

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**Profesor Patrocinante: Patricio Álvarez Mendoza PhD.**

**“ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE  
DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA,  
DURACIÓN Y SEVERIDAD DE INCIDENTES  
DE TRÁNSITO EN EL GRAN CONCEPCIÓN”**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Civil

**FRANCISCO MARCELO SILVA BOCAZ**

*A mi familia por todo el apoyo que me han brindado  
y las personas que estuvieron en este camino.*

**TABLA DE CONTENIDO**

ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Justificación del tema.....	5
1.2. Objetivos del tema .....	5
1.2.1. <i>Objetivo General</i> .....	5
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	5
1.3. Alcances del proyecto .....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Congestión de tránsito .....	6
2.1.1. <i>Congestión Recurrente</i> .....	6
2.1.2. <i>Congestión No Recurrente</i> .....	7
2.1.3. <i>Costos de la congestión</i> .....	7
2.2. Incidentes de tránsito .....	8
2.2.1. <i>Manejo de incidentes de tránsito</i> .....	8
2.3. Características de la congestión no recurrente.....	9
2.3.1. <i>Frecuencia</i> .....	9
2.3.2. <i>Duración</i> .....	11
2.3.3. <i>Severidad</i> .....	13
3. SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE .....	15
3.1. ¿Qué son los SIT?.....	15
3.2. Waze .....	17
4. METODOLOGIA.....	18

4.1. Plataforma Waze.....	18
4.2. Horario y periodo de observación .....	19
4.3. Registro.....	19
4.4. Calculo de la duración de un incidente.....	20
5. ANALISIS Y RESULTADOS .....	22
5.2. Distribución diaria de incidentes .....	24
5.3. Relación entre la frecuencia y la duración.....	25
5.4. Relación entre la frecuencia y la severidad.....	27
5.5. Costos de la congestión no recurrente .....	28
5.6. Distribución espacial de incidentes.....	31
5.6.1. Incidentes en la berma.....	31
5.6.2. Incidentes en 1 y 2 pistas .....	32
6. CONCLUSIÓN .....	34
REFERENCIAS .....	36
ANEXOS .....	38
ANEXO A .....	38
ANEXO B .....	44
ANEXO C .....	53
ANEXO D .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de la Congestión.....	6
Figura 2: Probabilidad de accidentes de un día domingo. ....	10
Figura 3: Fases de un incidente. ....	11
Figura 4: Distribución Log Normal para duración de incidentes. ....	12
Figura 5: Severidad de incidentes.....	14
Figura 6: Visualización plataforma Waze. ....	18
Figura 7: Ejemplo 1 de medición de duración.....	21
Figura 8: Ejemplo 2 de medición de duración.....	21
Figura 9: Porcentaje de incidentes según periodo observado. ....	22
Figura 10: Accidentes de tránsito según hora y día de la semana. ....	23
Figura 11: Cantidad de incidentes por día medido.....	24
Figura 12 Distribución de incidentes por duración. ....	25
Figura 13: Disgregación de duraciones por severidad.....	26
Figura 14: Distribución de incidentes por severidad.....	27
Figura 15: Comparación de distribuciones según caso. ....	28
Figura 16: Incidentes en berma .....	31
Figura 17: Incidentes en berma .....	32
Figura 18: Incidentes en 1 y 2 pistas .....	32
Figura 19: Incidentes en 1 y 2 pistas .....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estudios de manejo de incidentes.....	8
Tabla 2: Capacidad disponible luego de un incidente de tránsito (%). ....	13
Tabla 3: Sistemas inteligentes de transporte. ....	15
Tabla 4: Nuevos costos por kilómetro de parámetros debido a incidentes. ....	29
Tabla 5: Costo total de la congestión no recurrente en punta mañana. ....	30

## **ESTIMACIÓN DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE INCIDENTES DE TRÁNSITO EN EL GRAN CONCEPCIÓN**

**Francisco Marcelo Silva Bocaz**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío.

frasilva@alumnos.ubiobio.cl

**Patricio Álvarez Mendoza.**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío.

palvarez@ubiobio.cl

### **RESUMEN**

En el Sistema de tránsito a diario es posible identificar que la congestión vehicular tiene dos orígenes los cuales son, como congestión recurrente provocada por el aumento del flujo vehicular en donde la demanda de tránsito supera la capacidad de la vía, y también como congestión no recurrente la cual ocurre sin aviso alguno provocando la disminución de la capacidad de la vía.

La congestión no recurrente es un tipo de congestión que ocurre de manera irregular, dando ejemplos como, mantenimiento o arreglos en la calzada, climas adversos, choques y colisiones de tránsito, etc. A todo lo anterior se le conoce como incidentes de tránsitos, el cual el manual de capacidad de carretera define como “toda ocurrencia sobre el camino que impida al normal flujo del tránsito”.

A diferencia de la congestión recurrente que se caracteriza por el aumento de la demanda de la vía, la congestión no recurrente se caracteriza por factores como la frecuencia, duración y severidad de los incidentes de tránsito. El estudio de estos factores nos proporcionara información útil para definir los costos asociados a este tipo de congestión, lo cual cada vez está más a alcance gracias a los ya conocidos sistemas inteligentes de transporte quienes disponen tanto de información historia como también en tiempo real de lo que ocurre en el sistema de tránsito.

Para esta tesis se hará uso de un sistema inteligente de transporte conocido como Waze con el cual será posible la obtención de información correspondiente a los incidentes de tránsito y así conocer de manera aproximada como se distribuyen por su duración y severidad, y además utilizar esta información para dar un estimado de los costos de la congestión no recurrente.

Palabras Clave: Congestión, Incidentes de tránsito, Distribución de Frecuencia, Duración y Severidad.

## **ESTIMATION OF DISTRIBUTION FUNCTIONS OF TRAFFICS INCIDENTS OF GREAT CONCEPCIÓN**

**Francisco Marcelo Silva Bocaz**

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio.  
frasilva@alumnos.ubiobio.cl

**Patricio Álvarez Mendoza.**

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio.  
palvarez@ubiobio.cl

### **ABSTRACT**

In the daily transit system it is possible identify that the traffic congestion has two origins which are as recurrent congestion caused by the increase of the traffic flow where the traffic demand exceeds the capacity of the road, as well as non-recurring congestion which occurs without advice causing the decrease of the capacity of the road.

The non-recurring congestion is a type of congestion that occurs irregularly, giving examples such as maintenance or arrangements on the road, adverse weather, traffic collision, etc. To the all previous is known as traffic incident that the highway capacity manual define as “any occurrence on the road that prevent the normal traffic flow”.

Unlike to the recurrent congestion that is characterized by the increased of traffic demand on the road, the non-recurring congestion is characterized by factors like frequency, duration and severity of the traffic incident. The study of these factors provide useful information to define the costs associated with this type of congestion, which become more powerful thanks to the known as intelligent transport system who have history information as well as real time information it happens in the transit system.

For this thesis will make use an intelligent transport system known as Waze with which it is possible obtain information corresponding to transit incident and get roughly how they are distributed by its duration and severity, and also give an estimated cost of non-recurring congestion.

## 1. INTRODUCCIÓN

El parque vehicular habitualmente se enfrenta a problemas de una gran concurrencia de automóviles, también denominada congestión de tránsito, la cual se puede presentar de dos diferentes formas, la primera es como congestión recurrente provocada por el aumento del flujo vehicular en donde la demanda de tránsito supera la capacidad de la vía normalmente producida en las horas punta cuando el flujo vehicular es mayor, y también se puede presentar como congestión no recurrente la cual ocurre sin aviso alguno provocando una disminución de la capacidad de la vía.

La congestión vehicular también denominada como “taco” se puede producir tanto urbana como interurbana, y básicamente es la saturación de la vía. La presencia de congestión nos implica un incremento de los costos de viaje, con esto nos referimos al consumo de combustible, aumento en los tiempos de viaje, aumento de emisiones de gases a la atmósfera, etc.

La congestión no recurrente es un tipo de congestión que ocurre de manera irregular, provocada tanto por construcciones o arreglos en la vía, climas adversos, vehículos averiados, choques y colisiones de tránsito, etc. A todo lo anterior se le conoce como incidentes de tránsito, el cual el manual de capacidad de carretera (HCM2000) define como “toda ocurrencia sobre el camino que impida el normal flujo del tráfico”.

A diferencia de la congestión recurrente que se caracteriza por el aumento de la demanda de la vía, la congestión no recurrente se caracteriza por factores como la frecuencia, duración y severidad de los incidentes de tránsito. El estudio de estos factores nos proporcionaría información útil para definir de manera más aproximada los costos asociados a este tipo de congestión para una zona de estudio ya que no necesariamente se puedan ver reflejadas las mismas condiciones de un lugar a otro.

Para esta tesis se hará uso de un sistema inteligente de transporte en el cual nos basaremos para la obtención de información correspondiente a los incidentes de tránsito y así conocer de manera aproximada los costos de la congestión no recurrente.

## **1.1. Justificación del tema**

Con el surgimiento de los Sistemas Inteligentes de Transportes (SIT o ITS “Intelligent Transport System”) se han extendido las posibilidades de gestión de tránsito. Los ITS permiten tener información histórica y en tiempo real de la operación del sistema de transporte. Sin embargo la efectividad de dichos sistemas depende fuertemente del tipo de problemas que se generen en la red de transporte. En particular de la distribución de frecuencia, duración y severidad de los incidentes. En el caso chileno, existe información muy limitada respecto de estas distribuciones, situación que justifica investigar sus características.

## **1.2. Objetivos del tema**

### *1.2.1. Objetivo General*

- Construir funciones de distribución de frecuencia, duración y severidad de incidentes de tránsito en el Gran Concepción

### *1.2.2. Objetivos Específicos*

- Sintetizar el estado del arte respecto de distribuciones de frecuencia, duración y severidad de incidentes de tránsito
- Sintetizar la información de frecuencia, duración y severidad de incidentes de tránsito en el Gran Concepción
- Registrar la frecuencia, duración y severidad de incidentes de tránsito del Gran Concepción
- Construir distribuciones de frecuencia, duración y severidad de incidentes de tránsito del Gran Concepción

## **1.3. Alcances del proyecto**

El estudio tendrá como zona de estudio el Gran Concepción, y se hará uso de una plataforma de navegación asistida por GPS conocida como Waze.

## 2. MARCO TEÓRICO

En esta sección se darán a conocer los aspectos generales de lo que es la congestión de tránsito y sus derivados, también se dará mención a trabajos realizados por otros autores en relación a los factores que caracterizan a la congestión no recurrente, que son la frecuencia, duración y severidad de los incidentes de tránsito.

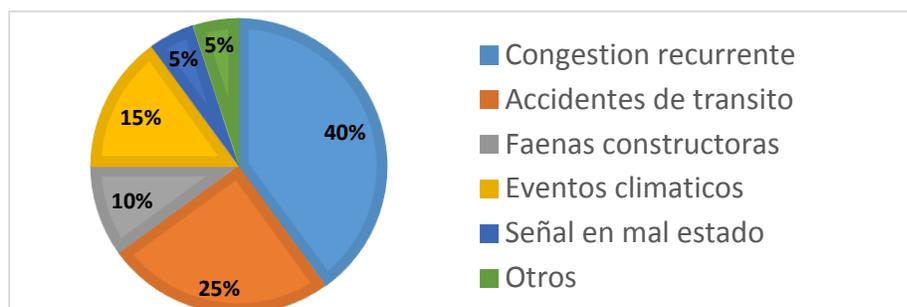
### 2.1. Congestión de tránsito

La congestión de tránsito a medida que pasan los años es un problema que se va haciendo más común para los usuarios del sistema de transporte debido al continuo incremento del parque vehicular, lo que lleva a que la demanda de las vías sea mayor, sin embargo la capacidad de estas vías no necesariamente van en incremento juntos con el aumento de flujo, sino que la mayoría de estas se mantienen constantes provocando así que la demanda sea mayor a la oferta y producto de esto se provoque la congestión.

Si bien se dijo que un aumento de demanda podía superar la capacidad de una vía provocando así congestión, también está la posibilidad de que ocurran eventos que disminuyan la capacidad de esta y producto de ello se llegue a congestionar. Por esto podemos decir que existen dos tipos de congestión, que son la congestión recurrente y la congestión no recurrente.

#### 2.1.1. Congestión Recurrente

Se le denomina congestión recurrente a aquella que se produce en intervalos de tiempo asociados a las horas punta en donde la demanda de tránsito es muy cercana o incluso supera a la capacidad de la vía. Debido a esto la congestión recurrente tiende a ser predecible y repetitiva. Estudios han probado que la congestión recurrente representa un 40% de la congestión total, mientras que el otro 60% corresponde a la congestión no recurrente como lo muestra la figura 1.



**Figura 1: Distribución de la Congestión**  
Fuente: The geography of transport systems

### *2.1.2. Congestión No Recurrente*

A diferencia de la congestión recurrente este tipo de congestión no es predecible ni repetitiva debido a que ocurre en lugares específicos y producto de eventos inusuales como accidentes de tránsito, vehículos en pana, faenas de construcción, mejoras en la vía, climas adversos, etc. a todo esto también se le conoce como incidentes de tránsito. Además debe existir un flujo relativamente continuo en el lugar donde ocurra el incidente para que se llegue a provocar algún grado de congestión.

Dada la irregularidad de este tipo de congestión los estudios para mitigarla son escasos, ya que la mayoría tiende a centrarse en la congestión recurrente donde se le es posible identificar por su carácter repetitivo, dando así mejoras en secciones específicas de un tramo de camino, dando ejemplos como: mejora de infraestructura, sincronización de la semaforización para una velocidad uniforme, vías unidireccionales en horas punta, etc.

### *2.1.3. Costos de la congestión*

Cuando se habla de los costos asociados a la congestión nos referimos al incremento en los tiempos de viaje, emisiones de gases a la atmosfera, consumo de combustible, etc.

Estos costos han sido estudiados y estimados por diferentes entidades, realizando modelos tanto microscópicos como macroscópicos. Uno de los que ha estudiado estos costos es Shrank et al. (2011) el cual estimo los costos para Estados Unidos en unos 101 billones de dólares solo en el 2010, los cuales ascenderían a 133 billones de dólares para el 2015.

Sin embargo cuando se entra en el tema de la congestión no recurrente se es más difícil estimar estos costos debido a su irregularidad y escasas metodologías las cuales no pueden ser generalizadas ya que dependen del área de estudio variando así de ciudad en ciudad.

En el Gran Concepción se estimaron los costos de la congestión no recurrente por parte de Reyes, 2014 la cual mediante microsimulaciones obtuvo que al año se producían costos de 105 millones de pesos solo en la punta de mañana.

## 2.2. Incidentes de tránsito

Se debe diferenciar un accidente de un incidente ya que suelen ser considerado lo mismo, los accidentes son solo una parte de los incidentes, como también lo son vehículos detenidos por avería o falta de combustible, señalizaciones en mal funcionamiento, vías en mantenimiento, etc.

Los incidentes de tránsito son definidos como todo evento que afecta el normal flujo de tránsito causando temporalmente la reducción de la capacidad de la vía en la que tiene lugar, provocando así que el número de vehículos que comienzan a llegar al punto de conflicto sea mayor al número de vehículos que pueda moverse a través de este.

La ocurrencia de estos incidentes puede llegar a tener un gran impacto en lo económico y social, debido a su efecto en los tiempos de viaje de los usuarios de la red de transporte y en los gases que se liberan a la atmósfera, lo que lleva a la existencia de planes de manejo de incidentes para reducir de esta manera los costos asociados a su presencia.

### 2.2.1. Manejo de incidentes de tránsito

El manejo de incidentes de tránsito consiste en la aplicación de instituciones, mecanismos, recursos técnicos y sistemas inteligentes de transporte para así detectar y responder rápidamente a la ocurrencia de algún evento y restaurar así la capacidad que entrega la vía afectada para el tránsito. Se han realizado varios estudios con respecto al uso de planes de manejo de incidentes, algunos de los resultados obtenidos por estos planes pueden verse en la tabla 1.

<b>Referencia</b>	<b>Resultado</b>
Federal Highway Administration, Metropolitan Deployment Initiative-Seattle Final Evaluation Report, Washington DC, 2000	Reducción en un 1,2% de combustible al año.
Jacobson, L., et al., Incident Management Using Total Stations, Seattle, 1992	Disminución en 7700 galones de combustible por incidente.
Perrin, J., et al., Advance Transportation System Elemental Cost Benefit Assessment, Washington DC, 2004	Reducción en un 12%-36% de la duración de un incidente.

**Tabla 1: Estudios de manejo de incidentes.**

**Fuente: Intelligent Transportation Systems for Traffic Incident Management.**

### 2.3. Características de la congestión no recurrente

Como ya se ha mencionado la congestión no recurrente se puede caracterizar por tres parámetros que son la frecuencia, la duración y la severidad de los incidentes de tránsito, parámetros cuya mejor forma de analizar es mediante el historial de incidentes de tránsito de una determinada área.

#### 2.3.1. Frecuencia

Este parámetro está relacionado a la cantidad de incidentes de tránsito a lo largo de una vía. Se han realizados diversos estudios que han analizado este parámetro enfocándose principalmente en la cantidad de incidentes y cuan grave han sido, inclusive relacionándolos con la geometría de la vía.

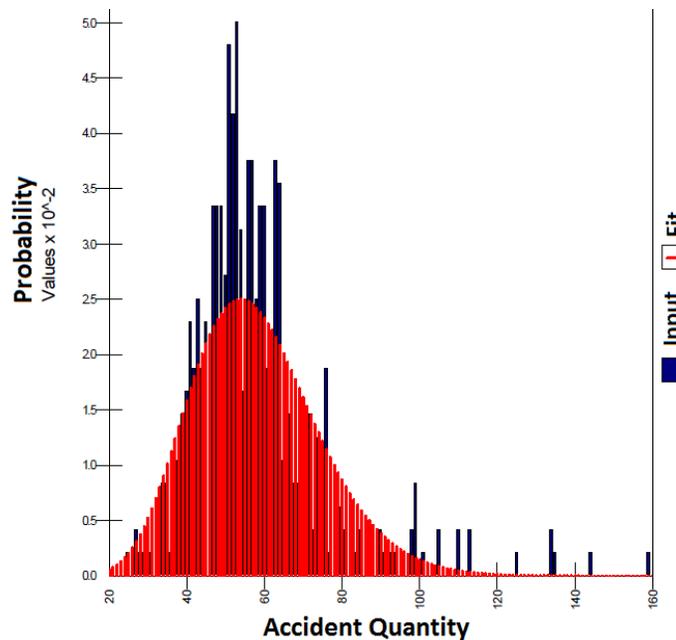
Algunos de estos estudios han sido realizados por:

- Hamerslag, Roos y Kwakernaak (1982), quienes estudiaron como el número de incidentes dependía tanto de la geometría del camino como también de las características del tránsito, obteniendo resultados como que la presencia de ciclo vías y el flujo de estas aumentaba significativamente la ocurrencia de incidentes, también se llegó a que la disminución en los radios de curvas horizontales implicaba un aumento en la cantidad de incidentes.
- Hadi (1995), utilizando regresiones binomiales negativas encontró que aumentando el ancho de pista, berma y mediana tenían un impacto en la reducción del número de incidentes de tránsito.
- Lee y Mannering (1999), designaron una carretera para su análisis y la segmentaron para así conocer la cantidad de incidentes que ocurrían en cada segmento y así asociarlos a la geometría o característica de esa porción de vía, obteniendo como resultado una distribución equitativa a lo largo del camino salvo en secciones específicas en donde se notaba claramente un aumento en la frecuencia de incidentes.

En Chile por medio de los registros presentados por carabineros y la sección de desarrollo, ingeniería y seguridad vial se logra conocer las estadísticas respecto a accidentes de tránsito para cada ciudad del país, dando a conocer además tipología de los accidentes y sus severidades en cuanto a víctimas fatales y lesionadas, notándose en esto un incremento año a año. Para el 2014 en Chile se contaron 78.445 accidentes, un 7% más que los ocasionados en el 2013. De estos 78.445 accidentes solo 5.039 tuvieron lugar en la Provincia de Concepción, área que será estudiada en este proyecto.

Muy parecido es lo que realiza el Departamento de Transporte de Estados Unidos quienes disponen de base de datos históricos respecto de accidentes de tránsito para los caminos que tienen en observación. Estos datos poseen información tanto de la locación del accidente, de su severidad, estado del clima, hora de inicio y de fin, volúmenes de tránsito, etc., es decir, información más detallada que la que se tiene actualmente en Chile.

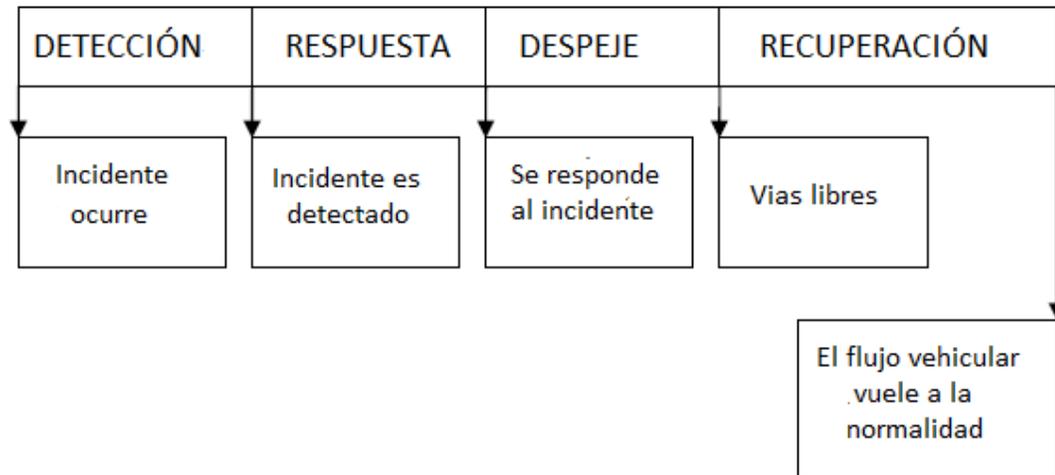
Otro estudio que dio uso de esta información es lo realizado por el Departamento de Transporte de Texas quienes utilizaron ocho años de información y determinaron las probabilidades de que ocurran una cierta cantidad de accidentes de tránsito según día u hora. Uno de sus resultados puede verse en la figura 2 la cual junta la cantidad de accidentes de todos los domingos en el registro disponible, determinando así las probabilidades de que ese día tenga tantos accidentes, notándose una baja probabilidad de que haya una gran cantidad (mayores a 80) y una mayor probabilidad para una cantidad moderada de accidentes (entre 40 y 60).



**Figura 2: Probabilidad de accidentes de un día domingo.**  
Fuente: Texas Department of Transportation (2000).

### 2.3.2. Duración

La duración de un incidente es definido como el tiempo que transcurre entre que ocurre el incidente hasta que la vía recupera su capacidad (vías libres). Se puede decir que la duración está compuesta por 4 componentes: detección del incidente, respuesta, limpieza o despeje y recuperación, estas 4 fases han sido confirmadas por, Garib (1997) y Nam (2000) entre otros. Cada fase se define como lo indica la figura 3.



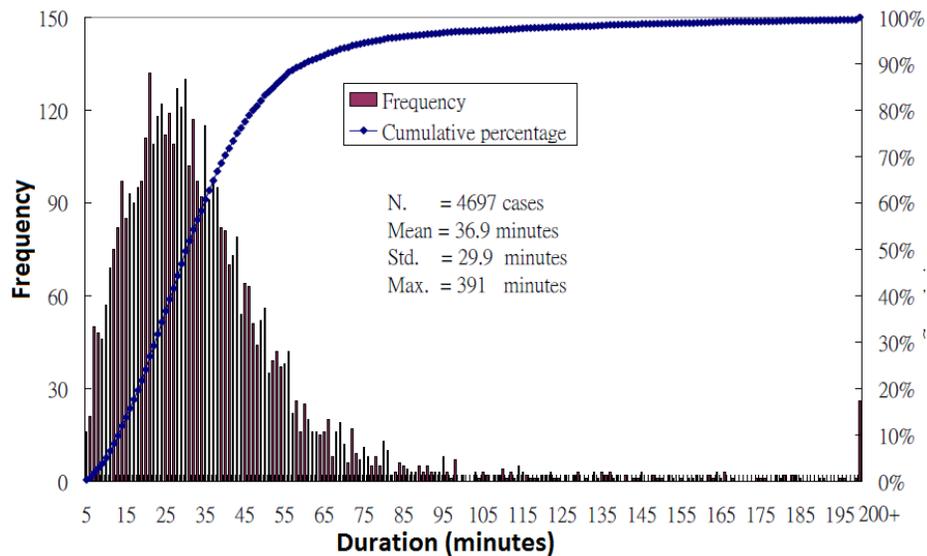
**Figura 3: Fases de un incidente.**  
Fuente: Elaboración Propia.

Para determinar el tiempo utilizado por cada fase en Estados Unidos existen los equipos de respuesta de incidentes (IR Team) que son los encargados de recibir el aviso e ir en respuesta de este, para así reducir el tiempo en que el incidente afectara a la capacidad de la vía, el tiempo utilizado para el despeje o limpieza dependerá de la acción que estos equipos deban realizar, siendo mayor cuando a control de tránsito se refiera y menor para cuando solo se provea combustible o se repare un neumático.

A partir del análisis de datos provenientes de estos equipos han demostrado que la duración estará muy relacionada al tipo de incidente, siendo mayor en el caso de una colisión con fatalidad debido a todo lo que ello implica, le sigue los accidentes con heridos y actividad policial, por ultimo con menos duración los vehículos averiados o abandonados en el camino.

Algunos de los que han analizado este parámetro son:

- Golob, et al. (1987), utilizando data de accidentes que involucraban a camiones descubrió que la duración de los accidentes se ajustaban a una distribución log normal. Posteriormente esto fue apoyado por Giuliano (1989), Garib (1997) y Sullivan (1997).
- Garib, Radwan y Al-Deek (1997), quienes utilizaron distribuciones log normal para describir la duración de un incidente de tránsito en una autopista, logrando obtener que entre un 81 a 85% de las variaciones en tiempos de incidentes pueden ser predichos por el número de líneas afectadas, número de vehículos involucrados, hora del día, clima, etc.
- Hsin-Li Chang y Tse-Pin Chang (2013), los cuales a partir de una base de datos de incidentes de tránsito de autopistas nacionales de Taiwán y ajustando una distribución log normal obtuvieron cuan frecuente era la presencia de un incidente con determinada duración, como se ve en la figura 4 donde la frecuencia de un incidente de baja duración es más probable a que ocurra uno de mayor duración, siendo esta una conclusión esperada.



**Figura 4: Distribución Log Normal para duración de incidentes.**  
**Fuente: Department of Transportation Technology and Management, Taiwan.**

### 2.3.3. Severidad

Cuando hablamos de severidad de un incidente nos estamos refiriendo al número de pistas afectadas, siendo este un parámetro determinante en la reducción de la capacidad de una vía.

La reducción de capacidad de la vía implicara que en la sección afectada el flujo vehicular capaz de atravesarla será menor a lo que se disponía originalmente, provocándose así un cuello de botella. Existen pocos estudios en cuanto a bloqueo de pistas, siendo algunos de estos relacionados a la reducción de capacidad dependiendo del número de pistas bloqueadas.

Algunos de estos estudios fueron realizados por:

- Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) hace una relación entre el número de pistas de una vía con el porcentaje de capacidad disponible una vez bloqueada la pista. Como se ve en la tabla 2 a partir de dicha relación se puede notar que la ocurrencia de un incidente disminuye la capacidad de la vía más de lo que la pista afectada otorgaba individualmente, ej; un incidente que bloquee 2 de 3 pistas la capacidad disponible no es 33% sino que 17%.

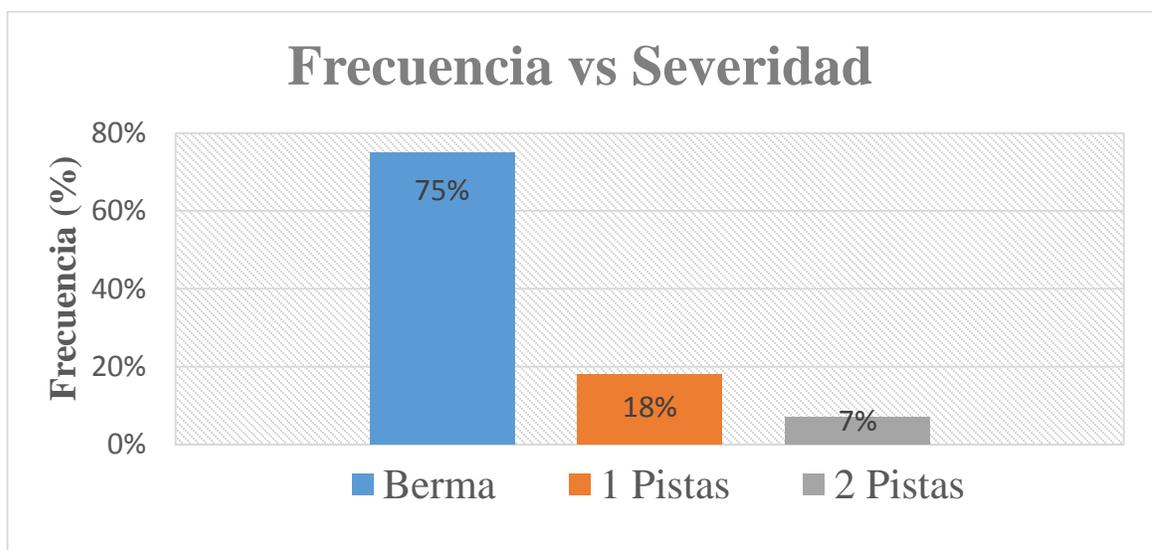
N° pistas	Berma Deshabilitada	Berma bloqueada	1 pista bloqueada	2 pistas bloqueadas	3 pistas bloqueadas
2	0.95	0.81	0.35	0.00	N/A
3	0.99	0.83	0.49	0.17	0.00
4	0.99	0.85	0.58	0.25	0.13
5	0.99	0.87	0.65	0.40	0.20
6	0.99	0.89	0.71	0.50	0.26
7	0.99	0.91	0.75	0.57	0.36
8	0.99	0.93	0.78	0.63	0.41

**Tabla 2: Capacidad disponible luego de un incidente de tránsito (%).**

**Fuente: HCM 2000.**

- Qin y Smith (2001) determinaron que para una vía de tres pistas el bloqueo de una pista reducía la capacidad en un 63% mayor a lo propuesto por Goolsby (1971) quien tuvo un resultado de un 50% de reducción. Estas diferencias se debieron al mayor tamaño de la muestra utilizada por Qin y Smith, además de considerar la reducción de capacidad como una variable aleatoria y no como un valor determinista que fue lo usado por Goolsby.

Si bien los estudios ya mencionados hacen referencia a la capacidad de una vía una vez ocurrido un incidente de tránsito hay otros que han analizado la frecuencia con la que los incidentes afectan a determinada cantidad de pistas como es lo hecho por Wang, Yu, Lao y Thomson (2011) quienes utilizaron información proveniente tanto de registros policiales como de centros de gestión de tráfico, pero teniendo como fuente principal los datos entregados por el Washington Incident Tracking System (WITS) que es toda la base de datos proveniente de los equipos de respuesta de incidentes, para luego obtener como resultado de que gran parte de los incidentes de tránsito (75%) ocurrían en la berma o mediana, seguido con un 18% incidentes que abarcaban una pista, y con una menor probabilidad los que afectaban a múltiples pistas, como se representa en la figura 5.



**Figura 5: Severidad de incidentes**  
**Fuente: Wang, Yu, Lao y Thomson, 2011.**

Para llevar a cabo estos estudios se debió tener disponibilidad tanto de recurso humano como también el apoyo de sistemas inteligentes de transporte, ya que estos facilitan la obtención de la información en tiempo real de la red de transporte.

### 3. SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE

Hoy en día la tecnología es utilizada por todas las áreas debido que esta al ser bien implementada facilita mucho los trabajos que se realizan, y en lo que respecta a la red de transporte esta no se queda atrás. Aquí nacen los denominados sistemas inteligentes de transporte (SIT).

#### 3.1. ¿Qué son los SIT?

Los sistemas inteligentes de transporte se refieren a todo aquello que aplica tecnología para control y comunicación entre los operadores y conductores de la red de transporte. Teniendo así un conocimiento de las condiciones de la red lo cual sirve para tomar buenas decisiones frente a aquellos eventos que interfieren en el comportamiento normal del flujo vehicular, reduciendo así los tiempos de viaje de los usuarios y evitando posibles causas de congestión. Algunos de estos sistemas utilizados los encontramos en la tabla 3.

Sistema inteligente de transporte	¿En qué consiste?
Cámaras de tránsito	Circuito cerrado de televisión para responder rápidamente frente a problemas de congestión, incidentes y otros problemas en el camino.
Señal de mensaje variable	Provee a los conductores información sobre el tráfico, tiempos de viaje, velocidades límites, accidentes entre otros.
Recolectores de datos de tráfico	Herramientas utilizadas para obtener información de los vehículos que circulan por un tramo del camino, aquí se encuentran los infrarrojos, bluetooth, radares y bobinas de alambre o “induction loops”, los cuales transfieren la información a un monitor de operación a un costado del camino.
Centros de gestión de tránsito	Centros que albergan la información en tiempo real a toda hora proveniente de los sistemas mencionados anteriormente, aquí se encargan además de enviar equipos de respuesta frente a problemas ocurridos en los caminos monitoreados.
Detectores automáticos de incidentes (DAI)	Sistemas que aportan un gran valor a los operadores de tránsito, consiste en el análisis de videos mediante algoritmos que detectan cualquier actividad inusual como vehículos lentos, objetos en el camino, etc., para así responder rápidamente y evitar problemas de seguridad y congestión.

**Tabla 3: Sistemas inteligentes de transporte.**  
Fuente: Elaboración Propia.

Dentro de los sistemas inteligentes de transporte que se han implementado en Chile encontramos a la unidad operativa de control de tránsito (UOCT) encargada de la gestión y operación del sistema de control de tránsito. En la región del Bío-Bío la UOCT cuenta con 21 cámaras de televisión y 3 letreros de mensaje variable, además del monitoreo de 331 intersecciones semaforizadas.

#### Beneficios de los Sistemas Inteligentes de Transporte

- Otorgan movilidad al flujo vehicular al incorporar elementos como el TAG el cual evita que los conductores deban estar deteniéndose para el pago de peaje.
- Reducen o mitigan la congestión actuando rápidamente al ser caminos monitoreados.
- Se mantiene una relación entre operador y conductor al proveer información de las condiciones del camino.
- La obtención de información de la red de transporte puede llevar a mejoras en cuanto a seguridad y comodidad de los conductores.
- Entregar información en tiempo real ayuda en la planificación de viaje de los usuarios.

Cuando los conductores poseen información de lo que les espera en el camino pueden tomar decisiones en cuanto a su viaje. Aquellos dispositivos que proporcionan esta ruta óptima para llegar a un destino tomando en cuenta las condiciones actuales de las vías y el tránsito son otro ejemplo de incorporación de tecnología al sistema de transporte. En esta categoría encontramos a la aplicación utilizada por los usuarios de la red de transporte conocida como Waze.

### **3.2. Waze**

Un navegador asistido por GPS que ha tomado fuerza en los últimos años es la aplicación Waze, la cual es utilizada por los usuarios de la red de transporte para tener en cuenta las condiciones de tránsito a las cuales se enfrentara y así optar por rutas que le faciliten la movilidad y ahorro de combustible. Lo importante de esta aplicación es que entrega información en tiempo real del estado del tránsito y además de los peligros o inconvenientes que puedan encontrarse en el camino.

La aplicación calcula una ruta óptima de acuerdo a algoritmos utilizados por los servidores de Waze, esto está sujeto a cambios según sea el comportamiento del sistema de transporte en cuanto a la densidad del flujo vehicular. Además para medir el tiempo de viaje se hace uso de las velocidades en tiempo real de los demás usuarios que utilizan esta aplicación, mientras que en carreteras debido a los bajos flujos se utilizan velocidades medias históricas para su cálculo.

Estudios realizados por la compañía que maneja esta aplicación obtuvieron que Waze ahorra un 15% del tiempo que un usuario pasa en el automóvil, lo cual no es menor ya que si se lleva esto a términos macro la cantidad de combustible ahorrado y la reducción en emisión de gases a la atmosfera se obtienen cantidades importantes. Según lo dicho por el presidente de la compañía Waze, Chile en el 2013 contaba con más de 1.900.000 usuarios, mencionando además que Chile poseía una capacidad de innovación y crecimiento rápido en el uso de sistemas de información, ya que adopta de manera temprana el uso de tecnología sobre todo aquellas que se afirman sobre las redes sociales.

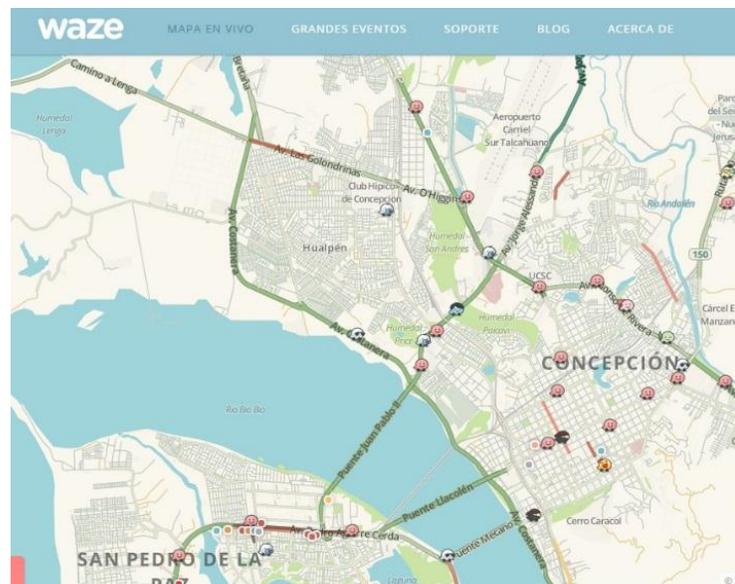
Debido a la escasa información respecto a incidentes de tránsito la característica que más nos interesa de Waze es la de poder incorporar y visualizar las alertas de otros usuarios para así tener conocimiento de la cantidad de incidentes que ocurren en una determinada área.

## 4. METODOLOGIA

En esta sección se darán a conocer cómo y de qué forma se lograra el cumplimiento de uno de los objetivos principales del proyecto que es la estimación de distribuciones de incidentes de tránsito. Para ello será necesario el uso de la plataforma Waze donde por medio de registro observados y considerando los parámetro de duración y severidad lograremos la obtención de dichas distribuciones.

### 4.1. Plataforma Waze

Como ya se dijo a través de esta plataforma disponible de manera online en el sitio web [www.waze.com](http://www.waze.com) (ver figura 6) y también como aplicación para Smartphone se dará lugar a la toma de registro de todo evento o incidente tales como faenas de construcción, vehículos detenidos en el camino y a un lado de éste, clima adverso, objetos en la calzada, etc. (todo aquello que de alguna forma interfiera en el tránsito normal), también se tomaran en cuenta aquellos avisos que son informados por medios de comunicación como Facebook, Twitter, Radio, etc. Ver Anexo A para conocer los tipos de alertas que los usuarios de la aplicación pueden realizar y además conocer la cantidad de información proveniente de cada medio mencionado.



**Figura 6: Visualización plataforma Waze.**  
Fuente: [www.waze.com/livemap](http://www.waze.com/livemap)

La plataforma de Waze al igual que Google Maps ofrecen imágenes de mapas desplazables, pero la ventaja de Waze es que dentro su interfaz es posible notar a los usuarios, tramos con alta demanda de vehículos, y alertas de incidentes entre otros.

## 4.2. Horario y periodo de observación

Para obtener la mayor cantidad de información, la observación será realizada durante y cercana a las horas punta ya que la aplicación que se usara funciona gracias a los usuarios que son los encargados de informar el estado de tránsito de las vías por las que se encuentran circulando, siendo en estas horas donde mayor cantidad de usuarios hay.

La observación será realizada entre los meses de abril y junio, los fines de semana y días festivos no serán considerados.

El horario es el siguiente:

Lunes a Viernes: 7:00 – 10:00 AM  
12:00 – 14:00 PM  
17:00 – 20:00 PM

## 4.3. Registro

Conjuntamente con el registro de incidentes de tránsito se hará captura de imágenes de la plataforma Waze para su posterior uso en la obtención de las duraciones y además para realizar una distribución espacial de los incidentes. El registro contara con la siguiente información:

- Hora: hora a la cual se inicia el incidente.
- Lugar: comuna en la que ocurre el evento (San Pedro de la Paz, Concepción, Talcahuano, Penco, Chiguayante).
- Evento: tipo de incidente que acaba de ocurrir, puede ser tanto accidentes, faenas de construcción, inundaciones, niebla, vehículos detenidos tanto en el camino como a un lado de éste, etc.
- Severidad: este parámetro implicara al número de pistas afectadas por un incidente de tránsito o bien si afecta a la berma, para esto deberemos conocer la alerta proporcionada y se le asignara la siguiente nomenclatura:
  - B: el evento ocurrió en la berma.
  - 1P: el evento afecto solo una pista.
  - 2P: el evento afecto dos o más pistas.

- Duración: otro de los parámetros importantes para la elaboración de las distribuciones, aquí se indicara el tiempo que abarca entre que se informa el evento hasta que se deja de informar. Se clasificaran en tres categorías que son: menores a 15 minutos, cercanos a 30 minutos y mayores a 45 minutos.
- Referencia: aquí se ingresaran las calles o intersecciones en las que ha ocurrido el evento para facilitar el posterior uso de la información.
- Distancia: será el largo del tramo que Waze detecta como de tráfico pesado, esta será mediada con la ayuda de Google Maps. Este tramo entrega además la velocidad media a la que se encuentran los vehículos, y además servirá como referencia para la obtención de duraciones.
- Velocidad: velocidad promedio a la cual circulan los vehículos en torno al evento ocurrido.

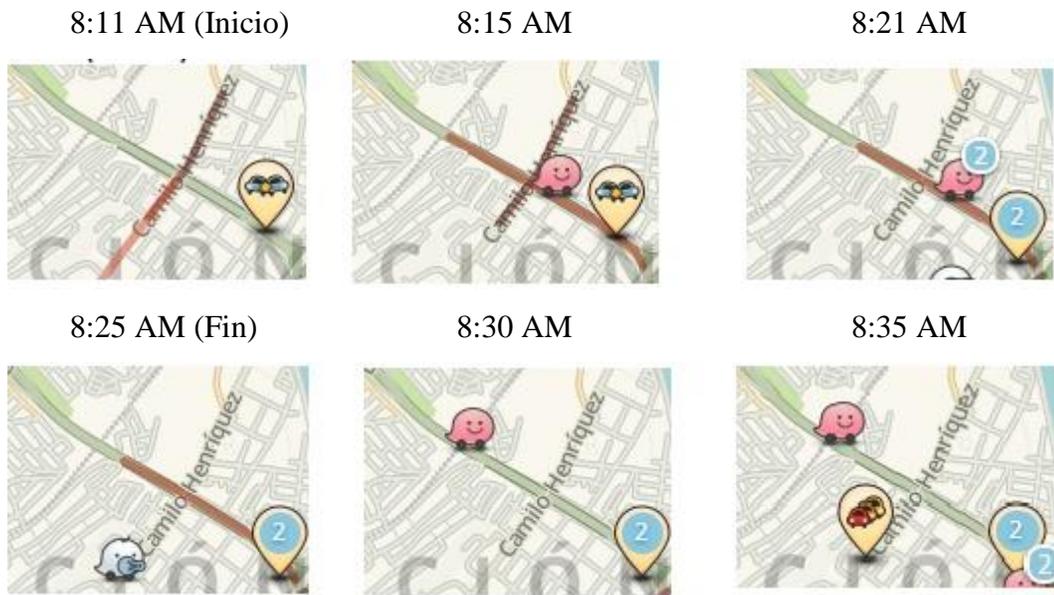
#### **4.4. Calculo de la duración de un incidente**

Para lograr asignar la duración de los incidentes se debieron tomar las siguientes consideraciones:

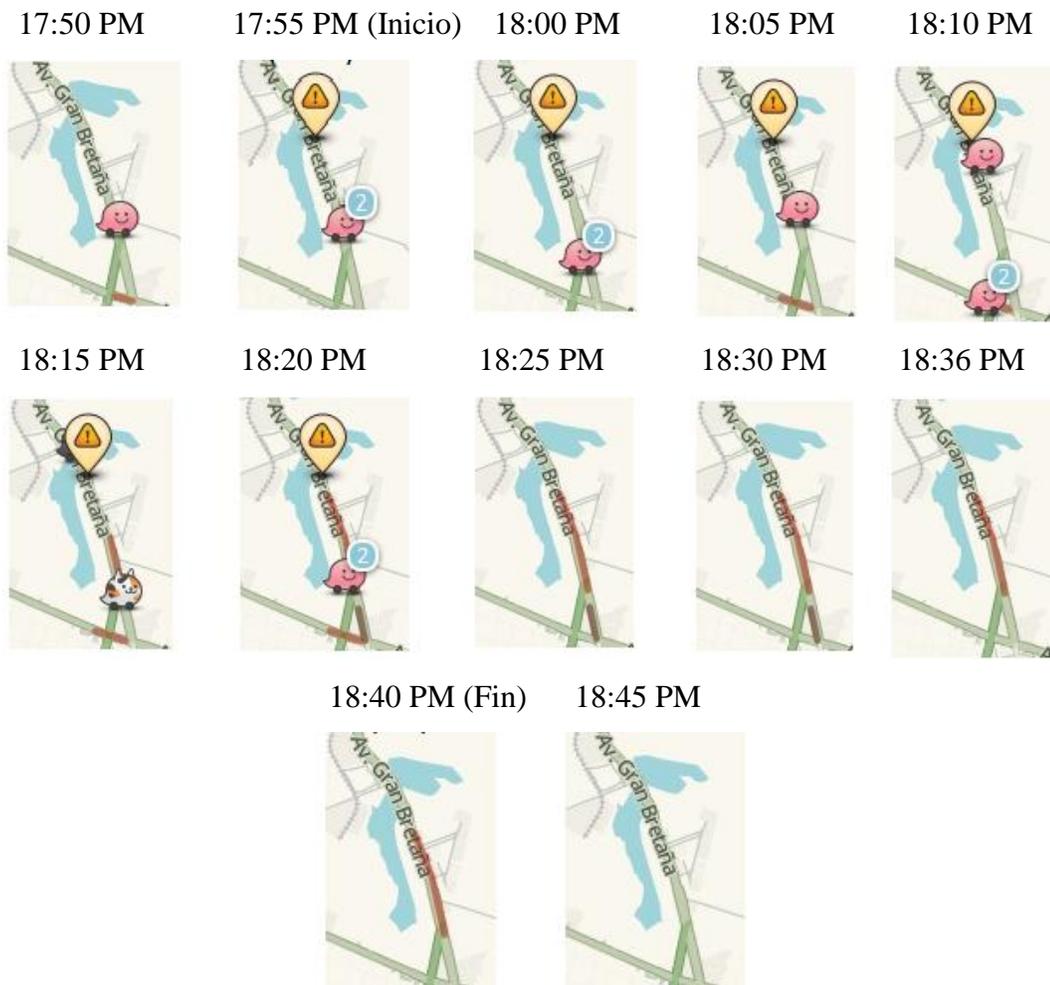
Lo primero fue identificar el incidente en la plataforma y registrarlo, dando así el tiempo de inicio o de aparición, lo siguiente fue esperar a que se reincorpore nuevamente otra alerta para así reafirmar que el incidente aún estaba presente, sumando así mayor tiempo al incidente, y así sucesivamente hasta que ya deja de ser informado (los usuarios además son capaces de comentar las alertas por lo que por este medio también era posible reafirmar que el incidente aún estaba presente). Aquellos incidentes cuya presencia fue solamente informada por una alerta fueron catalogados como incidentes menores a 15 minutos, ya que por sí sola la alerta está presente 20 minutos para luego desaparecer.

Otra consideración que se debió tomar fue la presencia de tramos que presentaban un tráfico moderado o pesado entorno al incidente. Aquí se dio uso de las capturas de pantalla que se realizaron cada 5 minutos para así también medir el tiempo en el que el tramo permanecía afectado.

A continuación se muestra dos ejemplos de medición de duración. Para el ejemplo 1 se nota un efecto inmediato de alto tráfico debido a un accidente en el tramo, mientras que en el ejemplo 2 pasan algunos minutos antes de que el flujo vehicular se vea afectado por el incidente ocurrido.



**Figura 7: Ejemplo 1 de medición de duración.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**



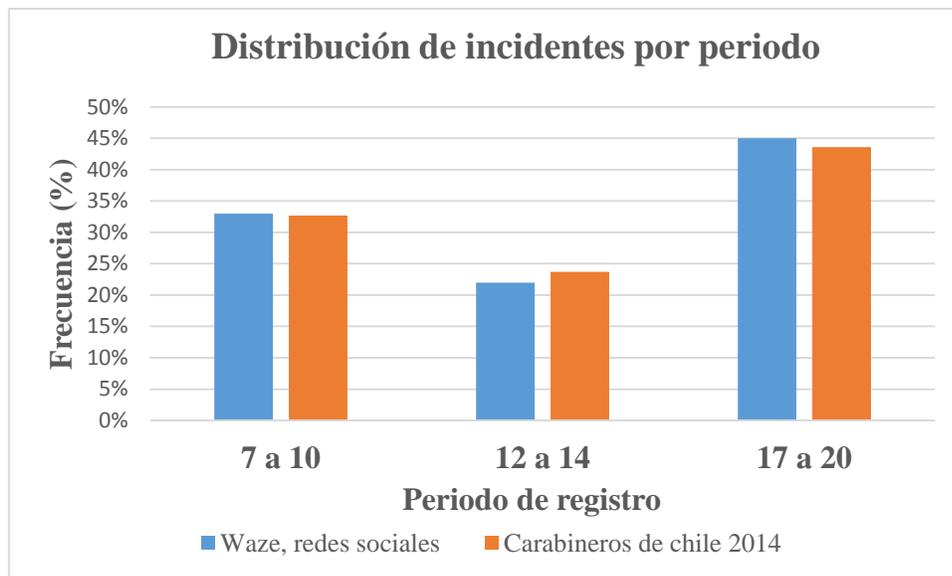
**Figura 8: Ejemplo 2 de medición de duración.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

## 5. ANALISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se darán a conocer los resultados obtenidos al haber aplicado la metodología propuesta, teniendo como registro total 1252 incidentes en el Gran Concepción, el registro ordenado de acuerdo a severidades y duración se encuentran disponibles en el Anexo B.

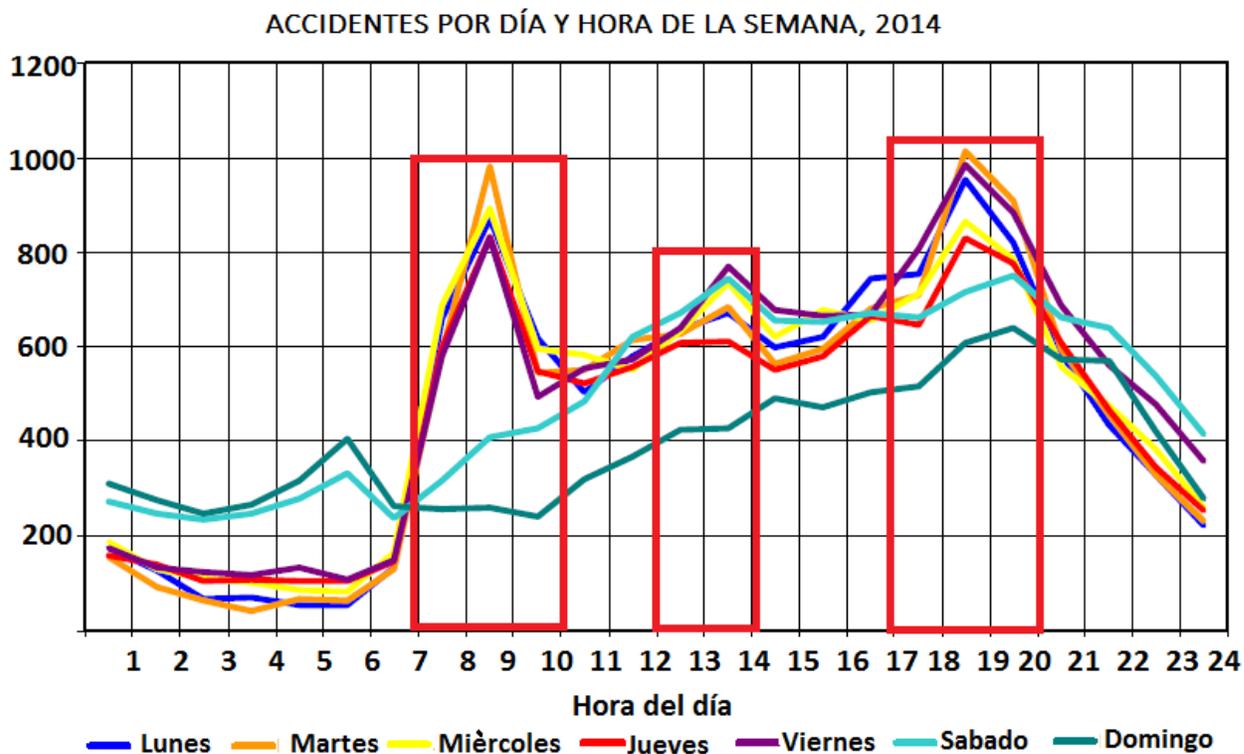
### 5.1. Total de Incidentes

El total de incidentes que se logró registrar fue de 1252, de estos la mayor cantidad se produjo en el periodo de la tarde de 17 PM a 20 PM y con una menor cantidad en el mediodía, como se ve en la figura 9, en la que además se hace una comparación con la distribución de accidentes registrados por carabineros en las horas seleccionadas.



**Figura 9: Porcentaje de incidentes según periodo observado.**  
Fuente: Elaboración Propia.

La distribución de accidentes obtenida para Carabineros de Chile en el 2014 se realizó obteniendo las cantidades totales por hora, las cuales se encuentran en el anuario estadístico de tránsito y representados en la figura 10, en la que es posible notar una clara similitud en cuanto a la frecuencia de incidentes en los periodos seleccionados. Además nos muestra que la mayor cantidad de accidentes ocurren en estos periodos de tiempo, por lo que las horas seleccionadas para este estudio son óptimas para obtener la mayor cantidad de información.

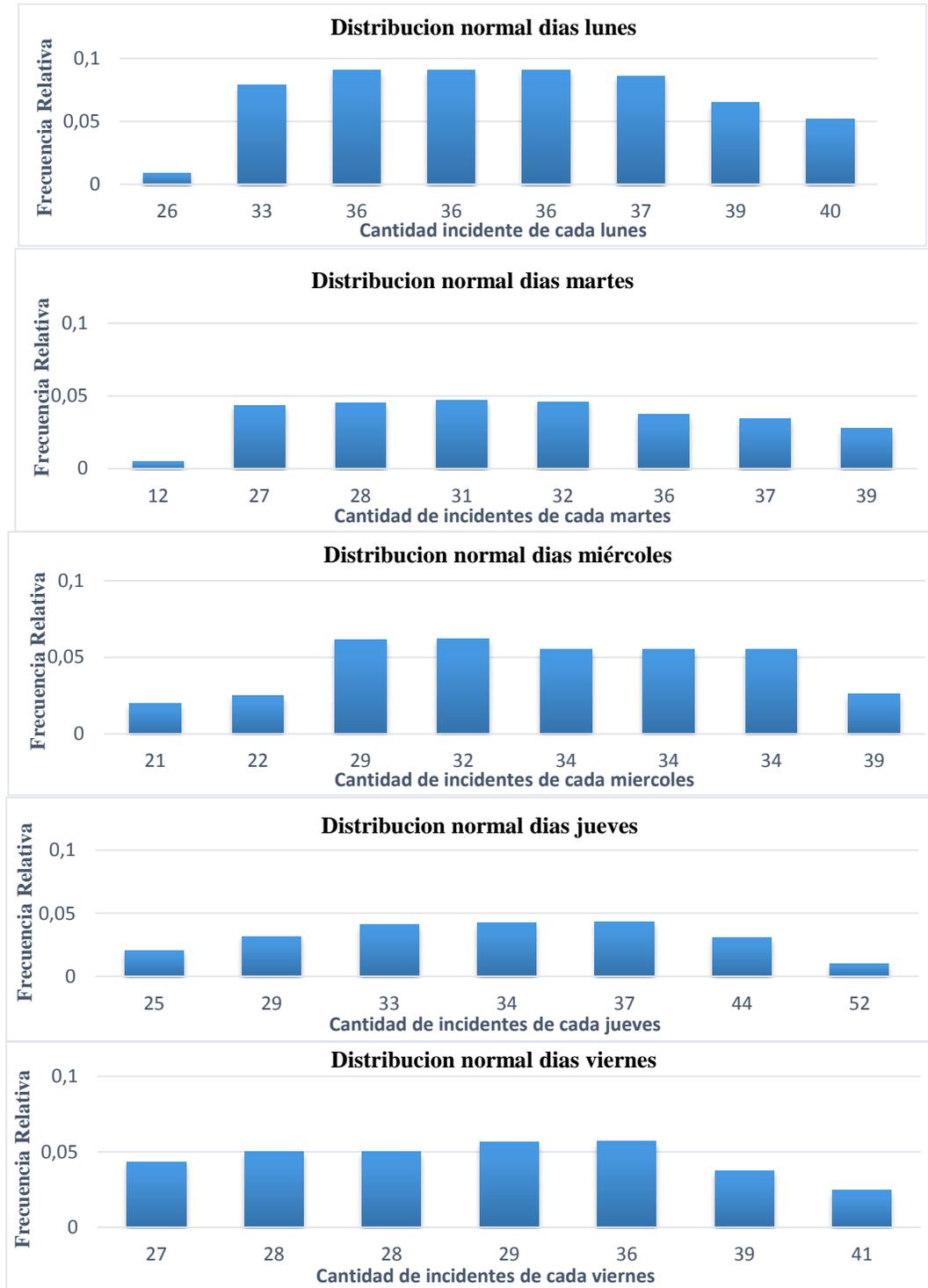


**Figura 10: Accidentes de tránsito según hora y día de la semana.**  
 Fuente: Anuario estadístico de tránsito, carabineros de Chile 2014.

Esta información obtenida por carabineros nos permite pensar que además los incidentes puedan ser independientes del día de la semana (lunes a viernes) como lo vemos en la figura anterior, ya que estos presentan una frecuencia muy similar.

## 5.2. Distribución diaria de incidentes

A partir del registro obtenido se organizaron las cantidades de incidentes por día y posteriormente se les aplicó una distribución normal. Con esto, días con una menor o mayor cantidad de incidentes en relación al promedio se hacen notar teniendo una baja frecuencia relativa.

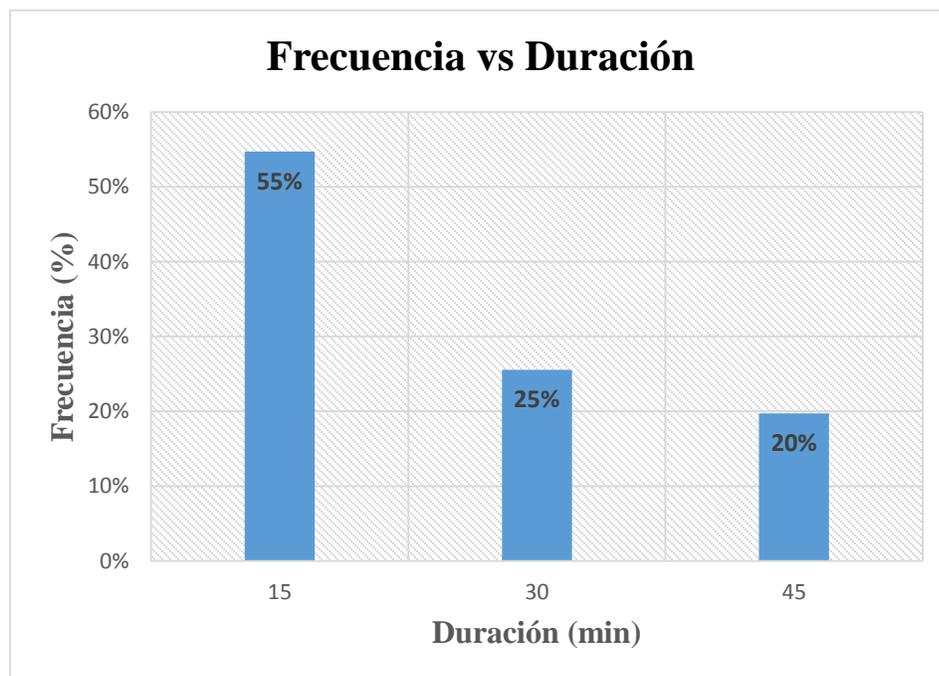


**Figura 11: Cantidad de incidentes por día medido**  
 Fuente: Elaboración propia.

Al observar la cantidad de incidentes en los gráficos presentados es posible decir que los incidentes de tránsitos para el Gran Concepción son relativamente similares para cada día de la semana, teniendo así un promedio de entre 33 a 36 incidentes por día, esto fue posible afirmarlo mediante un test de hipótesis donde se aceptó que el promedio de incidentes diario es independiente del día en que ocurra. En el Anexo B se encuentra el test de hipótesis realizado para corroborar la similitud entre días, también podemos encontrar las distribuciones de los incidentes para cada día de la semana de acuerdo a su duración y severidad, notándose igualmente una similitud en la frecuencia de estos parámetros.

### 5.3. Relación entre la frecuencia y la duración

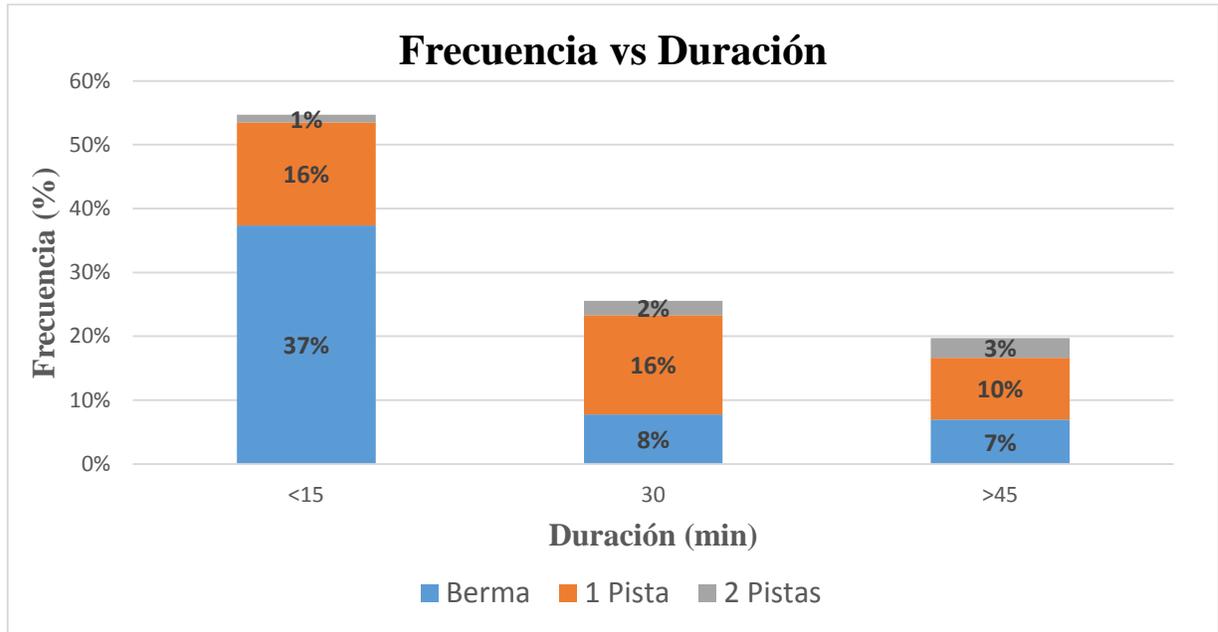
Se logró confeccionar el siguiente gráfico de cómo se relaciona la frecuencia de un incidente de tránsito con su duración, encasillando este parámetro en 3 categorías, aquellos que tuvieron una baja duración (15 minutos), una duración media (30 minutos) y una alta duración (45 minutos o más), como se ve en la figura 12.



**Figura 12 Distribución de incidentes por duración.**  
Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo que la mayor probabilidad es que un incidente tenga una duración menor a 15 minutos (55%), mientras que incidentes de mayor duración tienen una probabilidad más baja.

Posteriormente se realizó una descomposición del grafico anterior como se muestra en la figura 13 para poder conocer la cantidad de incidentes por cada categoría de duración con respecto a su severidad.



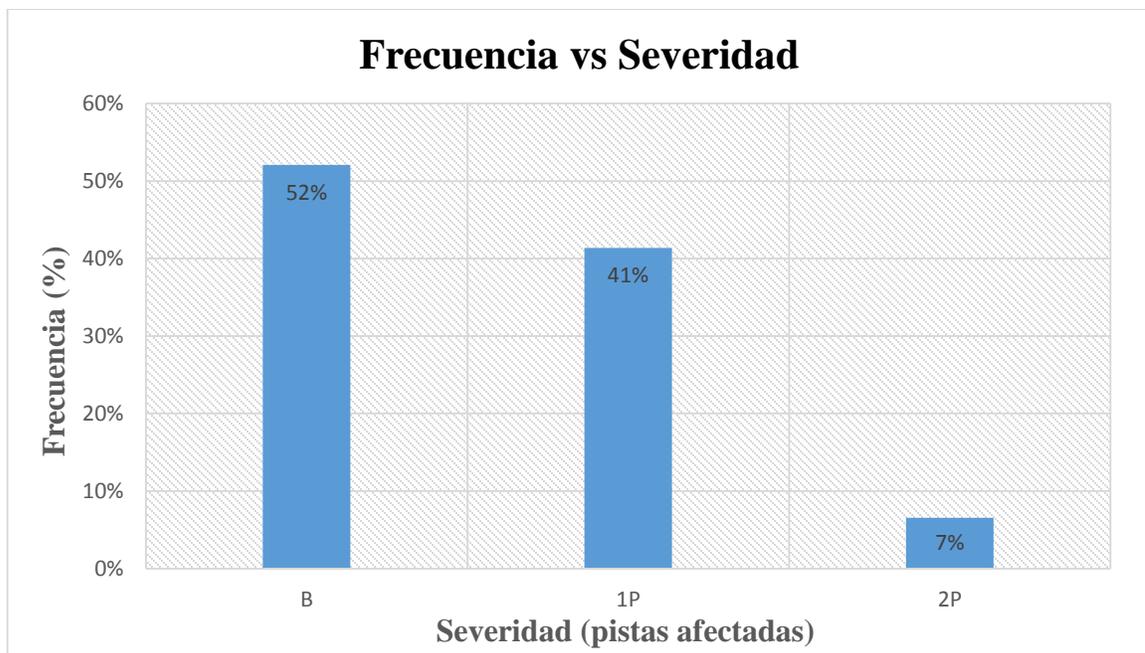
**Figura 13: Disgregación de duraciones por severidad**  
**Fuente: Elaboración propia.**

A partir del desglose que se realizó se observa que para los incidentes que tuvieron una baja duración estos estaban compuestos mayormente de incidentes ocurridos en la berma y menormente ocupaban una o dos pistas, sin embargo incidentes de mayor duración estos ya no correspondían tanto a berma sino que en su mayoría se encontraban compuestos por incidentes que afectaban a 1 y 2 pistas. Por todo lo anterior se puede concluir que la duración de un incidente se ve muy relacionada a la severidad que este tenga, aumentando su duración a medida que aumenta la severidad.

#### 5.4. Relación entre la frecuencia y la severidad

Otra de las distribuciones a desarrollar es la que relaciona la frecuencia de incidentes con su respectiva severidad que como ya se ha dicho corresponde al número de pistas afectadas producto del incidente, se debió tener en cuenta el tipo de alerta proporcionada por los usuarios de Waze, ya que los usuarios de la aplicación son capaces de discernir en el tipo de evento que están presenciando a la hora de especificar su alerta (Waze incorpora la opción para alertar sobre un vehículo detenido en el camino como también a un lado de este, ver anexo A).

A partir de la figura 14 se observa la probabilidad de ocurrencia de un incidente de acuerdo a su severidad.



**Figura 14: Distribución de incidentes por severidad**  
Fuente: Elaboración propia.

Si bien se pensaba que los incidentes en una pista tendrían una probabilidad más baja a la obtenida esto no fue así debido a que muchas de las calles del área de estudio en donde eran alertados los incidentes no contaban con berma por lo que la ocurrencia de un incidente afectaría inmediatamente a una o las dos pistas que tuviese.

Con respecto a la probabilidad de incidentes que abarcaron dos pistas (7%) está dentro de lo esperado ya que la probabilidad de un evento de tal magnitud no es muy recurrente.

### 5.5. Costos de la congestión no recurrente

Como ya se había mencionado los costos de la congestión no recurrente son complejos de definir debido a la falta de información que se tiene al respecto, variables como la frecuencia, duración y severidad de los incidentes que la provocan no habían sido estudiadas, sin embargo se logró estimar estos parámetros por lo que se podría dar un valor aproximado a estas externalidades. Para esto deberemos recurrir a antecedentes previos obtenidos por Reyes (2014), e incorporar nuestros resultados para así conseguir una mejor apreciación de los costos de la congestión no recurrente.

Se debió confeccionar nuevas funciones utilizando solamente los registros para vías utilizadas en dicho estudio, tales como Av. Gral. Bonilla, Ruta 150 de Concepción a Penco, Ruta Concepción-Chiguayante, Autopista Concepción-Talcahuano, Av. Jorge Alessandri, en general aquellas vías donde existe un flujo vehicular considerable en la punta mañana. La cifra de incidentes ocurridos solo en estas vías fue de 787 con los cuales se crearon las nuevas distribuciones mostradas en la figura 15.

Caso 1: Incidentes en área total

Caso 2: Incidentes en vías de alto flujo

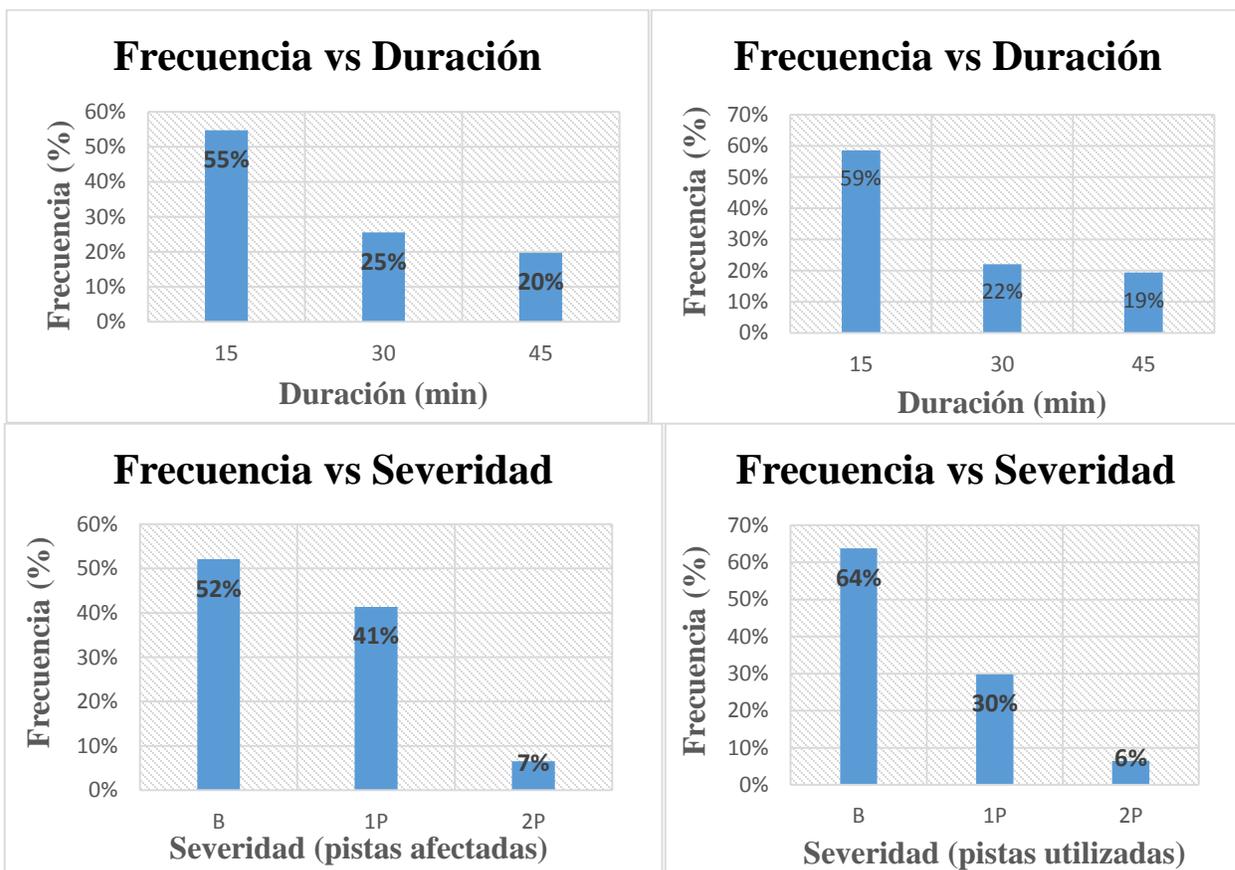


Figura 15: Comparación de distribuciones según caso.  
Fuente: Elaboración propia.

La nueva distribución de duración se mantuvo relativamente sin cambios, sin embargo para la distribución de severidad ya se nota un cambio claro, un aumento en los incidentes en berma y una reducción en aquellos que afectan a una pista, ya que calles menores ya no son consideradas en este análisis.

Para poder estimar el costo de la congestión no recurrente será necesario contar con los valores de parámetros como el tiempo de viaje, consumo de combustible y el de emisión de gases. En el estudio de Reyes (2014) se obtuvieron los costos por kilómetro de estos factores pero usando funciones de distribución de duración y severidad con valores conservadores que no reflejaban necesariamente lo que ocurría en el Gran Concepción, ver anexo D para ver sus resultados y metodología para la estimación del costo de la congestión no recurrente.

Luego de incorporar las nuevas probabilidades de ocurrencia de incidentes para las diferentes duraciones y severidades, los costos por kilómetros quedaron definidos como los siguientes:

v/c	Tiempo de viaje (\$/km)	Consumo combustible (\$/km)	Emisiones de CO2 (\$/km)	Emisiones de Nox (\$/km)	Emisiones de PM (\$/km)	Emisiones de VOC (\$/km)
<b>75%</b>	\$ 1,71	\$ 14,60	\$ 0,06	\$ 0,01	\$ 0,0001	\$ 0,0010
<b>83%</b>	\$ 2,91	\$ 22,47	\$ 0,11	\$ 0,01	\$ 0,0002	\$ 0,0020
<b>90%</b>	\$ 6,29	\$ 40,08	\$ 0,14	\$ 0,01	\$ 0,0003	\$ 0,0027
<b>100%</b>	\$ 11,71	\$ 48,86	\$ 0,21	\$ 0,03	\$ 0,0004	\$ 0,0035
<b>110%</b>	\$ 12,34	\$ 49,97	\$ 0,21	\$ 0,03	\$ 0,0004	\$ 0,0035

**Tabla 4: Nuevos costos por kilómetro de parámetros debido a incidentes.  
Fuente: Elaboración propia.**

Seguendo la metodología de Latorre (2014) estos nuevos valores que debieron multiplicarse por el largo de cada vía estudiada y a su vez ser multiplicado por el flujo vehicular y el número de incidentes que se provocan, llegando así a los costos que se presentan en la tabla 5.

Ruta	Tiempo de viaje (\$/km)	Consumo de combustible (\$/km)	Emisión de CO2 (\$/km)	Emisión de NOx (\$/km)	Emisión de PM (\$/km)	Emisión de VOC (\$/km)	Total
<b>Ruta 160-Pnt. Llacolén</b>	\$ 12.426.277	\$ 52.673.883	\$ 220.896	\$ 28.364	\$ 406	\$ 3.770	\$ 65.353.596
<b>Autopista Concepción-Talcahuano</b>	\$ 245.561	\$ 2.094.758	\$ 9.174	\$ 1.108	\$ 16	\$ 140	\$ 2.350.756
<b>Av. Jorge Alessandri/Pnt JP II</b>	\$ 1.046.113	\$ 8.923.872	\$ 39.080	\$ 4.720	\$ 66	\$ 594	\$ 10.014.446
<b>Ruta 150</b>	\$ 831.371	\$ 7.092.014	\$ 31.058	\$ 3.751	\$ 53	\$ 472	\$ 7.958.720
<b>Av. Alonso Rivera</b>	\$ 279.394	\$ 2.383.369	\$ 10.438	\$ 1.261	\$ 18	\$ 159	\$ 2.674.638
<b>Chiguayante Costanera</b>	\$ 1.781.310	\$ 15.195.470	\$ 66.546	\$ 8.037	\$ 113	\$ 1.012	\$ 17.052.489
<b>Costanera Hualpén/Pnt. Llacolén</b>	\$ 1.217.502	\$ 10.385.905	\$ 45.483	\$ 5.493	\$ 77	\$ 692	\$ 11.655.153
							\$ 117.059.797

**Tabla 5: Costo total de la congestión no recurrente en punta mañana.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Los costos totales provocados por incidentes de tránsito fueron de unos \$117 millones de pesos aproximadamente para la punta de mañana de todo un año, siendo gran parte de estos provenientes de la Ruta 160 desde Lomas Coloradas, pasando por Pedro Aguirre Cerda y terminando en el Puente Llacolén, debido a que estas vías trabajan con un flujo vehicular saturado siendo tema de congestión día a día, mientras que las demás vías se consideró que trabajaban a un 75% de saturación lo cual reduce significativamente los costos.

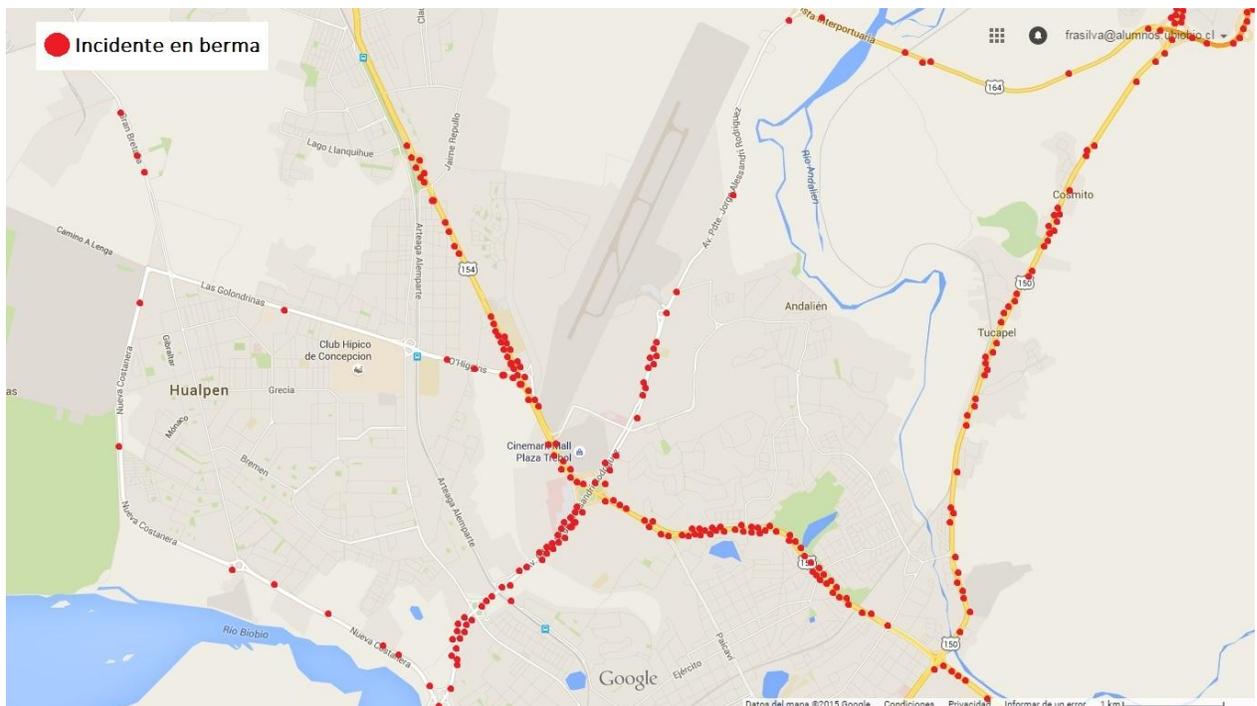
## 5.6. Distribución espacial de incidentes

Con el objetivo de mostrar de manera espacial la ubicación de los incidentes de tránsito registrados se confeccionaron mapas dependiendo de la severidad del incidente. Para ello se realizaron dos tipos de mapas en donde en uno se pueden ver los incidentes ocasionados en la berma, mientras que en el segundo se tienen aquellos incidentes que abarcan tanto una como dos pistas.

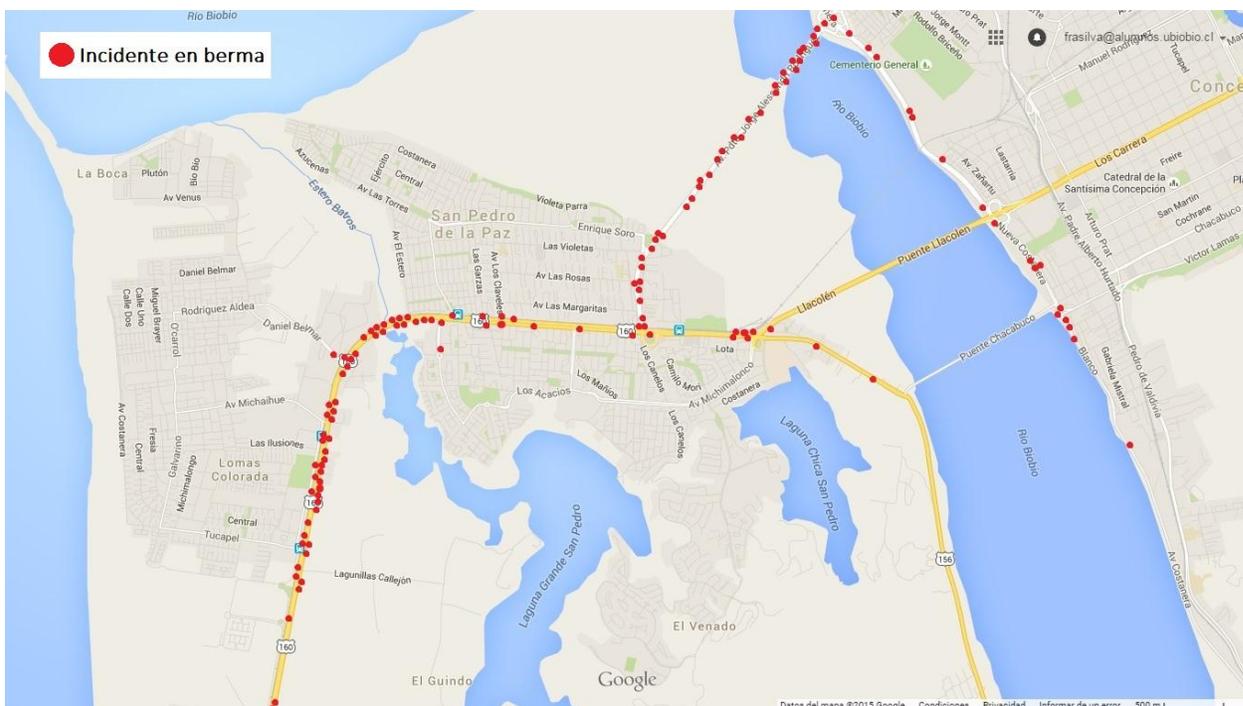
Se consideraron las siguientes vías para su confección:

- Ruta 150
- Av. Alonso Rivera
- Av. Jorge Alessandri
- Autopista Concepción-Talcahuano
- Nueva Costanera
- Puente Juan Pablo Segundo y Llacolén
- Ruta 160

### 5.6.1. Incidentes en la berma

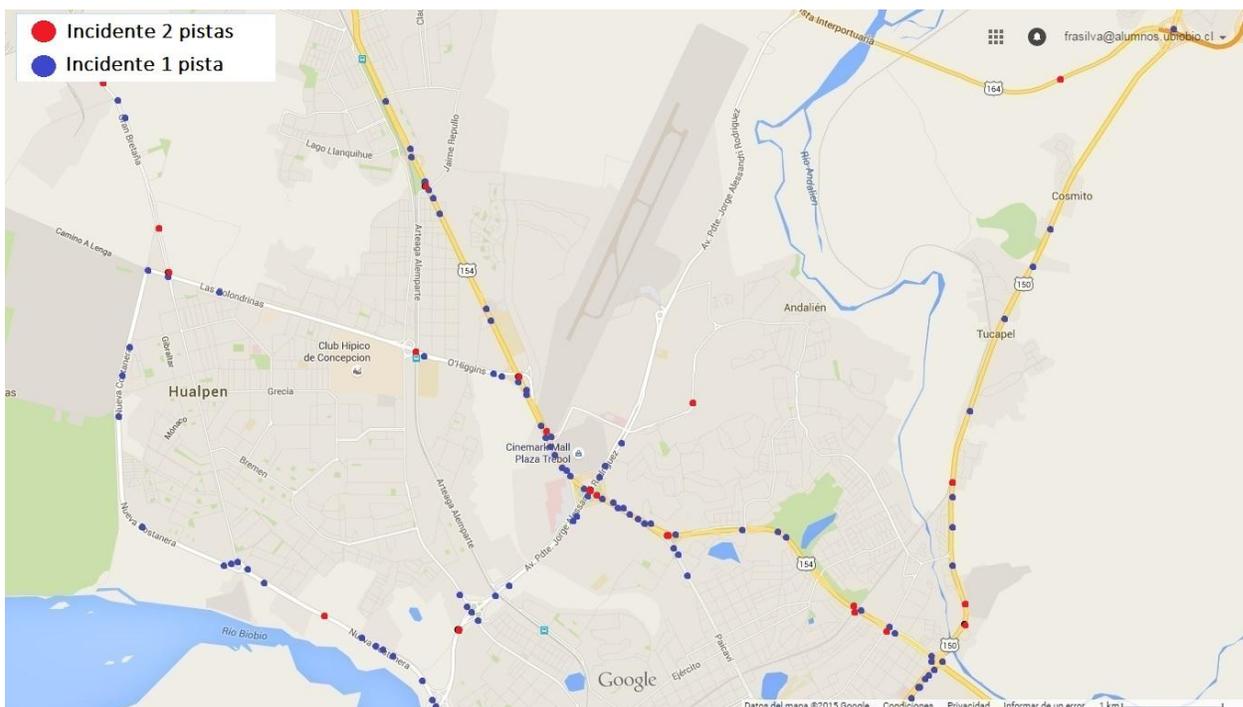


**Figura 16: Incidentes en berma**  
**Fuente: Elaboración propia**

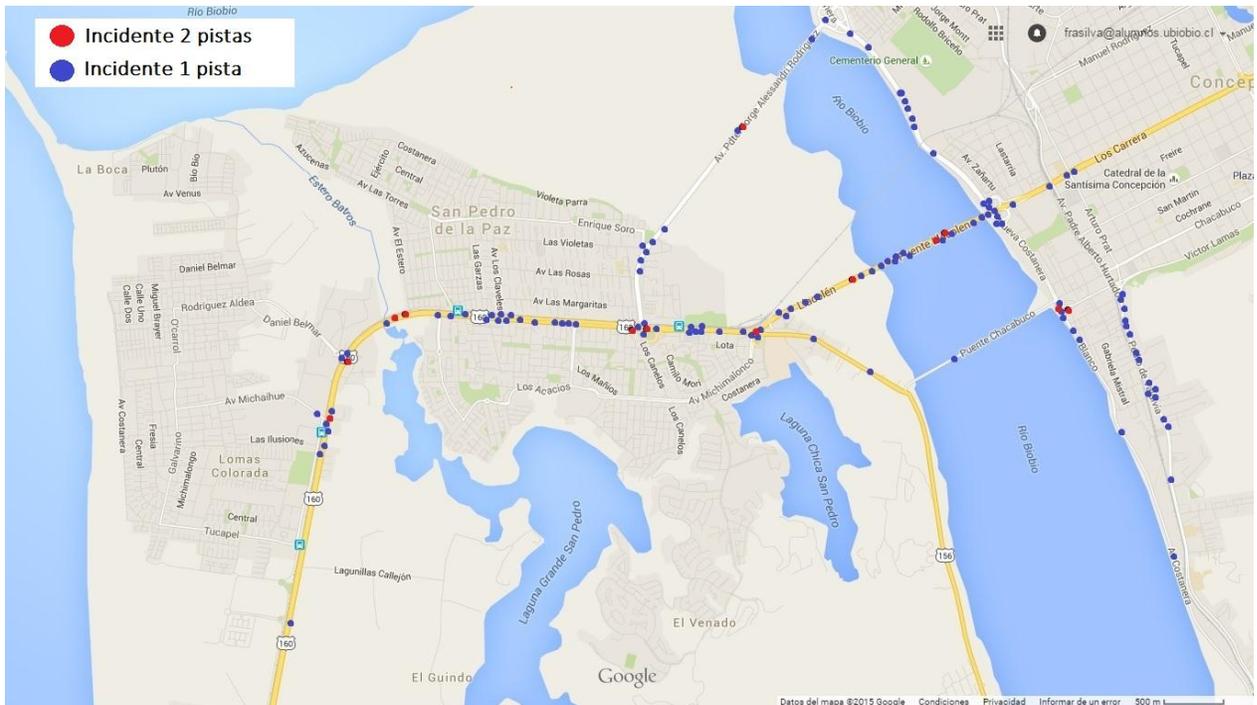


**Figura 17: Incidentes en berma**  
Fuente: Elaboración propia.

5.6.2. Incidentes en 1 y 2 pistas



**Figura 18: Incidentes en 1 y 2 pistas**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 19: Incidentes en 1 y 2 pistas**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Lo que podemos mencionar de los mapas realizados es que si bien para aquellos incidentes que están relacionados a la berma estos se distribuyen casi uniformemente en el camino, mientras que para aquellos incidentes que tuvieron relación con 1 y 2 pistas se logra percibir una cierta disposición a ocurrir cercana a intersecciones, como es en el caso de Paicavi con Av. Alessandri o bien Pedro de Valdivia con Arturo Prat.

Un sistema de información geográfica realizado en la región del Bio Bio es lo realizado por Gesitran quienes motivados por la falta de información al respecto se propusieron entregar información en cuanto a geografía del transporte, uno de sus resultados a modo de comparación a los mapas realizados anteriormente lo podemos ver en el anexo C.

## 6. CONCLUSIÓN

El incremento en el uso de la tecnología y comunicación ha mejorado la información que se tiene en el área del transporte ya sea por los organismos que proporcionan herramientas para su operación como también de los usuarios que hoy en día son capaces de transmitir igualmente las condiciones en las que se encuentran los caminos por los que circulan.

La aplicación Waze es una de estas herramientas que facilitan a los conductores tener conocimiento y compartir la información en tiempo real del estado de tránsito. Su uso es cada vez más frecuente entre la comunidad por lo que la calidad de la información mejora, ya que Waze es una aplicación que funciona netamente por la ayuda de los usuarios.

La capacidad de conocer los incidentes que reportan los usuarios es la característica de Waze que nos permitió crear una metodología para obtener distribuciones de frecuencia, duración y severidad de los incidentes ocurridos.

Si bien la metodología aplicada en este proyecto difiere de la propuesta de estudios que se han realizado en el extranjero, en nuestra situación actual se debió optar por este método alternativo debido a que no se posee los mismos recursos, sin embargo los resultados obtenidos tienen coherencia.

La cantidad de incidentes registrados para toda el área de estudio llegó a los 1252 incidentes para el periodo de tiempo abarcado, de los cuales 787 pertenecían a vías con un importante flujo vehicular. Carabineros de Chile registró unos 5000 accidentes solo en el 2014, cantidad que aumenta cada año, sin embargo como ya se dijo los accidentes son solo una parte del total de los incidentes de tránsito, por lo que el total de observaciones obtenidas es razonable.

Con este registro se logró obtener las distribuciones de frecuencia, duración y severidad de los incidentes de tránsito ocasionados en el Gran Concepción, los cuales se distribuyeron de tal forma que la probabilidad es mayor para incidentes de baja duración y menor para aquellos que abarcan mayor tiempo. Lo mismo ocurre con la severidad, que es más probable que ocurra un incidente menor que solo afecte a la berma a que ocurra uno que tenga un gran impacto afectando una o más pistas. También se pudo notar que la presencia de incidentes en berma era mayormente de baja duración y disminuían su frecuencia a medida que la duración aumentaba, mientras que incidentes de mayor duración eran provocados mayormente por incidentes en una y dos pistas.

Gracias a la elaboración de estas distribuciones se logró además sensibilizar la estimación de costos de la congestión no recurrente utilizando como base lo hecho por Reyes, 2014. Se llegó a estimar que los costos de este tipo de congestión se elevaban a los 117 millones de pesos al año para la hora punta de la mañana.

Una vez que fuentes oficiales encargadas del tema del transporte tengan disponibilidad de información más detallada sobre incidentes de tránsito tal como se tiene en países donde esta información si existe y están guardadas en bases de datos, y además en un periodo de tiempo mucho mayor a lo abarcado en este proyecto es recomendable realizar nuevamente esta investigación y así poder contar con resultados más precisos.

## REFERENCIAS

- Transportation Research Board (2000). Highway Capacity Manual. Transportation Research Board. Washington, DC.
- Qi, L., and B. Smith (2001). Characterization of Accident Capacity Reduction. Research Report No. UVACTS-15-0-48, Center for Transportation Studies, University of Virginia, Charlottesville.
- Goolsby, M.E (1971). Influence of Incidents on Freeway Quality of Service. Proceedings of the 50th TRB Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Federal Highway Administration (2000). Metropolitan Deployment Initiative-Seattle Final Evaluation Report, Washington DC.
- Jacobson, L., et al., (1992). Incident Management Using Total Stations, Seattle.
- Perrin, J., et al., (2004). Advance Transportation System Elemental Cost Benefit Assessment, Washington DC.
- Schrank, et al., (2011). TTI's urban mobility report. Texas Transportation Institute.
- Reyes, K. (2014), Evaluación del impacto de la congestión no recurrente en redes de transporte urbano, Proyecto de título. Ingeniería Civil. Universidad del Bío-Bío. Concepción. Chile.
- Hamerslag, R., J. P. Roos and M. Kwakernaak (1982). Analysis of Accidents in traffic Situations by Means of Multiproportional Weighted Poisson Model. Transportation Research Record 847.
- Miaou, S.-P., P. S. Hu, T. Wright, A. K. Rathi, and S. C. Davis (1992). Relationships between Truck Accidents and Highway Geometric Design: A Poisson Regression Approach, Transportation Research Record 1376.
- Hadi, M. A., J. Aruldas, L. F. Chow and J. A. Wattleworth (1995). Estimating Safety Efforts of Cross-Section Design for Various Highway Types Using Negative Binomial Regression. Transportation Research Record 1500.
- Yu, L., et al., (2003). Probability Generation of Frequency and Severity of Nonrecurring Congestion due to Accidents to Improve Emissions Analysis, Department of Transportation Studies, Texas Southern University.

- Lee, J. and F. Mannering (1999). Analysis of Roadside Accident Frequency and Severity and Roadside Safety Management, Final Research report, Prepared for Washington State Transportation Commission.
- Garib, A., A. E. Radwan. And H. Al-Deek. Estimating Magnitude and Duration of Incident Delays, Journal of Transportation Engineering, 1997.
- Nam, D. and F. Mannering. An Exploratory Hazard-based Analysis of Highway Incident Duration, Transportation Research - A, Vol.34, pp.85-102, 2000.
- Wang, Y., (2008), Quantifying Incident-Induced Travel Delays on Freeways Using Traffic Sensor Data, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington.
- Sullivan, E. C. (1997). New Model for Predicting Freeway Incidents and Incident Delays. Journal of Transportation Engineering, Vol. 123 (4), pp. 267-275.
- Giuliano, G. (1989). Incident Characteristics, Frequency, and Duration on a High Volume Urban Freeway" Transportation Research – A.
- Golob, T. F., W. W. Recker. And J. D. Leonard (1987). An Analysis of Truck Involved Freeway Accident", Accident Analysis and Prevention, Vol. 19, No.5, pp.375-395.
- Teng, H. and Y. Qi (2002). An Investigation of Incident Frequency, Duration and Lanes Blocked for Determining Traffic Delay, 81st Annual Meeting of Transportation Research Board, CD-ROM, Washington DC.
- Wang, Y., et al., (2011), Quantifying Incident-Induced Travel Delays On Freeways Using Traffic Sensor Data: Phase II, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington.
- Hsin-Li Chang and Tse-Pin Chang (2013), Prediction of Freeway Incident Duration based on Classification Tree Analysis, Department of Transportation Technology and Management, National Chiao Tung University.

## ANEXOS

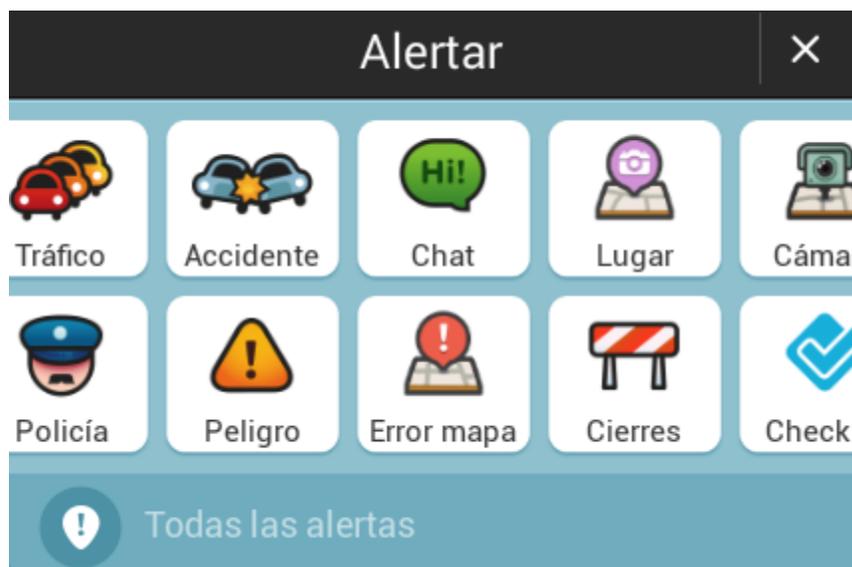
### ANEXO A

En este anexo se dará a conocer las características de la interfaz Waze y las fuentes de información que se utilizaron en este proyecto.

#### a.1) Aplicación Waze

La aplicación de tráfico y navegación conocida como Waze funciona a través de GPS de los dispositivos móviles para lograr así obtener información de la ubicación y velocidad a la que se mueve el usuario, además de tener la posibilidad de tomar mejores decisiones en cuanto a la ruta más favorable para reducir tiempos de viaje y ahorro de combustible.

Waze también es conocido como una aplicación social en cuanto a la interacción entre los usuarios, ya que estos tienen la posibilidad de dar a conocer las condiciones del camino en tiempo real ya sea entregando información del estado del tránsito o bien alertando algún evento que interfiera en las condiciones normales de circulación. En la figura A1 se puede ver las alertas que pueden ser efectuadas, siendo algunas de ellas:



**Figura A1: Tipos de alertas permitidas por waze.**  
Fuente: Aplicación waze.

- **Trafico:** aquí los usuarios pueden establecer si el tráfico es moderado, denso o bien está detenido.
- **Accidente:** se alerta de un accidente provocado en el camino pudiendo ser este leve o grave.
- **Cierres:** se alerta que una calle se encuentra cerrada debido a alguna obra de construcción, etc.
- **Peligro:** con esta opción se es posible informar si ha ocurrido un evento en la berma o en el camino, también es posible alertar estados del clima como vemos en la figura A2.



**Figura A2: Selección de lugar de ocurrencia de un incidente**  
Fuente: Aplicación Waze.

Para incidentes ocurridos en la vía se tiene las siguientes opciones:

- Un objeto en la calzada.
- Una obra o construcción.
- Baches en el camino.
- Un vehículo detenido en la calzada.
- Animales (opción más usada para zonas rurales)

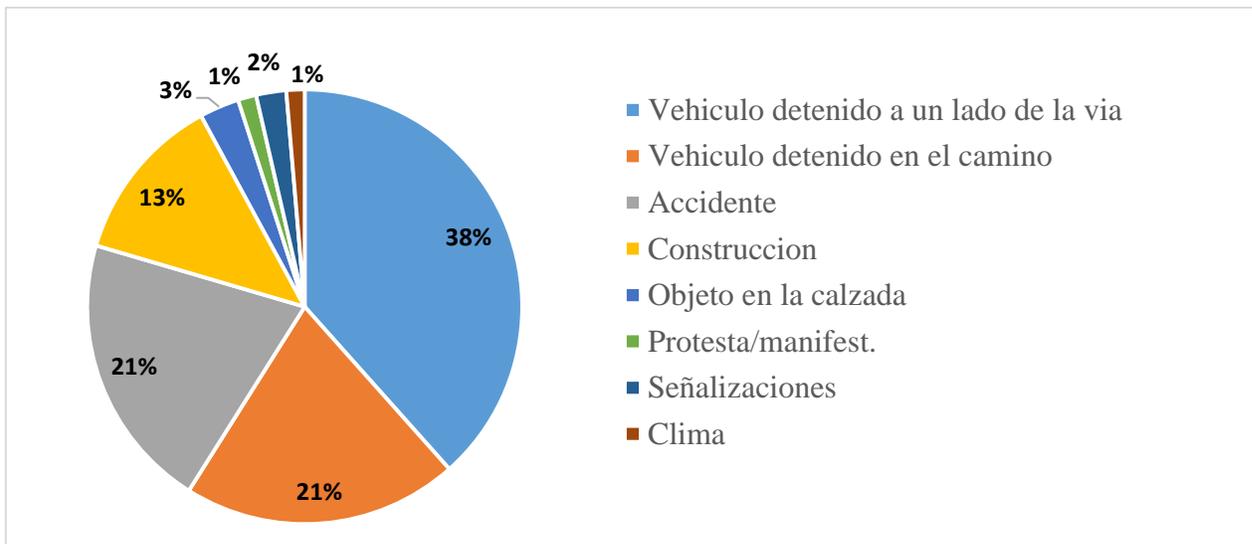
Para incidentes ocurridos en el arcén o berma se tiene que sea por:

- Un vehículo detenido.
- Señal ausente.
- Animales.

Para advertir el estado del clima se encuentran las siguientes opciones:

- Niebla/Neblina.
- Granizo.
- Inundación
- Hielo en la calzada.

Luego de realizado el registro de incidentes fue posible realizar el siguiente gráfico que representa a la información obtenida según el tipo de alerta realizada.

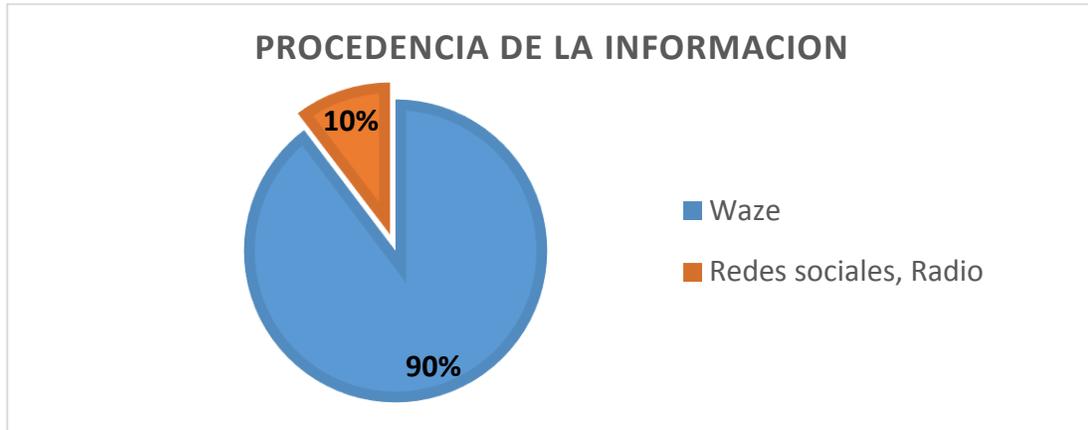


**Figura A3: Disgregación de los incidentes según alerta.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

A simple vista lo primero que se observa es que la mayor cantidad de incidentes informados por waze son de aquellos de vehículos detenidos a un lado del camino, mientras que eventos relacionados a las señalizaciones en mal funcionamiento, efectos del clima, protestas tienen una muy baja presencia.

### a.2) Fuentes de información

Si bien la principal fuente de información para esta tesis es la entregada por la plataforma Waze, también se hizo uso de la información proveniente de redes sociales y medios de comunicación como la radio. En la figura a continuación podemos ver el porcentaje de la de información entregada tanto por Waze como por los otros medios a partir del registro total obtenido.

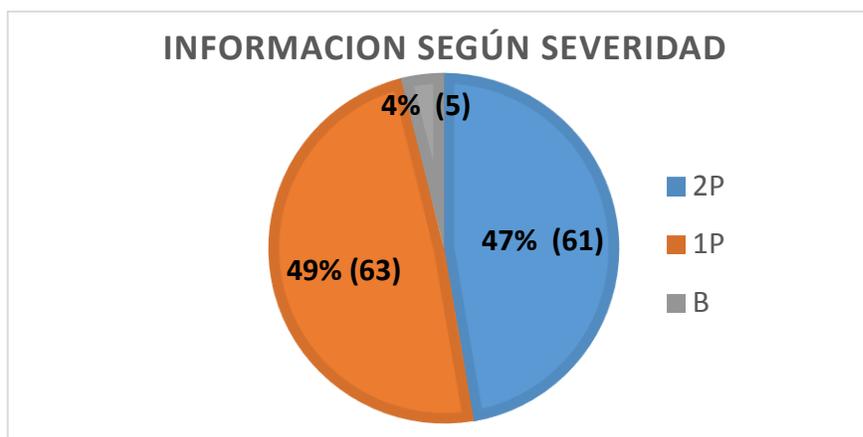


**Figura A4: Fuentes de información.**  
Fuente: Elaboración propia

De los 1252 incidentes registrados tenemos que solo el 10% (129 incidentes) provienen de redes sociales y por radio. Cabe mencionar que las redes sociales se han hecho más notorias comparando las cifras con las entregadas por radio ya que la primera entrego información de 104 eventos mientras que la radio solo de unos 25.

Otro análisis que podemos hacer con respecto a la información entregada por estos medios es del impacto de los incidentes en cuanto a severidad, ya que se logró observar que lo que más se informa a partir de estas redes de comunicación son aquellos eventos que tienen un impacto notorio como el de incidentes que abarquen una pista o más, mientras que eventos ocurridos en la berma son muy escasos.

Lo dicho anterior queda representado de mejor forma en la siguiente figura.



**Figura A5: Clasificación de la información.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Como ya se dijo 129 incidentes fueron obtenidos mediante medios de comunicación, de estos solo 5 estaban relacionados con la berma mientras que incidentes ocurridos en una y dos pistas tuvieron 63 y 61 avisos respectivamente.

### a.3) Obtención de Velocidades

Como información adicional se usó la plataforma Waze para el registro de las velocidades a la que los usuarios se mueven en los incidentes. Para medir la velocidad simplemente debemos seleccionar el tramo con alta demanda y se desplegara un cuadro con la velocidad media de los vehículos que circulan por dicho tramo, como se ve en la figura A5.



**Figura A6: Ejemplo Medición de Velocidad.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

### a.4) Velocidades

Las velocidades obtenidas se presentaran en el siguiente cuadro resumen:

Duración	Velocidad Promedio (Km/Hr)		
	Berma	1 pista	2 pistas
<15	19,4	13,8	19,0
30	15,9	11,7	11,3
>45	18,5	10,4	8,7

**Tabla A7: Tabla comparativa de velocidades.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

Como es posible ver las velocidades disminuyen a medida que los incidentes tienen una mayor severidad y una mayor duración. Si bien existen velocidades para eventos de 2 pistas están no llegan a ser 0 debido a que Waze toma velocidades promedio entre todos los usuarios, además es importante mencionar que la presencia de semáforo y otra señalizaciones influyen en las velocidades del flujo vehicular reduciéndolas. También mencionar que otros eventos que afectan a múltiples pistas como lo son los efectos del clima o señales en mal estado no impiden el curso del flujo vehicular pero si reduce sus velocidades.

**ANEXO B**

En este anexo se muestran todas las tablas y gráficos que representan como se distribuyen los incidentes de acuerdo al día de la semana.

**b.1) Distribución de incidentes según día de la semana**

En las tablas que se muestran a continuación se muestra la cantidad de incidentes ocurridos por día de la semana a lo largo del periodo de registro según severidad y duración, a esto además se le confeccionaron gráficos que muestran la frecuencia de cada parámetro.

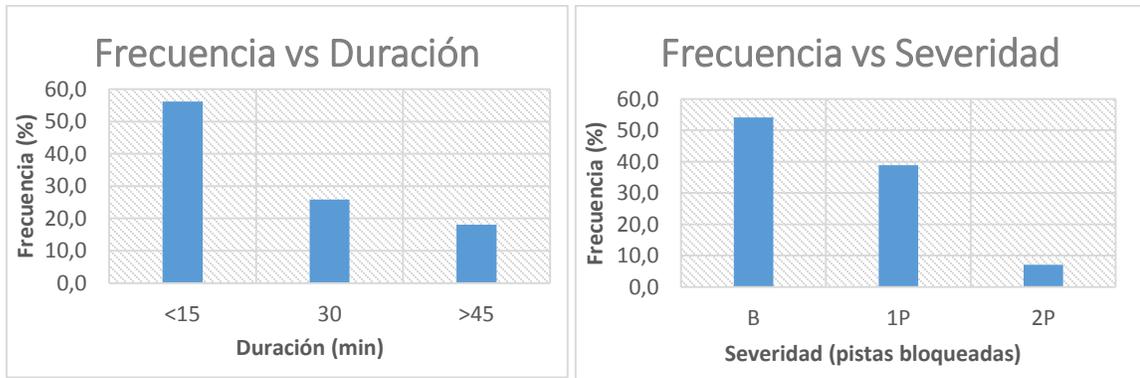
- Lunes

	CANTIDAD			
TIEMPO	1P	2P	BERMA	TOTAL
<15	42	3	114	159
30	40	11	22	73
>45	28	6	17	51
TOTAL	110	20	153	

TIEMPO	CANTIDAD
<15	159
30	73
>45	51
TOTAL	283

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	153
1P	110
2P	20
TOTAL	283

**Tabla B1: Cantidad de incidentes día lunes.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura B1: Distribución de incidentes día lunes.**  
Fuente: Elaboración propia

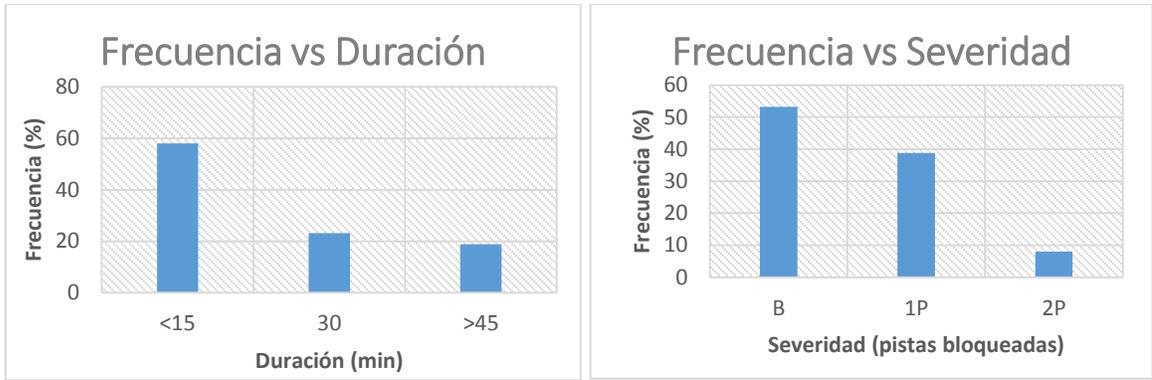
- Martes

	CANTIDAD			
TIEMPO	1P	2P	BERMA	TOTAL
<15	45	9	91	145
30	39	2	17	58
>45	13	9	25	47
TOTAL	97	20	133	

TIEMPO	CANTIDAD
<15	145
30	58
>45	47
TOTAL	250

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	133
1P	97
2P	20
TOTAL	250

**Tabla B2: Cantidad de incidentes día martes.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura B2: Distribución de incidentes día martes.**  
Fuente: Elaboración propia.

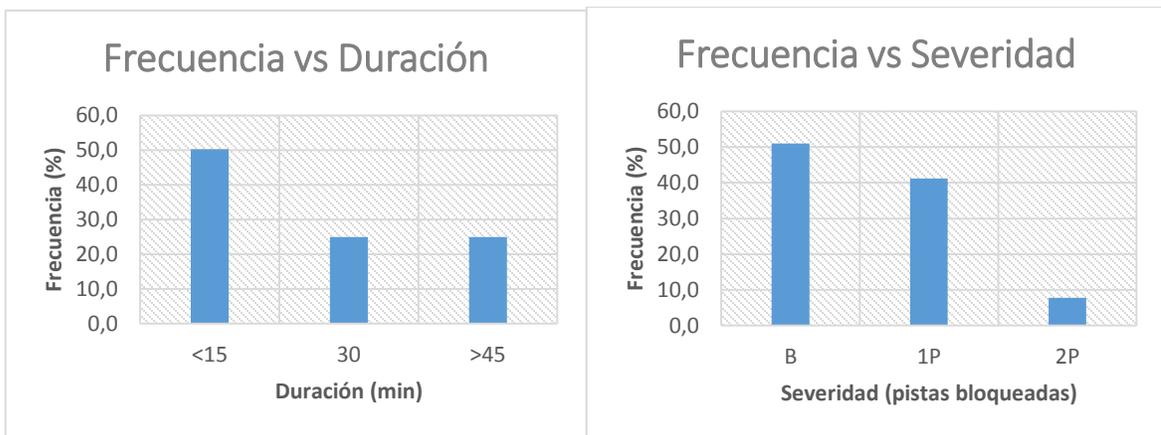
• **Miércoles**

TIEMPO	CANTIDAD			TOTAL
	1P	2P	BERMA	
<15	31	3	89	123
30	39	4	18	61
>45	31	12	18	61
TOTAL	101	19	125	

TIEMPO	CANTIDAD
<15	123
30	61
>45	61
TOTAL	245

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	125
1P	101
2P	19
TOTAL	245

**Tabla B3: Cantidad de incidentes día miércoles.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura B3: Distribución de incidentes día miércoles.**  
Fuente: Elaboración propia.

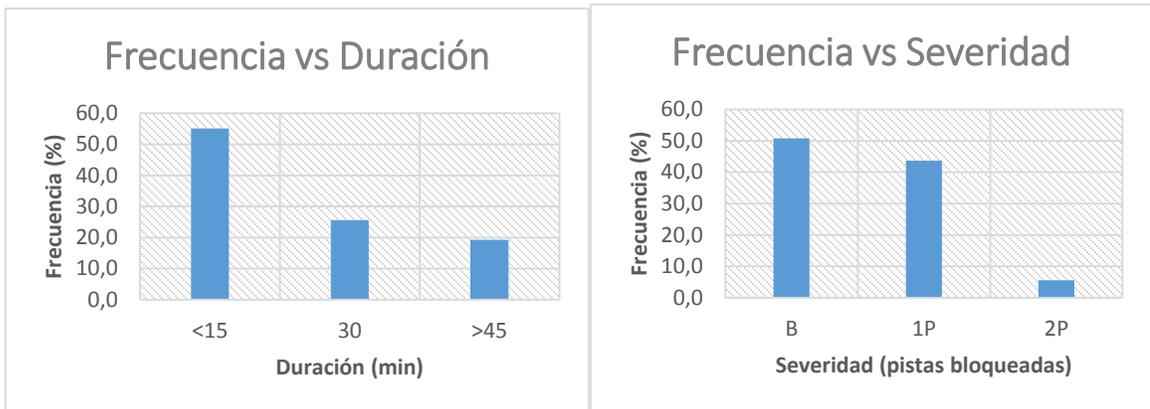
• Jueves

	CANTIDAD			
TIEMPO	1P	2P	BERMA	TOTAL
<15	43	1	96	140
30	36	6	23	65
>45	32	7	10	49
TOTAL	111	14	129	

TIEMPO	CANTIDAD
<15	140
30	65
>45	49
TOTAL	254

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	129
1P	111
2P	14
TOTAL	254

**Tabla B4: Cantidad de incidentes día jueves.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura B4: Distribución de incidentes día jueves.**  
Fuente: Elaboración propia.

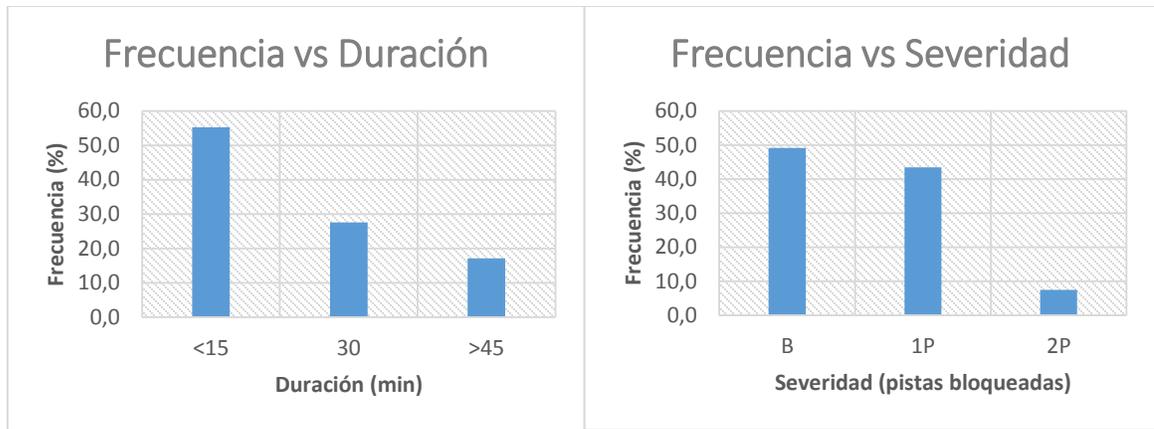
• Viernes

	CANTIDAD			
TIEMPO	1P	2P	BERMA	TOTAL
<15	41	7	78	126
30	41	5	17	63
>45	17	5	17	39
TOTAL	99	17	112	

TIEMPO	CANTIDAD
<15	126
30	63
>45	39
TOTAL	228

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	112
1P	99
2P	17
TOTAL	228

**Tabla B5: Cantidad de incidentes día viernes.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura B5: Distribución de incidentes día viernes.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

**b.2) Distribución de incidentes sin vías menores**

A diferencia del punto anterior que tomaba en cuenta todos los incidentes registrados en el área de estudio, este punto toma en cuenta solo aquellos incidentes ocurridos en vías con flujo vehicular considerable. Lo primero que es posible diferenciar es que la cantidad de incidentes que abarcan una pista disminuyeron ya que los incidentes ocasionados en calles menores dentro de la ciudad ya no son considerados, siendo estos mayormente de una pista ya que las calles dentro de ciudad en casi su totalidad carecen de berma.

• Lunes

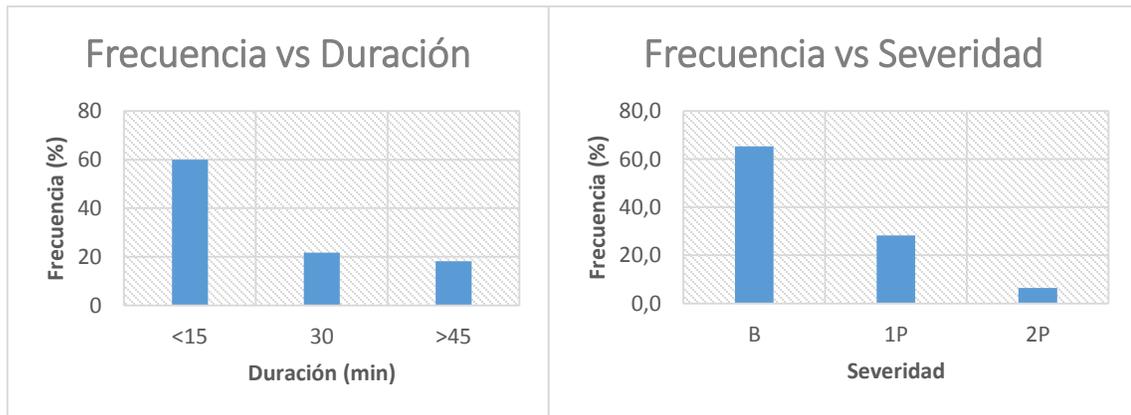
	CANTIDAD			
TIEMPO	1P	2P	BERMA	TOTAL
<15	20	1	81	102
30	17	5	15	37
>45	11	5	15	31
TOTAL	48	11	111	

TIEMPO	CANTIDAD
<15	102
30	37
>45	31
TOTAL	170

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	111
1P	48
2P	11
TOTAL	170

**Tabla B6: Cantidad de incidentes día lunes.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura B6: Distribución de incidentes día lunes.**

Fuente: Elaboración propia.

• Martes

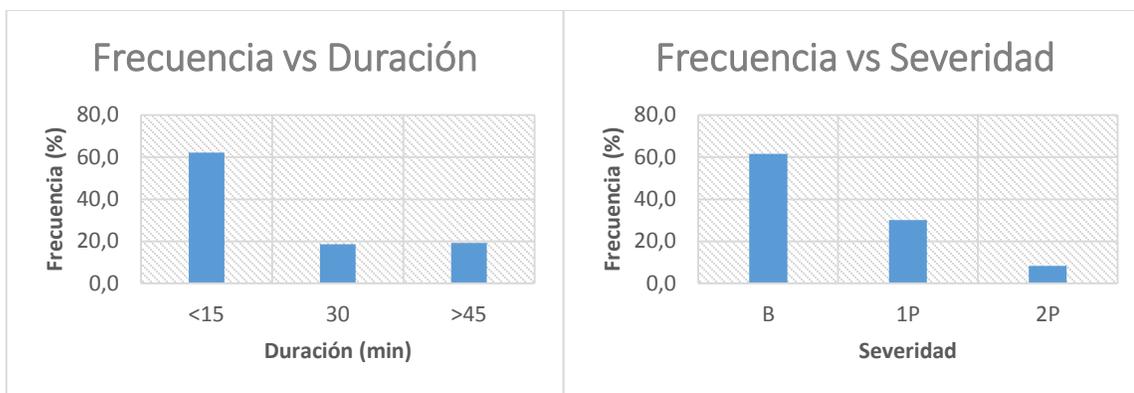
	CANTIDAD			
TIEMPO	1P	2P	BERMA	TOTAL
<15	22	6	69	97
30	17	2	10	29
>45	8	5	17	30
TOTAL	47	13	96	

TIEMPO	CANTIDAD
<15	97
30	29
>45	30
TOTAL	156

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	96
1P	47
2P	13
TOTAL	156

**Tabla B7: Cantidad de incidentes día martes.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura B7: Distribución de incidentes día martes.**  
Fuente: Elaboración propia.

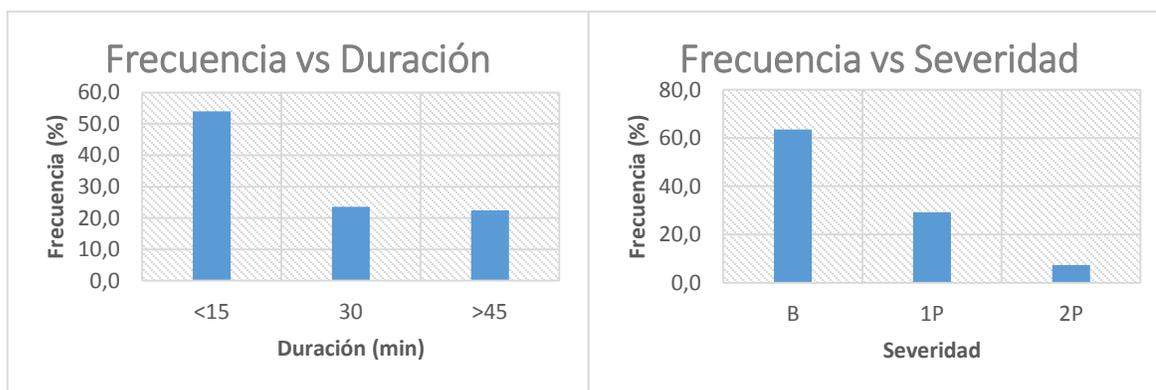
• Miércoles

TIEMPO	CANTIDAD			TOTAL
	1P	2P	BERMA	
<15	17	1	78	96
30	23	2	17	42
>45	12	10	18	40
TOTAL	52	13	113	

TIEMPO	CANTIDAD
<15	96
30	42
>45	40
TOTAL	178

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	113
1P	52
2P	13
TOTAL	178

**Tabla B8: Cantidad de incidentes día miércoles.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura B8: Distribución de incidentes día miércoles.**  
Fuente: Elaboración propia.

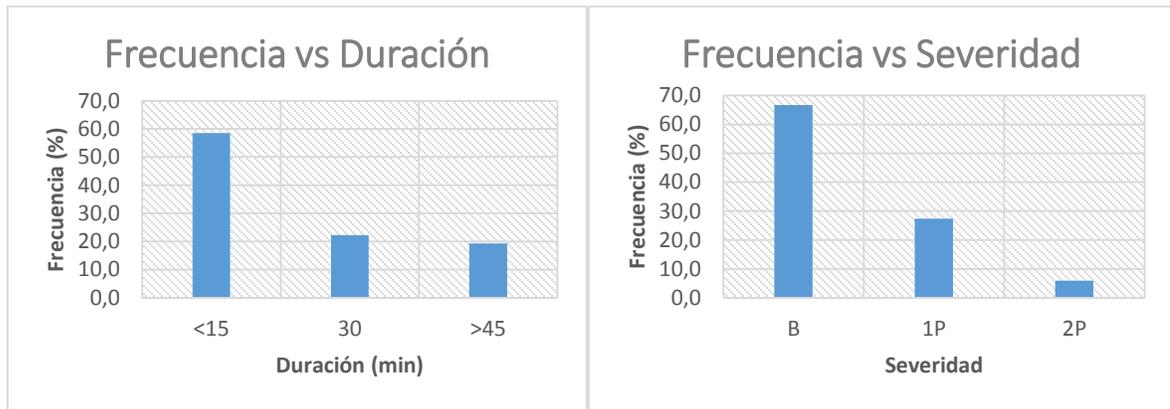
• Jueves

TIEMPO	CANTIDAD			TOTAL
	1P	2P	BERMA	
<15	15	0	64	79
30	10	3	17	30
>45	12	5	9	26
TOTAL	37	8	90	

TIEMPO	CANTIDAD
<15	79
30	30
>45	26
TOTAL	135

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	90
1P	37
2P	8
TOTAL	135

**Tabla B9: Cantidad de incidentes día jueves.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura B9: Distribución de incidentes día jueves.**  
Fuente: Elaboración propia.

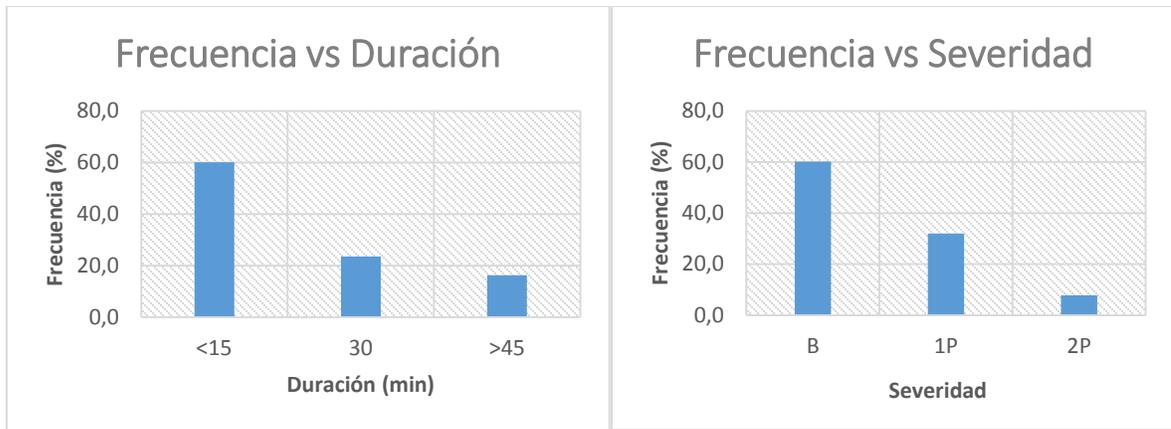
• Viernes

TIEMPO	CANTIDAD			TOTAL
	1P	2P	BERMA	
<15	22	5	65	92
30	18	4	14	36
>45	9	3	13	25
TOTAL	49	12	92	

TIEMPO	CANTIDAD
<15	92
30	36
>45	25
TOTAL	153

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	92
1P	49
2P	12
TOTAL	153

**Tabla B10: Cantidad de incidentes día viernes.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura B10: Distribución de incidentes día viernes.**  
Fuente: Elaboración propia.

**b.3) Total de incidentes**

La cantidad de incidentes totales ocurridos en el área de observación fue de 1252 incidentes, mientras que si solo contamos aquellos ocurridos en vías principales y de flujo considerable tenemos 787 incidentes lo que quiere decir que solo un 37% de los incidentes fueron registrados en calles interiores de la ciudad donde el flujo vehicular es menor y se ve interrumpido constantemente por semáforos, y otras señalizaciones.

TIEMPO	CANTIDAD			TOTAL
	BERMA	1P	2P	
<15	468	202	15	685
30	97	195	28	320
>45	87	121	39	247
<b>TOTAL</b>	<b>652</b>	<b>518</b>	<b>82</b>	<b>1252</b>

TIEMPO	CANTIDAD
15	685
30	320
45	247
<b>TOTAL</b>	<b>1252</b>

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	652
1P	518
2P	82
<b>TOTAL</b>	<b>1252</b>

**Tabla B11: Total de incidentes.**  
Fuente: Elaboración propia.

TIEMPO	CANTIDAD			TOTAL
	BERMA	1P	2P	
<15	357	96	8	461
30	73	85	16	174
>45	72	52	28	152
<b>TOTAL</b>	<b>502</b>	<b>233</b>	<b>52</b>	<b>787</b>

TIEMPO	CANTIDAD
15	461
30	174
45	152
<b>TOTAL</b>	<b>787</b>

SEVERIDAD	CANTIDAD
B	502
1P	233
2P	52
<b>TOTAL</b>	<b>787</b>

**Tabla B12: Total de incidentes flujo ininterrumpido**  
Fuente: Elaboración propia.

**b.4) Test de hipótesis**

Al analizar el registro diario de incidentes se notó que la cantidad de estos era similar día a día, por lo que se decidió por realizar un test de hipótesis con la finalidad de justificar que la cantidad de incidentes es independiente al día en que ocurran o bien mostrar si algún día de la semana no es comparable a los demás.

Se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula: El promedio de incidentes de un día A = El promedio de incidentes de un día B.

Hipótesis Alternativa: El promedio de incidentes de un día A ≠ El promedio de incidentes de un día B.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
<b>Semana 1</b>	39	27	22	29	27
<b>Semana 2</b>	36	36	32	33	
<b>Semana 3</b>	40	31	34	52	41
<b>Semana 4</b>	37	37	39	34	39
<b>Semana 5</b>	33	12	34		28
<b>Semana 6</b>	26	28	21	37	28
<b>Semana 7</b>	36	39	34	44	36
<b>Semana 8</b>	36	32	29	25	29
$\bar{X}$	35,375	30,25	30,625	36,2857143	32,5714286
$\sigma$	4,3404246	8,51469318	6,27779534	9,15995425	5,91205387
<b>n</b>	8	8	8	7	7
<b>tc ±</b>	2,365	2,365	2,365	2,447	2,447

**Tabla B13: promedios de incidentes por día de semana**

Fuente: Elaboración Propia.

El valor critico Tc deberá ser comparado con los estadísticos de prueba T0 que se obtendrán utilizando la siguiente formula.

$$t_0 = \frac{X_{n1} - X_{n2}}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n1} + \frac{S_2^2}{n2}}}$$

t0	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes
<b>Lunes</b>	0	1,51673622	1,76031601	-0,2404849	1,03424602
<b>Martes</b>	-1,51673622	0	-0,10026294	-1,3155702	-0,61919741
<b>Miercoles</b>	-1,76031601	0,10026294	0	-1,37646232	-0,61800613
<b>Jueves</b>	0,2404849	1,3155702	1,37646232	0	0,90138782
<b>Viernes</b>	-1,03424602	0,61919741	0,61800613	-0,90138782	0

**Tabla B14: Matriz comparativa de estadísticos de prueba entre días**

Fuente: Elaboración Propia.

Al comparar los estadísticos T0 es posible observar que todos se encuentran en región de no rechazo de la hipótesis nula, por lo que esta es aceptada y nos permite afirmar que la cantidad de incidentes es independiente del día de la semana en que ocurra.

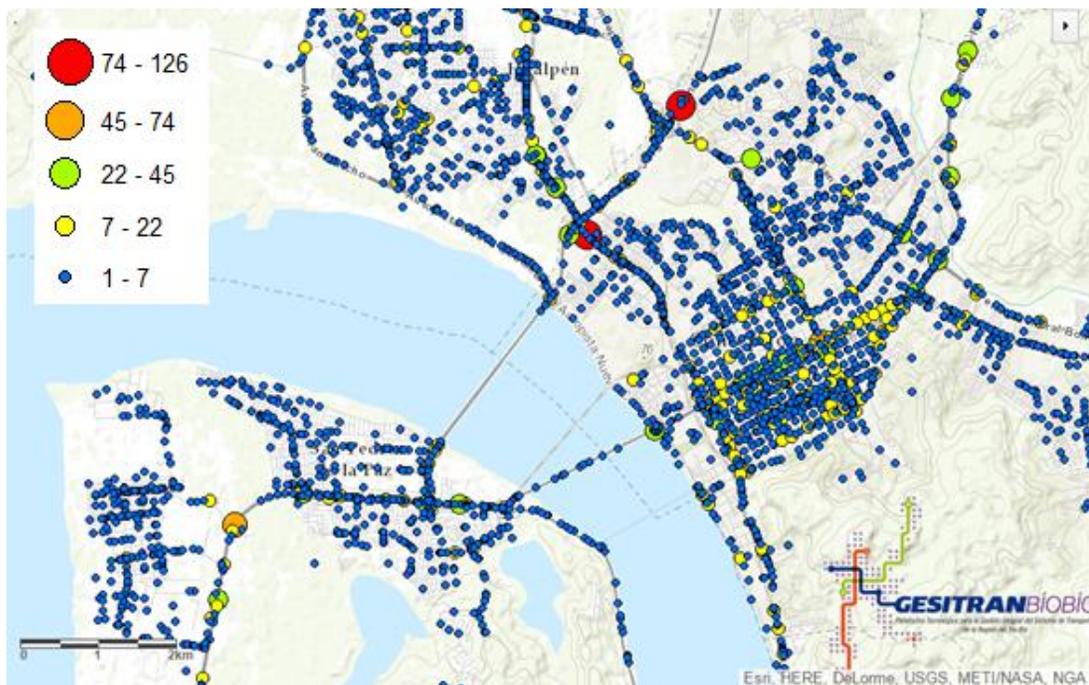
## ANEXO C

Este anexo se hizo para mostrar cómo se distribuyeron los incidentes a lo largo de los caminos observados.

### c.1) Sistema de información geográfica

Algo muy parecido a los mapas mostrados anteriormente es lo realizado por Gesitran BioBio, proyecto realizado por profesionales relacionados al análisis de transporte regional quienes por la falta de disponibilidad de información geográfica de transporte decidieron crear una plataforma en la que ahora se puede ver los propósitos de viajes en diversos puntos del Gran Concepción, estado de la infraestructura, accidentes de tránsito entre otros.

En la figura C1 se observan los accidentes ocurridos durante un periodo de cuatro años (2009-2013), teniendo cierta similitud con lo realizado, cabe diferenciar que dicha plataforma solo muestra accidentes de tránsito que como ya hemos dicho son solo una parte de los incidentes de tránsito y además nuestro periodo de observación fue mucho menor a lo realizado por Gesitran.



**Figuras C1: Accidentes de tránsito en el Gran Concepción.**

**Fuente: Gesitran BioBio.**

En este sistema de información geográfica proporcionada por Gesitran BioBio cada marcador corresponde a un rango de accidentes ocasionados en dicho punto del camino, siendo los marcadores rojos, naranjos y verdes donde mayor cantidad de accidentes existe.

## ANEXO D

En este anexo se mencionara como fueron estimados los costos de la congestión no recurrente utilizando una metodología proveniente de estudios previos en el Gran Concepción.

### d.1) Parámetros relacionados al costo de la congestión no recurrente

Cuando hablamos del costo de la congestión no recurrente nos estamos refiriendo a la sumatoria de los costos de diversos factores, tales como, tiempo de viaje, consumo de combustible y gases liberados a la atmosfera (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, PM).

En el estudio hecho por Reyes (2014) se realizaron simulaciones utilizando el software AIMSUM, con el cual se logró simular para los casos de incidentes en berma, una y dos pistas con las duraciones de 15mnt, 30mnt y 45mnt para luego obtener los costos de cada parámetro y así estimar los costos de la congestión no recurrente. La tabla D1 muestra los costos por parámetro obtenidos por dicho estudio para diferentes grados de saturación de las vías.

v/c	Tiempo de viaje (\$/km)	Consumo combustible (\$/km)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (\$/km)	Emisiones de Nox (\$/km)	Emisiones de PM (\$/km)	Emisiones de VOC (\$/km)
<b>75%</b>	\$1,58	\$17,8	\$0,1	\$0,02	\$0,0001	\$0,001
<b>83%</b>	\$2,73	\$25,6	\$0,1	\$0,02	\$0,0002	\$0,002
<b>90%</b>	\$6,34	\$47,0	\$0,2	\$0,02	\$0,0003	\$0,003
<b>100%</b>	\$12,41	\$56,4	\$0,2	\$0,03	\$0,0004	\$0,004
<b>110%</b>	\$12,94	\$59,0	\$0,2	\$0,04	\$0,0005	\$0,004

**Tabla 6 : Costo por parámetro debido a un incidente de tránsito.**

**Fuente: Reyes, 2014.**

Sin embargo debido a que no existía información cada valor fue obtenido utilizando probabilidades de ocurrencia de incidentes que no reflejaban al área local. Por lo que para sensibilizar el costo de la congestión no recurrente utilizando la metodología de Reyes se debió incorporar nuestros valores de ocurrencia que se muestran en la tabla D2.

<b>TIEMPO</b>	<b>1P</b>	<b>2P</b>	<b>BERMA</b>
<b>&lt;15</b>	12%	1%	45%
<b>30</b>	11%	2%	9%
<b>&gt;45</b>	7%	4%	9%

**Tabla D2: Probabilidad de ocurrencia de un incidente.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Mencionar además que estas son las probabilidades para flujo ininterrumpido ya que las simulaciones de Reyes fueron realizadas para este tipo de vías.

Luego de incorporar nuestras probabilidades los nuevos costos quedaron definidos como lo muestra la tabla D3 en la que podemos notar que se reducen mínimamente los costos.

<b>v/c</b>	<b>Tiempo de viaje (\$/km)</b>	<b>Consumo combustible (\$/km)</b>	<b>Emisiones de CO2 (\$/km)</b>	<b>Emisiones de Nox (\$/km)</b>	<b>Emisiones de PM (\$/km)</b>	<b>Emisiones de VOC (\$/km)</b>
<b>75%</b>	\$ 1,71	\$ 14,60	\$ 0,06	\$ 0,01	\$ 0,0001	\$ 0,0010
<b>83%</b>	\$ 2,91	\$ 22,47	\$ 0,11	\$ 0,01	\$ 0,0002	\$ 0,0020
<b>90%</b>	\$ 6,29	\$ 40,08	\$ 0,14	\$ 0,01	\$ 0,0003	\$ 0,0027
<b>100%</b>	\$ 11,71	\$ 48,86	\$ 0,21	\$ 0,03	\$ 0,0004	\$ 0,0035
<b>110%</b>	\$ 12,34	\$ 49,97	\$ 0,21	\$ 0,03	\$ 0,0004	\$ 0,0035

**Tabla D3: Nuevos Costos por parámetros debido a incidentes de tránsito al año.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Siguiendo la metodología de Reyes, para lograr obtener el costo total al año lo siguiente a realizar es llevar la cantidad de incidentes registrados (786) obtenidos en las 8 semanas de observación a un año llegando a un total de 5122 incidentes (viene de  $786 \cdot 52/8$ ) considerando equidad en el resto del año.

Otro ajuste que se debe hacer es obtener los incidentes por kilómetro para así poder utilizar el costo de cada parámetro ya que estos se encuentran \$/km. Para esto el total de incidentes debe ser dividido por los kilómetros totales en nuestra área de observación lo cual llega a 81.9 km y luego dividir el resultado por 24 horas, obteniendo así 2.6 incidentes al año por kilómetro en 1 hora, siendo así aproximadamente 4 incidentes en la punta de mañana. En la tabla D4 se muestran los respectivos largos, n° de incidentes y demanda para cada tramo analizado.

Ruta	R160/ Pedro Aguirre Cerdea	Av. Alessandri -Pnt JP II	Autopista Concepción - Talcahuano	R150	Chiguayante Costanera	Av. Alonso rivera	Nueva Costanera	Pnt. Llacolén
Largo	8,7	7,74	3,75	6,9	10,1	4	8,35	2,157
V/C	1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,9
Incidentes	35	31	15	28	40	16	33	9
Demanda	3400	2550	2550	2550	2550	2550	2550	3060

**Tabla D4: Largo de vías y Flujos correspondientes**

Fuente: Elaboración Propia

Para obtener los costos totales para cada parámetro se debieron realizar los siguientes cálculos para cada tramo de camino:

Tiempo de Viaje (\$/km)= Largo\*Nº incidentes\*Demanda\*Costo del parámetros (según saturación)

Ruta	Tiempo de viaje (\$/km)	Consumo de combustible (\$/km)	Emisión de CO2 (\$/km)	Emisión de NOx (\$/km)	Emisión de PM (\$/km)	Emisión de VOC (\$/km)	Total
Ruta 160- Pnt. Llacolén	\$ 12.426.277	\$ 52.673.883	\$ 220.896	\$ 28.364	\$ 406	\$ 3.770	\$ 65.353.596
Autopista Concepción- Talcahuano	\$ 245.561	\$ 2.094.758	\$ 9.174	\$ 1.108	\$ 16	\$ 140	\$ 2.350.756
Av. J. Alessandri/ Pnt JP II	\$ 1.046.113	\$ 8.923.872	\$ 39.080	\$ 4.720	\$ 66	\$ 594	\$ 10.014.446
Ruta 150 c-p	\$ 831.371	\$ 7.092.014	\$ 31.058	\$ 3.751	\$ 53	\$ 472	\$ 7.958.720
Av. Alonso Rivera	\$ 279.394	\$ 2.383.369	\$ 10.438	\$ 1.261	\$ 18	\$ 159	\$ 2.674.638
Chiguayante Costanera	\$ 1.781.310	\$ 15.195.470	\$ 66.546	\$ 8.037	\$ 113	\$ 1.012	\$ 17.052.489
Costanera Hualpén/ Pnt. Llacolén	\$ 1.217.502	\$ 10.385.905	\$ 45.483	\$ 5.493	\$ 77	\$ 692	\$ 11.655.153
							<b>\$ 117.059.797</b>

**Tabla D5: Costo de la congestión no recurrente Punta Mañana.**

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados fueron muy similares en cuanto a costo total de la congestión no recurrente para la punta de mañana debido a que las distribuciones aplicadas por Reyes (2014) fueron muy cercanas a las obtenidas en este estudio, provocando una diferencia de solo 12 millones de pesos.

