

EFECTO DE TORNQUETES ANTIEVASIÓN EN EL TRÁFICO DE BUSES

Rodrigo Fernández y Nicolás Valenzuela

Universidad de los Andes

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Estructura

- Introducción y motivación
- Marco teórico
- Medidas antievasión
- Trabajo experimental y toma de datos
- Ejecución del programa
- Resultados
- Conclusiones

Estructura

- **Introducción y motivación**
- Marco teórico
- Medidas antievasión
- Trabajo experimental y toma de datos
- Ejecución del programa
- Resultados
- Conclusiones

Introducción y motivación

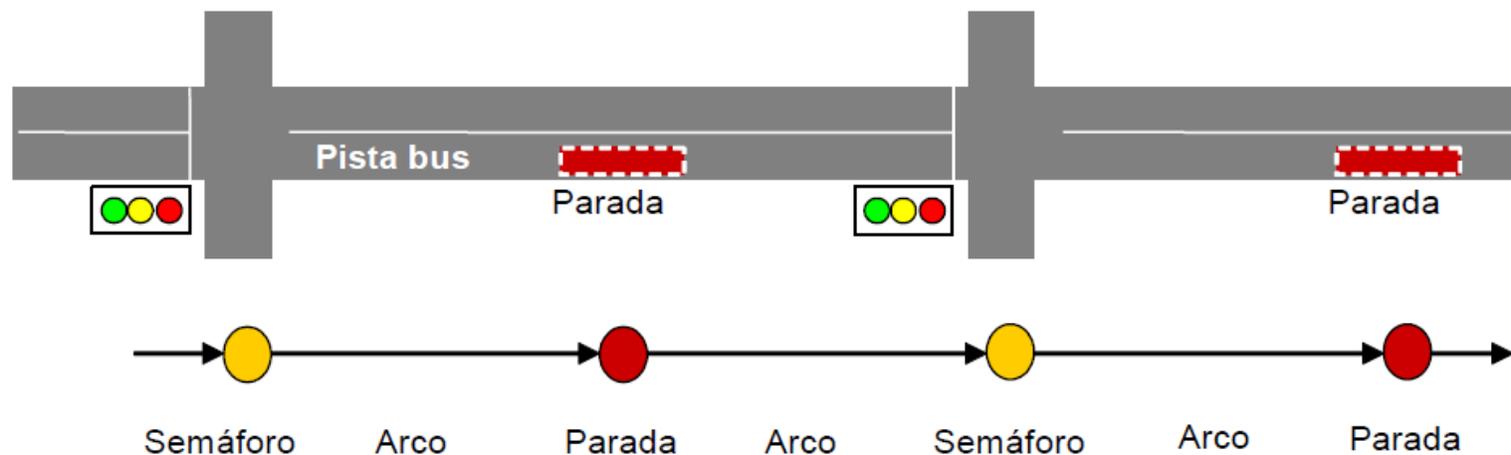
- Alta tasa de evasión del pasaje de buses: 28,5%.
- Pocos estudios realizados a escala táctica.
- Poca evaluación operacional de la efectividad de las medidas.
- Medidas antievasión ralentizan los tiempos de viaje.

Estructura

- **Introducción y motivación**
- **Marco teórico**
- Medidas antievasión
- Trabajo experimental y toma de datos
- Ejecución del programa
- Resultados
- Conclusiones

Marco Teórico: Modelo de CORBUS

- Arcos
- Paraderos
- Transferencia de pasajeros
- Intersecciones
- Demoras
- Longitud de cola
- Detenciones en intersecciones semaforizadas



Fuente: Macroscopic Simulation Approach of Public Transport on Exclusive Lanes, Fernández y Valencia (2011)

Marco Teórico: Modelo de CORBUS

Tiempo de transferencia de pasajeros

$$t_d = \begin{cases} t_{oc} + P_a t_a + P_b t_b & \text{si es transferencia secuencial} \\ t_{oc} + \max\{t_a P_a; t_b P_b\} & \text{si es transferencia simultánea} \end{cases}$$

Fuente: *Highway Capacity Manual* (TRB, 2010).

Marco teórico: Velocidad comercial

$$V_c = \frac{L}{T_t}$$

$$T_t = \sum_k \frac{L_k}{V_r} + \sum_k p_{IK} d_{IK} + \sum_k p_{pk} d_{Pk}$$

Largo corredor y
velocidad del
vehículo

Demora en
intersecciones

Demora en
paraderos

Estructura

- **Introducción y motivación**
- **Marco teórico**
- **Medidas antievasión**
- Trabajo experimental y toma de datos
- Ejecución del programa
- Resultados
- Conclusiones

Medidas antievasión



Fuente: Transantiago

Fuente: El informador Chile

Paraderos con zonas pagas

Pasajero paga en el paradero antes de abordar

Más de una puerta para subir

Solo 277 paraderos (2%) son Zonas pagas

Tiempo de subida por pasajero $0,5 \frac{s}{pax}$

Buses con torniquetes

Permite abordar después de haber pagado

Controla efectivamente la evasión

Mala percepción de los usuarios al ser difícil de circular por problemas físicos

Tiempo de subida por pasajero $6 \frac{s}{pax}$

Estructura

- Introducción y motivación
- Marco teórico
- Medidas antievasión
- **Trabajo experimental y toma de datos**
- Ejecución
- Resultados
- Conclusiones

Trabajo experimental: recolección de datos

- Corredor
- Ubicación y nomenclatura de paraderos
- Obtención de datos
 - Demanda de pasajeros
 - Flujo de vehículos
 - Velocidad media de buses
 - Información de paraderos, intersecciones y semáforos
 - Información de intersecciones

Información paraderos sentido Poniente - Oriente

Sentido Poniente - Oriente

Paradero	ID	Nombre
PC1	PO1	Parada 3 – (M) Manuel Montt
PC151	PO2	Parada 1 (M) Manuel Montt
PC2	PO3	Parada 7 (M) Pedro de Valdivia
PC203	PO4ZP	Parada 3 (M) Pedro de Valdivia
PC370	PO5	Parada 1 (M) Pedro de Valdivia
PC152	PO6	Parada 3 / Guardia Vieja
PC204	PO7	Parada 1 / Guardia Vieja
PC153	PO8	Parada 3 (M) Los Leones
PC205	PO9	Parada 1 (M) Los Leones
PC154	PO10	Parada 5 (M) Los Leones
PC206	PO11	Parada 7 (M) Los Leones
PC1220	PO12ZP	Parada 7 (M) Tobalaba
PC155	PO13ZP	Parada 1 (M) Tobalaba
PC509	PO14	Parada 5 (M) Tobalaba

Sentido Oriente - Poniente

Paradero	ID	Nombre
PC1016	OP1	Parada 3 (M) Tobalaba
PC270	OP2	Parada 2 (M) Tobalaba
PC187	OP3	Parada 2 / Hospital Metropolitano
PC271	OP4	Parada 10 (M) Los Leones
PC188	OP5	Parada 6 (M) Los Leones
PC301	OP6	Parada 4 (M) Los Leones
PC272	OP7	Parada 2 (M) Los Leones
PC189	OP8	Parada 8 (M) Pedro de Valdivia
PC349	OP9ZP	Parada 6 (M) Pedro de Valdivia
PC190	OP10ZP	Parada 4 (M) Pedro de Valdivia
PC21	OP11	Parada 2 (M) Pedro de Valdivia
PC191	OP12	Parada 2 / Biblioteca de Providencia
PC273	OP13	Parada 4 (M) Manuel Montt
PC192	OP14	Parada 2 (M) Manuel Montt

Demanda de pasajeros

Sentido Poniente - Oriente

ID	Subida $\left[\frac{pax}{km-h}\right]$	Bajada $\left[\frac{pax}{km-h}\right]$
PO1	89	151
PO2	82	229
PO3	68	235
PO4ZP	424	84
PO5	228	461
PO6	213	110
PO7	140	80
PO8	100	83
PO9	273	113
PO10	53	71
PO11	228	157
PO12ZP	640	90
PO13ZP	437	266
PO14	95	100
	3070	2230

Fuente: Elaboración propia

Sentido Oriente - Poniente

ID	Subida $\left[\frac{pax}{km-h}\right]$	Bajada $\left[\frac{pax}{km-h}\right]$
OP1	222	148
OP2	184	94
OP3	345	83
OP4	160	131
OP5	200	61
OP6	306	71
OP7	35	38
OP8	177	73
OP9ZP	370	0
OP10ZP	188	39
OP11	68	13
OP12	111	31
OP13	171	84
OP14	137	60
	2674	926

Flujo y velocidad media de buses

Sentido	Flujo [<i>bus</i>]	Velocidad recorrido [$\frac{km}{h}$]
Poniente – Oriente	108	36
Oriente – Poniente	109	29

Fuente: Elaboración propia

Información de paraderos corredor Nueva Providencia PO

Paradero	Ubicación	Intersección aguas abajo	Semáforo [s]		Número de sitios
			Ciclo	Verde	
PO1	Antes de la intersección	Nueva Providencia / Dr. Manuel Barros Borgoño	-	-	1
PO2	Mitad de cuadra	-	-	-	1
PO3	Mitad de cuadra	-	-	-	2
PO4ZP	Antes de intersección	Nueva Providencia / Marchant Pereira	96	79	2
PO5	Mitad de cuadra	-	-	-	1
PO6	Antes de intersección	Nueva Providencia / Diego de Velásquez	-	-	1
PO7	Mitad de cuadra	-	-	-	1
PO8	Antes de intersección	Nueva Providencia / Ricardo Lyon	96	81	2
PO9	Mitad de cuadra	-	-	-	1
PO10	Antes de intersección	Nueva Providencia / Mardoqueo Fernández	-	-	1
PO11	Antes de intersección	Nueva Providencia / Los Leones	96	36	2
PO12ZP	Mitad de cuadra	-	-	-	1
PO13ZP	Antes de intersección	Nueva Providencia / Luis Thayer Ojeda	96	85	3
PO14	Antes de intersección	Nueva Providencia / Tabalaba	96	80	1

Fuente: Elaboración propia

Información de paraderos corredor Providencia OP

Paradero	Ubicación	Intersección aguas abajo	Semáforo [s]		Número de sitios
			Ciclo	Verde	
OP1	Antes de intersección	Apoquindo / Luis Thayer Ojeda	120	90	2
OP2	Mitad de cuadra	-	-	-	1
OP3	Antes de intersección	Providencia / Nueva Los Leones (cruce peatonal)	120	110	1
OP4	Antes de intersección	Providencia / Suecia	120	75	1
OP5	Mitad de cuadra	-	-	-	2
OP6	Mitad de cuadra	-	-	-	2
OP7	Antes de intersección	Providencia / Orrego Luco	-	-	1
OP8	Antes de intersección	Providencia / Pedro de Valdivia	120	95	2
OP9ZP	Mitad de cuadra	-	-	-	1
OP10ZP	Antes de intersección	Providencia / La Concepción	120	106	2
OP11	Mitad de cuadra	-	-	-	1
OP12	Antes de intersección	Providencia / Santa Beatriz	-	-	1
OP13	Mitad de cuadra	-	-	-	2
OP14	Antes de intersección	Providencia / Manuel Montt	120	94	2

Información de intersecciones

	Intersección	Semáforo	
		Ciclo [s]	Verde [s]
		Sentido Poniente – Oriente	Nueva Providencia / General del Canto
Nueva Providencia / Antonio Varas	96		77
Nueva Providencia / Alcalde Rafael Vives	96		70
Nueva Providencia / Carlos Antúnez	96		58
Nueva Providencia / Marchant Pereira	96		79
Nueva Providencia / Pedro de Valdivia	96		84
Nueva Providencia / Guardia Vieja	96		87
Nueva Providencia / Ricardo Lyon	96		81
Nueva Providencia / Suecia	96		84
Nueva Providencia / Los Leones	96		36
Nueva Providencia / Holanda	96		58
Nueva Providencia / Luis Thayer Ojeda	96		85
Nueva Providencia / Tobalaba	96		80

Fuente: Elaboración propia

	Intersección	Semáforo	
		Ciclo [s]	Verde [s]
		Sentido Oriente - Poniente	Providencia / Luis Thayer Ojeda
Providencia / Holanda	120		97
Providencia / Los Leones	120		110
Providencia / Los Leones (peatonal)	120		92
Providencia / Suecia	120		75
Providencia / Nueva de Lyon	120		62
Providencia / Guardia Vieja	120		72
Providencia / Pedro de Valdivia	120		95
Providencia / La Concepción	120		106
Providencia / Antonio Bellet	120		90
Providencia / Santa Beatriz	120		89
Providencia / Cirujano Guzmán	120		100
Providencia / Manuel Montt	120		94

Estructura

- Introducción y motivación
- Marco teórico
- Medidas antievasión
- Trabajo experimental y toma de datos
- **Ejecución del programa**
- Resultados
- Conclusiones

Ejecución de CORBUS

- Ambos corredores poseen paraderos con zonas pagas.
- Distinto tiempo de subida y bajada de pasajeros comparado con los otros paraderos del corredor.
- CORBUS no distingue entre paraderos:
 - Comportamiento uniforme a lo largo del corredor
 - CORBUS permite diferenciar tiempos de subida y bajada POR BUS
- Creación de sub-redes en función al tipo de bus.

Input y output

Corredor | Buses | Paraderos | Intersecciones | Parámetros

Definición de corredor

Nombre:

Largo del corredor: m Flujo de buses que siguen directo en el corredor: bus/h

Velocidad promedio de recorrido del corredor: km/h Tasa de ocupación de los buses: pax/bus

Densidad de pasajeros que suben: pax/h-km Demora media en paraderos: s

Densidad de pasajeros que bajan: pax/h-km Proporción general de buses que se detienen en paraderos:

Flujo de saturación de buses: bus/h-pista

Número de pistas del corredor (Caso Corredor Segregado):

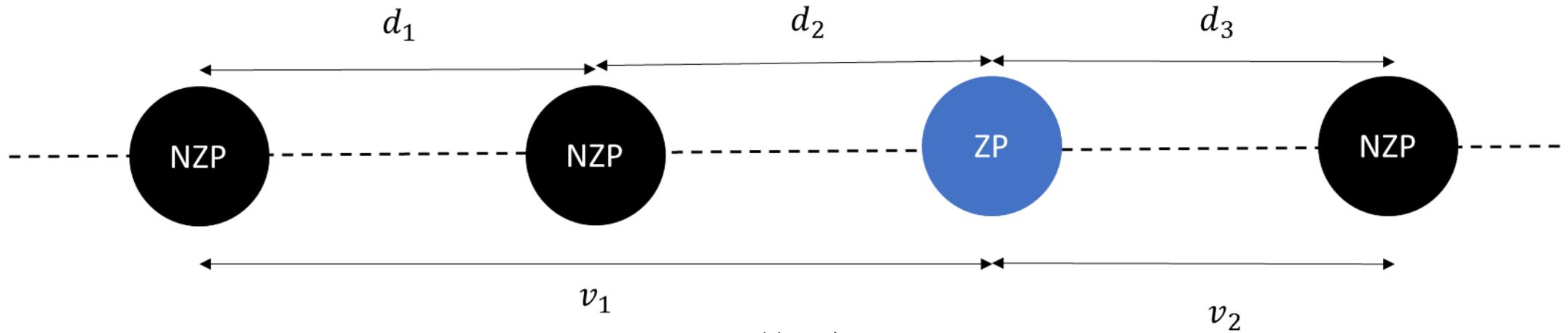
Se utilizará este corredor para simular con tráfico mixto: SI NO

Fuente: CORBUS XLS

<u>Resultados Generales</u>	
Escenario:	
Corredor:	: Nueva Providencia Segregado T3
Bus:	: Articulado
Parámetros:	: Parámetros NVZ2018
Velocidad Comercial	: 9,69 km/h
Tiempo de viaje total	: 427,70 s
Flujo de buses Corredor	: 108,00 bus/h
Flujo buses que para en paradero	: 86,40 bus/h
Flujo de Saturación	: 1000,00 bus/h-pista
Densidad de subida Corredor	: 1235,00 pax/h-km
Densidad de bajada Corredor	: 1075,00 pax/h-km
Tasa de ocupación de buses	: 70,00 pax/bus
Tasa de aceleración	: 1,20 m/s ²
Tasa de frenado	: 1,30 m/s ²
Largo del corredor	: 1151,00 m
Numero de intersecciones	: 8,00
Numero de Paraderos	: 7,00
Numero de tramos	: 9,00
Demora en tramos	: 115,10 s
Demora Intersecciones	: 25,25 s
Demora Paraderos	: 287,35 s
Espaciamento Optimo aproximado	: 374,31 m
Espaciamento Óptimo chequeado	: 369,97 m
Espaciamento Real	: 164,43 m

Fuente: CORBUS XLS

Ejecución de CORBUS: sub-redes

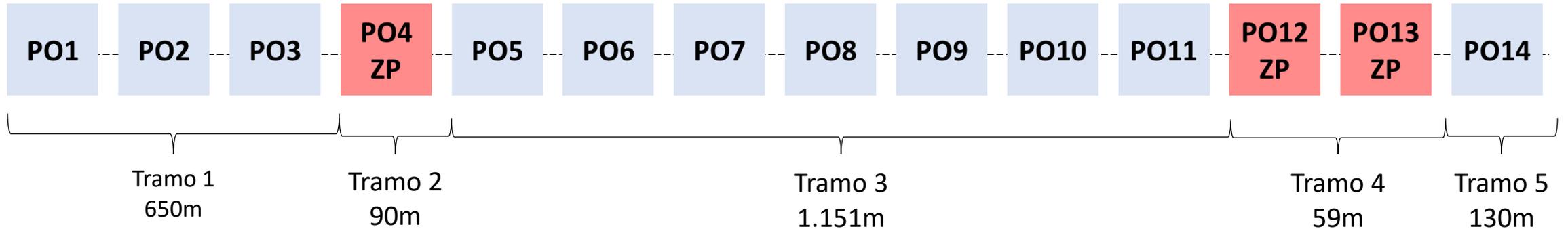


Fuente: Elaboración propia

$$\bar{v} = \frac{(d_1 + d_2)v_1 + d_3v_2}{d_1 + d_2 + d_3}$$

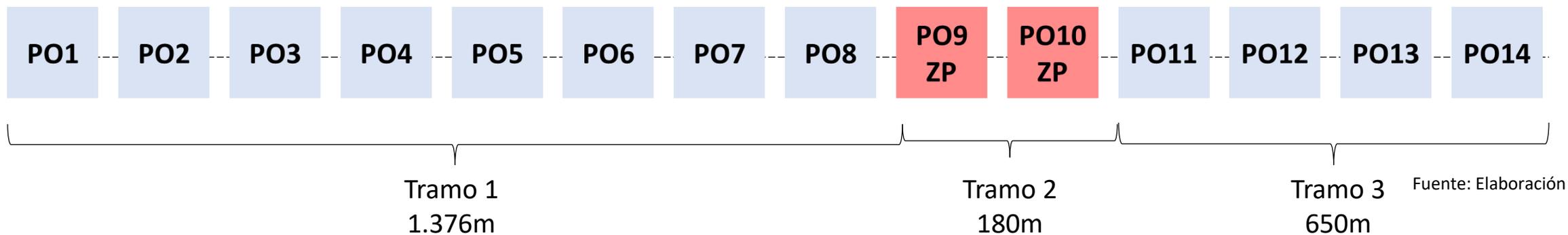
Expresión de sub-redes

Corredor Nueva Providencia (AM)
Sentido Poniente - Oriente



Fuente: Elaboración propia

Corredor Providencia (PM)
Sentido Oriente - Poniente

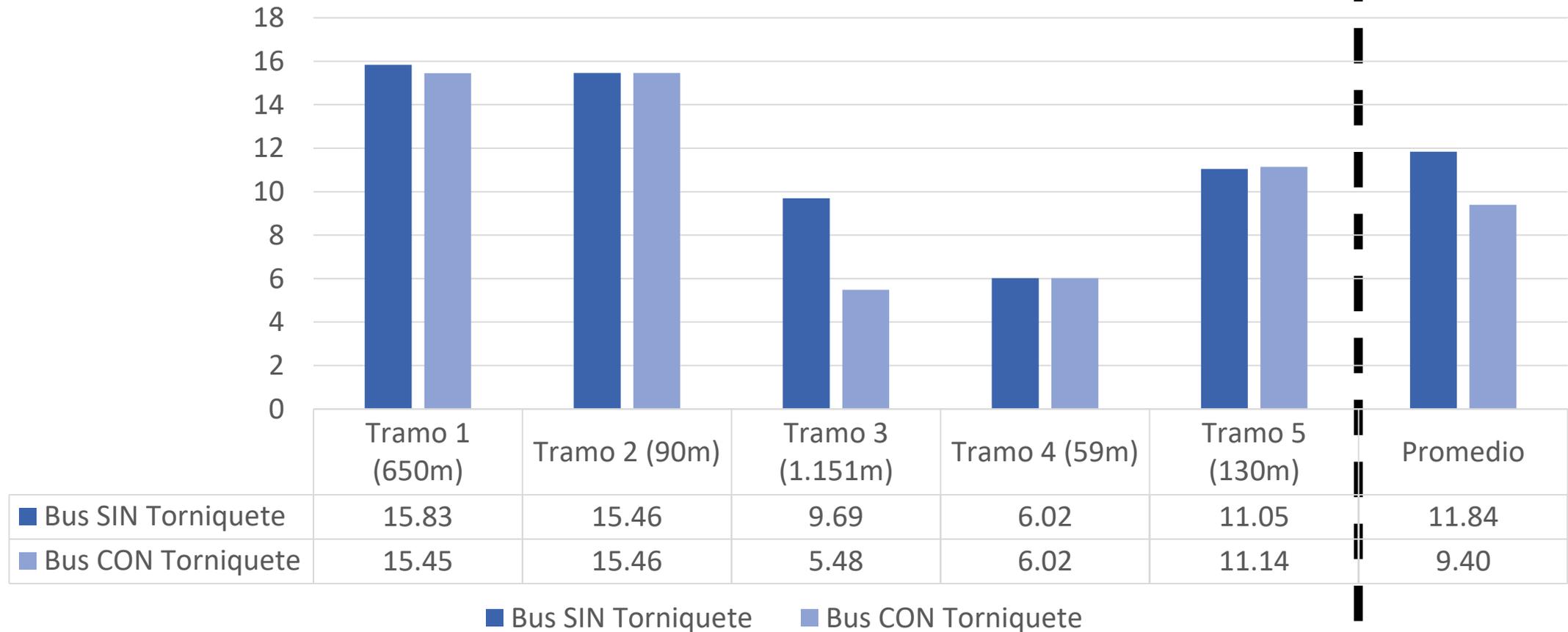


Fuente: Elaboración propia

Estructura

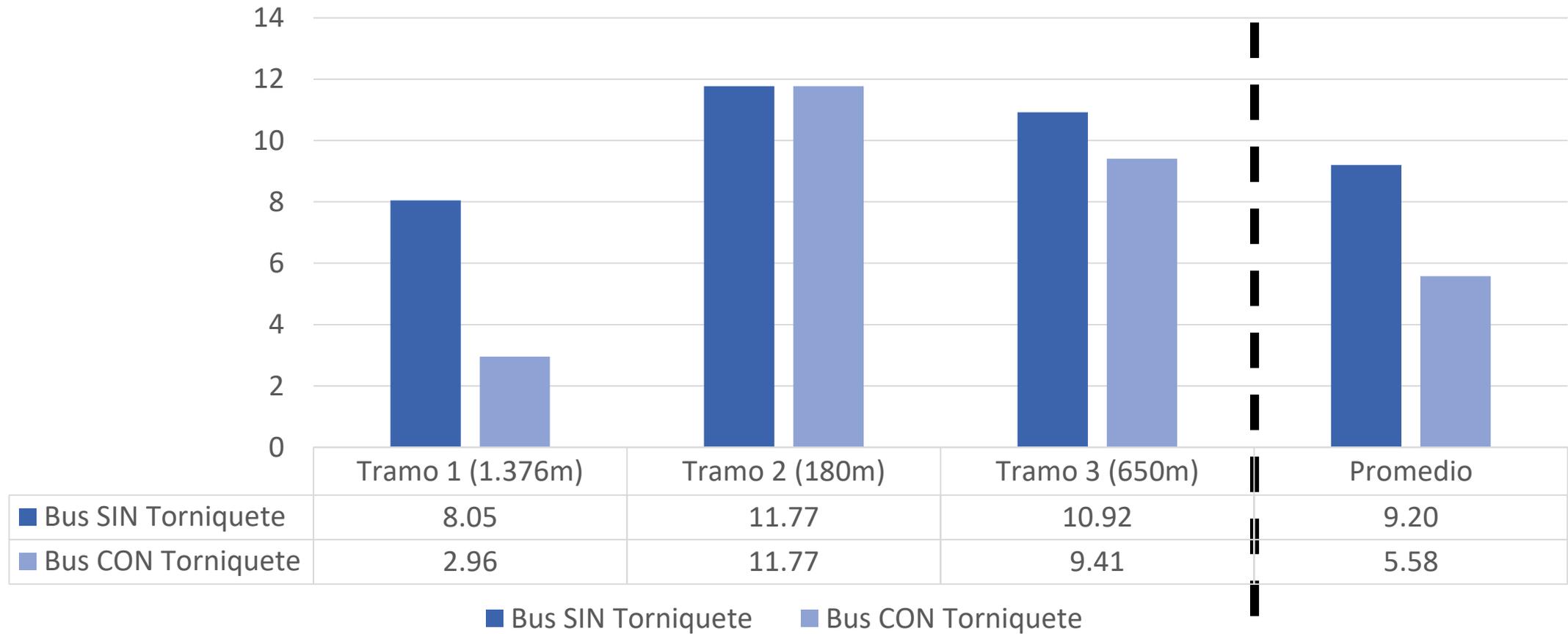
- Introducción y motivación
- Marco teórico
- Medidas antievasión
- Trabajo experimental y toma de datos
- Ejecución del programa
- **Resultados**
- Conclusiones

Velocidad comercial Corredor Nueva Providencia PO [km/h]

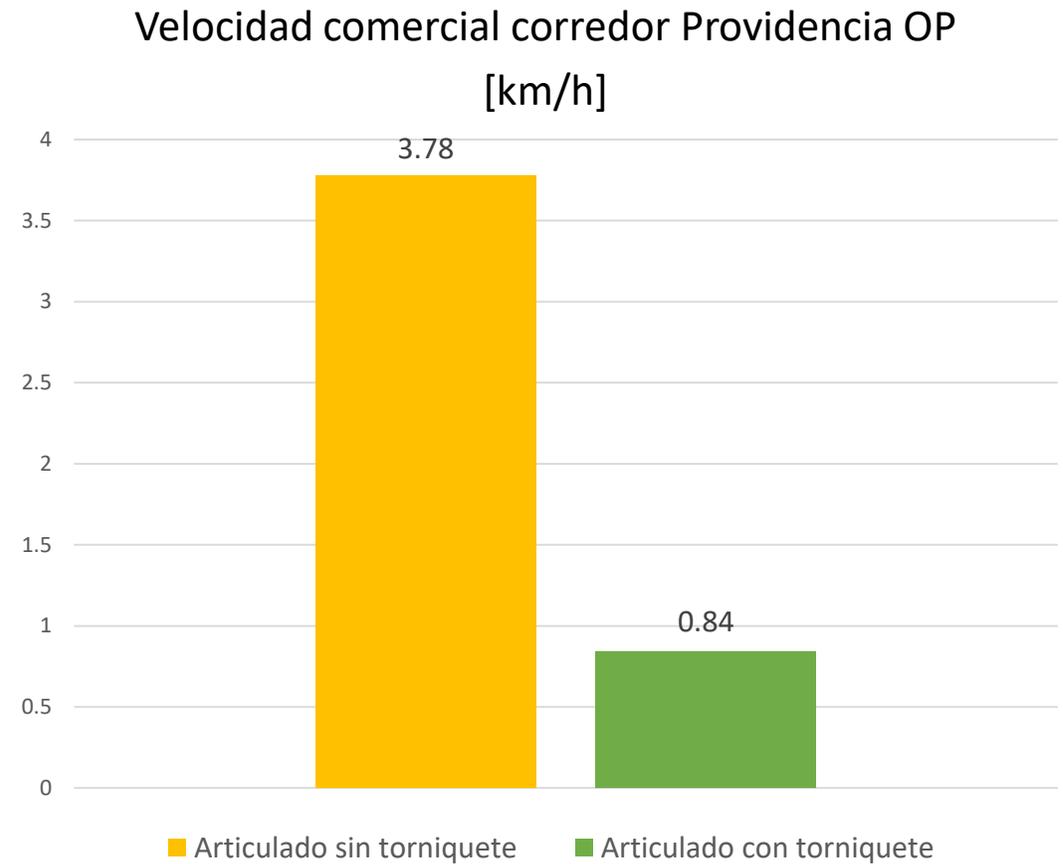
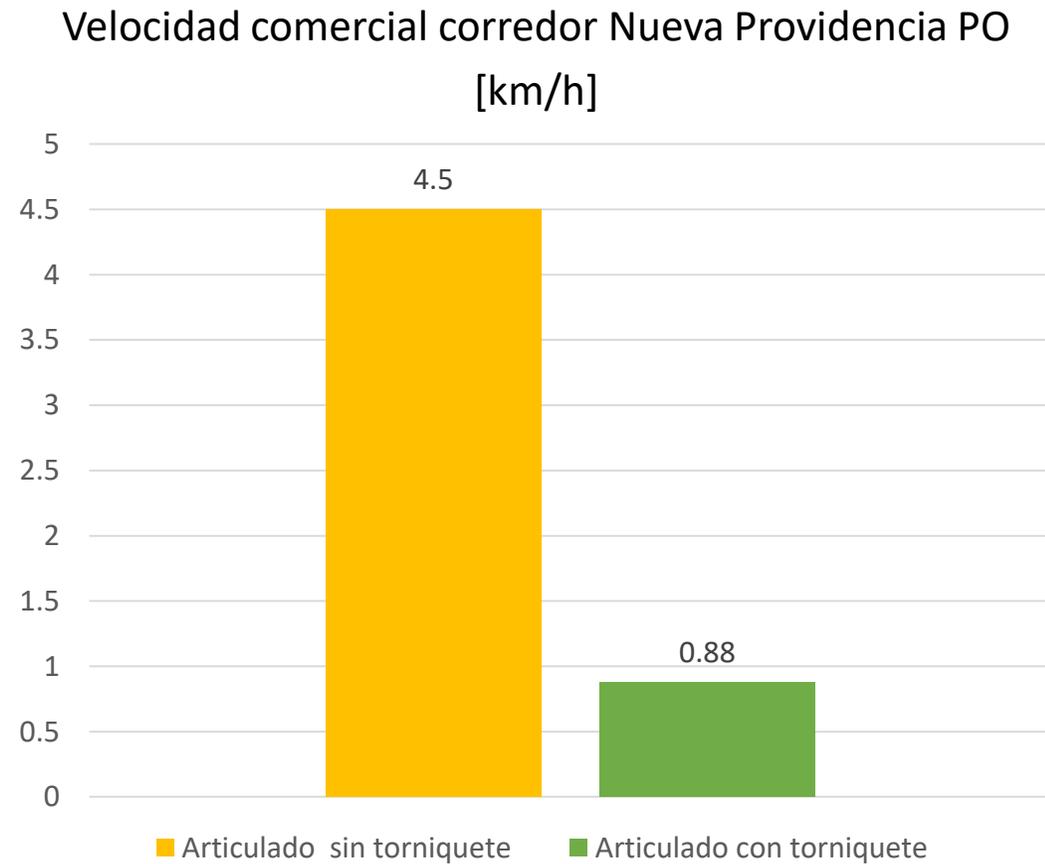


Fuente: Elaboración propia

Velocidad comercial Corredor Providencia OP [km/h]



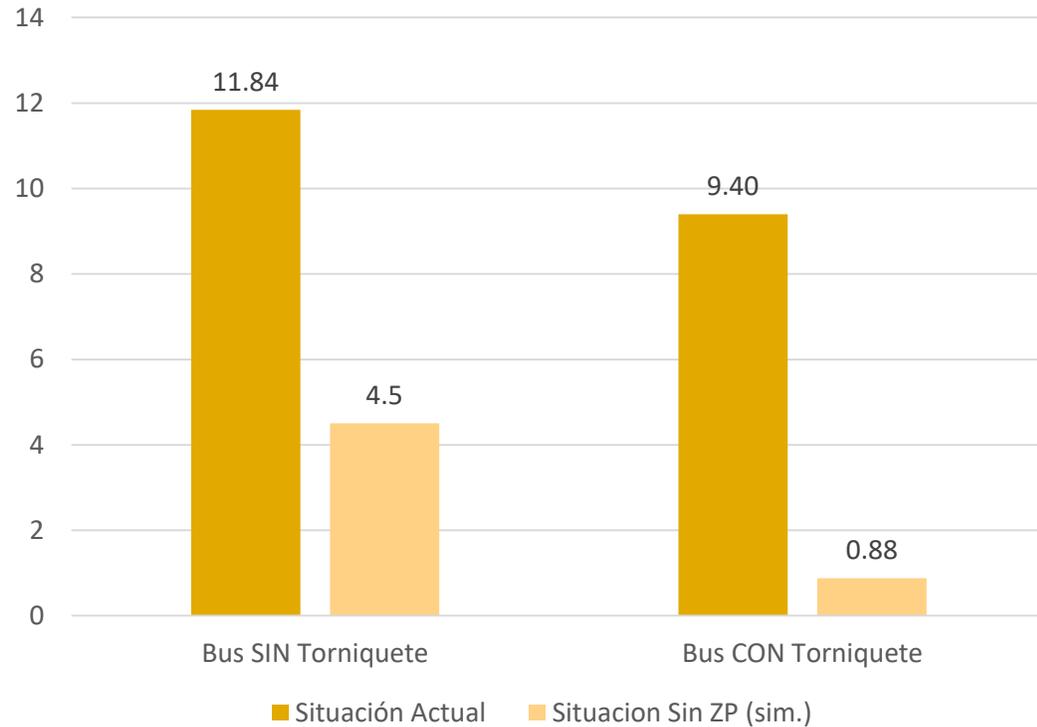
Simulación corredor sin paraderos ZP



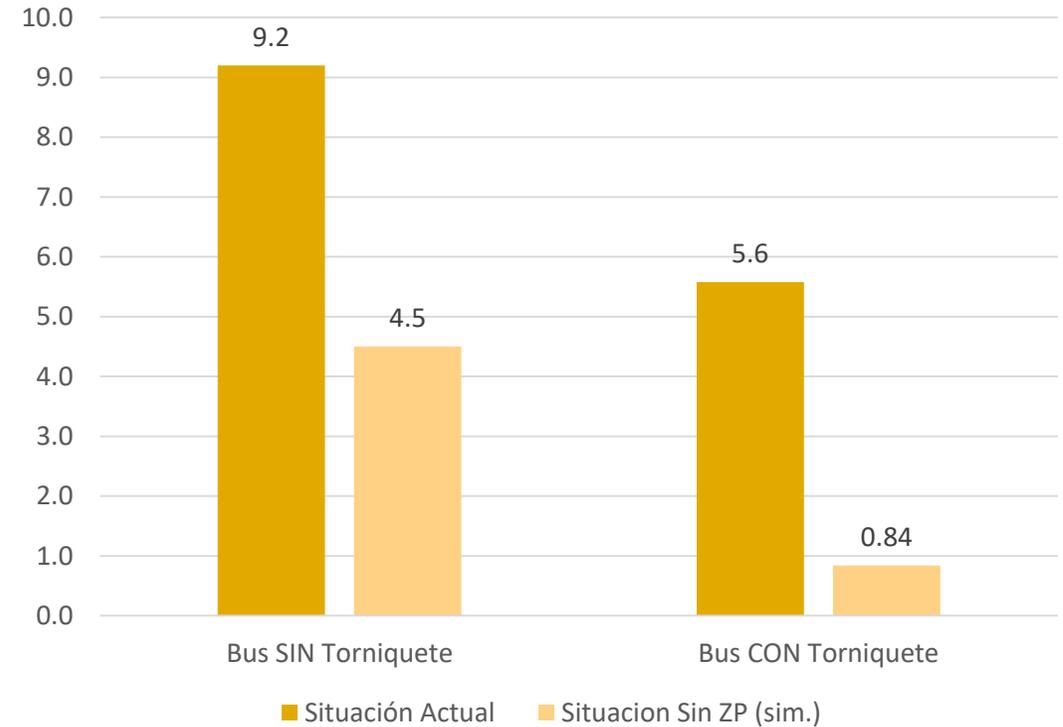
Fuente: Elaboración propia

Comparación

Velocidad comercial Corredor Nueva Providencia
[km/h]



Velocidad comercial Corredor Providencia
[km/h]



Fuente: Elaboración propia

Verificación

		Tipo de bus	Velocidad medida $\left[\frac{km}{h}\right]$	Velocidad simulada $\left[\frac{km}{h}\right]$
Corredor Nueva Providencia	Articulado		12,9	11,5
	Art. Torniquete		9,7	9,4
Corredor Providencia	Articulado		11,4	9,2
	Art. Torniquete		8,8	5,6

Estructura

- Introducción y motivación
- Marco teórico
- Medidas antievasión
- Trabajo experimental y toma de datos
- Ejecución
- Resultados
- **Conclusiones**

Conclusiones

- CORBUS resultó ser efectivo para la evaluación de las medidas anti-evasión.
- Se puede apreciar una diferencia significativa en la velocidad comercial y tiempo de viaje al aplicar las diferentes medidas.
- Fue efectivo el supuesto separar el corredor en sub-corredores y hacer un promedio ponderado.
- CORBUS no hace diferencia en los resultados por la cantidad de puertas en los buses.
- CORBUS no hace diferencia en los tiempos de subida y bajada por pasajero en cada paradero del corredor.

EFECTO DE TORNQUETES ANTIEVASIÓN EN EL TRÁFICO DE BUSES

Rodrigo Fernández y Nicolás Valenzuela

Universidad de los Andes

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas