

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

Profesor Guía: Patricio Álvarez Mendoza Ph.D.

**DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN Y
CONFIABILIDAD DE TIEMPOS VIAJE EN BASE A
MEDICIONES USANDO BLUETOOTH**

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

CARLOS ANDRÉS HERMOSILLA PANES

Concepción, Septiembre de 2014

NOMENCLATURA

BI	Buffer Index
GIS	Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica)
GP	General Purpose (Propósito General)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
HOT	High – Occupancy Toll (Carriles de Alta Ocupación)
ITS	Intelligent Transportation System (Sistema Inteligente de Transportes)
kms	kilómetros
m	metros
PAN	Personal Area Network (Red de Área Personal)
PTI	Planning Time Index
RFID	Radio Frequency Identification (Identificación por Radio Frecuencia)
Valpo	Valparaíso

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE TABLAS	vi
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Justificación	3
1.2 Objetivos del Estudio	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
2. ANTECEDENTES Y REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1 Tiempo de viaje	5
2.2 Métodos generales de medición de tiempo de viaje	5
2.2.1 Vehículos de prueba	5
2.2.2 Sistema de Posicionamiento Global GPS	6
2.2.3 Método de patentes	6
2.3 Captura de datos de tiempos de viaje mediante Bluetooth	6
2.4 Estudios anteriores	8
2.5 Metodología	9
Cuadro de la metodología	9
3. ANALISIS DE DATOS	10
3.1 Distribuciones de frecuencia de tiempos de viaje	11
3.1.1 Separación de datos de tiempos de viaje	11
3.1.2 Construcción de distribuciones de frecuencias	12
4. ANALISIS DE METRICAS DE CONFIABILIDAD	14
4.1 Percentil 80 o 95 de tiempos de viaje	15

4.2	Buffer Index	16
4.3	Planning Time Index	16
4.4	Failure On-Time	17
5.	RESULTADOS	18
5.1	Distribuciones de frecuencia de tiempo de viaje	18
5.1.1	Variabilidad de la forma de las distribuciones de frecuencia	22
5.1.2	Desplazamiento de curvas a lo largo del día	23
5.2	Métricas de confiabilidad de tiempos de viaje.....	23
6.	CONCLUSIONES	26
7.	RECOMENDACIONES	27
8.	REFERENCIAS	28
	ANEXO A. UBICACIÓN DE RUTAS	29
A1.	Valparaíso – Viña del Mar	29
A2.	Puerto Montt	31
	ANEXO B. TIEMPOS DE VIAJE EN CONDICIONES DE FLUJO LIBRE.....	32
	ANEXO C. METRICAS DE CONFIABILIDAD.....	34
	ANEXO D. SUPERFICIES DE DISTRIBUCIONES DE TIEMPO DE VIAJE.....	40
D1.	Valparaíso – Viña del Mar	40
D2.	Puerto Montt	44
	ANEXO E. VISTA EN PLANTA DE SUPERFICIES DE DISTRIBUCION	46
E1.	Valparaíso – Viña del Mar.....	46
E2.	Puerto Montt	50
	ANEXO F. CARACTERISTICAS DE RUTAS ANALIZADAS	52
F1.	Valparaíso – Viña del Mar	52
F2.	Puerto Montt	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de captura de datos Bluetooth.....	7
Figura 2. Metodología de trabajo utilizada.....	10
Figura 3. Ejemplo de agregación temporal de datos de tiempo de viaje en 60 minutos	12
Figura 4. Ejemplo de distribución de frecuencias. Gráfico	14
Figura 5. Métricas de confiabilidad en comparación con medidas de congestión promedio.....	17
Figura 6. Diferencias de distribuciones de frecuencias en rutas.....	18
Figura 7. Ejemplo de distribución logarítmica normal. Ruta 49, Valparaíso.....	19
Figura 8. Visualización de congestión no recurrente en distribuciones de frecuencia.....	20
Figura 9. Esquema de datos para la construcción de superficies de distribuciones	21
Figura 10. Superficie de distribución de frecuencias de tiempos de viaje. Ruta 57, Valparaíso...	21
Figura 11. Variabilidad de frecuencias de tiempos de viaje en 24 horas. Ruta 57, Valparaíso	22
Figura 12. Desplazamiento de curvas de frecuencia a lo largo del día. Ruta 3440, Puerto Montt.	23
Figura 13. Métricas de confiabilidad de tiempos de viaje y variaciones de media y mediana.....	24
Figura 14. Variación de PTI 80 según niveles de agregación temporal.	25

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información de rutas analizadas.	11
Tabla 2. Ejemplo de distribución de frecuencias. Calificaciones.....	13
Tabla 3. Ejemplo de distribución de frecuencias. Intervalos.....	14
Tabla 4. Definiciones de métricas de confiabilidad de tiempo de viaje	15
Tabla 5. Resultado numérico de la aplicación de Buffer Index.....	16
Tabla 6. Resultado numérico de la aplicación de PTI.....	16

DETERMINACION DE LA DISTRIBUCION Y CONFIABILIDAD DE TIEMPOS DE VIAJE EN BASE A MEDICIONES USANDO BLUETOOTH

Carlos Hermosilla Panes

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

cahermos@alumnos.ubiobio.cl

Patricio Álvarez Mendoza MSc. PhD.

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

palvarez@ubiobio.cl

RESUMEN

El tiempo de viaje es una variable importante tanto como para profesionales del transporte como para los usuarios de éste.

En el presente estudio se muestran las distribuciones de tiempo de viaje a lo largo del día por un periodo aproximado de 90 días, con datos capturados mediante tecnología Bluetooth, la cual permite el análisis de datos en bajos niveles de agregación temporal. Al tener las distribuciones del tiempo de viaje se estimó la variabilidad de este parámetro, lo que es relevante para poder obtener una medida de confiabilidad del sistema.

La confiabilidad del tiempo de viaje se puede definir como una medida de dispersión de la distribución del tiempo de viaje. Existen varias métricas que permiten la estimación de confiabilidad. El parámetro de confiabilidad más sensible analizado a diferencia de otros autores, fue el Skew Statistics.

Una vez estimados los valores de confiabilidad de tiempos de viaje, se realizó una comparación de éstas con valores de referencia obtenidas en lugares donde este estudio se haya realizado anteriormente. La obtención de datos se realizó en una campaña de mediciones realizada en las ciudades de Valparaíso – Viña del Mar y en Puerto Montt.

Palabras clave: Distribución del tiempo de viaje, variabilidad del tiempo de viaje, confiabilidad del tiempo de viaje.

5542 Palabras texto + 20 Figuras/Tablas * 200 = 9542 Palabras Totales

DETERMINATION OF THE TRAVEL TIME DISTRIBUTION AND RELIABILITY BASED MEASUREMENTS USING BLUETOOTH

Carlos Hermosilla Panes

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

cahermos@alumnos.ubiobio.cl

Patricio Álvarez Mendoza MSc. PhD.

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

palvarez@ubiobio.cl

ABSTRACT

Travel time is an important variable as well as for transport professionals and users thereof. However, traditional methods to capture this variable does not allow data collection and intensively in small time intervals.

In the present study the distributions of travel time along the day is for a period of approximately 90 days, with captured via Bluetooth technology, which allows the analysis of data at low levels of temporal aggregation data. Having the travel time distributions may estimate the variability of this parameter, which is relevant to obtain a measure of reliability.

The travel time reliability can be defined as a measure of dispersion of the distribution of travel time. There are many metrics to estimate reliability, most of these compare a day with high delays with days of average delays. The reliability parameter analyzed most sensitive in contrast to other authors, was Skew Statistics.

Once the estimated values of travel time reliability, these values are compared with reference values obtained in places where this study has been performed previously.

Data collection was performed on a measurement campaign conducted in the cities of Valparaíso - Viña del Mar and Puerto Montt.

Keywords: Travel time distribution, travel time variability, travel time reliability.

1. INTRODUCCIÓN

La confiabilidad de tiempo de viaje se define como la consistencia de éste en un recorrido determinado. Más formalmente, se dice que es “la consistencia o fiabilidad en los tiempos de viaje, medidos en el día a día y/o en diferentes momentos del día”. Una información oportuna y acertada sobre las condiciones de tráfico y demora permitirá al usuario de la red de transportes, tener la opción de decidir algún posible cambio de ruta, lo que permitirá una disminución en los costos operacionales y a la vez, optimizar el uso de las rutas. Este documento describe el uso de las métricas de confiabilidad de tiempo de viaje dando a entender que sirven como una medida importante del estado del sistema de transportes de una región.

1.1 Justificación

La estimación del tiempo de viaje usando técnicas tradicionales apunta a capturar esta variable en condiciones promedio de operación. Es importante tanto para los profesionales del transporte como para los usuarios conocer la variabilidad de este parámetro para poder obtener una medida de confiabilidad del sistema.

Si bien existen muchas técnicas de medición de tiempos de viaje, tales como estudios de vehículos flotantes, el método de placas, cámaras de video, se ha visto un uso limitado en su aplicación para la medición del tiempo de viaje en tiempo real.

El método Bluetooth permite obtener datos de tiempo de viaje intensivamente y en pequeños intervalos de tiempo, lo que hace posible el análisis de datos con información temporalmente desagregada. La medición del rendimiento del tráfico en tiempo real es necesaria para proporcionar a los usuarios y a los profesionales del transporte, datos precisos que pueden ser utilizados para tomar decisiones sobre sus viajes, y en diferentes periodos del día, por ejemplo en periodos punta donde existe una gran variabilidad en el flujo de tráfico.

El objetivo de este proyecto es estimar la confiabilidad del tiempo de viaje usando mediciones capturadas con el método Bluetooth. La confiabilidad del tiempo de viaje es una medida de compatibilidad en el día a día de los tiempos de viaje para un tramo específico. Solo es posible conocer la confiabilidad del tiempo de viaje de un corredor si las mediciones exactas de los tiempos de viaje son conocidas. Los tiempos de viaje confiables y precisos ayudarán a los viajeros en la elección de la mejor ruta y a los profesionales de transporte a diseñar y planificar futuras mejoras.

Todo lo anterior es posible gracias a la campaña de mediciones realizadas en las ciudades de Valparaíso – Viña del Mar y Puerto Montt, donde la ubicación de los dispositivos Bluetooth de captura de datos fueron puestas en zonas estratégicas, las cuales evitan la pérdida en datos o la recolección de datos no representativos de las condiciones reales de tráfico, por ejemplo peatones o ciclistas.

1.2 Objetivos del Estudio

1.2.1 Objetivo General

Estimar distribuciones de tiempo de viaje y confiabilidad en base a mediciones obtenidas usando Bluetooth.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Sintetizar el estado de la práctica en la estimación del tiempo de viaje y para cuantificar la confiabilidad del tiempo de viaje.
- Analizar la variabilidad de tiempos de viaje en base a la construcción de distribuciones de frecuencia de datos, para diferentes periodos del día.
- Aplicar diferentes métricas para cuantificar la confiabilidad del tiempo de viaje.
- Comparar los valores de confiabilidad obtenidos con referencias extranjeras escogidas.

2. ANTECEDENTES Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

El presente capítulo tiene por objetivo dar a conocer el estado actual de los métodos de estimación de tiempo de viaje, entregando una serie de procedimientos destinados a la captura y análisis de datos. También se realizó una síntesis de estudios anteriores con el fin de complementar este proyecto.

2.1 Tiempo de viaje

El tiempo de viaje es una medida importante de rendimiento del sistema de transportes, debido a que es un indicador que muestra el tiempo necesario para recorrer una longitud definida de calzada. Los tiempos de viajes confiables y precisos ayudarán a los viajeros en la elección de la mejor ruta y a los profesionales del transporte a diseñar y planificar futuras mejoras.

2.2 Métodos generales de medición de tiempo de viaje

Entre los métodos que han sido utilizados por los profesionales del transporte para medir los tiempos de viaje en autopistas y carreteras principales, se encuentran los vehículos de prueba o vehículos flotantes, el Sistema de Posicionamiento Global GPS, método de patentes, cámaras de video, identificación por radiofrecuencia (RFID), método Bluetooth. Estos métodos se describen a continuación.

2.2.1 Vehículos de prueba

Los vehículos de prueba, son vehículos operados por conductores que se les ha indicado que tienen que recorrer una calzada en estudio, es un método comúnmente aceptado en la recolección de datos de tiempo de viaje, junto con otras condiciones de tráfico. Los vehículos de prueba pueden estar equipados con dispositivos GPS que se conectan coordinando una marca de tiempo para medir tiempos de viaje, o contar con un pasajero que realice la tarea de forma manual registrando los tiempos de viaje a través de un cronómetro.

2.2.2 *Sistema de Posicionamiento Global GPS*

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de datos puede estar integrado con el Sistema de Información Geográfica (GIS) para comparar la ubicación geográfica con variables de rendimiento (es decir, la velocidad del vehículo, nivel de servicio, calidad del aire, etc.). Taylor et al. (2000), planteó el desarrollo del método de integración de datos GPS con el software GIS. Mientras se muestran los datos GPS en mapas, GIS ayudaría en las aplicaciones de planificación de transporte. Sin embargo, la necesidad de monitorear y registrar el tráfico en tiempo real todavía no existe.

2.2.3 *Método de patentes*

El método de patentes consiste en colocar dos grupos por sentido de circulación en cada uno de los tramos en que se realice la medición, integradas por dos personas. Las brigadas deberán ubicarse en lugares estratégicos del tramo, de tal manera que una persona tome la lectura de la patente y otra con cronómetro en mano la hora de la lectura; estos sitios pueden ser la entrada o salida de la estación Origen-Destino, los reductores de velocidad por el paso de poblaciones, etc. Al revisar los números de patentes, se seleccionan aquellos que coinciden en ambos puntos de la lectura del tramo, se clasifican por tipo de vehículo y se obtiene el tiempo de recorrido promedio por sentido de circulación en el tramo, a partir del cual puede ser estimada la velocidad de operación promedio.

2.3 **Captura de datos de tiempos de viaje mediante Bluetooth**

Inventado en 1994 por ingenieros de Ericsson, una empresa sueca, Bluetooth permite compartir música, imágenes y otros datos de forma inalámbrica a través de una red de área personal (PAN), que está definida por la antena del dispositivo.

Bluetooth funciona con baja potencia y está destinado a sustituir los cables que generalmente son necesarios para conectar dispositivos, como auriculares y teléfonos, teclados y computadoras, cámaras e impresoras. En contraste con las señales de radio más comúnmente utilizadas (TV,

radio, etc.) que se emite a través de grandes áreas, Bluetooth envía señales de radio en distancias cortas que van desde un mínimo de 1 metro, hasta más de 100 metros.

Al igual que todas las conexiones inalámbricas, Bluetooth envía señales que pueden ser interceptadas por aquellos que están deseando tener acceso a los datos sin autorización. En consecuencia, los fabricantes suelen ofrecer la opción de activar y desactivar funciones Bluetooth en sus dispositivos. Este es el “modo visible”. Este modo permite que el dispositivo sea detectado por otros dispositivos Bluetooth. La Figura 1 muestra un ejemplo del funcionamiento de captura de datos Bluetooth.

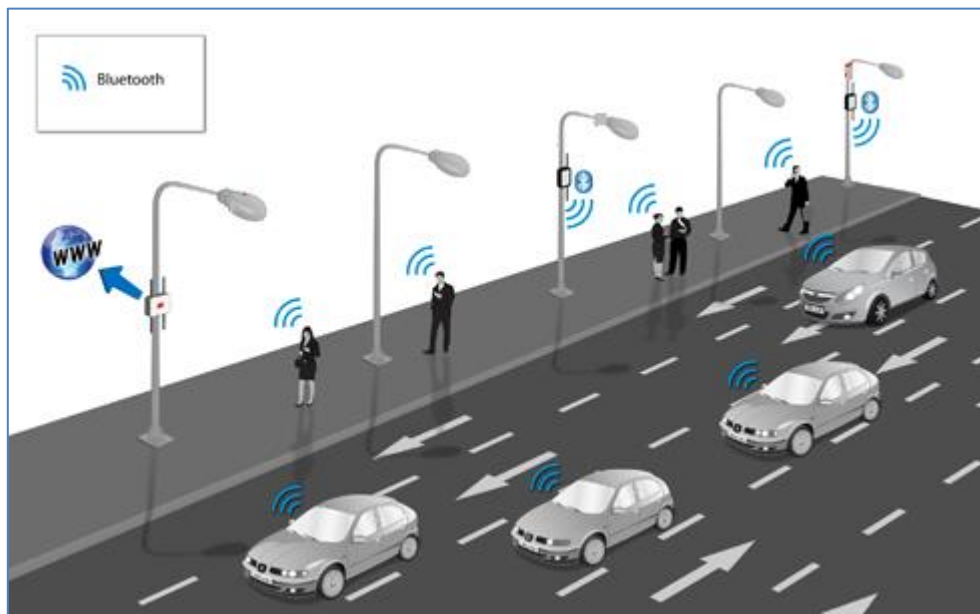


Figura 1. Esquema de captura de datos Bluetooth

Un estudio realizado por Vo (2011), estima que aproximadamente un 60% de las personas mantienen encendido y en modo visible el Bluetooth de sus móviles durante el día; gracias a esto se puede comprobar un cierto nivel de representatividad de los datos, aunque para utilizarlos como una medida de tiempo de viaje, es necesario hacer un estudio y análisis de error, al igual que con cualquier otro método de medición de tiempo de viaje. Pueden aparecer errores en las mediciones de tiempo de viaje de Bluetooth en arterias como consecuencia de la demora de la señal y por el flujo de tráfico no uniforme. Otra fuente de error es la presencia de valores atípicos, que son los tiempos de viaje Bluetooth que no representan las condiciones reales. Los datos de tiempos de viaje en autopistas deben ser filtrados por lo siguiente: personas o ciclistas que ingresan a un área de captura de datos, vehículos que salen y regresan a la autopista entre dos

estaciones, vehículos que se detienen temporalmente en la berma o viajan lentamente debido a fallas técnicas.

Una vez realizado la depuración de datos, es posible llevar a cabo el análisis estadístico para poder construir histogramas de distribución de frecuencia de datos de tiempo de viaje, y posteriormente la aplicación de las métricas de confiabilidad, procesos que serán explicados a continuación.

2.4 Estudios anteriores

Sobre las distribuciones de tiempos de viaje, existe un supuesto acerca de la normalidad de estas distribuciones que fueron investigadas por Rakha et al (2007). El estudio concluyó que la hipótesis de la normalidad no es apoyada por los datos observados. En su lugar, propusieron que una distribución logarítmica normal describe de mejor manera el tiempo de viaje en condiciones sin congestión. Del mismo modo, durante las horas de congestión, una distribución mixta o una distribución bimodal se adapta mejor a la distribución de viaje observado.

Los estudios e investigaciones sobre el uso de parámetros para estimar confiabilidad de tiempos de viaje han ido siendo más frecuentes en el último tiempo. Esto es porque es un indicador aceptado por muchas agencias de transporte para evaluar el nivel de servicio de los recorridos. En un estudio realizado por Liu et al (2004) sobre la contribución de la confiabilidad de tiempo de viaje para la elección de rutas a partir de datos entregados en tiempo real, afirma que “además de los factores como el tiempo de viaje percibido, costo monetario, el confort y la seguridad, la confiabilidad de tiempo de viaje en general se ha admitido como un factor importante, sobre todo para los viajes, donde la falta de tiempo (por ejemplo, la llegada al trabajo), puede imponer sanciones significativas en un individuo. La confiabilidad, por su naturaleza, implica algo acerca de la certeza o estabilidad del tiempo de viaje de cualquier viaje en particular en virtud de la repetición”.

Una investigación realizada por Lyman y Bertini (2007), señala que las métricas de confiabilidad en ese entonces no se utilizaban como una medida de la congestión, por el contrario, las medidas más comunes de la congestión era la relación volumen/capacidad, la hora de los vehículos de retraso, y la velocidad media. Es por ese motivo que realizaron un estudio donde aplicaron las medidas de confiabilidad de tiempo de viaje para mejorar la planificación regional del transporte y operaciones.

Finalmente, Álvarez y Hadi (2012) lograron estudiar y estimar los niveles de confiabilidad de tiempos de viaje tomando en cuenta las recomendaciones de investigaciones realizadas con anterioridad, donde se indican que tipos de medidas de confiabilidad pueden ser más adecuadas, una en relación a la otra. El proyecto SHRP2 LO3 examinó un conjunto de indicadores de confiabilidad que se aplicaron en el estudio de Álvarez, entre estas se encuentran: Buffer Index (BI), Skew Statistics, Misery Index, Planning Time Index, 80th Percentil Travel Time Index, Failure On-Time (1.1 y 1.25). Los datos utilizados en el análisis fueron obtenidos por medio de dispositivos de Sistemas de Transporte Inteligente (ITS), las cuales recogen mediciones de parámetros de tráfico para fines operativos. El mismo estudio comprende el análisis de un segmento de 10,5 kms. Este segmento tiene un total de seis carriles, los cuales se dividen en dos carriles de alta ocupación (HOT) y en cuatro carriles de propósito general (GP). Esta separación de carriles permite la comparación de como la confiabilidad de tiempo de viaje entre las dos instalaciones en una misma hora del día pueden ser representadas por diferentes métricas.

2.5. Metodología

A continuación se describe la metodología aplicada para la realización de este proyecto, Lo que permitió un avance progresivo donde después de cada sub-etapa, se logran los hitos.

Cuadro de la metodología

En la Figura 2, se muestran las etapas y sub-etapas del proyecto, para cumplir de forma secuencial con los objetivos.

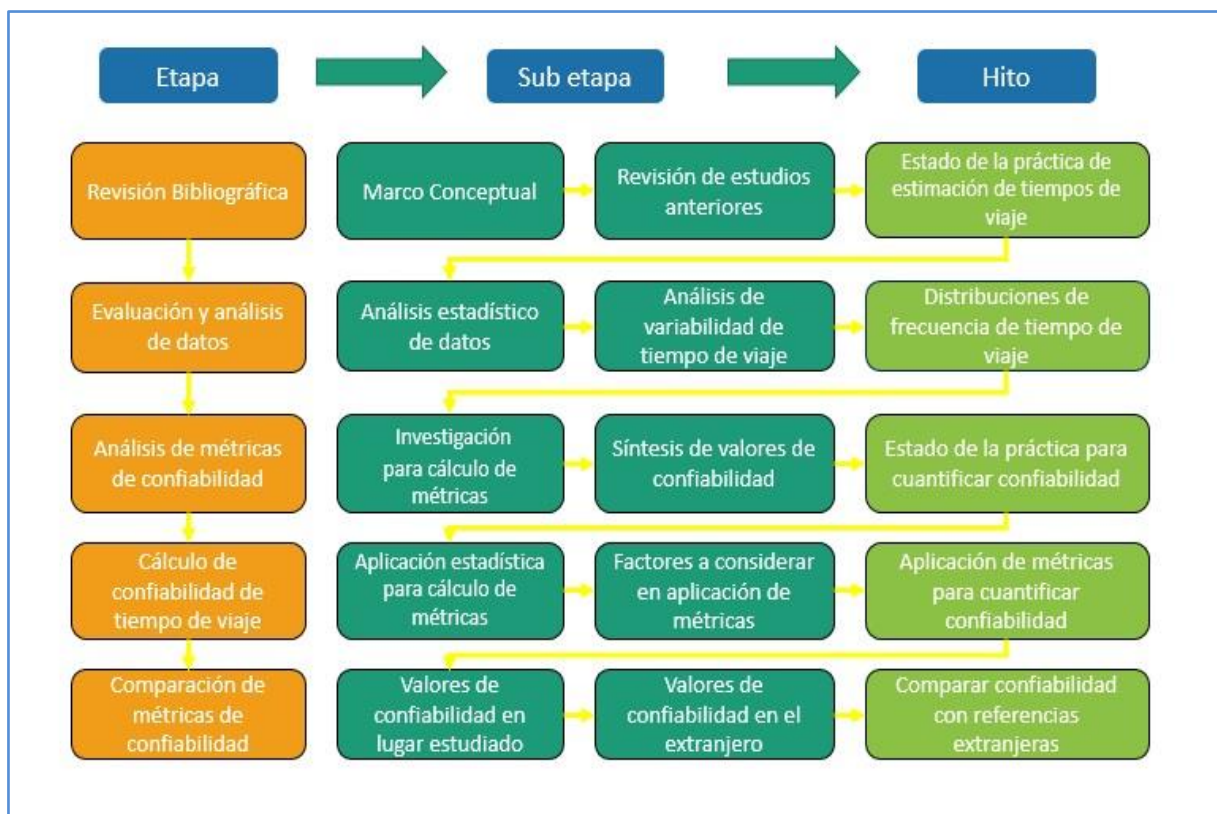


Figura 2. Metodología de trabajo utilizada.

(Fuente: Elaboración propia)

3. ANALISIS DE DATOS

Los datos utilizados en este proyecto, fueron proporcionados gracias a una campaña de mediciones realizadas en las ciudades de Valparaíso – Viña del Mar en los meses de Enero, Febrero y Marzo de 2013; y en Puerto Montt en el mes de Enero de 2012, con una duración aproximada de 60 y 20 días respectivamente.

El estudio se realizó tomando en cuenta ocho rutas de Valparaíso – Viña del Mar y cuatro rutas de Puerto Montt. En la Tabla 1 se muestra un resumen con las rutas y su extensión.

Ciudad	Ruta	Extensión (m)
Valpo - Viña del Mar	Ruta 49	3300
	Ruta 50	3100
	Ruta 51	12100
	Ruta 52	14100

	Ruta 53	13100
	Ruta 55	9000
	Ruta 57	8400
	Ruta 58	7400
Pto. Montt	Ruta 3437	850
	Ruta 3438	850
	Ruta 3439	6300
	Ruta 3440	6300

Tabla 1. Información de rutas analizadas.

(Fuente: Elaboración propia)

La ubicación detallada de cada ruta se encuentra en el Anexo A, al final de este documento. Es importante destacar que las rutas 3437 y 3438 de Puerto Montt, indican el mismo recorrido pero en distintos sentidos, lo mismo ocurre con las rutas 3439 y 3440.

En el desarrollo de este informe, se tomarán ejemplos de distintas rutas analizadas, mostrando casos para todos los niveles de agregación temporal. Los resultados de las todas las rutas se encuentran en el Anexo C, al final de este documento.

3.1 Distribuciones de frecuencia de tiempos de viaje

Para poder construir las distribuciones de frecuencia de tiempo de viaje para distintos niveles de agregación temporal, es necesario seguir una serie de pasos, explicados a continuación.

3.1.1 Separación de datos de tiempos de viaje

Para una correcta distribución de frecuencia de tiempos de viaje, se separaron los datos de acuerdo al nivel de agregación temporal deseada, en este caso, cada 60 minutos, descrita en la Figura 3.

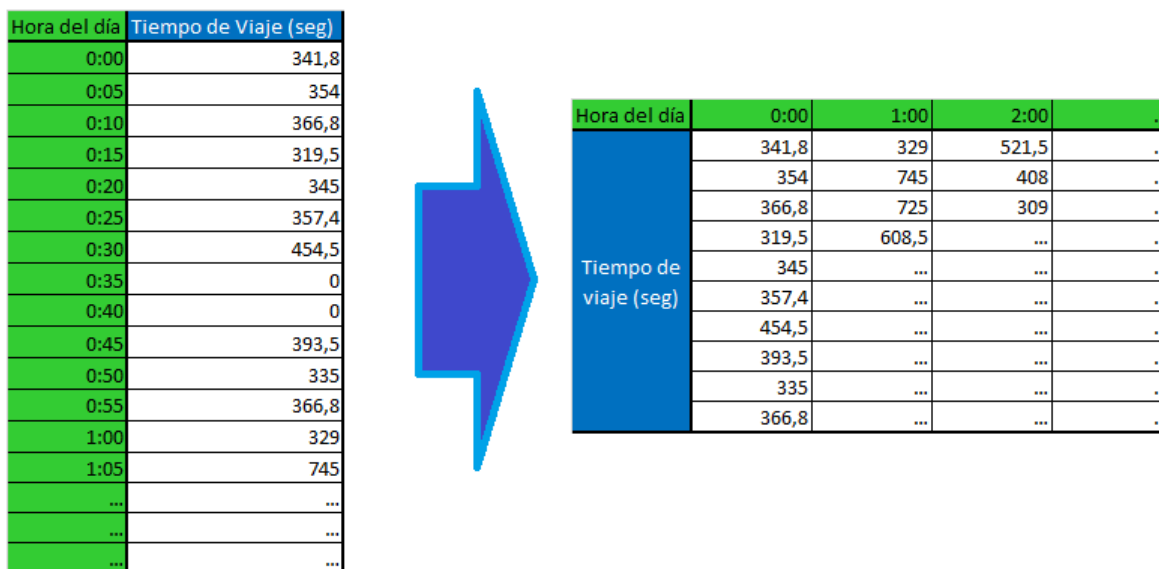


Figura 3. Ejemplo de agregación temporal de datos de tiempo de viaje en 60 minutos

(Fuente: Elaboración propia)

Este proceso se repite para toda la base de datos. Con los datos separados se formó una matriz de datos de tiempos de viaje con una agregación temporal de 15, 30 y 60 minutos. Al tener valores “ceros” en los intervalos, estos deben eliminarse porque indican que ningún vehículo circuló entre los dispositivos de captura de datos. Este proceso de eliminación de datos no tiene consecuencias en el análisis de datos.

Una vez terminado este procedimiento, se aplican las variables estadísticas para cada intervalo de tiempo, necesarias para la creación de distribuciones de frecuencia.

3.1.2 Construcción de distribuciones de frecuencias

Para crear una distribución de frecuencia de datos, es necesario calcular los siguientes parámetros:

- a) Rango de datos: La determinación del rango de datos es la diferencia entre el valor máximo y mínimo de la matriz de datos de tiempo agregado.
- b) Determinación de la amplitud: Es la relación entre el Rango de datos y el número de intervalos.
- c) Lista de intervalos: En el límite inferior del intervalo inferior debe estar incluido el dato mínimo. Los intervalos siguientes comienzan con el dato inferior anterior más la amplitud.
- d) Frecuencia absoluta: Con los parámetros anteriores calculados, comienza el conteo de datos, donde se introducen los datos en bruto en los intervalos de clase adecuado. Hecho esto, se suman las frecuencias dentro de cada intervalo y con esto queda representado la frecuencia relativa para la matriz de datos de tiempo de viaje. A continuación, la Tabla 2 muestra un ejemplo de calificaciones para una posterior creación de distribuciones de frecuencias, con 10 intervalos.

Calificaciones de examen						
95	57	76	93	86	80	89
76	76	63	74	94	96	77
65	79	60	56	72	82	70
67	79	71	77	52	76	68
72	88	84	70	83	93	76
82	96	87	69	89	77	81
87	65	77	72	56	78	78
58	54	82	82	66	73	79
86	81	63	46	62	99	93
82	92	75	76	90	74	67

Tabla 2. Ejemplo de distribución de frecuencias. Calificaciones

- Rango de datos = Valor máximo – Valor mínimo

$$= 99 - 46$$

$$\text{Rango de datos} = 53$$

- Amplitud = Rango de datos / # intervalos

$$= 53 / 10$$

$$\text{Amplitud} = 5,3 \text{ (se redondea a 5)}$$

- Lista de intervalos:

Intervalos de clase	Frecuencia
45 - 49	1

50 - 54	2
55 - 59	4
60 - 64	4
65 - 69	7
70 - 74	9
75 - 79	16
80 - 84	10
85 - 89	7
90 - 94	6
95 - 99	4

Tabla 3. Ejemplo de distribución de frecuencias. Intervalos

- Gráfico de distribución de frecuencias

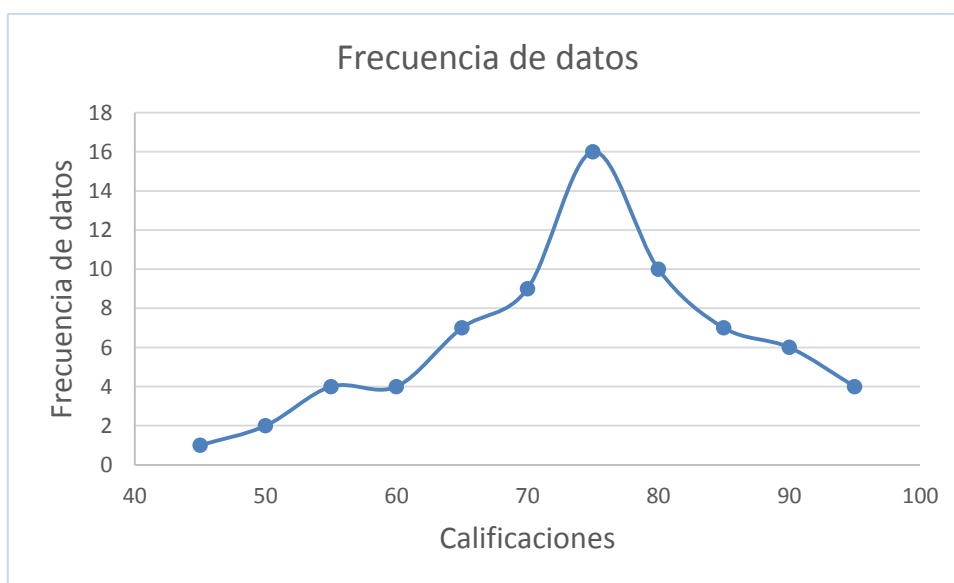


Figura 4. Ejemplo de distribución de frecuencias. Gráfico

Al obtener las tablas con frecuencias absolutas de cada intervalo de tiempo agregado, se realizó la construcción de gráficos de distribución de frecuencia para cada ruta indicada anteriormente.

4. ANALISIS DE METRICAS DE CONFIABILIDAD

Para el desarrollo de este informe se utilizaron métricas similares a las aplicadas por Álvarez (2012). Las métricas de confiabilidad de tiempo de viaje serán descritas a continuación en la Tabla 4.

Métrica de Confiabilidad	Definición	Unidad
Índice Buffer (BI)	La diferencia entre el tiempo de viaje percentil 95 y el promedio de tiempo de viaje, normalizado por el promedio de tiempo de viaje.	Porcentaje
Failure/On-Time Performance	Porcentaje de viajes con los tiempos de viaje a menos de: <ul style="list-style-type: none"> • 1.1* mediana del tiempo de viaje • 1.25*mediana del tiempo de viaje 	Porcentaje
Planning Time Index (PTI)	Percentil 95 del índice de distribución de tiempo de viaje.	Ninguna
80th Percentile Travel Time Index	Percentil 80 del índice de distribución de tiempo de viaje.	Ninguna
Skew Statistics	La relación entre el tiempo de viaje percentil 90, menos la mediana del tiempo de viaje dividido por la mediana del tiempo de viaje menos el percentil 10.	Ninguna
Misery Index	El promedio del 5% más alto de los tiempos de viaje, dividido por el tiempo de recorrido de flujo libre.	Ninguna

Tabla 4. Definiciones de métricas de confiabilidad de tiempo de viaje

(Fuente: SHRP2 LO3)

Los tiempos de recorridos de flujo libre se encuentran en el Anexo B, al final de este documento. Para una mejor comprensión de las métricas de confiabilidad de tiempo de viaje, a continuación se detallarán cuatro de estos parámetros.

4.1 Percentil 80 o 95 de tiempos de viaje

Este método, calcular el percentil 80 o 95 de tiempos de viaje, es quizás el método más simple para medir la confiabilidad de tiempos de viaje. Se estima el nivel de complejidad de los retrasos en rutas específicas durante los días con mayor tráfico. Si la cantidad de tiempo en análisis fuera un mes, el percentil 95 estaría marcado por el peor día del mes, mientras que el percentil 80 estaría marcado por los cinco peores días del mes. Los usuarios familiarizados con la ruta (como

pasajeros) pueden ver que tan mal es el tráfico durante esos pocos días con mucha congestión y en consecuencia pueden planificar sus viajes. Esta medida se registra en minutos.

4.2 Buffer Index

El Buffer Index representa el tiempo extra (o cojín de tiempo) que los viajeros deben añadir a su tiempo de viaje promedio en la planificación de viajes para asegurar la llegada a tiempo

Por ejemplo, un BI de 40% significa que para un viaje que normalmente toma 20 minutos al viajero, debe presupuestar un adicional de 8 minutos para asegurar la llegada a tiempo, la mayor parte del tiempo. En la Tabla 5 se muestra el resultado de la aplicación del BI.

Tiempo promedio de viaje	20 minutos
Buffer Index	40%
Tiempo de Buffer	$0.40 \times 20 \text{ minutos} = 8 \text{ minutos}$

Tabla 5. Resultado numérico de la aplicación de Buffer Index

(Fuente: Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation)

Los 8 minutos extras se llaman “Tiempo de Buffer”. Por lo tanto, el viajero debe asignar hasta 28 minutos para el viaje, con el fin de garantizar la llegada a tiempo, el 95% del tiempo.

4.3 Planning Time Index

El Planning Time Index representa la cantidad de tiempo total que un viajero debe asignar para garantizar la llegada a tiempo. Por ejemplo, un PTI de 1.60 significa que para un viaje que toma 15 minutos con tráfico liviano, un viajero debe presupuestar un total de 24 minutos para asegurar su llegada a tiempo, el 95% del tiempo; todo esto descrito en la Tabla 6.

Tiempo de viaje en flujo Libre	15 minutos
Planning Time Index	1.60
Tiempo de Planificación	$15 \text{ minutos} \times 1.60 = 24 \text{ minutos}$

Tabla 6. Resultado numérico de la aplicación de PTI

(Fuente: Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation)

Mientras que el Buffer Index muestra el tiempo de viaje adicional necesario, el PTI muestra el tiempo de viaje total necesario. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de las dos métricas aplicadas y su relación con el tiempo de viaje promedio.

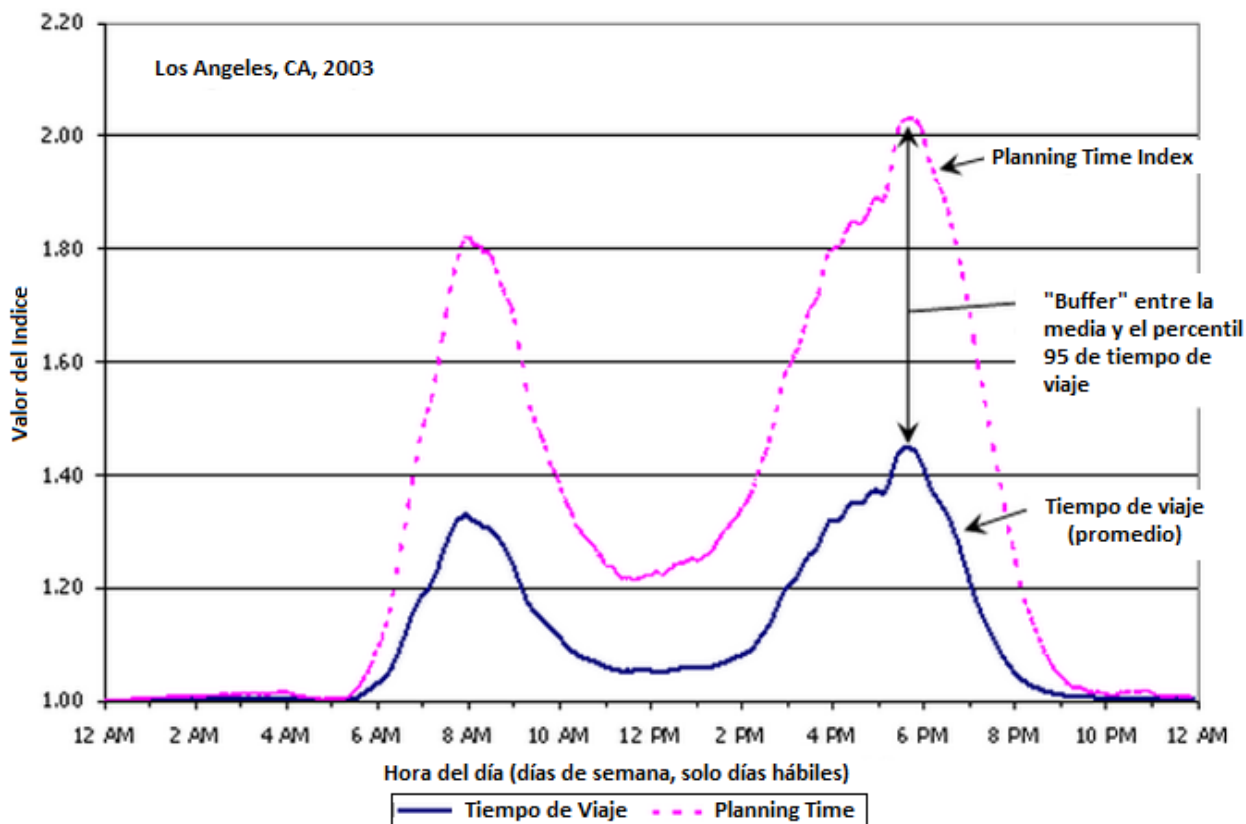


Figura 5. Métricas de confiabilidad en comparación con medidas de congestión promedio

(Fuente: Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation)

El PTI es especialmente útil porque puede ser directamente comparado con el Índice de Tiempo de Viaje (una medida de congestión promedio) en escalas numéricas similares. El Índice de Tiempo de Viaje es una medida de las condiciones medias que indican cuanto más largo, en promedio, es el tiempo de viaje en condiciones de congestión, en comparación con situaciones de tráfico ligero.

4.4 Failure On-Time

La métrica Failure/On-Time (FOT) representa el número de veces que el tiempo de viaje es inferior a la mediana de los tiempos de viaje en un factor (1.1 o 1.25). Esto implica que cuanta

más alta sea esta métrica más confiable es el sistema, ya que en varios casos los tiempos de viaje se acercan a la mediana.

5. RESULTADOS

En el siguiente capítulo, se entregan los resultados de la aplicación de variables estadísticas para la construcción de distribuciones de tiempo de viaje, el uso de las métricas indicadas en el capítulo anterior, todo esto aplicado a las rutas indicadas en el Capítulo 4 de este documento.

5.1 Distribuciones de frecuencia de tiempo de viaje

Los gráficos de distribuciones de frecuencia de tiempo de viaje fueron construidos para los tres niveles de agregación temporal, para las 24 horas de día. Se debe destacar que no todas las rutas tuvieron distribuciones similares a una misma hora del día, esto es en parte por las características propias de cada ruta, como se muestra en la Figura 6. Se puede identificar una diferencia en las curvas debido a la longitud y ubicación de estos tramos, donde el comportamiento de las distribuciones cambia cuando se trata de recorridos de alta velocidad como la ruta 51 y 52, en comparación con recorridos céntricos como las rutas 49 y 50. Este comportamiento se ve a lo largo de todo el día, y en todas las rutas estudiadas.

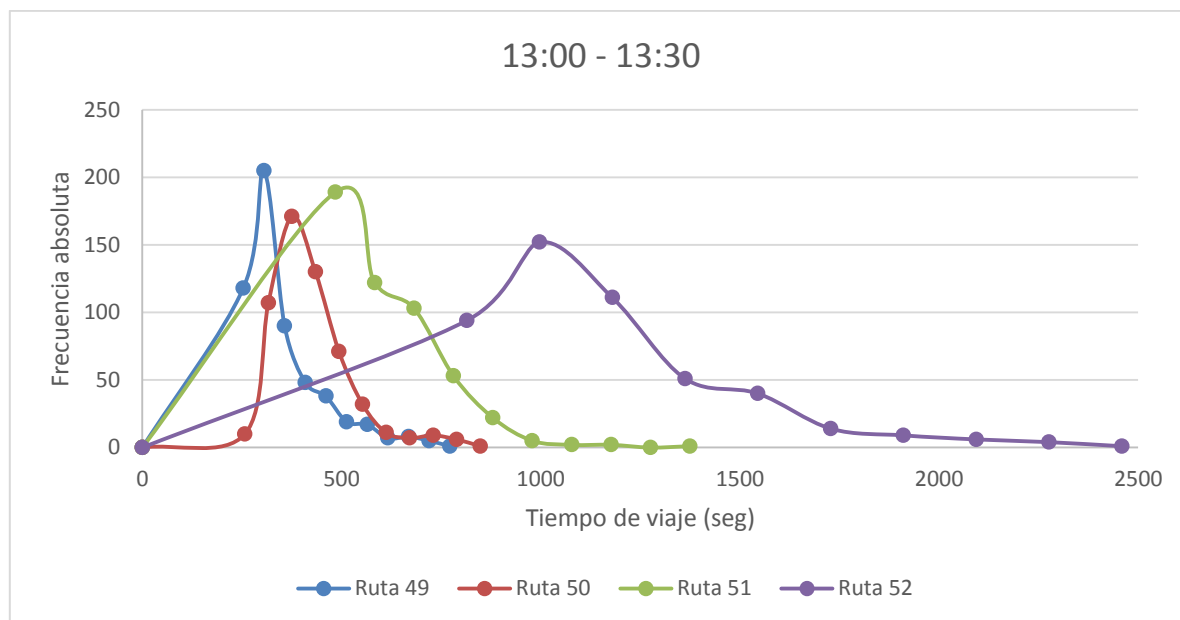


Figura 6. Diferencias de distribuciones de frecuencias en rutas

(Fuente: Elaboración propia)

También es necesario destacar que las distribuciones de una misma ruta cambian durante el día. Esto se debe a la variabilidad que existe en los tiempos de viaje, presencia de horas punta, (punta mañana, punta tarde), y fuera de punta.

En la Figura 7 quedan demostrados los supuestos de Rakha acerca de la normalidad de los datos observados, y de cómo estas se ajustan mejor a una distribución logarítmica normal en condiciones sin congestión

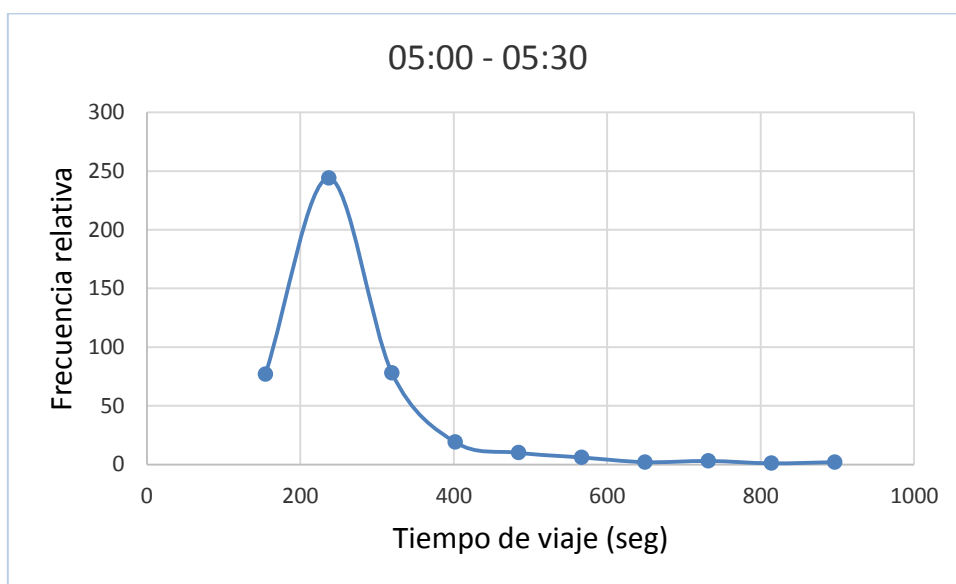


Figura 7. Ejemplo de distribución logarítmica normal. Ruta 49, Valparaíso.

(Fuente: Elaboración propia)

En algunas distribuciones de frecuencia, se observó en la cola derecha un grado de elevación de la curva. Esto es debido a los efectos de la congestión no recurrente, consecuencia de incidentes de tránsito, como accidentes, reparaciones de la calzada, etc. En estos diagramas, es posible identificar la frecuencia de los incidentes. Si estas elevaciones se reiteran en días consecutivos, se puede identificar la frecuencia con la que ocurren. Lo anterior queda demostrado en la Figura 8 mostrada a continuación.

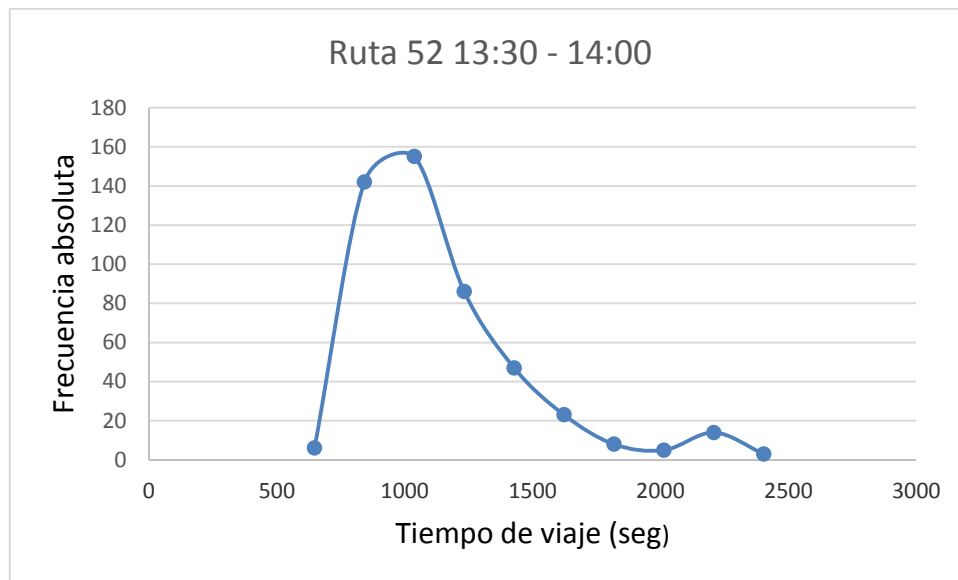


Figura 8. Visualización de congestión no recurrente en distribuciones de frecuencia

(Fuente: Elaboración propia)

También se analizaron los diagramas de distribución de frecuencias de tiempos de viaje a lo largo de 24 horas para cada ruta en estudio. Para el diseño, es necesario realizar un cambio en la forma de construcción de las distribuciones, comenzando por el inicio de los valores en cero, y la amplitud de los intervalos señaladas arbitrariamente, tomando en cuenta valores de referencia como 30 y 60 segundos. De igual manera, se disminuyó el largo de la columna de frecuencias relativas, puesto que en muchas rutas, un valor máximo extraordinario alteraba toda la muestra analizada. Todo lo anterior fue realizado para el correcto análisis de curvas de distribución a lo largo del día.

La superficie creada tiene como ejes principales el eje X con la hora del día, eje Y con los intervalos de frecuencia, y el eje Z con la matriz de frecuencias relativas.

La Figura 9 muestra los ejes X, Y, Z, con los que fue graficada la superficie de distribuciones de frecuencia de tiempos de viaje.



Figura 9. Esquema de datos para la construcción de superficies de distribuciones

(Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 10, se muestra la superficie creada por distribuciones de frecuencia de tiempos de viaje de la Ruta 57 en Valparaíso, con una agregación temporal de 60 minutos, a lo largo de 24 horas.

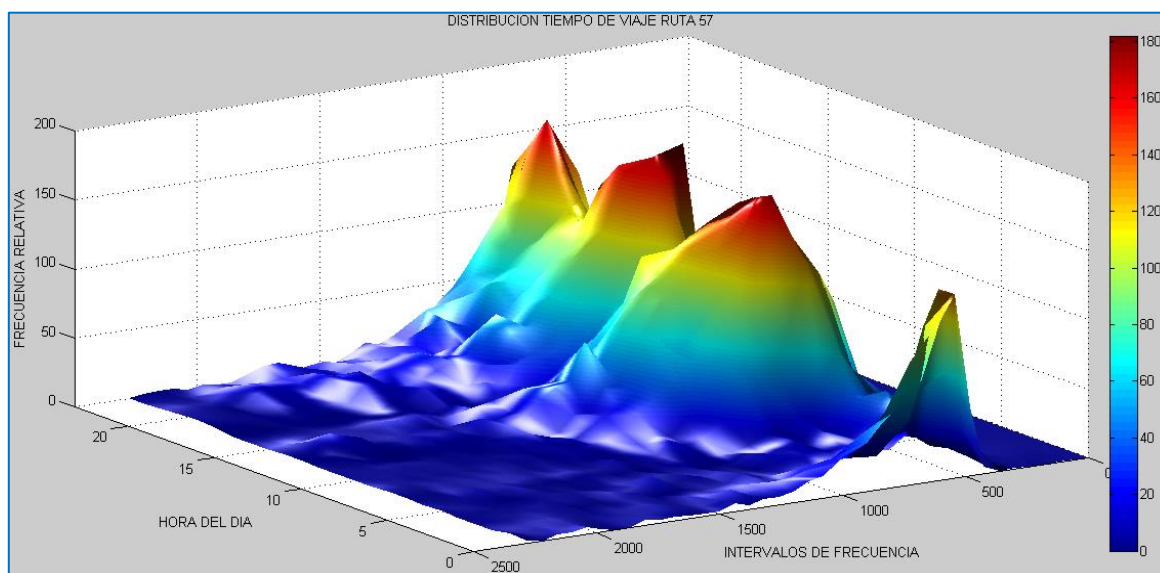


Figura 10. Superficie de distribución de frecuencias de tiempos de viaje. Ruta 57, Valparaíso

(Fuente: Elaboración propia)

La superficie creada tiene como ejes principales el eje X con la hora del día, eje Y con los intervalos de frecuencia, y el eje Z con la matriz de frecuencias relativas.

Con la construcción de la superficie, es posible realizar una serie de análisis sobre la variación del tiempo de viaje en las 24 horas del día.

5.1.1 Variabilidad de la forma de las distribuciones de frecuencia

A lo largo del día, se puede observar la variabilidad en la distribución de frecuencias. En la Figura 11, se muestra el plano XZ, donde las curvas de distribución más esbeltas, es decir con poca variabilidad de datos con respecto a la media, tienen el máximo valor de frecuencia mostrado en color rojizo, por ejemplo entre 07:00 – 11:00 hrs. y entre 14:00 – 17:00 hrs. En cambio, las curvas de distribución más achatadas, donde existe una mayor dispersión de datos con respecto a la media, no llegan a una altura considerable, tomando un color amarillo, por ejemplo entre 11:00 – 14:00 hrs y 17:00 – 21:00 hrs. Es importante tener en cuenta que esto no se deba a la falta de datos de tiempo de viaje en un periodo del día, como ocurre entre las 02:00 y 04:00 hrs. del día analizado.

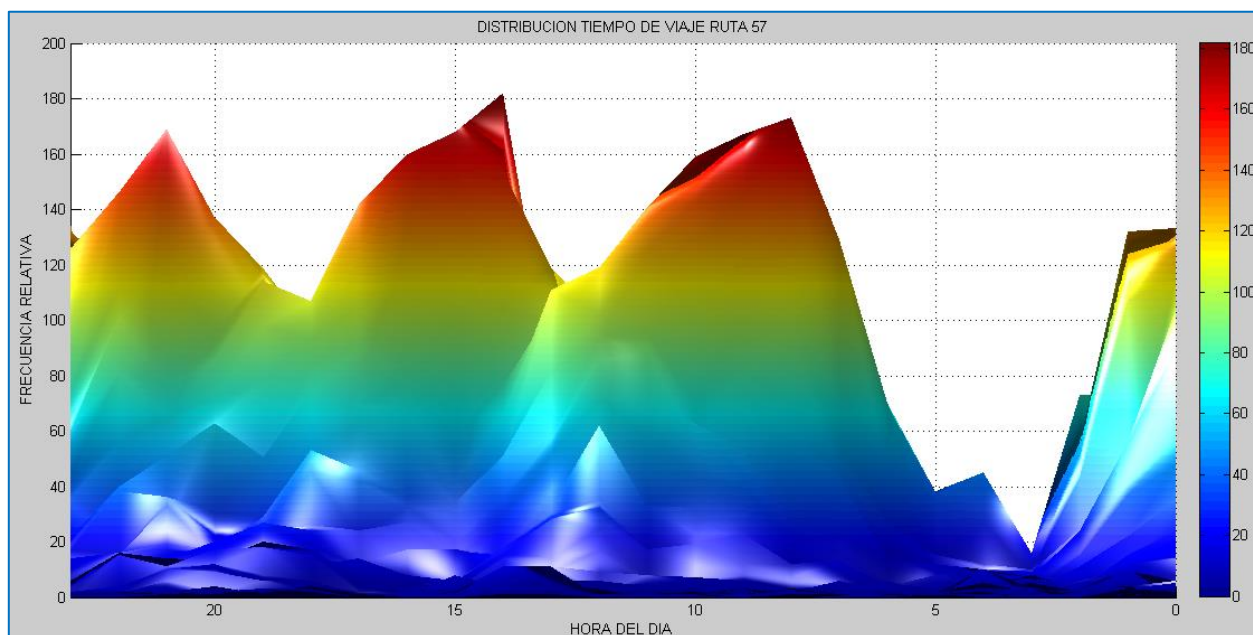


Figura 11. Variabilidad de frecuencias de tiempos de viaje en 24 horas. Ruta 57, Valparaíso

(Fuente: Elaboración propia)

5.1.2 Desplazamiento de curvas a lo largo del día

La variación de las distribuciones de frecuencia de tiempos de viaje ocurre por diversos factores asociados al tráfico y congestión. En la Figura 12, se muestra gráficamente este desplazamiento en el plano XY, donde se puede identificar las situaciones de horas punta y fuera de punta.

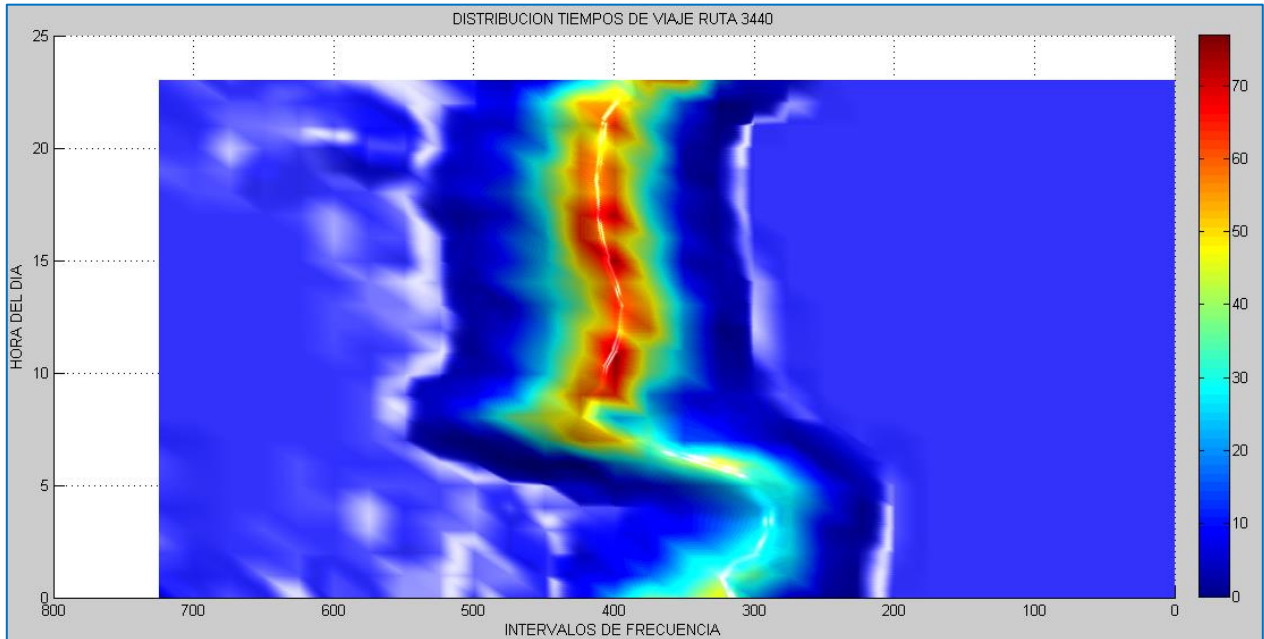


Figura 12. Desplazamiento de curvas de frecuencia a lo largo del día. Ruta 3440, Puerto Montt.

(Fuente: Elaboración propia)

En la Figura 12 se muestra con claridad el desplazamiento hacia la izquierda de las distribuciones de frecuencia de tiempo de viaje a partir de las 09:00 hrs., y más adelante, una variación de la media a medida que la hora avanza hasta la punta tarde, formando una especie de “S”.

El resultado de las superficies de distribuciones de tiempo de viaje de todas las rutas se encuentran en el Anexo D, al final de este documento.

5.2 Métricas de confiabilidad de tiempos de viaje

Las métricas de confiabilidad aplicadas a los datos de tiempo de viaje fueron las señaladas en el Capítulo 5 de este documento.

En la Figura 9 se muestra la aplicación de las métricas de confiabilidad para la ruta 49, con una agregación temporal de 30 minutos, y hora de inicio a las 11:30. La figura va acompañada con un diagrama donde se muestra las variaciones de la media y la mediana, que son los parámetros principales en la aplicación de las métricas.

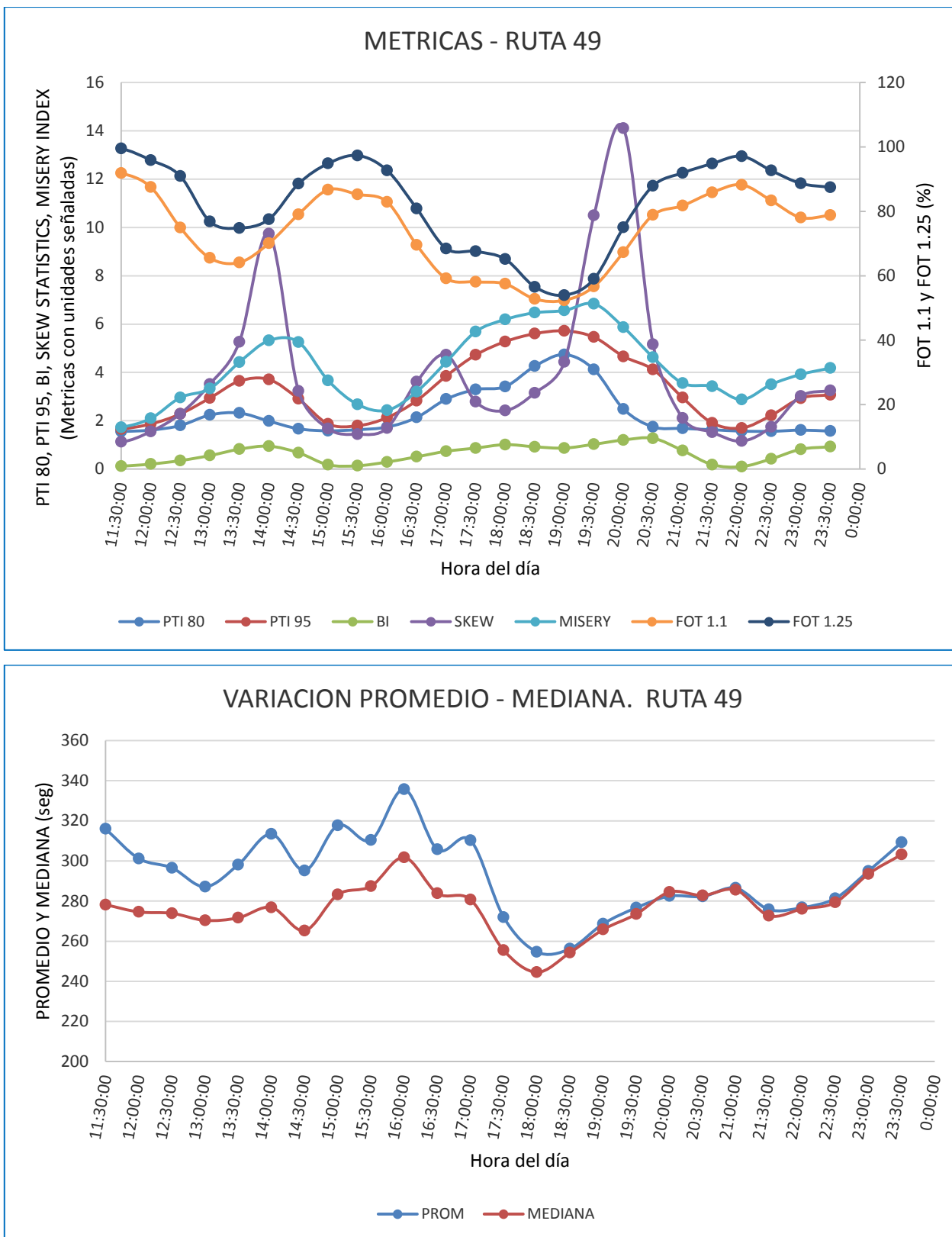


Figura 13. Métricas de confiabilidad de tiempos de viaje y variaciones de media y mediana.

(Fuente: Elaboración propia)

En este estudio, se aplicaron las métricas para distintos niveles de agregación temporal. En la Figura 10 se observa los cambios que ocurren cuando estas métricas se aplican a niveles más finos de tiempo. Para el ejemplo se utilizará el 80th Percentile Travel Time Index.

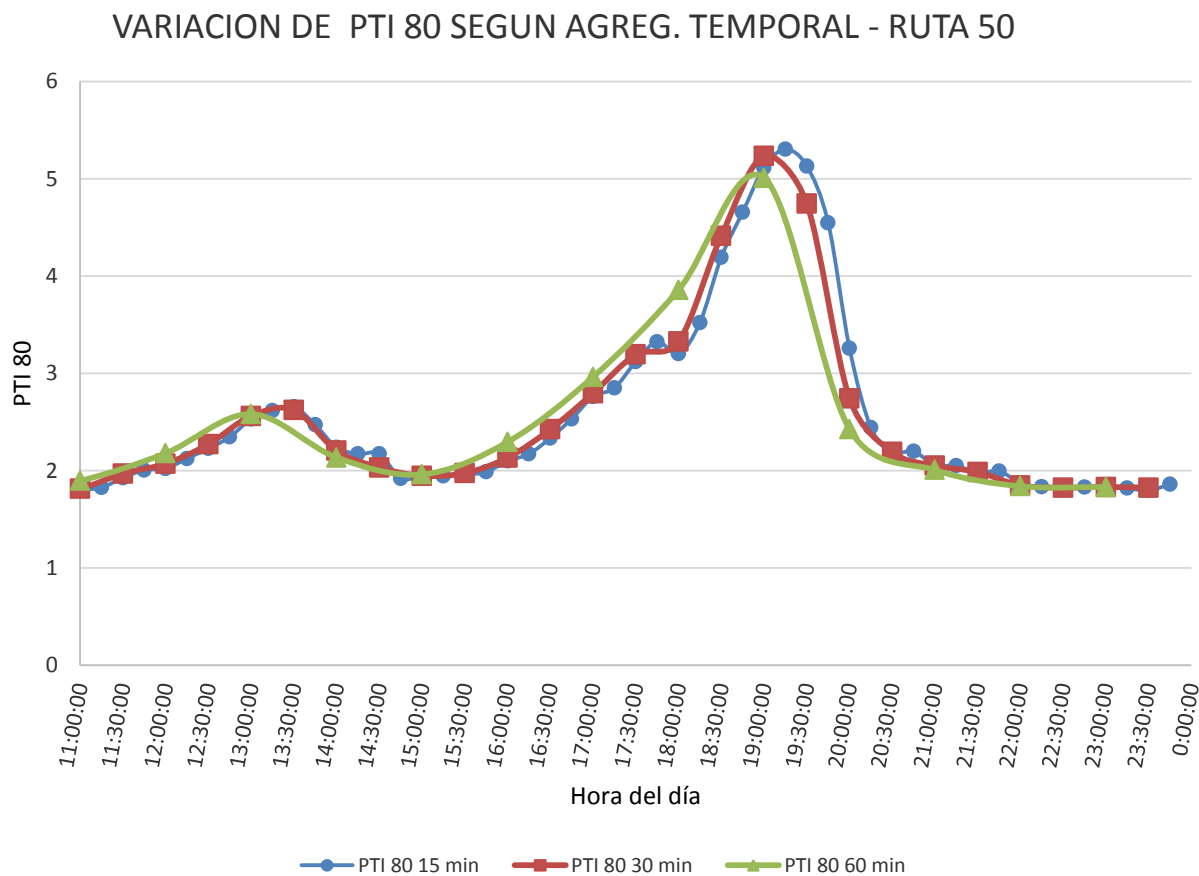


Figura 14. Variación de PTI 80 según niveles de agregación temporal.

(Fuente: Elaboración propia)

Se puede observar que para niveles de agregación temporal más grandes, las curvas son suavizadas, en cambio para niveles más finos, como por ejemplo de 15 minutos, se observa con más detalle el parámetro de confiabilidad. Esto es un fenómeno que podría resultar interesante para un análisis más minucioso en los periodos del día con más congestión, o en los periodos punta.

6. CONCLUSIONES

En la actualidad existen varios métodos de captura de datos de tiempo de viaje, sin embargo, estos métodos presentan desventajas importantes en relación al alto precio y costos de operación, la captura de los datos en condiciones promedio de operación, el tamaño pequeño de la muestra, los problemas de privacidad, y la incapacidad para informar los tiempos de viaje en tiempo real. Es en estos casos donde se necesita un método para proporcionar los datos de tiempo de viaje con precisión, de manera rentable, de forma anónima, y en tiempo real. La recopilación de datos de tiempos de viajes basados en el método Bluetooth es capaz de lograr todos los objetivos anteriormente nombrados, y también permite la captura de datos en forma intensiva y en pequeños intervalos de tiempo.

También existen muchas medidas de confiabilidad que se han recomendado para su aplicación. Es importante que el análisis de estos parámetros sea realizado para niveles de agregación temporal pequeños, de esta manera se pueden realizar estudios más detallados, estudios que en tiempos más prolongados de agregación serían imperceptibles.

Los resultados muestran que no todas las métricas representan de la misma manera los cambios en las demoras en los recorridos de la misma manera. La métrica que menos sensibilidad presenta al aumento de la congestión es el Buffer Index. El Percentil 80, PTI, FOT 1.1 y FOT 1.25 muestran movimientos de acuerdo a la variabilidad de los tiempos de viaje, pero se logra distinguir un cambio significativo, es decir, reacción dentro de lo esperado. En el mismo periodo de análisis, se observó que la métrica Skew Statistics presenta grandes cambios al aumento o disminución de congestión, esto en Punta Mañana, y Punta Tarde. También se advierten variaciones en comparación a lo esperado en momentos anteriores al comienzo de las horas punta, lo que se debe a la dispersión de datos de las distribuciones de tiempo de viaje.

En las distribuciones de tiempo de viaje analizadas se puede observar un claro desplazamiento de las curvas a medida que avanza la hora del día, producto del aumento de flujos de vehículos y por lo tanto de la congestión recurrente. También se identifica la variabilidad de estas distribuciones al observar diferentes el aumento y descenso de las frecuencias de tiempos de viaje.

Los valores de métricas analizadas concuerdan con las encontradas por Álvarez, porque están dentro de los parámetros esperados. La diferencia está en que las métricas no reaccionaron de la misma manera.

7. RECOMENDACIONES

- Repetir este estudio con una cantidad de datos superiores a dos meses, de preferencia seis meses, tal como se recomienda en la literatura. Esto para conseguir resultados con una representatividad mayor.
- Repetir el estudio considerando el periodo Marzo – Diciembre.
- Utilizar el enfoque de confiabilidad antes y después de una intervención o mejora, con el objetivo de evaluar si éstas mejoras fueron o no efectivas.

8. REFERENCIAS

Álvarez, P.; Hadi, A. (2012). Time-Variant Travel Time Distributions and Reliability Metrics and their Utility in Reliability Assessments.

Liu, H., et al. (2004). Uncovering the contribution of travel time reliability to dynamic route choice using real-time loop data. *Transportation Research Part A*38, 435–453.

Lyman, K., Bertini, R. (2007). Using Travel Time Reliability Measures to Improve Regional Transportation Planning and Operations. Submitted for presentation and publication to the 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board January 13–17, 2008

Rakha, H., El-Shawarby, I., and Arafeh, M. (2007). Trip Travel Time Reliability: Issues and Solutions. Intelligent Transportation Systems Conference, ITSC.

Taylor, M, et al. (2000). Integration of the global positioning system and geographical information systems for traffic congestion studies, *Transportation Research Part C*, vol. 9, pp. 257-285.

Vo, T. (2011). An investigation of Bluetooth technology for measuring travel times on arterial roads: a case study on Spring Street. M.Sc. thesis, School of Civil & Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.

ANEXO A. UBICACIÓN DE RUTAS

A continuación se mostrarán las ubicaciones de las rutas estudiadas para el cálculo de métricas de confiabilidad de tiempos de viaje.

Ciudad	Ruta	Tramo
Valpo - Viña del Mar	Ruta 49	VMS - Av. Marina - Puente Ecuador
	Ruta 50	VMS - Álvarez - Puente Ecuador
	Ruta 51	VMS Placilla a Valparaíso por Santos Ossa
	Ruta 52	VMS Placilla a Viña del Mar por Agua Santa
	Ruta 53	VMS Placilla a Viña del Mar por Las Palmas
	Ruta 55	6 a 7
	Ruta 57	10 a 8
	Ruta 58	10 a 9
Pto. Montt	Ruta 3437	u328 hasta u327
	Ruta 3438	u327 hasta u328
	Ruta 3439	u329 hasta u331
	Ruta 3440	u331 hasta u329

Tabla A1. Rutas analizadas en Valparaíso – Viña del Mar y Puerto Montt.

(Fuente: Elaboración propia)

A1. Valparaíso – Viña del Mar

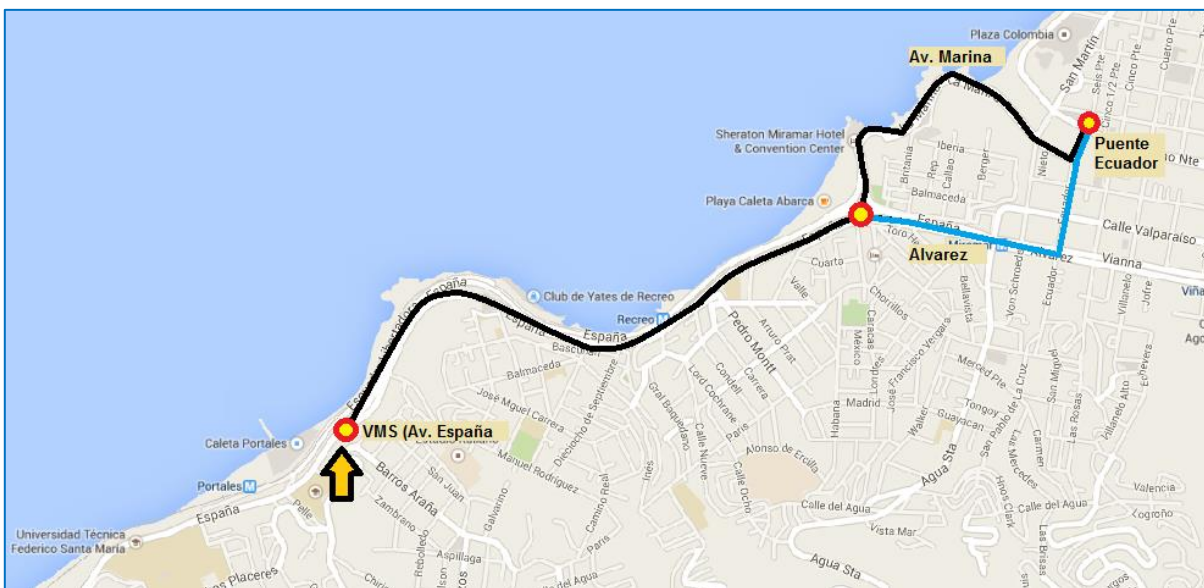


Figura A1. Rutas 49 y 50 de Valparaíso – Viña del Mar



Figura A2. Rutas 50, 51, 52, 53, 55, 57 y 58. Valparaíso – Viña del Mar

A2. Puerto Montt

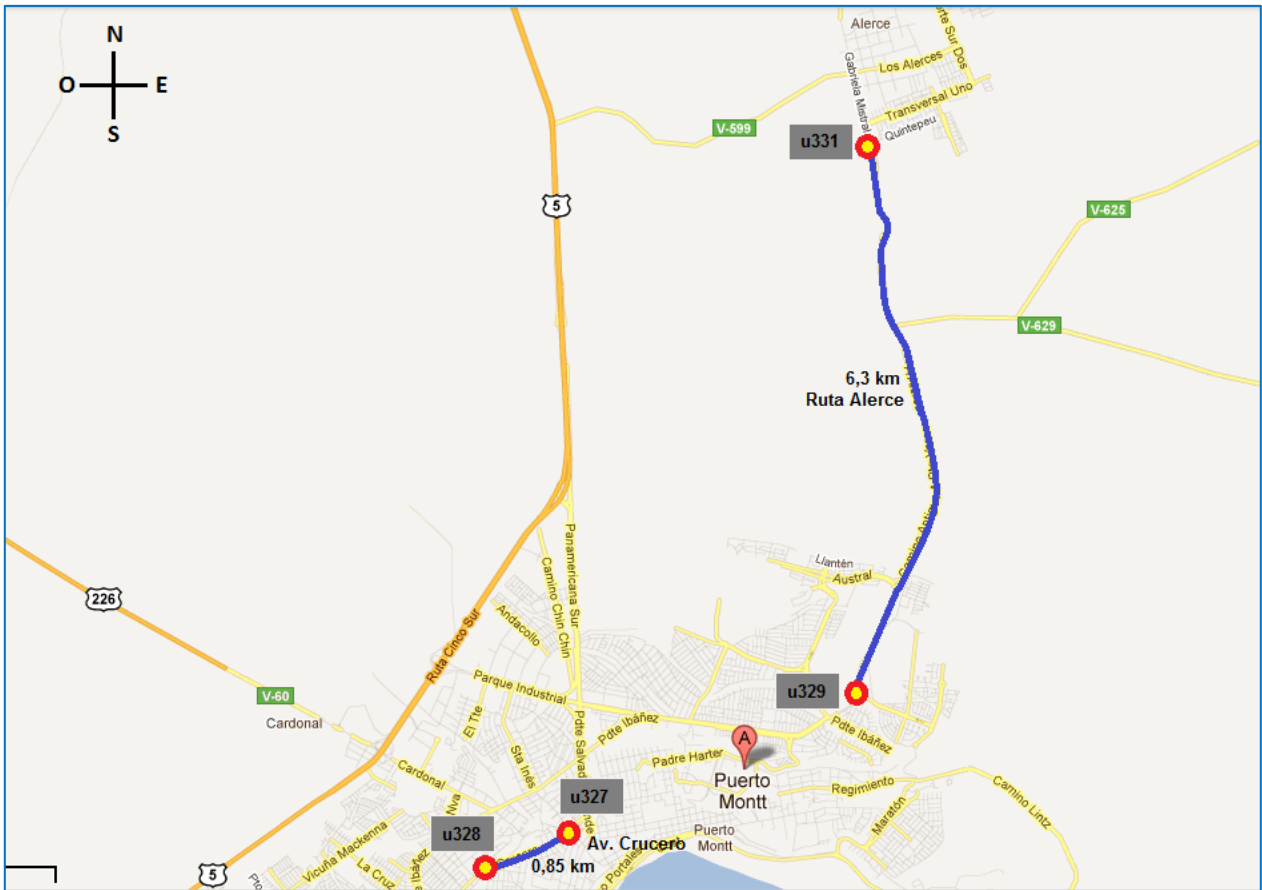


Figura A3. Rutas 3437, 3438, 3439 y 3440. Puerto Montt

Para Puerto Montt:

- u327: Crucero con Vicente Pérez Rosales
- u328: Crucero con Los Sauces
- u329: Camino Alerce con Cuarta Terraza
- u331: Gabriela Mistral con Quintepeu

ANEXO B. TIEMPOS DE VIAJE EN CONDICIONES DE FLUJO LIBRE

A continuación, se muestra en la Tabla B1 los tiempos de viaje en condiciones de flujo libre para todas las rutas analizadas.

Ruta	Tiempo de flujo libre (seg)
Ruta 49	200
Ruta 50	200
Ruta 51	405
Ruta 52	690
Ruta 53	500
Ruta 55	280
Ruta 57	390
Ruta 58	280
Ruta 3437	50
Ruta 3438	60
Ruta 3439	330
Ruta 3440	350

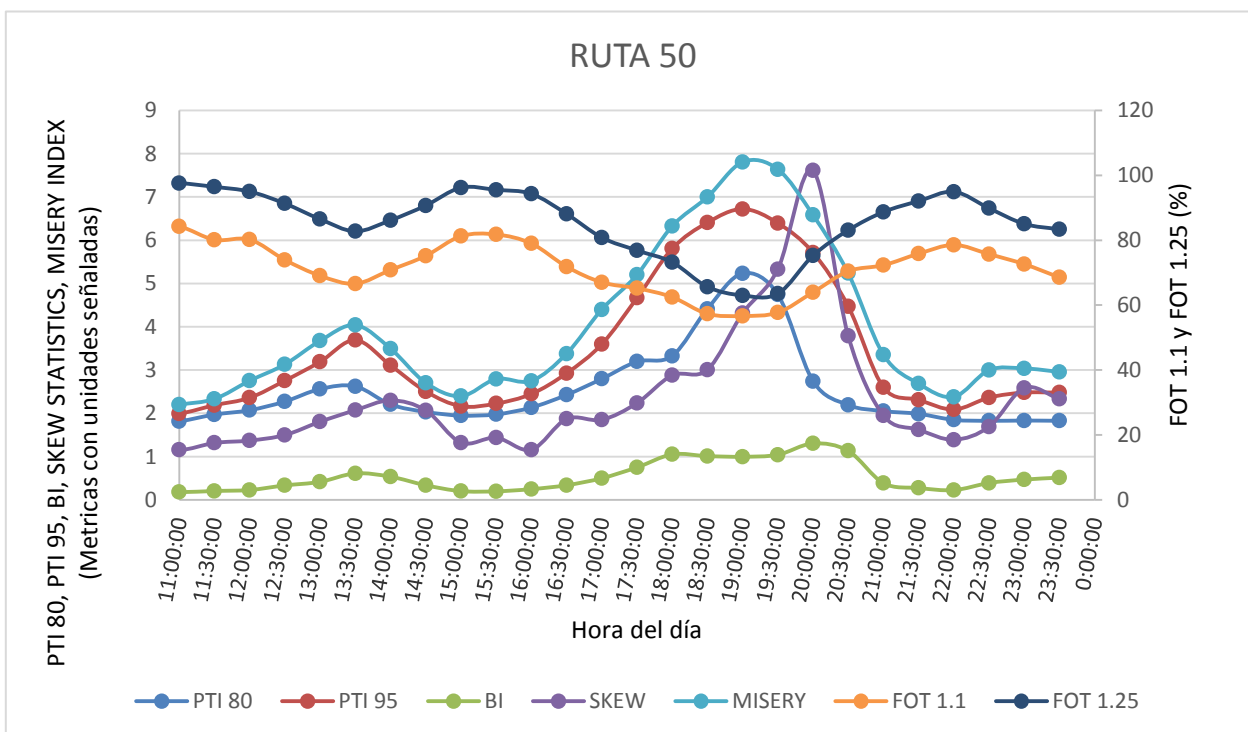
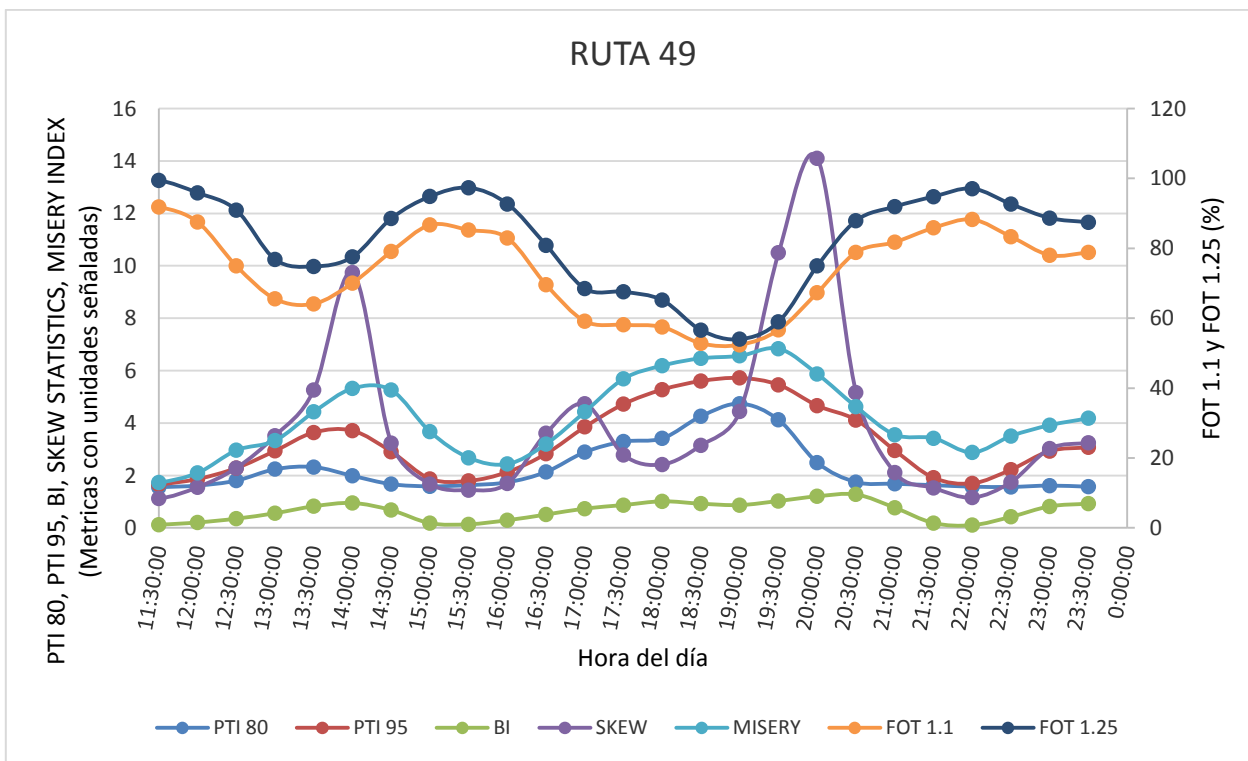
Tabla B1. Tiempos de viaje en flujo libre.

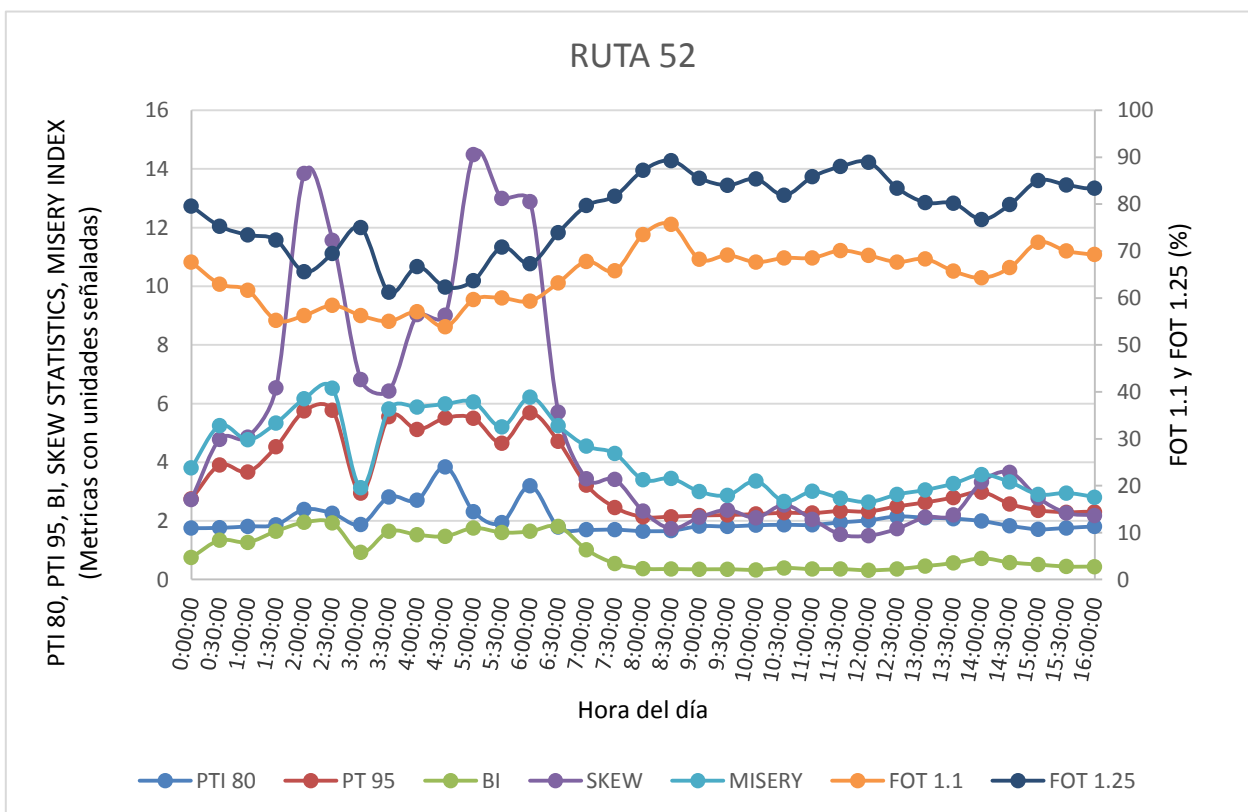
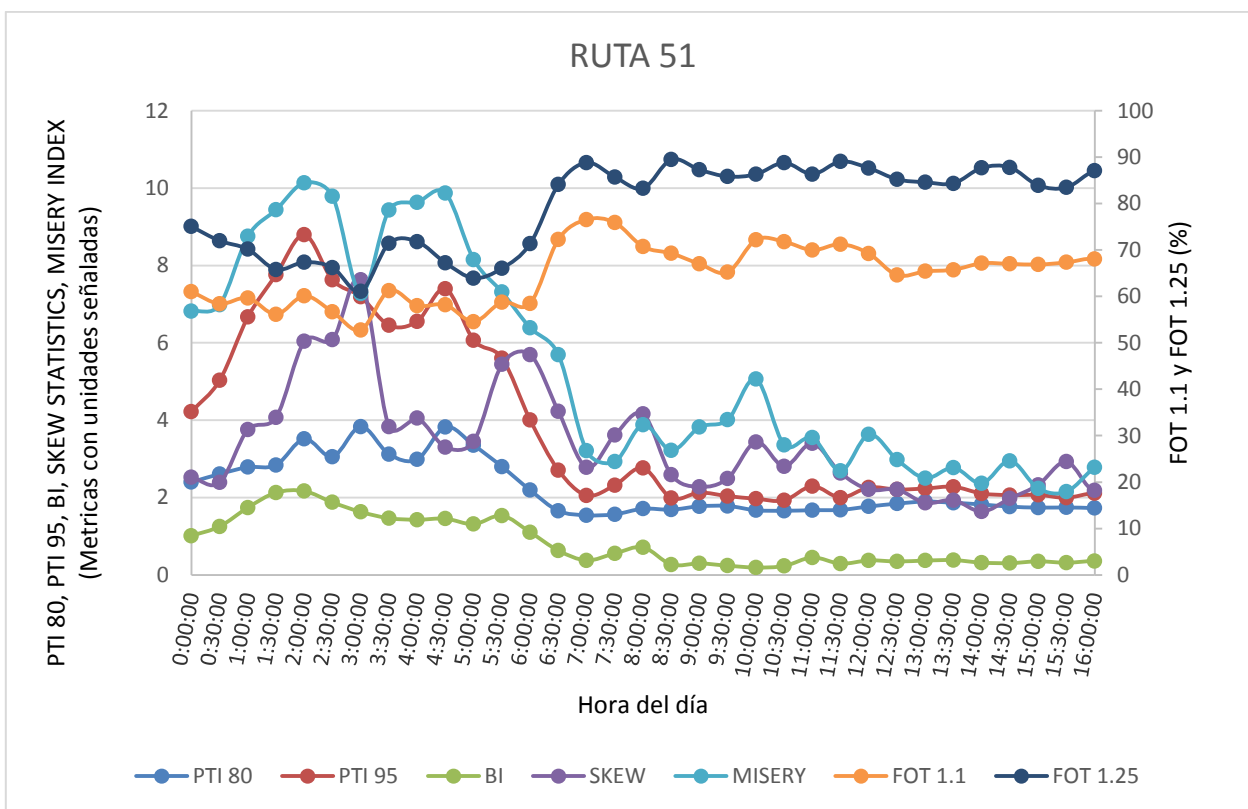
(Fuente: Elaboración propia)

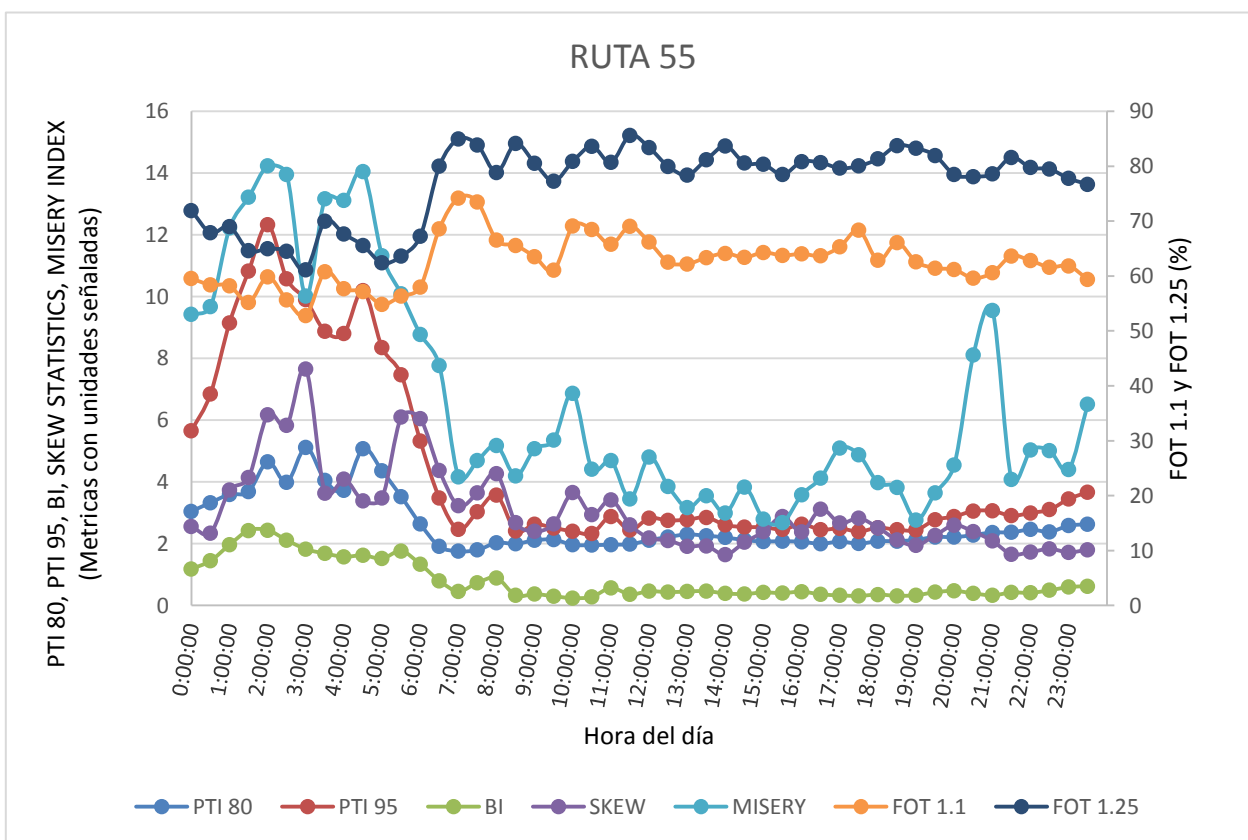
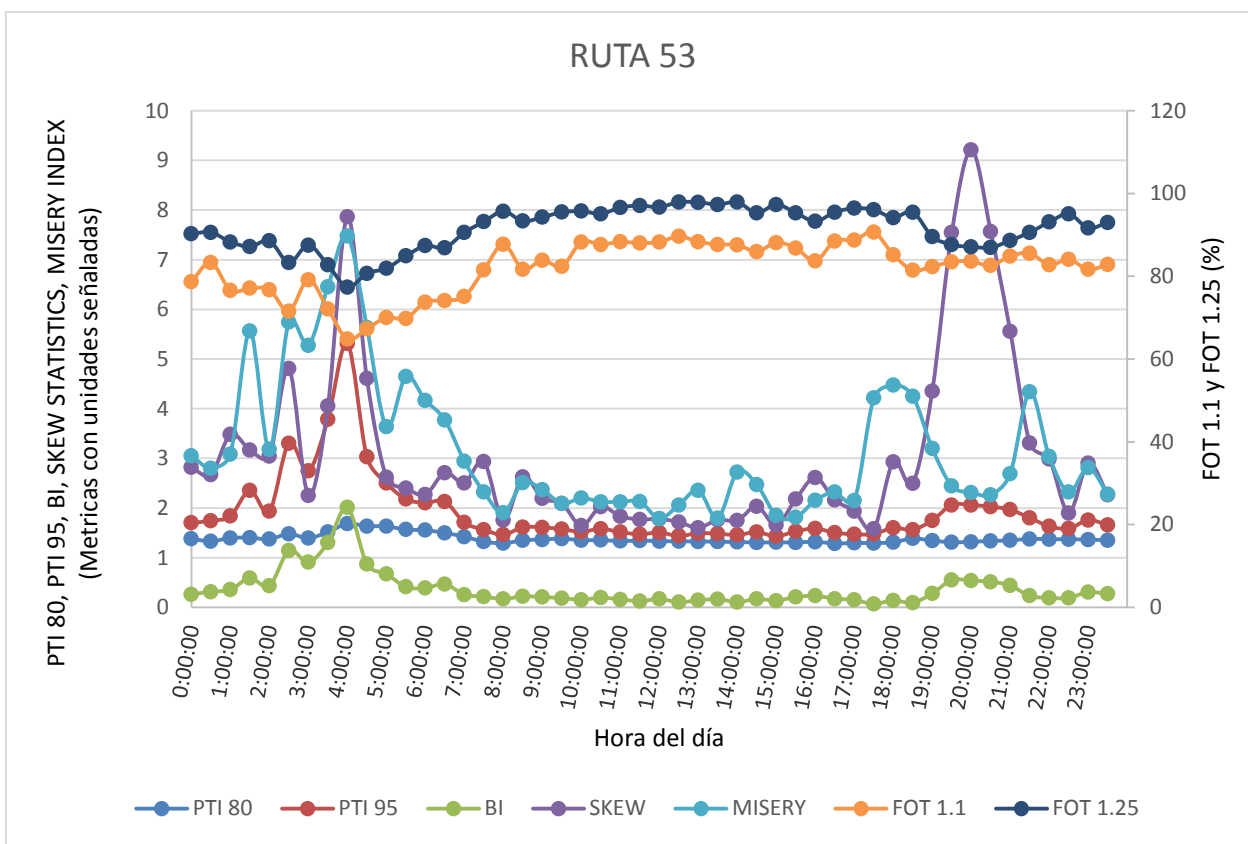
Las rutas 3437 y 3438 indican el mismo tramo pero en sentido contrario, por lo tanto presentan tiempos de viaje en condiciones de flujo libre distintas. Lo mismo sucede con las rutas 3439 y 3440.

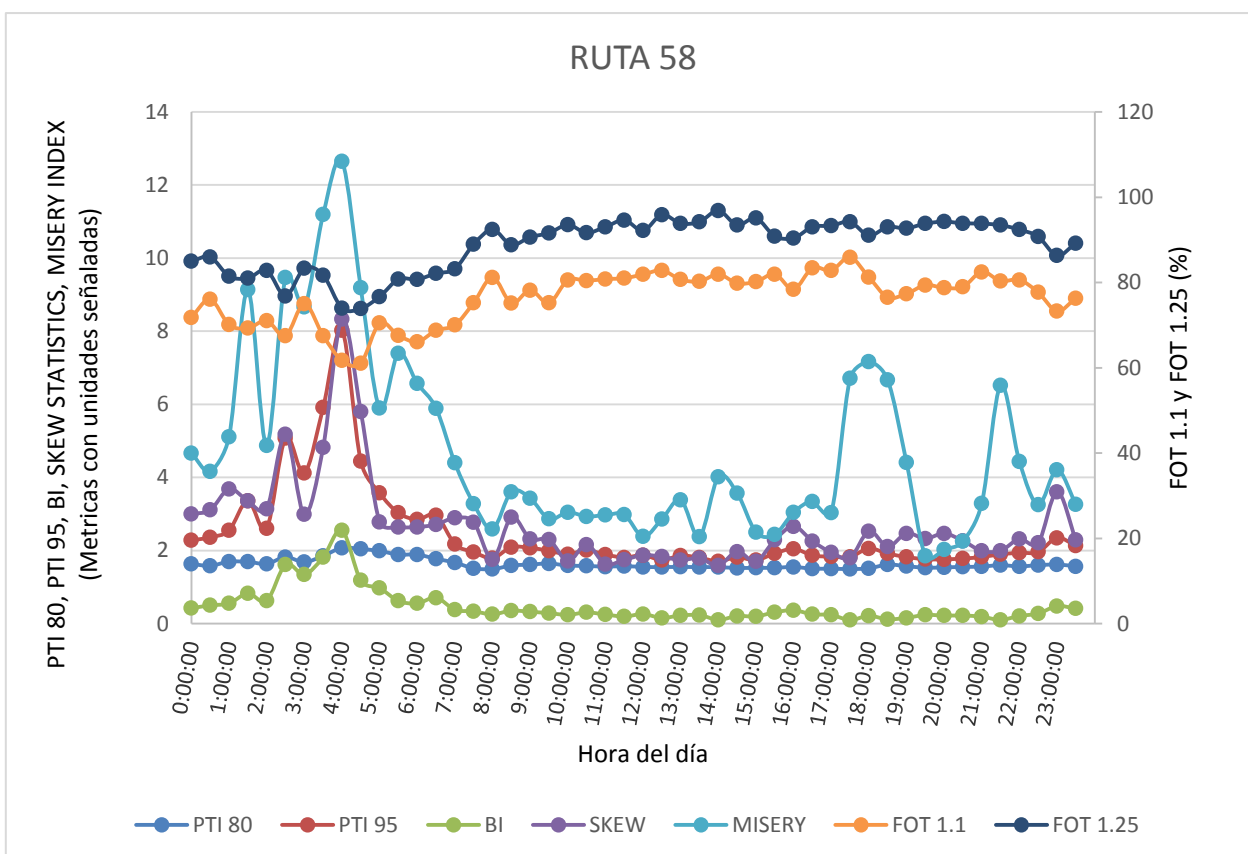
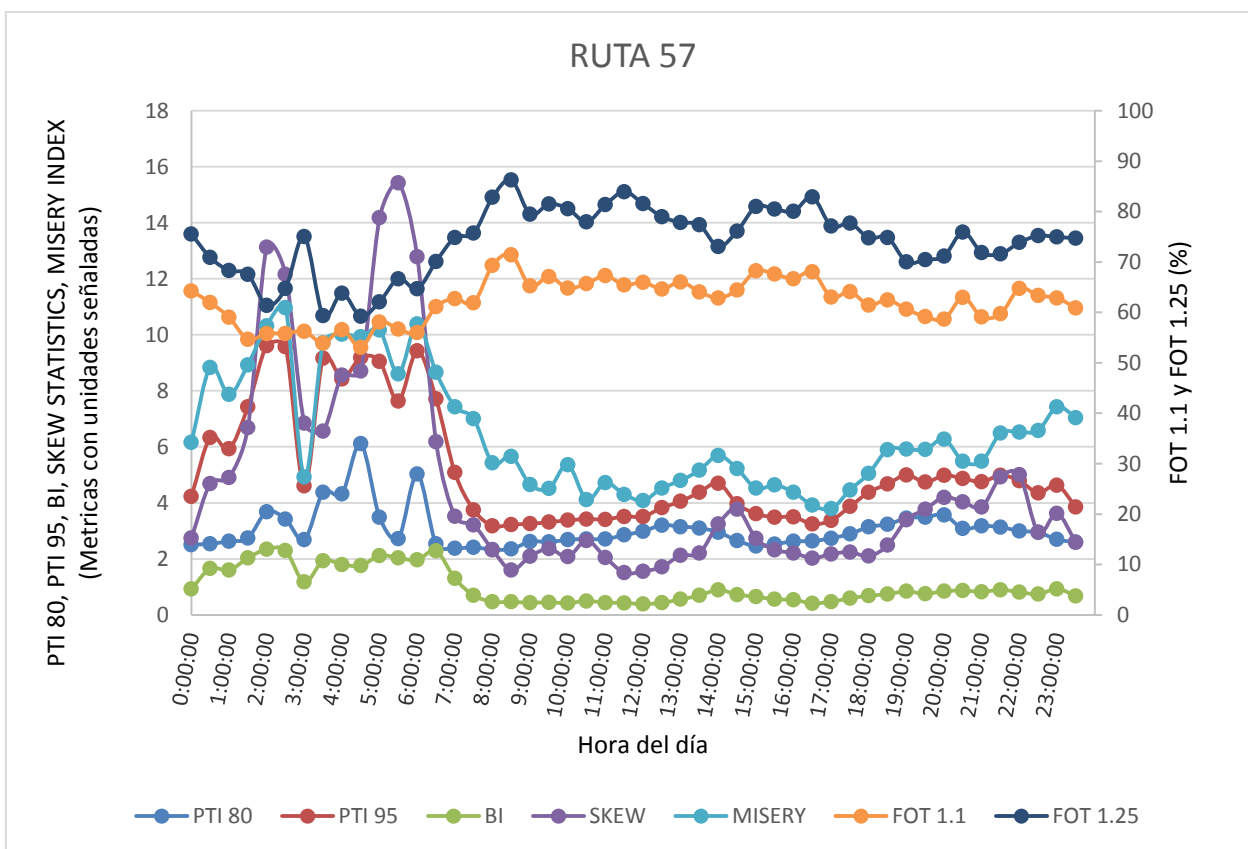
ANEXO C. METRICAS DE CONFIABILIDAD

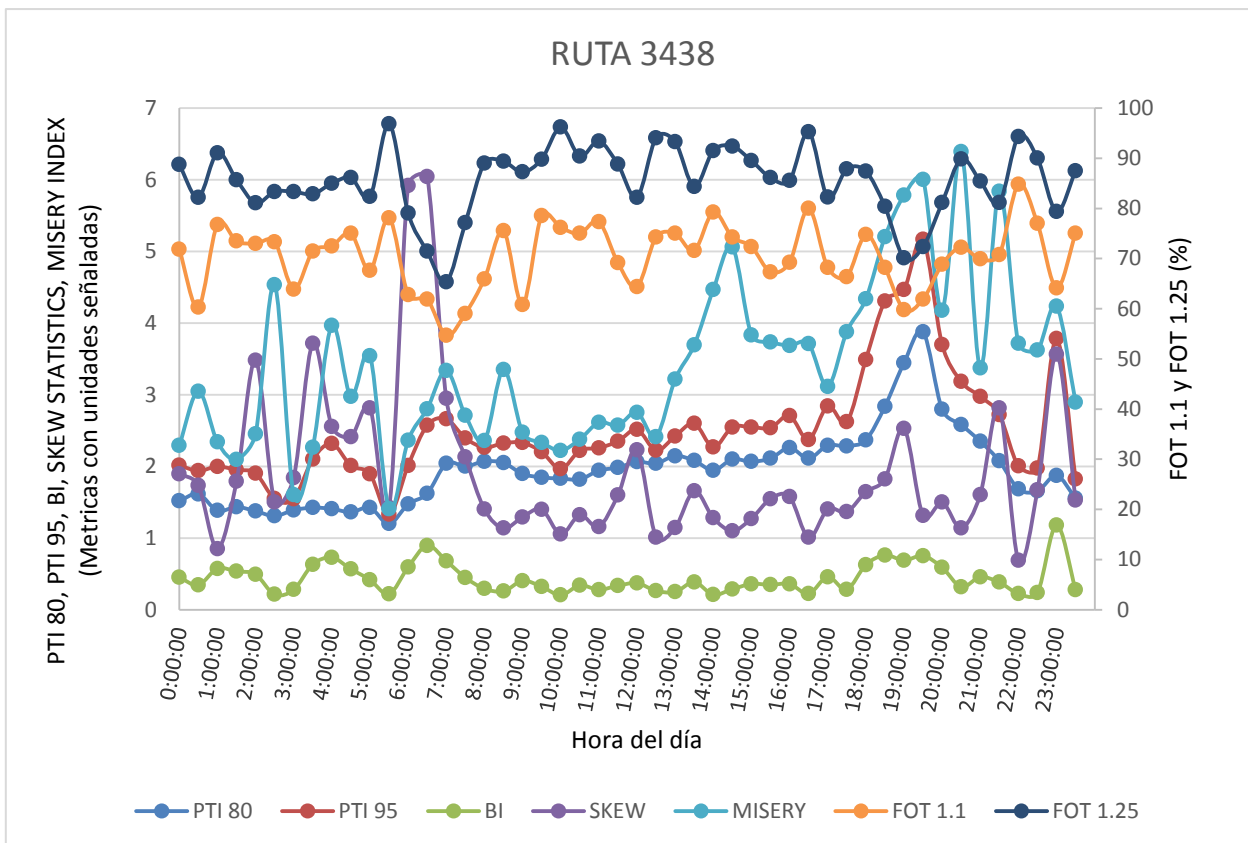
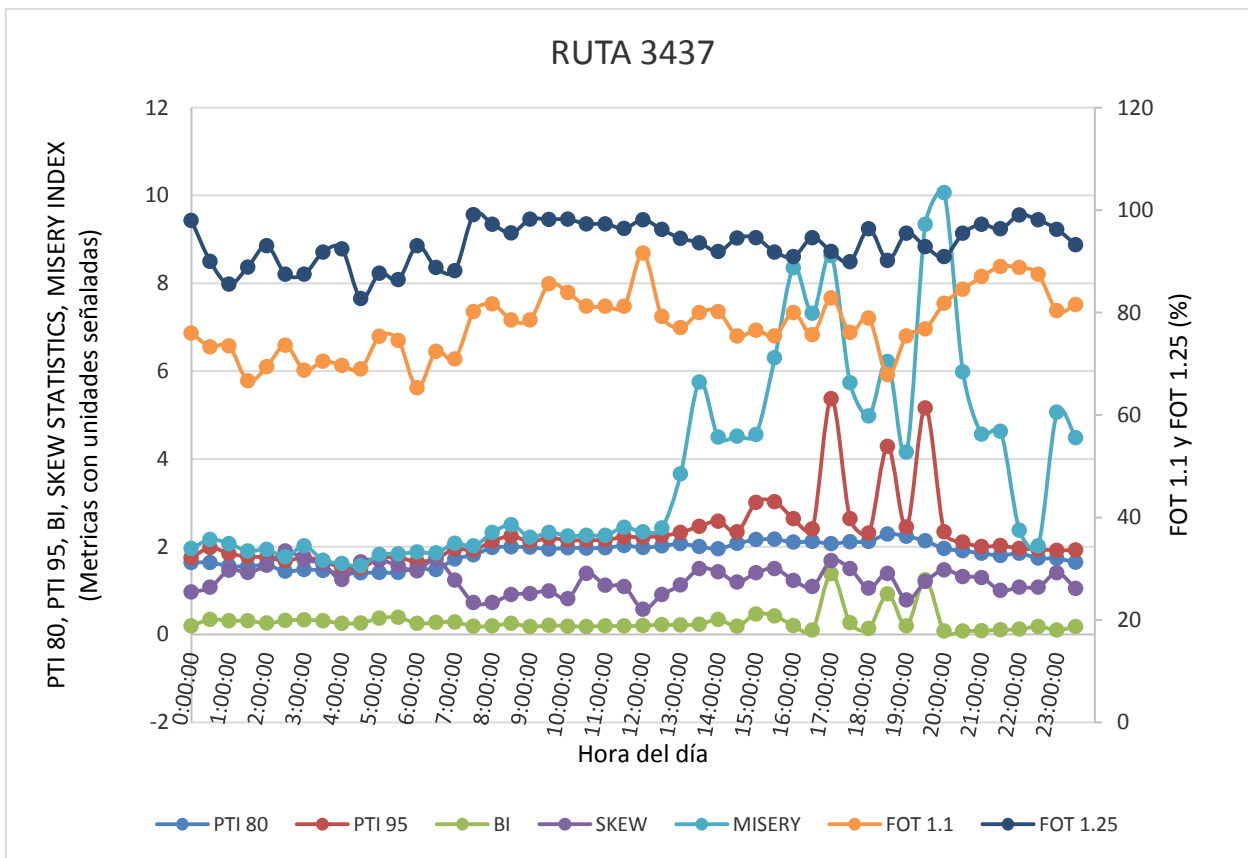
En el presente anexo se muestran los resultados de la aplicación de métricas de confiabilidad de tiempos de viaje para las rutas analizadas.

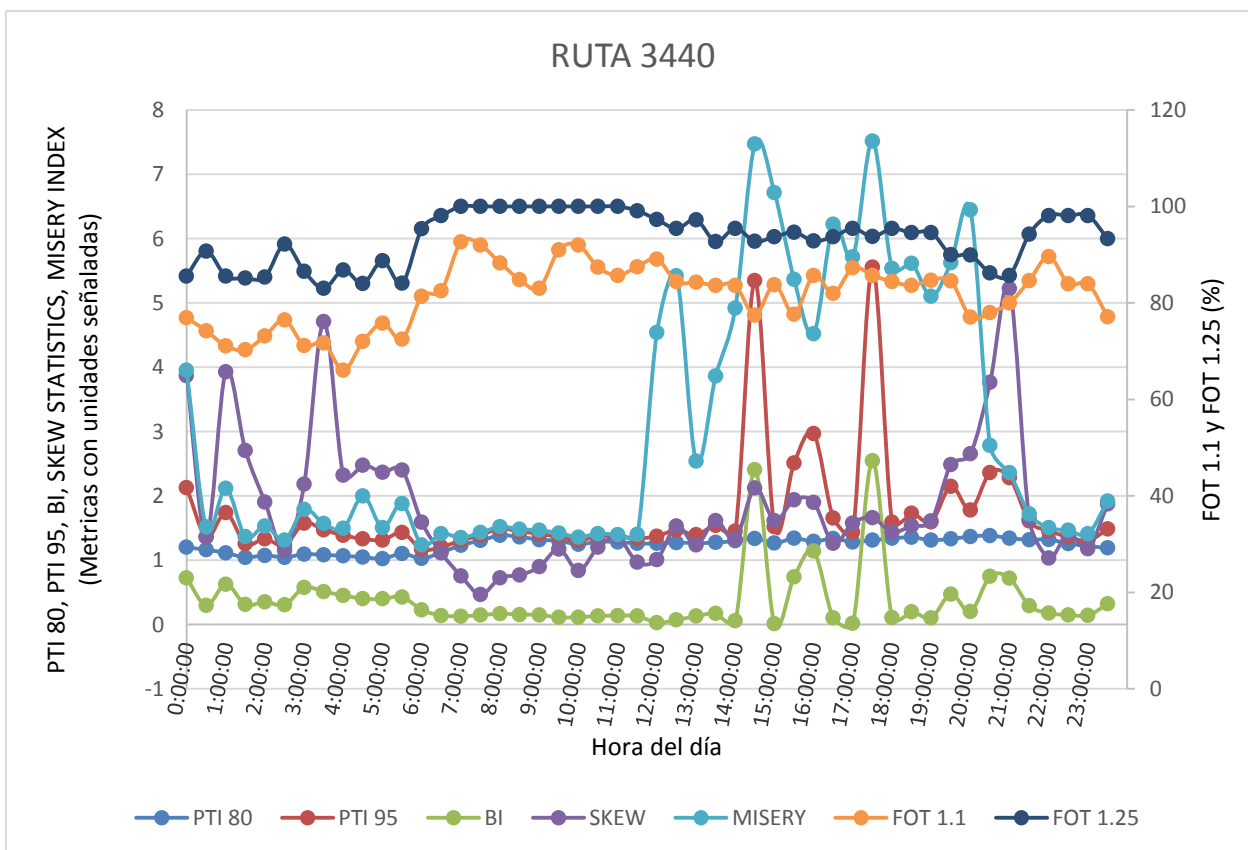
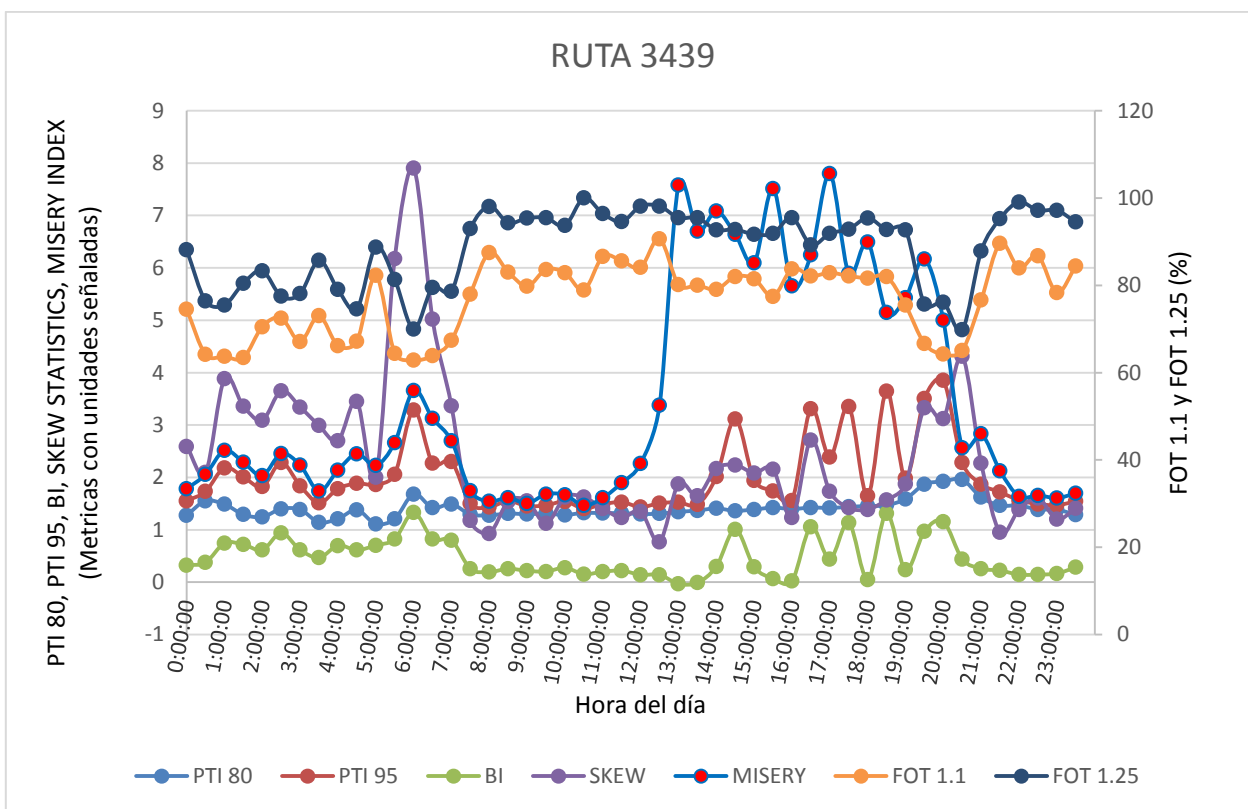












ANEXO D. SUPERFICIES DE DISTRIBUCIONES DE TIEMPO DE VIAJE

A continuación se muestran los resultados de las superficies de distribuciones de tiempos de viaje en todas las rutas analizadas.

D1. Valparaíso – Viña del Mar

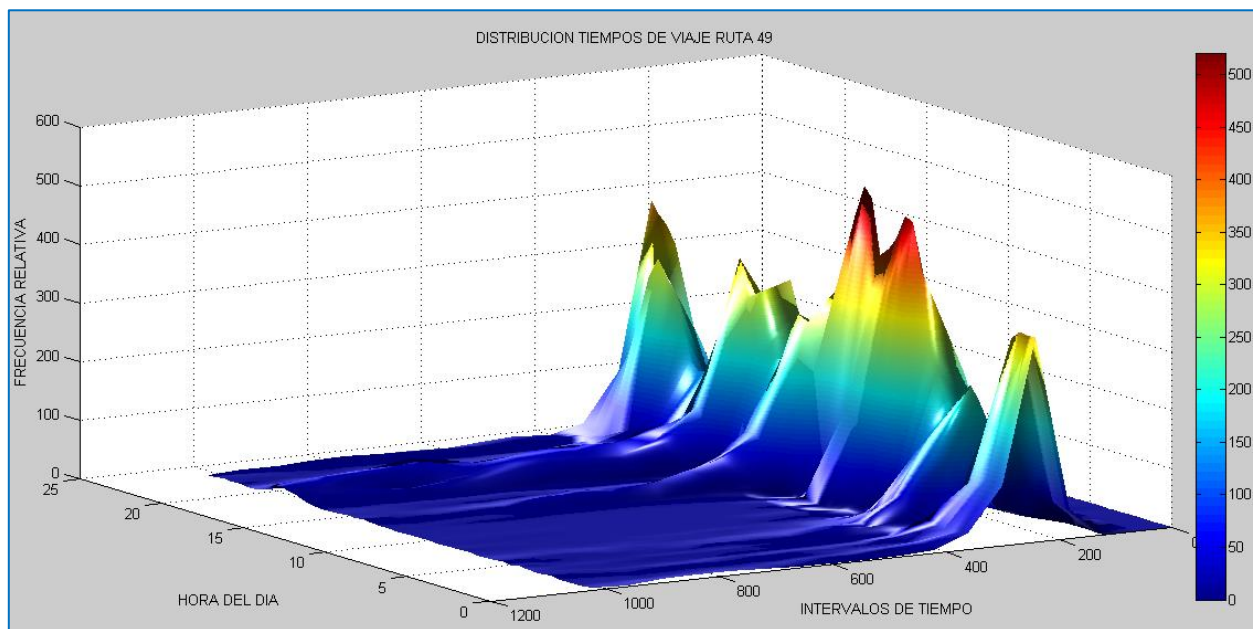


Figura D1. Superficie de distribuciones Ruta 49

(Fuente: Elaboración propia)

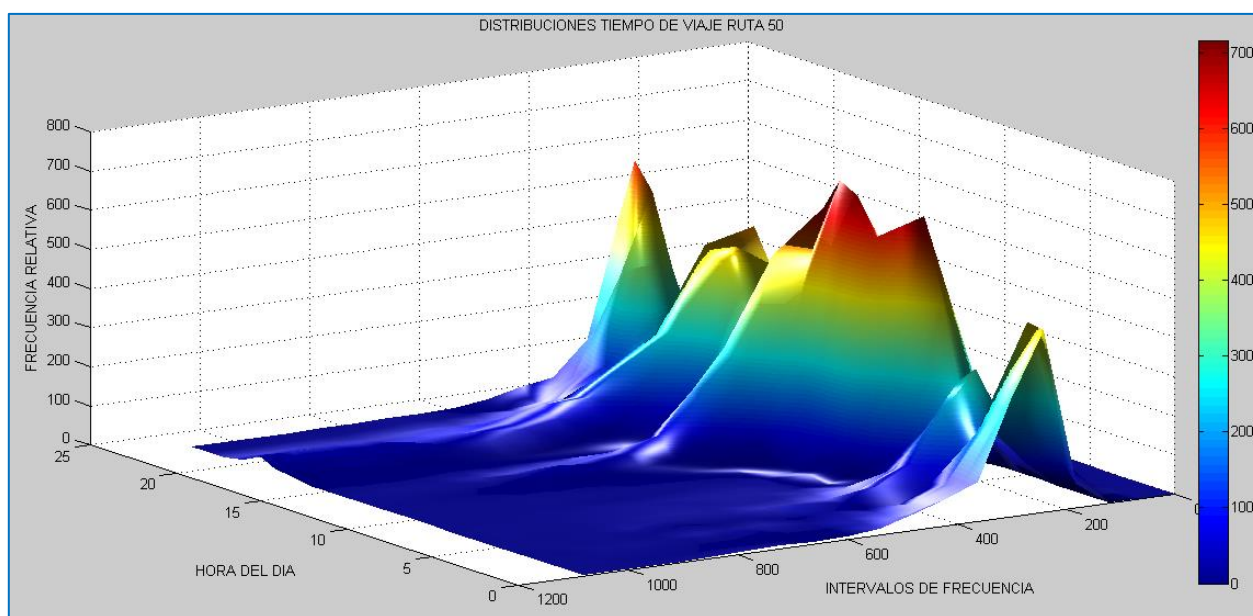


Figura D2. Superficie de distribuciones Ruta 50

(Fuente: Elaboración propia)

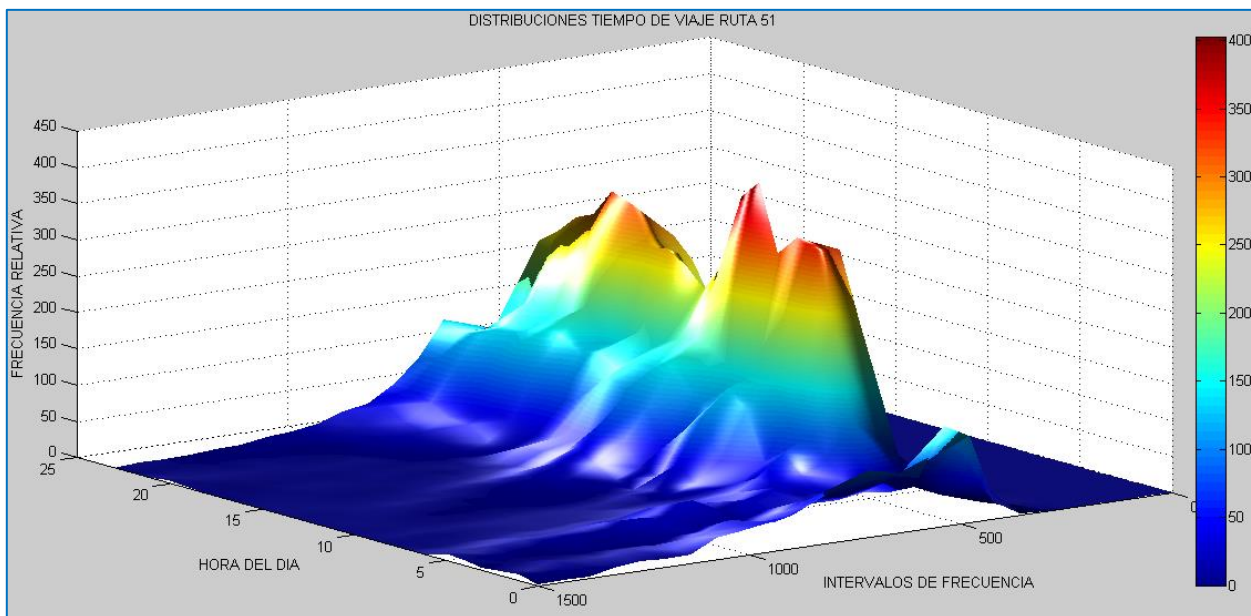


Figura D3. Superficie de distribuciones Ruta 51

(Fuente: Elaboración propia)

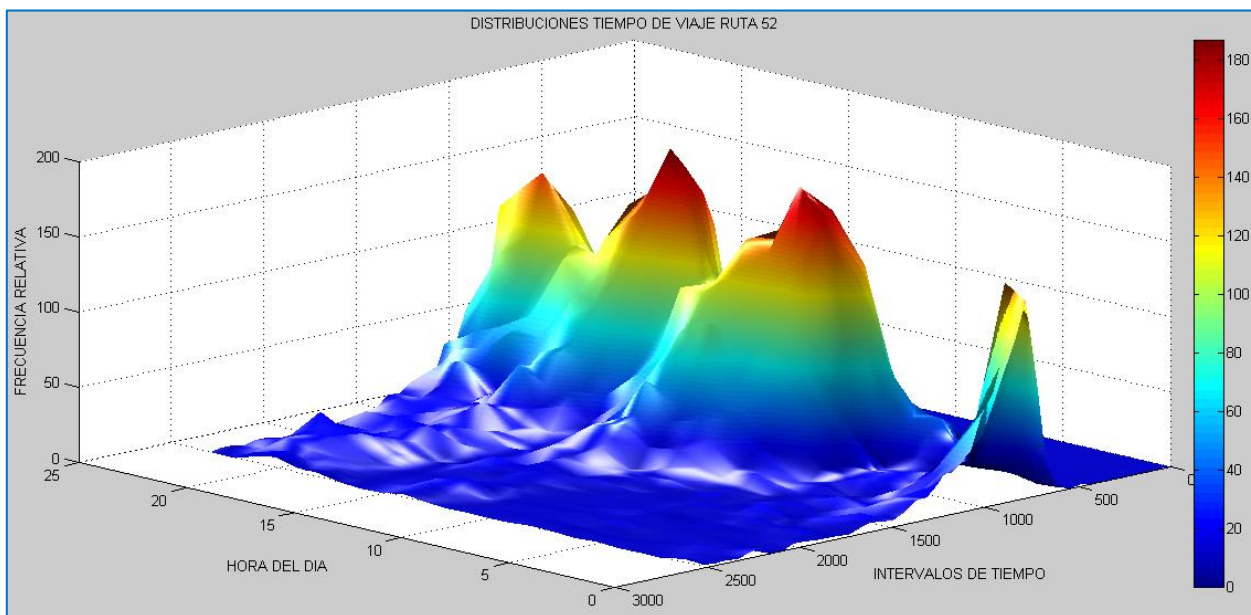


Figura D4. Superficie de distribuciones Ruta 52

(Fuente: Elaboración propia)

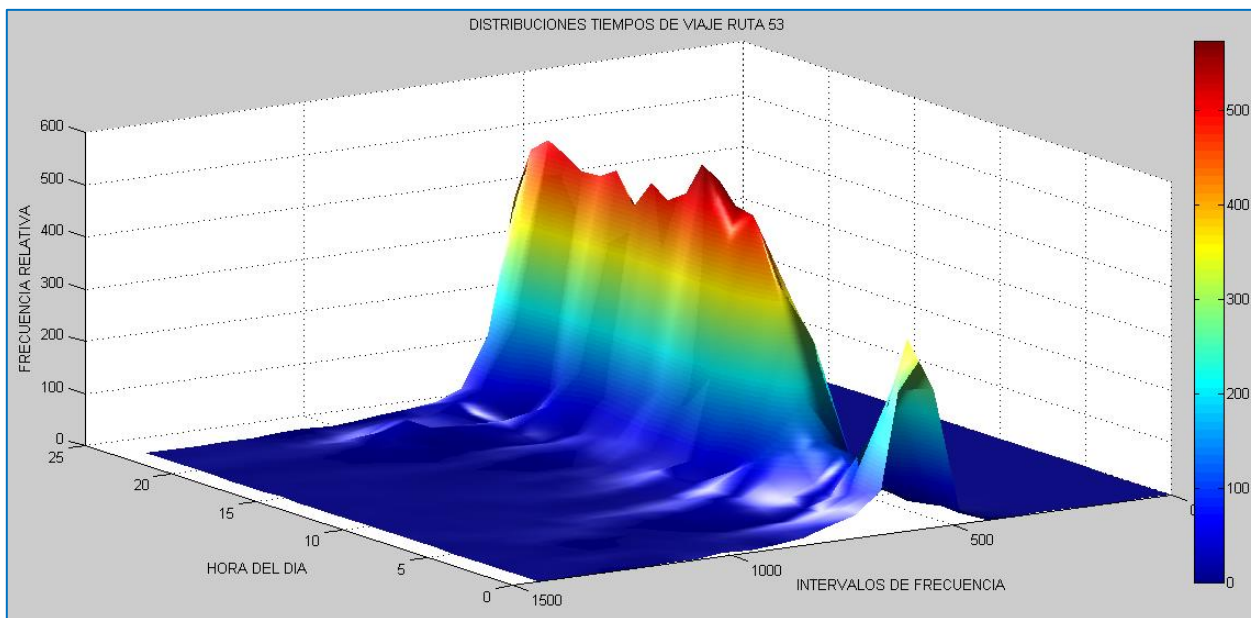


Figura D5. Superficie de distribuciones Ruta 53

(Fuente: Elaboración propia)

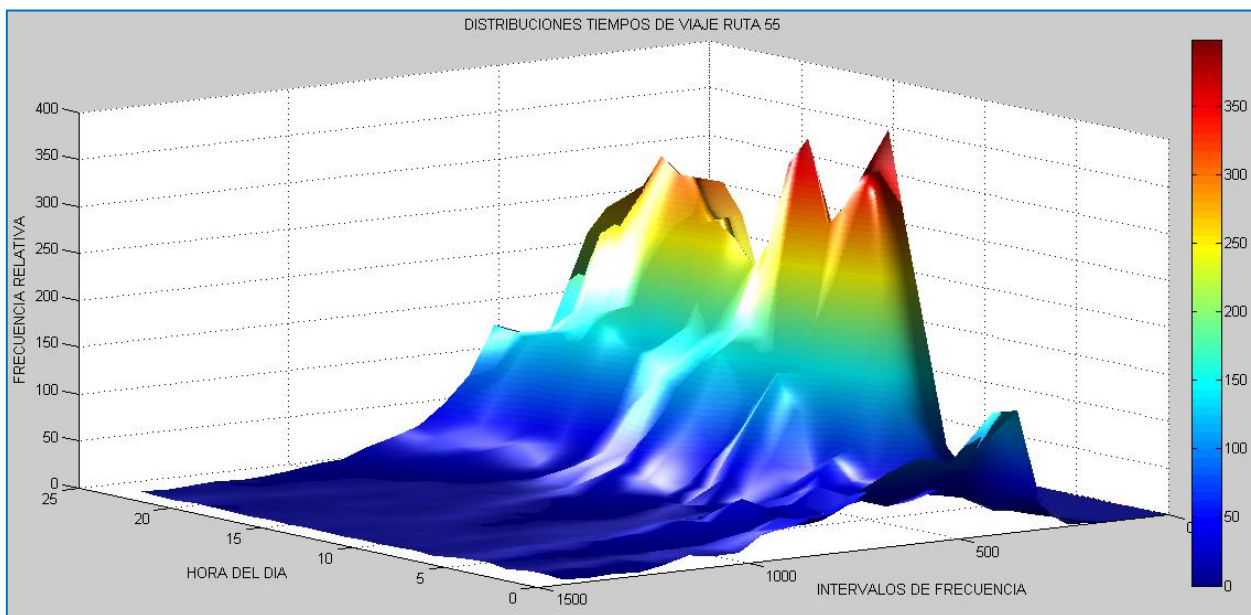


Figura D6. Superficie de distribuciones Ruta 55

(Fuente: Elaboración propia)

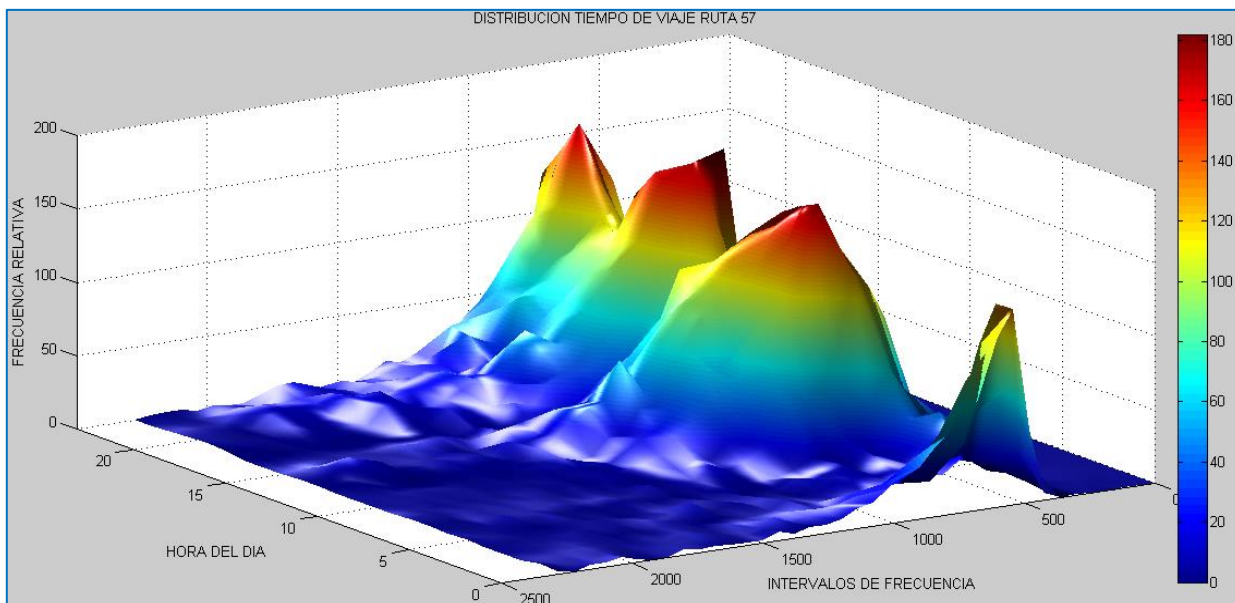


Figura D6. Superficie de distribuciones Ruta 57

(Fuente: Elaboración propia)

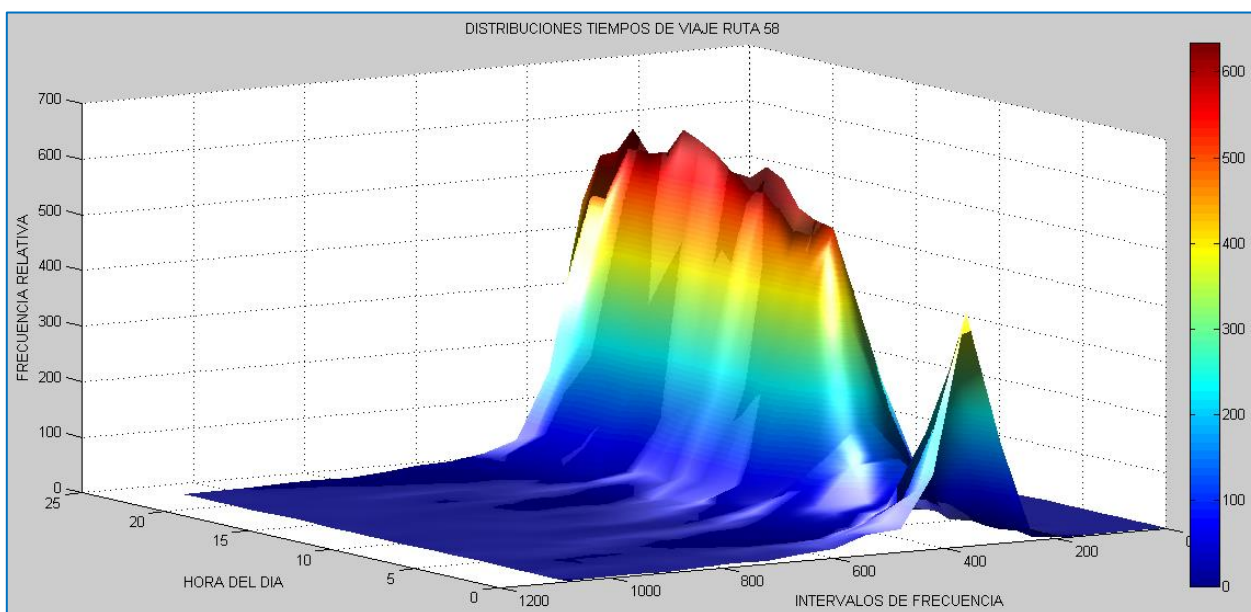


Figura D8. Superficie de distribuciones Ruta 58

(Fuente: Elaboración propia)

D2. Puerto Montt

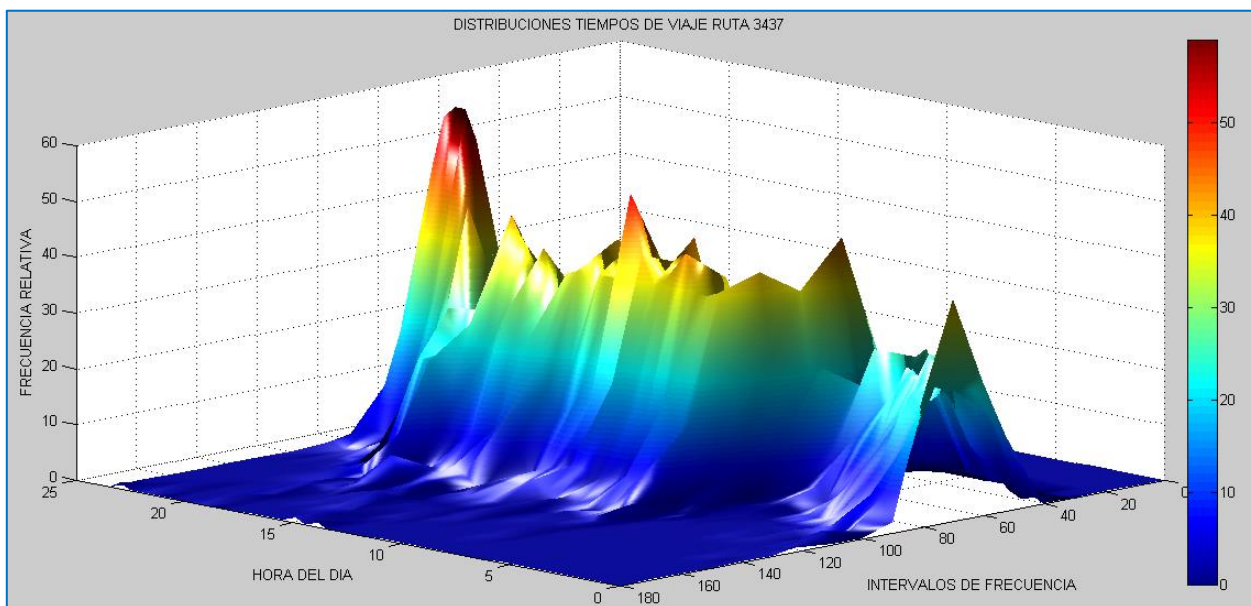


Figura D9. Superficie de distribuciones Ruta 3437

(Fuente: Elaboración propia)

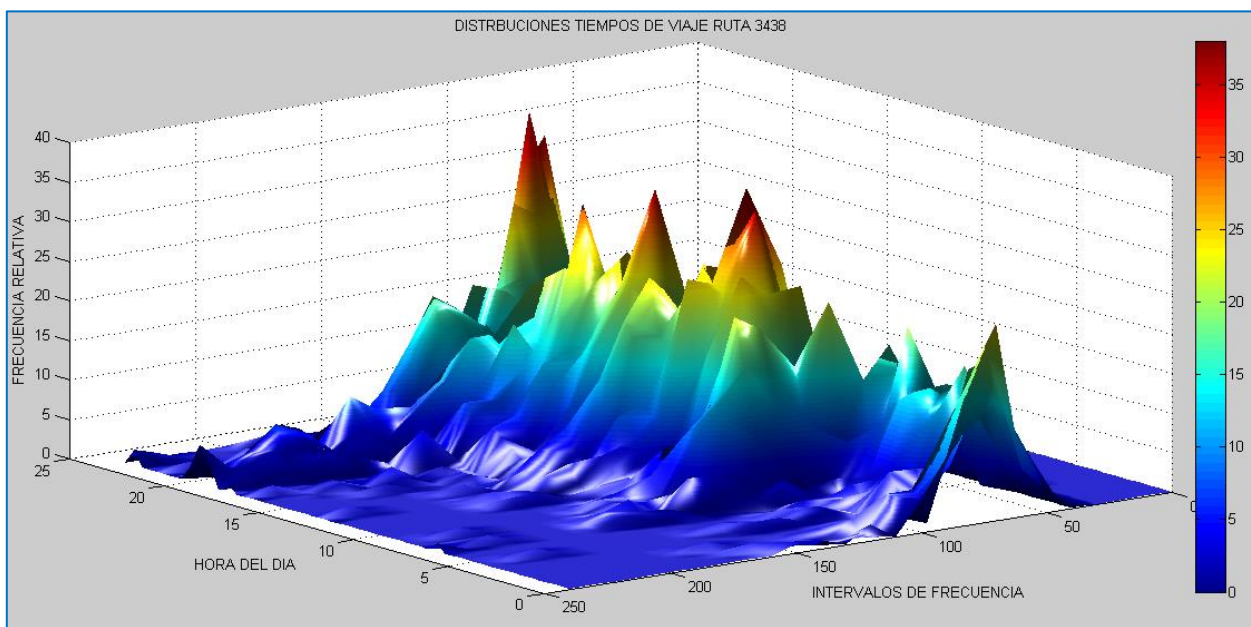


Figura D10. Superficie de distribuciones Ruta 3438

(Fuente: Elaboración propia)

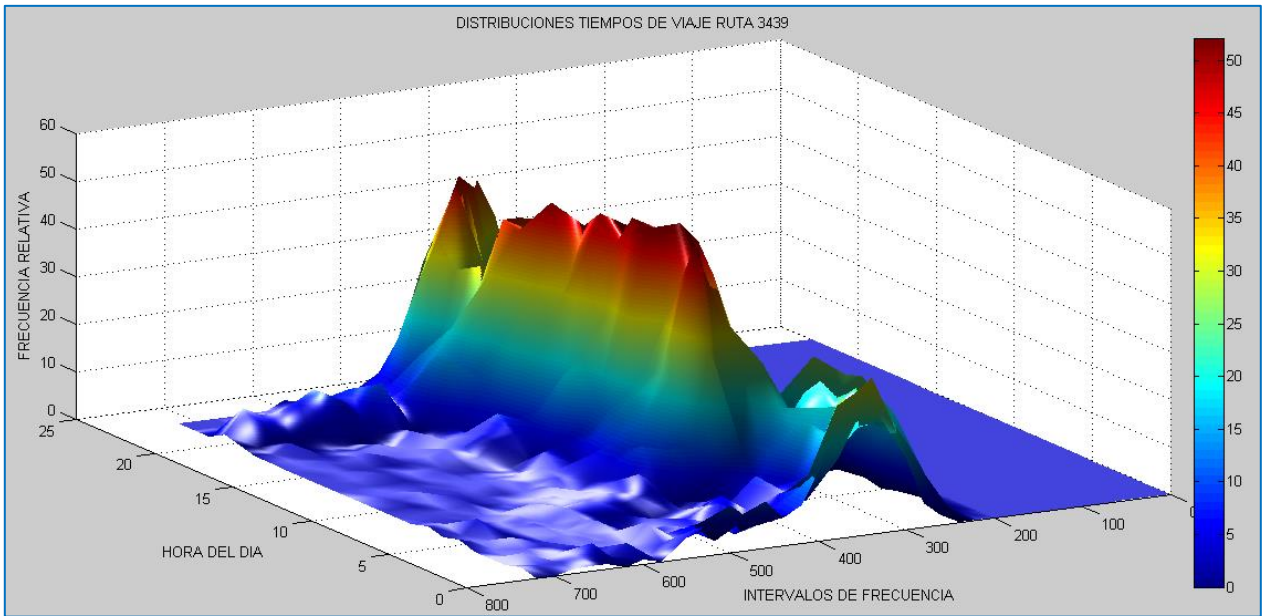


Figura D11. Superficie de distribuciones Ruta 3439

(Fuente: Elaboración propia)

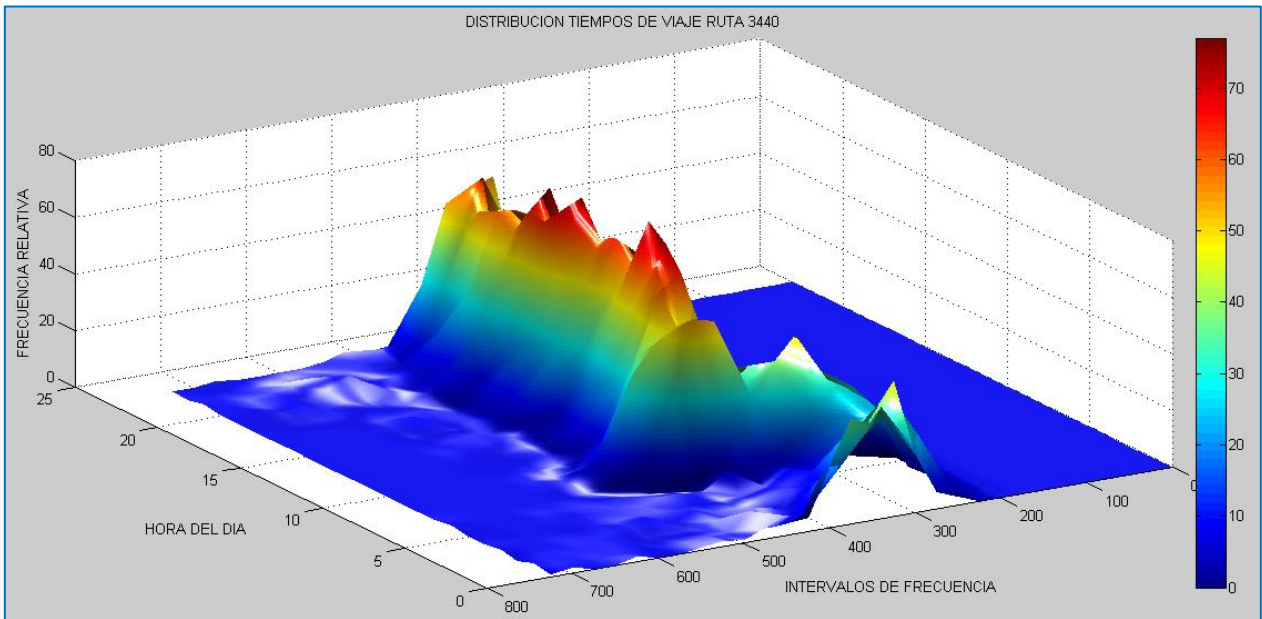


Figura D12. Superficie de distribuciones Ruta 3440

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO E. VISTA EN PLANTA DE SUPERFICIES DE DISTRIBUCION

A continuación se muestra la vista en planta de las superficies de distribuciones de frecuencia de los tiempos de viaje.

E1. Valparaíso – Viña del Mar

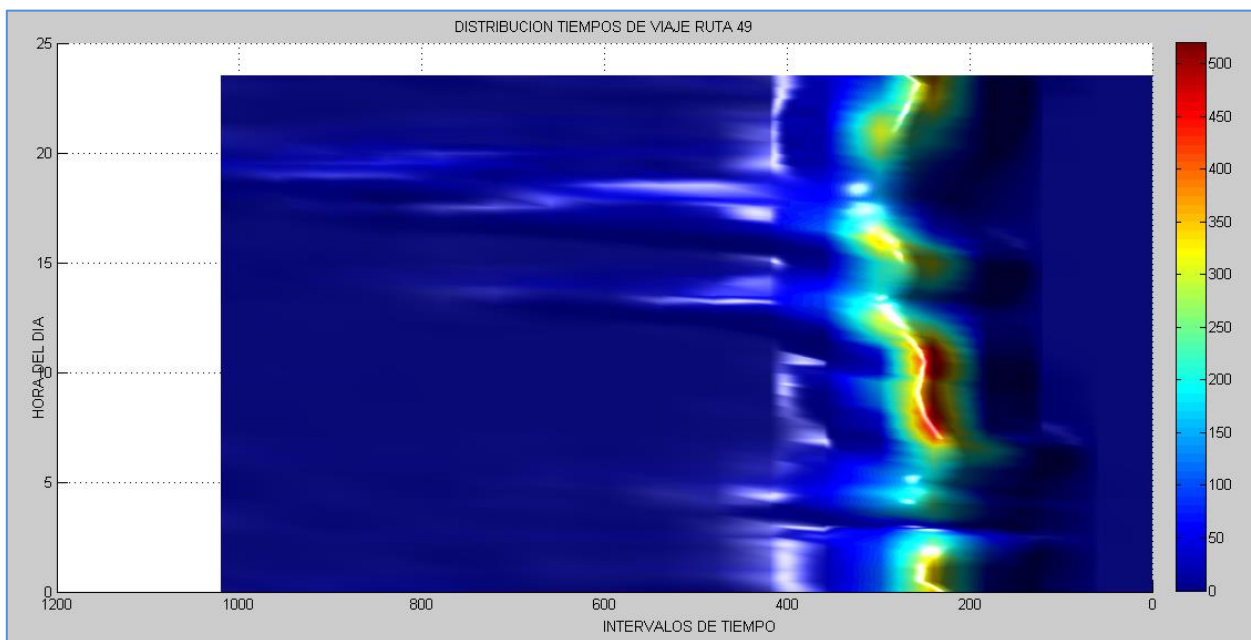


Figura E1. Vista en planta Ruta 49

(Fuente: Elaboración propia)

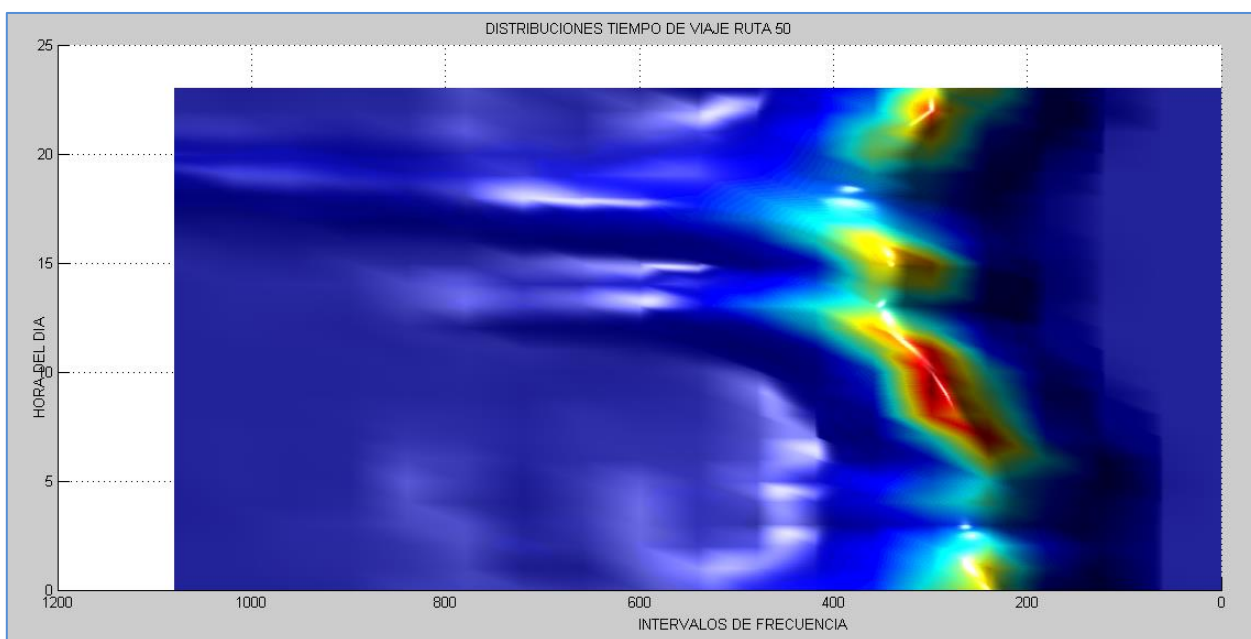


Figura E2. Vista en planta Ruta 50

(Fuente: Elaboración propia)

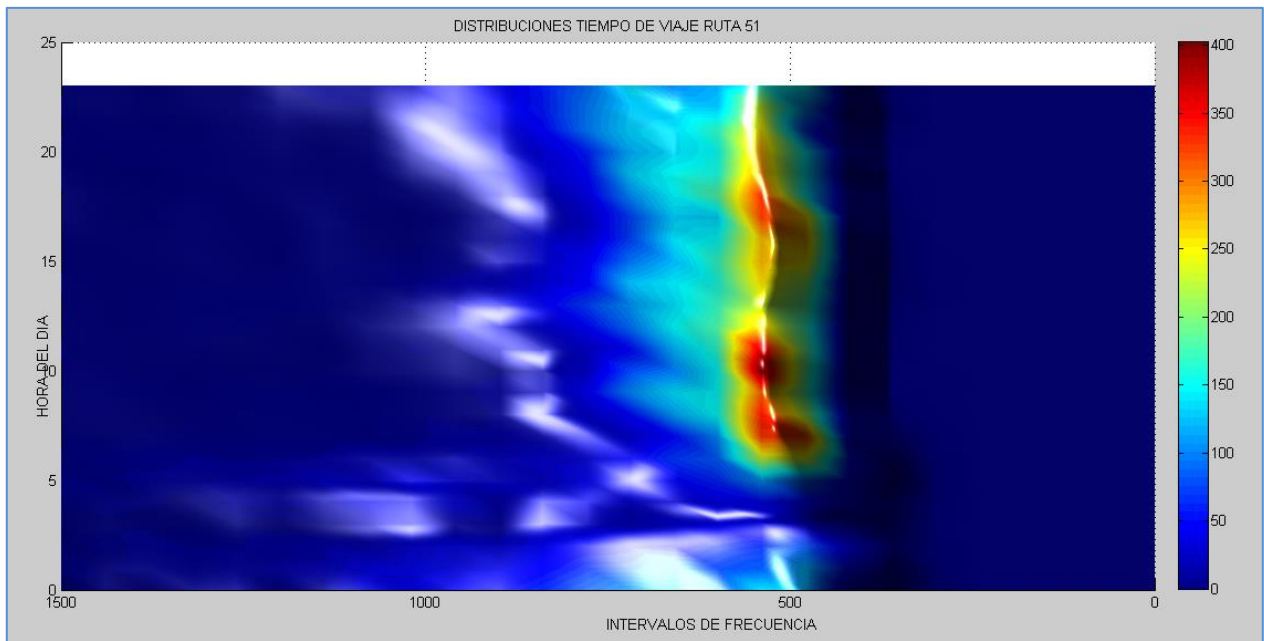


Figura E3. Vista en planta Ruta 51

(Fuente: Elaboración propia)

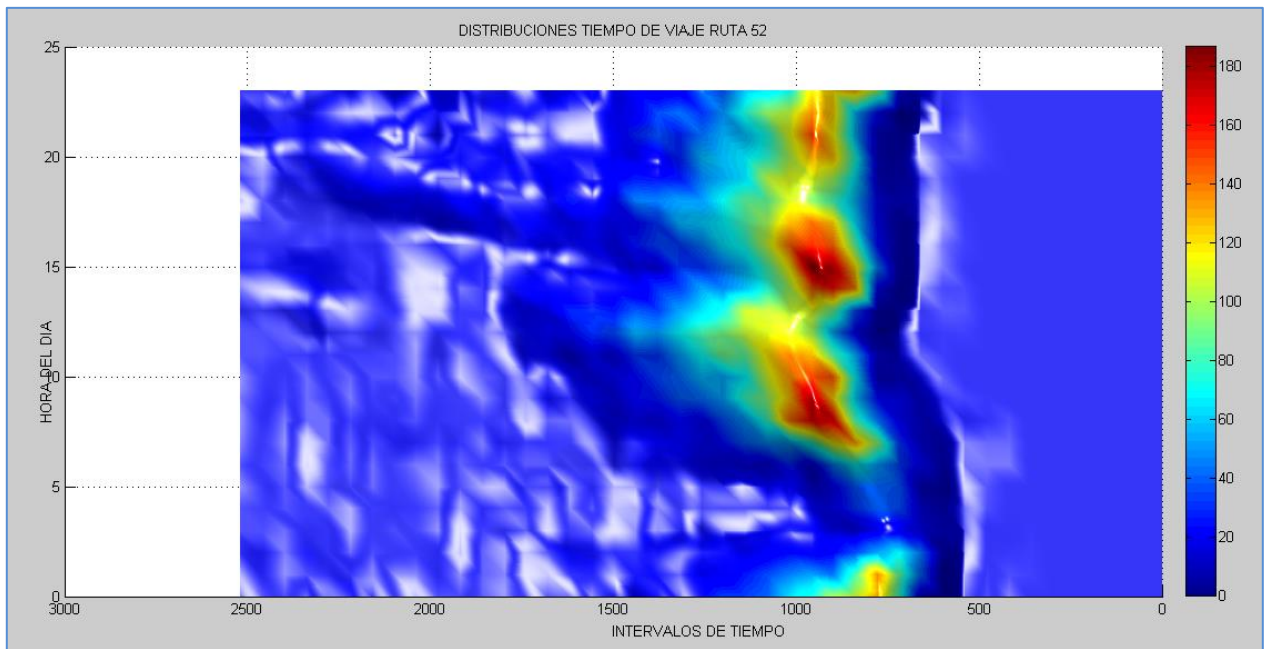


Figura E4. Vista en planta Ruta 52

(Fuente: Elaboración propia)

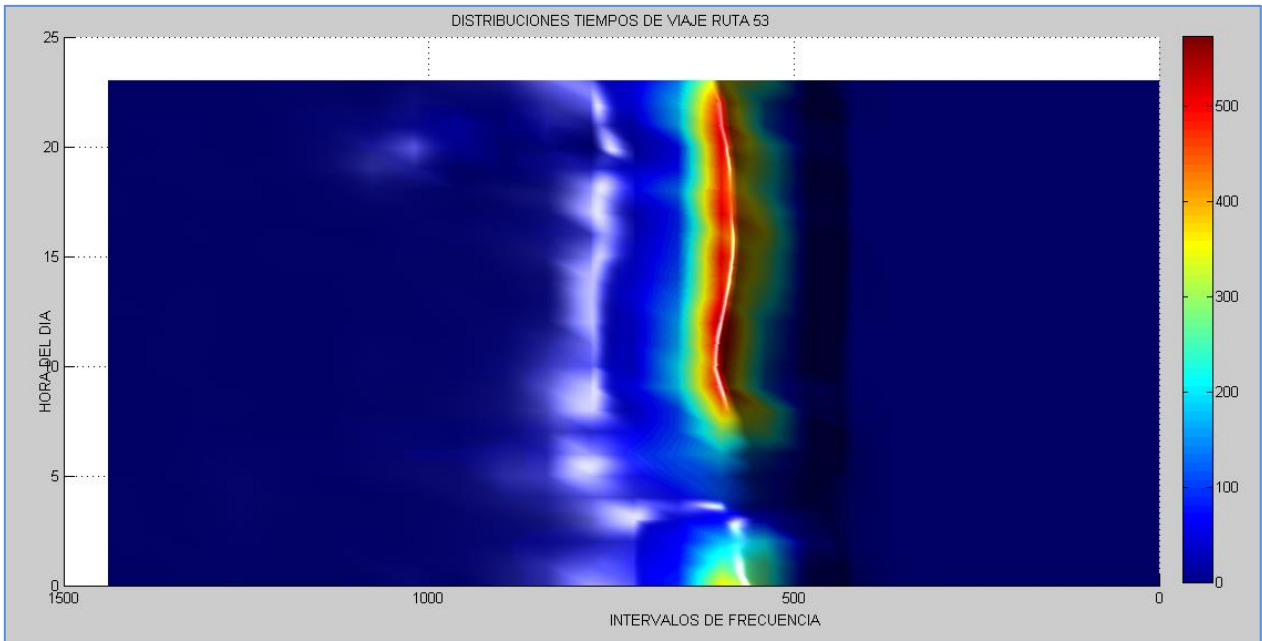


Figura E5. Vista en planta Ruta 53

(Fuente: Elaboración propia)

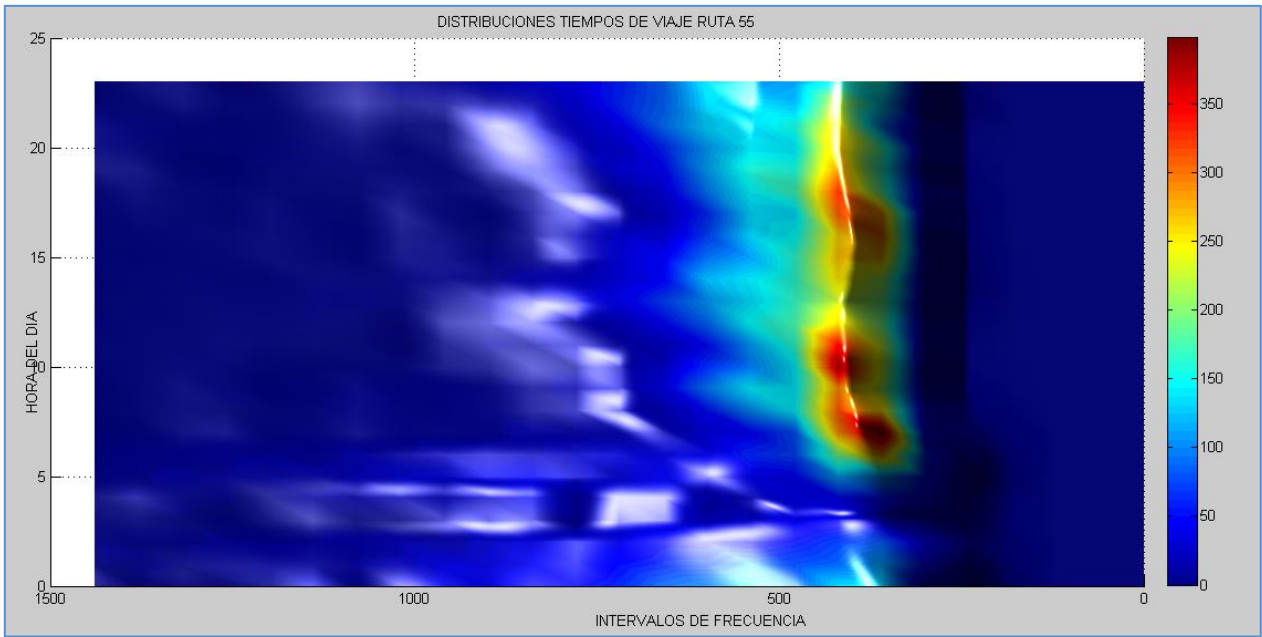


Figura E6. Vista en planta Ruta 55

(Fuente: Elaboración propia)

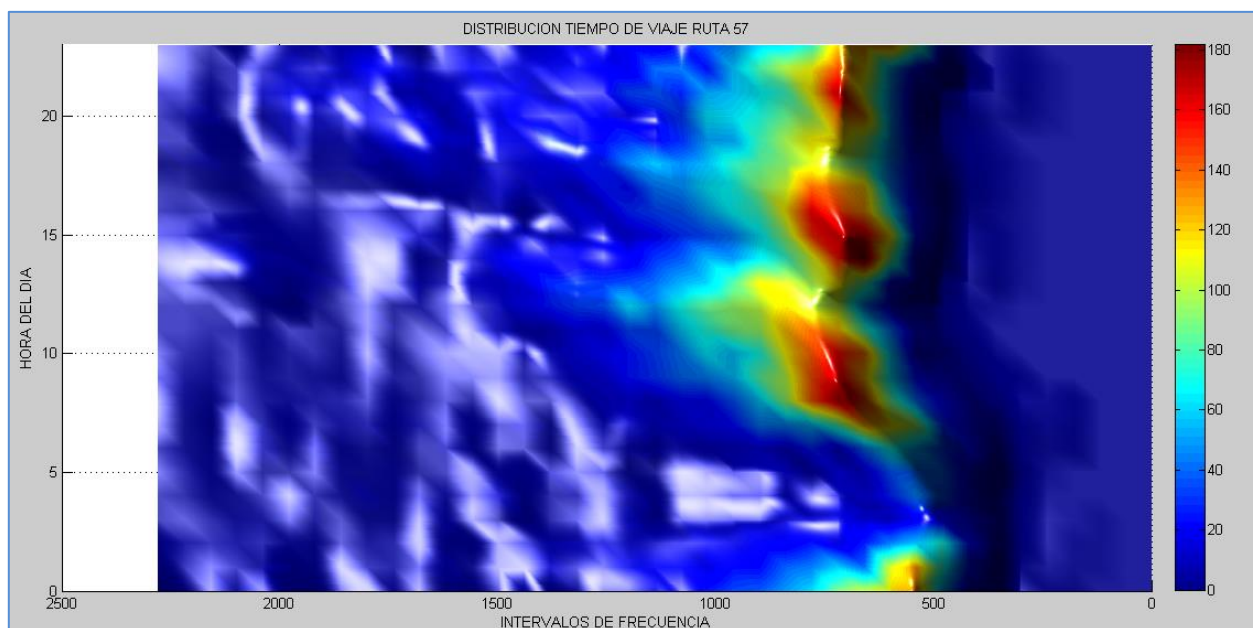


Figura E7. Vista en planta Ruta 57

(Fuente: Elaboración propia)

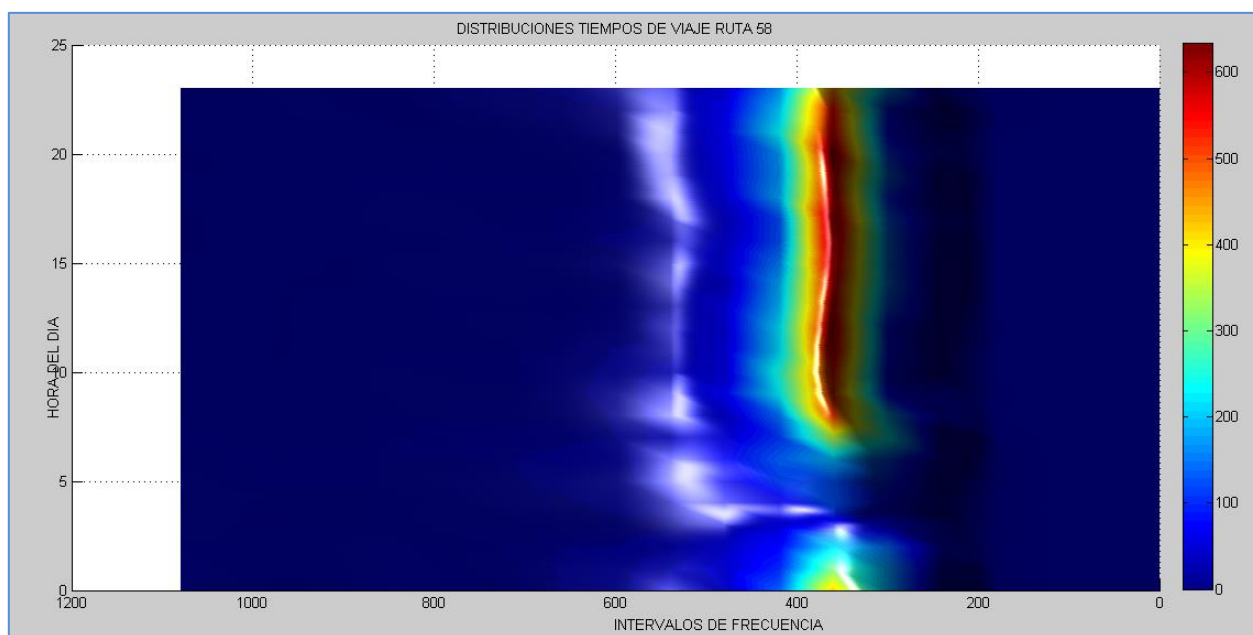


Figura E8. Vista en planta Ruta 58

(Fuente: Elaboración propia)

E2. Puerto Montt

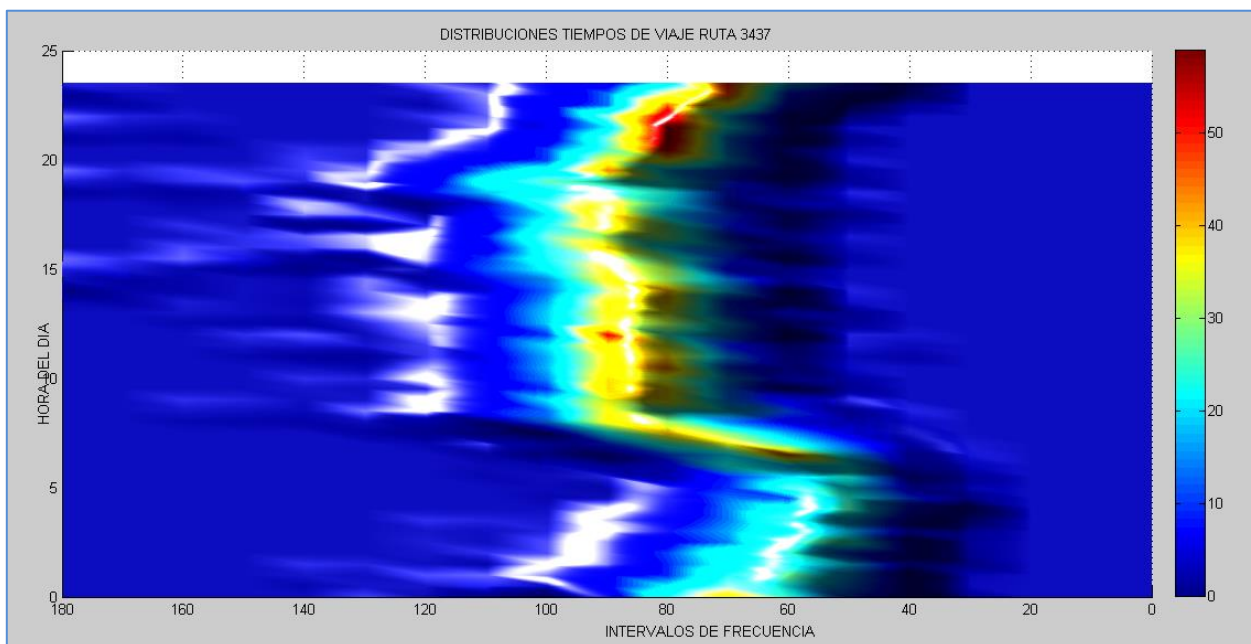


Figura E9. Vista en planta Ruta 3437

(Fuente: Elaboración propia)

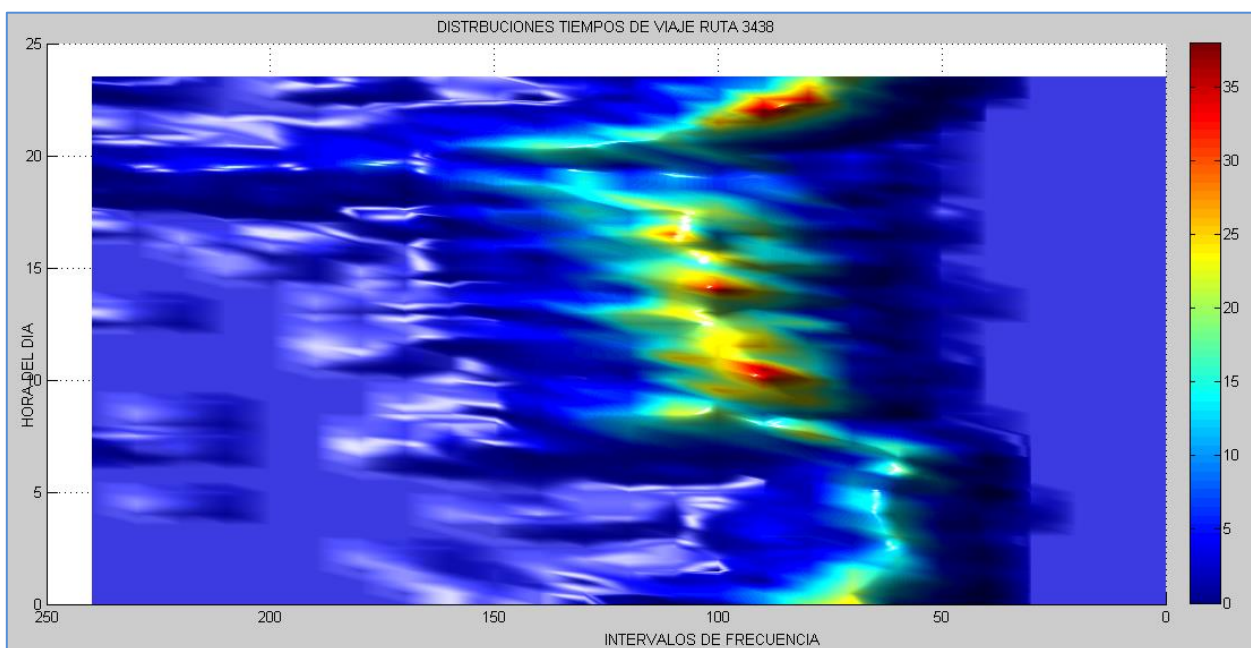


Figura E10. Vista en planta Ruta 3438

(Fuente: Elaboración propia)

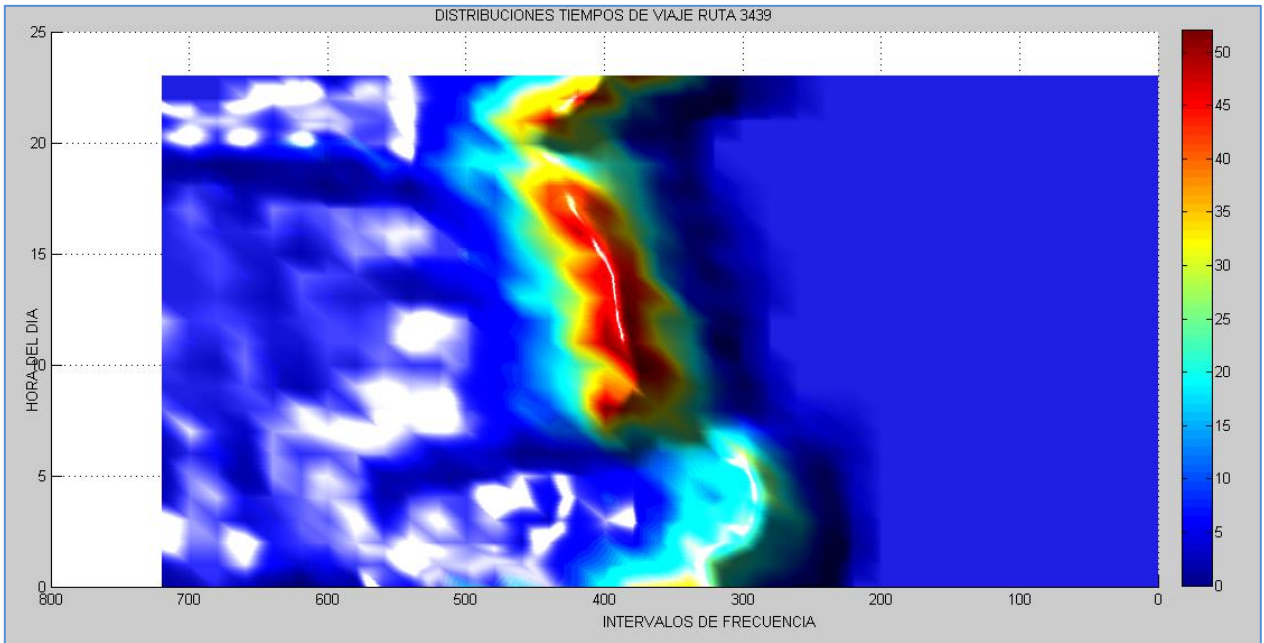


Figura E11. Vista en planta Ruta 3439

(Fuente: Elaboración propia)

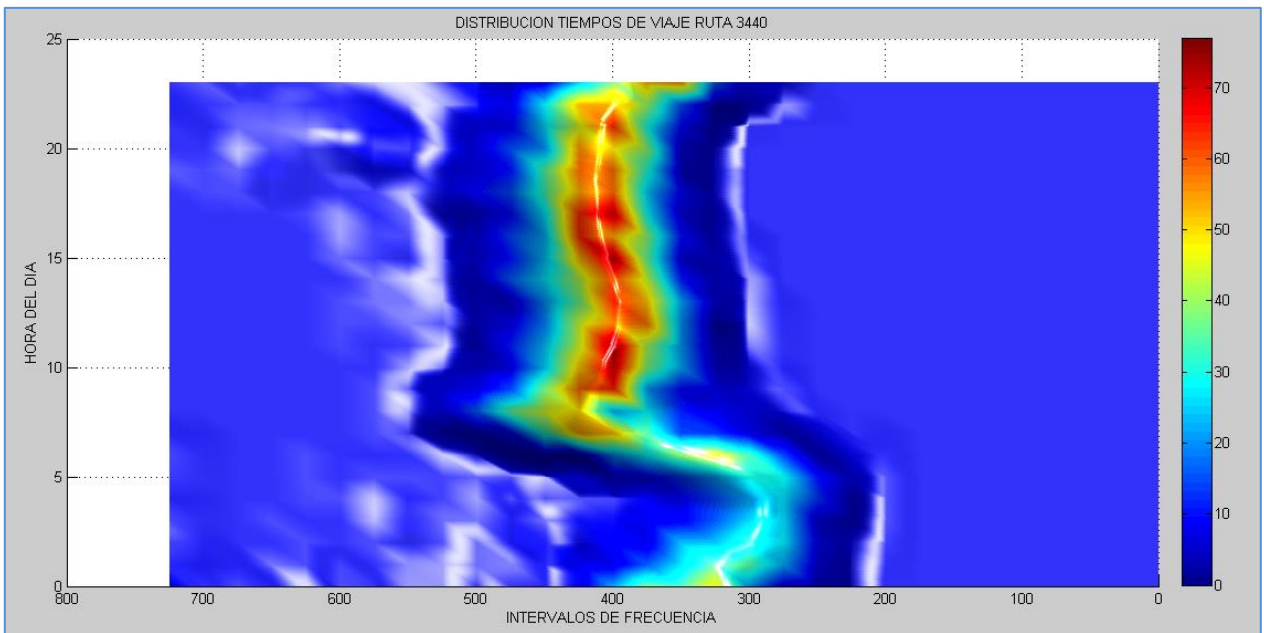


Figura E12. Vista en planta Ruta 3440

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO F. CARACTERÍSTICAS DE RUTAS ANALIZADAS

En el presente Anexo, se muestran las características de las rutas estudiadas en este informe.

F1. Valparaíso – Viña del Mar



Figura F1. Av. España. Tres pistas por sentido



Figura F2. Av. Marina. Dos pistas por sentido



Figura F3. Av. Álvarez. Dos pistas por sentido



Figura F4. Acceso a Valparaíso y Viña del Mar por Placilla

F2. Puerto Montt



Figura F5. Calle Crucero. Rutas 3437 y 3438.



Figura F6. Rutas 3439 y 3440