

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

Profesor Patrocinante: Patricio Álvarez Mendoza MSc.PhD.

**EFECTO DE LAS VARIACIONES DEL NIVEL DE
SERVICIO EN REDES DE TRANSPORTE URBANO,
PRODUCTO DE EVENTOS CATÁSTROFICOS.**

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

MARÍA FRANCISCA HERRERA ROJAS

Concepción, Octubre 2016.

Dedicada a mi familia y mi pololo, quienes fueron un apoyo incondicional en esta etapa de mi vida, entregándome fuerzas para seguir adelante pese a las adversidades.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mis compañeros, profesores y funcionarios del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, quienes, sin duda, fueron una parte importante de mi formación profesional y personal, en estos años de estudio, demostrándose siempre dispuestos a ayudar en lo que resultase necesario. Cordialmente agradecer a quienes colaboraron de una u otra forma con el desarrollo de esta investigación, especialmente a Raúl Vásquez, Daniela Sandoval, y Alan Jara. Gracias por su paciencia y apoyo, fueron personas importantes en esta etapa de mi vida, y espero seguir contando con su amistad por muchos años.

Mención honrosa a Raúl Vásquez Pedrero, por su gran amor y su compañía tanto como amigo y pareja, en este proceso que vivimos juntos, y que está a puertas de finalizar en unos meses para ti. Simplemente, gracias por los grandes momentos que hemos vivido y que espero que se extiendan por mucho tiempo más.

Finalmente, y no por ello, menos importante, quiero agradecer a mi familia, en especial a mis padres y mis hermanos, quienes a pesar de la distancia física que nos separó en estos años de estudio, nunca me dejaron de apoyar, aconsejar y dar ánimo para que finalmente pudiese ser un Ingeniero Civil de la Universidad del Bío – Bío.

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Justificación.....	8
1.2. Objetivos.....	8
1.2.1. Objetivo General.....	8
1.2.2. Objetivos Específicos.....	8
2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
2.1. Red Vial de Prueba.....	9
2.2. Capacidad.....	10
2.3. Matriz Origen - Destino.....	10
2.4. Aplicación del Daño.....	11
2.4.2. Niveles de Daño.....	11
2.4.3. Escenarios de Daño.....	11
3. CIUDADES DE ESTUDIO.....	12
4. METODOLOGÍA.....	15
4.1. Estudio de Antecedentes.....	15
4.2. Síntesis Catástrofes Naturales.....	15
4.3. Sensibilidad del Nivel de Servicio.....	16
4.4. Máxima demanda.....	16

	2
5. CATÁSTROFES NATURALES	17
5.1. Tipos de catástrofes naturales	17
5.2. Impacto en la red de transporte	18
5.3. Historiales de catástrofes naturales	18
6. RESULTADOS	21
6.1. Caso de Estudio 1: Sensibilidad del Nivel de Servicio.....	21
6.2. Caso de Estudio 2: Máxima Demanda.....	23
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
ANEXO A: LÍNEA DE TIEMPO DE CATÁSTROFES NATURALES	32
ANEXO B: FACTORES DE AUMENTO DE DEMORAS PARA TODOS LOS ESCENARIOS DE DAÑO	38
ANEXO C: MÁXIMA DEMANDA PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS DE DAÑO ...	41

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados Encuestas Origen - Destino	13
Tabla 2. Distribución de viajes periodo punta mañana según modo de transporte	14
Tabla 3. Impacto de las catástrofes naturales en la red de transporte.....	18
Tabla 4. Catástrofes naturales que afectan a las ciudades de estudio	19

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Propiedades de arcos de acuerdo a sus categorías	9
Figura 2: Red Vial de Prueba para modelación	9
Figura 3: Zonificación de la Red Vial de Prueba	10
Figura 4: Ciudades chilenas de tamaño medio en estudio.....	12
Figura 5: Metodología de la investigación	15
Figura 6: Catástrofes naturales de La Serena	20
Figura 1: Factor de Aumento de Demoras para distintos niveles de demanda.....	21
Figura 2: Factor de Aumento de Demoras para todos los niveles de daño para el segundo nivel de demanda.....	22
Figura 3: Máxima demanda para diferentes niveles de servicio	23
Figura 10: Máxima demanda matriz 11.912 viajes	24

EFFECTO DE LAS VARIACIONES DEL NIVEL DE SERVICIO EN REDES DE TRANSPORTE URBANO, PRODUCTO DE EVENTOS CATASTRÓFICOS.

María Francisca Herrera Rojas

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Bío – Bío
mfherrer@alumnos.ubiobio.cl

Patricio Álvarez Mendoza M. MSc. PhD.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Bío – Bío
palvarez@ubiobio.cl

RESUMEN

Las catástrofes naturales no son un fenómeno ajeno en Chile, sino por el contrario, ya sea por la presencia de la Cordillera de los Andes, la larga costa que nos ofrece el Océano Pacífico, la Placa Sudamericana y Placa Nazca, los fenómenos de la naturaleza forman parte de nuestra cotidianidad. Es por ello que es muy importante estudiar el impacto que estos fenómenos generan sobre el nivel de servicio en las redes de transporte urbano, cambios que son estudiados a través de las demoras totales del período punta mañana, medidas en veh-hr.

El estudio de múltiples escenarios de daño, permite caracterizar el comportamiento de la red, frente a distintos niveles de pérdida de capacidad. Para ello, el uso de herramientas de simulación y modelación, es indispensable, para llevar a cabo el estudio de las variaciones del nivel de servicio en redes de transporte urbano, para distintos niveles de demanda.

Finalmente, al realizar un análisis de los datos obtenidos para los dos casos de estudio, es posible observar que, ante aumentos en el nivel de demanda, los niveles de servicio disminuyen, y que la máxima demanda para un nivel de servicio determinado, disminuye con el aumento en el nivel de daño de la red.

PALABRAS CLAVES: Nivel de servicio, catástrofes naturales, red de transporte urbano.

5.099 Palabras Texto + 12 Figuras/Tablas * 250 + 2 Figuras/Tablas * 500 = 9.099 Palabras Totales

EFFECT OF VARIATIONS IN THE LEVEL OF SERVICE IN URBAN TRANSPORT NETWORKS, PRODUCT OF CATASTROPHIC EVENTS.

María Francisca Herrera Rojas

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío – Bío.

mfherrer@alumnos.ubiobio.cl

Patricio Álvarez Mendoza M. MSc. PhD.

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío – Bío.

palvarez@ubiobio.cl

ABSTRACT

The natural disasters are not an alien phenomenon in Chile, but on the contrary, either by the presence of the Andes, the long coastline offers the Pacific Ocean, the South American Plate and Plate Nazca, the phenomena of nature they are part of our daily lives. Therefore, it is very important to study the impact that these phenomena generated on the level of service in the urban transport networks, changes are studied through total delays morning peak period, measured in veh-hr.

The study of multiple damage scenarios, to characterize the behavior of the network, for different values of capacity loss. To do this, the use of tools of simulation and modeling, it is essential to carry out the study of the variations in the level of service in urban transport networks, for different levels of demand.

Finally, an analysis of the data obtained for the two case studies, it is possible to observe that, to increases in the level of demand, service levels decrease, and that the maximum demand for a certain level of service, decreases with increasing level of damage to the network

KEYWORDS: Service level, natural disasters, urban transport network.

1. INTRODUCCIÓN

En Chile, las consecuencias de distintas catástrofes naturales han demostrado lo vulnerable que es su sistema de transporte, dónde tanto rutas estratégicas, como redes de transporte urbano pueden verse fuertemente afectadas ante eventos de estas características. Es por ello que la pérdida de capacidad de los sistemas de transporte, es una de los efectos más importante a analizar, debido a que esta reducción en la capacidad, a su vez implica aumentos en los tiempos de demora de los usuarios, dentro de los que se encuentran los equipos de emergencias, quienes son un elemento vital para reestablecer el normal funcionamiento del lugar afectado.

Así mismo, cabe destacar que la reducción en la capacidad de los sistemas de transporte dependerá de la catástrofe natural que afecte al sector, además de la intensidad de la misma, un ejemplo de lo anterior, son las marejadas que afectaron el Junio del 2016 a la Avenida del Mar, ubicada en La Serena, evento que causó un daño de tipo parcial a la red, con consecuencias reparables en un corto período de tiempo. Por el contrario, el terremoto que afectó a la misma ciudad en Septiembre del 2015, trajo consigo un daño global a la red de transporte, el cual se extendió por varios meses. Es decir, ante una catástrofe natural, mientras más afectada se vea la capacidad, mayores serán las consecuencias para la actividad económica local y mayores serán los incrementos en los tiempos de traslado de suministros y profesionales a las zonas afectadas.

La investigación que se presenta a continuación, se encuentra basada en el estudio realizado en el Proyecto de Título del Ingeniero Civil Juan Silva Medina de Abril del 2016. En él, es posible identificar el desarrollo de una metodología que permite estimar el efecto que tienen los eventos catastróficos en el nivel de servicio de redes de transporte urbano. Para ello, se definió una red vial de prueba, en base a las características y patrones regulares de 19 Ciudades Chilenas de Tamaño Medio, la cual fue dañada bajo 5 Niveles de Daño, y cada uno de estos analizado bajo 20 escenarios diferentes.

En base a lo anterior, en este estudio desea determinar cómo se comporta el nivel del servicio de la red vial de prueba, al ser enfrentada a diferentes niveles de demanda, además de estimar la máxima demanda que es capaz de soportar para distintos niveles de servicio.

1.1. Justificación

Las catástrofes naturales no son un fenómeno ajeno en Chile, sino por el contrario, ya sea por la presencia de la Cordillera de los Andes, la larga costa que nos ofrece el Océano Pacífico, la Placa Sudamericana y Placa Nazca, los fenómenos de la naturaleza no son algo ajeno a nuestra cotidianeidad, por lo tanto, es importante analizar las consecuencias que éstas tienen en las redes de transporte urbano de las Ciudades Chilenas de Tamaño Medio.

Junto con lo anterior, es posible identificar que en Chile existe poca información acerca del impacto que las catástrofes naturales generan sobre el nivel de servicio en las redes de transporte urbanas, y dada la dificultad para realizar pruebas dentro de un ambiente controlado, se torna necesario evaluar sus impactos utilizando técnicas de simulación.

Finalmente, la metodología desarrollada en el Proyecto de Título del Ingeniero Civil Juan Silva Medina presenta algunos supuestos en cuanto a la aplicación del daño, los cuales son necesarios de estudiar, para evaluar cuál es la magnitud de variación con respecto a los resultados obtenidos anteriormente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Estimar las variaciones en el nivel de servicio en las redes de transporte urbano ante situaciones de catástrofe natural, producto de cambios en la capacidad.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Sintetizar las catástrofes naturales que afectan a las redes de transporte urbano.
- Estudiar la sensibilidad del nivel de servicio respecto al nivel de daño en las redes de transporte urbano, para distintos niveles de demanda.
- Identificar la máxima demanda que pudiese satisfacer una red de transporte urbano posterior a una catástrofe natural, para diferentes niveles de servicio.

2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se explicarán y detallarán algunas antecedentes y definiciones útiles para el desarrollo de esta investigación.

2.1. Red Vial de Prueba

La Red Vial de Prueba fue construida en el Proyecto de Título del Ingeniero Civil Juan Silva Medina, y representa las características y patrones regulares de las Redes Vial Estructurante de 19 Ciudades Chilenas de Tamaño Medio, donde solo se consideran las vías de mayor categoría, es decir, expresas, troncales y colectoras.

La estimación final de la cantidad de arcos y de su largo, se determinó con la ayuda de Google Earth, mientras que la velocidad y la capacidad de cada vía fueron determinadas según lo expuesto en el REDEVU (2014), según lo mostrado en la **Figura 1**.

Categoría	Largo [m]	Velocidad [km/hr]	Capacidad [veh/hr/pista]
Expresas	1 000	100	2200
Troncales	1 000	65	1800
Colectoras	1 000	35	1800

Figura 1: Propiedades de arcos de acuerdo a sus categorías.
Fuente: Proyecto de Título Ingeniero Civil Juan Silva Medina.

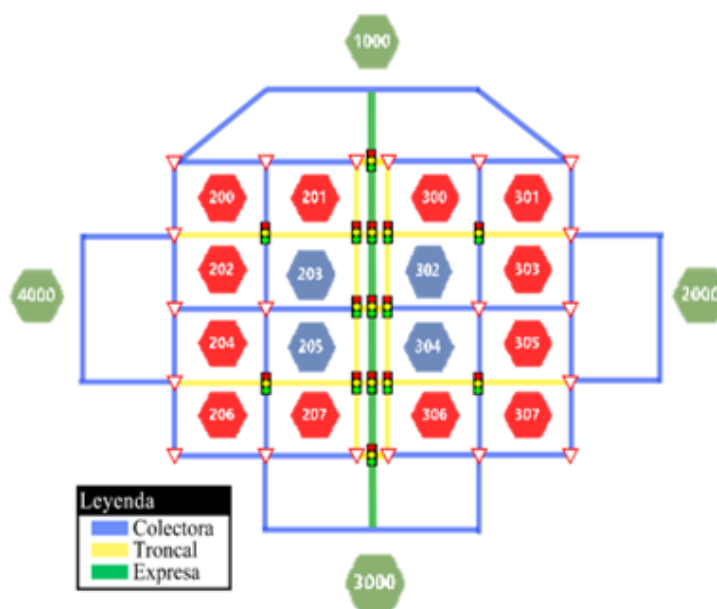


Figura 2: Red Vial de Prueba para modelación.
Fuente: Elaboración propia.

Con todas las características definidas anteriormente, se obtiene la construcción de la Red Vial de Prueba mostrada en la **Figura 2**, la cual está compuesta por 104 arcos, de los cuales 36 son bidireccionales y 32 unidireccionales. Con respecto a las medidas de control, 20 intersecciones son controladas por señalización, mientras que 15 son controladas por semáforo.

Finalmente, la red presenta 3 macrozonas: zonas centrales, representadas por el color azul; zonas periféricas, representadas por el color rojo; y zonas externas, representadas por el color verde.

2.2. Capacidad

De acuerdo al HCM (2000), la capacidad de una vía dispuesta para el tránsito de vehículos se define como el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto dado durante un periodo específico de tiempo, y bajo condiciones prevaecientes de la vida, el tráfico y control.

2.3. Matriz Origen - Destino

La construcción de la Matriz Origen – Destino se realizó en base a los resultados de las encuestas origen destino de las ciudades de estudio, presentado en el **Capítulo 2** de la presente investigación. En cuanto a la distribución de viajes, está se hizo utilizando el método gravitacional doblemente acotado, para esto fue necesario contar con un vector de origen, un vector de destinos, una función de costos y una función de resistencia al costo.

Los vectores origen y destino se estimaron luego de zonificar la RVF, estableciendo 3 tipos de zonas y distribuyéndolas alrededor de estas de acuerdo a la **Figura 3**.

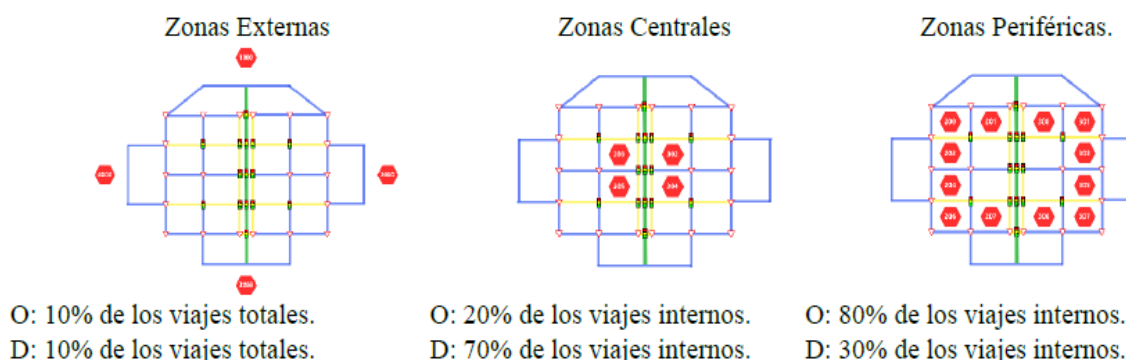


Figura 3: Zonificación de la Red Vial de Prueba.
Fuente: Proyecto de Título Ingeniero Civil Juan Silva.

La función de costos se construyó de manera proporcional a la distancia entre cada zona de origen y destino, de manera que a medida que aumenta la distancia entre dos zonas, también lo hace el costo entre esas zonas.

Finalmente, para la estimación de la función de resistencia al viaje, se usó una función exponencial, suponiendo un valor de 0,2 para el parámetro β .

2.4. Aplicación del Daño

La caracterización de los cambios en el nivel de servicio de una red de transporte urbano, debido a las catástrofes naturales, resulta muy costosa si se pretende evaluar todos los posibles casos de daño. Es por ello, que se vuelve necesario realizar una simulación de los cambios en el nivel de servicio estudiando sólo una muestra de n casos de daño, del universo total de N casos.

Entonces, para definir la muestra a estudiar se hace necesario aplicar el Modelo de Simulación de Montecarlo (MSM), donde las combinaciones de arcos dañados para cada nivel corresponden a una variable aleatoria.

2.4.1. Estrategia de Daño

La estrategia de daño corresponde a la forma de distribuir el daño sobre los arcos de la red. Para esta investigación, se optó por una estrategia de daño aleatoria uniforme sobre toda la Red Vial de Prueba, es decir, todos los arcos tienen la misma probabilidad de ser dañados, entendiendo el daño de un arco como la restricción de todos sus movimientos.

2.4.2. Niveles de Daño

El nivel de daño, corresponde al porcentaje de arcos que se ven restringidos e sus movimientos. En este caso se definieron 5 niveles de daño: 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de los arcos de la red.

2.4.3. Escenarios de Daño

Un escenario de daño corresponde a una combinación aleatoria de arcos que son restringidos de todos sus movimientos. Cada nivel de daño, cuenta con 20 escenarios de daño.

3. CIUDADES DE ESTUDIO

Las ciudades analizadas en esta investigación son 15 Ciudades Chilenas de Tamaño Medio, mostradas en la **Figura 4**, las cuales, de acuerdo a la Metodología para el Análisis de Sistemas de Transporte en Grandes Ciudades y Ciudades de Tamaño Medio, MESPE, son todas aquellas que mantienen una población entre 70.000 y 500.000 habitantes, y presentan bajos niveles de congestión en la operación del sistema de transporte.



Figura 4: Ciudades chilenas de tamaño medio en estudio.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las encuestas origen destino de las ciudades de estudio, publicadas en la biblioteca de la Secretaría de Planificación de Transporte, SECTRA, es posible determinar un valor representativo de la cantidad de viajes totales realizados en una ciudad típica en el periodo punta mañana. La **Tabla 1** muestra la información extraída de estos documentos.

Tabla 1. Resultados Encuestas Origen - Destino

Ciudades	Año Encuesta	personas/hogar	veh/hogar	Total Viajes	Total Viajes PM
Arica	-	-	-	348.113	-
Iquique	-	-	-	407.397	-
Antofagasta	2012	3,7	0,59	831.484	137.660
Copiapó	2011	3,58	0,57	417.876	63.099
La Serena - Coquimbo	-	-	-	528.421	-
Rancagua	2008	3,57	0,61	670.869	136.912
Curicó	2004	3,5	0,36	245.718	43.142
Talca	2004	3,6	0,4	523.270	87.449
Chillán	2004	3,58	0,36	445.089	81.525
Los Ángeles	2005	3,7	0,4	269.043	56.614
Temuco	2002	3,6	0,4	657.770	120.962
Valdivia	2002	3,6	0,4	375.764	64.813
Osorno	2003	3,49	0,4	363.819	66.292
Puerto Montt	2005	3,7	0,5	345.996	81.609
Punta Arenas	2007	3,4	0,6	218.689	51.948
Media	-	3,59	0,47	443.288	82.669

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los recuadros que presentan un guion “-” en su contenido, significa que las encuestas origen - destino recopiladas no presentan esa información.

Según la información mostrada en la **Tabla 1**, el promedio del total de viajes diarios en las ciudades de estudio es de 443.288 viajes, de los cuales 82.669 viajes son realizados en el período de punta mañana, es decir, un 18,65 % de los viajes totales. Cabe destacar que este número representa los viajes realizados en todos los modos de transporte, medidos en las encuestas origen destino.

De acuerdo a lo anterior, resulta necesario analizar la cantidad de viajes en vehículos equivalentes para el periodo de punta mañana, en categoría motorizados, de manera de estimar un valor representativo para posteriormente ser utilizado en esta investigación. Los resultados de este análisis se encuentran reflejados en la **Tabla 2**, dónde es posible apreciar, que de los 82.669 viajes del periodo punta mañana, 56.813 viajes son motorizados, lo que equivale a un 68,72 %; los cuales

al representan aproximadamente 26.784 viajes en vehículos equivalentes para el periodo de punta mañana.

Tabla 2. Distribución de viajes periodo punta mañana según modo de transporte.

Ciudades	Privado	Publico	Otro	Caminata	Bicicleta
Arica	-	-	-	-	-
Iquique	-	-	-	-	-
Antofagasta	61.858	36.608	3.326	35.519	349
Copiapó	35.053	8.669	1.993	17.009	375
La Serena - Coquimbo	-	-	-	-	-
Rancagua	61.932	33.527	3.718	32.127	5.610
Curicó	15.428	11.576	101	10.808	5.227
Talca	26.984	27.846	17	24.944	7.658
Chillán	24.689	21.909	128	26.022	8.776
Los Ángeles	18.337	17.041	64	18.908	2.327
Temuco	37.593	49.874	475	29.691	3.329
Valdivia	22.885	23.875	243	16.359	1.452
Osorno	19.718	23.573	123	20.772	2105
Puerto Montt	34.924	20.037	71	26.279	299
Punta Arenas	29.255	82.54	54	13.928	457
Media	32.388	23.566	859	22.697	3164

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los recuadros que presentan un guion “-” en su contenido, significa que las encuestas origen - destino recopiladas no presentan esa información.

4. METODOLOGÍA

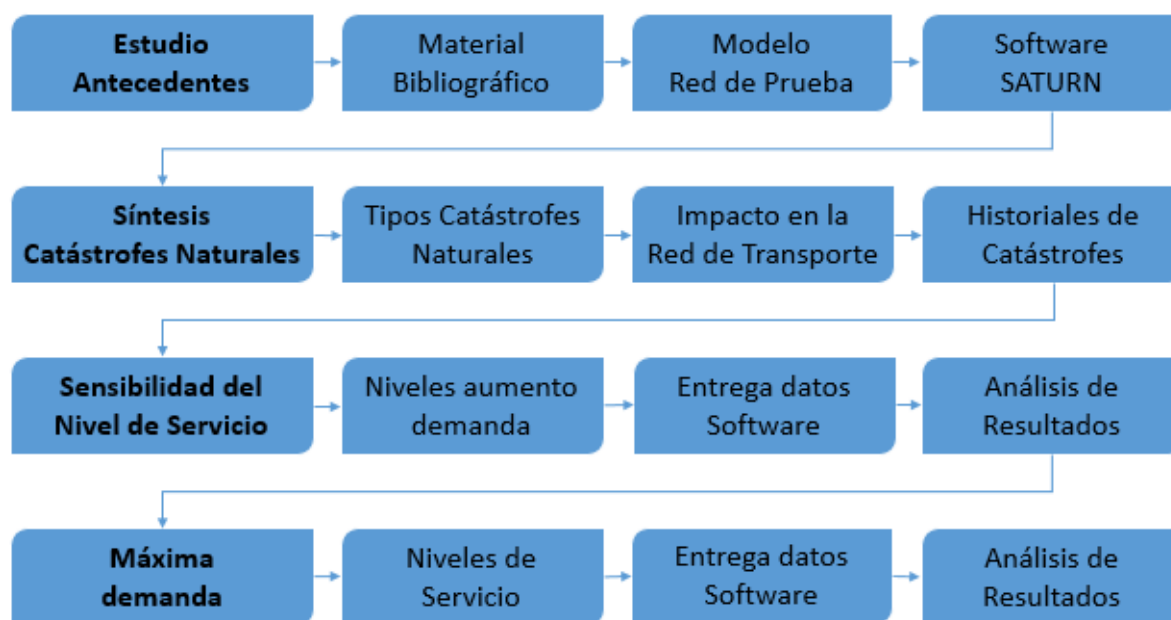


Figura 5: Metodología de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo mostrado en la **Figura 5**, es posible apreciar que la metodología de la presente investigación fue dividida en cuatro grandes etapas, las cuales serán detalladas a continuación:

4.1. Estudio de Antecedentes

El estudio de los antecedentes se basó en investigar el material bibliográfico disponible, relacionado con estudios y/o investigaciones semejantes, dentro de los cuales se destaca el proyecto de título del Ingeniero Civil Juan Silva Medina, a través del cual, fue posible analizar la metodología de aplicación de daño, en conjunto con la red vial de prueba, la cual será utilizada en el desarrollo de esta investigación.

En conjunto a lo anterior, se estudió el uso del software SATURN, software de modelación que permite determinar los posibles estados del patrón de flujos a través de dos sub-modelos.

4.2. Síntesis Catástrofes Naturales

Antes de analizar las variaciones en el nivel de servicio de una red de transporte urbano frente a una catástrofe natural, es importante poder dar respuesta a preguntas tales como: ¿Qué es una catástrofe natural?, ¿Qué catástrofes naturales afectan a las ciudades de estudio?, ¿Cuál es el impacto que estas provocan sobre la red de transporte urbano? Por ello, un capítulo del presente

informe será destinado a intentar dar respuesta a estas y otras preguntas, las cuales brindan información altamente relevante, tanto para futuras investigaciones, como también para los equipos de emergencia del país.

4.3. Sensibilidad del Nivel de Servicio

El análisis de la sensibilidad del nivel de servicio de la red vial de prueba desarrollado, fue realizado en base a distintos niveles de demanda. Es decir, se establecieron tres matrices de origen – destino, las cuales fueron sometidas a modelación en el software SATURN, para que, de acuerdo a la asignación de viajes de los 5 niveles de daño y sus respectivos 20 escenarios para cada nivel, fuese analizada la medida del nivel de servicio utilizada en esta investigación, la cual corresponde a la demora total medida en veh-hr.

4.4. Máxima demanda

Para esta etapa de estudio, se identificó la máxima demanda que pudiese satisfacer la red vial de prueba, para diferentes niveles de servicio, en sus 5 niveles de daño y sus respectivos 20 escenarios para cada nivel. Para lograr aquello, fue necesario definir tres niveles de servicio a analizar, con los cuales, de acuerdo a los resultados obtenidos en la modelación anterior, se obtuvo un rango de viajes que debiese contener la matriz origen – destino, de forma de cumplir con los tiempos de demora estimados. Con ello, se modelaron las matrices y redes en el software SATURN, hasta obtener el nivel de servicio esperado.

5. CATÁSTROFES NATURALES

Como punto de partida para la elaboración de un concepto acabado de catástrofe natural es pertinente partir conociendo el significado de catástrofe, palabra proveniente del latín *catastrōphe*, y este del griego *καταστροφή*, de *καταστρήφειν*, que significa abatir o destruir. La Real Academia de la Lengua Española la define como “suceso infausto que altera gravemente el orden regular de las cosas”.

Así, catástrofe natural puede ser definida como “aquel suceso trágico que altera gravemente el orden regular de las cosas proveniente de agentes naturales o de las fuerzas de la naturaleza”. Por lo tanto, podemos vislumbrar dos elementos esenciales para estar en presencia de una catástrofe natural, por un lado, una exhibición del inmenso poder y energía de la naturaleza que se concentra en el tiempo y el espacio, y por el otro, al quiebre de los equilibrios existentes en la fina capa que compone la biosfera. La combinación de ambas componentes conforma el sentido de una catástrofe natural. Es por ello que la catástrofe se define, sobre todo, por los efectos nocivos que tiene sobre el medio ambiente y más aún sobre el ser humano.

5.1. Tipos de catástrofes naturales

Teniendo presente lo señalado precedentemente sobre el concepto y los elementos que componen una catástrofe natural, podemos señalar algunos fenómenos de la naturaleza como causantes de catástrofes y/o desastres naturales. Estos fenómenos pueden tener, o no un mismo origen, e incluso en algunos casos la ocurrencia de un fenómeno de la naturaleza provoca la ocurrencia de otros fenómenos y muchas veces ampliando los efectos catastróficos de los otros. Entre los orígenes que pueden tener estos fenómenos podemos mencionar:

- Meteorológico: Aquellos cuyo origen surge de las variaciones en la condición de la atmósfera.
- Geológico: Todos aquellos fenómenos producidos por la dinámica de las tres capas concéntricas de la tierra, las cuales se registran en distintas formas de liberación de energía.
- Humano: Si bien no corresponde a los elementos de una catástrofe natural, la actividad del hombre puede ayudar a la ocurrencia de varios de los fenómenos naturales que terminan en desastres, e incluso amplifican los efectos normales de la ocurrencia normal de una catástrofe.

De los orígenes mencionados anteriormente, para efectos del estudio de esta investigación, serán analizadas las catástrofes naturales meteorológicas y geológicas. Estas son las siguientes:

- a) Aluvión.
- b) Erupción volcánica.
- c) Incendio forestal.
- d) Terremoto.
- e) Tsunami.
- f) Marejada.

5.2. Impacto en la red de transporte

Las siete catástrofes naturales enumeradas anteriormente han afectado a Chile a lo largo del tiempo, causando diferentes tipos de daños a la red de transporte, los cuales están ligados a su tipología y magnitud.

Tabla 3. Impacto de las catástrofes naturales en la red de transporte.

Catástrofe Natural	Impacto en la Red de Transporte
Terremotos	Daño Global: Depende de la magnitud del evento. Este puede causar una pérdida de capacidad altamente considerable a la red de transporte.
Tsunamis y Marejadas	Daño Focal: Se pueden ver dañadas u obstruidas las vías del borde costero.
Erupción Volcánica	Daño Focal: Debido al daño en las vías producto del desprendimiento de lava volcánica
Incendios Forestales	Daño Focal: Asociado a cortes de tránsito en las vías inmediatamente continuas al foco de incendio.
Inundaciones	Daño Focal: Cortes de tránsito en las vías cercanas a los bordes de los ríos, y zonas bajas de la Ciudad.
Aluvión	Daño Focal: Producto al desprendimiento de material sobre las vías, continuas al sector afectado.

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 3**, se puede apreciar que los daños que causan las catástrofes naturales a la red de transporte pueden ser de dos tipos: global o focal, donde es importante distinguir que Chile es afectado principalmente por eventos focales.

5.3. Historiales de catástrofes naturales

Para concluir el estudio de las catástrofes naturales que afectan Chile, es importante conocer la frecuencia y tipos de eventos que han afectado a cada una de las ciudades de estudio de esta

investigación. Es por ello que, de acuerdo al material bibliográfico revisado, es posible identificar cuáles de las siete catástrofes naturales analizadas han afectado a las 15 Ciudades Chilenas de Tamaño Medio estudiadas, datos que se ven reflejados en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Catástrofes naturales que afectan a las ciudades de estudio.

Ciudad	Aluvión	Erupción Volcánica	Incendio Forestal	Inundaciones	Terremotos	Tsunamis	Marejadas
Arica	√	x	x	√	√	√	√
Iquique	√	x	x	√	√	√	√
Antofagasta	√	x	x	√	√	√	√
Copiapó	√	x	x	√	√	x	x
La Serena - Coquimbo	√	x	√	√	√	√	√
Rancagua	x	x	√	√	√	x	x
Curicó	x	x	√	√	√	x	x
Talca	x	x	√	√	√	x	x
Chillán	x	x	√	√	√	x	x
Los Ángeles	x	x	√	√	√	x	x
Temuco	√	x	√	√	√	x	x
Valdivia	x	x	√	√	√	√	x
Osorno	x	x	√	√	√	x	x
Puerto Montt	√	x	√	√	√	x	x
Punta Arenas	√	x	√	√	√	x	x

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los recuadros que presentan un tick “√” en su contenido, significa que la ciudad ha sido afectada por ese tipo de catástrofe natural, en cambio, los recuadros que presentan una equis “x” en su contenido, la ciudad no ha sido afectada por ese tipo de catástrofe natural.

En la **Tabla 4**, es posible apreciar que la única catástrofe natural que afecta a todas las ciudades de estudio son las inundaciones, donde, por el contrario, las erupciones volcánicas no afectan a ninguna de las ciudades. Además, es posible identificar que existen seis tipos de combinaciones de catástrofes naturales que afectan a las ciudades de estudio, donde la combinación que más se repite es la compuesta por incendios forestales, inundaciones y terremotos, la que se presenta en Rancagua, Curicó, Talca, Chillán, Los Ángeles y Temuco.

Finalmente, La Serena, es la única ciudad que presenta seis de las siete catástrofes estudiadas en esta investigación, situación que se ve reflejada en la **Figura 3** mostrada a continuación, la cual presenta muestra una línea de tiempo de sus eventos catastróficos.

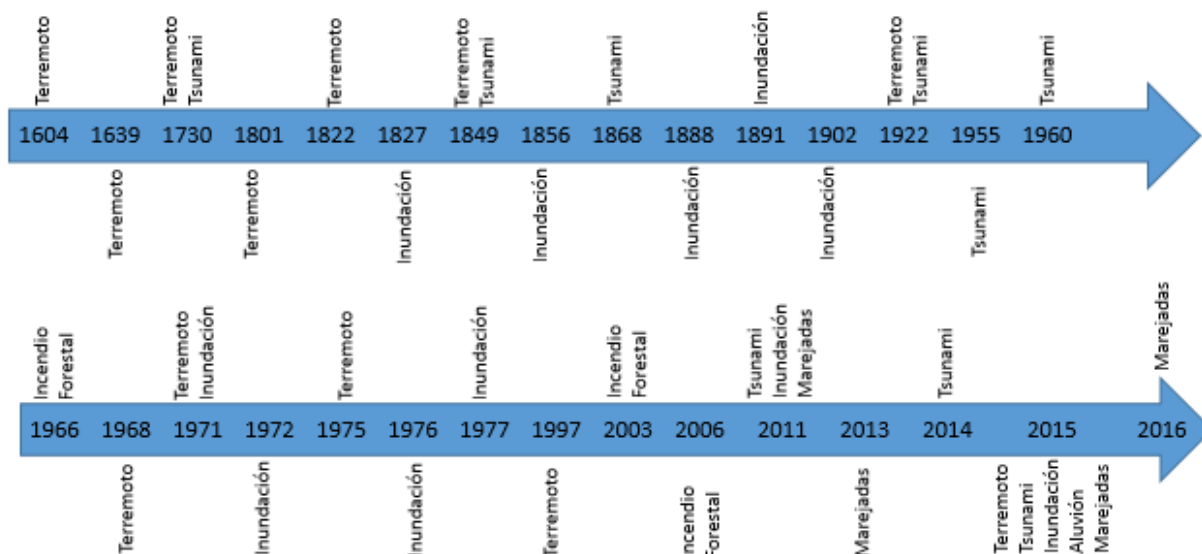


Figura 6: Catástrofes naturales de La Serena.

Fuente: Elaboración propia.

La Serena, es una ciudad que ha sido afectada por múltiples catástrofes naturales, en donde es importante mencionar que de acuerdo a lo observado en le **Figura 3**, el año 2015 fue fuertemente afectada. Donde en Julio las inundaciones y aluviones se hicieron presentes en la ciudad, posteriormente en el mes de Agosto se vio afectada por intensas marejadas, para finalizar en Septiembre con el Terremoto y Tsunami que dañó a la ciudad en la previa de las fiestas patrias. (Las líneas de tiempo de las demás ciudades de estudio pueden ser revisadas en el **Anexo A**).

6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos luego de la etapa de modelación permiten entender el comportamiento de la Red Vial de Prueba, luego de ser degradada gradualmente hasta la pérdida de capacidad del 25% de los arcos de la red. La medida del nivel de servicio analizada fue la demora total, medida en veh-hr en el periodo punta mañana, sin embargo, para facilitar el análisis, se expresa de forma adimensional a través del índice Factor de Aumento de Demoras (FAD), el cual queda definido según lo presentado en la **Ecuación 1**.

$$FAD_x = \frac{\text{Demoras en red con un daño del } X\%}{\text{Demoras en red sin daño}} \quad \text{Ecuación 1}$$

6.1. Caso de Estudio 1: Sensibilidad del Nivel de Servicio

Para analizar la sensibilidad del nivel de servicio, primero resulta necesario definir los niveles de demanda a los cuales será sometidos la Red Vial de Prueba, datos expresados a continuación:

- a) Primer Nivel de Demanda: 26.784 viajes.
- b) Segundo Nivel de Demanda: 47.616 viajes.
- c) Tercer Nivel de Demanda: 59.560 viajes.

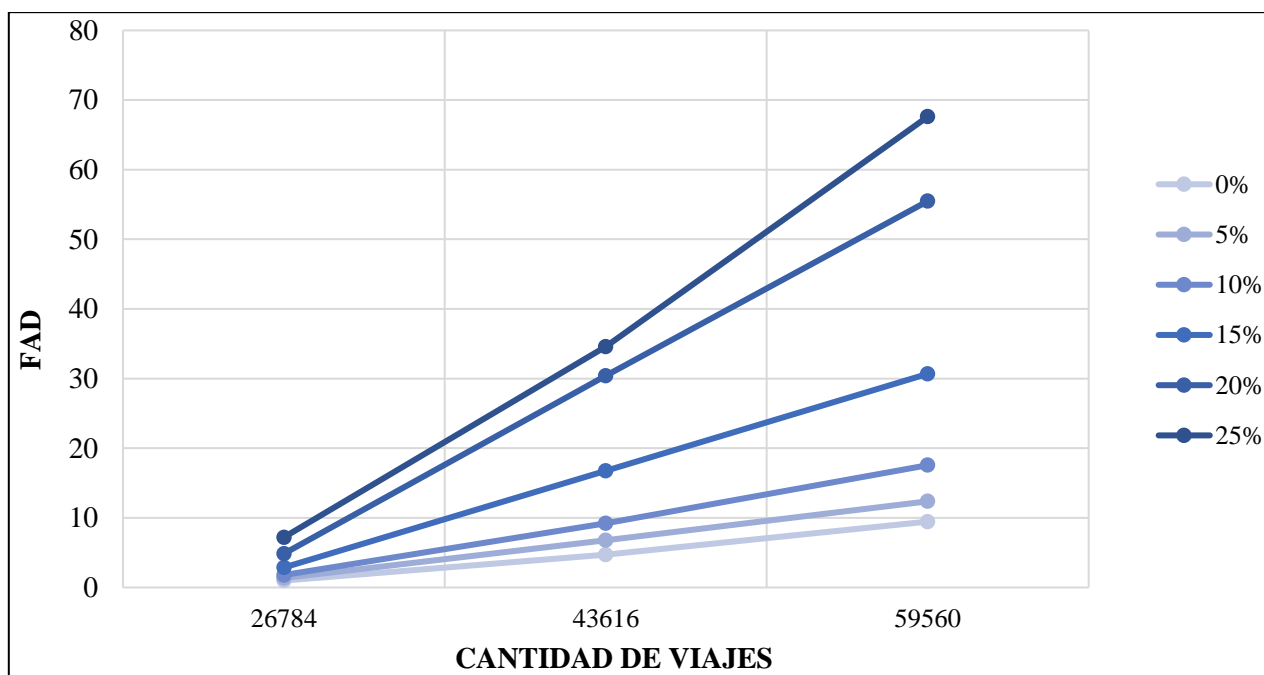


Figura 4: Factor de Aumento de Demoras para distintos niveles de demanda.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la mostrado en la **Figura 7**, es posible apreciar que frente a aumentos en la demanda y nivel de daño de la red es posible apreciar cómo crecen los FAD, lo cual involucra una disminución en el nivel de servicio de los usuarios. En el caso particular de analizar el primer nivel de demanda de esta figura, el cual represente los viajes promedios en vehículos equivalentes de las ciudades de estudio, es posible identificar que ante un daño de la red de un 15% el FAD tiene un valor igual a 2.87, mientras que para un 25% de daño este aumenta a 7.21, es decir, las demoras totales en promedio se verían aumentadas en ese número.

Además, al ser analizados los FAD asociados a cada uno de los escenarios de daño, estos muestran una línea de tendencia de tipo exponencial, reflejado en la **Figura 8**. Esta tendencia en los primeros niveles de daño se ajusta bastante a los valores observados, mientras que desde un 15% de daño, los FAD comienzan a alejarse de la línea de tendencia, situación que se hace mucho más visible en los niveles de daño de 20% y 25%, donde a pesar que los FAD varían entre 13.17 a 160.66 y de 17.98 a 89.09 respectivamente, sus valores se concentran en torno al 30.4 y 34.59.

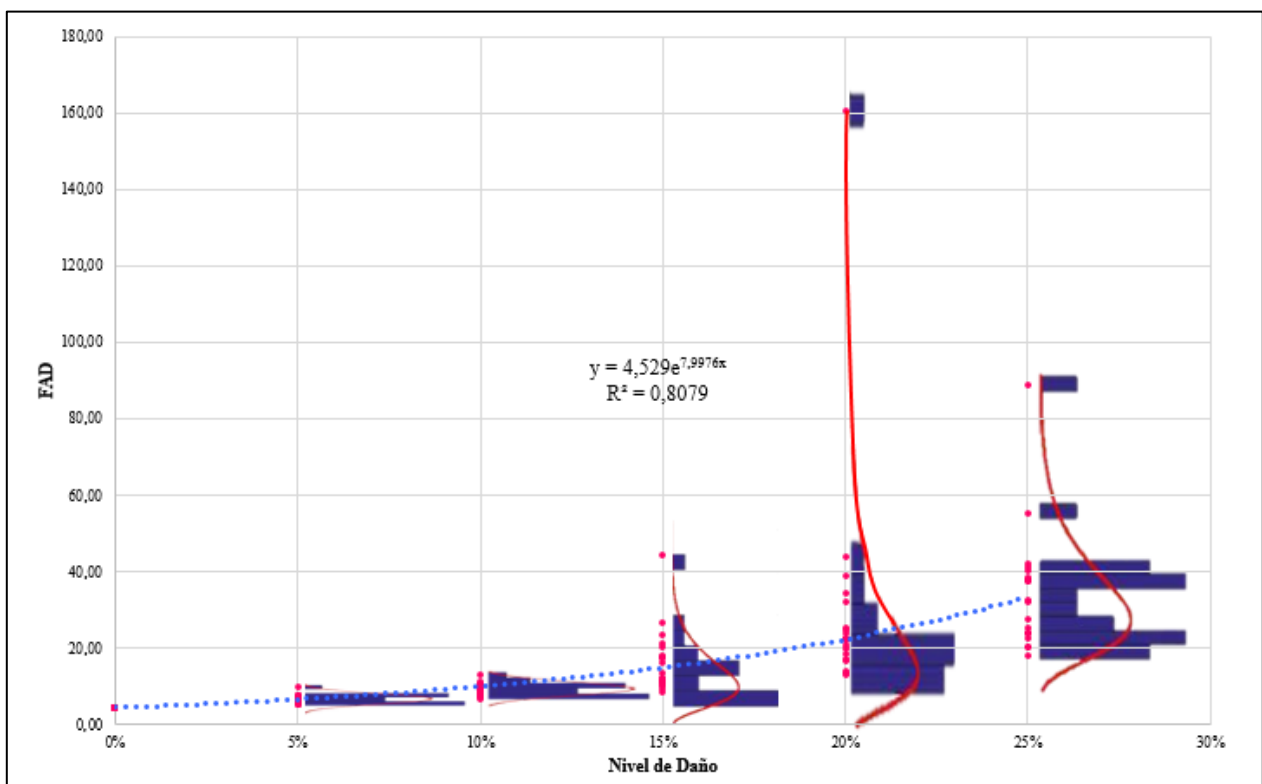


Figura 5: Factor de Aumento de Demoras para todos los niveles de daño para el segundo nivel de demanda.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, cabe destacar que, para los otros dos niveles de demanda estudiados, la situación analizada en la **Figura 8** se replica, y las gráficas de estos casos pueden ser encontradas en el **Anexo B** de este informe.

6.2. Caso de Estudio 2: Máxima Demanda

En cuanto a la máxima demanda que es capaz de soportar la Red Vial de Prueba, se definieron 3 niveles de servicios para ser estudiados, para los cuales se definió la demora total que ello representaba de acuerdo al caso de estudio del Proyecto de Título del Ingeniero Civil Juan Silva Medina, es decir, utilizando una matriz de origen – destino de 5.952 viajes para el caso de 0% de daño, valor que equivale a una demora total de 263,7 veh-hr. Los niveles analizados son los siguientes:

- a) FAD = 2, el cual equivale a una demora total de 527,4 veh-hr.
- b) FAD = 4, el cual equivale a una demora total de 1.054,8 veh-hr.
- c) FAD = 6, el cual equivale a una demora total de 1.582,2 veh-hr.

De acuerdo a lo definido anteriormente, la máxima demanda que capaz de soportar la Red Vial de Prueba y sus cinco niveles de daño, para los tres niveles de servicio estudiados, quedan expresados en la **Figura 9**.

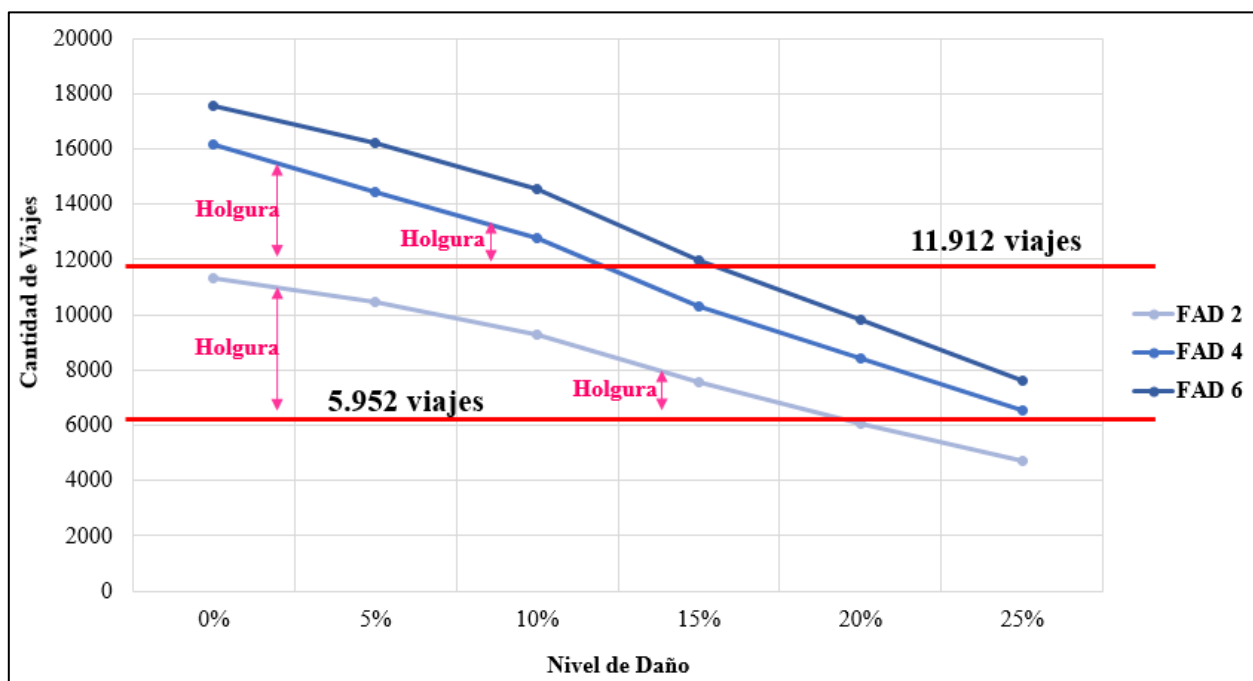


Figura 6: Máxima demanda para diferentes niveles de servicio.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados mostrados en la **Figura 9**, se puede establecer que a medida que el nivel de daño aumenta, para un mismo nivel de servicio, es posible apreciar como la máxima demanda soportada por la red disminuye.

Al estudiar una demanda de 5.952 viajes, es posible apreciar como la red, sin importar el Nivel de Servicio analizado puede satisfacer la misma cantidad de viajes, hasta que la red se ve degradada en un 20%, en cambio, al estudiar un escenario equivalente al doble de demanda anterior, es decir, 11.912 viajes, se aprecia la misma situación analizada anteriormente, pero la red solo es capaz de satisfacer para los Niveles de Servicios con Factores de Aumento de Demoras iguales a 4 y 6, hasta que la red esta degradada en un 12 y 16%, respectivamente. Esta situación demuestra que la máxima demanda que es capaz de soportar una red ante una catástrofe natural, en una primera instancia utiliza la holgura que posee la Red, por lo tanto, permite soportar la misma demanda, disminuyendo el Nivel de Servicio; hasta que finalmente esta holgura se acaba, y en ese punto, es donde comienza a disminuir la demanda que es capaz de soportar la red, sin importar el Nivel de Servicio analizado.

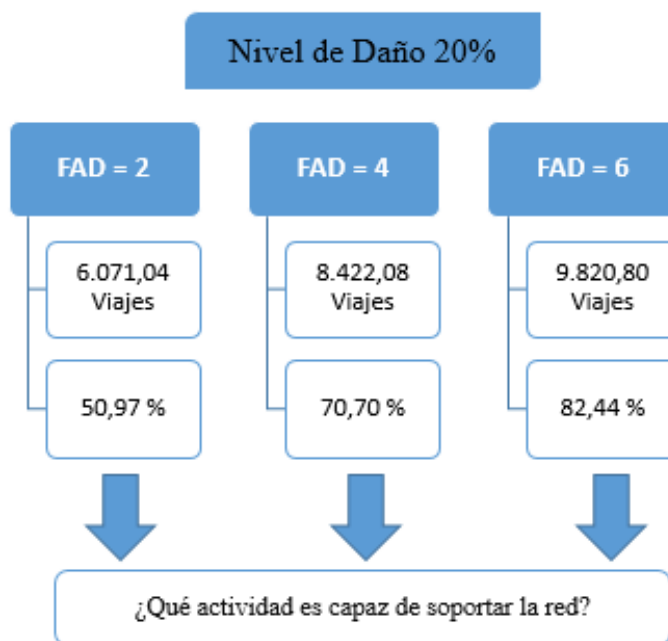


Figura 10: Máxima demanda matriz 11.912 viajes.
Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 10**, es posible apreciar los resultados de máxima demanda que es capaz de soportar la Red Vial Ficticia ante un nivel de daño de un 20%, los cuales, al ser comparados con un nivel de demanda de 11.912 viajes, se puede concluir que a medida que el nivel de servicio disminuye, aumenta la demanda que es capaz de soportar la red. Es decir, la red es capaz de soportar una mayor

demanda, pero esto implica que las demoras de los usuarios para transportarse desde un punto A a un punto B, aumentarán considerablemente. Tal como es posible apreciar en la **Figura 10**, donde se es capaz de soportar un 50,97% de demanda, entregando el doble de demoras totales a los usuarios, en cambio, cuando se sextuplican las demoras, la red es capaz de soportar un 82,44% de la demanda. Por lo tanto, mientras más afectada se vea la capacidad, mayores serán las consecuencias para la actividad económica local de la Ciudad.

Finalmente, los resultados de los 20 escenarios por cada nivel de daño para cada nivel de servicio se encuentran presentados en el **Anexo C** de este informe.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las catástrofes naturales que se presentan en las ciudades de tamaño medio en Chile, muestran la gran vulnerabilidad a la que están enfrentadas las redes de transporte urbano, demostrando que es muy importante analizar los potenciales riesgos de una ciudad para que, ante un evento de este tipo, se puedan aminorar las variaciones en el nivel de servicio del usuario.

De acuerdo a lo anterior, y al estudio bibliográfico realizado, concluye que los costos directos o sociales frente a un daño en las redes de transporte pueden ser bastantes severos, dependiendo del tipo de catástrofe natural y la magnitud de esta. Además, si una Ciudad es afectada por dos eventos consecutivos, esto puede traer consigo magnitudes de daño superiores a que si estos eventos se desarrollaran en periodos de tiempo diferentes.

Al estudiar la sensibilidad del nivel de servicio ante diferentes niveles de demanda, es posible apreciar una línea de tendencia de tipo exponencial, la cual se ajusta correctamente en los primeros niveles de daño (5 – 10%); mientras que desde un 15% de daño en adelante (15% - 25%) es posible apreciar que los Factores de Aumento de Demoras comienzan a alejarse de esta curva. Esto se debe a la aparición de valores extremos en los niveles de daño más altos, lo cual se debe a que el daño causado en la red, en cada escenario, dificulta la salida o el ingreso de una o varias zonas.

Así, al analizar los 20 escenarios para cada nivel de daño estudiado, con sus diferentes niveles de demanda, es posible apreciar que frente a niveles de daño entre un 5% y 10%, estos se distribuyen de forma normal, es decir, las demoras se agrupan en torno a la moda de forma simétrica; mientras que en los niveles de daño más altos (15 % - 25%), se distribuye de forma log-normal, es decir, los valores de las demoras se distribuyen de forma asimétrica en torno a la moda.

Por otro lado, al identificar la máxima demanda que es capaz de soportar una red de transporte urbano para diferentes niveles de servicio, es posible apreciar una tendencia lineal con pendiente negativa. Lo cual refleja que, para el mismo nivel de servicio de estudio, a medida que aumenta el nivel de daño en la red, la máxima demanda que es capaz de soportar disminuye.

Con estos antecedentes, resulta considerable analizar, de qué manera será distribuida esta máxima cantidad de viajes que puede soportar la red ante una situación de catástrofe natural, debido a que dependiendo del nivel de daño analizado, esto puede implicar que la cantidad de viajes de una ciudad se vea reducida por sobre un 50%, ante lo cual sería necesario preguntarse si, sectores estratégicos de la economía están dispuestos a asumir los aumentos en los tiempos de viajes y a su vez una disminución considerable en la cantidad de viajes.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se sugiere aplicar la metodología en redes de transporte urbano de ciudades chilenas de tamaño medio, puesto que de esta forma se puede analizar antecedentes que pueden ser vitales para la toma de decisiones de equipos de emergencia, y además sería posible observar con cuanta dispersión se comportan estas, respecto a la Red Vial de Prueba, utilizada en este estudio.

Otras líneas de investigación que serían interesantes de estudiar, sería una metodología que permita desarrollar una estrategia de daño no uniforme ante catástrofes naturales, y por último cuantificar los costos económicos y sociales a los cuales se ve enfrentada la red de transporte urbano producto de catástrofes naturales.

Finalmente es importante mencionar que el desarrollo de investigaciones en esta línea de estudio sería beneficioso en nuestro país, con el fin de generar una planificación preventiva que esté debidamente coordinada, para así disminuir la vulnerabilidad de las redes de transporte urbano.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aluviones en Chile. (2016a, marzo 24). En Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado a partir de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Anexo:Aluviones_en_Chile&oldid=90035262
- Aluviones en Chile, “Historia y análisis”. (2015, marzo 31). Recuperado a partir de <http://apmltda.com/aluviones-en-chile-historia-y-analisis/>
- Biblioteca de Sectra. (2016a, abril 17). Actualización de encuestas origen y destino de viajes, IV Etapa - Chillán. Recuperado 17 de abril de 2016, a partir de http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=1048&f_ip=&f_browser=&f_sistema_operativo=&f_resolucion_pantalla=
- Biblioteca de Sectra. (2016b, abril 17). Actualización de encuestas origen y destino de viajes, IV Etapa - Curicó. Recuperado 17 de abril de 2016, a partir de http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=1049&f_ip=&f_browser=&f_sistema_operativo=&f_resolucion_pantalla=
- Biblioteca de Sectra. (2016c, abril 17). Actualización de encuestas origen y destino de viajes, IV Etapa - Los Ángeles. Recuperado 17 de abril de 2016, a partir de http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=1112&f_ip=&f_browser=&f_sistema_operativo=&f_resolucion_pantalla=
- Biblioteca de Sectra. (2016d, abril 17). Actualización de encuestas origen y destino de viajes, IV Etapa - Osorno. Recuperado 17 de abril de 2016, a partir de http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=1068&f_ip=&f_browser=&f_sistema_operativo=&f_resolucion_pantalla=
- Biblioteca de Sectra. (2016e, abril 17). Actualización de encuestas origen y destino de viajes, IV Etapa - Puerto Montt. Recuperado 17 de abril de 2016, a partir de http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=1101&f_ip=&f_browser=&f_sistema_operativo=&f_resolucion_pantalla=
- Biblioteca de Sectra. (2016f, abril 17). Actualización de encuestas origen y destino de viajes, IV Etapa - Talca. Recuperado 17 de abril de 2016, a partir de <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=1078>
- Biblioteca de Sectra. (2016g, abril 17). Actualización de encuestas origen y destino de viajes, IV Etapa - Temuco. Recuperado 17 de abril de 2016, a partir de <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=976>

- Biblioteca de Sectra. (2016h, abril 17). Actualización de encuestas origen y destino de viajes, IV Etapa - Punta Arenas. Recuperado 17 de abril de 2016, a partir de <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=1241>
- Biblioteca de Sectra. (2016i, abril 17). Actualización de encuestas origen y destino de viajes, IV Etapa - Valdivia. Recuperado 17 de abril de 2016, a partir de <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=1073>
- Biblioteca de Sectra. (2016j, abril 17). Actualización diagnóstico del S.T.U. de la ciudad de Antofagasta. Encuesta origen destino de viajes: Antofagasta 2010. Recuperado 17 de abril de 2016, a partir de <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=3029>
- Biblioteca de Sectra. (2016k, abril 17). Actualización diagnóstico del S.T.U. de la ciudad de Copiapó. Encuesta origen destino de viajes, 2010: Copiapó. Recuperado 17 de abril de 2016, a partir de <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=3004>
- Biblioteca de Sectra. (2016l, abril 17). Actualización y recolección de información del sistema de transporte urbano, iv etapa (Rancagua). 17 de abril de 2016, a partir de <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=2663>
- Carlos Lanza. (2012). Catástrofes de Chile Álbum de prensa de antaño (Primera Edición). Santiago: RiL editores.
- Carmen Gloria Madrid Ruiz, V. A. J. H. (2016, abril 22). Catástrofes Naturales, estado de excepción constitucional y otras medidas de excepción. Recuperado 22 de abril de 2016, a partir de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/bordas_a/html/index-frames.html
- Centro Sismológico Nacional: “Cada 8 años ocurre un terremoto destructivo en algún lugar de Chile”. (2016, mayo 5). Recuperado a partir de <http://www.radioagricultura.cl/2015/02/20/centro-sismologico-nacional-cada-8-anos-ocurre-un-terremoto-destructivo-en-algun-lugar-de-chile/>
- Chile fue el país de la región con mayores pérdidas económicas por desastres naturales este año. (s. f.). Recuperado a partir de http://www.curriculumlineamineduc.cl/605/articles-26777_recurso_pdf.pdf
- CONAF. (2016, mayo 24). Incendios Forestales en Chile - Estadísticas Históricas. Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>
- CONICYT. (2010, Diciembre). Investigación en Transporte en Chile: Áreas de investigación y capacidades. Informe de estado del arte.

- Gran terremoto del Norte Grande de Chile. (2016, julio 25). En Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado a partir de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Gran_terremoto_del_Norte_Grande_de_Chile&oldid=92511505
- Grandes Terremotos en Chile. (2016, junio 24). Recuperado 24 de junio de 2016, a partir de <http://www.emol.com/especiales/terremotos/chile.htm>
- Información y preparación son claves para enfrentar una emergencia. (2016, junio 28). Recuperado a partir de <http://www.ciudad.utralca.cl/?p=3088>
- Ingeniería DICTUC. (s. f.). Modelo SATURN Curso Capacitación. Recuperado a partir de <https://es.scribd.com/doc/315806908/Manual>
- Juan Andrés Silva Medina. (2016, Abril). Caracterización de los cambios en el Nivel de Servicio de Redes de Transporte Urbano, producto de eventos catastróficos. Universidad del Bío - Bío, Concepción.
- Juan de Dios Ortúzar, Luis G. Willumsen, traducción de Á. I. P., Luigi Dell'Olio. (2008). Modelos de transporte. España: Ed. Universidad de Cantabria.
- Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile. (2016, mayo 24). Los terremotos en Chile (1570-2010). Recuperado 24 de mayo de 2016, a partir de <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-3576.html>
- Primer-Catastro-Nacional-Desastres-Naturales.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de <http://www.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Primer-Catastro-Nacional-Desastres-Naturales.pdf>
- Registro de los principales tsunamis que han afectado a la costa de Chile. (s. f.). Recuperado a partir de http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/data/tsunamis_historico.pdf
- Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J. L., & Aguayo, M. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. *Revista de geografía Norte Grande*, (57), 177–192. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000100012>
- Rosa Urrutia de Hazbun, C. L. L. (1993). *Catástrofes en Chile 1541 - 1992 (Primera, Vols. 1–2.000)*. La Noria.
- Sernageomin. (2016, junio 24). Chile registra al menos 70 desastres de origen geológico entre 1980 y 2015. Recuperado 24 de junio de 2016, a partir de <http://www.sernageomin.cl/detalle-noticia.php?iIdNoticia=227>

- Terremotos de Chile (Historia). (2016, junio 24). Recuperado 24 de junio de 2016, a partir de <http://www.angelfire.com/nt/terremotos/chilehistoria.html>
- Terremotos en Chile. (2016b, junio 19). En Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado a partir de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Anexo:Terremotos_en_Chile&oldid=93764767
- Terremotos Siglos XX y XXI. (2016, junio 24). Recuperado 24 de junio de 2016, a partir de <http://www.sismo24.cl/500sismos/720chresumen01.html>

ANEXO A: LÍNEA DE TIEMPO DE CATÁSTROFES NATURALES

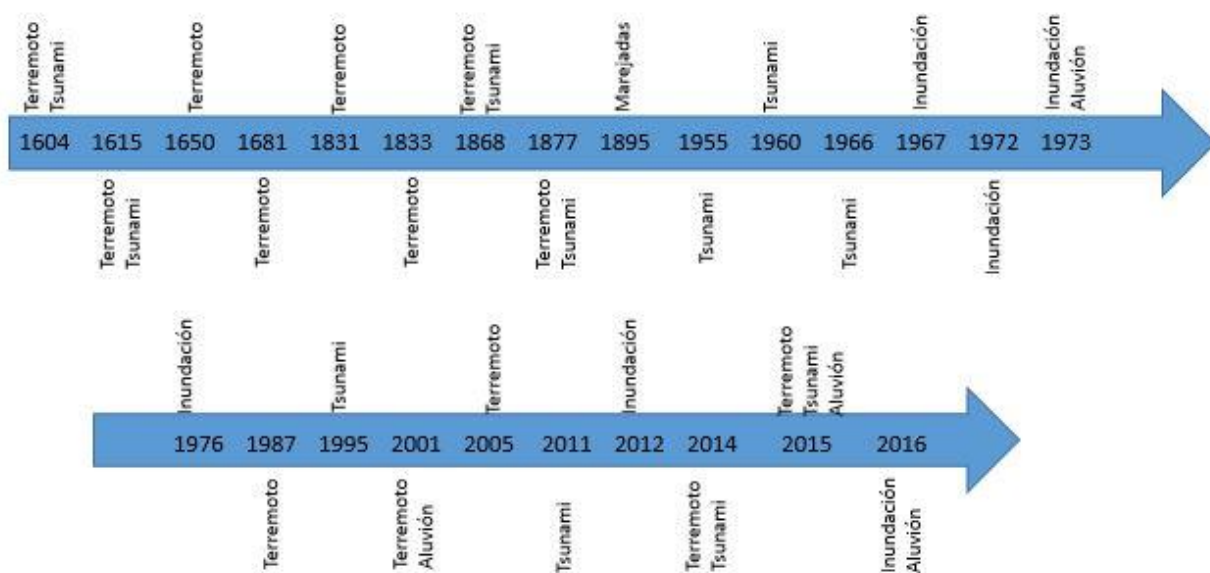


Figura A-1: Catástrofes naturales de Arica.
Fuente: Elaboración propia.

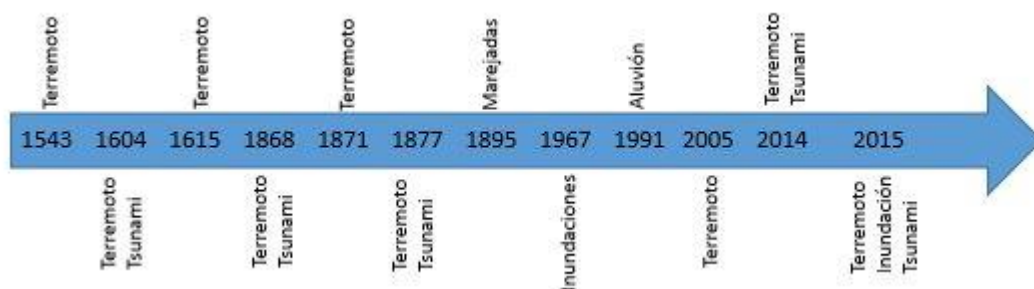


Figura A-2: Catástrofes naturales de Iquique.
Fuente: Elaboración propia.

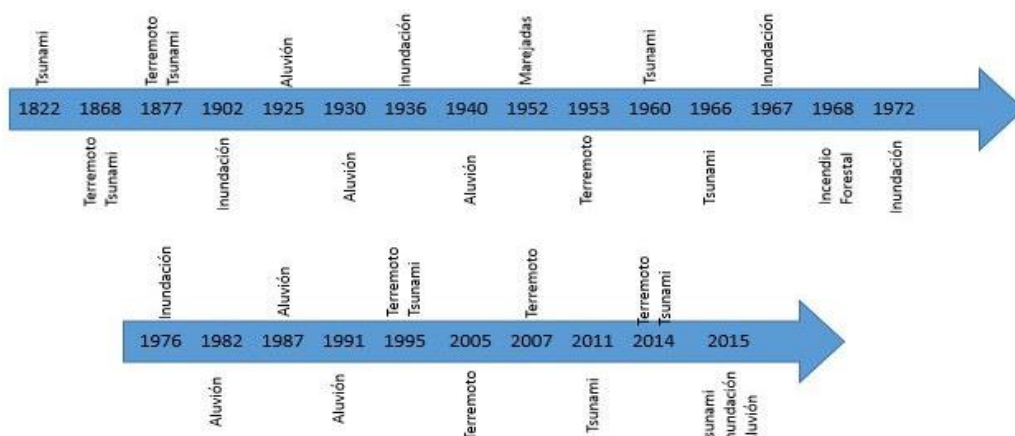


Figura A-3: Catástrofes naturales de Antofagasta.
Fuente: Elaboración propia.

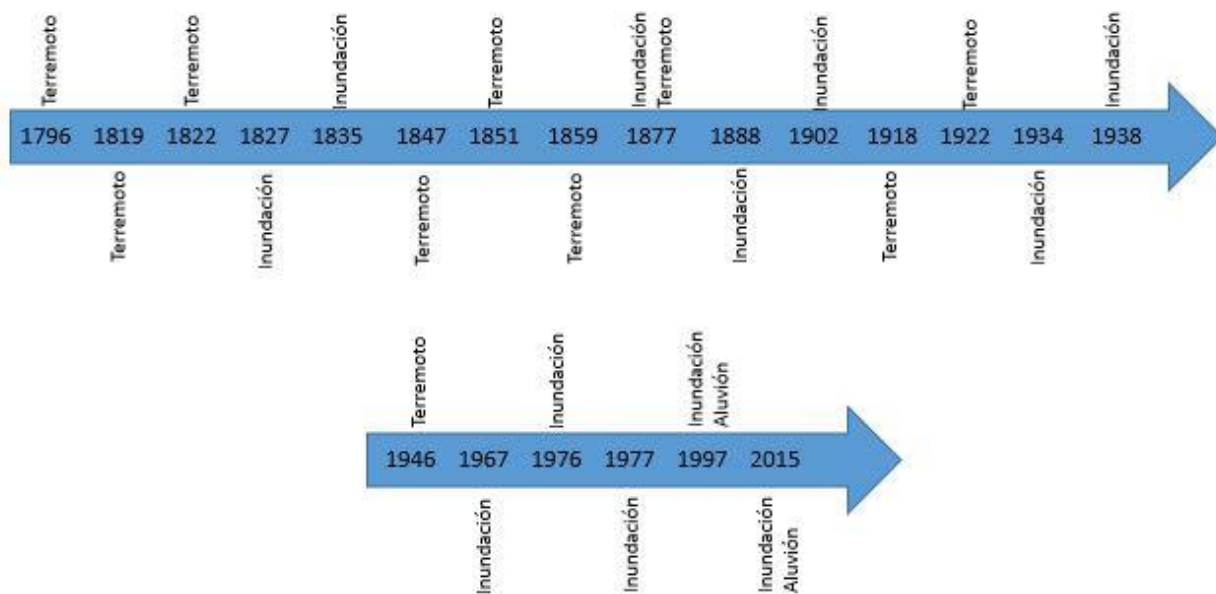


Figura A-4: Catástrofes naturales de Copiapó.

Fuente: Elaboración propia.

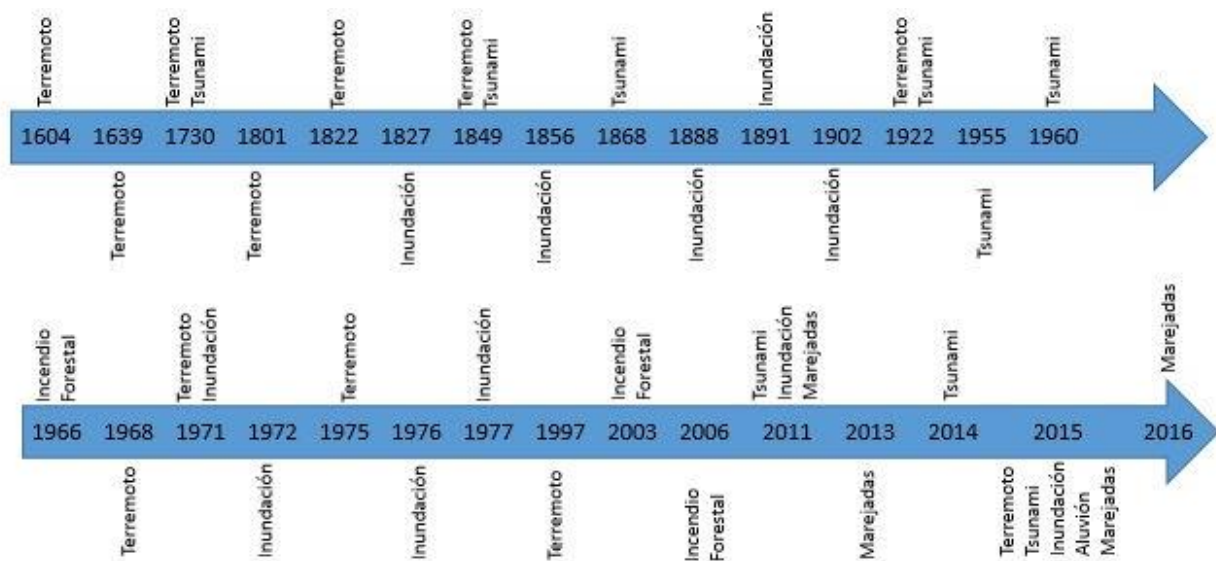


Figura A-5: Catástrofes naturales de La Serena - Coquimbo.

Fuente: Elaboración propia.

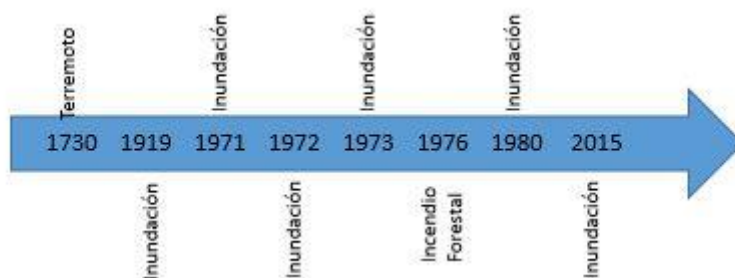


Figura A-6: Catástrofes naturales de Rancagua

Fuente: Elaboración propia.

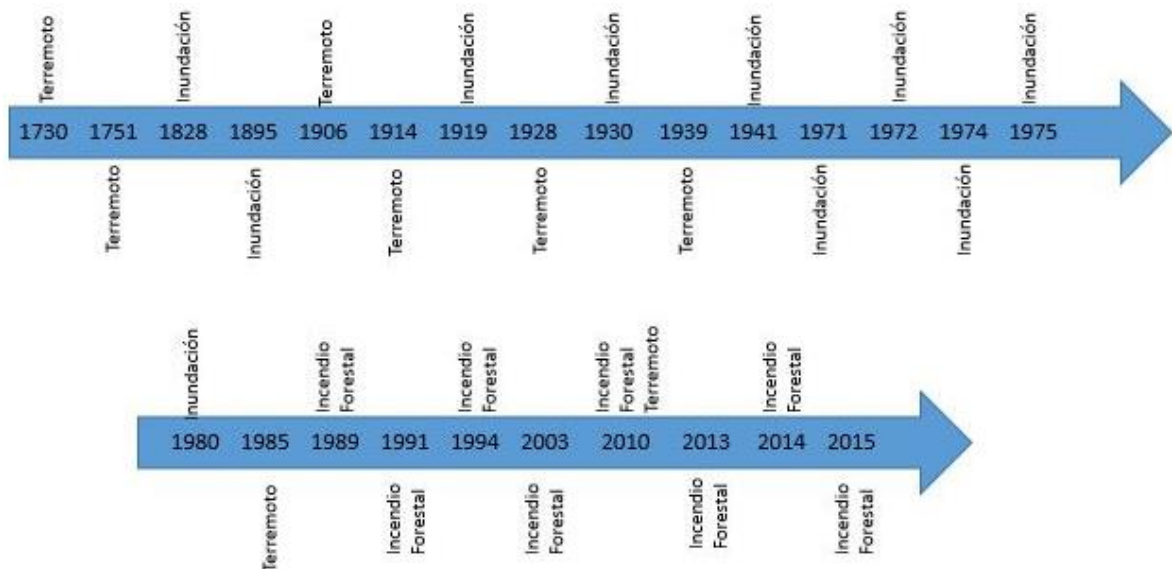


Figura A-7: Catástrofes naturales de Curicó

Fuente: Elaboración propia.

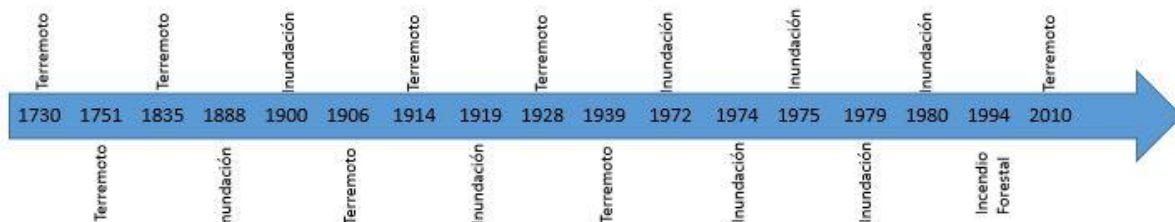


Figura A-8: Catástrofes naturales de Talca

Fuente: Elaboración propia.

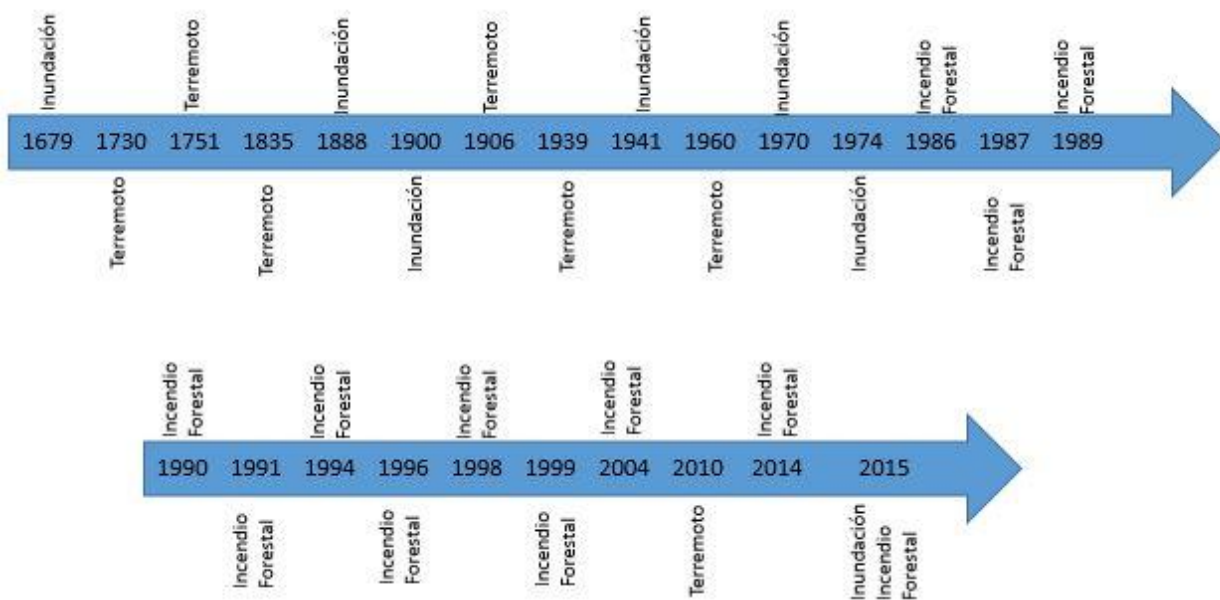


Figura A-9: Catástrofes naturales de Chillán

Fuente: Elaboración propia.

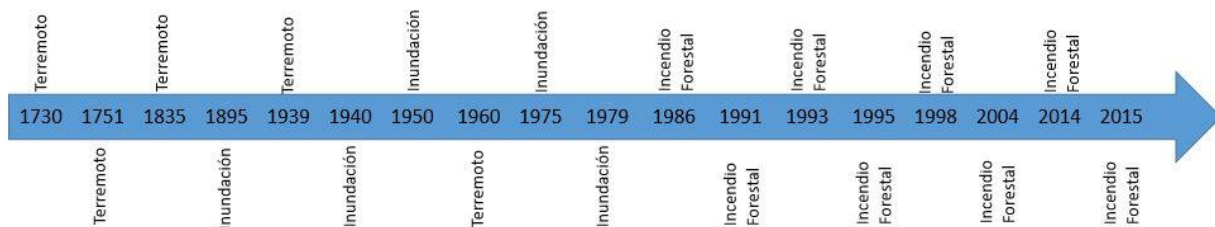


Figura A-10: Catástrofes naturales de Los Ángeles

Fuente: Elaboración propia.

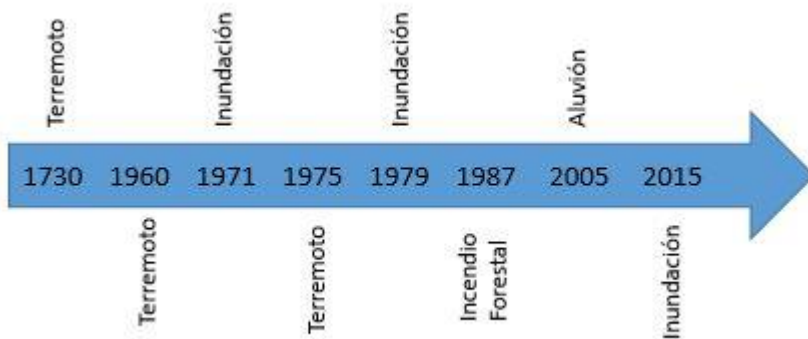


Figura A-11: Catástrofes naturales de Temuco

Fuente: Elaboración propia.

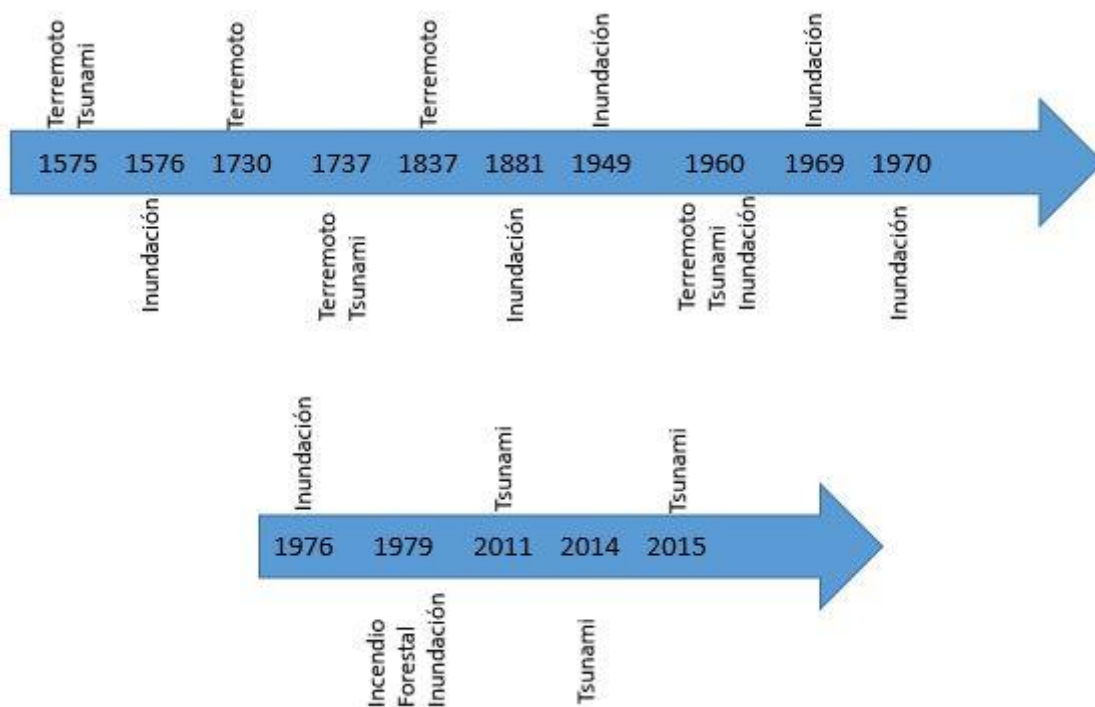


Figura A-12: Catástrofes naturales de Valdivia
Fuente: Elaboración propia.

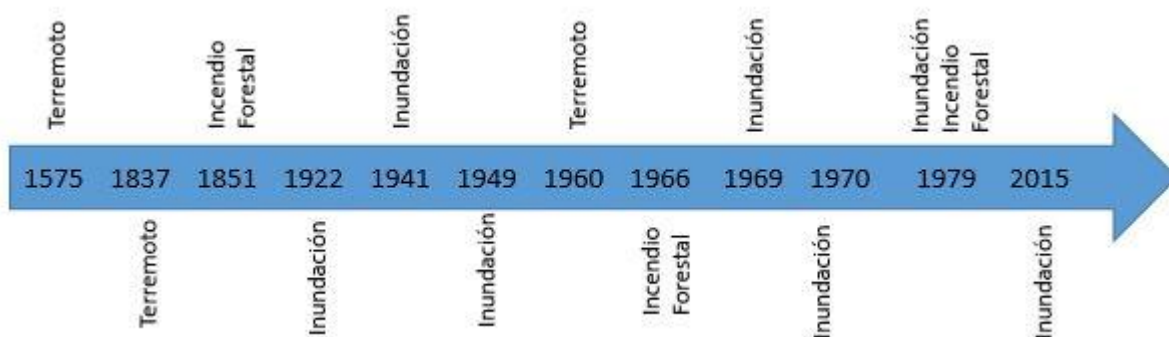


Figura A-13: Catástrofes naturales de Osorno
Fuente: Elaboración propia.

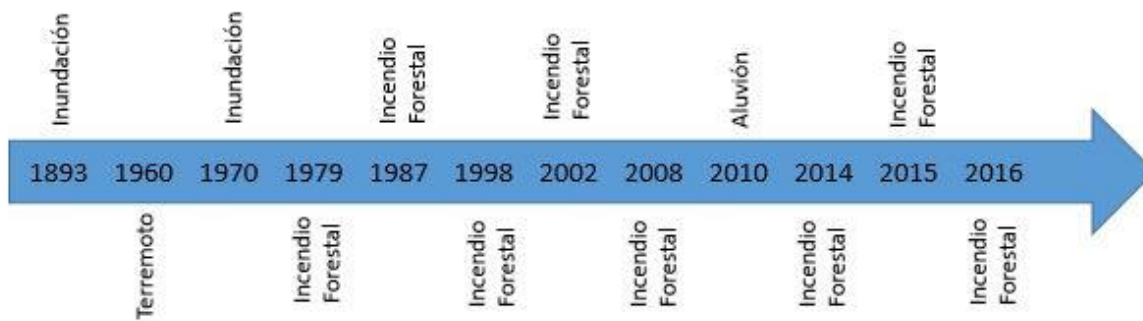


Figura A-14: Catástrofes naturales de Puerto Montt
Fuente: Elaboración propia.

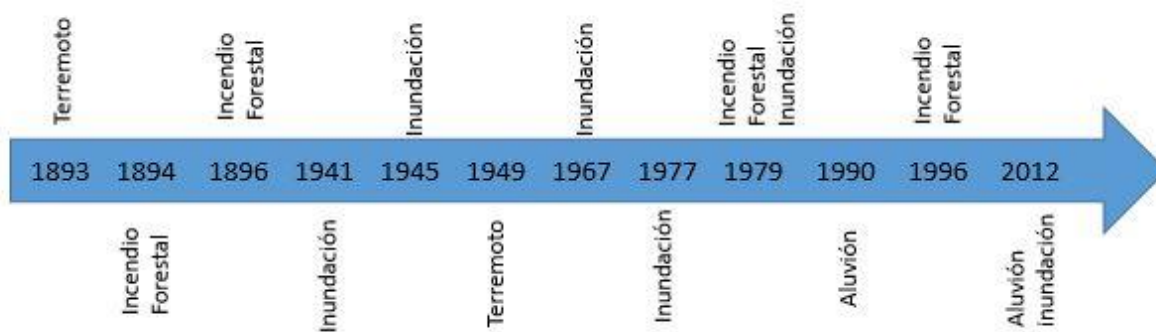


Figura A-15: Catástrofes naturales de Punta Arenas
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO B: FACTORES DE AUMENTO DE DEMORAS PARA TODOS LOS ESCENARIOS DE DAÑO

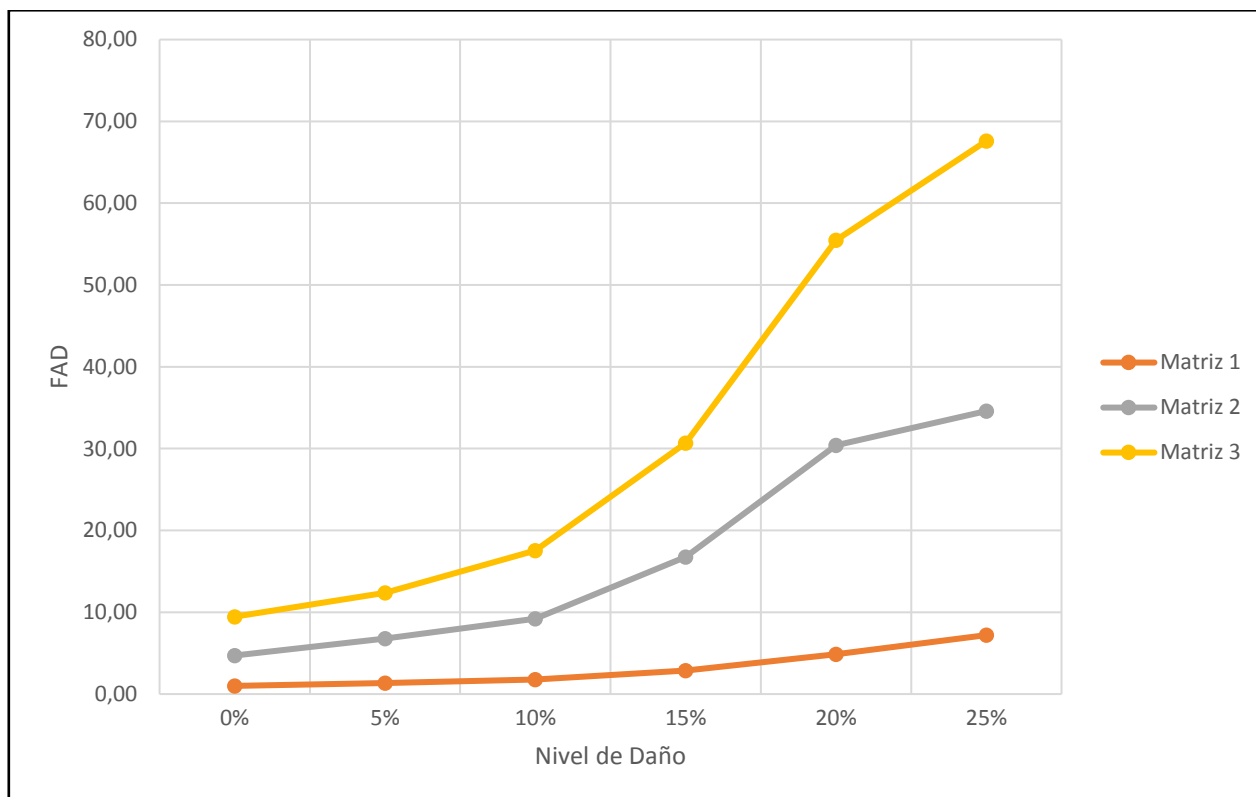


Figura B-1: Factor de Aumento de Demoras para distintos niveles de demanda.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla B-1: Factor de Aumento de Demoras para distintos niveles de demanda.

	Cantidad de Viajes	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Matriz 1	26.784	1,00	1,36	1,79	2,87	4,86	7,21
Matriz 2	47.616	4,72	6,80	9,21	16,77	30,40	34,59
Matriz 3	58.560	9,46	12,37	17,56	30,68	55,48	67,60

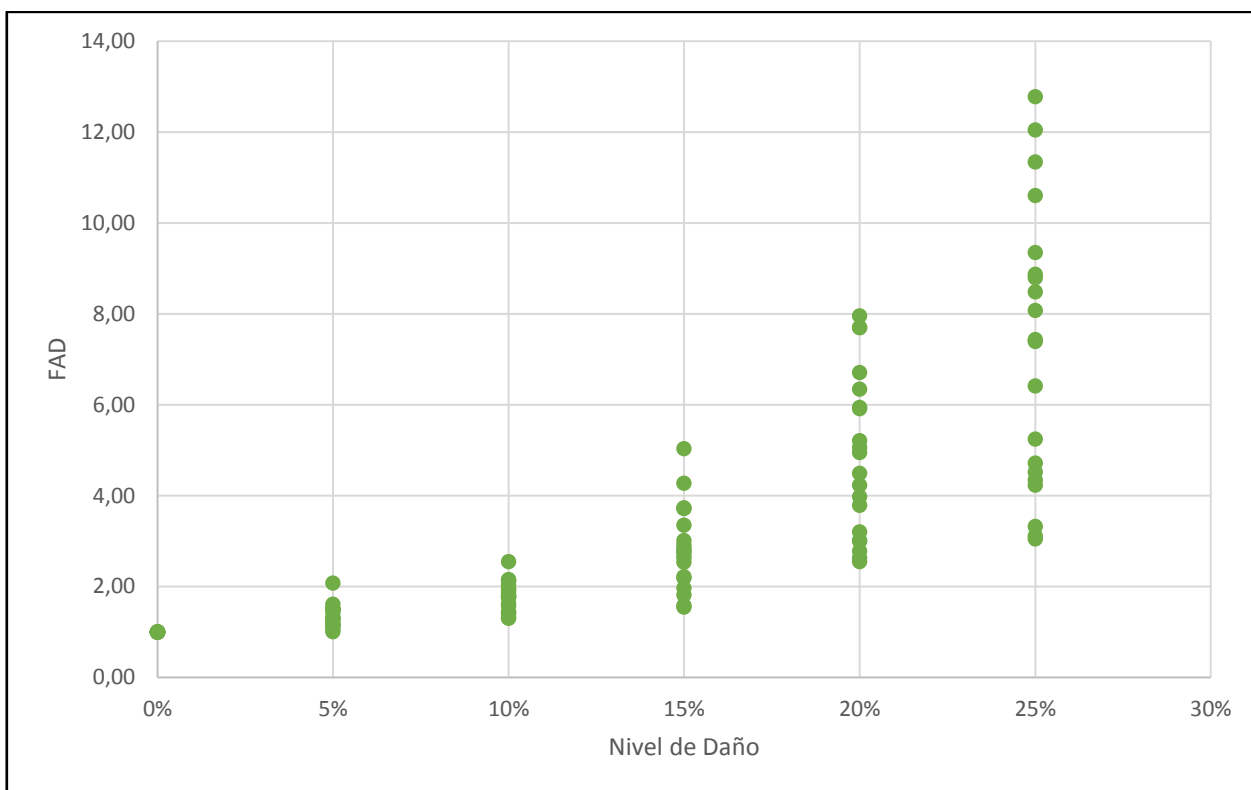


Figura B-2: Factor de Aumento de Demoras para todos los escenarios de daño para una demanda de 26.784 viajes.
Fuente: Elaboración propia.

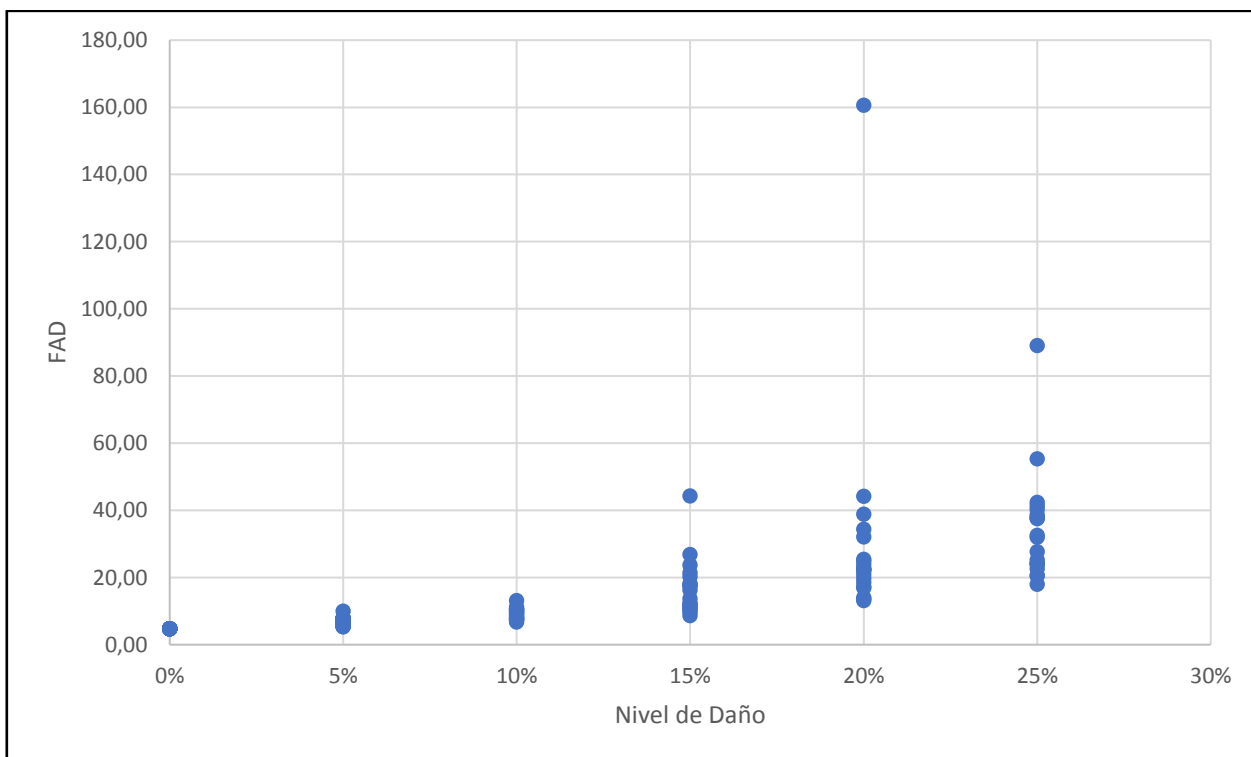


Figura B-3: Factor de Aumento de Demoras para todos los escenarios de daño para una demanda de 47.616 viajes.
Fuente: Elaboración propia.

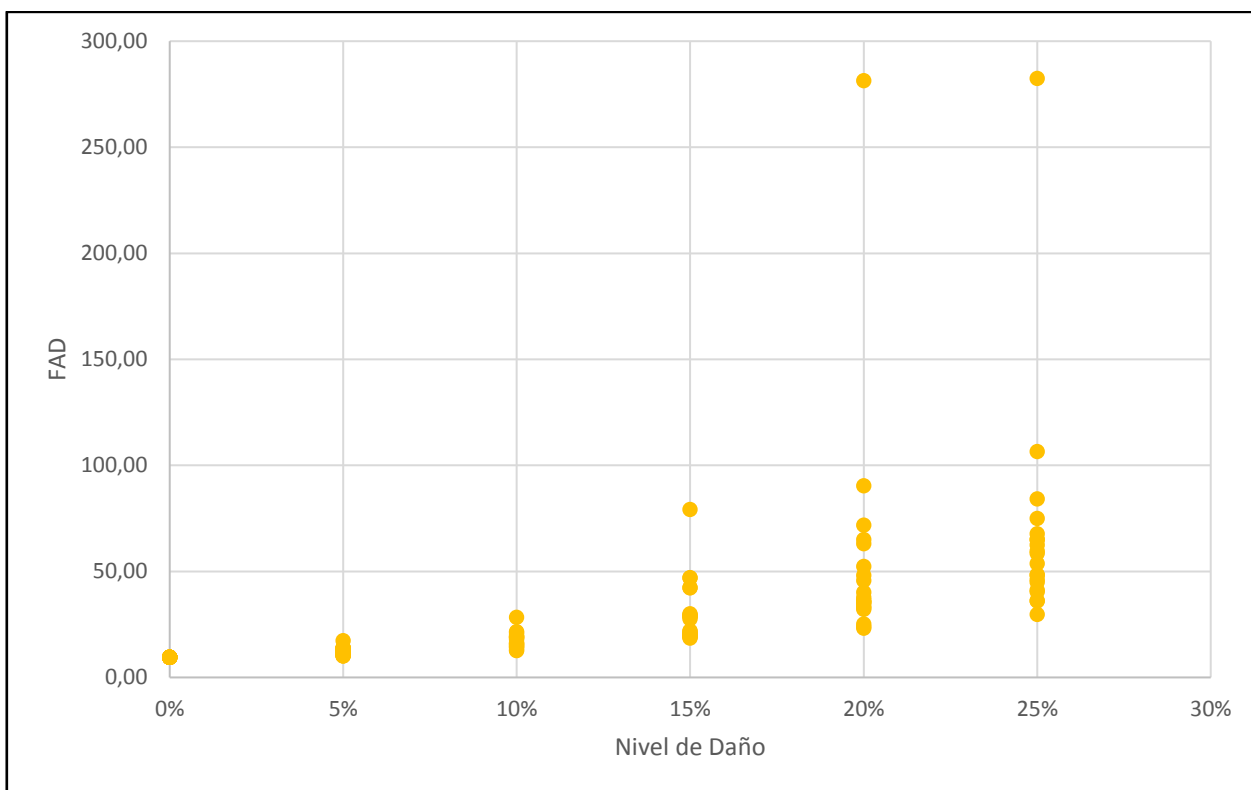


Figura B-4: Factor de Aumento de Demoras para todos los escenarios de daño para una demanda de 58.560 viajes.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO C: MÁXIMA DEMANDA PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS DE DAÑO

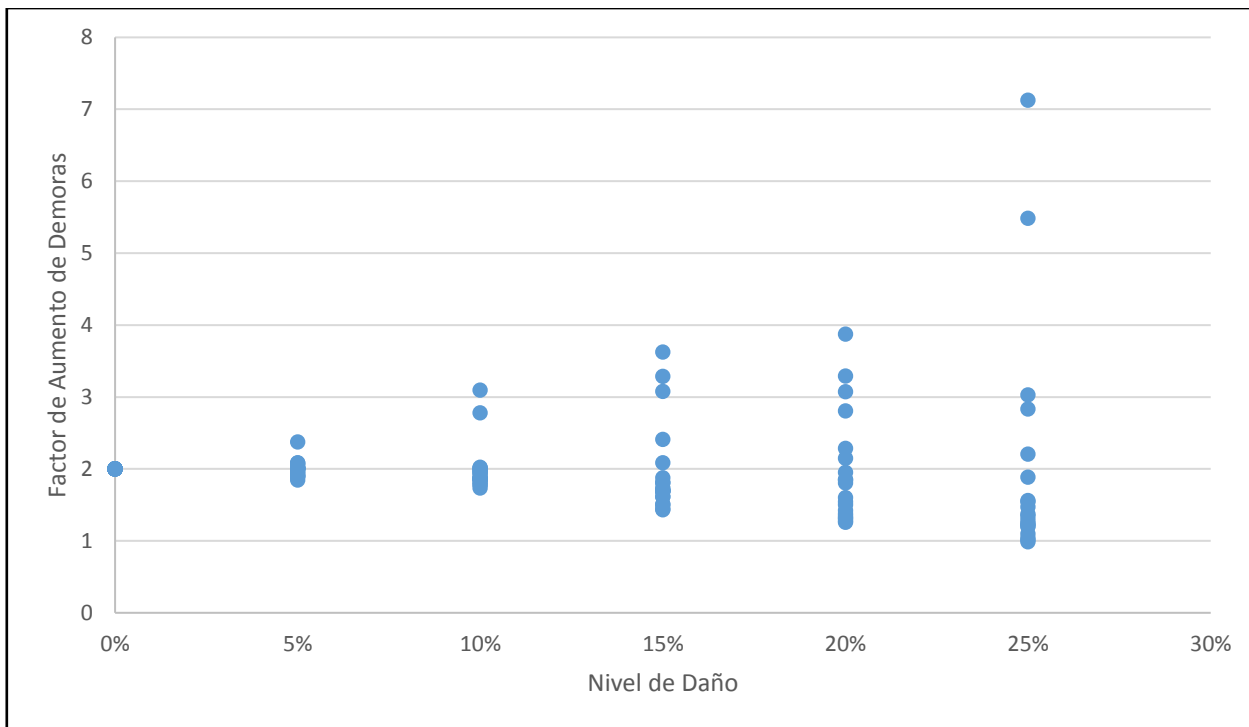


Figura C-1: Factor de Aumento de Demoras para todos los escenarios de daño para un nivel de servicio de FAD = 2.
Fuente: Elaboración propia.

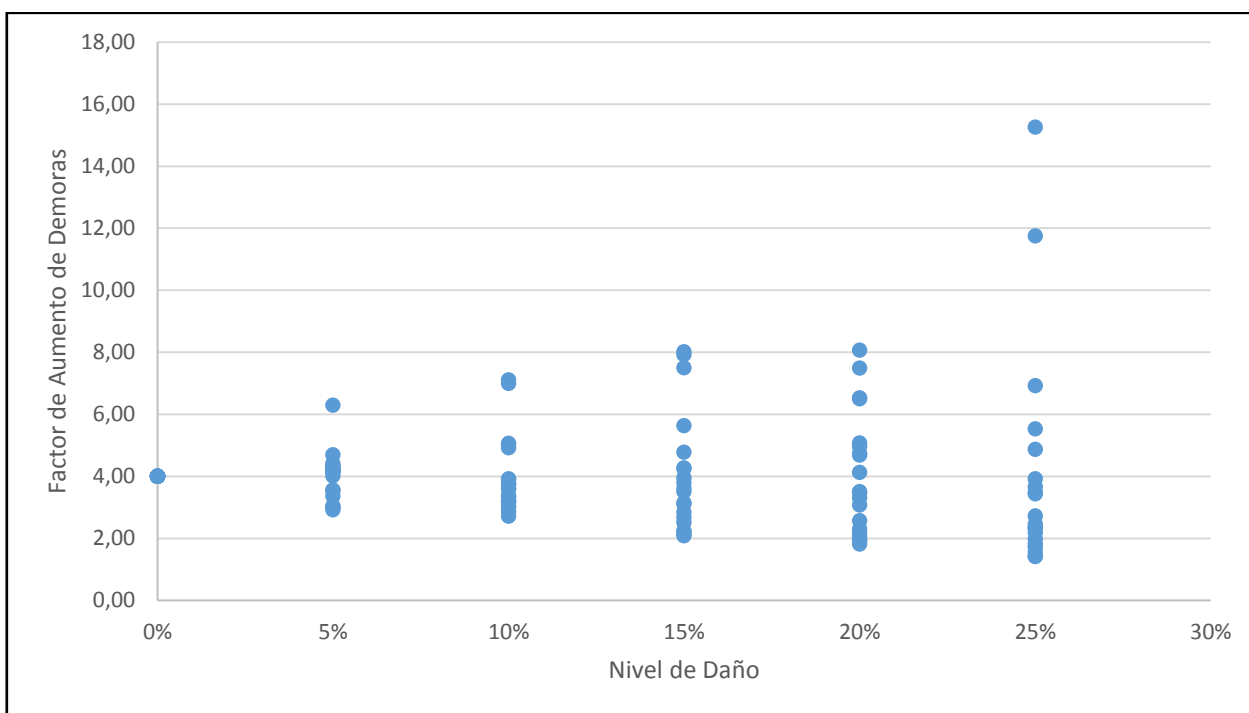


Figura C-2: Factor de Aumento de Demoras para todos los escenarios de daño para un nivel de servicio de FAD = 4.
Fuente: Elaboración propia.

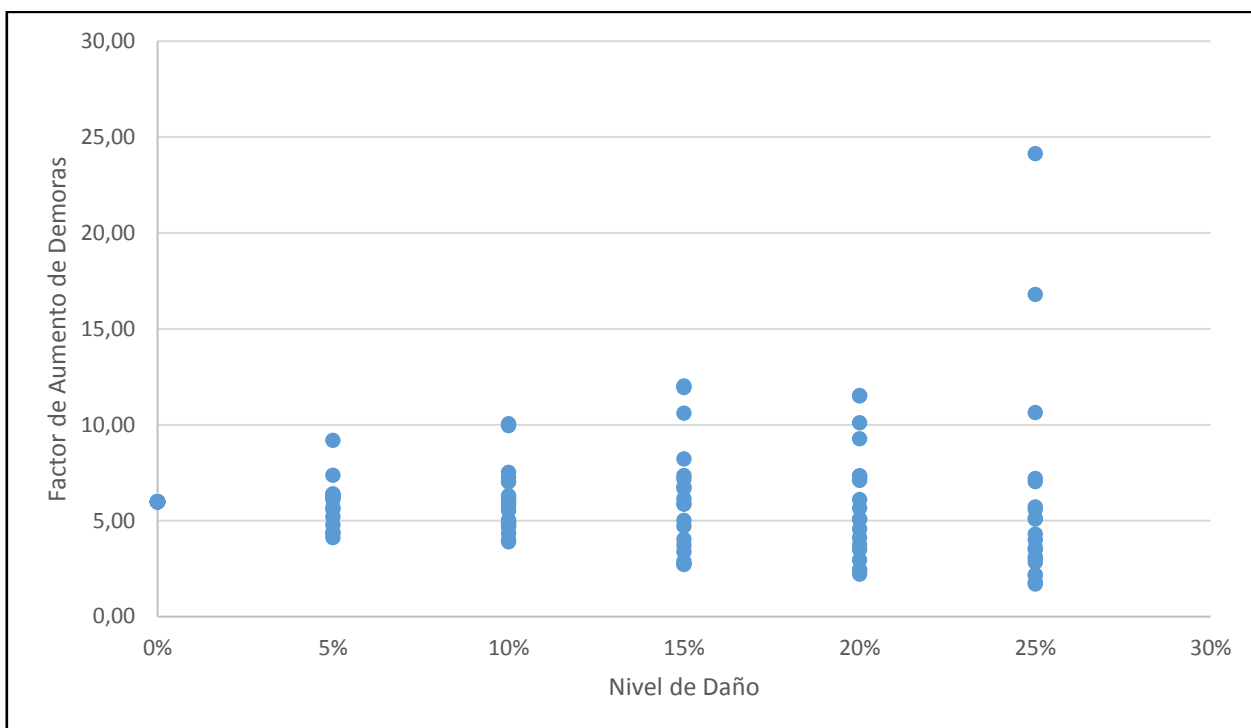


Figura C-3: Factor de Aumento de Demoras para todos los escenarios de daño para un nivel de servicio de FAD = 6.

Fuente: Elaboración propia.