

ESTUDIO DE MOVILIDAD DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN SANTA CRUZ Y LA LAGUNA

Identificación del documento: 8868 AG / RG 00657 A

Identificación del proyecto : TF.SLTCLT.TP.007.01

	Nombre	Función	Firma	Fecha
Redactado por	Jean-Maxime RISACHER	Encargado del Estudio		
Verificado por	Patrick MORBOIS	Jefe de Servicio		
Aprobado por	Philippe LOUBET	Adjunto director		

INDICE

1. OBJETO DEL ESTUDIO DE LA DEMANDA	5
2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE LA DEMANDA	6
3. PRINCIPIOS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS DE TITSA.....	7
4. PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN TRANSPORTE PÚBLICO	9
4.1. ELECCIÓN DEL PERIODO PUNTA DE LA TARDE (15H00 - 17H30)	9
4.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS SUBIDAS BAJADAS POR LÍNEA Y SENTIDO	9
4.3. CONSTITUCIÓN DE LAS MATRICES PARADAS – PARADAS POR LÍNEA Y SENTIDO	9
4.4. CONSTITUCIÓN DE LA MATRIZ ZONA - ZONA (60 X 60)	11
4.4.1. Corte del área de estudio.....	11
4.4.2. Conversión de las matrices líneas y constitución de una matriz de los viajes en la red.....	11
4.4.3. Tratamiento de los viajes en transbordo para obtener una matriz de los desplazamientos	11
5. PRIMER ANÁLISIS DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN TRANSPORTE PÚBLICO	12
5.1. RESULTADOS GENERALES	12
5.2. ANÁLISIS GENERAL DEL FLUJO DE DESPLAZAMIENTOS	14
6. PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN Y DE CONTRASTE DEL MODELO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN TRANSPORTE PÚBLICO	16
6.1. PRINCIPIOS GENERALES DEL MODELO UTILIZADO : EL MODELO TERESE	16

6.1.1.	Red vial.....	16
6.1.2.	Red de transporte público	17
6.1.3.	Cálculo del tiempo de los itinerarios	17
6.1.4.	Principios de la aplicación de la matriz de los desplazamientos en la red	20
6.1.5.	Principios generales del contraste	20
6.1.6.	Principios de cálculo de la demanda futura.....	20
6.2.	RESULTADOS DEL CONTRASTE DEL MODELO	23
6.2.1.	Resultados del contraste de la oferta.....	23
6.2.2.	Resultados del contraste de la demanda.....	25
7.	SIMULACIÓN DE LOS TRES ESCENARIOS DE METRO LIGERO PROPUESTOS	27
7.1.	PRINCIPIOS ADOPTADOS PARA LA SIMULACIÓN DE TRÁFICO	27
7.2.	EVALUACION DE LA CLIENTELA DE LOS TRANSPORTES PÚBLICOS URBANOS	28
7.3.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS PARA EL ESCENARIO DE BASE	30
7.4.	RESULTADOS PARA EL ESCENARIO ALTERNATIVO 1	33
7.5.	RESULTADOS PARA EL ESCENARIO ALTERNATIVO 2	35
8.	SIMULACIÓN DE LAS FASES DE LA OPERACIÓN.....	38
8.1.	EVALUACIÓN DE LOS USUARIOS DE LOS TRANSPORTES PÚBLICOS URBANOS	39
8.2.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA PRIMERA FASE	40
8.3.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA SEGUNDA FASE	42
8.4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA TERCERA FASE	44

ANEXO:

- LISTADO DE NUDOS CON INTERDISTANCIAS Y VELOCIDAD DE RECORRIDO EN GUAGUA.
- LISTADO DE LÍNEAS CON NUDOS RECORIDOS
- CARGA Y SUBIDAS Y BAJADAS DE LAS LÍNEAS Y NUDOS.

1. OBJETO DEL ESTUDIO DE LA DEMANDA

El objeto del presente estudio consiste en evaluar la demanda actual y futura de transporte público. Se trata de comprender cómo las personas se desplazan actualmente y medir el impacto de las modificaciones importantes de la oferta de transporte público.

Los resultados obtenidos permiten comparar el rendimiento de los distintos escenarios de metro ligero propuestos, después de adaptar el nivel de servicio futuro a la demanda, y finalmente dimensionar el material móvil.

Este estudio de la demanda se basa esencialmente en el análisis de los datos de la explotadora de las guaguas: TITSA. El método deducido y que se describe en el informe, ha permitido obtener un grado de información importante en un plazo reducido.

Este estudio se concentra en el análisis de la demanda en el perímetro del área metropolitana de Santa Cruz y La Laguna. Abarca asimismo los flujos de desplazamientos entre ese perímetro y el resto de la isla de Tenerife.

Este estudio ha permitido confirmar las orientaciones propuestas para los trazados de las líneas de metro ligero. La encuesta de movilidad vendrá a continuación a completar y precisar estas informaciones sobre la demanda.

2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE LA DEMANDA

A partir de los datos estadísticos de TITSA, es posible reconstituir la demanda diaria de transporte público, y después construir una matriz de los desplazamientos actuales así como un modelo de tráfico.

Este método puede describirse en ocho puntos :

- recogida y análisis de los datos informáticos de TITSA de un día completo de la semana,
- construcción de la matriz de los desplazamientos para el período punta de la tarde. Ello permite a su vez estimar la carga máxima de las guaguas o del metro ligero en la hora punta máxima, por sentido,
- análisis de los flujos de desplazamientos entre diferentes partes del área analizada,
- descripción de la oferta actual de transporte público en el territorio del Area Metropolitana,
- aplicación de la matriz de los desplazamientos en la red de transporte público que se ha descrito, y el contraste del modelo en las estadísticas de TITSA,
- descripción de los 3 escenarios propuestos y las reorganizaciones de las guaguas asociadas a estos proyectos,
- simulación del impacto de estos 3 escenarios en la demanda y análisis de los resultados.
- Simulación de la demanda por fases en el escenario elegido

La metodología obtenida en este estudio es la empleada tradicionalmente en los estudios de proyectos de transportes públicos. Este estudio se basa en los datos reales actuales, representando el grado de utilización de los transportes públicos.

3. PRINCIPIOS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS DE TITSA

TITSA, (sociedad explotadora de la red de guaguas urbanas e interurbanas de Tenerife) posee, gracias a su nuevo sistema de billeteaje, una relación detallada de las subidas de viajeros a las paradas de sus líneas de guaguas.

TITSA ha proporcionado un fichero que recoge las estadísticas de subidas de viajeros de diez días entre semana del mes de octubre de 2000.

Se ha reservado un día medio correspondiente al miércoles 11 de octubre con la finalidad de analizarlo completamente y que sirva de base a la construcción de una matriz de los desplazamientos.

La grabación de las subidas en las guaguas no son sistemáticas en cada parada. TITSA dispone de sesenta puntos de reagrupación de los recuentos. En cada uno de estos puntos se dispone del número de subidas efectuadas entre dos puntos de reagrupación de los recuentos. En total, hay 56 puntos de reagrupación en el Area Metropolitana.

Los ficheros contienen la información necesaria para el estudio :

- el número de línea,
- el sentido del recorrido,
- la hora y minutos de salida,
- el número de subidas en trayecto directo,
- el número de subidas en transbordo con otra línea,
- el número de la línea de guagua tomada previamente, en el caso de transbordos,
- el número de la parada (la localización correspondiente a cada número nos ha sido transmitida por TITSA),
- la hora y minutos de paso por la parada.

Fecha y hora de salida

Nº de la línea de bus

Nº de la estación

Número de subidas

```

Principio de Viaje Nº 00001 linea=0012 vuelta=00 Km=0000000000 parada=0102
Fecha=25/10/2000 10:30
Cancelando 226 a 0190 000095,00 Ptas 0000 0000 13 10:30
Cancelando 226 a 0190 000000,00 Ptas 0016 0095 05 10:30
Cancelando 226 a 0190 000000,00 Ptas 0014 0095 03 10:30
01 x Billetes 50 a 0190 000140,00 Ptas Ns 04085 10:30
01 x Billetes 50 a 0190 000140,00 Ptas Ns 04086 10:31
01 x Billetes 50 a 0190 000140,00 Ptas Ns 04087 10:31
Cancelando 226 a 0068 000025,00 Ptas 0014 0095 03 10:31
Cambio de Parada de 0153 a las 10:38
                    
```

Nº de la línea de bus del trasbordo

Se han analizado todas las líneas de guagua con parte de su itinerario dentro del perímetro Metropolitano, resultando un total de 74 líneas urbanas e interurbanas. Estos datos son representativos de una jornada, equivalente a 185 000 viajes analizados. Una vez eliminados los viajes efectuados fuera del perímetro del área metropolitana obtenemos un total de 126 000 viajeros durante esa jornada.

La tabla siguiente proporciona una síntesis de los resultados obtenidos en la jornada, el período punta de la mañana (PPM) (07h00-09h30) y el período punta de la tarde (PPT) (15h00 - 17h30). En base a un coeficiente de paso del día medio al año de 279¹ para las líneas urbanas y de 236² para las líneas interurbanas, representando alrededor de 31,5 millones de viajes al año. Dicho resultado representa el 72% de los 44 millones de viajes que se realizan anualmente en la isla de Tenerife.

Tabla estadística de las líneas de guagua haciendo servicio en Santa Cruz o La Laguna :

	Año (estimaciones)	Día	PPM (07h00 - 09h30)	PPT (15h00 - 17h30)	Coeficiente día/año	Coeficiente día/PPM	Coeficiente día/PPT
Líneas urbanas	9 500 000	34 000	6 800	5 800	279	5,0	5,9
Líneas interurbanas	22 000 000	93 000	18 700	14 100	236	5,0	6,6
<i>Línea 14</i>		19 600	3 900	3 000		5,0	6,5
<i>Línea 15</i>		9 600	1 900	1 800		5,1	5,3
Total	31 500 000	127 000	25 500	19 900	248	5,0	6,4

¹ Calculado en base a las estadísticas de TITSA para las líneas de Santa Cruz

² Calculado en base a las estadísticas de TITSA para el conjunto de las líneas interurbanas

4. PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN TRANSPORTE PÚBLICO

4.1. ELECCIÓN DEL PERIODO PUNTA DE LA TARDE (15H00 - 17H30)

En base a las estadísticas tratadas, se podrían construir numerosos períodos horarios de la jornada. Es preferible deducir una matriz representando un período punta de la jornada para la utilización de transportes colectivos. El período punta de la tarde (15h00 - 17h30) ha sido elegido porque los desplazamientos efectuados en este período son realizados por motivos mucho más diversos que los desplazamientos de la mañana. La mayoría de los desplazamientos de la mañana se realizan por motivo de domicilio - trabajo.

Sin embargo, la hora punta que dimensiona la capacidad del material móvil es la hora punta de la mañana que es la más cargada. Por ello, los diagramas de carga del tranvía se construyen en base a la hora punta de la mañana, invirtiendo el sentido de las cargas y dividiendo los resultados obtenidos en el período punta de la tarde por 0,70.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS SUBIDAS BAJADAS POR LÍNEA Y SENTIDO

Disponiendo de los datos de TITSA por recorrido en la jornada completa, el primer tratamiento consistió en :

- aislar las subidas por parada en el período punta de la tarde (15h00 - 17h30),
- aislar las subidas por parada en el período punta de la mañana (07h00 - 09h30)

Siendo representativa de las bajadas de la tarde la localización de las subidas de la mañana en la red de transporte público (principio observado de manera general en las redes de transporte en común), el tratamiento consistió en rectificar los datos de manera que se obtuviera un número de bajadas idéntico al número de subidas de la tarde.

4.3. CONSTITUCIÓN DE LAS MATRICES PARADAS – PARADAS POR LÍNEA Y SENTIDO

El programa de tratamiento puesta a punto a continuación tiene por objeto la reconstitución de las matrices paradas – paradas de los recorridos a partir de las subidas y bajadas en el período punta de la tarde.

La carga de las líneas de guaguas se calcula primeramente por sentido a partir de las subidas y bajadas :

Subidas	Bajadas	Carga
m1	d1	$c1 = m1$
m2	d2	$c2 = c1 + m2 - d2$
.	.	.
.	.	.
mn	dn	$cn = c(n - 1) + mn - dn$

Conviene a continuación reconstituir cada elemento de la matriz, es decir, reconstituir los viajes de cada línea por sentido :

Origen/Destino	1	2	3	n	Subidas
1	0	x12	x13		x1n	m1
2		0	x23		x2n	m2
3			0		x3n	m3
⋮						
N					0	Mn
Bajadas	d1	d2	d3		dn	Total
Carga	c1	c2	c3		cn	

Se aplican los algoritmos siguientes :

$$x11 = 0$$

$$x12 = d2$$

$$x13 = \frac{d3 (m1 - x12)}{c2}$$

$$x1n = \frac{dn (m1 - \sum x1k)}{c(n - 1)}$$

4.4. CONSTITUCIÓN DE LA MATRIZ PARADA -PARADA (60 X 60)

4.4.1. Corte del área de estudio

Los puntos de reagrupación de los recuentos de TITSA (56 puntos internos al área metropolitana y 4 puntos representando las entradas salidas en el área metropolitana) nos lleva a proponer una matriz en 60 x 60 elementos para cada línea.

Los elementos de esta matriz no representan zonas sino que son realmente 60 puntos de accesibilidad en la red de transporte público.

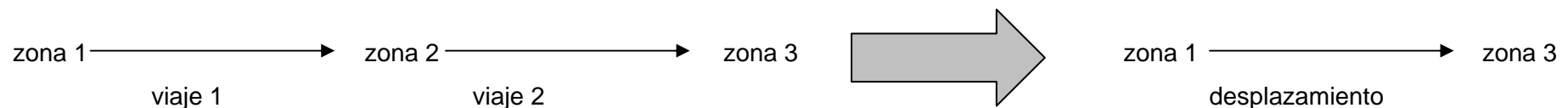
4.4.2. Conversión de las matrices líneas y constitución de una matriz de los viajes en la red

De cara a construir una matriz origen - destino global de la red, ha sido necesario, inicialmente, traducir los viajes entre paradas, en viajes entre zonas. Con tal finalidad, se ha establecido una tabla de correspondencia paradas / zonas.

La construcción de la matriz de los viajes (60 x 60 paradas) se establece a continuación a partir de la adición de cada matriz línea.

4.4.3. Tratamiento de los viajes en transbordo para obtener una matriz de los desplazamientos

Paralelamente se efectúa el análisis de los viajes en transbordo. A partir del lugar de transbordo, y de las líneas de guagua tomadas antes y después del transbordo, identificamos los viajes que habrán de ser sustituidos por un desplazamiento.



Una vez suprimidos los viajes en doble cuenta, pasaríamos de una matriz de 19 900 viajes en el período punta de la tarde, a una matriz de 17 500 desplazamientos para el mismo período. La tasa de transbordo se sitúa entonces en alrededor de 1,14 en la red actual.

5. PRIMER ANÁLISIS DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN TRANSPORTE PÚBLICO

5.1. RESULTADOS GENERALES

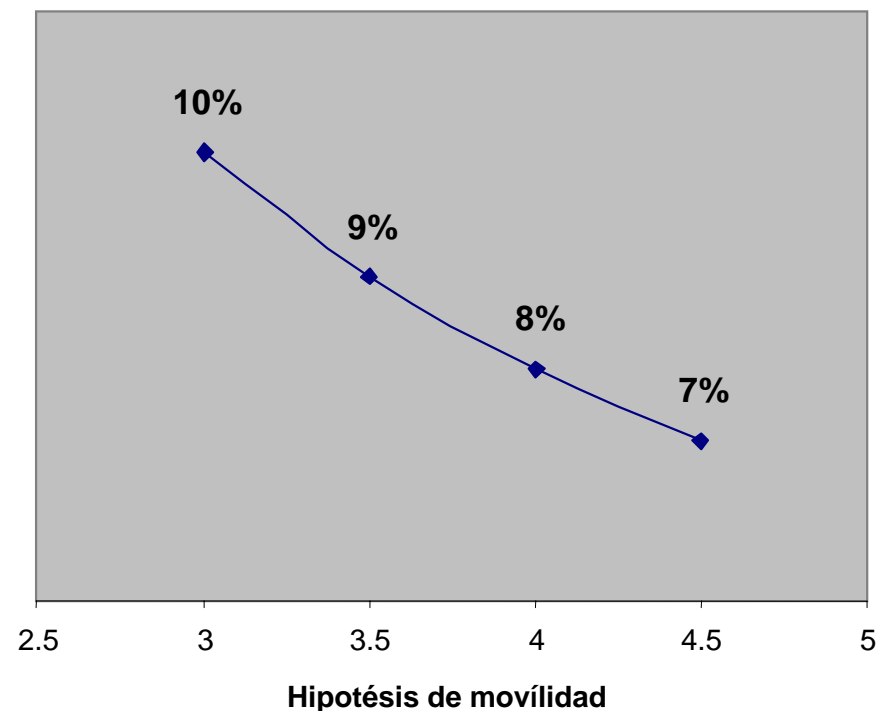
El análisis de los datos TITSA nos dan un total de 111 000 desplazamientos efectuados por día en el transporte público. Se trata de desplazamientos efectuados en el área metropolitana de La Laguna y de Santa Cruz. Entre estos desplazamientos, una pequeña parte (alrededor de 10 000) son realizados por personas que no viven en el área metropolitana.

Relacionando los cerca de 100.000 desplazamientos por jornada en transporte público a los 326.000 habitantes de Santa Cruz y La Laguna, esto representa una movilidad en transporte público de 0,31³.

Desde otro punto de vista, sabemos que la movilidad multimodal (coche + transportes públicos + 2 ruedas + caminando) se sitúa generalmente en una horquilla entre 3,0 y 4,5 desplazamientos por persona y día.

En consecuencia, como muestra este gráfico, la cuota de mercado de los transportes públicos debería situarse entre 7% y 10% del conjunto de los desplazamientos (incluido los desplazamientos caminando)⁴

Cuota de mercado de los TP en S/C Y Laguna respecto a todos los modos de transportes



³ A título de comparación, en Grenoble (Francia), la movilidad en transporte público pasó de 0,40 antes del tranvía a 0,50 después de la puesta en servicio de dos líneas. En Nantes, esta movilidad pasó de 0,35 a 0,45 tras la puesta en servicio de dos líneas de tranvía.

⁴ Desplazamiento realizado completamente a pie desde el origen al destino, cualquiera que sea el motivo, y utilizando la vía pública.

5.2. ANÁLISIS GENERAL DEL FLUJO DE DESPLAZAMIENTOS

Los flujos de desplazamientos de las guaguas extraídos del análisis anterior representa los desplazamientos de los usuarios actuales de los transportes públicos, desde el lugar de subida a la guagua hasta la estación de bajada. El análisis de los desplazamientos está en parte deformado por el hecho de que se desconocen los trayectos terminales a pie de los usuarios de los transportes públicos. Así, la estructura actual de la red de guagua, guiada por las necesidades de los usuarios, aunque también por las particularidades geográficas de la ciudad (barreras naturales, declives importantes, calles inaccesibles en guagua...) conducen a deformar en parte los flujos real de desplazamientos.

La lectura de los flujos de desplazamientos debe por lo tanto interpretarse en función de la oferta existente en materia de línea de guagua y de los inconvenientes de vialidad o de topografía de la ciudad.

La lectura de los flujos de desplazamientos en el área metropolitana necesita focalizar la matriz en un número de zonas reducido.

Este mapa muestra la repartición proporcional de los flujos en el período punta de la tarde entre 6 macro - zonas : La Laguna centro; La Cuesta y la Curva de Gracia, Polígono del Rosario , Tíncer y Geneto; Taco, Añaza y Santa M^a del Mar; Santa Cruz Barrios ; Santa Cruz Centro.

Este mapa muestra el predominio de los flujos teniendo por origen o destino la parte Santa Cruz Centro.

Este análisis muestra igualmente la importancia de los desplazamientos entre la Laguna y Santa Cruz de una parte, y Santa Cruz Barrios por otra.

Observaremos finalmente la importancia de los flujos de desplazamientos en transporte público que unen el área metropolitana y las partes Norte, Noreste y Sur de la isla de Tenerife.

6. PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN Y DE CONTRASTE DEL MODELO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN TRANSPORTE PÚBLICO

Disponemos actualmente de una matriz de los desplazamientos en transportes públicos durante un período dado. Se trata ahora de construir un modelo que reconstituya correctamente la situación actual y que permita a su vez simular el impacto de modificaciones importantes de la oferta en transporte público.

6.1. PRINCIPIOS GENERALES DEL MODELO UTILIZADO : EL MODELO TERESE

TERESE, es el modelo de aplicación con la vía más corta en términos de tiempo generalizado (algoritmo de DIJKSTRA). Puede ser desglosado en cuatro fases :

- descripción de la red vial, de las líneas de TP existentes y de los distintos escenarios a probar,
- cálculo de la demanda futura y modificación de la matriz a partir de una modificación de la oferta,
- aplicación de la demanda mediante la vía más corta en la red,
- análisis de los resultados y comparación de los indicadores según los escenarios.

6.1.1. Red vial

El territorio metropolitano ha sido dividido a partir de los 60 puntos de emisión y de atracción (centroides) correspondientes a los puntos de reagrupación de los recuentos de TITSA. La descripción de la oferta precisa introducir los puntos secundarios (centros adicionales). Los vínculos entre estos nudos corresponden a las vías usadas prestadas por los transportes públicos.

A cada uno de los arcos se le atribuye una longitud, una velocidad ida y vuelta. **Se han calculado las velocidades a partir de los archivos facilitados por TITSA, que corresponden a las medias observadas en el período punta de la tarde.** Dichas velocidades representan la velocidad comercial de las guaguas, tiempo de parada incluido. El modelo TERESE tiene en cuenta los desplazamientos caminando, situándolo en

competencia con los transportes públicos. Esta situación se acerca más a la realidad, ya que cuando los usuarios deseen evitar transbordos múltiples, podrán efectuar parte del trayecto a pie.

6.1.2. Red de transporte público

Cada línea se describe como una sucesión de nudos de la red que han sido definidos anteriormente. Para cada línea definimos, la capacidad del material y el intervalo medio de paso en segundos.

El intervalo representa el lapso de tiempo medio entre dos servicios para el período de estudio deducido (15h00 -17h30).

En total, se han descrito 74 líneas de guaguas urbanas e interurbanas en este estudio, y para la parte de su itinerario se sitúan en el área metropolitana.

6.1.3. Cálculo del tiempo de los itinerarios

Se define mediante la fórmula :

$$C = T_{par} + K1 T_{map} + K2 T_{att} + T_{pen}$$

- T_{par} = tiempo de recorrido real en el vehículo
- T_{map} = tiempo en marcha a pie,
- T_{att} = tiempo de espera del usuario en la parada,
- T_{pen} = tiempo representando la dificultad de acceso.

K1 y K2 son parámetros que vienen a ponderar el valor del tiempo empleado a caminar y esperar en la estación, en comparación al tiempo pasado en el vehículo. K1 y K2 adoptan cada uno un valor único por el conjunto de la red. Estos valores son respectivamente de 2,5 para K1 y de 1,5 para K2 en el caso de Tenerife, resultado de la calibración efectuada.

El modo de cálculo del tiempo de espera en la parada depende sin embargo de la línea utilizada. Parece en efecto, y especialmente los troncos comunes de líneas, que la aplicación real de los usuarios en las guaguas, no se hace proporcionalmente a la densidad de los pasajeros de dichos guaguas. Factores como los de regularidad e imagen de las líneas de guagua intervienen igualmente en la elección por parte del usuario de los transportes colectivos.

Este fenómeno se toma en cuenta en la fase de contraste definiendo diversos tipos de líneas, aplicándose un coeficiente de regularidad Cr y una dificultad de acceso Tpen.

6.1.4. Principios de la aplicación de la matriz de los desplazamientos en la red

El modelo de aplicación TERESE se recoge en los tres postulados siguientes :

- el tiempo de los desplazamientos es independiente de la demanda de transporte público,
- no hay problema de capacidad en los vehículos,
- se considera un solo itinerario.

La unión entre dos zonas queda así aplicada en un solo itinerario ; el más corto en tiempo generalizado. Esta aplicación se denomina "aplicación todo o nada" en la vía más corta en términos de tiempo generalizado.

6.1.5. Principios generales del contraste

La fase inicial de la calibración consiste en verificar la longitud de las líneas y tiempo de los recorridos. Después, tras la aplicación de la matriz en la red actual, se compara las cargas de las líneas de guagua con las observadas a partir de los datos de TITSA.

Esta segunda fase de contraste se realiza ajustando los parámetros de descripción de las líneas de guagua o algunos coeficientes más generales (velocidad de marcha a pie, dificultad de los transbordos, del tiempo de espera en comparación con el tiempo de recorrido...). Cuando las cargas por línea reflejan la situación observada, esta base puede servir de referencia para el estudio de una situación futura.

6.1.6. Principios de cálculo de la demanda futura

El modelo se utiliza a continuación en situación futura con la finalidad de evaluar el impacto de importantes modificaciones de la oferta en la demanda y en la carga de las líneas. Los resultados obtenidos permiten por lo tanto comparar la situación actual con situaciones proyectadas, o diferentes escenarios futuros entre los mismos.

El modelo TERESE tiene en cuenta la generación del tráfico provocado por la construcción de nuevas redes y la evolución de las características de cada zona. La consideración de estos fenómenos lleva a deformar la matriz inicial.

La nueva demanda se calcula basándose en las siguientes hipótesis:

- el modelo de elasticidad,
- los efectos "cuencas vertientes",
- los efectos "parkings",
- el modelo de crecimiento

Todos los coeficientes que aplicados en estos modelos proceden de experiencias concretas de proyectos de transporte público similares.

Los datos de demanda que salen de los modelos de simulación corresponden a una situación estabilizada que se pone en marcha, generalmente, durante el segundo año de explotación. Pero se puede considerar que el día uno de la explotación la demanda empieza con un 60% de la demanda final y se estabiliza con un 85% a 90% de la demanda final al inicio del año dos (el crecimiento puede depender de acontecimientos particulares y locales como fin de vacaciones, fiestas,...).

El 100% se alcanza después de 18 a 24 meses.

6.1.6.1. El modelo de elasticidad

Este modelo permite definir la evolución de la demanda cuando interviene una modificación importante de la oferta. Se define como un coeficiente de elasticidad de la demanda a tiempo generalizado : e, que permite obtener para cada enlace i, j la evolución de la demanda ΔD_{ij} en función de la evolución del tiempo generalizado del enlace ΔC_{ij} .

$$\frac{\Delta D_{ij}}{D_{ij}} = - e \frac{\Delta C_{ij}}{C_{ij}}$$

Los coeficientes obtenidos en este estudio son de 1,40 cuando existe una ganancia de tiempo generalizado y de 0,80 cuando existe una pérdida de tiempo generalizado.

6.1.6.2. El modelo "Cuencas vertientes"

Este modelo calcula la evolución previsible de los desplazamientos entre las zonas exteriores a la población enlazadas por los transportes públicos y las zonas servidas directamente por el transporte público, en función de los cambios de tiempo real observados entre antes de instalarse la nueva red y después de instalarse la misma

Consideramos los factores siguientes :

- paso de un tiempo superior a 45 minutos (usuarios actualmente susceptibles de utilizar transportes públicos) a un tiempo comprendido entre 30 y 45 minutos en el enlace i,j : factor multiplicador de 1,2
- paso de un tiempo comprendido entre 30 y 45 minutos a un tiempo inferior a 30 minutos en el enlace i,j : factor multiplicador de 1,3
- paso de un tiempo superior a 45 minutos a un tiempo inferior a 30 minutos en el enlace i,j : factor multiplicador de 1,56.

Las cuencas vertientes consideradas en este estudio son el norte, el nordeste, el sur y el este de la isla de Tenerife, es decir el exterior del área metropolitana

6.1.6.3. El modelo "efecto parking"

Este modelo permite tener en cuenta la incidencia de la implantación de Park & Ride en las inmediaciones de la red de transporte público.

El número de usuarios se obtiene calculando el número de vehículos que entran y salen en el período horario considerado, y aplicando una tasa de relleno de vehículos de 1,2.

Para los tres proyectos probados, se ha considerado la construcción de un parking de 2000 plazas en la zona de Guajara, accesible desde la autopista y destinado esencialmente a los conductores procedentes del norte de la isla de Tenerife. Las zonas consideradas en la distribución de los desplazamientos son las directamente comunicadas por una línea de metro ligero en dirección a Santa Cruz. Los usuarios son distribuidos en las estaciones para las que el tiempo transcurrido entre el parking y la estación está comprendido entre 8 y 50 minutos. Los usuarios se distribuyen según la prorrata de las cargas de las estaciones.

6.1.6.4. El modelo de crecimiento (método FRATAR)

Este modelo permite tener en consideración la evolución previsible de la urbanización para cada zona, a la vez que distingue las atracciones y emisiones que no son sensibles a las mismas evoluciones.

Para una matriz representando el período de punta de la tarde, como es aquí el caso :

- las atracciones son sensibles al crecimiento demográfico de las zonas,
- las emisiones son sensibles al aumento de uso.

Este modelo no ha sido utilizado de momento, ya que requiere previas hipótesis de cifras sobre el desarrollo económico y demográfico de la población.

6.2. RESULTADOS DEL CONTRASTE DEL MODELO

6.2.1. Resultados del contraste de la oferta

La primera parte del contraste consiste en comprobar si la descripción de la oferta es exacta. Para ello, se verifica que en efecto la longitud de las líneas son correctas y que los tiempos de recorrido son comparables a los observados en la realidad. Los resultados obtenidos son muy satisfactorios ya que, como muestra la tabla, las diferencias de tiempo de recorrido son inferiores a 6%. (La tabla siguiente muestra los resultados de las líneas en las que el conjunto del itinerario se sitúa en el interior del Área Metropolitana).

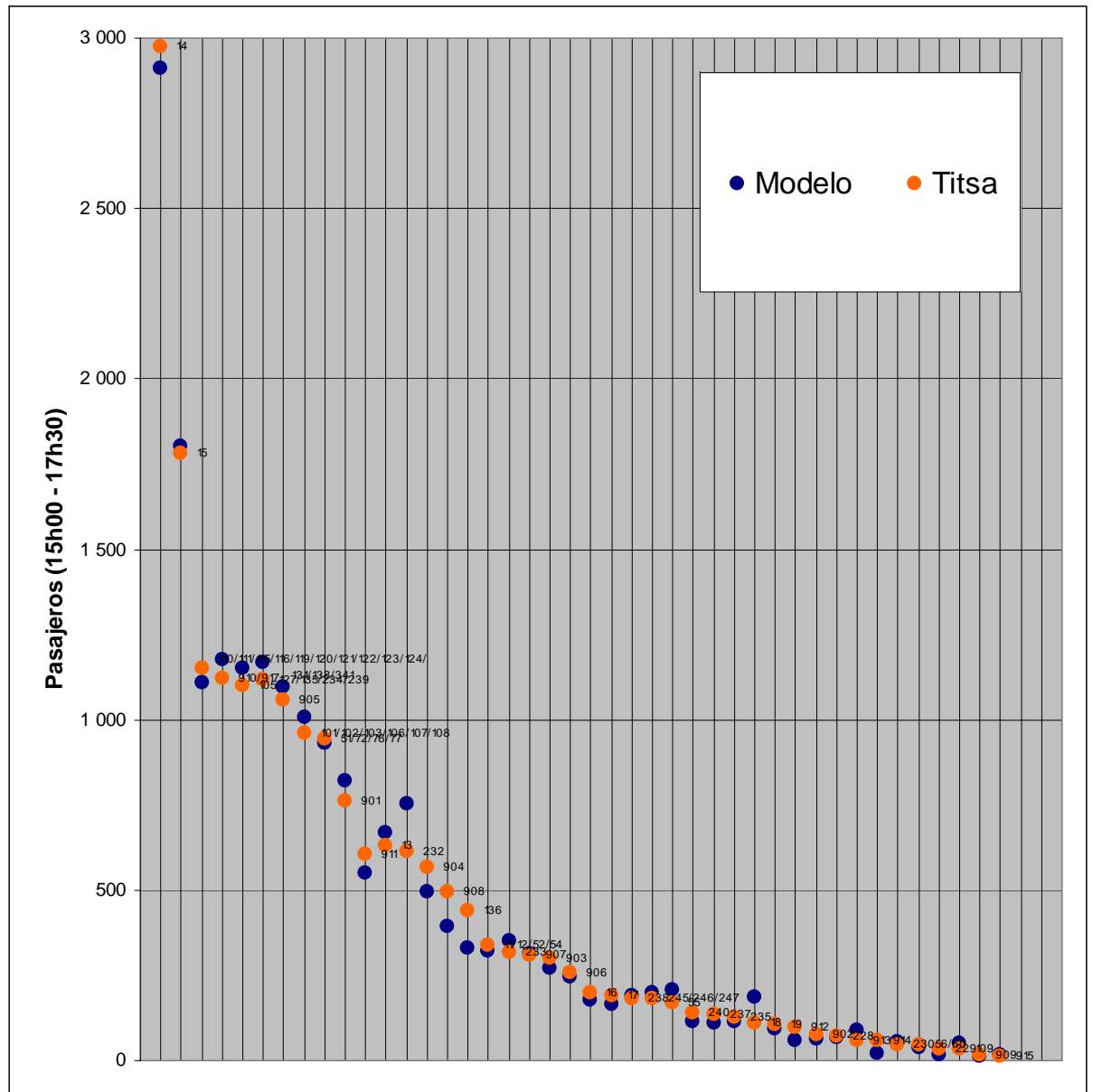
Lineas (n° Titsa)	Longitud (metros)			Tiempo de trayecto (minutos)		
	Modelo	Titsa	Diferencia	Modelo	Titsa	Diferencia
901	4 990	5 300	-6%	27	27	2%
902	3 770	4 000	-6%	22	22	0%
903	8 350	8 650	-3%	35	36	-4%
904	7 485	7 150	5%	42	44	-6%
905	9 840	9 600	3%	54	51	6%
906	6 290	5 950	6%	36	36	-1%
907	4 295	4 500	-5%	24	23	6%
908	7 460	7 100	5%	45	48	-6%
909	3 220	3 000	7%	15	16	-7%
911	10 160	10 600	-4%	50	47	7%
912	6 105	6 500	-6%	23	24	-4%
913	7 580	7 300	4%	44	43	2%
914	5 290	5 000	6%	28	28	1%
915	4 790	4 500	6%	25	26	-3%
14	10 950	11 500	-5%	51	49	4%
15	10 975	10 600	4%	34	34	-1%
17	7 510	8 000	-6%	30	29	3%
228	9 780	10 400	-6%	40	42	-6%
229	7 240	7 850	-8%	34	32	6%
230	12 610	13 400	-6%	48	46	4%
232	9 570	10 450	-8%	40	39	1%
233	8 970	9 630	-7%	29	28	2%
237	9 840	9 450	4%	40	38	4%
240	9 180	9 200	0%	40	40	1%

6.2.2. Resultados del contraste de la demanda

En el plan global, la calidad del contraste, ya sea la diferencia entre los datos observados y los datos reconstruidos por el modelo, se sitúa en el 7,5%. Este porcentaje representa la suma de las diferencias en valor absoluto, correspondiente al total de los viajes observados. Este resultado supone un excelente nivel de precisión.

Dicho resultado se sostiene en base al hecho de que las dos primeras líneas de guagua actuales de la red (líneas 14 y 15) se han reconstruido con una precisión de 2% y que las 9 primeras líneas se han reconstruido con un nivel de error inferior a 5%.

El gráfico a la derecha muestra las diferencias entre la clientela reconstruida por el modelo y los datos de TITSA para cada una de las líneas de guagua.



7. SIMULACIÓN DE LOS TRES ESCENARIOS DE METRO LIGERO PROPUESTOS

7.1. PRINCIPIOS ADOPTADOS PARA LA SIMULACIÓN DE TRÁFICO

Las simulaciones de clientela han sido llevadas a cabo con ayuda del modelo TERESE de previsión de tráfico. El modelo TERESE ha sido específicamente elaborado con el fin de determinar el impacto de los grandes proyectos de transportes públicos urbanos.

Este modelo ha sido utilizado a partir de la evaluación de otros numerosos proyectos de transporte público con plataforma reservada, y sus previsiones han sido confirmadas.

Los resultados obtenidos corresponden a un régimen denominado "estabilizado" de las líneas de transporte creadas, es decir, unos de dos años tras la puesta en servicio de las mismas.

Las evoluciones de tráfico en comparación a la situación actual se deben a la evolución de la oferta, al nivel de servicio y de calidad, del propio proyecto y de la reorganización de la red de guaguas asociada.

La simulación se realiza a partir de la matriz de desplazamientos previamente constituida. A continuación el sistema se dimensiona a la hora punta a partir de extrapolaciones de la variación horaria de la clientela observada en la red actual.

Hay que señalar un elemento : el crecimiento de tráfico queda estrechamente vinculado a la evolución de la movilidad ; en el modelo TERESE, las sumas modales consideradas provienen exclusivamente de la mejora de los transportes públicos.

Así, los cálculos siguientes se basan en la hipótesis de una red viaria y una política de estacionamiento fundamentalmente poco modificadas ; es obvio que la puesta en marcha de una política ampliamente restrictiva de cara a la circulación del vehículo podría traer consigo un aumento de clientela más significativo.

7.2. EVALUACION DE LA CLIENTELA DE LOS TRANSPORTES PÚBLICOS URBANOS

Los resultados de la simulación representan un crecimiento del tráfico del orden del 24 al 33 % para el conjunto de la red urbana. (entre la situación actual y la puesta en marcha del proyecto completo). La mayoría de estos aumentos se atribuyen a la creación de las líneas de metro ligero y a la reorganización de las guaguas. Una parte proviene de la construcción de Park & Ride.

	Referencia, red actual de los transportes urbanos	Red de término medio con metro ligero		
		Red de base	Escenario alternativo 1	Escenario alternativo 2
Desplazamientos en la red por día	111 000	138 000	141 000	148 000
% de aumento del número de desplazamientos⁵	-	24%	27%	33%
- efecto elasticidad (ver 6.1.6.1)	-	11%	12%	17%
- efecto "cuencas vertientes"(ver 6.1.6.2)	-	3%	5%	5%
- efecto parking (ver 6.1.6.3)	-	10%	10%	11%
Viajeros diarios	126 000	186 000	206 000	213 000
- en metro ligero,	-	75 000	104 000	117 000
- en guagua	126 000	111 000	102 000	96 000
Número medio de línea utilizada	1,14	1,35	1,46	1,44
Viajes por año y habitantes	107	157	173	180

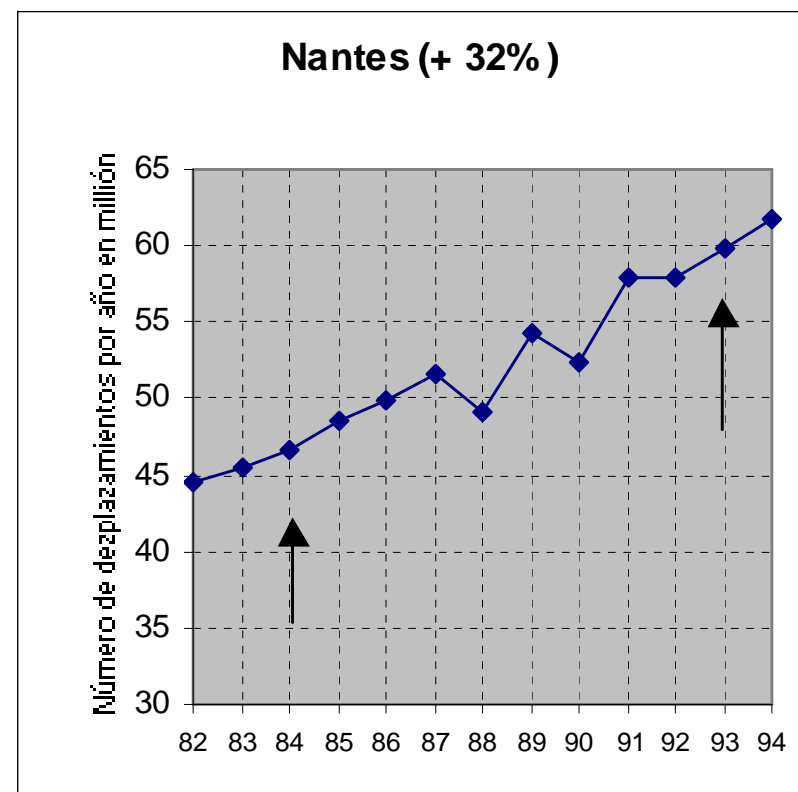
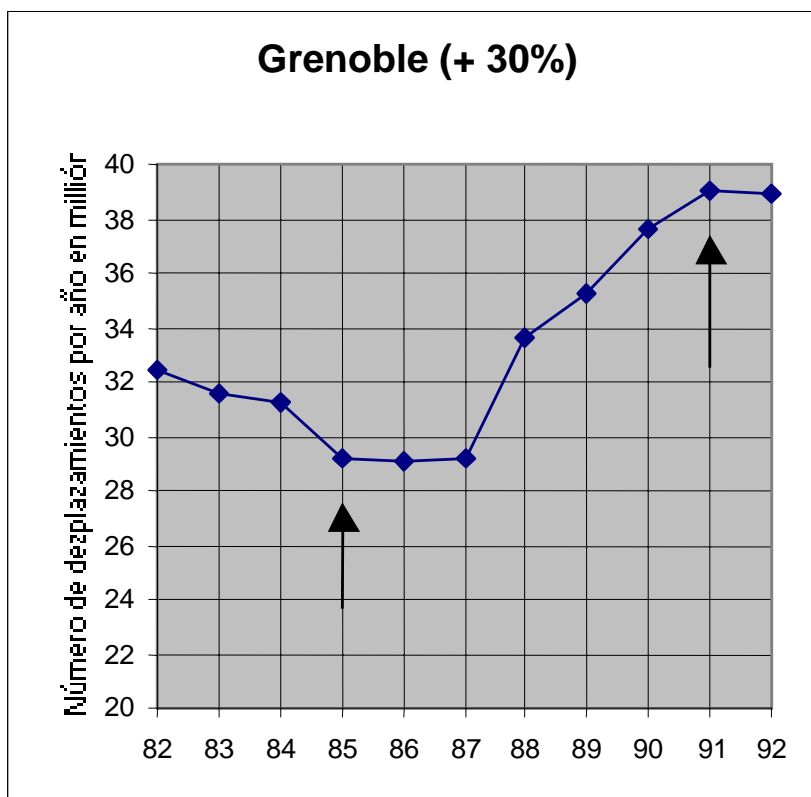
El escenario alternativo 2 es el más óptimo. Permite obtener un aumento de clientela que podría estimarse en 33%.

⁵ Los coeficientes que permiten pasar de una clientela de hora punta a una clientela diaria y anual son obtenidos de las estadísticas proporcionadas por TITSA.
 Hora Punta Mañana (HPM) /Hora Punta Tarde (HPT) =1,43
 HPT/Día = 6,25
 Día /Año = 275

En este escenario, más de la mitad de los viajes efectuados en la red sería en líneas de metro ligero. Estas líneas de metro ligero completan satisfactoriamente el objetivo de masificación del flujo.

La tasa de transbordo entre las líneas de la red aumenta en gran manera. Este fenómeno observado en cada puesta en servicio de metro ligero se explica por el hecho de que los transbordos entre las líneas son menos difíciles por la mejora de la regularidad del servicio. Las diferencias observadas son difíciles de interpretar ya que se sitúan en la horquilla de incertidumbre de las previsiones.

En su conjunto los resultados comerciales previsibles pueden juzgarse como muy satisfactorios en comparación con otras poblaciones equipadas con redes de metro ligero. Tal como muestran los dos gráficos siguientes, el incremento de la clientela consecutiva a la puesta en servicio de 2 líneas de tranvía en Nantes y en Grenoble puede estimarse entre 30 y 32% en comparación a la situación antes del comienzo de las obras.



7.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS PARA EL ESCENARIO DE BASE

El plano adjunto muestra el diagrama de carga de la red de metro ligero para el escenario de base. Los resultados representan el flujo de viajeros en hora punta de la mañana.

Este proyecto permite pronosticar un aumento de clientela del orden de un 24% en comparación a la situación actual.

En total, 75 000 viajeros tomarían cotidianamente una de las tres líneas de metro ligero.

La carga horaria por sentido, y en la hora punta sería de 2 300 viajeros.

La línea 1 sería la más frecuentada con 44 000 viajeros por día. A modo de comparación las líneas 14 y 15 transportan actualmente 29 000 viajeros por día..

Las líneas 2 y 3 presentan una clientela mucho más limitada (13 000 y 18 000 viajeros por día respectivamente). Los niveles de cargas previsibles son bastante débiles respecto a la tecnología empleada.

La clientela de la línea 2 es la más débil. Dos razones explican este resultado:

En esta configuración de la red, esta línea no desempeña más que una función de cabotaje en el interior de la ciudad de Santa Cruz. Esta es, por lo tanto, competencia para el desplazamiento a pie.

Actualmente, la oferta en guagua para esta ruta es bastante débil. Las líneas de guagua 905, 912 y 914 que aseguran, actualmente, en parte este trayecto representan un potencial de clientela del orden de 3000 a 4000 viajeros por día en esta parte de su ruta. El modelo nos lleva a una estimación de 13 000 viajeros por día con la línea de tranvía, lo que equivale a triplicar o cuadruplicar la clientela actual de esta ruta gracias a la reducción del tiempo.

Es posible que la organización actual de la red de guaguas nos lleve a subestimar en parte la clientela futura de esta línea. La línea del tranvía podría, por ejemplo, captar una parte de los desplazamientos que se realizan actualmente a pie en esta ruta. En cualquier caso, la carga de esta línea no deberá exceder de mil viajeros por sentido en la hora punta.

La reorganización de las guaguas permitida por este escenario es bastante limitada. Los análisis de los tiempos de recorrido (antes/después) demuestran que resulta difícil suprimir la línea 15 en este escenario, dado que algunos usuarios perderían tiempo en relación con la situación actual.

La reorganización de las guaguas ha sido por lo tanto limitada a :

- la supresión de las líneas urbanas 905, 913 y 914,
- la supresión de una parte del itinerario de las líneas 13, 101, 102, 103, 105, 106,107, 108, 109, 136.

7.4. RESULTADOS PARA EL ESCENARIO ALTERNATIVO 1

El plano adjunto muestra el diagrama de carga de la red de metro ligero para el escenario alternativo 1. Los resultados representan los flujos de viajeros en la hora punta de la mañana.

Este proyecto permite prever un aumento de clientela del orden de 27% frente a la situación actual.

En total, 104 000 viajeros tomarían diariamente una de las tres líneas de metro ligero.

Esta red de metro ligero está compuesta por dos líneas. La línea 1 está explotada con dos tipos de servicios. La mitad de los servicios aseguran la unión entre el aeropuerto y el Norte de Santa Cruz, y la otra mitad de los servicios entre La Cuesta y el Centro de Santa Cruz.

La línea 1 sería la más frecuentada con 59 000 viajeros al día. Ello corresponde al doble de la clientela actual de las líneas 14 y 15.

La línea 2 obtendría una clientela de 45 000 viajeros al día.

La carga horaria máxima en el sentido más cargado sería de 2 100 viajeros para la línea 1. Esta carga es la más importante en la parte de la autopista que se sitúa entre La Cuesta y Santa Cruz. La línea 2 obtendría una carga de un nivel más o menos equivalente a 1 900 viajeros por sentido en hora punta.

Observamos por lo tanto que, en este esquema, las dos líneas de metro ligero son bastante equilibradas en materia de clientela y carga.

La reorganización de las guaguas permitida por este escenario es más interesante que el escenario precedente. Los análisis de los tiempos de recorrido muestran que es totalmente posible suprimir la línea 15 en este escenario. Sin embargo la línea 14 debe conservarse, incluso si se planteara reducir su nivel de servicio.

La reorganización de los guaguas que se propone es la siguiente :

- la supresión de las líneas urbanas 15, 905, 913 y 914,
- la supresión de una parte del itinerario de las líneas 13, 101, 102, 103, 105, 106,107, 108, 109, 136, 904 y 908.

7.5. RESULTADOS PARA EL ESCENARIO ALTERNATIVO 2

El plano adjunto muestra el diagrama de carga de la red de metro ligero para el escenario alternativo 2. Los resultados representan los flujos de viajeros en la hora punta de la mañana.

Este proyecto permite prever un aumento de clientela del orden de un 33% frente a la situación actual. Este resultado es mejor que el de los dos escenarios anteriores.

En total, 117 000 viajeros tomarían diariamente una de las tres líneas de metro ligero.

Esta red está compuesta por tres líneas. La línea 1 se explota con dos tipos de servicios. La mitad de los servicios aseguran la unión entre el aeropuerto y el Norte de Santa Cruz, y la otra mitad de los servicios entre La Cuesta y el Norte de Santa Cruz.

- La línea 1 sería la más frecuentada con 74 000 viajeros al día.

La carga horaria máxima en el sentido más cargado sería de 3 000 viajeros para esta línea 1. Esta carga es la más importante de la parte de la autopista que se sitúa entre La Cuesta y Santa Cruz.

- La línea 2 obtendría una clientela de 36 000 viajeros al día.

Esta línea 2 obtendría una carga de un nivel dos veces más débil, de 1 400 viajeros por sentido en hora punta

- La línea 3 presenta resultados netamente más débiles de lo estimado a 7 000 viajeros al día.

La carga horaria máxima en esta línea 3 sería de 500 viajeros.

La clientela de la línea 2 es muy débil. Dos razones explican este resultado, ya desglosado en la alternativa base.

En esta configuración de la red, esta línea no desempeña más que una función de cabotaje en el interior de la ciudad de Santa Cruz. Esta es, por lo tanto, competencia para el desplazamiento a pie.

Actualmente, la oferta en guagua para esta ruta es bastante débil. Las líneas de guagua 905, 912 y 914 que aseguran, actualmente, en parte este trayecto representan un potencial de clientela del orden de 3000 a 4000 viajeros por día en esta parte de su ruta. El modelo nos lleva a una estimación de 13 000 viajeros por día con la línea de tranvía, lo que equivale a triplicar o cuadruplicar la clientela actual de esta ruta gracias a la reducción del tiempo.

Es posible que la organización actual de la red de guaguas nos lleve a subestimar en parte la clientela futura de esta línea. La línea del tranvía podría, por ejemplo, captar una parte de los desplazamientos que se realizan actualmente a pie en esta ruta. En cualquier caso, la carga de esta línea no debería exceder los mil viajeros por sentido en la hora punta.

La reorganización de los guaguas permitida por este escenario es muy parecida a la propuesta del escenario alternativo 1. Los análisis de los tiempos de recorrido muestran que es totalmente factible suprimir la línea 15 en este escenario. Sin embargo, la línea 14 debe conservarse, incluso si se planteara reducir su nivel de servicio.

La reorganización de los guaguas que se propone es la siguiente :

- supresión de las líneas urbanas 15, 905, 913 y 914,
- supresión de una parte del itinerario de las líneas 13, 101, 102, 103, 105, 106,107, 108, 109, 136, 904 y 908.

8. SIMULACIÓN DE LAS FASES DE LA OPERACIÓN

Con el objetivo de una red como la estudiada en la alternativa 1, se plantean ahora las fases de construcción de la citada red. Se plantea aquí la simulación de cada fase de construcción por separado.

La construcción ha sido simulada en tres fases sucesivas: En la primera fase, se pone en servicio una sola línea, entre La Laguna y Santa Cruz, con un Park & Ride de 500 plazas a la altura de Guajara. En la segunda fase, se establece una segunda línea en el centro de Santa Cruz. En la tercera fase, la realización de los tramos en la autopista y en Taco permiten modificar la configuración de explotación de la red, con el fin de optimizar sus prestaciones. En esta configuración, se ha considerado un parking de 2000 plazas en Guajara.

8.1. EVALUACIÓN DE LOS USUARIOS DE LOS TRANSPORTES PÚBLICOS URBANOS

	Referencia, red actual de los transportes urbanos	Red de término medio con metro ligero		
		Fase 1	Fase 2	Fase 3
Desplazamientos en la red por día	111 000	126 000	131 000	148 000
% de aumento del número de desplazamientos	-	14%	18%	33%
- efecto elasticidad (ver 6.1.6.1)	-	9%	12%	17%
- efecto "cuencas vertientes"(ver 6.1.6.2)	-	2%	3%	5%
- efecto parking (ver 6.1.6.3)	-	3%	3%	11%
Viajeros diarios	126 000	166 000	173 000	213 000
- en metro ligero,	-	47 000	59 000	121 000
- en guagua	126 000	119 000	114 000	92 000
Número medio de línea utilizada	1,14	1,32	1,32	1,44
Viajes por año y habitantes	107	140	146	180

8.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA PRIMERA FASE

El plano adjunto muestra el diagrama de carga de la primera línea de metro ligero, es decir, los resultados de la primera fase de la operación. Los resultados representan los flujos de viajeros en la hora punta de la mañana.

Esta línea de metro ligero se explota con un intervalo de 5 minutos en el período punta de La Laguna a Santa Cruz. Un servicio parcial con un intervalo de 10 minutos viene a reforzar esta línea entre el Hospital y Santa Cruz.

Este proyecto permite prever un aumento de usuarios del orden de un 14% en comparación a la situación actual.

En total, 47000 viajeros tomarían diariamente la línea de metro ligero. A modo de comparación, las líneas 14 y 15 transportan actualmente 29000 viajeros al día.

La carga horaria por sentido, y en la hora punta más cargada sería de 2500 viajeros.

La reorganización de las guaguas permitida por este escenario es bastante limitada. Los análisis de los tiempos de recorrido(antes/después) muestran que resulta complejo suprimir la línea 15 de este escenario, ya que algunos pasajeros perderían tiempo respecto a la situación actual.

La reorganización de las guaguas a sido por lo tanto limitada a la supresión de una parte del itinerario de las líneas 905, 13, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 136, 904 y 908.

8.3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS EN LA SEGUNDA FASE

El plano adjunto el diagrama de carga de la red de metro ligero en la segunda fase. Los resultados representan los flujos de viajeros en la hora punta de la mañana.

Este proyecto permite concebir un aumento de usuarios en torno al 18% en comparación a la situación actual.

En total, 59000 viajeros tomarían diariamente una de las dos líneas de metro ligero.

Esta red de metro ligero está compuesta por dos líneas. La línea 1 se explota con dos tipos de servicios. Una parte de los servicios garantizan la unión entre el aeropuerto y Santa Cruz (intervalo de 5 minutos en período punta), y la otra mitad de los servicios entre el Hospital y Santa Cruz (intervalo de 10 minutos).

La línea 1 sería la más frecuentada, con 48000 viajeros al día. La línea 2 obtendría una clientela más limitada, en torno a 11000 viajeros al día.

La carga horaria máxima en el sentido más cargado sería de 2500 viajeros en la línea 1. La línea 2 obtendría una carga de alrededor de 700 viajeros por sentido en la hora punta.

La reorganización de las guaguas ha llevado a suprimir una parte del itinerario de las líneas 905, 13, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 136, 904 y 908 en la primera fase. En la segunda fase, podrían suprimirse igualmente las líneas 913 y 914.

8.4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS EN LA TERCERA FASE

El plano adjunto muestra el diagrama de carga de la red de metro ligero en la tercera fase. Los resultados representan los flujos de viajeros en la hora punta de la mañana.

Este proyecto permite concebir un aumento de usuarios en torno al 33% con respecto a la situación actual.

En total, 121000 viajeros tomarían diariamente una de las tres líneas de metro ligero.

Esta red de metro ligero está compuesta por tres líneas. La línea 1 se explota con dos tipos de servicios. Una parte de los servicios garantizan la unión entre el aeropuerto y Santa Cruz, y la otra mitad de los servicios entre La Cuesta y Santa Cruz.

La línea 1 sería la más frecuentada con 74000 viajeros al día.

La línea 2 obtendría una clientela de 36000 viajeros al día.

La línea 3 presenta resultados que pueden estimarse en 11000 viajeros al día.

La carga horaria máxima en el sentido más cargado sería de 3000 viajeros para la línea 1. Esta carga es la más importante en la parte de la autopista que se sitúa entre La Cuesta y Santa Cruz. La línea 2 obtendría una carga de un nivel dos veces más débil, con unos 1400 viajeros por sentido en la hora punta. Por último, la carga horaria máxima en la línea 3 sería de 700 viajeros⁶.

La reorganización de las guaguas permitida por este escenario es el siguiente: los análisis de los tiempos de recorrido muestran que es posible suprimir la línea 15 en este escenario. Sin embargo la línea 14 debe conservarse, incluso si imagináramos reducir su nivel de servicio.

La reorganización de las guaguas propuesta es la siguiente:

la supresión de las líneas urbanas 15, 905, 913 y 914.

la supresión de una parte del itinerario de las líneas 13, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 136, 904 y 908.

⁶ En esta fase se ha aumentado hasta los 11 000 viajeros/día la línea 3, para corregir el efecto de distorsión que producen las carencias de la red de TITSA en esta zona.

ANEXO:

- Listado de nudos con interdistancias y velocidad de recorrido en guagua.
- Listado de líneas con nudos recorridos
- Carga y subidas y bajadas de las líneas y nudos.

HISTORIAL DE LAS MODIFICACIONES

Indice	Redactado por	Fecha	Objeto de la modificación