía, clima, carreteras e intersecciones. En general, se observó que la mayoría de las intersecciones en Puerto Rico que fueron evaluadas y clasificadas como peligrosas eran asimétricas y/o complejas en términos de su geometría. Las intersecciones que tenían una combinación de accesos en pendiente, en ángulo o topografía accidentada, desproporción en flujo y/o carriles de la vía principal versus la secundaria, presencia de marginales, negocios, presencia de peatones, accesos en la vecindad de la intersección eran candidatos potenciales a lugares peligrosos. Basado en los hallazgos y resultados que se obtengan en fases futuras de la investigación, se espera recomendar medidas correctivas a los problemas de seguridad encontrados en las intersecciones que asistan en la planificación y diseño de intersecciones futuras. Además se proveerán recomendaciones en términos de guías para identificar lugares peligrosos a las agencias relacionadas a la recopilación y análisis de datos de accidentes y seguridad en intersecciones, tales como la Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico, la Oficina de Análisis de Accidentes del Departamento de Obras Públicas, la Comisión para la Seguridad en el Tránsito y la Policía de Puerto Rico, entre otros.

EVALUATION OF SAFETY FEATURES AND DEVELOPMENT OF GUIDELINES TO IDENTIFY HAZARDOUS INTERSECTIONS IN PUERTO RICO

Abstract: In the United States (Year 2000), 2.8 million accidents were associated with intersections, representing approximately 44% of all accidents and a societal cost estimated at \$40 billions. The principal objectives of this research are to explore alternatives used in previous research to develop an analytical procedure that can be adjusted to the needs and availability of data in Puerto Rico, and perform statistical analysis that can assist in the characterization of accidents at intersections. As part of the first phase of this research an adaptation to the methodology developed by the Iowa Department of Transportation was performed to identify hazardous intersections. A reconnaissance survey combined with a visual inspection was then performed on the intersection that were identified as hazardous in the preliminary analysis to assess the safety related issues associated with these sites. The

¹ Estudiante Graduado, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico

² Profesor, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR 00681.

³ Profesor, Departamento de Matemáticas, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR 00681.

⁴ Profesor, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR 00681.

study area was reduced to 17 municipalities on the western region of Puerto Rico which are representatives of the island in terms of topography, climate, highways and intersections. In general, it was observed that the majority of intersections in Puerto Rico that were evaluated and classified as hazardous were asymmetric and complex in terms of the geometry. Intersections that had a combination of an approach access with a significant grade, skewed angle or uneven topography, uneven flow and/or lanes in the principal arterial versus secondary routes, presence of frontage roads with businesses, presence of pedestrians and commercial access in the vicinity of the intersection were potential candidates of hazardous locations. Based on the findings and results that will be obtained in future phases of this research, countermeasures will be recommended for the safety related problems encountered at the intersections, that will assist in the planning and design of future intersections. In addition, recommendations in terms of guidelines to identify hazardous locations will be given to those agencies that deal with the collection and analysis of intersections safety and accident data, such as the Highway and Transportation Authority of Puerto Rico, the Accident Analysis Office of the Department of Public Works, Traffic Safety Commission and the Puerto Rico Police, among others.

INTRODUCCIÓN

Las intersecciones son uno de los elementos de las carreteras más estudiados dentro del área de transportación debido a su complejidad por los conflictos entre vehículos de motor, peatones y ciclistas que se generan dentro de su particular estructura. Esta complejidad provoca más accidentes en comparación con otros elementos geométricos tales como segmentos rurales, por lo que se deben estudiar más a fondo para asegurar su funcionamiento óptimo sin sacrificar su seguridad.

Con el propósito de desarrollar una metodología que ayude a apoyar el proceso de identificar intersecciones peligrosas y posibles tratamientos, deben estudiarse varios factores que son cruciales para estos fines. Algunos de estos factores son la frecuencia, la severidad, la razón de accidentes por cantidad de vehículos que utilizan la facilidad y la razón beneficio/costo que implica el implantar o no una mejora en la intersección. Además, es necesario el visitar e inspeccionar los lugares que se escojan preliminarmente para verificar y observar si existen otras circunstancias que no se desprenden del análisis estadístico y podrían estar influyendo en la peligrosidad de las mismas.

Esta investigación se circunscribe al área oeste de Puerto Rico que comprende los municipios que comienzan al norte desde el límite de Quebradillas bajando con una línea imaginaria hasta Guánica y cubriendo el área a partir de estos puntos hacia el oeste. En la figura 1 se presenta el área de estudio y los municipios aparecen en la tabla 1. Esta área es representativa de la isla de Puerto Rico ya que contiene carreteras principales importantes en red vial tales como la carretera PR-2, PR-100, PR-111 y PR-115. El área oeste posee diversas características que pueden observarse alrededor de toda la isla, esto en relación a su topografía, clima, población, zonificación entre otras.

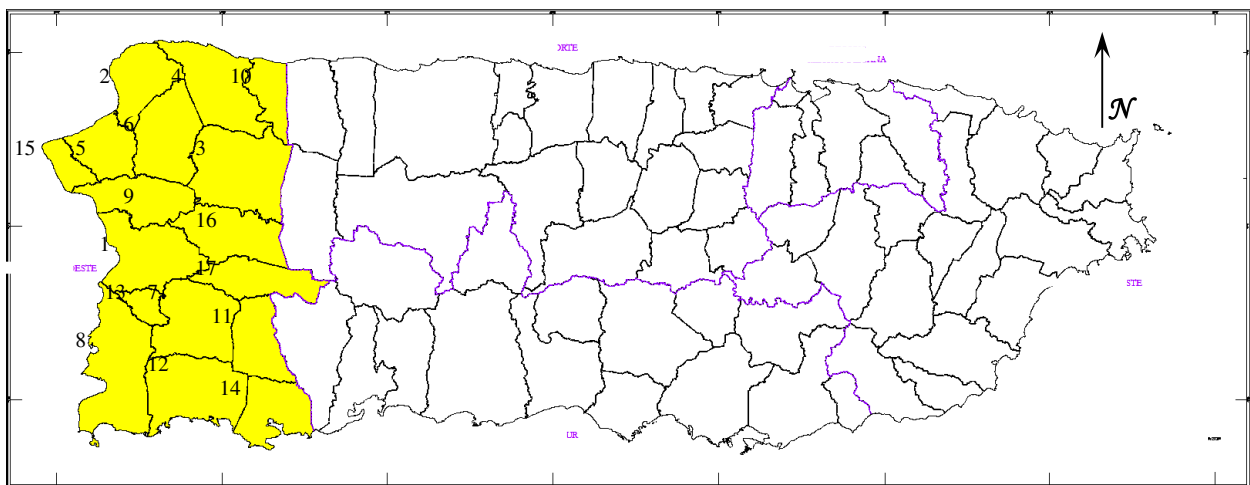


Figura 1: Mapa con el área de estudio.

Tabla 1: Municipios de Puerto Rico evaluados en el estudio.

ID	Municipio	ID	Municipio
1	Mayagüez	10	Quebradillas
2	Aguadilla	11	Sabana Grande
3	San Sebastián	12	Lajas
4	Isabela	13	Hormigueros
5	Aguada	14	Guánica
6	Moca	15	Rincón
7	San Germán	16	Las Marías
8	Cabo Rojo	17	Maricao
9	Añasco		

La seguridad en intersecciones es una de las áreas de énfasis dentro del plan estratégico de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), el Instituto de Ingenieros de Transportación (ITE) y la Administración Federal de Carreteras (FHWA).

TÉCNICAS UTILIZADAS PARA IDENTIFICAR INTERSECCIONES PELIGROSAS

Un método tradicional utilizado en muchas agencias alrededor de los Estados Unidos e inclusive en Puerto Rico es la técnica de puntos negros (“blackspots”). En la misma se utilizan los datos de accidentes y diagramas de colisión para generar unos mapas con puntos de acuerdo a diferentes tipos de accidentes o sus causas. Este método es relativamente sencillo si se tiene información precisa de la localización de los accidentes y se puede utilizar inicialmente para luego realizar otro tipo de análisis.

Garbel y Hoel (2001) discuten varios métodos que son utilizados para analizar accidentes tanto en segmentos como en intersecciones. Por ejemplo el método de Frecuencia de Accidentes resume el número de accidentes por lugar. Este es muy sencillo por que no se requiere información adicional pero su mayor desventaja es que no considera el nivel de exposición de las personas, la severidad, ni el largo de los segmentos. Se puede utilizar inicialmente para luego realizar otro tipo de análisis. El método de razón de accidentes en intersecciones es función del número de accidentes y el volumen de tránsito diario que entra a la intersección. Por ejemplo, para determinar la razón por cada millón de vehículos entrando (RMEV) al analizar una intersección, se utiliza la siguiente fórmula (FHWA 1981):

$$RMEV = \frac{A \times 1,000,000}{V} \quad (1)$$

Donde:

A = número total de accidentes en un año en esa área

V = tráfico diario promedio (ADT x 365)

Este método le da prioridad a lugares con una cantidad alta de accidentes en relación al volumen, sin embargo tiende a darle prioridad a lugares con pocos accidentes y bajo volumen.

La combinación de diferentes métodos de análisis de accidentes minimiza sus deficiencias. Por ejemplo el método de razón-frecuencia es una combinación del método de razón de accidentes y el método de frecuencia. Primero se hace un ordenamiento por frecuencia y a los mas altos se les hace un ordenamiento por razón de accidentes. Al combinar los métodos se minimizan sus deficiencias, pero aún no se está considerando la severidad de los accidentes.

El método de Severidad de Accidentes utiliza las pérdidas monetarias que implica el nivel de gravedad de los accidentes. Por lo que se le asigna peso a las diferentes categorías de los accidentes clasificadas en accidente fatal, herido y daño a la propiedad. El método ayuda a identificar lugares con accidentes graves y fatalidades; sin embargo, los lugares con una sola fatalidad tienen mucho más peso que lugares con muchos accidentes de daño a la propiedad.

Finalmente, el Departamento de Transportación de Iowa [4] desarrolla un sistema de ordenamiento de localidades de alta accidentalidad donde combina las diferentes técnicas para analizar segmentos o localidades (intersecciones). Se utilizan datos como la frecuencia de accidentes, ADT, longitud del segmento, y severidad de accidentes. La técnica comienza con un filtro preliminar donde se escogen todos los lugares que cumplen con por lo menos uno de los siguientes requisitos: que haya ocurrido 1 fatalidad, 4 heridos o 8 accidentes en total. Luego se clasifican de forma

individual en tres categorías: frecuencia, razón de accidentes, y severidad. Se ordena por frecuencia de forma descendente adjudicando el valor de 1 al lugar con mayor frecuencia de accidentes y así sucesivamente. Se calcula la razón de accidentes al dividir la frecuencia por la cantidad de vehículos que utilizan la facilidad (RMEV por sus siglas en inglés) y se ordena de forma descendente. Luego se calcula la severidad asignado un peso de 400 a la fatalidad, 60 a un herido mayor, 4 a un herido menor y 1 a un daño a la propiedad, estos valores se suman y son ordenados de forma descendente. Finalmente se suman los ordenamientos en las tres categorías y se determina el ordenamiento final.

ESTUDIOS RECIENTES DE SEGURIDAD EN INTERSECCIONES

Oh, Washington y Choi (2004) desarrollaron unos modelos de predicción de accidentes en intersecciones rurales. En este análisis se divide el estudio para intersecciones de 3 y 4 accesos e intersecciones con semáforos, se utiliza la distribución de Poisson ya que la ocurrencia de accidentes es un evento raro y la distribución binomial negativa para representar los casos donde se observe sobre-dispersión en los datos. Los resultados obtenidos se basan en el análisis de variables tales como: flujo vehicular, vías comerciales, porcentaje de camiones, curvas verticales, ángulo de accesos, curvas horizontales, velocidad, presencia de mediana, maniobras (virajes), distancia de frenado, e iluminación.

Hill y Lindly (2004) desarrollaron unos modelos que predicen la cantidad de violaciones por hora de usuarios que no respetan la luz roja. Las variables identificadas en el estudio como los mejores indicadores fueron el ADT, número de carriles, velocidad tanto de la vía principal como de la que carretera que cruza, distancia a la siguiente intersección y la anterior.

Schattler y Datta (2004) estudiaron las características del comportamiento de conductores en intersecciones urbanas. Estos han relacionado el 28% de los accidentes a las violaciones por rebasar la luz roja, y el 40% de las fatalidades y heridos serios. Entre las mejoras a considerarse para estos casos está el rediseñar el intervalo de amarilla y todo rojo del semáforo, otra medida puede ser el aumentar el tamaño de las luces o verificar la alineación con el acceso correspondiente. Estas medidas se espera que reduzcan la cantidad de accidentes que ocurren entrando a la intersección en ángulo. Uno de los hechos que hace notar esta investigación es que el MUTCD no requiere que se provea de un intervalo de todo rojo en las fases del semáforo.

Zimmerman y Bonneson (2004) estudiaron una medida potencial para la seguridad en intersecciones de alta velocidad con semáforos. Estos estudiaron como minimizar la cantidad de vehículos en la zona de dilema de la intersección. La zona de dilema (Figura 2) esta definida como el área donde el 90% hasta el 10% de los vehículos se arriesga a pasar cuando la luz cambia a amarilla.

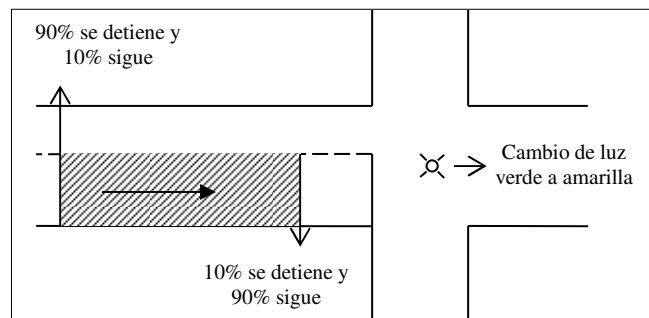


Figura 2: Ilustración de la zona de dilema en una intersección.

Se han desarrollado sistemas de protección para minimizar la cantidad de vehículos en la zona de dilema. Estos son el sistema convencional donde la luz cambia cuando se sobrepasa un intervalo mínimo (por medio de sensores) y un sistema dinámico que mide la velocidad y estima la zona de dilema de los vehículos para minimizar la cantidad de vehículos en el área cuando cambia la luz verde. Los dos tipos de choque más afectados por la zona de dilema son entrando a la intersección en ángulo y por la parte posterior.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el estudio se presenta en la figura 3.

METODOLOGÍA PARA CLASIFICACIÓN (RANKING)

Después de realizar una extensa revisión literaria discutida brevemente en secciones anteriores se recopilaron datos de accidentes de diferentes agencias tales como la Policía de Puerto Rico, Comisión para la Seguridad en el Tránsito, y la Oficina de Análisis de Accidentes. Luego se realizó un análisis estadístico descriptivo para identificar tendencias de diferentes variables de forma preliminar. Por ejemplo: accidentes por año, por mes, por día de la semana, por tipo de usuario, edad, sexo, tipo de facilidad, área, zona entre otras.

Se hizo un escogido preliminar de varias intersecciones utilizando un método que envuelve los tres factores principales que se han identificado como los más utilizados en diferentes ciudades de Estados Unidos. Estos son: frecuencia de accidentes, razón de accidentes, y severidad. Para este análisis preliminar se utilizaron los tres años de datos de accidentes mas recientes disponibles en la agencia. El análisis comienza reduciendo la cantidad de datos a ser analizados. Se hace un ordenamiento inicial donde se escogen las 100 intersecciones con mayor frecuencia de accidentes. Luego se hace un ordenamiento individual para la frecuencia, razón y severidad de accidentes. Esta parte del proceso es igual a la metodología utilizada por el Departamento de Transportación de Iowa. Se toman todas las clasificaciones calculadas y se determina un ordenamiento compuesto por los tres ordenamientos calculados en el paso anterior.

$$Rank_{comp} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{n} \quad (2)$$

Donde:

R_1 = frecuencia de accidentes

R_2 = severidad de accidentes

R_3 = razón de accidentes

n = cantidad de componentes ($n = 3$)

Se le asigna el valor de 1 al lugar $Rank_c$ menor y así sucesivamente hasta llegar a un valor máximo de 100.

Luego se realiza otro ordenamiento basado en tres índices para calcular un índice de peligrosidad que matemáticamente puede sumarse ya que los valores calculados serán adimensionales. Además este valor individual de cada intersección se puede interpretar como la cantidad de veces que este valor se aleja del promedio de los valores de las 100 intersecciones en las diferentes categorías (frecuencia, severidad, razón de accidentes y la combinación de todas).

$$I_k = \frac{k_i}{\frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n}} \quad (3)$$

$$I_p = I_f + I_s + I_r \quad (4)$$

Donde:

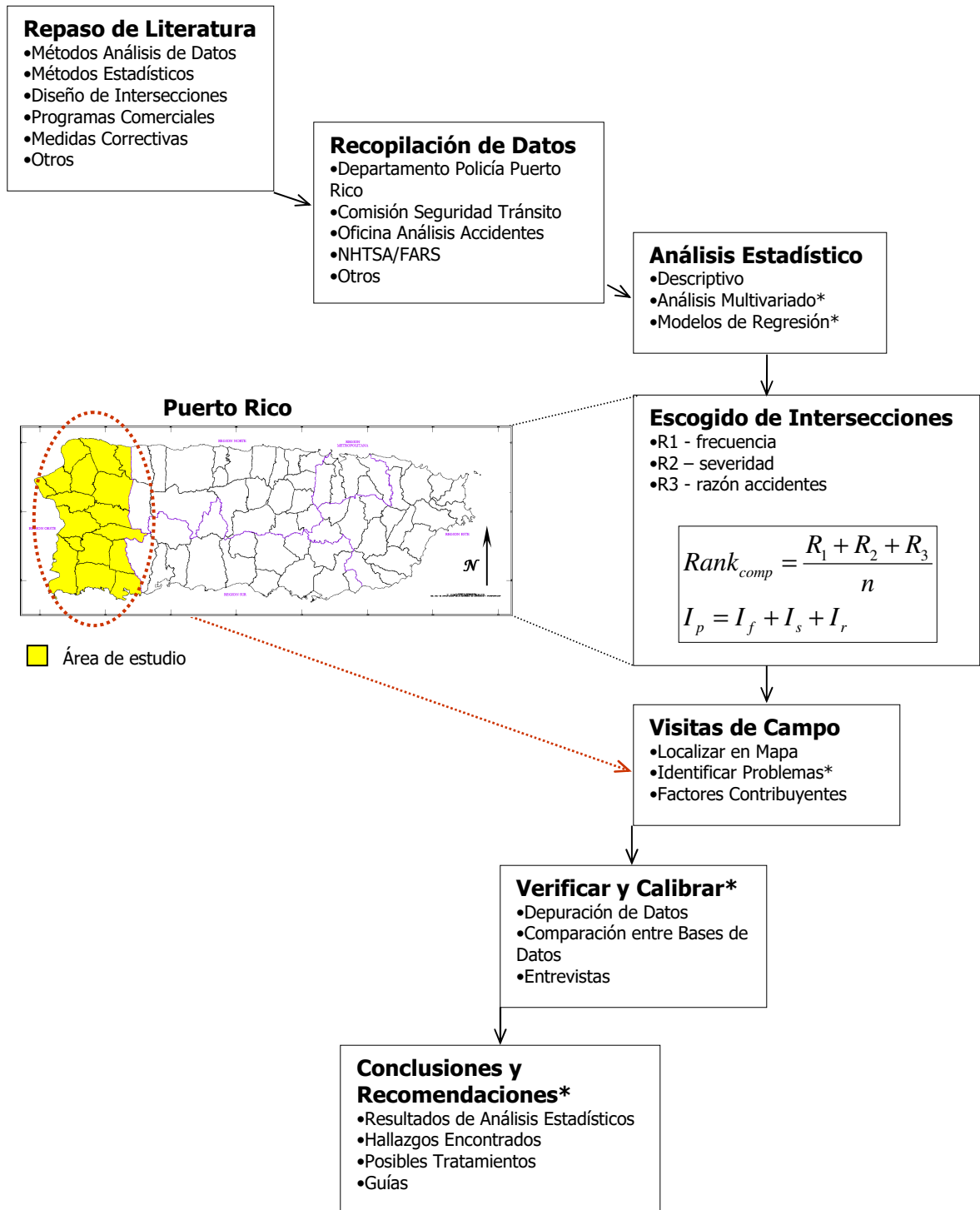
I_k = Índice de frecuencia (I_f), severidad (I_s) o razón de accidentes (I_r)

k_i = valor correspondiente al índice que se esté calculando ya sea frecuencia, severidad o razón de accidentes

n = tamaño de la muestra, en este caso 100 intersecciones

I_p = Índice de Peligrosidad

A partir de estos resultados se desarrollaran estadísticas descriptivas donde gráficamente (“box plots”) se identifica como las intersecciones (en el grupo de 100) más peligrosas a aquellas que estén entre el 75 percentil de la distribución y el índice máximo, o que rebasen el máximo de la distribución.



*tareas completadas parcialmente (se finalizarán en fases futuras)

Figura 3: Flujograma de metodología.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

A continuación se presentan los hallazgos más relevantes encontrados como parte del análisis descriptivo.

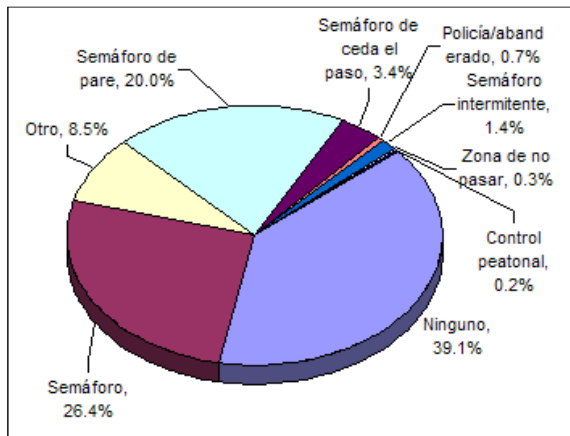


Figura 4: Accidentes en Intersecciones por tipo de Control.

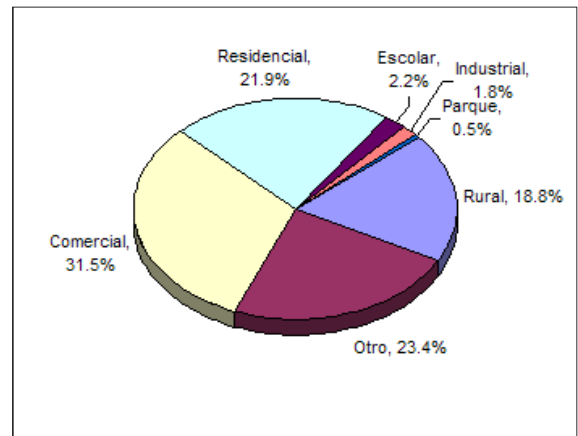


Figura 5: Comparación de Accidentes por Tipo de Zona.

En la figura 4 se observa que el porcentaje mayor de accidentes en intersecciones (el 39.1%) no tienen ningún tipo de control. La figura 5 muestra que el porcentaje mayor de accidentes en intersecciones (el 31.5%) ocurre en zona comercial.

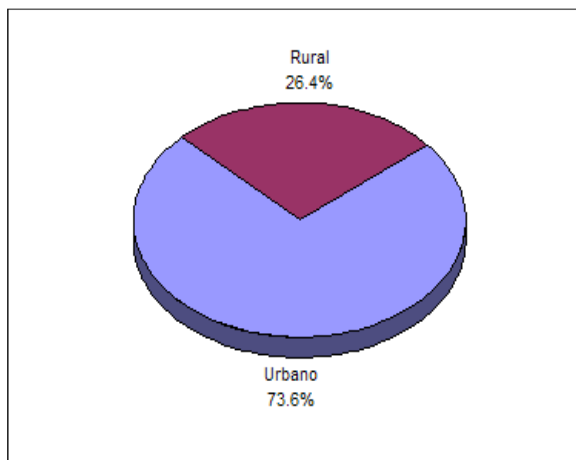


Figura 6: Comparación por Área en Intersecciones.

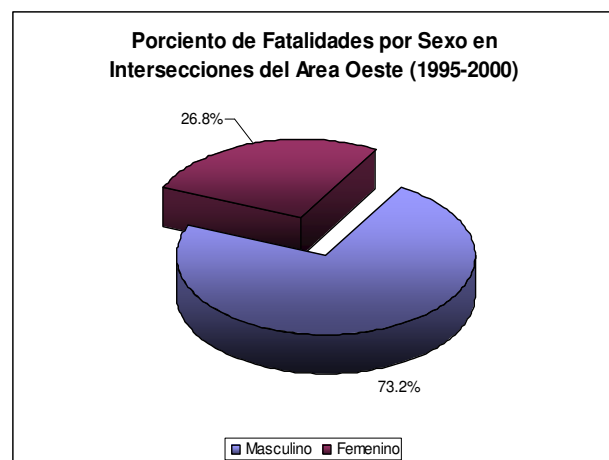


Figura 7: Comparación de Fatalidades por género.

El 73.6% de los accidentes en intersecciones ocurren en área urbana (ver Figura 6). El 73.2% de las fatalidades en intersecciones son del género masculino (ver Figura 7).

El 22% de las fatalidades en intersecciones corresponde a no-ocupantes (ver Figura 8). La mayor parte de las fatalidades en intersecciones ocurren en el mes de diciembre (15.9%) seguido por abril (12.2%). (Ver Figura 9)

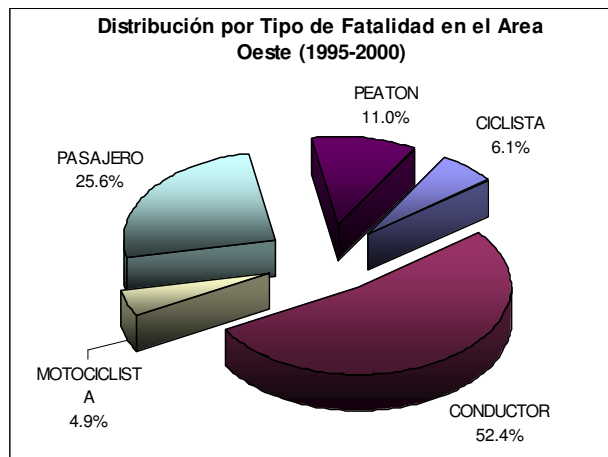


Figura 8: Tipo de Fatalidad en el Área Oeste.

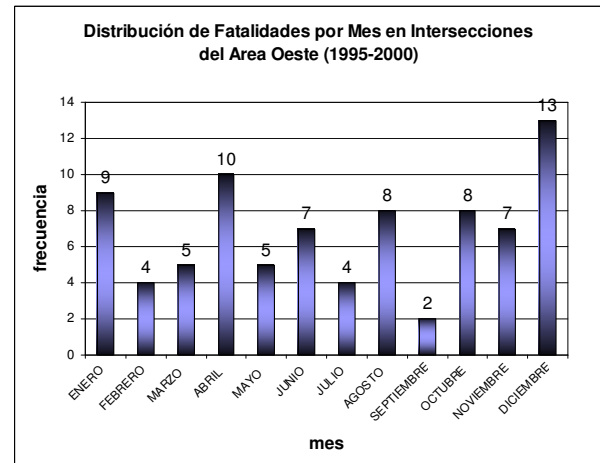


Figura 9: Fatalidades por Mes en Intersecciones.

La mayor parte de las fatalidades en intersecciones ocurren sábado (29.3%). El 29.3% de las fatalidades en intersecciones se encontró un contenido de alcohol en la sangre. El 77.8% de las fatalidades en intersecciones del área oeste ocurrieron en Mayagüez. El porcentaje mayor de fatalidades en intersecciones con contenido de alcohol en la sangre corresponde al rango de edad entre 40 a 49 años (37.5%). El porcentaje mayor de fatalidades en intersecciones con contenido de alcohol en la sangre ocurre en el mes de abril (25%). El 83.3% de las fatalidades en intersecciones con contenido de drogas en la sangre también tenían contenido de alcohol en la sangre. El 33.3% de las fatalidades asociadas a peatones en intersecciones se encontró contenido de alcohol en la sangre.

El porcentaje mayor de accidentes en intersecciones ocurre en el rango de las 3:00 – 6:00 de la tarde (ver Figura 10). La mayor parte de los accidentes en intersecciones ocurren los viernes. (Ver Figura 11).

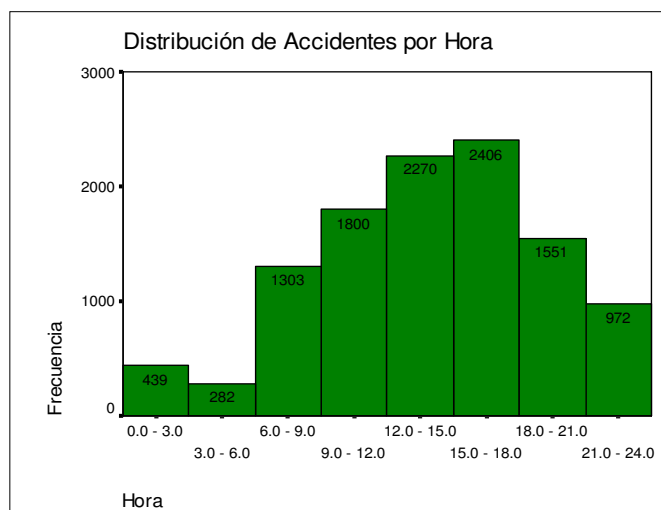


Figura 10

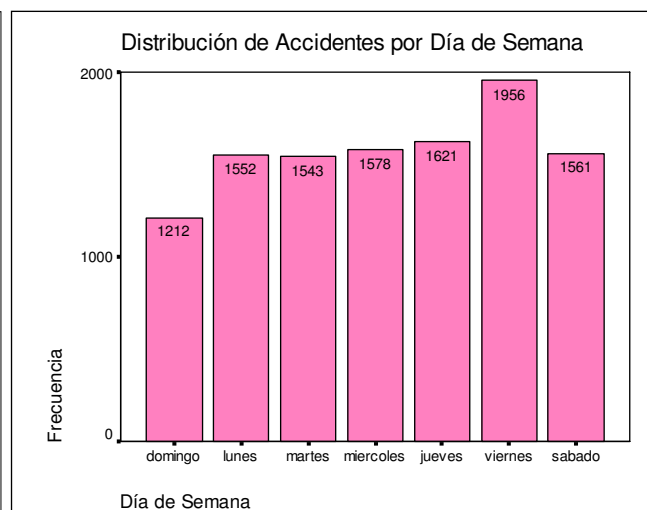


Figura 11

La tabla 2 muestra que la mayoría de los accidentes en intersecciones de dos carreteras estatales ocurren entrando a la intersección en ángulo (34.2%).

Tabla 2: Distribución de Accidentes por Tipo de Intersección y Tipo de Colisión.

Tipo de Colisión	Tipo de Intersección				Total
	intersección 2 carreteras estatales	intersección carretera estatal y municipal	intersección 2 vías municipales	se desconoce	
entrando intersección en ángulo	2206	1058	830	81	4175
misma dirección - posterior	1035	360	67	14	1476
misma dirección - uno virando	171	121	61	7	360
misma dirección - lateral	371	199	127	9	706
misma contraria - frontal	48	12	5	4	69
dirección contraria - uno virando	485	135	49	14	684
Dirección contraria-lateral	194	68	43	11	316
Vehículo estacionado	18	39	48	1	106
Vehículo detenido pavimento	1016	332	78	16	1442
Vehículo estacionándose o en retroceso	118	86	106	4	314
Vehículo saliendo de estacionamiento	32	23	11	2	68
Vehículo entrando a entrada privada	11	4	3	1	19
Vehículo saliendo de entrada privada	25	19	9	2	55
ninguna	694	309	158	23	1184
Total	6447	2767	1597	189	11001

Al realizar el ordenamiento por peligrosidad de las intersecciones (ver Tabla 3) se observó que las primeras veinte (20) estaban ubicadas por áreas. Por ejemplo se observa un grupo de nueve (9) en el municipio de Mayagüez, y seis (6) en el área de Moca y San Sebastián. Entre las primeras veinte intersecciones identificadas, trece (13) están ubicadas en la PR-2 donde se observa un alto volumen de vehículos y cinco (5) en la PR-111 donde el volumen es moderado.

Tabla 3: Ordenamiento individual y final de intersecciones.

Intersección	frec	R1
PR-2 y PR-343	213	1
PR-2 y PR-107	169	2
PR-2 y PR-114	135	3
PR-2 y PR-402	125	4
PR-2 y PR-110	124	5
PR-2 y PR-199	123	6
PR-2 y PR-112	118	7
PR-2 y PR-186	115	8
PR-110 y PR-111	113	9
PR-2 y PR-725	109	10
PR-111 y PR-445	100	11
PR-111 y PR-125	98	12
PR-2 y PR-233	98	12
PR-2 y PR-417	91	14
PR-2 y PR-345	88	15
PR-2 y PR-474	87	16
PR-65 y PR-108	84	17
PR-2 y PR-329	79	18
PR-2 y PR-459	79	18
PR-111 y PR-420	77	20
PR-2 y PR-122	77	20
PR-2 y PR-102	72	22
PR-110 y PR-125	71	23
PR-111 y PR-444	70	24
PR-111 y PR-446	66	25

Intersección	sev	R2
PR-2 y PR-104	1848	1
PR-2 y PR-485	1787	2
PR-2 y PR-343	1608	3
PR-2 y PR-103	1520	4
PR-2 y PR-329	1416	5
PR-2 y PR-402	1357	6
PR-2 y PR-199	1347	7
PR-111 y PR-446	1303	8
PR-2 y PR-394	1270	9
PR-2 y PR-446	1220	10
PR-2 y PR-725	1085	11
PR-2 y PR-110	1064	12
PR-2 y PR-186	983	13
PR-2 y PR-114	970	14
PR-110 y PR-111	958	15
PR-2 y PR-484	945	16
PR-111 y PR-420	936	17
PR-111 y PR-445	910	18
PR-100 y PR-102	782	19
PR-116 y PR-117	777	20
PR-2 y PR-474	763	21
PR-2 y PR-63	762	22
PR-2 y PR-319	735	23
PR-111 y PR-125	721	24
PR-2 y PR-107	712	25

Intersección	rate	R3
PR-650 y PR-714	0.818	1
PR-370 y PR-650	0.727	2
PR-110 y PR-111	0.523	3
PR-109 y PR-125	0.47	4
PR-108 y PR-645	0.443	5
PR-110 y PR-125	0.4	6
PR-111 y PR-420	0.391	7
PR-111 y PR-445	0.358	8
PR-420 y PR-495	0.348	9
PR-2 y PR-186	0.314	10
PR-2 y PR-343	0.313	11
PR-370 y PR-725	0.309	12
PR-65 y PR-108	0.297	13
PR-111 y PR-423	0.297	14
PR-111 y PR-446	0.291	15
PR-2 y PR-233	0.28	16
PR-111 y PR-125	0.278	17
PR-2 y PR-725	0.257	18
PR-119 y PR-125	0.255	19
PR-2 y PR-402	0.254	20
PR-411 y PR-16	0.254	21
PR-2 y PR-474	0.247	22
PR-115 y PR-414	0.247	23
PR-116 y PR-305	0.246	24
PR-114 y PR-317	0.233	25

ID	Intersección	Municipio	AADT	Promedio
1	PR-2 y PR-343	Hormigueros / Mayagüez	68000	5
2	PR-110 y PR-111	Moca	21600	9
3	PR-2 y PR-402	Añasco	49200	10
3	PR-2 y PR-186	Mayagüez	36600	10
5	PR-111 y PR-445	San Sebastián	27900	12
6	PR-2 y PR-725	Mayagüez	42400	13
7	PR-111 y PR-420	Moca	19700	15
8	PR-2 y PR-110	Aguadilla	55100	16
8	PR-2 y PR-199	Mayagüez	63500	16
8	PR-111 y PR-446	San Sebastián	22700	16
11	PR-2 y PR-329	Mayagüez	35000	17
12	PR-111 y PR-125	Moca / San Sebastián	35200	18
13	PR-2 y PR-474	Isabela	35200	20
14	PR-2 y PR-114	Mayagüez	85300	21
15	PR-2 y PR-233	Mayagüez	35000	23
15	PR-2 y PR-107	Aguadilla	101300	23
15	PR-65 y PR-108	Mayagüez	28300	23
18	PR-2 y PR-394	Mayagüez	35000	24
18	PR-2 y PR-112	Isabela	52000	24
20	PR-109 y PR-125	San Sebastián	12100	27

Al realizar el análisis utilizando índices, se observaron varias intersecciones extremas en las diferentes categorías. Cuando se sumó el índice, se observó una intersección que se salía del máximo de la distribución (“outlier”) que corresponde a la PR-2 con la PR-343. Este índice fue de 2.95 que se interpreta como que este valor es 195% mayor que el valor promedio de las 100 intersecciones. La tabla 4 presenta las intersecciones que están entre el máximo y el percentil 75 en las categorías de frecuencia, severidad, razón de accidentes y el índice de peligrosidad que se determina agregando los tres índices. Las casillas sombreadas corresponden a los datos que quedaron fuera de la distribución (“outliers”).

Tabla 4: Intersecciones Entre el Máximo y el Percentil 75.

Frecuencia	Severidad	Razón de Accidentes	Índice de Peligrosidad
PR-2 y PR-343	PR-2 y PR-104	PR-650 y PR-714	PR-2 y PR-343
PR-2 y PR-107	PR-2 y PR-485	PR-370 y PR-650	PR-110 y PR-111
PR-2 y PR-114	PR-2 y PR-343	PR-110 y PR-111	PR-2 y PR-402
PR-2 y PR-402	PR-2 y PR-103	PR-109 y PR-125	PR-2 y PR-199
PR-2 y PR-110	PR-2 y PR-329	PR-108 y PR-645	PR-2 y PR-186
PR-2 y PR-199	PR-2 y PR-402	PR-110 y PR-125	PR-2 y PR-110
PR-2 y PR-112	PR-2 y PR-199	PR-111 y PR-420	PR-111 y PR-445
PR-2 y PR-186	PR-111 y PR-446	PR-111 y PR-445	PR-2 y PR-725
PR-110 y PR-111	PR-2 y PR-394	PR-420 y PR-495	PR-2 y PR-329
PR-2 y PR-725	PR-2 y PR-446	PR-2 y PR-186	PR-2 y PR-107
PR-111 y PR-445	PR-2 y PR-725	PR-2 y PR-343	PR-2 y PR-104
PR-111 y PR-125	PR-2 y PR-110	PR-370 y PR-725	PR-111 y PR-420
PR-2 y PR-233	PR-2 y PR-186	PR-65 y PR-108	PR-111 y PR-446
PR-2 y PR-417	PR-2 y PR-114	PR-111 y PR-423	PR-2 y PR-114
PR-2 y PR-345	PR-110 y PR-111	PR-111 y PR-446	PR-2 y PR-485
PR-2 y PR-474	PR-2 y PR-484	PR-2 y PR-233	PR-650 y PR-714
PR-65 y PR-108	PR-111 y PR-420	PR-111 y PR-125	PR-2 y PR-394
PR-2 y PR-329	PR-111 y PR-445	PR-2 y PR-725	PR-111 y PR-125
PR-2 y PR-459	PR-100 y PR-102	PR-119 y PR-125	PR-2 y PR-112
PR-111 y PR-420	PR-116 y PR-117	PR-2 y PR-402	PR-2 y PR-474
PR-2 y PR-122	PR-2 y PR-474	PR-411 y PR-16	PR-370 y PR-650
PR-2 y PR-102	PR-2 y PR-63	PR-2 y PR-474	PR-109 y PR-125
PR-110 y PR-125	PR-2 y PR-319	PR-115 y PR-414	PR-2 y PR-103
PR-111 y PR-444	PR-111 y PR-125	PR-116 y PR-305	PR-2 y PR-233
PR-111 y PR-446	PR-2 y PR-107	PR-114 y PR-317	PR-65 y PR-108
PR-2 y PR-394			

En la tabla 5 se muestran las estadísticas descriptivas de los parámetros estudiados y en la figura 12 se presenta la gráfica correspondiente al índice de peligrosidad.

Tabla 5: Estadísticas Descriptivas de los Parámetros Estudiados.

	Frecuencia	Severidad	Razón de Accidentes	Índice de Peligrosidad
Mínimo	20.00	48.00	0.06	1.01
Percentil 25	30.25	206.25	0.11	1.90
Mediana	39.50	345.00	0.15	2.58
Promedio	53.05	507.14	0.19	3.00
Percentil 75	66.00	709.75	0.23	4.13
Máximo	213.00	1848.00	0.82	8.84
Desviación Estándar	35.09	418.95	0.13	1.56

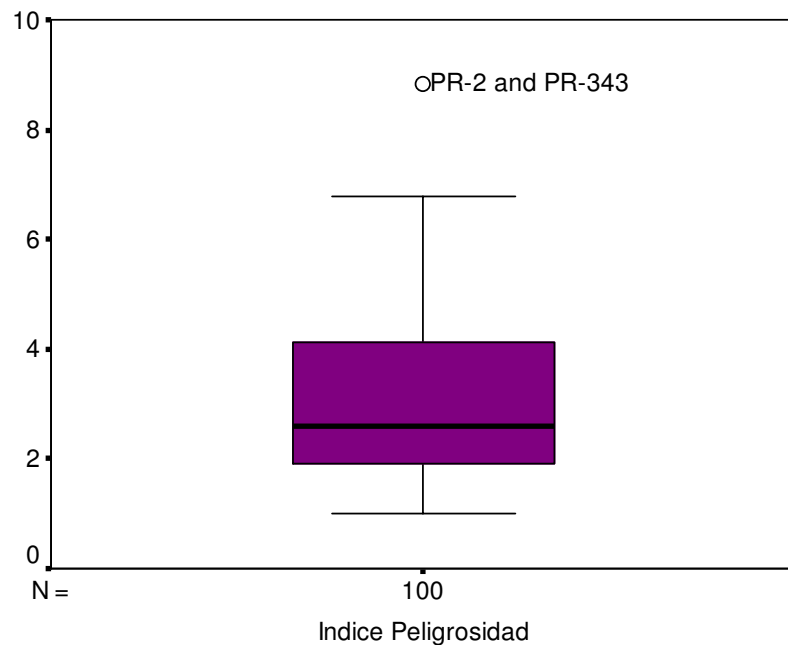


Figura 12: Gráfica de Índice de Peligrosidad (“box-plot”).

VISITAS DE CAMPO Y HALLAZGOS ENCONTRADOS

Como parte de la investigación se determinó las intersecciones que se visitaron inicialmente tomando la información obtenida en los análisis estadísticos y el ordenamiento descrito anteriormente. Se localizó en un mapa digital las intersecciones por medio de puntos, dibujando con un radio mayor los puntos que estén primero en el ordenamiento (ver figura 13 y 14). De esta manera, se pudo localizar áreas en donde se observan patrones de accidentes.

Cuando se realizaron las visitas de campo se pudo observar la situación actual de muchas de las intersecciones identificadas. De forma global se observó que la mayoría de las intersecciones estudiadas son asimétricas, ya sea por su geometría, cantidad de carriles, alineación vertical y horizontal entre otras. Las intersecciones están ubicadas en áreas principalmente comerciales o rodeadas de negocios aislados como restaurantes de comida rápida, farmacias, talleres, gasolineras entre otros. Además, están espaciadas unas de otras de manera muy densa.

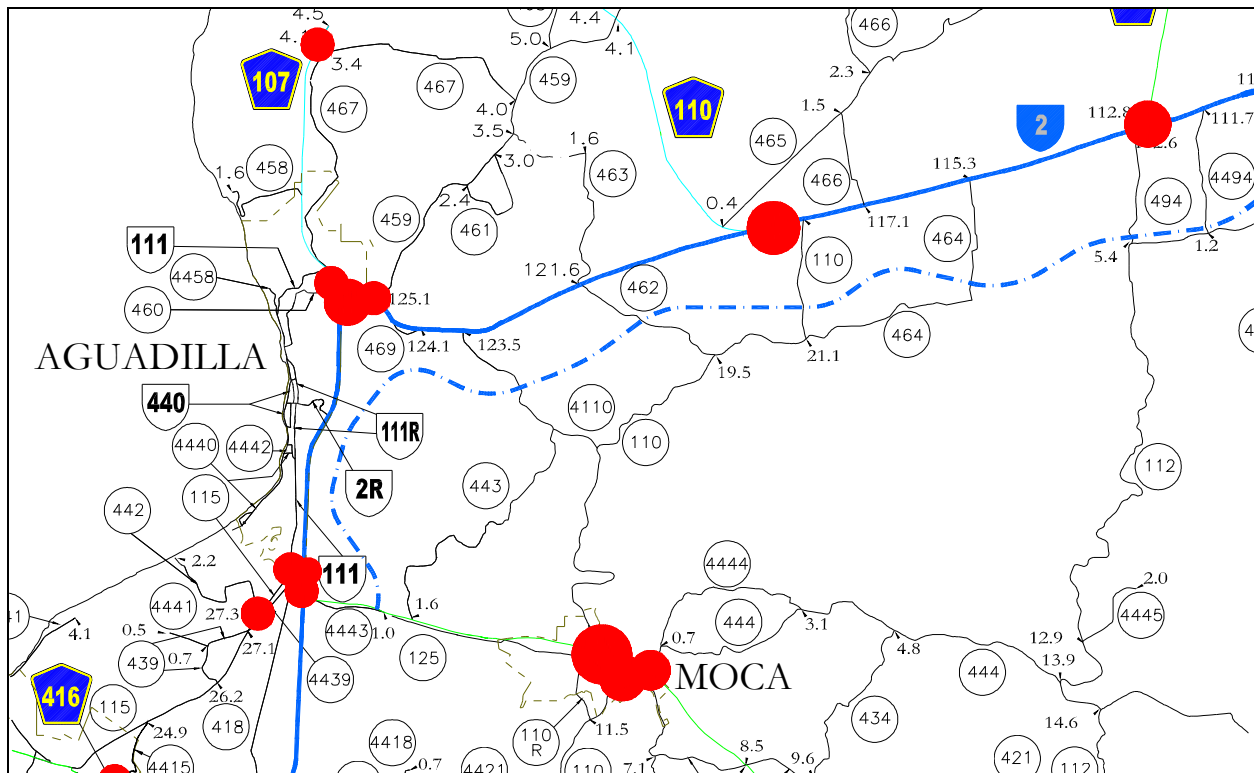


Figura 13: Mapa con Intersecciones Peligrosas (área oeste-norte).

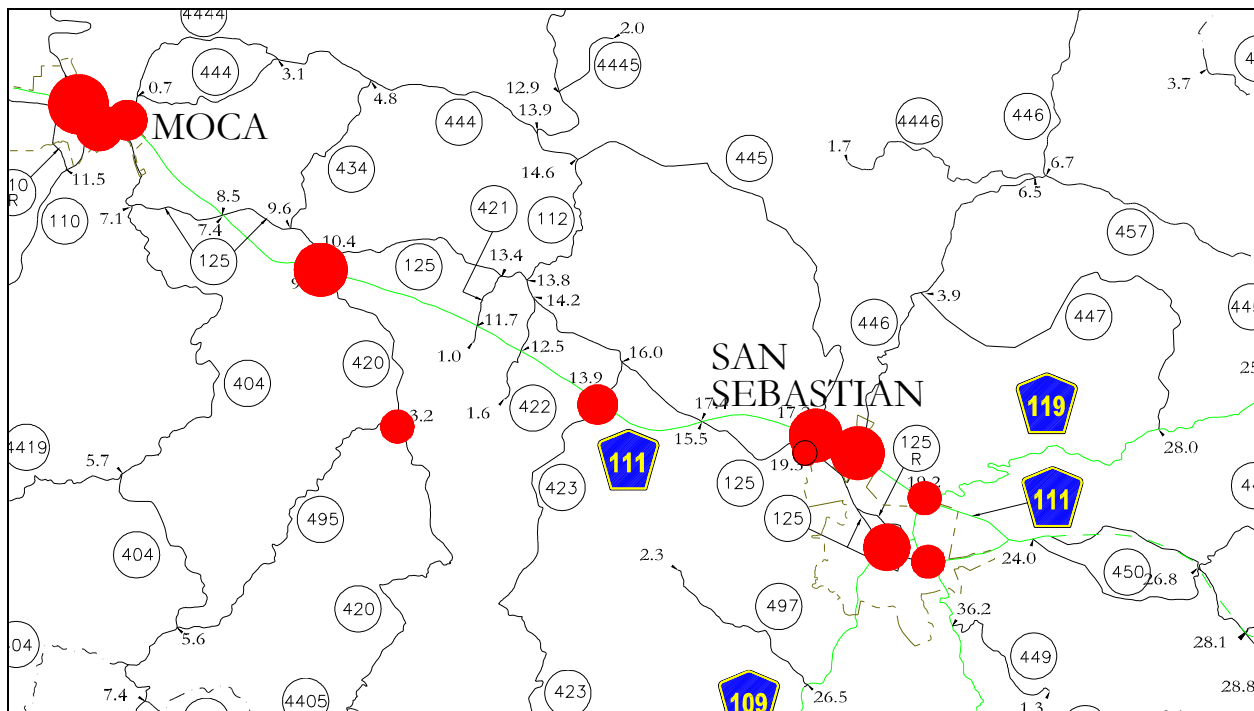


Figura 14: Mapa con Intersecciones Peligrosas (área oeste).

La manera en que las personas deben manejarse en una intersección muchas veces es compleja y confusa, esta complejidad se hace mucho más problemática si las intersecciones son asimétricas. Vivimos en una isla con una topografía accidentada la cual se ha ido desarrollando de forma vertiginosa, provocando que lugares con topografía rural

sean habilitados como áreas urbanas y esto a su vez genera un aumento en la cantidad de viajes y vehículos que transitan el lugar.

Entre los factores que se han observado que contribuyen a la peligrosidad en intersecciones se encuentran: si es asimétrica, si la zona es comercial, residencial, o escolar, si hay presencia de peatones, si los accesos son en pendiente, en ángulo o en curva, si hay poca visibilidad, flujo alto, desproporción en el volumen de los accesos, si hay ausencia de controles, marcado o delineación, si el clima es lluvioso o si el pavimento es de hormigón (resbala).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las siguientes son las conclusiones y recomendaciones preliminares:

Es sumamente importante el regular los controles de acceso, y realizar estudios de tránsito para evaluar el impacto de desarrollos que no estaban contemplados ya que a medida que aumentan los accesos, aumentan los conflictos y por ende los accidentes.

Se debe evaluar de forma separada las áreas rurales y las áreas urbanas ya que la problemática es muy distinta. En zonas rurales existe mucha problemática por la visibilidad, iluminación, objetos fijos, tipo de controles de tránsito, alineación vertical y horizontal, condición del pavimento y las orillas de la carretera entre otras. En áreas urbanas la problemática esta asociada también a la velocidad, el alto volumen, las fases de los semáforos, la separación de movimientos entre otros.

Algo que es sumamente importante para poder mejorar la seguridad vial es el hacer cumplir las leyes. Una técnica que se ha utilizado con éxito para hacer cumplir las leyes es colocar cámaras en las intersecciones que ayuden controlar el comportamiento en las mismas.

Se han identificado algunos problemas que no son comunes en otros lugares del mundo, como por ejemplo:

- Exceso de intersecciones asimétricas,
- Agregado pulido en pavimento de hormigón que resbala cuando comienza a llover,
- Problemas de animales, ganado, vacas, toros, ovejas, corrales clandestinos a la orilla de la carretera,
- Problemas con peatones por desarrollos urbanos en áreas suburbanas donde se crean comercios a un lado de la carretera y áreas residenciales al otro lado.

En cuanto a la entrada de datos en las bases de datos de accidentes, se debe trabajar de forma más eficiente desde la raíz.

Los policías deben adiestrarse de forma adecuada para que puedan identificar de forma correcta mucha terminología que se utiliza en el informe de la policía y que no se explica con claridad. Por ejemplo es importante que sepan identificar con precisión la clasificación funcional de la carretera y el tipo de zona en que se encuentra.

Por otro lado es imprescindible el proveer, ya sea por medio de equipos nuevos que utilizan tecnología de GPS o un kilometraje bien marcado, para determinar los lugares peligrosos y poder hacer estudios con la precisión adecuada.

Además, debería desarrollarse un sistema de identificación única para identificar carreteras que no son estatales o entradas a lugares importantes como universidades o comercios de manera que puedan ser identificados posteriormente.

En el caso de la información de las carreteras que componen una intersección, deberían describirse en detalle todas las carreteras que la componen para poder determinar con precisión como ocurrieron los accidentes y además se puedan desarrollar diagramas de colisión con esta información.

Además, se debe desarrollar un mecanismo que depure aun más la entrada de datos y detecte posibles errores al instante, para que la persona tome acción y pueda arreglarlo.

Para continuar con investigaciones futuras se debe promover que las agencias de gobierno que tienen la responsabilidad de trabajar con la seguridad pública deben buscar mecanismos para asignar fondos y estudiar la complejidad y la problemática existente en Puerto Rico. En cuanto a como se puede extender estos conocimientos a otros lugares de la isla, los centros de investigación deben formar una parte integral para la investigación continua de estos datos e investigar a fondo los diferentes hallazgos encontrados en esta investigación.

INVESTIGACIONES FUTURAS

Entre las fases futuras de esta investigación está el desarrollar modelos para determinar la relación entre la variable que será definida como la complejidad de la intersección para ver de que manera influye en la peligrosidad de las intersecciones estudiadas. Esta variable considerará factores tales como: la asimetría de la intersección; la presencia de comercios, accesos, o marginales; el ADT de la vía principal y secundaria; cantidad de carriles, topografía, clima, velocidad reglamentaria, presencia de peatones o camiones, distracciones en el entorno (por ejemplo: "billboards"); conflictos en el área de dilema, entre otros.

A base de los hallazgos de esta investigación, se recomienda las siguientes áreas para futuras investigaciones:

Expandir la metodología a toda la red de intersecciones de la isla.

Encuestar a conductores con una posible muestra de estudiantes universitarios y profesores representativos de la red de conductores que transitan por las vías públicas en cuanto a los aspectos de factores humanos, el efecto del uso de

celulares, distracción interna y externa, la fatiga, los rótulos grandes de publicidad a la orilla de las carreteras (billboards), la proximidad de los accesos a las intersecciones, peatones, etc.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Autoridad de Carreteras y Transportación por sufragar los gastos y darnos la oportunidad de realizar esta investigación. Además se le agradece al Programa HSI (Hispanic Service Institution) de la Administración Federal de Carreteras por otorgarnos la beca federal Dwight David Eisenhower, al Centro de Transferencia por el apoyo y ayuda incondicional que siempre nos brinda y a la Oficina de Análisis de Accidentes, en especial a su director el Sr. Gerardo Acevedo, y a el Ingeniero y programador José Castañer por facilitarnos la base de datos de accidentes.

REFERENCIAS

- Federal Highway Administration, (2003) “*National Agenda for Intersection Safety – Preliminary Draft.*” <<http://safety.fhwa.dot.gov/fourthlevel/intersafagenda.htm/>>
- Nicholas J. Garber, Lester A. Hoel (2001). *Traffic and Highway Engineering*, 3^{ra} Edición.
- US Department of Transportation, Federal Highway Administration, (1981). *Highway Safety Improvement Program*.
- Office of Traffic and Safety, Iowa Department of Transportation, (2002). “Evaluation of the Iowa DOT’s Safety Improvement Candidate List Process,” *CTRE Project 00-74*.
- Jutaek Oh, Simon Washington y Keechoo Choi, (2004). “Development of Accident Prediction Models for Rural Highway Intersections.” TRB.
- Stephen E. Hill y Jay K. Lindly, (2004). “Red Light Running Prediction and Analysis,” TRB.
- Kerrie L. Schattler y Tapan K. Datta, (2004). “Driver Behavior Characteristics at Urban Signalized Intersections.” TRB.
- Karl Zimmerman y James A. Bonneson, (2004). “Number of Vehicles in the Dilemma Zone as a Potential Measure of Intersection Safety at High-Speed Signalized Intersections,” TRB.
- U.S. Department of Transportation – NHTSA, (2002). *NHTSA - National Highway Traffic Safety Administration*. <<http://www.nhtsa.dot.gov/>>
- US Department of Transportation, Federal Highway Administration, (2001). *Manual of Uniform Traffic Control Devices*, Millennium Edition Manual.
- Departamento de Transportación y Obras Públicas de Puerto Rico, (2000). “Departamento de Transportación y Obras Públicas”. <<http://www.dtop.gov.pr/>>
- US Department of Transportation, NHTSA, (2001). “Fatality Analysis Reporting System. (FARS),” <<http://www-fars.nhtsa.dot.gov/>>