

ASPECTOS DE DISEÑO DE PARADEROS DE ALTO ESTANDAR

Rodrigo Fernández A. y Mariela Salamanca G¹.
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile
Casilla 228-3, Santiago, Chile
Fax : 671 8788 ; E-mail : rodferna@cec.uchile.cl

RESUMEN

Este trabajo tiene por objetivo resaltar las particularidades de diseño de paraderos de buses de alto estándar. Basados en antecedentes teóricos y prácticos obtenidos en investigaciones inglesas y chilenas, se describe un experimento piloto de facilidades al transporte público en la comuna de Providencia en Santiago. El objetivo de este experimento consistió en diseñar, proyectar y evaluar la operación de un paradero de buses tipo que reúna todos los estándares de calidad conocidos. Este artículo analiza primero las componentes de la movilidad en transporte público y la importancia de los paraderos de buses en ella. En seguida, se detallan los objetivos y metodología original del estudio y las características del lugar de la experiencia. Luego, se analiza la operación actual y futura del dispositivo elegido y una estimación física de los ahorros de recursos por un mejor diseño. Posteriormente, se entregan los requerimientos de diseño físico que permitirían obtener estos rendimientos y una estimación del costo de inversión y de su rentabilidad social. Finalmente, se ofrecen algunos comentarios respecto de esta experiencia.

¹ Actualmente en SEREMITT, Región Metropolitana.

1. FUNDAMENTOS

Hay un hecho que suele olvidarse al concebir sistemas de transporte público. Todo viaje en transporte público comienza y termina en la puerta de una propiedad, no en el paradero de buses o en la estación de metro. Por lo tanto, la facilidad con que se pueden alcanzar las diversas actividades en transporte público, es decir, la *movilidad* por ese medio, se compone de tres elementos (Tyler y Brown, 1997).

El primero es la *accesibilidad al sistema*, definida por la posibilidad de alcanzar el sistema sin dificultad. Involucra el tiempo y distancia de caminata, así como las dificultades percibidas entre los orígenes o destinos y los paraderos o estaciones, como la calidad de veredas, cruces y rutas peatonales. Aspecto importante si se considera que en Santiago el 90% de los 4,5 millones de usuarios accede y egresa a pie al sistema de buses (MTT, 1997).

En segundo lugar está el *acceso a los vehículos*, determinado por las condiciones para esperar, identificar, y subir y bajar de los vehículos una vez en los paraderos o estaciones. Depende de una buena definición del área de parada para los vehículos, de un adecuado andén y refugio para la espera confortable y transferencia segura de los pasajeros, de la frecuencia del servicio, del sistema de cobro de tarifa e información, así como del diseño de los vehículos. Su importancia radica en el nivel de actividad en el conjunto de estos puntos : 2 mil millones de transferencias anuales (Fernández, 1998a). Compárese con la cantidad de transferencias en Heathrow, el aeropuerto más congestionado del mundo con 55 millones de transferencias al año (DOT, 1996).

Por último, el *movimiento de los vehículos*, corresponde a las condiciones del desplazamiento, como el tiempo de viaje, así como la comodidad y seguridad dentro de los vehículos. Dependerá del estado de las vías, de su nivel de tráfico, de las características de los vehículos y de su forma de conducción, así como de las facilidades explícitas para su circulación (vías segregadas, prioridad en cruces).

En el caso de los buses, los paraderos son el vínculo entre las componentes accesibilidad, acceso y movimiento de la movilidad en transporte público.

Si cualquiera de estas componentes de la movilidad en transporte público es inapropiada, ésta se verá afectada y se preferirá usar el automóvil, con consecuencias sobre la congestión y contaminación ambiental. En contraposición, la experiencia internacional ha demostrado que el mejoramiento de la movilidad en transporte público contribuye fuertemente a aminorar los impactos urbanos negativos derivados del tráfico (DETR, 1998).

Además, aquellos que no disponen de vehículo propio, principalmente niños, ancianos, mujeres, personas de menores ingresos o con problemas de movilidad permanente o transitoria, deberán sufrir las consecuencias de un sistema indigno. O lo que es aún más grave, quedar marginados de un servicio que debería estar disponible para todos.

El anterior es un asunto importante a la luz de los resultados del estudio de demanda por buses en Santiago (MTT, 1997). Los datos indican que el más del 70% de los usuarios del sistema no

dispone de automóvil en su hogar y que un porcentaje similar tiene un ingreso familiar menor a \$300.000.- mensuales, lo que hace difícil que puedan acceder a uno.

La movilidad en transporte público se ha venido estudiando desde hace algunos años en el University of London Centre for Transport Studies. Como resultado se han generado varios proyectos de investigación. De ellos se han obtenido importantes avances que se resumen en Evans (1998).

Uno de los proyectos mencionados correspondió a la investigación sobre modelación de interacciones en paraderos de buses (Fernández, 1998a), de donde se han derivado recomendaciones de diseño basadas en modelos de simulación. Paralelamente, se está desarrollando una aplicación en Brighton, una ciudad del sur de Inglaterra, en la cual los resultados logrados en la investigación mencionada son una parte integrante (Fernández *et al*, 1997). Este proyecto, financiado por el Consejo Municipal de la ciudad, consiste en el diseño de 150 paraderos y facilidades peatonales asociadas a dos rutas de buses que totalizan 20 km.

2. APLICACION EN CHILE

Basados en los antecedentes mencionados en el capítulo anterior, junto a otros derivados de investigaciones en el tema de transporte público, la Universidad de Chile, a través de su Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, propuso a la I. Municipalidad de Providencia la realización de un experimento piloto de diseño y evaluación de un paradero de alto estándar (Fernández, 1998b).

2.1. Objetivos y metodología

Los objetivos de este experimento piloto fueron tres :

- a) Diseñar, construir y evaluar la operación de un paradero de buses tipo que reúna todos los estándares de calidad conocidos.
- b) Aprender mediante la resolución de un problema aspectos de diseño de facilidades al transporte público de superficie.
- c) Aplicar los conocimientos adquiridos al diseño de otros dispositivos similares.

Para concretar los objetivos anteriores se estableció la siguiente metodología.

Profesionales de las Direcciones de Tránsito, Obras, Aseo y Ornato, etc. de la municipalidad diseñaría en conjunto un paradero de buses tipo. El paradero reuniría la mayor cantidad de estándares de calidad : veredas y cruces peatonales que otorguen buena accesibilidad, área de parada con suficiente capacidad, andén apropiado para los pasajeros, sistema de información para el usuario, refugio confortable y bien ubicado, iluminación suficiente, señalización y demarcación vial coherente, cualidades estéticas, etc. Dicho paradero sería construido en un lugar de la comuna con suficiente demanda por transporte público.

Se realizaría un estudio antes - después del paradero para evaluar su efectividad, aprender de su funcionamiento y realizar ajustes al diseño. Una vez concluida esta experiencia, el diseño resultante podría aplicarse, habida cuenta de las peculiaridades en cada lugar, a otros paraderos de la comuna.

Durante todo este proceso, se contaría con la asesoría metodológica de la Universidad de Chile. La Universidad proporcionaría horas de asesoría de un especialista en transporte público y proveería las herramientas de análisis y conocimientos de generados de sus investigaciones.

Por su parte, la Municipalidad de Providencia proveería horas de trabajo de profesionales capacitados para el diseño y seguimiento y los recursos necesarios para los estudios y materialización de las obras.

2.2. Lugar de la experiencia

El lugar elegido para la experiencia correspondió al paradero ubicado en el costado poniente de la Avenida Pedro de Valdivia, situado 60 metros al sur de su intersección con Avenida 11 de Septiembre, frente al Instituto Cultural de Providencia. Este hito comunal dará el nombre al paradero estudiado : Paradero Instituto Cultural. Este paradero fue seleccionado porque muestra un interesante nivel de demanda y posee poca formalidad tanto en su diseño como en su operación actual : poca claridad en la definición del andén para los pasajeros y área de parada para los buses, que se traducen en detenciones múltiples y en cualquier lugar con pérdidas de eficiencia e incomodidad para los pasajeros.

Los datos para el análisis fueron recolectados en la hora punta de embarque de pasajeros, el período más desfavorable para el funcionamiento de un paradero. A modo de corroboración, se recolectaron datos en dos días distintos : 30 de diciembre de 1997 y 10 de noviembre de 1998. El método consistió en de grabaciones de video del área de parada y andén que se procesaron luego en laboratorio. Los datos se resumen en la Tabla 1.

Además de los datos básicos de operación de la Tabla 1, se procesaron datos relativos al comportamiento de los buses que paran. Estos datos se presentan en la Tabla 2.

Adicionalmente, la Tabla 3 presenta la información correspondiente al tráfico del entorno al paradero, tanto en las pistas de circulación de Av. P. de Valdivia hacia el sur, como en la vereda del paradero y cruce peatonal informal aguas abajo de él.

Tabla 1 : Datos de operación del Paradero Instituto Cultural

<u>FLUJO DE BUSES</u> (buses/h)	
Media período	88
<u>DEMANDA DE PASAJEROS</u> (pax/h)	
Subida	485
Bajada	29
<u>TASA DE TRANSFERENCIA</u> (pax/bus)	
Subida	5,5
Bajada	0,3
<u>DENSIDAD EN ANDEN</u> (pax/andén)	
Media	18,1
Máxima	31,0

Tabla 2 : Comportamiento de las detenciones en Paradero Instituto Cultural

<u>TASA DE DETENCIONES</u> (det/bus)	
Media	1,24
Máxima	3.00
<u>LUGAR DE DETENCION</u> (% ocurrencia)	
Primer lugar ¹	47
Segundo lugar ¹	31
Segunda fila	15
Delante del área de parada ²	4

¹: como los sitios no están definidos, corresponde al orden de detención de los buses.

²: corresponde a detenciones aguas abajo de la demarcación de la zona de parada.

Tabla 3 : Resto del tráfico entorno al Paradero Instituto Cultural

<u>FLUJO VEHICULAR</u> (ADE/h)	
Otro tráfico calzada poniente ¹	1.129
<u>FLUJO PEATONAL</u> (peat/h)	
Vereda poniente dirección N-S	312
Vereda poniente dirección S-N	430
Cruce informal sentido O-P	135

¹: vehículos livianos y camiones, excluidos buses.

3. ANALISIS DE LA OPERACION

El análisis la operación actual del paradero y de su futuro de diseño se basó en resultados entregados por los programas de simulación de operaciones en paraderos IRENE, desarrollado en la Universidad de Chile (Gibson *et al*, 1989) y PASSION, desarrollado en la Universidad de Londres (Fernández, 1998a). Las salidas de estos programas se complementaron con las observaciones de terreno resumidas en la sección anterior.

Los datos de diseño básicos considerados para ambas situaciones son :

- Flujo de buses : 90 buses por hora.
- Demanda de subida : 500 pasajeros por hora.
- Demanda de bajada : 30 pasajeros por hora.

Para replicar la operación actual del Paradero Instituto Cultural se asumió que su situación presente queda reflejada en las siguientes características observadas en terreno :

- paradero formal - su ubicación está definida ;
- área de parada compuesta de dos sitios - aunque no delimitados ;
- andén no segregado del tráfico peatonal, con algún grado de congestión ;
- llegada de buses aleatoria controlada por semáforo 60 m aguas arriba ;
- todos los buses pasan por el área de parada ;
- los buses que paran no van llenos ;
- los buses se detienen más de una vez y en cualquier lugar del área de parada ;
- uso de puertas no especializadas - se permite bajar por puerta de subida ;
- no se puede salir adelantando - fácilmente - por pista adyacente.

El resultado de la simulación de la situación actual entrega los índices de rendimiento de la operación que se resumen en la Tabla 4.

Para la operación futura del paradero, el diseño físico tratará de producir la siguiente modalidad de operación :

- paradero altamente formal ;
- área de parada compuesta de dos sitios bien delimitados ;
- amplio andén segregado del tráfico peatonal para evitar congestión ;
- llegada de buses aleatoria controlada por semáforo 60 m aguas arriba ;
- sólo los buses que transfieren pasajeros pasan por el área de parada ;
- los buses se detienen sólo una vez en el sitio más próximo a la salida ;
- los buses que paran no van llenos ;
- uso de puertas especializado para subir y bajar ;
- se puede adelantar por pista adyacente.

La eficiencia esperada de esta nueva forma de operar el Paradero Instituto Cultural se resume también en la Tabla 4.

Como conclusión, se obtuvo que con un buen funcionamiento la capacidad de atención de buses del paradero se incrementaría en un 55%, esperándose que el *grado de saturación* (la razón entre el flujo de buses y la capacidad de atención de éstos) se reduzca del 90 al 60%, que es el grado de saturación de diseño para paraderos de alta capacidad recomendado por Gibson y Fernández (1995).

Adicionalmente, las demoras por bus que pasa por el área de parada se reducirían en un 55%, pasando de los casi 2 minutos actuales de demora por bus a poco más de 50 segundos por bus. Se espera también que el nuevo diseño reducirá las demoras por transferencia de pasajeros en un 20% por las mejores condiciones del andén.

Las detenciones también podrían reducirse en más de un 30%, desde las más de 2 detenciones por bus actuales a 1,5 detenciones.

Además, las colas que se producen actualmente a la entrada del paradero se reducirían en gran medida. En este momento, la simulación computacional indica que siempre se producen colas de más de un vehículo y que durante el 20% de tiempo dicha cola puede superar los 3 buses, lo que podría bloquear la intersección de 11 de Septiembre. Este resultado fue confirmado por observaciones en terreno. En contraposición, un funcionamiento adecuado pueden reducir las colas a no más de un bus el 30% del tiempo y la posibilidad de que la cola pueda bloquear la intersección se reduce al 3%.

Tabla 4 : Simulación de la operación del Paradero Instituto Cultural

VARIABLES	OPERACIÓN ACTUAL	OPERACIÓN FUTURA
<u>CAPACIDAD</u> (buses/h)		
Media en el período	97	150
Grado saturación (%)	93	60
<u>DEMORAS</u> (s/bus)		
Por transferencia pasajeros	41	33
Por congestión interna	2	0
En cola de entrada	72	19
TOTAL	116	52
<u>DETENCIONES</u> (det/bus)		
Por transferencia pasajeros	1,2	1,0
Por congestión interna	1,0	0,5
TOTALES	2,2	1,5
<u>COLAS</u> (buses)		
Media en el período	1,4	0,3
Al final del período	2	0
Mayor a crítica ¹ (% tiempo)	20	3

¹: longitud de cola que produciría bloqueo aguas arriba : 3 buses.

En resumen, como consecuencia de una mejor operación del paradero, se pronostica una disminución del tiempo de detención de cada bus de más de un minuto y una reducción en el

número de detenciones de casi una detención por bus. Estos valores, considerando ciertos parámetros operacionales durante los períodos punta de la mañana y la tarde, podrían significar en un año los siguientes ahorros de recursos (ver Salamanca, 1999) :

- 100 mil horas de pasajeros ahorradas ;
- 8 mil litros menos de combustible consumidos por los buses ;
- 4 toneladas de contaminantes no emitidas a la atmósfera.

4. DISEÑO PROPUESTO

Para asegurar el funcionamiento eficiente mencionado en la sección anterior, es necesario un adecuado diseño físico del paradero. El diseño propuesto para este caso considera varias de las recomendaciones provenientes de manuales e investigaciones inglesas al respecto (LT, 1996 ; IHT, 1997 ; Fernández, 1998a). Incorpora, además, resultados de estudios chilenos relativos al funcionamiento de paraderos en Santiago (Gibson *et al*, 1997).

Las características del nuevo diseño físico del paradero se muestran esquemáticamente en la Figura 1 y 2. El detalle de estas características se enuncia a continuación.

4.1. Area de parada

El área de parada y pistas adyacentes para los buses debe reunir los siguientes requisitos :

- Area de parada compuesta de dos sitios de 12,00 m de largo y 3,00 m de ancho cada uno, bien demarcados según indicaciones del Manual de Señalización de Tránsito (MTT, 1983).
- Espacio de separación entre sitios de 6,00 m de largo para permitir al segundo bus realizar maniobras de adelantamiento.
- Pista del paradero de 3,50 m de ancho de uso exclusivo para los buses.
- Pista adyacente al área de parada de uso prioritario para los buses, para facilitar maniobras de adelantamiento en el paradero.

4.2. Andén

El andén para los pasajeros debería contar con los siguientes elementos :

- Andén segregado de la vereda con diferente textura, de 3,00 m de ancho máximo y largo igual al área de parada (30,00 m) para evitar su congestión.
- Andén desplazado 0,30 m hacia la calzada para facilitar la aproximación y el alineamiento de los buses con el andén.
- Solera curva (tipo Kassel) a lo largo del andén para proteger y guiar las ruedas del bus al borde del andén.

- Altura del andén elevada 0,30 m de la calzada y 0,15 m de la vereda frente al primer sitio para facilitar las operaciones de transferencia y uso preferente de ese sitio.
- Rampa de transición entre las diferentes alturas del andén de 6,00 m de largo y pendiente longitudinal del 2,5%, ubicada frente al espacio de separación entre sitios.
- Acceso al andén y panel de información con rutas e itinerarios de los buses que usan el paradero ubicado en la cabecera del andén.
- Refugio ubicado frente al primer sitio y del mismo largo (12,00 m) para agrupar a los pasajeros frente a ese sitio.
- Refugio con amenidades para atraer a los pasajeros: asientos, iluminación, mapas de alrededores, cualidades estéticas.

4.3. Accesibilidad

Para otorgar una adecuada accesibilidad al paradero se ha contemplado la necesidad de un cruce peatonal aguas abajo del paradero para canalizar el flujo peatonal generado por las actividades del borde oriente de Av. P. de Valdivia. Su ubicación se definiría en un futuro estudio de mediana del eje, por lo que su diseño de detalle quedó fuera del alcance de esta experiencia.

§

El estudio del proyecto de construcción de un paradero con las anteriores características indica que su costo de inversión bordea los \$10 millones (ver Salamanca, 1999). El costo incluye las obras civiles (andén, soleras, ductos, etc.) y los elementos anexos (refugio, señalización, demarcación). Esta estimación coincide con las obtenidas para dispositivos de similares características en Inglaterra (Caiaffa, 1999). Si se compara este costo con una valoración monetaria de los ahorros de recursos indicados en el capítulo anterior, es obvia la alta rentabilidad social del proyecto. A modo de ejemplo, la tasa de retorno inmediata (TRI) supera el 600%. Salamanca (1999) ofrece el detalle de esta evaluación social.

5. COMENTARIOS

Pese a los promisorios resultados arrojados por el estudio de diseño y evaluación, el proyecto no fue acogido por el Consejo Municipal de Providencia. Por consiguiente, la construcción del dispositivo no se ha concretado y el seguimiento no se ha podido efectuar. Aunque no ha habido un pronunciamiento oficial, los argumentos parecen ser la calidad experimental e innovadora del diseño y su ubicación en un lugar muy visible de la comuna. Esto último podrían traer costos de políticos si el dispositivo no funciona como se espera. Por lo tanto, se recomienda el estudio y materialización de un paradero de similares características en un lugar menos sensible, pero donde efectivamente resuelva un problema real de acceso al sistema de buses (v.g. otra comuna). Un mayor apoyo político del nivel central para iniciativas de este tipo parece también necesario.

Extrapolando los resultados sugeridos por este análisis a otros paraderos de alta demanda que hay en Santiago, los beneficios por un mejor acceso a los buses y un movimiento más fluido de éstos podrían ser substanciales. A ellos habría que agregar los provenientes de una mejor accesibilidad

al sistema de transporte público. Como consecuencia, las personas verían mejorada su movilidad en transporte público, los operadores observarían una reducción de sus costos, un potencial incremento en el número de usuarios y un aumento en sus ingresos. Sin embargo, la clave para lograr estos dividendos es un diseño caso a caso, detallado y cuidadoso de cada paradero existente en la ciudad.

Este hecho ya fue reconocido en la respuesta dada por el University of London Centre for Transport Studies al documento de consulta para formular la nueva política de transporte del gobierno británico (Brown *et al*, 1997) :

“Es necesario definir estándares para asegurar que los paraderos de buses sean accesibles a todos los usuarios potenciales. Deben existir diseños físicos y operacionales diversos pero consistentes de todos los paraderos, y estos diseños deben ser incorporados como parte integral de las medidas de prioridad a los buses.”

La experiencia expuesta en este artículo indica que el conocimiento y herramientas para realizar lo anterior se encuentra disponible en Chile para la práctica de la ingeniería. En este sentido, este proyecto constituyó una enriquecedora experiencia de trabajo conjunto entre académicos, alumnos de taller de título de ingeniería civil y profesionales municipales, cuyo objetivo fue la transferencia de conocimientos de punta a la gestión de tránsito y transporte público local.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo ha contado con financiamiento de *FONDECYT* (proyecto 1990879) y con el aporte de la I. Municipalidad de Providencia para el caso de estudio. Los autores agradecen el trabajo de los profesionales de las Direcciones de Tránsito, Obras y Secretaría de Planificación Comunal de Providencia. Reconocen también la colaboración de Bercy Atenas y los valiosos comentarios de Martha Caiaffa del University College London.

REFERENCIAS

- Brown, N., R Fernández, A. Kean, J. Lynas, P. Silva, and N. Tyler (1997) *Response to ‘Developing an Integrated Transport Policy’*. University of London Centre for Transport Studies Working Paper.
- Caiaffa, M. (1999) *EXCALIBUR Project - Cost Analysis*. University of London Centre for Transport Studies Draft Document.
- Evans, A. W. (1988) University of London Centre for Transport Studies Report for 1997 : Part 1 and 2. *Traffic Engineering and Control* **39**(1) and (2).
- DETR (1998) *A new deal for transport. Better for everyone*. A summary of the Government’s White Paper. UK Department of Environment, Transport and the Regions, London.

DOT (1996) *A transport strategy for London*. Government Office for London, Department of Transport, HMSO, London.

Fernández, R (1998a) *Modelling bus stop interactions*. PhD Thesis University of London (Unpublished).

Fernández, R. (1998b) *Facilidades al transporte público en Providencia : Diseño de un paradero de buses de alto estándar*. Informe Técnico del Diseño, Universidad de Chile.

Fernández, R., N. Brown y N. Tyler (1997). *Accessible public transport routes in Brighton. Task 1: Western Road, Churchill Square area interim report*. University of London Centre for Transport Studies Working Paper.

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), 35-50. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.

Gibson, J., R. Fernández y A. Albert (1997) Operación de paraderos formales en Santiago. *Actas del VIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, 397-408, Santiago.

IHT(1997) *Transport in the urban environment*. Institute of Highway and Transportation, London.

LT (1996) *Guidelines for the design of bus bays and bus stops to accommodate the European standard (12 Metre) length bus*. London Bus Priority Network, London Transport, London.

MTT (1983) *Manual de Señalización de Tránsito*. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Santiago.

MTT (1997) *Estudio de demanda del sistema de transporte público de superficie de Santiago*. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Santiago.

Salamanca, M. (1999) *Diseño, proyecto y evaluación de un paradero de buses de alto estándar*. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

Tyler, N.A. y N. Brown (1997) *On mobility*. University of London Centre for Transport Studies Working Paper.



Figura 1 : Características del paradero de alto estándar

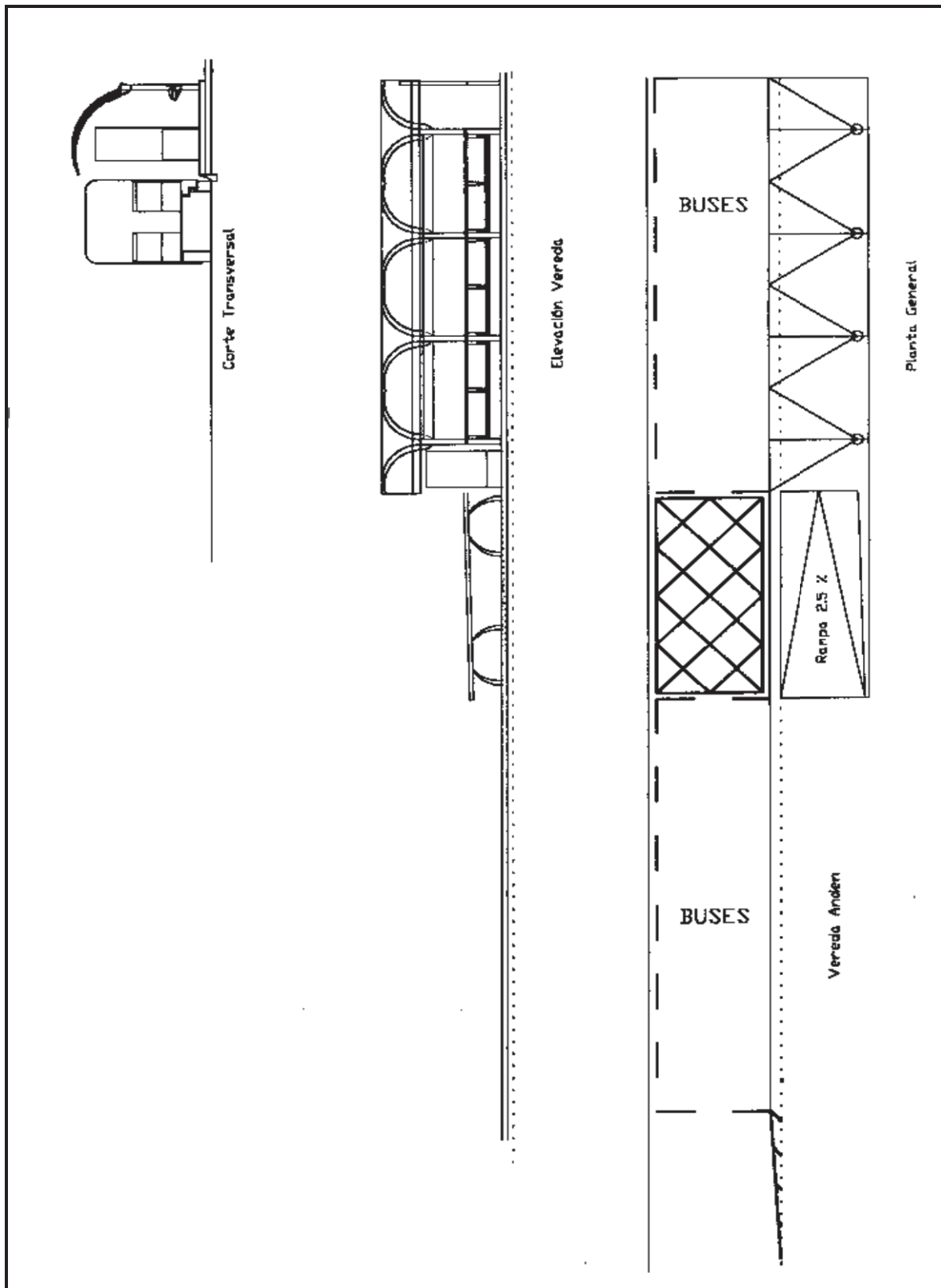


Figura 2 : Planta, elevación y corte del paradero de alto estándar