

# Tabla de contenido

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación .....	1
1.2. Contexto: Sistema de transporte público en Santiago de Chile .....	3
<b>2. Revisión Bibliográfica .....</b>	<b>7</b>
2.1. Variabilidad de los intervalos de tiempo entre buses.....	7
2.2. Estrategias de control de operaciones para afrontar el apelotonamiento de buses .....	10
2.3. Variabilidad de los intervalos programados al inicio de la ruta.....	11
2.4. Medidas de variabilidad de intervalos .....	13
<b>3. Recopilación y generación de datos .....</b>	<b>17</b>
3.1. Descripción de los periodos en estudio.....	17
3.1.1. Periodo 1: Transición Nocturna.....	17
3.1.2. Periodo 2: Punta Mañana.....	18
3.1.3. Infraestructura y paraderos en el sistema de transporte público de Santiago.....	18
3.2. Generación de datos .....	18
3.2.1. Intervalos de tiempo entre buses consecutivos que pasan por el primer paradero del servicio .....	19
3.2.2. Frecuencia de buses programada .....	20
3.2.3. Largo de ruta por servicio.....	21
3.2.4. Tiempos de viaje de las expediciones observadas y velocidades comerciales.....	21
3.2.5. Subida de pasajeros por servicio .....	21
3.2.6. Catastro de ubicación y operación de cabezales, depósitos y primeras paradas, por servicio .....	22
3.3. Recopilación de antecedentes en terreno: Estudio de la operación en cabezales de Transantiago.....	23
3.3.1. Visita a cabezal del servicio 205I.....	25
3.3.2. Visita a cabezal del servicio H13R.....	25
3.3.3. Visita a cabezal del servicio D18R.....	26

3.3.4.	Visita a cabezal del servicio 501I.....	27
3.3.5.	Visita a cabezal del servicio 213eI.....	27
3.3.6.	Comentarios.....	28
<b>4.</b>	<b>Modelación .....</b>	<b>29</b>
4.1.	Variables explicadas .....	29
4.2.	Variables explicativas .....	35
4.2.1.	Variables explicativas: Operación y diseño de la red.....	35
4.2.2.	Variables explicativas: Desempeño de la empresa operadora.....	37
4.2.3.	Variables explicativas: Operación e infraestructura de cabezales y depósitos.....	38
4.2.4.	Resultados esperados.....	43
<b>5.</b>	<b>Resultados y análisis.....</b>	<b>44</b>
5.1.	Modelación Periodo 1: Transición Nocturna (5.30 a 6.29 horas).....	44
5.2.	Modelación Periodo 2: Punta Mañana (6.30 a 8.29 horas).....	51
5.3.	Análisis de parámetros.....	58
5.3.1.	Operación y diseño de la red .....	59
5.3.2.	Desempeño de la empresa operadora .....	59
5.3.3.	Operación e infraestructura de cabezales y depósitos .....	60
5.3.4.	Importancia relativa de los parámetros.....	61
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>64</b>
6.1.	Conclusiones finales .....	64
6.2.	Recomendaciones .....	67
6.3.	Limitaciones del trabajo y líneas futuras de investigación .....	68
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>70</b>
	<b>Anexo A .....</b>	<b>73</b>
A.1.	Primera estimación de modelo con STD, periodo 5.30 a 6.29 horas.....	73
A.2.	Primera estimación de modelo con STD, periodo 6.30 a 8.29 horas.....	74

# Índice de Tablas

Tabla 1. 1: Empresas concesionarias que operan Transantiago .....	3
Tabla 1. 2: Número de depósitos con los que cuenta cada unidad de negocio.....	5
Tabla 3. 1: Descripción de cabezales visitados .....	24
Tabla 3. 2: Medición en cabezal del intervalo entre despachos .....	24
Tabla 3. 3: Medición en cabezal del tiempo de detención.....	24
Tabla 4. 1: Coeficientes transformación Box-Cox .....	30
Tabla 4. 2: Estadísticos descriptivos de los indicadores de regularidad, periodos 1 y 2.....	31
Tabla 4. 3: Promedio de minutos de incidencia al inicio de la ruta, por operador .....	31
Tabla 4. 4: Estadísticos descriptivos de frecuencia e intervalo programado.....	35
Tabla 4. 5: Estadísticos descriptivos de velocidad comercial en la expedición de retorno .....	36
Tabla 4. 6: Estadísticos descriptivos de demanda media por bus.....	37
Tabla 4. 7: Estadísticos descriptivos de largo de ruta de la expedición de retorno .....	37
Tabla 4. 8: Descripción variable tipo dummy asociada a punto de control de regularidad en el cabezal .....	39
Tabla 4. 9: Descripción desagregada por operador de la variable tipo dummy asociada a punto de control de regularidad ubicado en el cabezal.....	39
Tabla 4. 10: Descripción variable de tipo dummy asociada a la presencia del cabezal en el interior del depósito respectivo .....	40
Tabla 4. 11: Descripción desagregada por operador de la variable de tipo dummy asociada a la presencia del cabezal en el interior del depósito respectivo .....	40
Tabla 4. 12: Estadísticos descriptivos de distancia recorrida entre depósito y primer paradero ...	41
Tabla 4. 13: Estadísticos descriptivos de número de servicios-sentido por cabezal .....	42
Tabla 4. 14: Influencia esperada de las variables explicativas sobre la regularidad de los despachos de buses .....	43

Tabla 5. 1: Estimación preliminar de modelos con indicadores CV, STD y Reg_IPO, periodo 1	48
Tabla 5. 2: Estimación final de modelos con indicadores CV, STD y Reg_IPO, periodo 1	50
Tabla 5. 3: Estimación final modelo con indicador Minc, periodo 1	51
Tabla 5. 4: Estimación preliminar de modelos con indicadores CV, STD y Reg_IPO, periodo 2	54
Tabla 5. 5: Estimación final de modelos con indicadores CV, STD y Reg_IPO, periodo 2	56
Tabla 5. 6: Estimación final modelo con indicador Minc, periodo 2	58
Tabla 5. 7: Desempeño de operadores, indicadores CV, STD y Reg_IPO	60
Tabla 5. 8: Desempeño de operadores, indicador minutos de incidencia	60
Tabla 5. 9: Coeficientes estandarizados en modelos finales, periodo 5.30 a 6.29 horas	62
Tabla 5. 10: Coeficientes estandarizados en modelos finales, periodo 6.30 a 8.29 horas	62
Tabla 5. 11: Variables significativas por periodo, orden descendiente de importancia	63

# Índice de Ilustraciones

Figura 1. 1: Variabilidad de los intervalos en los operadores de Transantiago, medida a partir de los minutos de incidencia. Fuente: (García, 2016).....	4
Figura 1. 2: Ubicación depósitos U1. Fuente: Elaboración propia.....	5
Figura 1. 3: Ubicación depósitos U2. Fuente: Elaboración propia.....	5
Figura 1. 4: Ubicación depósitos U3. Fuente: Elaboración propia.....	5
Figura 1. 5: Ubicación depósitos U4. Fuente: Elaboración propia.....	5
Figura 1. 6: Ubicación depósitos U5. Fuente: Elaboración propia.....	6
Figura 1. 7: Ubicación depósitos U6. Fuente: Elaboración propia.....	6
Figura 1. 8: Ubicación depósitos U7. Fuente: Elaboración propia.....	6
Figura 3. 1: Cabezal 205 ida.....	25
Figura 3. 2: Cabezal D18 retorno.....	26
Figura 3. 3: Cabezal 501 ida.....	27
Figura 3. 4: Cabezal 213e ida.....	28
Figura 4. 1: Histograma de la variable dependiente $STD(h_{obs})$ , periodo 1.....	32
Figura 4. 2: Histograma de la variable dependiente $CV(h_{obs})$ , periodo 1.....	32
Figura 4. 3: Histograma de la variable dependiente Reg_IPO, periodo 1.....	32
Figura 4. 4: Histograma de la variable dependiente Minc, periodo 1.....	32
Figura 4. 5: Histograma de la variable dependiente $STD(h_{obs})$ , periodo 2.....	33
Figura 4. 6: Histograma de la variable dependiente $CV(h_{obs})$ , periodo 2.....	33
Figura 4. 7: Histograma de la variable dependiente Reg_IPO, periodo 2.....	33
Figura 4. 8: Histograma de la variable dependiente Minc, periodo 2.....	33
Figura 4. 9: ICR medido a lo largo de la ruta vs. ICR-I al inicio del recorrido, periodo 1. Fuente: Elaboración propia.....	34

Figura 4. 10: ICR medido a lo largo de la ruta vs. ICR-I al inicio del recorrido, periodo 2.	34
Fuente: Elaboración propia.....	
Figura 4. 11: ICR primer semestre 2016 medido a lo largo de la ruta vs. Distancia recorrida desde el depósito al primer paradero, por operador. Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 5. 1: Histograma de residuos, Indicador $CV(h_{obs})$ , periodo 1.....	45
Figura 5. 2: Gráfico de probabilidad normal de tipo P-P, indicador $CV(h_{obs})$ , periodo 1.....	45
Figura 5. 3: Histograma de residuos, Indicador Reg_IPO, periodo 1.....	45
Figura 5. 4: Gráfico de probabilidad normal de tipo P-P, indicador Reg_IPO, periodo 1.....	45
Figura 5. 5: Histograma de residuos, Indicador $STD(h_{obs})$ , periodo 1.....	45
Figura 5. 6: Gráfico de probabilidad normal de tipo P-P, indicador $STD(h_{obs})$ , periodo 1.....	45
Figura 5. 7: Diagrama de dispersión, Indicador $CV(h_{obs})$ , periodo 1.....	46
Figura 5. 8: Diagrama de dispersión, Indicador Reg_IPO, periodo 1.....	46
Figura 5. 9: Diagrama de dispersión, Indicador $STD(h_{obs})$ , periodo 1.....	46
Figura 5. 10: Histograma de residuos, Indicador $CV(h_{obs})$ , periodo 2.....	52
Figura 5. 11: Gráfico de probabilidad normal de tipo P-P, indicador $CV(h_{obs})$ , periodo 2.....	52
Figura 5. 12: Histograma de residuos, Indicador Reg_IPO, periodo 2.....	52
Figura 5. 13: Gráfico de probabilidad normal de tipo P-P, indicador Reg_IPO, periodo 2.....	52
Figura 5. 14: Histograma de residuos, Indicador $STD(h_{obs})$ , periodo 2.....	52
Figura 5. 15: Gráfico de probabilidad normal de tipo P-P, indicador $STD(h_{obs})$ , periodo .....	52
Figura 5. 16: Diagrama de dispersión, Indicador $CV(h_{obs})$ , periodo 2.....	53
Figura 5. 17: Diagrama de dispersión, Indicador Reg_IPO, periodo 2.....	53
Figura 5. 18: Diagrama de dispersión, Indicador $STD(h_{obs})$ , periodo 2.....	53