

---

## **CAPACIDAD Y PARAMETROS CRÍTICOS DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO TROLEBÚS. APLICACIÓN AL CASO DE MERIDA-VENEZUELA**

Emilio G. Moreno González y Manuel G. Romana García  
ETSI de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid  
Profesor Aranguren s/n, Ciudad Universitaria, 28040, Madrid-España. Fax: 91 336 66 54  
E-mail: [emmoreno@caminos.upm.es](mailto:emmoreno@caminos.upm.es), [mromana@caminos.upm.es](mailto:mromana@caminos.upm.es)

### **RESUMEN**

Se presenta una metodología para la estimación de la Capacidad de un Sistema de Transporte Público Trolebús (STPT) emplazado en la ciudad de Mérida–Venezuela, provisto de autobuses articulados con tracción bi-modal (eléctrica-gasoil). El tramo tiene una longitud de 10,3 km en plataforma reservada, dos estaciones terminales y trece intermedias, con una distancia media entre estaciones de 731 m. Los puntos de conflicto con el tráfico representan 17 intersecciones y 7 cambios de sentido controlados con semáforos de tiempo prefijado. Se indagó sobre el aspecto conceptual del modelo aplicado y se consideraron las variables más influyentes “in situ”, lo que permitió obtener resultados satisfactorios en la definición de la Capacidad frente a sus parámetros críticos. Las mediciones fueron realizadas en distintos días de la semana alcanzando una muestra de veintitrés recorridos por sentido. El trabajo de campo fue realizado entre diciembre de 2007 y enero de 2008, siendo esa la fecha de referencia de los resultados mostrados.

*Palabras claves: sistema de transporte público trolebús; capacidad; parámetros críticos.*

### **ABSTRACT**

A methodology is presented for the estimation of the Trolley Transport System Capacity located in the city of Merida–Venezuela, provided of articulated buses with bi-modal traction (diesel-electric). The stretch has a length of 10,3 km in reserved platform, two terminal stations and thirteen intermediate ones, with a mean distance between stations of 731 m. The conflict points with the traffic represent 17 intersections and 7 direction changes controlled with pretimed traffic signal. It was investigated on the conceptual aspect of the applied model and it been considered the most influential variables "in situ", what it allowed to obtain satisfactory results in the definition of the Capacity versus his critical parameters. The measurements were realized in different days of the week reaching a sample of twenty-three trips for direction. The field work was realized between December 2007 and January 2008, being this the date of reference of the showed results.

*Keywords: trolley transport system; capacity; critical parameters.*

## 1. INTRODUCCION

La implementación de un Sistema de Transporte Público Trolebús (STPT) que garantice por un lado, la movilidad de personas en ciudad media y, por otro, un ahorro en costes de infraestructura, ha convertido al STPT en una opción atractiva allí donde no es viable, según la demanda y financiación del sistema, un transporte de alta capacidad.

Este sistema con cierto grado de plataforma segregada y clasificación señalada como “categoría B” o infraestructura parcialmente controlada (Vuchic, 1981), ha alcanzado un desempeño operativo eficiente, alta calidad de servicio, menos emisiones contaminantes y ha permitido la reorganización del transporte precedente.

La metodología de cálculo aplicada sigue lo dispuesto en el Manual de Capacidad y Calidad de Servicio (TCQSM, de sus siglas en inglés) emitido por el TCRP<sup>1</sup> específicamente, para el análisis de autobuses en plataforma reservada. Los datos locales permiten el ajuste para obtener la capacidad del STPT y el proceso de captación y manejo de datos es detallado ampliamente. El resultado del análisis contribuye no sólo al conocimiento de la capacidad como valor aislado, sino que además, describe su elasticidad frente a parámetros críticos importantes que puede traducirse en mejoras para alcanzar la máxima eficiencia del sistema.

## 2. SITUACION ACTUAL Y ESTADO DEL ARTE

En general, existen experiencias en distintos lugares del mundo que dan referencia sobre valores alcanzados de capacidad. En Sao Paulo y Porto Alegre, Brasil, se demuestra el aumento de capacidad cuando se instalan carriles exclusivos segregados del resto del tráfico y las interferencias ocurren a más de 100 bus/h/c causando demoras en paradas que son mitigadas enviando autobuses en convoy (4-6 unidades) y permitiendo adelantamientos que dan lugar a dos tipos de servicio: convencional y expreso. También Curitiba es referencia obligada, donde destaca un valor de 40 bus/h/sentido en hora punta transportando hasta 11.000 pas/h/sentido.

En Bogotá el Transmilenium, tiene viario central exclusivo de dos carriles por sentido y resaltan valores vistos en sistemas de alta capacidad entre 11.000~40.000 pas/h/sentido (*Steer Davies and Gleave*). Esta plataforma de sección muy amplia junto a aplicaciones ITS lo convierte en el sistema de autobuses rápido (BRT, de sus siglas en inglés) con mayor capacidad del mundo.

El sistema Transitway de Ottawa con servicio convencional y expreso, reporta volúmenes entre 180~200 bus/h/sentido y hasta 10.000 pas/h/sentido, en este caso incide el medio de colección de tarifa y el modo de transporte (autobús articulado multi-puertas).

El autobús guiado O-Bahn en Adelaida, Australia, alcanza los 4.000 pas/h/sentido, siendo de aplicación en ciudades pequeñas. El Busway de Brisbane, presenta 140 bus/h/sentido y transporta 9.500 pas/h/sentido en las secciones más ocupadas.

En Long Island, New York, hasta 100 bus/h/sentido circulan en carril y vía expresa a contra flujo. Otras vías rápidas en EE.UU. y Australia tienen menos de 100 bus/h/sentido y 50~70 bus/h/sentido son más típicos. El BRT de Beijing en China, muestra carril central segregado con 87 vehículos en circulación de 180 pasajeros y andén en isla central de 60-80 m de largo. El tiempo de recorrido por sentido es de 37 minutos e intervalo de 1 minuto en hora punta y de 2~3

---

<sup>1</sup> The Transit Cooperative Research Program, Report 100, TRB

minutos en valle. La demora total es el 23% del tiempo recorrido (80% por intersección y 20% por estaciones). El plan de prioridad establece un verde efectivo de 0,39 en ciclos de 150-160 s. El autor recomienda para intervalo de 1 minuto enviar grupos de dos autobuses para mantener la operación estable y buena marcha del plan. (Zheng and Jiaqing, 2007). El trolebús de Quito en Ecuador, opera con 100 unidades en hora punta y 53 en hora valle, constituye el sistema más similar al STPT aunque recientemente se han realizado ampliaciones a su infraestructura.

Utilizando algunos ejemplos de Londres, Sao Paulo y Bogotá (Lillo et al., 2003), señala que un autobús articulado de piso alto y pago afuera, alcanza hasta 61 bus/h/sentido (9779 pas/h/sentido) con capacidad nominal de 160 pasajeros. Para autobuses articulados de 120 pasajeros se estiman 7.200 pas/h/c asumiendo un intervalo mínimo de 60 s (Zamorano et al., 2006).

Parece claro en cualquier caso que, la congestión en sistemas de transporte público ocurre donde se realizan las operaciones de embarque y desembarque. En consecuencia, se puede condicionar la capacidad del sistema de transporte a la capacidad de sus estaciones o paradas. Por otro lado, el concepto de capacidad en acceso a intersección es el máximo número de vehículos que puede entrar por unidad de tiempo y, cuando hay cola tratando de acceder, es el inverso del intervalo medio entre vehículos. Asimismo, en una estación puede definirse como "máximo número de vehículos por unidad de tiempo que puede entrar al área de parada" (Gibson et al., 1989) y está ligada al intervalo medio entre vehículos cuando hay cola tratando de entrar a la estación.

Gardner et al. (1991), encontraron la demora media en parada entre 45 y 90 s, un modelo empírico fue utilizado para la evaluación tomando datos de distribución de intervalos, demora por movimiento y demanda de pasajeros. Estudios posteriores, demostraron funcionamiento apropiado de paradas cuando el grado de saturación era menor a 0,6 (Gibson y Fernández, 1995). En tales circunstancias, la longitud media de cola en acceso a la parada resultó máximo de un vehículo el 50% del tiempo y la demora media de 60 s por vehículo. Mediante simulación en paradas de aparcamiento múltiple fueron encontrados valores de capacidad para operación eficiente entre 60~130 bus/h con dos áreas de carga y de 80~160 bus/h para tres áreas de carga y operación ordenada. La intersección con semáforo cercana a la parada puede producir reducciones de hasta un 40% en la capacidad (Gibson y Fernández, 1996). En general, se puede considerar un valor entre 30 y 60 bus/h/área-carga dependiendo principalmente de la tasa de subida de pasajeros por vehículo. Lobo (1997), reportó que el tiempo de paradas representa casi la mitad del tiempo de viaje entre terminales. Y según Fernández (2000), es en las paradas donde se gasta gran proporción del tiempo recorrido y concluye que son el principal cuello de botella en operaciones de autobús.

### 3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Según lo visto, no existe un modelo que permita cuantificar la capacidad en un sistema específico como el Trolebús. No obstante, el TCQSM en su reporte TCRP\_100, muestra una metodología de cálculo tipificada para autobús en plataforma reservada de operación similar, que puede ser utilizada en nuestro análisis. De esta manera, la capacidad del carril-bus es obtenida como:

$$C_{cb} = C_p \times N_{ac} \times f_{gd} \times f_{sp} \quad (1)$$

Adaptando la expresión (1) a las condiciones del STPT, el número de áreas de carga " $N_{ac}$ " es igual a uno, los factores por giro a la derecha " $f_{gd}$ " y por salto de parada " $f_{sp}$ " se suprimen ya

que la infraestructura restringe este tipo de maniobras. La capacidad del carril trolebús “ $C_{ct}$ ” será igual a la capacidad en parada “ $C_p$ ” resultando una ecuación más sencilla:

$$C_{ct} = C_p = \frac{3600(g/C)}{td + (g/C)dp + (Z \times Cv \times dp)} \quad (2)$$

Analizando la expresión (2), se distinguen dos parámetros claves: tiempo medio de despeje “ $t_d$ ” o mínimo tiempo para un trolebús salir del área de carga y, demora media en parada “ $d_p$ ”. El factor  $g/C$  es el tiempo verde asignado al trolebús entre el tiempo cedido al resto de movimientos en intersección próxima a la parada. Su afectación es doble: en el numerador estima la porción de la hora en que puede entrar o salir de la parada y en el denominador estima la porción de demora que ocurre durante fase verde en calle secundaria. En caso de total prioridad  $g/C$  vale uno.

En teoría, la capacidad se maximiza cuando un autobús sale de la parada tan pronto como otro detrás pretende aparcar, por tanto, es muy probable que se generen fallos en esta operación. Consecuentemente, se introduce el concepto de “tasa de fallo” que representa la probabilidad de conseguirse el área de carga ocupada. Estudios sobre autobuses en plataforma reservada recomiendan usar en áreas urbanas tasas de fallo entre 7,5- 15%, por debajo de 15% se garantiza buena velocidad y alta capacidad, por encima, se generan colas y representa el punto de inicio del descenso rápido de velocidad. Simulaciones indican que a una tasa de 15%, las velocidades son 20% más bajas aunque los volúmenes se encuentren por debajo de la capacidad y, un valor de tasa de fallo del 25% es sugerido para un nivel de servicio “E” (Jacques and Levinson, 1997). Estos análisis llevan a razonar un margen de operación “ $M_o$ ” que toma en consideración ambos aspectos: la demora media en parada y la probabilidad de fallo indicada. Para una condición real de este margen de operación se considera el efecto de la variabilidad de la demora mediante su coeficiente de variación “ $C_v$ ” (desviación estándar entre la media de demora en parada). Finalmente, para fijar un límite de probabilidad de fallo se utiliza la variable normal estándar “ $Z$ ” para la tasa de fallo deseada. En consecuencia, el margen de operación es el máximo tiempo que puede exceder la demora media sin que ocurra fallo cuando el número de autobuses dispuesto a usar la parada alcanza la capacidad. Es sumado a la demora media y tiempo de despeje en la expresión (2) para garantizar que no ocurran fallos con mayor frecuencia que cierta tasa de fallo.

#### 4. DELIMITACION DEL ESTUDIO

El tramo analizado tiene longitud aproximada de 10,3 km., consta de trece estaciones intermedias con espaciamiento medio de 731 m y dos terminales extremas. La infraestructura constituye el 55% de obra total en Línea 1 y un carril por sentido en plataforma reservada central. Las interrupciones se dan a nivel (17 intersecciones y 7 cambios de sentido) controladas por semáforos, que al momento de medir, funcionaban con tiempo prefijado. Los datos se obtienen entre diciembre 2007 y enero 2008, en días típicos de la semana y horario fraccionado atendiendo horas punta. La demanda fue moderada según se ilustra en la figura 1, lo que induce una oferta de 4-6 unidades a intervalos entre 15-10 min. La estación “Las Cruces” no se encontraba operativa.

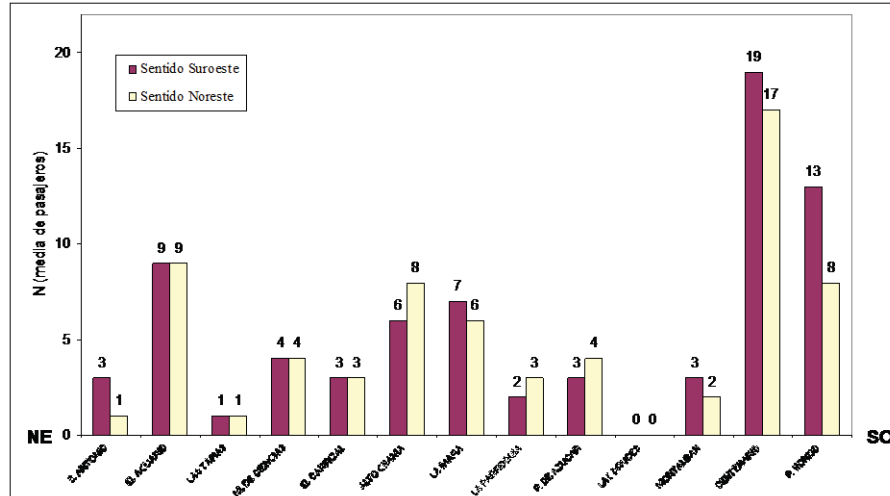


Figura 1. Demanda manifiesta por estación y sentido (valor total de subidos y bajados)

## 5. MÉTODO DE CAMPO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

### 5.1. Muestreo

Dado el tiempo disponible y en procura de obtener resultados en forma rápida con precisión aceptable, se cuantifica el tamaño mínimo “n” de la muestra aplicando distribución normal para un nivel de confianza del 95%. Una desviación estándar de 9 s es obtenida en sondeo previo de la demora y la precisión de  $\pm 5$  s es asumida para determinar un valor mínimo de 13 mediciones. Con este valor mínimo, se asume el trabajo de campo alcanzándose hasta 23 mediciones por estación y sentido de circulación, representando el doble de lo requerido. Mediante pruebas de bondad de ajuste se determina la factibilidad de análisis en ambos sentidos lo que amplía la muestra, aumenta la precisión a  $\pm 2,0$  s y disminuye su desviación típica a 6,93 s.

### 5.2. Método de recolección de datos

Las “medidas en campo” constituye el método más preciso para la estimación de las demoras en estación según lo dispuesto en el TCQSM<sup>2</sup>. Planillas de registro adaptadas a las condiciones particulares del estudio fueron diseñadas, organizando los datos en dos grupos: planilla N-1 donde se llevaba el control de pasajeros (subidos-bajados) y hora de arribo del trolebús a la estación; planilla N-2 donde se registraba el tiempo gastado en el proceso; puntualizando la apertura y cierre de puertas, puesta en marcha y salida del trolebús de la estación. Cabe destacar que este tiempo fue registrado en segundos acumulados para mayor rapidez y las distintas demoras se obtenían por diferencia simple entre registros. Las demoras por intersección o evento atípico eran anotadas bajo el ítem “otras demoras” con su respectiva incidencia.

<sup>2</sup> Transit Capacity and Quality of Service Manual-2<sup>nd</sup> Edition. Part 4. Page 4-4.

### 5.3. Análisis estadístico de los datos

En procura de obtener los parámetros en forma directa, se procesan los datos por estación y sentido como se ilustra en las tablas 1 y 2 insertas en el Apéndice al final del artículo.

Los resultados muestran la estación “Centenario” como parada de máxima carga y valor más alto de demora. En general, el coeficiente de variación de la demora resulta bajo entre 0,1~0,2 lo que significa mayor consistencia (menor dispersión) y el rango de demora está entre 20 y 60 s.

Se aplicaron pruebas de bondad de ajuste a las muestras obtenidas por sentido: chequeo de igualdad de varianza mediante estadístico “ $F$ ” y prueba de igualdad de medias “ $t$ -student”, ambos resultados se muestran en la tabla 3, en el Apéndice. El resultado de igualdad de varianza sugiere dos análisis de igualdad de medias; uno para varianzas iguales y otro para desiguales. Finalmente, se observa que el estadístico  $t < t_{\text{crítico}}$  en todas las estaciones, por tanto, las medias de las muestras son iguales y pertenecen a una misma población. En consecuencia, se amplía la muestra en estación de máxima carga agrupando los datos de cada sentido ( $n=46$ ). Estas pruebas exigen que la población de procedencia sea normal. Por tanto, se aplica la prueba de normalidad *Shapiro Wilks* para respaldar las deducciones alcanzadas con un coeficiente  $W=0,94$  suficientemente alto, que aporta mayor confiabilidad a la hipótesis de normalidad y evita incertidumbre. En la figura 2 se muestra este resultado.

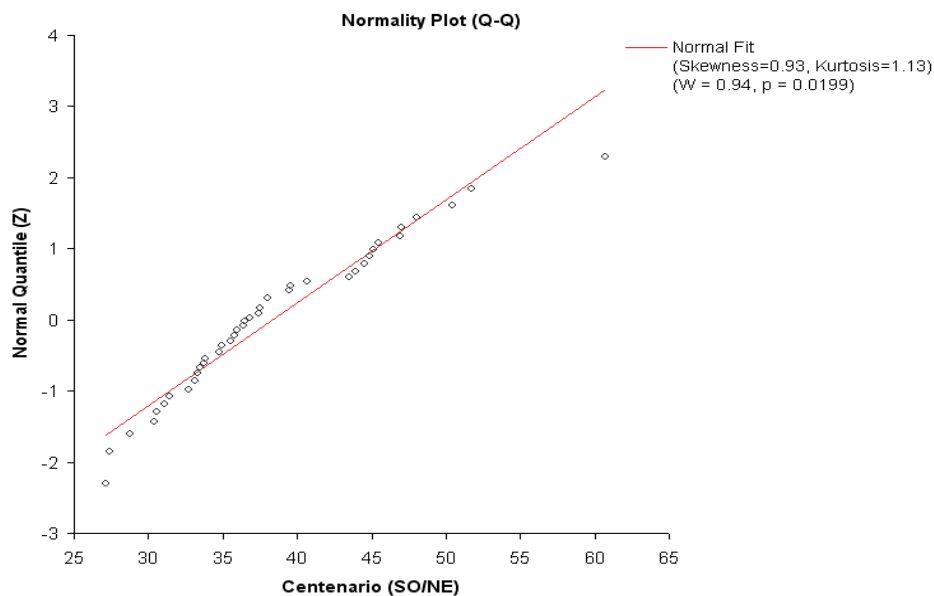


Figura 2. Prueba de normalidad *Shapiro Wilks* en estación “Centenario”

En suma, el análisis estadístico confirma un muestreo eficiente y determina una muestra altamente representativa para inferencia de los parámetros necesarios. Se obtiene un coeficiente de variación de la demora “ $C_v$ ” de 0,20 redondeando y, la demora media en estación de máxima carga se ubica en 37 s, mejor estimada por la mediana, dada una leve excentricidad observada en la curva de distribución. El valor más probable del tiempo de despeje “ $t_d$ ” resultó de 7,2 s y la demora total del recorrido 11 minutos promedio por sentido, donde: 7,75% se debe a eventos atípicos; 33,3% a intersecciones y 58,95% a estaciones intermedias.

#### 5.4. Capacidad del STPT

Un enfoque del problema representó observar el proceso operativo en estaciones para discriminar los parámetros influyentes y poder cuantificar el aporte de cada uno a la magnitud de la demora. Descomponiendo la demora media “ $d_p$ ” en sus términos constituyentes se tiene:

$$d_p = (d_a + d_r) + t_{ed} \quad (3)$$

El término entre paréntesis representa la suma de demoras por accionamiento de puertas y de rampas de acceso al vehículo, ambos obedecen a factores humanos-mecánicos de comportamiento aleatorio. Asumiendo funcionamiento normal para su simplificación, este término constituye una demora fija de 23,62 s que es estimado como valor más probable utilizando los datos de menor dispersión. De este valor 15,6 s se gastan en accionamiento de rampas y es equivalente al 42,16% de demora en estación, un valor considerable. El tiempo de embarque-desembarque “ $t_{ed}$ ” es correlacionado con el número de pasajeros “ $N$ ” involucrado en el proceso, obteniéndose un ajuste a polinomio de segundo grado con coeficiente de determinación *pearson* aceptable  $r^2 = 0,81$  en la estación de máxima carga. Ver figura 3.

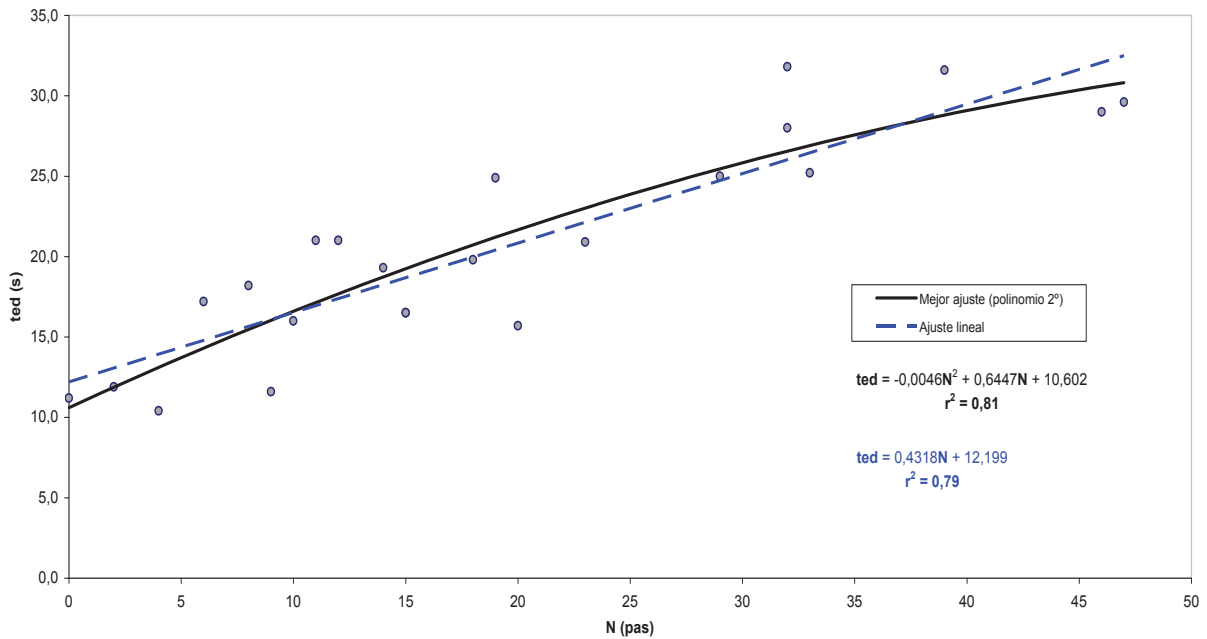


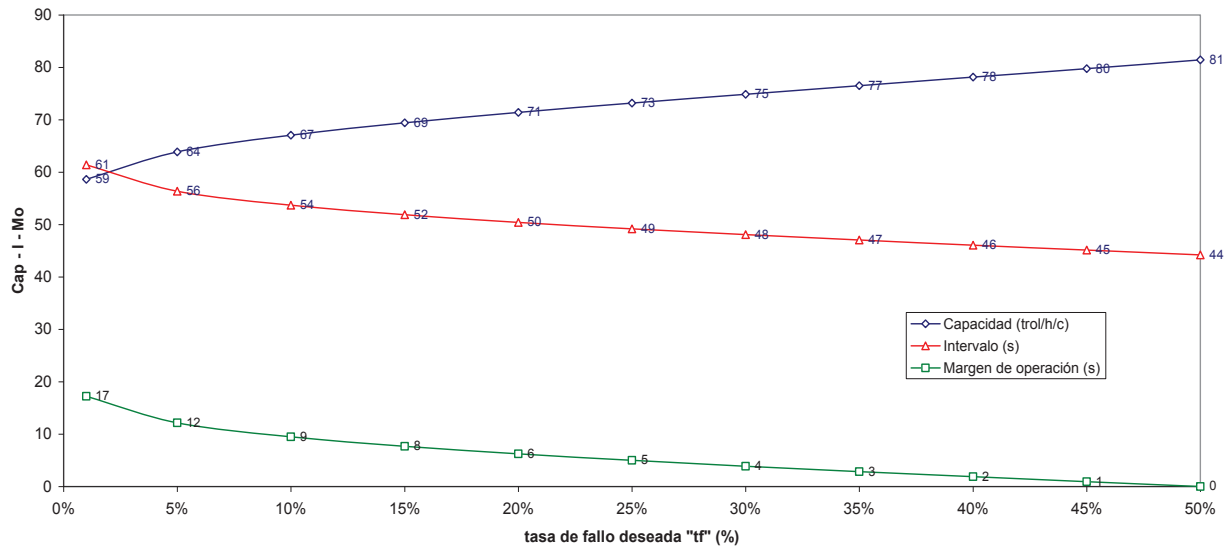
Figura 3. Tiempo embarque-desembarque vs. N pasajeros

Rescribiendo la ecuación (2) y sustituyendo los parámetros observados, se determina la capacidad del STPT en función de  $N$  como sigue:

$$C_{ct} = \frac{3600(g/C)}{7,2 + (34,222 - 0,0046N^2 + 0,6447N)[(g/C) + 0.1349]} \quad (4)$$

## 6. RESULTADOS

Aplicando la metodología de cálculo inicial podemos establecer relación entre los parámetros críticos. La figura 4, muestra la relación Capacidad-Intervalo-Margen de operación vs. Tasa de fallo según:  $\alpha_p = 37$  s;  $c_v = 20\%$ ;  $t_d = 7,2$  s y prioridad total.



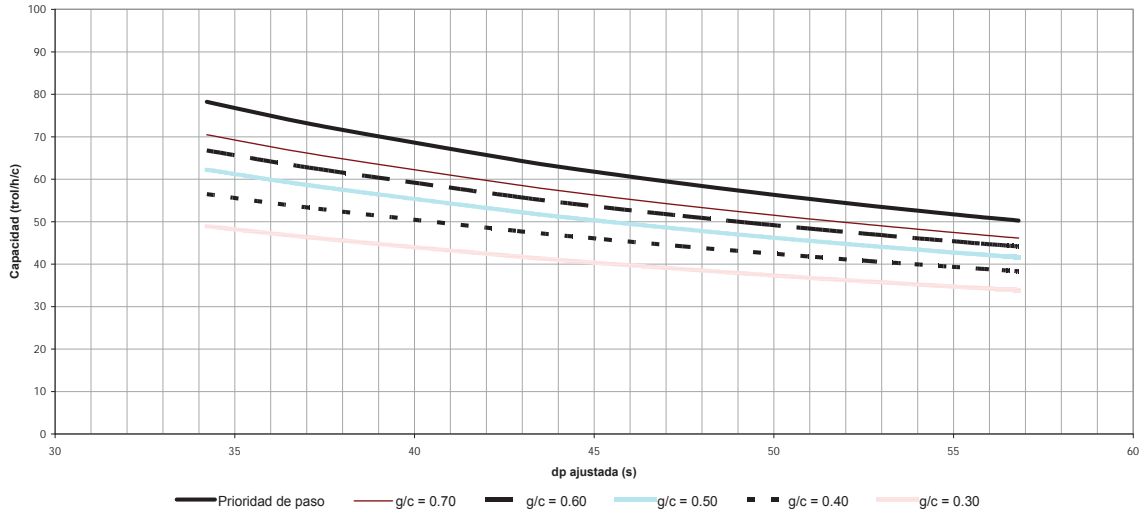
**Figura 4. Capacidad-Intervalo-Margen de operación vs. Tasa de fallo**

La divergencia entre los parámetros capacidad e intervalo demuestra que a mayor capacidad menor intervalo. Por otra parte, a mayor tasa de fallo más capacidad que en teoría ocurre a una tasa del 50% con margen de operación cero, punto difícil de alcanzar, por mayor interferencia entre vehículos que incide negativamente en la velocidad y fiabilidad de los horarios. Lo ideal es mantener un balance entre buen desempeño y alta capacidad, un valor óptimo de tasa de fallo no determinado en el estudio, debido a una cadencia lejos de producir condiciones extremas. Estimando una tasa de fallo del 25% sugerida por Jacques and Levinson (1997), se obtiene como valor de capacidad 73 trol/h/c (10246 pas/h/sentido) a un intervalo de 49 s y margen de operación de 5 s por encima de la demora media (37 s).

### 6.1. Consideración de la capacidad hallada en el STPT

La metodología de cálculo primaria permite hallar la capacidad del sistema trolebús en función de sus parámetros medios. Sin embargo, no determina un rango de variabilidad o un valor máximo alcanzable. En este caso, se aplica la ecuación (4) asumiendo condición de saturación en estación (70 personas) y en la figura 5 se muestran los resultados. Se alcanza un nuevo valor de capacidad de 50 trol/h/c (7032 pas/h/sentido) inferior al estimado anteriormente y que define mejor la capacidad del sistema. El rango de demora está entre un máximo de 56,81 s y un mínimo de 34,22 s.

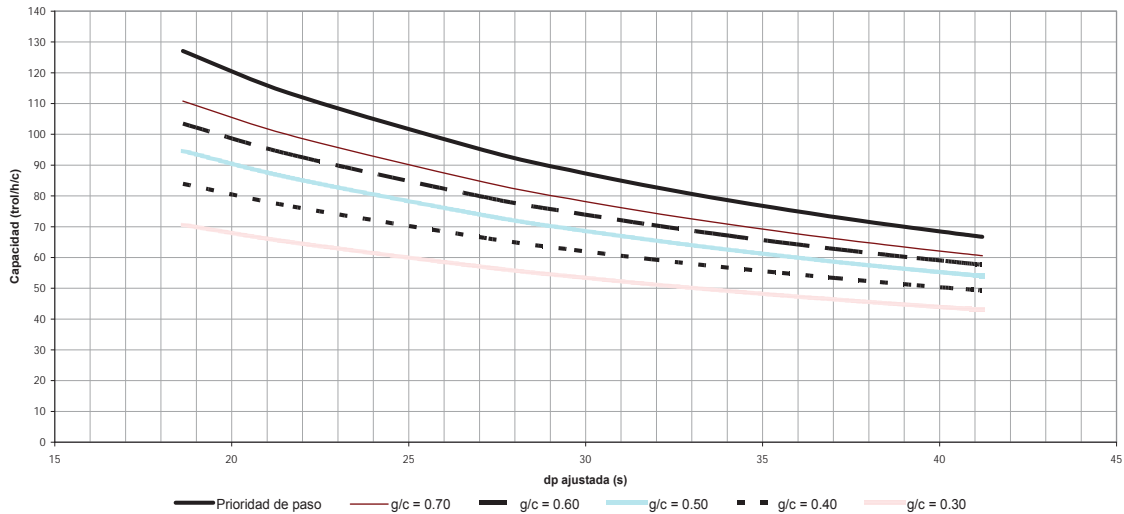




**Figura 5. Capacidad en el STPT y rango de demora en estación**

### 6.2. Capacidad sin rampas de acceso al vehículo

Un análisis interesante de cara a implementar mejoras que puedan significar aumento en la capacidad del STPT, constituye la eliminación del sistema de rampas de acceso al vehículo. De esta forma, se suprime la demora provocada por este tipo de mecanismo y se analizan los nuevos resultados. Ver figura 6.



**Figura 6. Capacidad y demora en estación, sin afectación de rampas de acceso al vehículo**

La capacidad aumenta a 67 trol/h/c (9338 pas/h/sentido) con intervalo de 41,21 s, un valor poco despreciable, que sugiere decisiones conducentes a mejorar este aspecto operativo en el STPT.

## 7. CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y TRABAJOS ULTERIORES

Se logran resultados satisfactorios en la caracterización de la capacidad del STPT mediante la aplicación de una metodología disponible para autobuses en plataforma reservada. La metodología de cálculo utilizada fue ajustada para lograr una caracterización más real de la capacidad del STPT donde, una relación tiempo de embarque-desembarque versus número de pasajeros fue clave en la obtención del valor máximo alcanzable y rango de variabilidad según la demora en estación.

La capacidad resulto de 50 trol/h/c (7032 pas/h/sentido) con intervalo cercano a los 57 s y se comprueba que aumenta un 34% (a 9338 pas/h/sentido) con intervalo de 41,21 s si se eliminan las rampas de acceso al vehículo y se aplica medida sustitutiva que garantice buena proximidad entre vehículo-andén. Ambos intervalos son factibles en la medida que se establezca un control estricto y se imponga un plan adecuado de prioridad que evite interferencia entre vehículos.

Por otro lado, la demora por intersección representa el 33,3% de la demora media en el recorrido (3,7 minutos) que tenderá a mejorar una vez se centralice la operación de los semáforos. La demora por parada en estación es la de mayor afectación, constituye casi el 59% (6,6 minutos) y por evento atípico un 7,7% (< 1 minuto), despreciable, según las causas que la produjeron.

La metodología considera la influencia de intersección próxima a la estación que puede ser útil, representando un descenso en capacidad de aproximadamente del 5% por cada 10% de fase verde cedido por el trolébus al resto del tráfico.

El coeficiente de variación de la demora hallado (0,20) es menor al encontrado en sistemas de autobuses en plataforma reservada de los EE.UU. ubicado entre 0,4~0,8.

Dentro de las limitaciones del estudio tenemos que:

- Los factores de influencia en carril de tráfico mixto no pudieron ser evaluados dada la condición de carril segregado en el 100% del tramo estudiado.
- La interferencia entre vehículos no fue estudiada debido a una cadencia lejos de producirla.

En cuanto a futuras investigaciones se sugiere ahondar en los siguientes estudios:

- Análisis del efecto de interferencia entre vehículos tomando en consideración la capacidad alcanzada y asumiendo un plan específico de prioridad.
- Estudio de otros factores de influencia en tramos donde se tenga carril compartido

## REFERENCIAS

Fernández, R. (2000) **Why buses and bus stops**. Ciencia Abierta, 10.

Gardner, G., Cornwell, P.R. & Cracknell, J.A. (1991) **The performance of busway transit in developing cities**. Research Report RR329. Transport and Road Research Laboratory. Crowthorne, Berhshire, RG11 6AU

Gibson, J., I. Baeza and L.G. Willumsen (1989) Bus-stops, congestion and congested bus-stops. **Traffic Engineering and Control** 30(6), 291-302.

Gibson, J. y R. Fernández (1995) **Recomendaciones para el Diseño de Paraderos de Buses de Alta Capacidad**. Apuntes de Ingeniería 18(1). Ediciones Universidad Católica de Chile, 35-50.

Gibson, J. y R. Fernández (1996) **Efecto de una intersección semaforizada aguas abajo sobre la capacidad de un paradero de buses con sitios múltiples**. Apuntes de Ingeniería 19(4). Ediciones Universidad Católica de Chile, 31-40.

Jackes, Q. and Levison, H. (1997) **Operational Analysis of Bus Lanes on Arterials**. Transportation Research Board, TCRP Report 26, National Research Council, Washington D.C.

Lillo, E. Wensell, U. y Willumsen, L. (2003) Innovación en el Transporte Urbano: Bus Transit Systems. **Economía Industrial**, N° 353. 65-72

Lobo, A.X. (1997) **Automatic vehicle location technology: Application for buses**. PhD Thesis, University of London.

Transit Capacity and Quality of Service Manual (2003) **Bus Transit Capacity**. 2<sup>nd</sup> Edition. TCRP Report 100.

Transit Cooperative Research Program (2003) **Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit**. Report 90. TRB. Washington, D.C.

Transit Cooperative Research Program (2003) **Bus rapid Transit. Volume 2: Implementation Guidelines**. Report 90. TRB. Washington D.C.

Vuchic, Vukan R. (1981). **Urban Public Transportation: Systems and Technology**. Prentice-Hall. Inc. 5.

Zamorano, C. Bigas, J.M. y Sastre, J. (2006) **Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada**. 1era Edición. Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Colegio de Ingenieros de Camino, Canales y Puertos, Madrid.

Zheng, L. and Jiaqing, W. (2007) Summary of the Application Effect of Bus Rapid Transit at Beijing South-Centre Corridor of China. *J Transpn Sys Eng & IT* [en línea], 7(4), 137-142. Available: at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) (Sitio Visitado en Julio de 2008).

## APÉNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Demoras por estación en sentido Suroeste

DIRECCIÓN SUR-OESTE				DEMORA EN ESTACION, dp (s)														
N	FECHA	DIA	HORA	PIE DEL LLANO	SAN ANTONIO	EL ACUARIO (IC)	LAS TAPIAS	MUSEO DE CIENCIAS	EL CARRIZAL (IC)	ALTO CHAMA	LA MARA	LA PARROQUIA	PAN DE AZÚCAR	LAS CRUCES	MONTALBAN (IC)	CENTENARIO	POZO HONDO	TERMINAL SUR
1	15/12/2007	S	15:58 - 16:35		48,3	48,5	29,9	30,8	38,3	32,6	43,0	36,7	28,9	N/O	33,0	39,5	34,8	
2	15/12/2007(2)	S	17:34 - 18:08		48,3	46,7	30,9	31,5	33,6	39,2	50,4	33,8	30,2	N/O	29,1	50,4	40,2	
3	16/12/2007	D	11:46 - 12:19		31,1	26,2	26,2	34,1	30,7	25,7	36,2	23,8	20,0	N/O	33,5	32,7	30,6	
4	16/12/2007(2)	D	13:02 - 13:36		31,1	25,2	17,1	29,8	25,3	19,0	26,6	25,2	25,4	N/O	28,2	27,4	32,4	
5	17/12/2007	L	16:26 - 17:03		26,1	38,7	48,5	34,3	34,8	52,0	41,8	38,7	33,5	N/O	35,5	47,0	36,6	
6	17/12/2007(2)	L	17:54 - 18:32		24,7	43,1	29,8	31,8	28,4	29,6	32,5	27,5	31,8	N/O	36,4	46,9	37,7	
7	18/12/2007	M	08:01 - 08:32		27,0	31,9	26,9	29,0	29,9	28,3	33,1	28,3	39,7	N/O	25,5	27,1	26,8	
8	18/12/2007(2)	M	09:24 - 09:56		26,9	35,9	23,5	42,7	30,7	41,5	24,0	25,2	27,7	N/O	22,2	36,4	44,9	
9	18/12/2007(3)	M	16:37 - 17:13		38,6	43,3	30,4	30,0	44,5	40,3	34,6	33,8	42,6	N/O	45,1	51,7	38,0	
10	18/12/2007(4)	M	18:00 - 18:34		32,9	30,5	37,1	30,0	26,3	36,2	32,9	30,8	32,3	N/O	41,6	48,0	35,3	
11	19/12/2007	I	08:43 - 09:17		29,5	40,2	27,2	24,9	30,8	42,1	37,0	35,9	28,1	N/O	30,3	39,6	31,5	
12	19/12/2007(2)	I	16:15 - 16:56		37,1	42,6	29,0	32,2	26,8	29,8	35,7	38,4	49,2	N/O	28,5	44,9	32,4	
13	19/12/2007(3)	I	17:50 - 18:21		23,1	42,3	29,1	35,9	26,3	26,1	34,9	30,9	27,6	N/O	33,1	38,0	37,4	
14	19/12/2007(4)	I	19:20 - 19:54		40,1	45,7	36,9	44,2	41,3	42,1	52,4	40,9	38,5	N/O	42,2	60,7	39,0	
15	20/12/2007	J	08:39 - 09:13		25,0	26,7	30,9	28,7	28,9	33,0	33,5	33,7	29,4	N/O	28,0	33,1	39,1	
16	21/12/2007	V	08:30 - 09:03		37,4	33,6	31,8	37,1	30,2	25,9	25,7	24,4	31,5	N/O	23,8	38,0	25,5	
17	21/12/2007(2)	V	15:25 - 15:55		26,1	33,3	28,1	39,8	34,4	36,2	40,2	25,3	37,2	N/O	36,2	34,8	37,6	
18	21/12/2007(3)	V	16:48 - 17:23		31,9	36,7	32,4	30,6	24,5	28,2	32,1	30,7	27,1	N/O	27,0	30,4	25,9	
19	11/01/2008	V	07:25 - 07:58		37,4	33,6	31,8	37,1	30,2	25,9	25,7	24,4	31,5	N/O	23,8	38,0	25,5	
20	15/01/2008	M	08:30 - 09:00		29,9	24,8	34,8	28,5	31,7	36,0	30,2	28,2	25,0	N/O	27,0	33,1	26,4	
21	15/01/2008(2)	M	16:01 - 16:31		26,1	33,3	28,1	39,8	34,4	36,2	40,2	25,3	37,2	N/O	36,2	34,8	37,6	
22	16/01/2008	I	08:11 - 08:40		20,5	25,4	29,0	24,7	26,0	25,6	29,4	19,3	25,1	N/O	23,2	33,8	26,4	
23	16/01/2008(2)	I	09:20 - 09:50		21,7	28,6	33,6	25,9	25,0	29,4	41,0	24,0	29,4	N/O	24,4	28,8	28,9	
				<b>promedio</b>	<b>31,3</b>	<b>35,5</b>	<b>30,6</b>	<b>32,8</b>	<b>31,0</b>	<b>33,1</b>	<b>35,4</b>	<b>29,8</b>	<b>31,7</b>		<b>31,0</b>	<b>38,9</b>	<b>33,5</b>	
				<b>desviación estándar</b>	<b>7,7</b>	<b>7,5</b>	<b>5,8</b>	<b>5,4</b>	<b>5,2</b>	<b>7,6</b>	<b>7,3</b>	<b>5,8</b>	<b>6,6</b>		<b>6,5</b>	<b>8,6</b>	<b>5,7</b>	
				<b>Coefficiente de variación demora Cv</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>		<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	
				<b>d mínima</b>	<b>20,5</b>	<b>24,8</b>	<b>17,1</b>	<b>24,7</b>	<b>24,5</b>	<b>19,0</b>	<b>24,0</b>	<b>19,3</b>	<b>20,0</b>		<b>22,2</b>	<b>27,1</b>	<b>25,5</b>	
				<b>d máxima</b>	<b>48,3</b>	<b>48,5</b>	<b>48,5</b>	<b>44,2</b>	<b>44,5</b>	<b>52,0</b>	<b>52,4</b>	<b>40,9</b>	<b>49,2</b>		<b>45,1</b>	<b>60,7</b>	<b>44,9</b>	

**Tabla 2. Demoras por estación en sentido Noreste**

				DIRECCIÓN NOR-ESTE														
				DEMORA EN ESTACIÓN, dp (s)														
				TERMINAL SUR	POZO HONDO	CENTENARIO	MONTALBAN	LAS CRUCES	PAN DE AZUCAR	LA PARROQUIA	LA MARA	ALTO CHAMA	EL CARRIZAL	MUSEO DE CIENCIAS	LAS TAPIAS	EL ACUARIO	SAN ANTONIO	PIE DEL LLANO
N	FECHA	DIA	HORA															
1	15/12/2007	S	16:38 - 17:14		33,7	43,5	32,5	N/O	35,8	38,1	38,4	38,2	32,4	39,0	42,2	47,7	24,2	
2	15/12/2007(2)	S	18:10 - 18:45		31,4	45,1	33,4	N/O	29,2	28,8	31,8	33,1	33,5	37,3	29,2	31,4	44,1	
3	16/12/2007	D	12:21 - 12:50		28,2	36,0	28,0	N/O	35,9	33,3	25,8	38,8	34,1	23,5	24,7	36,7	30,3	
4	16/12/2007(2)	D	13:40 - 14:10		26,8	31,4	25,9	N/O	26,2	29,8	28,0	30,6	28,5	32,0	28,8	31,0	28,1	
5	17/12/2007	L	17:08 - 17:45		43,1	45,5	35,5	N/O	41,1	36,6	38,4	40,0	26,6	29,6	28,6	32,8	37,6	
6	17/12/2007(2)	L	18:40 - 19:16		27,4	35,5	35,7	N/O	39,1	28,5	31,7	29,8	34,2	36,4	30,2	36,0	33,4	
7	18/12/2007	M	08:40 - 09:14		35,6	36,5	25,6	N/O	47,0	34,4	29,9	39,7	31,2	39,8	28,9	38,2	29,0	
8	18/12/2007(2)	M	09:57 - 10:30		25,7	44,5	25,1	N/O	28,4	28,6	27,7	38,5	36,0	32,7	27,7	37,6	48,5	
9	18/12/2007(3)	M	17:17 - 17:50		31,9	34,9	28,4	N/O	38,3	29,4	39,2	34,0	31,0	34,6	26,9	39,4	33,9	
10	18/12/2007(4)	M	18:36 - 19:07		27,8	30,6	28,4	N/O	26,8	25,9	30,1	32,9	34,7	25,7	41,6	29,0	31,8	
11	19/12/2007	I	09:19 - 09:54		32,8	44,5	35,8	N/O	34,0	33,2	48,8	38,6	38,7	42,5	40,5	38,3	38,3	
12	19/12/2007(2)	I	17:02 - 17:36		34,5	43,9	30,3	N/O	40,0	33,1	36,3	33,0	31,3	33,9	29,7	45,3	39,9	
13	19/12/2007(3)	I	18:34 - 19:06		35,4	33,7	26,2	N/O	26,8	30,4	29,9	31,2	32,1	28,6	31,7	32,0	32,1	
14	19/12/2007(4)	I	20:01 - 20:29		31,1	33,3	31,6	N/O	32,0	28,4	29,2	26,7	26,4	26,6	23,0	21,9	27,2	
15	20/12/2007	J	09:16 - 09:49		30,2	36,8	34,2	N/O	31,0	30,1	30,3	39,3	35,5	30,4	31,4	54,0	38,3	
16	21/12/2007	V	09:11 - 09:46		35,9	35,8	28,8	N/O	40,1	30,6	43,1	33,4	31,5	31,7	25,9	38,5	27,0	
17	21/12/2007(2)	V	16:00 - 16:34		36,6	37,5	30,2	N/O	39,1	30,6	27,1	33,0	32,4	32,1	28,8	41,2	30,5	
18	21/12/2007(3)	V	17:24 - 18:03		38,0	37,4	31,2	N/O	30,6	30,4	32,9	34,7	29,3	29,4	23,6	31,8	28,3	
19	11/01/2008	V	08:00 - 08:35		35,9	35,8	28,8	N/O	40,1	30,6	43,1	33,4	31,5	31,7	25,9	38,5	27,0	
20	15/01/2008	M	09:05 - 09:36		27,4	33,5	33,1	N/O	32,9	32,9	29,1	28,0	32,0	29,7	30,1	30,2	30,4	
21	15/01/2008(2)	M	16:36 - 17:10		36,6	37,5	30,2	N/O	39,1	30,6	27,1	33,0	32,4	32,1	28,8	41,2	30,5	
22	16/01/2008	I	08:47 - 09:19		32,3	40,7	28,2	N/O	25,8	25,9	25,9	35,2	26,3	31,2	27,1	32,0	22,5	
23	16/01/2008(2)	I	09:56 - 10:30		28,9	31,1	30,6	N/O	33,3	31,2	30,1	31,3	30,8	27,0	22,4	31,0	30,2	
<b>promedio</b>					<b>32,5</b>	<b>37,6</b>	<b>30,3</b>		<b>34,5</b>	<b>30,9</b>	<b>32,8</b>	<b>34,2</b>	<b>31,8</b>	<b>32,1</b>	<b>29,5</b>	<b>36,3</b>	<b>32,3</b>	
<b>desviación estándar</b>					<b>4,3</b>	<b>4,8</b>	<b>3,3</b>		<b>5,8</b>	<b>3,0</b>	<b>6,3</b>	<b>3,8</b>	<b>3,1</b>	<b>4,7</b>	<b>5,4</b>	<b>6,9</b>	<b>6,3</b>	
<b>Coefficiente de variación demora Cv</b>					<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>		<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	
<b>d mínima</b>					<b>25,7</b>	<b>30,6</b>	<b>25,1</b>		<b>25,8</b>	<b>25,9</b>	<b>25,8</b>	<b>26,7</b>	<b>26,3</b>	<b>23,5</b>	<b>22,4</b>	<b>21,9</b>	<b>22,5</b>	
<b>d máxima</b>					<b>43,1</b>	<b>45,5</b>	<b>35,8</b>		<b>47,0</b>	<b>38,1</b>	<b>48,8</b>	<b>40,0</b>	<b>38,7</b>	<b>42,5</b>	<b>42,2</b>	<b>54,0</b>	<b>48,5</b>	

**Tabla 3. Pruebas de bondad de ajuste aplicadas a las muestras por sentido**

	SAN ANTONIO	EL ACUARIO	LAS TAPIAS	M. DE CIENCIAS	EL CARRIZAL	ALTO CHAMA	LA MARA	LA PARROQUIA	PAN DE AZUCAR	MONTALBAN	CENTENARIO	POZO HONDO	Dirección
dp(s) (media)	<b>31,3</b>	<b>35,5</b>	<b>30,6</b>	<b>32,8</b>	<b>31,0</b>	<b>33,1</b>	<b>35,4</b>	<b>29,8</b>	<b>31,7</b>	<b>31,0</b>	<b>38,9</b>	<b>33,5</b>	
S(s) (desviación típica)	7,7	7,5	5,8	5,4	5,2	7,6	7,3	5,8	6,6	6,5	8,6	5,7	SO
S^2(varianza)	59,2	56,2	33,3	29,0	27,2	57,4	54,0	33,8	43,3	42,3	74,6	32,1	
v1= (n1-1)= 22 (grados de libertad)	<b>n1 = 23, en cada estación</b>												
dp(s) (media)	<b>32,3</b>	<b>36,3</b>	<b>29,5</b>	<b>32,1</b>	<b>31,8</b>	<b>34,2</b>	<b>32,8</b>	<b>30,9</b>	<b>34,5</b>	<b>30,3</b>	<b>37,6</b>	<b>32,5</b>	
S(s) (desviación típica)	6,3	6,9	5,4	4,7	3,1	3,8	6,3	3,0	5,8	3,3	4,8	4,3	NE
Si^2(varianza)	39,6	47,7	28,8	21,7	9,6	14,4	39,1	9,0	33,7	10,9	23,0	18,9	
v2= (n2-1)= 22 (grados de libertad)	<b>n2 = 23, en cada estación</b>												
<b>Prueba de igualdad de varianza (nivel de confianza del 95%)</b>													
F	1,50	1,18	1,16	1,34	2,83	3,97	1,38	3,75	1,29	3,88	3,24	1,69	
F (α/2=0,025; v1=22; v2=22)	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; background-color: yellow;"></div> Varianzas desiguales                 <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; background-color: lightgreen;"></div> Varianzas iguales             </div>													
<b>Prueba de igualdad de medias (nivel de confianza del 95%)</b>													
t	0,47	0,39	0,67	0,47	0,67	0,63	1,28	0,84	1,51	0,46	0,64	0,68	
t (α/2=0,025; v=44)	2,02	2,02	2,02	2,02	2,03	2,04	2,02	2,03	2,02	2,04	2,03	2,02	