

Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía - ELUREE2013
Buenos Aires, Argentina – 25, 26 y 27 de Septiembre de 2013
GT3 – Transporte y Movilidad energéticamente eficientes

**ANALISIS DE LA DEMANDA PARA UNA LINEA DE TRANSPORTE MASIVO GUIADO A
SOBRENIVEL EN LA CIUDAD DE CORDOBA**

Dapás, Oscar Milton¹. Galarraga Jorge José²

Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mención Transporte – Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Universidad Nacional de Córdoba.

Avda Velez Sarsfiel 1600 – CP 5000 –Córdoba. Tel. 0351-4332090 e-mail: omdapas@yahoo.com – jorgala@efn.uncor.edu

RESUMEN

El principal objetivo del trabajo consistió en explorar la factibilidad, desde el punto de vista de la demanda, de introducir a lo largo de un corredor predeterminado un medio de transporte masivo, de alta velocidad y de gran desarrollo tecnológico, como es el monorriel elevado impulsado con energía eléctrica.

Se procedió a estimar la demanda empleando modelos secuenciales de generación, distribución y asignación modal de los viajes, hasta el año 2035, teniendo en cuenta el traspaso de los actuales usuarios del ómnibus y del automóvil particular al monorriel.

Se consideraron tres escenarios diferentes, para distintas relaciones de tarifa entre el ómnibus y el monorriel, y para distintas situaciones de competencia entre los mismos. Una vez hecho esto, se procedió a dimensionar la línea para cada escenario. Con la demanda para cada escenario, se concluyó sobre la factibilidad de la línea de monorriel propuesta.

Palabras claves: Demanda línea de transporte – Monorriel – Ciudad de Córdoba.

1. INTRODUCCION

El transporte público y masivo en la ciudad de Córdoba, no viene cumpliendo acabadamente con las principales características que todo sistema de transporte debería poseer, es decir, que sea económico, rápido, seguro, confortable, accesible y con una adecuada capacidad de transporte. La ciudad de Córdoba, con aproximadamente 1.350.000 habitantes, y una importante área metropolitana, no es ajena a los principales problemas de transporte que presentan la mayoría de las grandes ciudades de América latina, e inclusive de algunos países desarrollados.

El servicio de transporte de la ciudad de Córdoba, tal como se lo conoce en la actualidad, adolece de muchas deficiencias formales y estructurales y se producen externalidades como las siguientes: a) la congestión y con ello la pérdida de tiempo de los usuarios, b) la contaminación del medio ambiente, y el deterioro en la calidad de vida, con sus costos, c) el sobre consumo energético de combustibles de origen fósil no renovables, d) los accidentes causados por la falta de observancia de las normas de tránsito, e) el deterioro de los vehículos y el stress de los conductores y sus derivaciones psico-físicas.

La situación actual del transporte colectivo de pasajeros, aparenta no ofrecer una salida satisfactoria para los actores afectados (usuarios, empresarios, organismos públicos, y trabajadores relacionados con la actividad), por lo que los efectos de la ineficiencia del sistema de transporte se agudizan ante factores tales como:

- Un crecimiento explosivo de la ciudad, (a modo de Big Bang urbano) que escapa a todo intento de planificación generando nuevas actividades. Una nueva redistribución de las actividades ya existentes, y la incorporación de nuevos movimientos. Estas dos últimas son las fuentes de toda demanda de transporte y cada una de ellas con diferentes dinámicas de exigencias y crecimiento en el tiempo.
- La inelasticidad física en la oferta de la necesaria infraestructura y del equipamiento vial urbano.

¹ Ingeniero Civil – Magister en Ciencias de la Ingeniería - Mención Transporte (Universidad Nacional de Córdoba)

² Ingeniero Civil – M. Sc. (Universidad Nacional de Córdoba)

- El explosivo crecimiento del parque vehicular en los últimos años, el cual aumenta el riesgo a que se produzcan situaciones de congestión. Esto sumado a lo indicado en el punto anterior favorece en forma cada vez más frecuente al fenómeno de la congestión.

El principal objetivo del trabajo consiste en explorar la factibilidad (desde el punto de vista de la demanda) de introducir a lo largo de un corredor predeterminado, un medio de transporte masivo, de alta velocidad y de gran desarrollo tecnológico, como es el caso del tren elevado denominado monorriel. La elección del monorriel, se fundamenta en las características propias del medio, las que resultan compatibles con el escenario actual de la ciudad de Córdoba tales como:

- La mayor capacidad de transporte de los convoyes de vehículos, que pueden circular por la ciudad. Así mismo, los vehículos no son afectados por las características geométricas de la traza vial urbana, permitiendo transportar fácilmente de 200 a 400 pasajeros por formación, o 9000 a 12000 pasajeros por hora y por sentido.
- El Monorriel elevado es ajeno a posibles situaciones de congestión vehicular, en la red actual, ya que se desplaza por sobre las vías existentes.
- La baja tasa relativa de accidentes que presenta frente a otros medios, según lo demuestra la experiencia mundial.
- Posee una elevada velocidad de operación, ya que su vía de circulación resulta exclusiva para él.
- El monorriel es silencioso, debido a su rodadura con neumáticos y su impulsión eléctrica.
- El monorriel tiene una muy baja emisión de gases contaminantes, detallada en tabla 1.

| EMISION DE CO2 (Por pas/km) | |
|-----------------------------|--------|
| Monorriel | 9 Gr. |
| Omnibus / B.R.T. | 56 Gr. |

Tabla 1: Emisión de gases invernadero

- La polución visual que genera su irrupción en el medio urbano, resulta el único impacto que debe atenuarse con un tratamiento especial para su infraestructura de sostén.
- Las mayores posibilidades tecnológicas de este medio con respecto al actual, en cuanto a la previsión de los horarios de arribo a las distintas paradas. Es también posible el seguimiento minuto a minuto de las personas en el sistema, la automatización y centralización operativa del mismo entre otras ventajas.

La línea de transporte propuesta, se desarrolla a lo largo de un corredor que va desde el fin del ejido municipal, en el denominado “monolito de Villa Allende”, hasta el centro de la ciudad, más precisamente, hasta la ex plaza Gral. Paz. Este corredor constituye el eje de mayor desarrollo de la ciudad, uniendo el mismo a la ciudad de Córdoba con la ciudad “Satelite” Villa Allende. La línea tiene 18 km de extensión en su trazado troncal y posee dos sub ramales. Se han seleccionado para el servicio, los móviles denominados “Hitachi Small”, fabricados por la firma Hitachi, y que a priori, se adaptan fundamentalmente a la estructura urbana, topografía, y situación climática predominante en la ciudad. Esta tecnología, dispone de móviles montados sobre una viga la cual hace de “riel” y constituye un medio de transporte con infraestructura propia. En la figura 1 se muestra el trazado de la línea en estudio, dentro de la mancha urbana.

2. METODOLOGIA

2.1 Generación y distribución de los viajes

Para el proceso de generación de viajes, fueron utilizados dos estudios pre existentes: El elaborado por la Facultad de Ciencias económicas (U.N.C., 1994), y el realizado por el Instituto Superior de Ingeniería del Transporte (U.N.C., 2000). En ambos estudios la ciudad de Córdoba fue dividida para su estudio en 38 zonas homogéneas desde el punto de vista de sus características del uso del suelo y de las actividades, tal como se muestra en la figura 2.

Es posible decir, que el proceso de generación de la demanda, es función derivada de las actividades que realiza la población, su ingreso o situación socio económica, las cuales a su vez son variables en el tiempo y el espacio.

Se considera en este estudio para la obtención de la demanda futura a las variables independientes de la población y del ingreso. De esta forma se tiene la ecuación (1) para la cuantificación de la demanda.

$$V_f = V_a \times \left((1 + \Delta_{pob}) \times (1 + \varepsilon \times \Delta_{ing.pob}) \right) \quad (1)$$

En donde V_f son los viajes futuros, V_a viajes actuales, ε es elasticidad de los viajes respecto al ingreso per cápita de la población, Δ_{pob} es el crecimiento de la población y $\Delta_{ing.pob}$ es el crecimiento del ingreso de la población.

Se asume que los viajes se incrementarán con el crecimiento de la población, y con la mejora en el ingreso de la misma representada el mismo a través del denominado ingreso per cápita (IPC).

La estimación de la demanda futura, significa la obtención de las matrices origen – destino para el periodo de diseño planteado (2010 – 2035), entorno de tiempo que se discretiza en umbrales para los años 2010, 2020, 2030 y 2035.

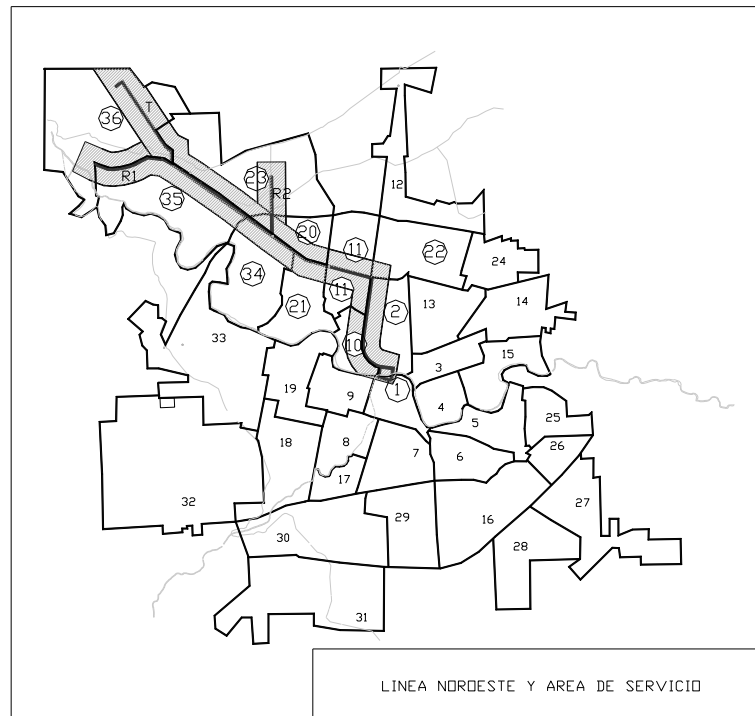


Figura 2: Trazado de la línea de monorraíl propuesta para la ciudad de Córdoba.

Variabes población e ingreso

La proyección de la población para los umbrales de tiempo del periodo de diseño, se realiza a partir de los censos de población de los años 1991 y 2001. Esta proyección se hace para cada una de las 38 zonas en la que se encuentra dividida la ciudad de Córdoba en los estudios de los años 1994 y 2000, para esto se aplica la ecuación (2).

$$P_n = P_b \times (1 + t)^n \quad (2)$$

Donde P_n es la población futura del año n , a predecir, P_b es la población del año base (año b), t es la tasa de crecimiento de la población en % por año en el periodo intercensal, y n es el tiempo expresado en años desde el año base al de proyección.

La población estimada total de la ciudad de Córdoba, es mostrada en tabla 2.

| POBLACION ESTIMADA CIUDAD DE CORDOBA | | | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2000 | 2003 | 2010 | 2020 | 2030 | 2035 |
| 1273859 | 1290437 | 1387272 | 1511029 | 1645826 | 1717668 |

Tabla 2: Población Estimada de la Ciudad de Córdoba

Con los valores de población se obtienen los factores de crecimiento de viajes debido al incremento de la misma, ecuación (3).

$$F_{vpob} = (1 + \Delta_{pob}) \quad (3)$$

En cuanto al crecimiento económico, el mismo se evalúa a través del ingreso per cápita (IPC), el cual surge de dividir el ingreso bruto por la población. Para el ingreso bruto se fijó una estrategia de crecimiento para el periodo de diseño (2010 – 2035), la cual es la siguiente:

| | |
|----------------------------------|-------|
| Crecimiento P.B.I. (2006 – 2010) | 2.50% |
| Crecimiento P.B.I. (2011 – 2020) | 2.00% |
| Crecimiento P.B.I. (2021 – 2035) | 1.50% |

Estos valores fueron tomados teniendo en cuenta el crecimiento de los países más estables de la región.

Obtenidos los valores de población e ingreso bruto, se obtuvieron los del IPC para cada umbral de tiempo. Luego se calculan los valores de elasticidad (ϵ) viajes/IPC que surgen de los valores de los estudios de los años 1994 y 2000. Pero estos valores resultaron extremadamente altos, por lo tanto se adoptan los siguientes valores de elasticidad ϵ :

Para el período 2000 – 2010: elasticidad viajes / I.P.C. = 1,10

Para el período 2000 – 2020: elasticidad viajes / I.P.C. = 1,05

Para el período 2000 – 2030 y 2000 - 2035: elasticidad viajes / I.P.C. = 1,00

Estos valores se encuentran sustentados por trabajos locales (Arranz y Masciarelli, 2009), los cuales han indicado que la elasticidad sería levemente superior a la unidad y que podría ir disminuyendo a medida que el ingreso per cápita aumenta.

Los factores de crecimiento debido a la actividad económica están dados por la ecuación (4).

$$F_{vIPC} = 1 + \epsilon_{vIPC} \times \Delta_{IPC} \quad (4)$$

Así de esta manera con los factores de crecimiento debido al incremento de la población y al de la actividad económica se tienen los factores totales de crecimiento de los viajes, expresados por la ecuación (5).

$$F_{vi} = (1 + \Delta_{Pob}^i) \times (1 + \epsilon_{vIPC} \times \Delta_{IPC}) \quad (5)$$

Entonces es posible a través de la ecuación 1, obtener la estimación de los viajes futuros para cada zona y cada umbral de tiempo. Se tiene de esta manera la producción o generación de viajes de cada zona, entonces se procede a la distribución de los viajes para cada par de zonas, lo cual se hace a través del método Fratar, dando como resultado las matrices origen -

destino para cada umbral de tiempo. De estas matrices se obtienen los viajes estimados y la cantidad de viajes por habitante para cada umbral, tabla 3.

| AÑO | VIAJES ESTIMADOS | VIAJES POR HABITANTE |
|------|------------------|----------------------|
| 2000 | 1936791 | 1.52 |
| 2003 | 1539527 | 1.19 |
| 2010 | 2531753 | 1.82 |
| 2020 | 3081509 | 2.04 |
| 2030 | 3535667 | 2.15 |
| 2035 | 3783585 | 2.20 |

Tabla 3: Viajes Totales Estimados y Viajes por Habitante

2.2 Modelos de preferencias declaradas

A fin de estimar los potenciales usuarios del monorriel, se realizan encuestas de preferencia declaradas en la zona servida por la línea en estudio. Se divide la traza en 3 sectores, de modo tal de contemplar las particularidades de las personas que residen a distintas distancias del centro de la ciudad.

Se llevan a cabo dos encuestas, una para confrontar a los usuarios del ómnibus con el monorriel y así determinar el porcentaje de traspaso del ómnibus al nuevo medio, y la otra donde se expone a los usuarios del automóvil la alternativa de elegir el monorriel, de esta manera se obtiene la fracción de usuarios del automóvil que pasarían a serlo del monorriel. En el trabajo solo se consideran los viajes en automóvil que tienen como destino el centro de la ciudad.

En ambas encuestas, se exponen a los encuestados a los diferentes atributos de cada medio con distintas valuaciones, de modo tal de encontrar la sensibilidad de los usuarios a los mismos y determinar cuáles son los atributos que gravitan en una elección personal.

Los atributos considerados en la encuesta ómnibus Vs. Monorriel, son los siguientes:

- Tarifas del bus y del monorriel, T_R^o , T_R^m
- Tiempo de espera del bus y del monorriel, t_E^o , t_E^m
- Tiempos de viaje del bus y del monorriel, t_V^o , t_V^m

A continuación se planteó una ecuación (6) de utilidad para ambos medios.

$$u = c + b_1 \times T_R^o + b_2 \times t_E^o + b_3 \times t_V^o + b_4 \times T_R^m + b_5 \times t_V^m \quad (6)$$

Con los resultados, y a través del software e-views 3.1, es posible encontrar los valores que pesan a cada atributo, encontrándose así la función de utilidad, ecuación (7).

$$u = 0.978905 \times T_R^o + 0.139528 \times t_E^o + 0.037791 \times t_V^o + (-2.040404) \times T_R^m + (-0.004269) \times t_V^m \quad (7)$$

De la ecuación se desprende que los atributos de tiempo de espera y las tarifas, impactan en mayor forma que los de tiempo de viaje.

En cuanto a la encuesta Automóvil vs. Monorriel, se tienen en cuenta los siguientes atributos:

- Distancia a la parada más cercana, *dispar*
- Gasto en combustible por parte del usuario del automóvil, *comb*
- Sector donde reside el encuestado, es uno de los tres sectores en que fue dividida la traza de la línea, *sector*.

La ecuación de utilidad considerada es la siguiente (8)

$$u_1 = c + b_1 \times dispar + b_2 \times comb + sector \quad (8)$$

Procesando la ecuación con el programa e-views 3.1, se establecieron los atributos que resultaron significativos, adoptándose el siguiente modelo (9).

$$u = 1.514882 - 0.831879 \times dispar \quad (9)$$

Como se aprecia, la distancia a la parada resulta ser el atributo determinante a la hora de la elección del monorriel.

Los valores de probabilidad de elegir uno u otro medio en ambas encuestas, están dados por el modelo logit de la ecuación (10).

$$P(1) = \frac{e^u}{1 + e^u} \quad (10)$$

A medida que el valor de la ecuación (10) se acerca a 1 resulta más probable la elección del monorriel, y cuando el mismo se acerca a 0, es más probable la elección del ómnibus o del automóvil, según sea el caso.

Los valores de utilidad y probabilidad de elegir el monorriel en el caso de los usuarios del ómnibus, quedan expresados en tabla 4. Así mismo los de utilidad y probabilidad de elegir el monorriel por parte de los usuarios del automóvil, se muestran en tabla 5.

| | Sector | Tarifa Omn. | Tiempo de espera Omn. | Tiempo de Viaje Omn. | Tarifa Mono | Tiempo de Viaje Mono | Utilidad | Prob. De elegir Monorriel |
|----------|--------|-------------|-----------------------|----------------------|-------------|----------------------|----------|---------------------------|
| Opciones | 1 | 1 | 7,5 | 13 | 1 | 7 | 0,446359 | 0,61 |
| | 1 | 1,3 | 5 | 13 | 1,5 | 7 | -0,62899 | 0,35 |
| | 1 | 1,3 | 5 | 13 | 1,75 | 7 | -1,13909 | 0,24 |
| | 2 | 1 | 7,5 | 35 | 1 | 18 | 1,230799 | 0,77 |
| | 2 | 1,3 | 5 | 35 | 1,5 | 18 | 0,155449 | 0,54 |
| | 2 | 1,3 | 5 | 35 | 1,75 | 18 | -0,35465 | 0,41 |
| | 3 | 1 | 7,5 | 53 | 1 | 28 | 1,868345 | 0,87 |
| | 3 | 1,3 | 5 | 53 | 1,5 | 28 | 0,792994 | 0,69 |
| | 3 | 1,3 | 5 | 53 | 1,75 | 28 | 0,282893 | 0,57 |

Tabla 4: Valores de Utilidad y Probabilidad de elegir el monorriel para usuarios del ómnibus.

| | Sector | Dist. Parada | Utilidad | Prob. De elegir Monorriel |
|----------|--------|--------------|----------|---------------------------|
| Opciones | 1 | 1 | 0,683003 | 0,66 |
| | 1 | 2 | -0,14888 | 0,46 |
| | 1 | 3 | -0,98076 | 0,27 |
| | 2 | 1 | 0,683003 | 0,66 |
| | 2 | 2 | -0,14888 | 0,46 |
| | 2 | 3 | -0,98076 | 0,27 |
| | 3 | 1 | 0,683003 | 0,66 |
| | 3 | 2 | -0,14888 | 0,46 |
| | 3 | 3 | -0,98076 | 0,27 |

Tabla 5: Valores de Utilidad y Probabilidad de elegir el monorriel para usuarios del automóvil.

2.4 Asignación de viajes

Para el dimensionado de la línea de monorriel propuesta se debe conocer la cantidad diaria y horaria de viajes. Para esto se plantean tres escenarios posibles teniendo en cuenta la competencia del monorriel con el ómnibus.

Los escenarios son:

1. Monorriel elevado con competencia del ómnibus. (Para las tres relaciones entre tarifas Bus/Monorriel, 1:1, 1:1.15, 1:1.35).
2. Monorriel elevado, sin competencia del ómnibus en su franja de servicio de ancho igual a 1.000mts.
3. Monorriel elevado sin competencia del ómnibus y con sistema alimentador.

Para la obtención de la demanda del escenario 1, se utilizan los valores de utilidad obtenidos para las distintas valoraciones de los atributos tarifas y distancia a parada, de esta manera se obtienen las fracciones de traspaso de los usuarios del ómnibus y del automóvil al monorriel en una franja de servicio adoptada de 500 metros a cada lado de la línea. Los usuarios del automóvil que se traspasan al monorriel, resultan constantes, no dependen del escenario.

Para el escenario 2, se tiene que todos los usuarios del ómnibus son traspasados del monorriel.

En el escenario 3, todos los usuarios del ómnibus en la franja de 1000 metros y en el total del área de las zonas 23, 35 y 36, son tomados por el monorriel, ya que se considera en las mismas la existencia de un sistema de minibuses colectores que trasladan a los usuarios del monorriel hacia las paradas existentes.

Teniendo en cuenta esto último, es posible a partir de las matrices origen – destino obtenidas en el apartado 1 y adoptando la partición modal que surge del estudio del año 2000, proceder a obtener las matrices origen – destino para el monorriel para cada umbral de tiempo del periodo de diseño y para cada escenario.

Los viajes diarios en monorriel surgen de afectar a los generados por cada zona perteneciente al recorrido de la línea por la fracción del área que es servida por el monorriel en cada una de ellas. Estos viajes diarios son expuestos en tabla 6.

| AÑO | VIAJES DIARIOS EN MONORRIEL | | |
|------|-----------------------------|--------------|---------------|
| | ESCENARIO I | ESCENARIO II | ESCENARIO III |
| 2010 | 43464 | 57630 | 87996 |
| 2020 | 54317 | 71381 | 112237 |
| 2030 | 64214 | 83614 | 135368 |
| 2035 | 69788 | 90450 | 148581 |

Tabla 6: Resumen viajes diarios en monorriel para cada escenario

Teniendo en cuenta que los viajes en hora pico representan el 7.3% del total diario (Dirección de Transporte Municipalidad de Córdoba, 2003), es posible proceder al dimensionado de la línea para cada escenario.

Dimensionado de la línea

Con los valores de viajes obtenidos, resulta posible el dimensionado de la línea, la cual está formada por un recorrido troncal "T" y dos sub ramales R1 y R2, según se muestra en figura 1.

Capacidad de la línea

La capacidad de la línea, está dada por las ecuaciones (11) y (12).

$$C_v = \frac{3600 \times R}{I} = \frac{3600 \times R}{T_{ps} + t_d} \quad (11)$$

$$C_p = n \times c \times C_v = \frac{3600 \times n \times c \times R}{T_{ps} + t_d} \quad (12)$$

En donde: C_v es la capacidad máxima en (veh./hora), por vía o parada; n es igual a la cantidad de coches por formación; c es el número de pasajeros por coche; I es el intervalo entre dos unidades consecutivas; t_d es el tiempo de despeje entre dos vehículos consecutivos (expresado en segundos); T_{ps} es el tiempo de parada en servicio a pasajeros, en segundos; R es el factor de reducción de la capacidad, para tener en cuenta la variación en el modelo de llegadas, para transportes con vía exclusiva es igual a 1.

Oferta tecnológica

Se adopta para este trabajo, el vehículo denominado Hitachi Small, figura 3.



Figura 3: Monorriel Hitachi "Small"

Características Técnicas del Monorriel (Hitachi, 2001).

- Velocidad máxima (km/hr): 60
- Velocidad media (km/hr): 36
- Aceleración máxima (m/seg^2): 0.90

- Desaceleración máxima (m/seg²): 1.00
- Radio de curva mínimo (m): 40
- Capacidad tope o crítica (pasajeros para cuatro vagones): 406
- Dimensiones de viga (m): 0.70 x 1.30
- Longitud de estación (m): 35

Reemplazando en ecuación 11, donde ($T_{ps} + t_d$) de acuerdo al fabricante es igual a 120 segundos y R es igual a 1 por ser vía exclusiva, se tiene.

$$C_v = \frac{3600 \times 1}{120} = 30 \text{ veh/hr}$$

Ahora reemplazando en ecuación 12:

$$C_p = n \times c \times C_v = \frac{3600 \times n \times c \times R}{T_{ps} + t_d}$$

Donde n es igual a 4 y c es el número de pasajeros por coche para la carga tope o crítica que es igual a 101. La capacidad resulta de ecuación 12:

$$C_p = 4 \times 101 \times 30 = 12120 \text{ Pasajeros / Hora}$$

Esta capacidad es la permitida para el dimensionado de la línea en hora pico.

Para la determinación del tramo de línea con mayor demanda se dividió en trazado en 5 sectores y se estimaron los viajes en hora pico para cada uno de ellos, teniendo en cuenta los valores diarios obtenidos en la asignación de viajes, de acuerdo a ecuación (13). Como resultado de esto, se tiene que el segmento de mayor demanda es el que rodea al centro de la ciudad.

$$PHP = \text{Pasajeros diarios} \times 0.073 \quad (13)$$

La cantidad de vehículos necesarios para la hora pico, está dada por la ecuación (14).

$$N = \frac{V_h \times 2L}{n \times c \times v} \quad (14)$$

Con V_h pasajeros en hora pico; L longitud de la línea; n número de coches; c capacidad de pasajeros por coche; v velocidad comercial ecuación (15).

$$v = \frac{2L}{T} \quad (15)$$

La frecuencia está dada por ecuación (16).

$$I = \frac{T \times 60}{N} \quad (16)$$

Donde I es la frecuencia en minutos; T tiempo de la vuelta en horas y N número de vehículos necesarios.

Para los años 2020, 2030 y 2035, y en todos los escenarios, se procede a aplicar las ecuaciones en forma análoga al año 2010. Se aplican las ecuaciones 13, 14, 15 y 16. En tablas 7, 8 y 9 se detallan los valores de PHP, N, e I para el trazado troncal, para todos los escenarios planteados.

| | AÑO | PHP | N | I |
|-------------------------|------|------|----|----------------|
| TARIFA REL. (1:1) | 2010 | 2873 | 9 | 7 min 48 seg. |
| | 2020 | 3565 | 11 | 6 min 23 seg. |
| | 2030 | 4181 | 13 | 5 min 24 seg. |
| | 2035 | 4525 | 14 | 5 min 00 seg. |
| TARIFA REL. (1:1,15) | 2010 | 2106 | 7 | 10 min 02 seg. |
| | 2020 | 2632 | 8 | 8 min 47 seg. |
| | 2030 | 3110 | 10 | 7 min 01 seg. |
| | 2035 | 3379 | 10 | 7 min 01 seg. |
| TARIFA REL. (1:1,35) | 2010 | 1726 | 5 | 14 min 02 seg. |
| | 2020 | 2165 | 7 | 10 min 02 seg. |
| | 2030 | 2567 | 8 | 8 min 47 seg. |
| | 2035 | 2794 | 9 | 7 min 48 seg. |

Tabla 7: PHP, N e I para Escenario I

| AÑO | PHP | N | I |
|------|------|----|---------------|
| 2010 | 3837 | 12 | 5 min 51 seg. |
| 2020 | 4720 | 14 | 5 min 01 seg. |
| 2030 | 5487 | 16 | 4 min 23 seg. |
| 2035 | 5911 | 18 | 3 min 54 seg. |

Tabla 8: PHP, N e I para Escenario II

| AÑO | PHP | N | I |
|------|------|----|---------------|
| 2010 | 5567 | 17 | 4 min 08 seg. |
| 2020 | 7039 | 21 | 3 min 20 seg. |
| 2030 | 8410 | 25 | 2 min 48 seg. |
| 2035 | 9184 | 27 | 2 min 36 seg. |

Tabla 9: PHP, N e I para Escenario III

Máxima capacidad utilizada del medio monorriel

Se tiene que para el año 2035 y para el escenario III, el monorriel tendrá su máxima utilización con 9184 pasajeros en hora pico. La capacidad máxima crítica según lo expresado en punto anterior resulta de 12120 pasajeros por hora. Esto significa una ocupación de la capacidad del monorriel de 76%.

3. CONCLUSIONES

En cuanto a la factibilidad del monorriel respecto a la demanda, se adoptaron dos criterios para su evaluación, en primer lugar comparando líneas existentes con características similares y en segundo lugar, considerando el indicador densidad de tránsito.

3.1 Comparación con líneas de monorrieles en operación con características similares

A fin de homogeneizar la comparación, se calculan los valores de pasajero – día por sentido y pasajeros – día por Km. De esta forma se obtiene la tabla 10, donde se muestran valores de estos parámetros para distintos monorrieles en operación de características similares al propuesto.

| LINEA MONORRIEL | AÑO DE INICIO | PASAJEROS/DIA /SENTIDO | LONGITUD DE LA LINEA en Km. | PASAJEROS por DIA-KM |
|-----------------|---------------|------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Kitakyushu | 1985 | 31700 | 8.8 | 3602 |
| Chiba City | 1988 | 40000 | 15.5 | 2581 |
| Kuala Lumpur | 2003 | 45000 | 8.6 | 5233 |
| Naha | 2003 | 40000 | 12.8 | 3125 |
| Osaka | 1990 | 100602 | 23.8 | 4227 |
| Seattle | 1962 | 60280 | 15 | 4019 |
| Shonan | 1970 | 30000 | 6.6 | 4545 |

Tabla 10: Demanda en Monorrieles en operación

De los valores expuestos de tabla 9, se concluye con lo siguiente:

El escenario I en su relación de tarifas más favorable al monorriel no alcanza el valor promedio de 3900 pasajeros – día por sentido por kilómetro de línea en ningún horizonte temporal. A su vez en el escenario II este promedio es alcanzado en el año 2020 y en el escenario III en el año 2010.

Considerando no el promedio, sino un umbral de 3000 pas – día por km sentido para alcanzar la factibilidad (es el orden del promedio de los valores inferiores de la Tabla 9), el mismo se alcanza en el año 2020 para el Escenario I y a partir del 2010 en los Escenarios II y III.

3.1 Considerando el indicador densidad de transito

La densidad de tránsito, es un indicador expresado en pasajeros km en un día de semana por km de línea. La elección de este índice, está basado en que es un indicador que refleja los niveles de servicio, costos, niveles de inversión y ahorro energético y en el uso del suelo, con relación al medio pre existente.

La densidad de transito está dada por la ecuación 17.

$$Densidad = (Pas-día \times distancia\ media\ recorrida) / longitud\ de\ la\ línea \quad (17)$$

Por su parte la distancia media recorrida se calcula como la sumatoria de las distancias recorridas por cada uno de los pasajeros sobre los pasajeros – día. De acuerdo a estudios realizados en países como Estados Unidos (Pushkarev et al, 1982), Japón (Nehashi, 1988) y Alemania (Kain, 1988), donde sus planificadores usan este índice, se establecieron ciertos umbrales para la factibilidad de cada modo de transporte. Para este trabajo se adopta el umbral utilizado por Alemania para este tipo de medios de transporte, el cual es de 15000 pas – día de semana por km (un sentido) por km de línea.

Contrastando este umbral con los valores calculados para la línea en estudio, los cuales se muestran en tabla 11, se puede determinar la factibilidad de la línea para este criterio.

| DENSIDAD DE TRÁNSITO | | | |
|---|-------------------------|-----------------|------------------|
| Pas-día de semana por km (un sentido) por km línea. | | | |
| AÑO | ESCENARIO I Rel(1:1) | ESCENARIO II | ESCENARIO III |
| 2010 | 12073 | 16008 | 24443 |
| 2020 | 15088 | 19828 | 31177 |
| 2030 | 17837 | 23226 | 37602 |
| 2035 | 19386 | 25125 | 41273 |

Tabla 11: Densidades de tránsito por escenario

Puede advertirse que, considerando los umbrales inferiores, podría implementarse la línea a partir del año 2010 en todos los escenarios. Adoptando los umbrales superiores, los mismos se alcanzarían en el año 2020 para el escenario I y en el año 2010 para los escenarios II y III.

4. REFERENCIAS

- The Monorail Society, 2006.
- Arranz, Pablo y Masciarelli, Edgardo (2009). Caracterización de la Demanda de Transporte Público de Pasajeros en la Ciudad de Córdoba, Argentina. XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Mar del Plata, Argentina. En CD – T012.
- Dirección de Transporte de la Municipalidad de Córdoba, 2003.
- Pushkarev, Boris S., Jeffrey M. Zupan, and Robert S. Cumella (1982). Urban Rail in America: An Exploration of Criteria for Fixed-Guideway Transit. Bloomington, IN. Indiana University Press.
- Nehashi, Akira (1988). New Urban Transport Systems Reconsidered. Japan Railway & Transport Review. No. 16, June 1998.
- Kain, John F. (1988). Choosing the Wrong Technology: Or How to Spend Billions and Reduce Transit Use. Journal of Advanced Transportation, 21, 3 (Winter 1988): 196-213.

5. ABSTRACT

The main objective of this study was to explore the feasibility, from the demand point of view, to introduce an elevated monorail powered with electricity along a mass transit corridor in the city of Cordoba.

Monorail's demand was estimated using sequential four step models (trip generation, trip distribution, mode choice and route assignment) up to the year 2035. For this, transfer of current users of buses and private cars to the elevated train were considered.

Different three scenarios were analyzed for different relationships between fares Bus / Monorail and different kind of competition between both means of transport, after this line dimension was calculated for each scenario.

Then the estimated demand allowed to know the feasibility of the propose monorail's line.

Keywords: Demand transport line, Monorail, Córdoba.

