

**REEMPLAZA INSTRUCTIVO DE TIEMPOS DE
DESPLAZAMIENTO Y VELOCIDADES,
APROBADO MEDIANTE RESOLUCIÓN EXENTA
N° 2331, DE 2021, DEL MINISTERIO DE
TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES.**

VISTOS: Lo dispuesto en el Decreto con Fuerza de Ley N° 1-19.653 de 2000, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que fija texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.575, Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado; los Decretos con Fuerza de Ley N° 343, de 1953 y N° 279, de 1960, ambos del Ministerio de Hacienda, relativos a la organización, obligaciones y atribuciones de la Subsecretaría de Transportes; el Decreto Ley N° 557, de 1974, del Ministerio de Interior, que crea el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; la Ley N° 18.059, que asigna al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones el carácter de organismo rector nacional de tránsito y le señala atribuciones; la Ley N° 18.696, que modifica artículo 6° de la Ley N° 18.502, autoriza importación de vehículos que señala y establece normas sobre transporte de pasajeros; la Ley N° 20.378, que crea un subsidio nacional para el transporte público remunerado de pasajeros; el Instructivo Presidencial N° 1, de 2003, que crea el Comité de Ministros para el Transporte Urbano de la ciudad de Santiago, y sus posteriores modificaciones; las Resoluciones Exentas N°s 1144, 1145, 1146, 1147, 1148 y 1149, todas de 2022, conjuntas del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y el Ministerio de Hacienda, que aprobaron los contratos de concesión derivados de la licitación N° LP CUV 001/2019; la Resolución Exenta N° 2331, de 2021, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; las Resoluciones N° 7 de 2019 y N° 14 de 2022, de la Contraloría General de la República, que fijan normas sobre exención del trámite de toma de razón; y en la demás normativa que resulte aplicable.

CONSIDERANDO:

1. Que, a través de Resolución N° 57, de 2019, emitida por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (en adelante, el Ministerio), se aprobaron las Bases de Licitación y sus anexos para la Concesión del Uso de las Vías de las Unidades de Servicios N°s 1, 2, 3, 4, 5 y 6, para la Prestación de Servicios Urbanos de Transporte Público Remunerado de Pasajeros mediante Buses (en adelante, las bases de licitación o bases). Cabe hacer presente que el indicado acto administrativo fue tomado de razón, con alcance, por la Contraloría General de la República, el día 10 de diciembre de 2020.

2. Que, el pliego de condiciones regula la facultad del Ministerio para dictar diversos instructivos destinados a entregar directrices metodológicas dirigidas a la adecuada ejecución de los Contratos de Concesión de Uso de Vías para la Prestación de Servicios de Transporte Público Urbano Remunerado de Pasajeros mediante Buses (en adelante, los Contratos de Concesión), en distintas materias, disponiendo que aquellos deberán ser comunicados, a los interesados, a través de su debida publicación en el sitio web.

3. Que, en este sentido, el apartado M.4 del Apéndice 3 de los referidos Contratos de Concesión, sobre "Metodología para Tiempos de Desplazamiento y Velocidades", regula la facultad del Ministerio de dictar un Instructivo sobre Tiempos de Desplazamiento y Velocidades. En virtud de esta prerrogativa, por medio de Resolución Exenta N° 2331, de 2021, dictada por este Ministerio, se aprobó el "Instructivo de Tiempos de Desplazamiento y Velocidades", en el proceso "licitación pública para la concesión del uso de las vías de las unidades de servicios N°s 1, 2, 3, 4, 5 y 6, para la prestación de servicios urbanos de transporte público remunerado de pasajeros mediante buses", aprobado mediante Resolución N° 57, de 2019, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones en conjunto con el Ministerio de Hacienda, N° LPCUV 001/2019".

4. Que, la referida resolución fue debidamente notificada a los concesionarios de uso de vías y publicada en el sitio web www.dtpm.cl.

5. Que, en la ejecución de los servicios asociados a los contratos de concesión derivados del proceso licitatorio N° LP CUV N° 001/2019, la Gerencia de Planificación de la Secretaría Ejecutiva del Directorio de Transporte Público Metropolitano ha advertido la necesidad de adecuar el referido instructivo, con el objeto de atender de mejor manera a la realidad de los servicios de transporte público urbano de pasajeros. En este sentido, con fecha 27 de mayo del año en curso, se notificó a los concesionarios de uso de vías las modificaciones propuestas, a fin de que éstos remitiesen sus observaciones, en virtud de lo establecido en el numeral 5 del instructivo aprobado mediante el resuelvo 2 de la resolución indicada en el considerando 3 de este acto, cuyo tenor regula el procedimiento para su modificación.

6. Que, habiendo concluido el procedimiento antes indicado, corresponde que el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones disponga los ajustes que resultan indispensables para la aplicación de los términos que se pretenden implementar.

7. Que, por todo lo expuesto y en el ejercicio de las facultades citadas en los considerandos anteriores, a través de la presente resolución se procederá a reemplazar el referido Instructivo Tiempos de Desplazamiento y Velocidades.

RESUELVO:

1. REEMPLÁZASE, en su totalidad, el Instructivo de Tiempos de Desplazamiento y Velocidades, aprobado en el resuelvo 2 de la Resolución Exenta N° 2331, de 2021, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, por los términos que a continuación se expresan:

INSTRUCTIVO
TIEMPOS DE DESPLAZAMIENTO
Y VELOCIDADES

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	5
2	ANTECEDENTES	6
3	DEFINICIONES	7
3.1	Unidad de Análisis	7
3.2	Cortes Temporales.....	7
3.3	Percentil 40.....	7
3.4	Regresión Lineal	7
4	PROCEDIMIENTO	8
4.1	Datos de entrada.....	8
4.1.1	Reporte de Expediciones de Buses	8
4.1.2	Salidas Programadas	9
4.2	Elección de Cortes Temporales	9
4.2.1	Tamaño Muestral Mínimo	9
4.3	Limpieza de la Base de Datos	10
4.3.1	Limpieza Inicial de Datos.....	10
4.3.2	Eliminación de Datos Atípicos	10
4.4	Cálculo de Tendencia de la Velocidad del Sistema	11
4.5	Construcción de Unidades de Análisis.....	12
4.6	Cálculo de Velocidades Base.....	12
4.7	Proyección de Velocidades.....	12
4.8	Suavización de Velocidades	13
5	CASOS ESPECIALES	16
5.1	Cambio de Trazado, Extensiones y Nuevos Servicios	16
5.2	Servicios con Ampliación de Horario de Operación Menor a Una Hora.....	16
5.3	Inyecciones y Servicios Cortos.....	16
5.4	Servicios Circunvalares.....	16
5.5	Cambios en Infraestructura	16
5.6	Servicios Medidos con Indicador de Puntualidad en Horario de Pasada.....	16
5.7	Falta de Datos de Entrada para la Unidad de Análisis	16
5.8	Cambio Mayor en el Funcionamiento del Sistema.....	16
6	MODIFICACIONES DEL PRESENTE INSTRUCTIVO	17
7	BIBLIOGRAFÍA	17

1. INTRODUCCIÓN

Considerando la importancia que reviste el Programa de Operación, tanto desde el punto de vista de los usuarios como respecto del quehacer y gestión del Operador de Buses (en adelante también e indistintamente Operador u Operadores), es relevante contar con procedimientos estandarizados y objetivos que permitan facilitar su elaboración y unificar el criterio utilizado en la estimación de variables cuyo impacto es sustancial. En este sentido, las velocidades de circulación corresponden a una de las principales variables que es necesario determinar para que el equilibrio entre la demanda y la oferta de transporte quede plasmado en el Programa de Operación, en la medida que las circunstancias lo permitan.

El presente instructivo detalla la metodología para calcular las velocidades a utilizar para la elaboración del Programa de Operación, estableciendo las fuentes de información a considerar, los tamaños muestrales requeridos, la temporalidad y los procesamientos estadísticos correspondientes para sus cálculos.

El resultado de la aplicación de esta metodología corresponderá a las velocidades de los recorridos que componen el Programa de Operación o el Plan de Operaciones a nivel de servicio-sentido-tipo día-media hora.

La metodología que se expone en este documento es aplicable a los Operadores de Buses que hayan suscrito Contratos de Concesión de Uso de Vías derivados de la Licitación Pública N° LPCUV 001/2019¹, o que se celebren en el futuro conforme al mismo modelo de operación -sin preferencias ni exclusividad de las vías- y a aquellos Operadores de Buses que presten servicios en conformidad a condiciones de operación que así lo establezcan².

¹ La Resolución N°57, de 2019, conjunta del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y el Ministerio de Hacienda, aprobó las bases de licitación y sus anexos para la concesión del uso de las vías de las unidades de servicios N°s 1, 2, 3, 4, 5 y 6, para la prestación de servicios urbanos de transporte público remunerado de pasajeros mediante buses, N° LPCUV 001/2019. En los Contratos de Concesión que se celebren a partir de esta licitación, el uso de las vías se organizará en función del uso común y en iguales condiciones -sin preferencias, ni exclusividad- de las mismas.

² Las normas de este instructivo también podrán ser aplicables a otros Operadores de Buses mediante la regulación de condiciones específicas de operación.

2. ANTECEDENTES

Los antecedentes regulatorios para la creación del presente “Instructivo de Tiempos de Desplazamiento y Velocidades” se encuentran en los apartados F.2 y M.4 del Apéndice N°3 de los Contratos de Concesión de Uso de Vías³. En ellos se establece que el Concesionario deberá cumplir y respetar la metodología establecida en este instructivo para dimensionar apropiadamente los requerimientos de flota y dar cumplimiento al Programa de Operación. Esta metodología deberá ser utilizada para el cálculo de las velocidades comerciales, velocidades en vacío, y tiempos de regulación, y considera, al menos, las fuentes de información, tamaño y temporalidad de la muestra, y procesamientos estadísticos.

³ Todas las referencias que se hagan en este instructivo a cláusulas, apéndices, apartados o subapartados se entenderán hechas a las cláusulas de los Contratos de Concesión de Uso de Vías derivados de la Licitación Pública N° LPCUV 001/2019, y a sus apéndices, apartados y subapartados.

3. DEFINICIONES

Para la correcta comprensión y ejecución de la metodología se presentan las siguientes definiciones básicas.

3.1 Unidad de Análisis

En adelante se denominará “Unidad de Análisis” a los conjuntos de expediciones resultantes de agrupar la operación del Sistema por servicio, sentido, tipo de día y media hora.

3.2 Cortes Temporales

En adelante se hace referencia a un “Corte Temporal” para definir un periodo de tiempo. Los días o meses utilizados para representar dicho periodo serán definidos según la disponibilidad de los datos, como se detalla en la sección 4.2.

3.3 Percentil 40

El percentil es una medida de posición usada en estadística que entrega, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en el grupo. Así, para obtener el percentil 40 de un conjunto de datos, se deben ordenar los valores de menor a mayor y seleccionar aquel que se ubique sobre un 40% de las observaciones del conjunto.

3.4 Regresión Lineal

Un modelo de regresión lineal tiene por objetivo explicar la relación que existe entre una variable dependiente (Y) y un conjunto de variables independientes (X) mediante una función de la siguiente forma:

$$Y = \alpha + \beta \cdot X + \epsilon$$

Donde:

α = Intercepto en el origen (el valor que toma Y cuando X vale 0).

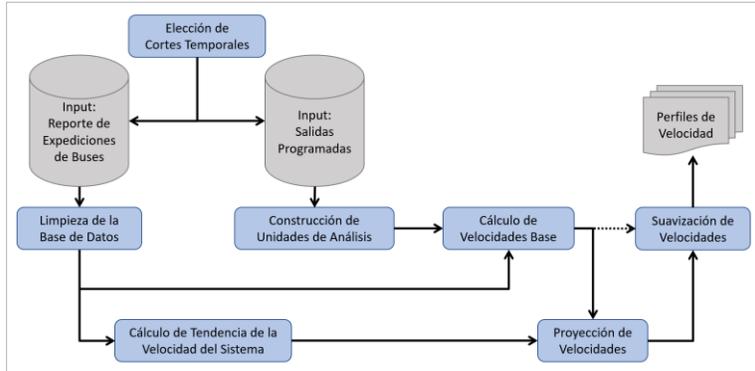
β = Pendiente de la recta (indica cómo cambia Y al incrementar X en una unidad).

ϵ = Error por factores externos no considerados.

4. PROCEDIMIENTO

En este capítulo se describe el procedimiento para la estimación de velocidades por unidad de análisis. A modo ilustrativo, se presenta un esquema del proceso completo en la Figura 4-1. En este, se destaca que los pasos “Cálculo de Tendencia de la Velocidad del Sistema” y “Proyección de Velocidades” pueden no ser utilizados (bajo las condiciones detalladas en la sección 4.2). Cada etapa será detallada en las secciones de este capítulo.

Figura 4-1: Flujograma del procedimiento.



4.1 Datos de entrada

El procedimiento cuenta con dos fuentes de información: el “Reporte de Expediciones de Buses” y las “Salidas Programadas”. En este subcapítulo se explica en detalle el contenido de cada uno de estos archivos.

4.1.1 Reporte de Expediciones de Buses

La principal fuente de información necesaria para la ejecución del procedimiento se obtendrá del reporte de minería de datos denominado “Reporte 1.96_simplificado”, o el que lo modifique o reemplace, entregado por el proveedor del servicio complementario de gestión de flota. Este reporte debe contener como mínimo, para todas las expediciones ejecutadas por el sistema, los campos descritos en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1: Campos mínimos requeridos del reporte de expediciones de buses.

Campo	Descripción
Unidad	Unidad asociada al Operador de Buses.
Patente	Patente del bus que realiza la expedición.
Código Ruta	Código de la ruta o trazado asociada al servicio, sentido y variante (Ejemplo: T101 00I, T101 06I). Incluye trazados alternativos por feria, reversibilidades, ciclovías, otros.
Fecha Inicio	Fecha y hora de paso por el punto de control inicial (dd/mm/yyyy hh:mm:ss).
Fecha Fin	Fecha y hora de paso por el punto de control final (dd/mm/yyyy hh:mm:ss).
Largo de Ruta	Longitud del trazado (km).
Distancia Puntos Control	Distancia entre los puntos de control (km).
Velocidad Media	Corresponde al cociente entre la distancia y el tiempo de viaje entre los puntos de control (km/h).
Tiempo de Viaje	Tiempo corregido por tramos no controlados fuera de los puntos de control (min).
	$60 \cdot \left(\frac{\text{Largo de Ruta}}{\text{Velocidad Media}} \right)$
Tipo Día	Tipo de día según el inicio de la expedición.
Media Hora	Media hora correspondiente al inicio de la expedición.

Operativo Condición de cumplimiento de paso por los puntos de control:
 C: La expedición Cumple la condición "Tiene Inicio y Fin de Ruta".
 NC: La expedición No Cumple la condición "Tiene Inicio y Fin de Ruta".

4.1.2 Salidas Programadas

El Programa de Operaciones (PO) contiene información respecto de todas las salidas programadas de buses a nivel de servicio, sentido, tipo de día y media hora. Esta información se utiliza para construir las unidades de análisis cuyas velocidades deben ser estimadas. Los campos mínimos con los que se debe contar se describen en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Campos mínimos requeridos del Programa de Operaciones.

Campo	Descripción
Unidad	Unidad de Servicios asociada al Operador de Buses.
Identificación Servicio Sentido	Código de la ruta o trazado asociada al servicio y sentido (Ejemplo: 501I, 515R).
Tipo Día	Según categorías descritas en el PO.
Media Hora	Media hora según el inicio de la expedición.
N° Salidas	Cantidad de salidas programadas.

4.2 Elección de Cortes Temporales

En este instructivo se definen los pasos para obtener velocidades y tiempos de desplazamiento para cuatro cortes temporales por año. Dos cortes normales asociados al primer y segundo semestre, y dos cortes estivales asociados a los meses de Enero y Febrero. Para cada corte se define el conjunto de meses cuya información los representará en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Resumen periodos de recopilación de datos por corte temporal.

	Corte temporal	Meses
Normal	1er Semestre	Abril, Mayo y Junio.
	2do Semestre	Agosto, Octubre y Noviembre.
Estival	Enero	Enero.
	Febrero	Febrero.

Los cortes temporales descritos son la base referencial a utilizar en las actualizaciones de velocidades de los procesos PO anuales, semestrales y/o de modificación, según corresponda. En este sentido, la periodicidad de las modificaciones del PO se regirá según el Apéndice N°3 de los contratos y de acuerdo con lo dispuesto en el "Instructivo de Elaboración del Programa de Operación". Así, los cortes temporales específicos a utilizar, dentro de los cortes definidos, dependerán del proceso de modificación y la información disponible.

En caso de requerirse una actualización excepcional de velocidades del PO, justificada por resultados en operación que no sean consistentes con lo que se había proyectado previamente, se podrá utilizar la información disponible más cercana al "presente" para definir si existe una diferencia que justifique la actualización del PO. En dicho caso, no se aplicará el proceso de proyección (sección 4.7) a las velocidades.

4.2.1 Tamaño Muestral Mínimo

Para construir la información de velocidades de los cortes temporales es necesario cumplir con un mínimo de información a modo de obtener resultados estadísticamente significativos. Se define el siguiente tamaño de muestra mínimo por unidad de análisis:

$$\text{Cantidad de Datos} \geq 4 \cdot \text{Número de meses considerados para el corte}$$

En aquellas unidades de análisis donde no se cumpla con el criterio anterior se podrá ampliar el periodo de datos según lo dispuesto en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Resumen de periodos de recopilación adicional de datos por corte temporal.

	Corte temporal	Meses
Normal	1er Semestre	Incluir las últimas semanas de marzo.
	2do Semestre	Incluir semanas de septiembre o diciembre que no tengan feriados.
Estival	Enero	Incluir el mes de enero del año anterior.
	Febrero	Incluir el mes de febrero del año anterior.

En los cortes temporales normales, se debe incluir la nueva información por semanas comenzando con aquellas que tengan una velocidad media del sistema más cercana a la del periodo original de recopilación de datos. En cambio, en los cortes estivales se debe incorporar el mes completo.

La información adicional de cortes estivales se encuentra desfasada en un año con respecto a la recopilación de datos original, por lo tanto, debe ser corregida mediante su proyección al corte temporal de la recopilación de datos original utilizando la tasa descrita en la sección 4.4.

4.3 Limpieza de la Base de Datos

A la base de datos del “Reporte 1.96_Simpificado” (sección 4.1.1) se le debe realizar una limpieza con el fin de eliminar aquellos registros que se encuentran fuera de los límites operacionales permitidos por condiciones tecnológicas o de eventos externos a la operación que son considerados no válidos para realizar una estimación correcta de las velocidades comerciales. Dicha limpieza se separa en dos etapas secuenciales, las que se describen a continuación, utilizando los nombres de columnas definidos en la Tabla 4-1 para hacer referencia a la información utilizada.

4.3.1 Limpieza Inicial de Datos

Este proceso consiste en eliminar, para efectos del análisis, aquellas expediciones que presenten las siguientes características:

- No cumplir con el paso por ambos puntos de control del trazado, señalado en el campo *Operativo* de la base de datos con el valor “NC”.
- Expediciones que hayan sido controladas por una longitud menor al 80% del total del trazado.

$$\frac{\text{Distancia Puntos Control}}{\text{Largo de Ruta}} < 80\%$$

- Expediciones con velocidades entre puntos de control, señaladas en el campo *Velocidad Media*, inferiores a 1 km/h o superiores a 80 km/h.
- Expediciones duplicadas en la base de datos. Para encontrar estas expediciones, se utilizan los campos: *Código Ruta*, *Fecha Inicio* y *Fecha Fin*.
- Expediciones cuya *Fecha Inicio* corresponda a un día donde se presentó un evento atípico a nivel de ciudad (votaciones, clima extremo, contingencias, entre otros).

4.3.2 Eliminación de Datos Atípicos

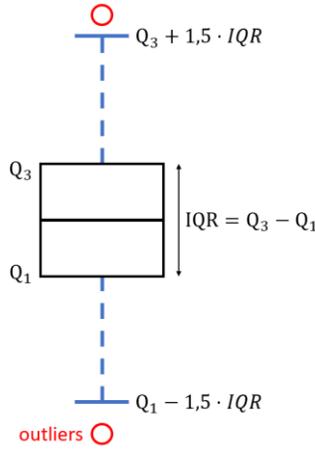
Este proceso consiste en eliminar aquellos registros cuyo *Tiempo de Viaje* se considera estadísticamente fuera de rango. Para ello se utiliza el método Boxplot desarrollado por Tuckey [1] a nivel de unidad de análisis. El método consiste en definir el rango intercuartil (caja) como $IQR = Q_3 - Q_1$, donde Q_i es el i-ésimo cuartil de la muestra. A partir del rango intercuartil se definen los límites entre los registros regulares y atípicos:

- Frontera interior superior: $Q_3 + 1,5 IQR$

- Frontera interior inferior: $Q_1 - 1,5 IQR$

En la Figura 4-2 se esquematizan los elementos que constituyen el método de Boxplot y la identificación de los datos atípicos (*outliers*):

Figura 4-2: Esquema del método de Boxplot.



4.4 Cálculo de Tendencia de la Velocidad del Sistema

A partir de las expediciones resultantes del proceso de limpieza, se deben obtener las tendencias (en adelante referidas como tasas) que permitan proyectar las velocidades a partir de la información de los campos *Largo de Ruta* y *Tiempo de Viaje*, definidos en la Tabla 4-1.

Para el cálculo de las tasas se utilizará la máxima cantidad de cortes consecutivos con información disponible y representativa hasta cuatro años anteriores al corte cuyas velocidades se requieren estimar. En el caso de los cortes normales, se consideran ambos cortes normales para obtener la tasa, mientras que los cortes estivales se trabajan de forma separada.

La tasa se calculará por tipo de día y periodo horario. Para los días laborales se obtendrá una tasa por cada uno de los siguientes periodos: Punta Mañana (PMA), Fuera de Punta (FP) y Punta Tarde (PTA), cuyos horarios serán definidos por DTPM. Mientras que para los tipos de día "Sábado" y "Domingo" se obtendrá una única tasa "Fin de Semana" (FdS) sin hacer diferencia en periodos horarios. Estos factores podrán ser modificados por DTPM, dependiendo de lo observado en la operación del sistema.

A continuación, se detallan los pasos para la obtención de una tasa (k_f) cualquiera, tal que $f \in \{PMA, FP, PTA, FdS\}$:

1. Calcular, para cada corte (c), la velocidad promedio (V_f^c) como el cociente de las distancias ($D_{d,m}^c$) y tiempos ($T_{d,m}^c$) totales de las expediciones. Para ello, se deben utilizar las expediciones del tipo de día (d) y medias horas (m) que correspondan con la tasa (k_f).

$$V_f^c = \frac{D_{d,m}^c}{T_{d,m}^c}, \quad \forall c, \forall \{(d, m) : (d, m) \in f\}$$

2. Estimar los parámetros de un modelo de regresión lineal simple, como se explica en la sección 3.4, utilizando como variable dependiente las velocidades (V_f^c) y como variable independiente un identificador numérico (i) ordenado, en que el corte más antiguo corresponde al uno (1) y otorgando los valores consecutivos a los siguientes cortes según su orden temporal.
3. Utilizando los interceptos (α_f) y pendientes (β_f) de las rectas de regresión lineal obtenidas, estimar la velocidad (V_f') para el último corte utilizado ($\max[c]$) mediante la siguiente expresión:

$$V'_f = \alpha_f + \beta_f \cdot i(\max[c])$$

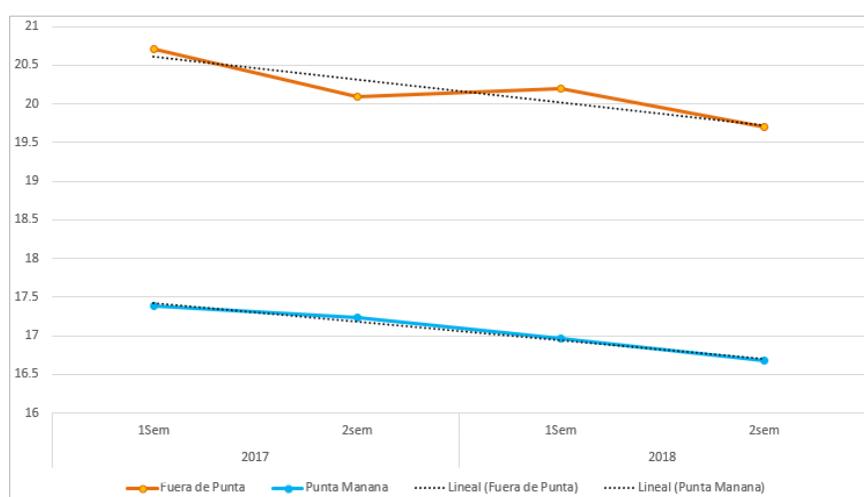
*Donde $i(\max[c])$ corresponde al identificador numérico del último corte utilizado.

- Finalmente, la tasa (k_f) se obtiene en función de la pendiente de la recta (β_f) y la velocidad estimada para el ultimo corte utilizado (V'_f). Como se define en la siguiente expresión:

$$k_f = 1 + \frac{\beta_f}{V'_f}$$

A modo de ejemplo, en la Figura 4-3 se presenta una regresión lineal en cortes normales. En esta, se utilizan los datos a nivel sistema de dos años de operación para las tasas PMA y PTA.

Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-3: Ejemplo de regresión lineal para cortes normales.



Para ajustar las velocidades de expediciones adicionales de cortes estivales (como se menciona en la sección 4.2.1), se debe calcular la tasa del corte correspondiente y proyectar la velocidad de cada expedición con la fórmula descrita en la sección 4.7.

4.5 Construcción de Unidades de Análisis

De las Salidas Programadas (sección 4.1.2) se definen las unidades de análisis cuyas velocidades se deben estimar. Para ello, se consideran aquellas cuyo N° Salidas es mayor a cero.

En esta construcción, las variantes por ferias, actividades de días festivos, reversibilidad de calles u otras medidas propias de un periodo del día (por ejemplo, servicios que operan en punta mañana o punta tarde), deben ser agrupadas junto a sus servicios originales.

De presentarse el caso de un servicio que sufre una modificación durante el periodo de recopilación de datos, todos los datos anteriores a dos semanas después de aplicada la modificación quedan invalidados. Si debido a esta medida existen unidades de análisis que no cumplen con la cota mínima de información, se deben seguir los criterios descritos en la sección 4.2.1. En caso de no cumplir con la cota mínima con la excepción descrita, se debe proceder según los criterios definidos en el capítulo 5 de Casos Especiales.

4.6 Cálculo de Velocidades Base

Desde la información del campo *Velocidad Media*, resultante de la limpieza descrita en la sección 4.3, se debe calcular el percentil 40 (V^{P40}) (sección 3.3) y promedio (\bar{V}) para cada unidad de análisis. A partir de esta información, la velocidad base (V_b) corresponderá al valor mínimo entre el percentil 40 y promedio, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V_b = \min(V^{P40}, \bar{V})$$

4.7 Proyección de Velocidades

Para obtener las velocidades proyectadas (V^p) por unidad de análisis, desde un corte temporal cualquiera a un periodo "n" cortes en el futuro, se utilizan las velocidades base (V_b) (descritas en la sección 4.6) y las tasas (k_f) (descrita en la sección 4.4), según el tipo de día y media hora de la unidad de análisis a proyectar. El cálculo se define en la siguiente expresión:

$$V^p = V_b \cdot (k_f)^n$$

4.8 Suavización de Velocidades

El principal propósito de esta tarea es controlar caídas y/o aumentos abruptos de velocidad en periodos en donde existe evidencia de que estos no se producen. La suavización se realiza a nivel de servicio-sentido y tipo de día utilizando los bloques continuos de medias horas. La técnica utilizada para este propósito es el estimador de kernel de Nadaraya-Watson [2], el que se basa en estimaciones no paramétricas mediante estimadores de kernel. Este método opera de forma similar a una media ponderada en donde se asume que cada observación influye en las observaciones de su entorno según una distribución definida por la función de kernel. El estimador de Nadaraya-Watson se define de la siguiente forma:

$$\hat{f}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)}{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)}$$

Donde:

- x = Punto donde se busca suavizar la curva.
- n = Cantidad de observaciones del conjunto.
- K = Función no-negativa de forma decreciente llamada kernel.
- x_i, y_i = Pares de información conocidos del entorno del punto a suavizar.
- h = Parámetro de la función de kernel llamado ancho de banda.

Existen varias funciones que satisfacen las condiciones que definen a una función de kernel. En este caso se utiliza el kernel gaussiano que asigna una ponderación decreciente con respecto a la distancia del dato según la siguiente ecuación:

$$K(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}(\mu)^2\right)$$

En este caso particular:

$$\mu = \frac{x - x_i}{h}$$

El parámetro h puede ser interpretado como un indicador de suavización, es decir, a mayor valor de h se tendrá una curva más suave y a menor valor de h se tendrá, prácticamente, una interpolación. Debido a los importantes cambios de velocidad sufridos por los servicios durante las puntas de días laborales, se ha implementado el uso de un ancho de banda específico para estos periodos. En la Tabla 4-5 se detallan los anchos de banda definidos por tipo de día y periodo.

Tabla 4-5: Resumen de ancho de banda por tipo de día y periodo.

Tipo de día	Periodo	Ancho de banda (h)
Laborales	Punta*	0,5
	Fuera de Punta*	1,0
Sábado		1,0
Domingo		1,0

* El horario de los periodos punta será definido por DTPM.

Para los días laborales, la curva suavizada se construye uniendo los puntos de las curvas suavizadas con ambos anchos de banda según el periodo correspondiente. Es decir, se utilizan

los puntos de la curva con ancho de banda $h=0,5$ para los períodos punta y los puntos de la curva con ancho de banda $h=1,0$ para los períodos fuera de punta.

En resumen, para obtener la velocidad suavizada (V^s) se deben agrupar las unidades de análisis por servicio-sentido y tipo de día. Posteriormente se debe calcular por cada media hora (x) del conjunto su velocidad suavizada según la siguiente fórmula:

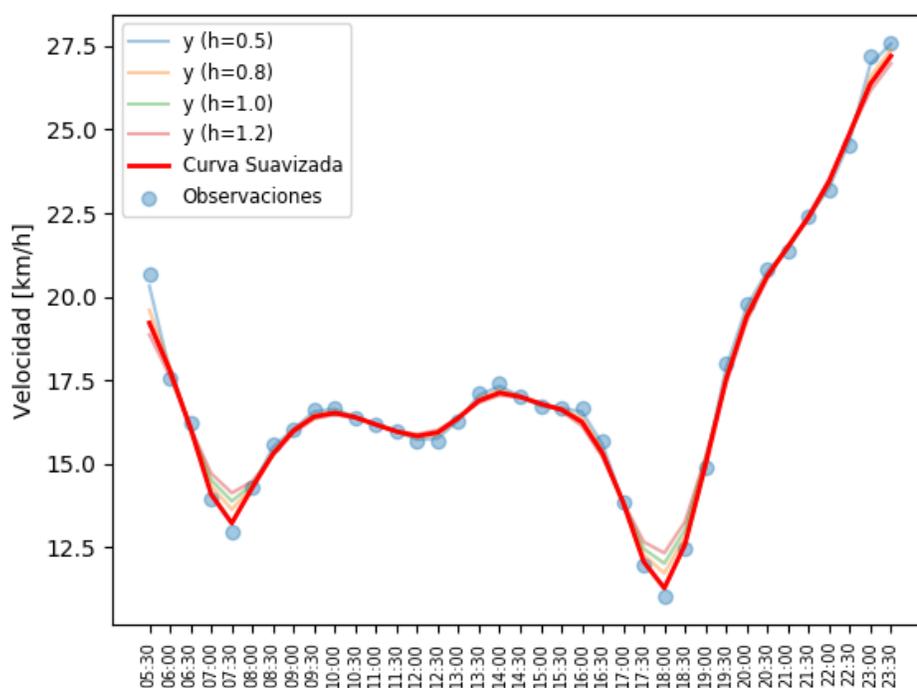
$$V^s(x) = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^p \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_i}{h}\right)^2\right]}{\sum_{i=1}^n \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_i}{h}\right)^2\right]}$$

Para que las relaciones entre valores sean correctas, las medias horas (x) deben ser identificadores numéricos enteros consecutivos (1, 2, 3, ...).

Finalmente, las velocidades por unidad de análisis resultantes de la suavización serán redondeadas al segundo decimal. Ningún otro valor utilizado en la aplicación de esta metodología debe ser aproximado.

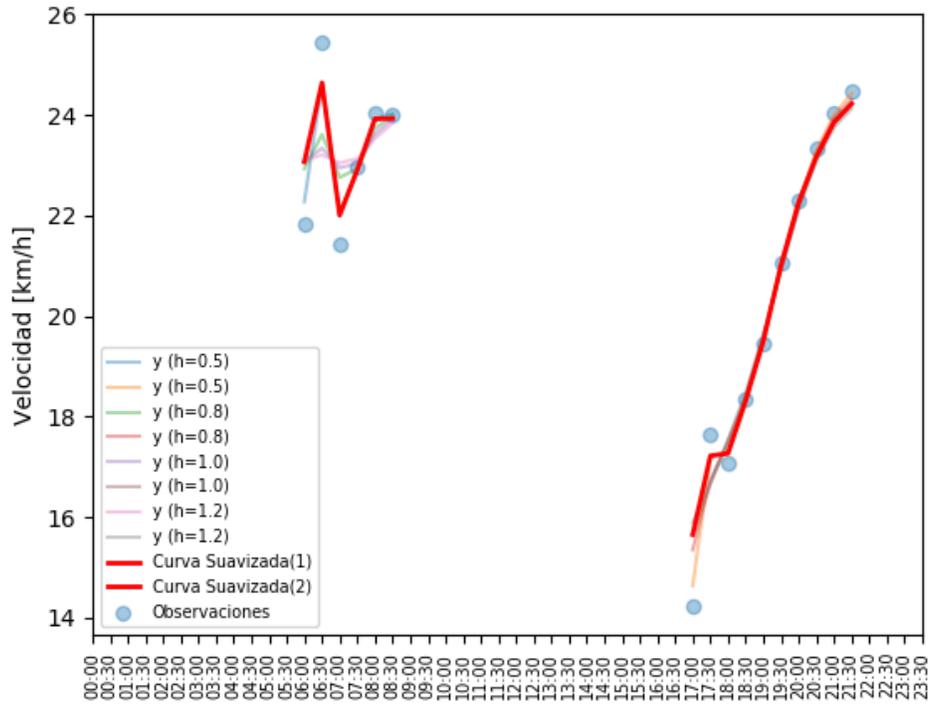
La Figura 4-4 muestra un ejemplo en donde la curva suavizada final (indicada en rojo) se aproxima más a las observaciones (puntos celestes) en períodos punta, mientras que en los periodos fuera de punta sigue un curso más suave.

Figura 4-4: Ejemplo de curva suavizada final para un día tipo Laboral.



Cuando se observe un comportamiento errático de la curva suavizada, como el ejemplo presentando en la Figura 4-5, se modificarán los valores de ancho de banda señalados en la Tabla 4-5.

Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.-5: Ejemplo de curva suavizada con un comportamiento errático.



5. CASOS ESPECIALES

En este capítulo se describen las metodologías para las unidades de análisis que, debido a particularidades, no pueden ser evaluadas con el procedimiento normal.

5.1 Cambio de Trazado, Extensiones y Nuevos Servicios

Los servicios que sean nuevos (y no se disponga información), vean modificados sus trazados (debido a cambios o extensiones) o vean extendida su operación por más de una hora o nuevos tipos de día, podrán ser analizados según las velocidades o tiempos por tramos del trazado (arcos), si se estima necesario. En caso de no estar disponible la información de tiempos por arco, se utilizará información agregada zonal, información de un servicio con trazado similar y/o información del servicio base.

5.2 Servicios con Ampliación de Horario de Operación Menor a Una Hora

En caso de extensión de los horarios de operación de los servicios en una hora o menos, horarios para los cuales no existe información histórica, las velocidades podrán imputarse utilizando los valores de la media hora más cercana con información disponible.

5.3 Inyecciones y Servicios Cortos

En el caso de inyecciones y servicios cortos que no dispongan de información previa para su correcta estimación, se procederá a utilizar la información del servicio original. Si esta información tampoco se encuentra disponible, se procederá de acuerdo con la sección 5.1.

5.4 Servicios Circunvalares

En el caso de servicios circunvalares que se construyan a partir de servicios operativos, se estimarán sus velocidades considerando al servicio circunvalar como la unión de los servicios-sentidos anteriores, procurando corregir el cálculo de sus velocidades por sus respectivos tiempos y distancias. Si la información no está disponible o si la construcción del nuevo servicio obliga a realizar modificaciones importantes, se procederá de acuerdo con la sección 5.1.

5.5 Cambios en Infraestructura

En los casos de servicios cuyos trazados tengan modificaciones en la infraestructura por la cual circulan, como construcciones o puesta en marcha de corredores segregados, se podrá modificar su velocidad en los tramos del trazado afectados. Para estos cambios, se utilizará información de situaciones similares o evidencia de los casos que se estén evaluando.

5.6 Servicios Medidos con Indicador de Puntualidad en Horario de Pasada

La velocidad de las unidades de análisis en que se aplican indicadores de puntualidad (IP) deberá ser calculada de forma consistente con la información de los intervalos entre puntos de control dispuesta en el Plan de Operaciones, particularmente a partir del horario de despacho y de llegada al término de la ruta.

5.7 Falta de Datos de Entrada para la Unidad de Análisis

Cuando una unidad de análisis no cuente con datos históricos, ya sea por problemas tecnológicos o falta de expediciones, se podrá aproximar su velocidad con el valor del mismo servicio-sentido y tipo de día mediante la interpolación de la velocidad más cercana dentro de la hora anterior y posterior. En caso de que solo exista uno de los dos valores, se usará este de forma directa. En caso de que no se cuente con datos válidos dentro de la banda definida se procederá de acuerdo con la sección 5.1.

5.8 Cambio Mayor en el Funcionamiento del Sistema

En caso de que la normalidad en la que opera el sistema cambie (contingencia, días o periodos ocasionales), se utilizarán las últimas fuentes representativas de datos de velocidades disponibles. Dichas velocidades base podrán ser proyectadas utilizando un factor que estime la evolución de las velocidades en función de la información conocida en el momento.

6. MODIFICACIONES DEL PRESENTE INSTRUCTIVO

El Ministerio podrá siempre que lo estime necesario, y con el fin de asegurar la continuidad y calidad de los servicios, modificar el “Instructivo de Tiempos de Desplazamiento y Velocidades” comunicando dicha modificación oportunamente a los Operadores. Cualquier cambio en este instructivo regirá para todos los Operadores de Buses a quienes sea aplicable.

Los Operadores podrán emitir observaciones a la modificación informada por el Ministerio. Para ello, deberán presentar sus observaciones por escrito dentro de los cinco (5) días siguientes a la comunicación señalada en el párrafo anterior, indicando los fundamentos de sus observaciones. El Ministerio podrá considerar las observaciones realizadas por los Operadores, y definirá las modificaciones al presente instructivo, dentro de los cinco (5) días siguientes de recibidas las observaciones, o de vencido el plazo para presentarlas.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] John Tukey, 1977: Exploratory Data Analysis, Addison-Wesley, pp. 43-44.

[2] Michalak, Marcin. (2014): On Interval Estimating Regression. Computer Science & Information Technology. 4. 45-53. 10.5121/csit.2014.4605.

2. NOTIFIQUESE el presente acto administrativo a los concesionarios del proceso licitatorio N° LPCUV 001/2019, así como a otros interesados, mediante su publicación en el sitio web www.dtpm.cl.

ANÓTESE, COMUNÍQUESE Y PUBLÍQUESE EN EL SITIO WEB www.dtpm.cl

Distribución:



Para verificar la validez de este documento debe escanear el código QR y descargar una copia del documento desde el Sistema de Gestión Documental.

1117469

E97561/2024