



**PROPUESTA PRELIMINAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÍNEA DE
TRANVÍA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

ANA LILIVED LEÓN CACERES

NELSON FABIÁN AMAYA PÉREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**PROPUESTA PRELIMINAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÍNEA DE
TRANVÍA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**ANA LILIVED LEÓN CACERES
NELSON FABIÁN AMAYA PÉREZ**

**Tesis de Grado presentada como requisito parcial para otorgar el título de
Ingeniero Civil**

**Director
YERLY FABIÁN MARTÍNEZ ESTUPIÑAN
Ingeniero Civil, MSc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios, a nuestro director de proyecto, el Ingeniero Yerly Fabián Martínez Estupiñan por su magnífica disposición, por su paciencia y dedicación durante el desarrollo de este proyecto, a nuestros padres, por brindarnos su apoyo y en general a todas las personas que de alguna manera aportaron para que este proyecto concluyera con éxito.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
1. OBJETIVOS DEL PROYECTO	15
1.1. Objetivo General	15
1.2. Objetivos específicos	15
2. HISTORIA DEL TRANVÍA.....	16
3. CRITERIOS PARA EL TRAZADO DE UNA LÍNEA TRANVIARIA.....	19
3.1. TRAZADO EN PLANTA.....	19
3.1.1. Longitud mínima entre curvas	19
3.1.2. Longitud mínima de curva circular.....	21
3.1.3. Peralte	21
3.1.4. Radio de curvatura.....	22
3.1.5. Velocidad Máxima en curva.....	22
3.1.6. Curvas de transición.....	23
3.1.7. Longitud de las curvas de transición.....	25
3.2. TRAZADO EN ALZADO	25
3.2.1. Inclinación De La Rasante	25
3.2.2. Curvas Verticales.....	26
3.3. PERFIL TRANSVERSAL.....	27
3.3.1. Gálibo Estático	27
3.3.2. Gálibo Dinámico (GD).....	27
3.3.3. Gálibo libre de obstáculos (GLO), y entrevía	28
3.4. ESTACIONES	29
3.5. PLATAFORMA.....	31
3.6. COCHERAS.....	32
3.7. MATERIAL MÓVIL.....	32
3.8. INTERSECCIONES.....	33
4. DEFINICIÓN DE LA ZONA DE INFLUENCIA.....	35
4.1. ALTERNATIVA 1	35
4.2. ALTERNATIVA 2	35

4.3.	ALTERNATIVA 3	35
5.	DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS PROPIOS DEL TRAZADO	38
5.1.	TRAZADO:.....	38
5.2.	PLATAFORMA RESERVADA:	38
5.3.	ESTACIONES:	38
5.4.	TALLERES Y COCHERAS:.....	39
5.5.	MATERIAL MÓVIL: CAF.....	39
6.	ANÁLISIS DE LIMITANTES PROPIOS DEL TRAZADO	40
6.1.	PUNTOS CRÍTICOS DEBIDO A RADIO DE GIRO	40
6.2.	AFECTACIÓN PREDIAL	42
7.	INTERSECCIONES.....	45
7.1.	POSIBLES SOLUCIONES A LAS INTERSECCIONES	47
7.2.	SOLUCIÓN A LAS INTERSECCIONES DEL TRAZADO	49
8.	CONCLUSIONES.....	50
9.	CITAS	52
	BIBLIOGRAFÍA.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Posibilidades de Alineación recta entre curvas en S.....	20
Figura 2	Posibilidades de Alineación recta entre curvas en S.....	20
Figura 3	Esquema de fuerzas actuantes sobre el vehículo en curva.....	21
Figura 4	Variación lineal de la curvatura.....	23
Figura 5	Elemento del empalme espiral Clotoide.....	24
Figura 6	Curva vertical parabólica.....	26
Figura 7	Gálibo estático y dinámico.....	28
Figura 8	Holgura en vía doble en recta.....	29
Figura 9	Posible ruta línea tranvía.....	37
Figura 10	Punto crítico Carrera 21 con Calle 19.....	40
Figura 11	Punto crítico Calle 19 con Carrera 18.....	40
Figura 12	Punto crítico Carrera 18 con Calle 41.....	41
Figura 13	Punto crítico Carrera 18 con Avenida Rosita.....	41
Figura 14	Punto crítico Carrera 17 con Avenida Samanes.....	42
Figura 15	Afectación predial teniendo en cuenta la implantación de la línea de tranvía.....	43
Figura 16	Afectación predial teniendo en cuenta los requerimientos del POT y la implantación de la línea de tranvía.....	44
Figura 17	Intersección Calle 61 con Diagonal 15.....	45
Figura 18	Intersección Diagonal 15 con Carrera 21.....	46
Figura 19	Intersección Carrera 21 con Calle 19.....	46

Figura 20 Intersección Calle 19 con Carrera 18.....	47
Figura 21 Baliza.....	48
Figura 22 Intersección del tranvía con el tráfico vehicular.....	49

RESUMEN

TITULO:

PROPUESTA PRELIMINAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANVÍA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA*

Autores:

Amaya Pérez Nelson Fabián

León Cáceres Ana Lived**

PALABRAS CLAVES:

Tráfico vehicular, tranvía, parámetros técnicos

DESCRIPCIÓN:

La situación actual en el Área Metropolitana de Bucaramanga en cuanto a problemas de movilidad vial se debe en gran parte al aumento del parque automotor, el cambio de la relación de uso del transporte colectivo al transporte individual desde hace más de diez años y a que el 60% de los viajes diarios generados en el Área Metropolitana se concentran en la meseta de Bucaramanga lo que conlleva a investigar soluciones alternativas en medios de transporte como por ejemplo el transporte ferroviario. Este tipo de transporte ha tenido gran éxito en el continente europeo donde los tranvías, metros y metros ligeros, luego de una decadente época durante la Segunda Guerra Mundial, evolucionaron como una solución no solo para el mejoramiento del transporte público urbano sino también para la estética y la sostenibilidad ambiental. Esta investigación muestra los parámetros técnicos más relevantes a la hora de realizar una propuesta de una línea tranviaria; se abordan puntos claves como trazado en planta y perfil, estaciones, plataforma, zona de talleres y cocheras, material móvil e intersecciones. El resultado de este estudio es una propuesta preliminar de una línea tranviaria para el Área Metropolitana de Bucaramanga con un análisis de afectación predial e identificación de puntos críticos o de conflicto con el tráfico vehicular y posibles alternativas de solución a estos puntos.

* Trabajo de grado

** Facultad de Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. M.Sc. Yerly Fabián Martínez Estupiñan.

ABSTRACT

TITLE:

PRELIMINARY PROPOSAL FOR THE IMPLEMENTATION OF A TRAM LINE IN THE BUCARAMANGA METROPOLITAN AREA *

AUTHORS:

Amaya Pérez Nelson Fabián

León Cáceres Ana Lived**

KEYWORDS:

Vehicular traffic, tram, technical parameters

CONTENT:

Currently at the Bucaramanga metropolitan area, the traffic increasing, the change in the terms of use of public transport to private transport since ten years and the concentration about 60 percent of this traffic at the city of Bucaramanga have led it to seek new solutions, such as, rail transport. This type of solution has been a success in Europe where tram, metro and light metro, after a decadent age during World War II, evolved as a solution of urban architecture. This study proposes the most important technical parameters to be considered within a solution of public transportation by tram such as layout (horizontal and vertical sections), stop stations, platform, garages, workshop areas, rolling stock and intersections are discussed. The outcome of this study is a preliminary proposal of a tram line design for the Bucaramanga metropolitan area, with the affectation analysis of the private and public property, the identification of the critical points of the traffic flow and the feasible alternatives of solution.

* Graduation Work

** School of Physics and Mechanical. School of Civil Engineering. Directed: M.Sc. Eng. Yerly Fabián Martínez Estupiñan.

INTRODUCCIÓN

La idea de ciudad sostenible, de oportunidades para todos, donde una mejor calidad de vida sea un resultado de la prosperidad general no se puede ignorar al transporte urbano, ya que está estrechamente ligado a los procesos económicos y sociales de una comunidad, donde la calidad del transporte y una correcta implementación son la clave para mantener el equilibrio entre desarrollo sostenible y movilidad vial, pero esto no siempre se desarrolla simultáneamente lo que conlleva a generar estancamiento, desigualdad e inseguridad en la población.

Gran parte de la problemática de tráfico vehicular del Área Metropolitana de Bucaramanga se debe a la concentración en la meseta de Bucaramanga del 60% [1] de los viajes diarios generados en el Área Metropolitana, consecuencia de la centralización de las actividades de servicio, comercio y educación. Otro factor importante es el cambio de la relación de uso del transporte colectivo al transporte individual desde hace más de diez años [1], situación que conlleva a multiplicar el requerimiento de espacio en vías para un adecuado flujo del parque automotor, cambios impulsados por la reducción en los costos de los vehículos de los últimos años, además de los bajos niveles de calidad y eficiencia del sistema de transporte público colectivo, que han llevado al incremento sostenido de las tarifas y a la consecuente falta de incentivos para los usuarios, además de las limitaciones viales y espaciales.

Actualmente el sistema de transporte público urbano del área metropolitana de Bucaramanga consta de un sistema masivo tronco-alimentador (Metrolínea) y un sistema de transporte público colectivo complementario; para el cuarto trimestre del 2013 el sistema Metrolínea ha logrado movilizar aproximadamente 119248 pasajeros de los 320176 usuarios diarios del sistema de transporte público urbano en Bucaramanga y su área metropolitana [2].

La problemática de tráfico vehicular no es un tema que solo afecta al Área Metropolitana de Bucaramanga sino a otras ciudades a nivel mundial, es por esto

que uno de los objetivos más importantes de los países de todo el mundo es el transporte sostenible que busca una disminución del volumen de vehículos y un bajo coste ambiental, realidad difícil de alcanzar debido al estilo y ritmo de vida que siguen las ciudades. Un intento por mejorar esta situación la podemos encontrar en ciudades europeas como Barcelona (España), Estrasburgo (Francia), Milán (Italia), Londres (Inglaterra) a través de la implementación de sistemas ferroviarios comúnmente conocidos como tranvías y metros, debido a la mayor capacidad de transporte, puesto que para transportar 200 personas aproximadamente se necesita una media de 174 automóviles o bien 3 buses pero tan solo 1 tranvía [3], y su baja contaminación y mayor comodidad en comparación con otros medios de transporte, donde se han convertido en parte de la historia y desarrollo del transporte público.

1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1. *Objetivo General*

Determinar las condiciones técnicas para la eventual implementación de un sistema de transporte tipo tranvía, mediante un caso de estudio para el área metropolitana de Bucaramanga.

1.2. *Objetivos específicos*

- Identificar los parámetros técnicos de mayor incidencia en el diseño de un sistema de transporte tipo tranvía.
- Definir la zona de influencia para la eventual implementación de una línea de tranvía en el área metropolitana de Bucaramanga.
- Realizar la propuesta para el trazado de una línea de tranvía para el área metropolitana de Bucaramanga.

2. HISTORIA DEL TRANVÍA

Desde el siglo XIX, el transporte público ferroviario ha sido parte integrante de los entornos urbanos de las principales ciudades del mundo, habiendo evolucionado constantemente desde los primeros tranvías, tirados por caballos, hasta los más avanzados sistemas de transporte metropolitano, con vehículos traccionados eléctricamente.

Tras la II Guerra Mundial se produce una extensión masiva del uso del automóvil. Bajo la filosofía de que “mi coche es mi libertad” [4], los años sesenta del siglo pasado se convierten en la época dorada de la expansión del transporte privado. La demanda de transporte público ferroviario disminuye, mientras la cuota de uso del vehículo privado en el transporte se incrementa enormemente. Como resultado de este proceso, en la mayoría de las principales ciudades se produce una decadencia acelerada de las infraestructuras, sobre todo de las tranviarias.

Prácticamente desde sus comienzos, una de las señas de identidad del transporte tranviario ha sido la posibilidad de compartir la superficie de rodadura con otros medios de transporte urbanos, como son el tráfico rodado (automóviles, autobuses, bicicletas, etc.).

A finales de la década de los ochenta, a raíz del gran desarrollo urbano, comienza a producirse, en paralelo, una especial sensibilización ante los elevados costes medioambientales que se producen como consecuencia del desbordado volumen del tráfico rodado. Esta sensibilización supone, en definitiva, una internalización por parte de la sociedad de determinados costes, por lo que en numerosos foros de decisión política se comienza a suscitar la necesidad de contar con sistemas de transporte públicos sostenibles.

Así, entre los sistemas de transporte público, el de tipo ferroviario, traccionado con energía eléctrica, se presenta como la alternativa con mejores ratios de eficiencia energética y sostenibilidad, a la vez es capaz de combinar grandes niveles de

calidad en cuanto a accesibilidad, regularidad, seguridad y velocidad, siempre que se realice un diseño funcional adecuado.

Derivada del relanzamiento de la política de transporte tranviario, surge la necesidad de actualizar la tecnología de las infraestructuras para poder satisfacer los requerimientos de la sociedad moderna en términos de servicio respecto de la movilidad, pero también teniendo en cuenta la integración medioambiental y exigiéndole un altísimo nivel en cuanto a:

- Sostenibilidad.
- Máxima disponibilidad de las infraestructuras.
- Reducción del coste del ciclo de vida (eficiencia de costes, durabilidad, bajo nivel de las necesidades de mantenimiento)
- Minimización en la afección sonora durante la construcción y la explotación.
- Contribución a un entorno limpio y agradable con respecto al urbanismo.

El nuevo reto del tranvía moderno ha obligado a definir requerimientos técnicos específicos con objeto de integrar “nuevas infraestructuras” para mayores velocidades en un tejido urbano con características, en cuanto a los materiales de los pavimentos, las cargas y los tipos de tráfico, sustancialmente distintas a las del Siglo XIX [4].

Actualmente el tranvía se encuentra en una situación de fuerte auge en Europa, principalmente en España (ver tabla 1). Suramérica tiene proyectos en marcha en Medellín (Colombia), Rosario (Argentina), Cuiabá (Brasil).

Tabla 1 *Parámetros relevantes de los actuales tranvías de Europa*

	Ciudad	Habitantes	Longitud del trazado [Km]	Pendiente Máxima [%]	Radio Mínimo [m]	Paradas	Ancho vía [mm]	Velocidad Comercial [Km/h]	N° Viajeros Media Mensual
ESPAÑA	Valencia	738441	20.72	4.50	25	43	1000	18	450000
	Alicante	284000	52.42	5.00	30	44	1000	40	370600
	Bilbao	349972	4.90	7.00	15	12	1000	16.6	237226
	Vitoria	236477	7.16	4.13	20	18	1000	17	305275
	Barcelona	1503884	30.51	7.89	23	66	1435	18	1965152
	Región De Murcia	430571	17.50	6.70	35	28	1435		113497
	Madrid	3273006	27.77	7.00	35	37	1435	21-22.5	1046927
	Parla	119517	8.50	6	25	16	1435	20	339765
	Santa Cruz de Tenerife	188477	14.66	8.5	26	25	1435	20	1240517
	Granada	240661	16.14	6	25	26		20	42600
	Málaga	524414	16.89	4	40	21	1435	20-29	
Sevilla MC	699759	1.30	1.68	25		1435	7.27	450000	
FRANCIA	Estrasburgo	1175393	55			66	1435	23	9000000
	Burdeos	240000	43.9			92			
OTROS	Milán (Italia)	1500000	115				1445		
	Múnich (Alemania)	1378176	79			165			

3. CRITERIOS PARA EL TRAZADO DE UNA LÍNEA TRANVIARIA

En la actualidad, no se dispone de un conjunto integrado de criterios debidamente justificados para el diseño del trazado de la vía en los sistemas tranviarios. Estas recomendaciones se han adaptado de los criterios derivados del ferrocarril convencional.

Como primera etapa de este proyecto se identifican los parámetros técnicos más importantes para la implementación de un sistema tranviario, los puntos claves a abordar son:

- Trazado
- Estaciones
- Plataforma
- Talleres y cocheras
- Material Móvil
- Intersecciones

3.1. TRAZADO EN PLANTA

El trazado en planta está constituido por una serie de alineaciones rectas y circulares, unidas mediante curvas de transición.

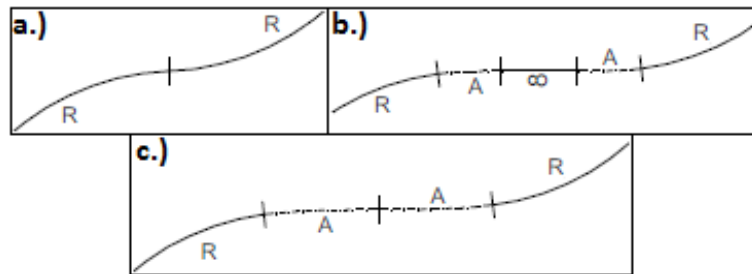
Su definición está sujeta a una serie de condicionantes: la geometría del entorno, las prestaciones del material móvil y las condiciones de seguridad.

3.1.1. Longitud mínima entre curvas

Este criterio depende de las características del vehículo y del nivel de confort que se desea alcanzar.

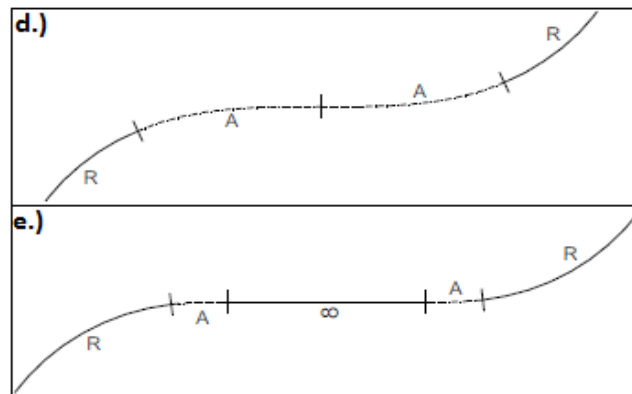
Para curvas en S se presentan las opciones señaladas en la figura 1 y 2.

Figura 1 Posibilidades de Alineación recta entre curvas en S [5]



Fuente: Tesis de Especialización,
Criterios de trazado para la inserción urbana del tranvía.

Figura 2 Posibilidades de Alineación recta entre curvas en S [5]



Fuente: Tesis de Especialización,
Criterios de trazado para la inserción urbana del tranvía.

Donde las opciones (d) y (e) son las más favorables donde el segmento recto tiene una longitud mayor o igual a la del vehículo.

Para los casos en los que no se dispone de suficiente espacio se plantea las siguientes longitudes entre curvas:

Para curvas en S:

- Igual a la distancia entre bogies (Un bogie es un dispositivo giratorio dotado de dos o más ejes, cada uno con dos ruedas, sobre los que se apoya un vehículo ferroviario. Los ejes son paralelos y solidarios entre sí, y

en general están situados en ambos extremos de los vehículos, destinados a circular sobre los carriles) [6] que suele ser de 10 a 15 metros.

- Igual a cero si la velocidad es menor de 20 kph y no se utilice peralte
- Para curvas del mismo sentido: Lo deseado es que la longitud de tramo recto entre curvas será igual a cero

3.1.2. Longitud mínima de curva circular

La longitud mínima de curva circular deseada es generalmente determinada por la siguiente formula:

$$L_T = 0.57 * V$$

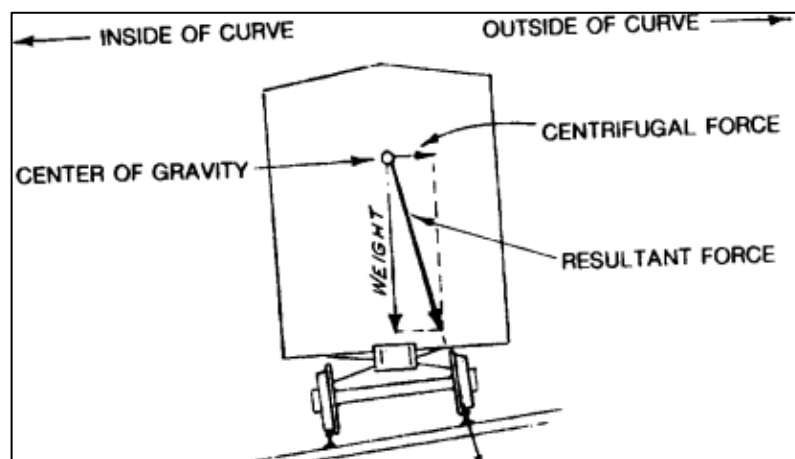
L_T = longitud mínima de curva [m]

V = Velocidad de diseño en curva [kph] [7]

3.1.3. Peralte

La principal función del peralte es contrarrestar la fuerza centrífuga que se genera por el tránsito en curva.

Figura 3 Esquema de fuerzas actuantes sobre el vehículo en curva [7]



Fuente: Railway Track Desing

$$F_c = \frac{W}{g} * \frac{V^2}{r}$$

Fc = fuerza centrífuga

W = peso

V = velocidad

r = radio de curvatura

A fin de contextualizar el uso práctico del peralte, en la inserción urbana se debe tener presente que este se implementara principalmente en los giros que coinciden con las intersecciones viales, por lo tanto si la curva se peralta creará discontinuidad en la rasante lo cual afectara el flujo vehicular.

Para los casos en que se quiera implementar peralte se dan las siguientes recomendaciones.

Tabla 2 Recomendaciones sobre el peralte máximo a colocar en casos viables

Fuente	Parámetro	Valor [in]
TCRP	Peralte Máximo	3- 4.5
AREMA	Peralte Máximo	3

3.1.4. Radio de curvatura

El radio mínimo de curvatura es determinado por las características físicas del vehículo, se recomienda un radio de 25 [m], lo que limita la velocidad a 25 [kph] [8].

3.1.5. Velocidad Máxima en curva

El cálculo de la velocidad de diseño en curvas depende de las características del vehículo, la comodidad de los pasajeros y el peralte de la curva.

$$V_{max} = \sqrt{\frac{E_a + 3}{0.0007 D}}$$

V_{max} = Velocidad de funcionamiento máxima admisible [mph]

E_a = elevación promedio del carril exterior [in]

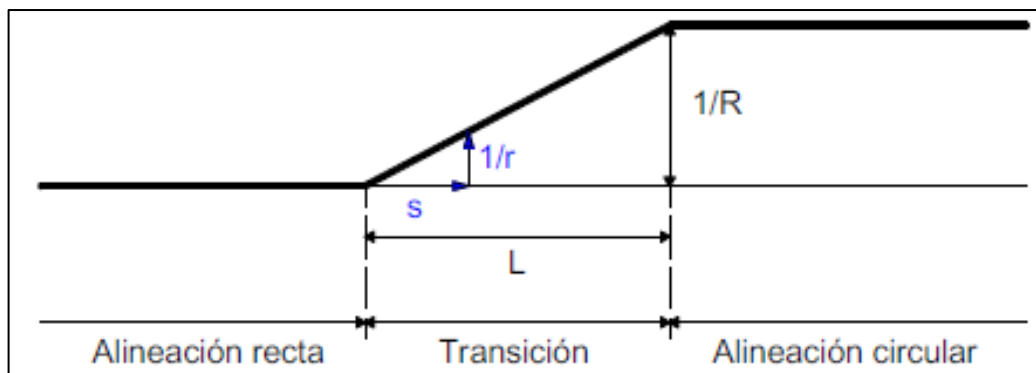
D = grado de curvatura [grados] [7].

3.1.6. Curvas de transición

Su función es proporcionar gradualmente una introducción a la alineación curva y así mismo al peralte con el fin de mitigar los efectos de cargas dinámicas laterales que se generan por las curvas.

Dentro de estas se destaca la espiral Clotoide, la cual se define mediante la siguiente formula:

Figura 4 Variación lineal de la curvatura [5]



Fuente: Tesis de Especialización,

Criterios de trazado para la inserción urbana del tranvía.

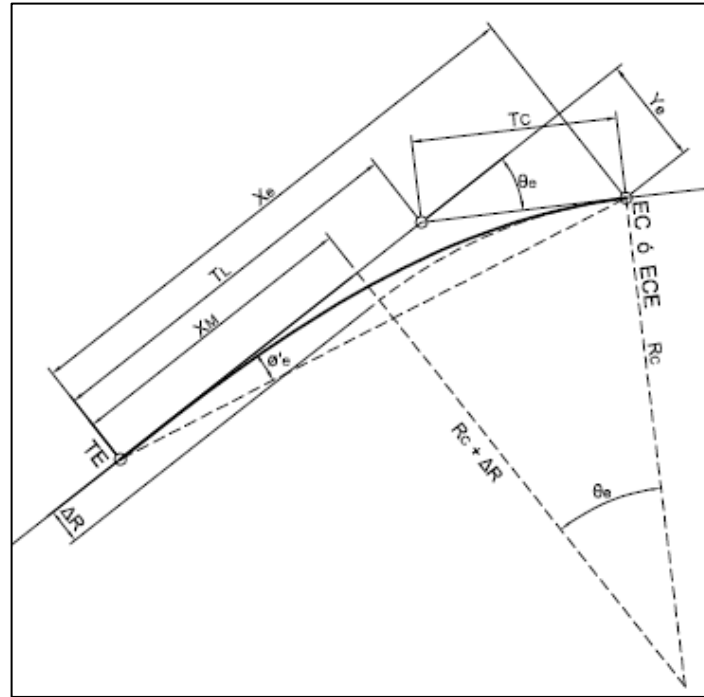
$$L * R = A^2$$

L : Longitud desde el origen a un punto de la curva, [m].

R : Radios en los puntos indicados, [m].

A : Parámetro de la Clotoide, [m]

Figura 5 Elemento del empalme espiral Clotoide [9]



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras

- Angulo de deflexión

$$\theta_e = \frac{L_e}{2 * R_c}; \theta_e \text{ en radianes}$$

Le: Longitud del empalme espiral

Rc: Radio del empalme espiral

- Coordenadas (x, y) en un punto de la espiral ubicado a una distancia dada (l) desde el origen

$$x = l * \left(1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9390} + \frac{\theta^8}{685440} - \dots \right)$$

$$y = l * \left(\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} + \frac{\theta^5}{1320} - \frac{\theta^7}{75600} + \dots \right); \theta_e \text{ en radianes}$$

- Disloque de la espiral. Valor aproximado:

$$\Delta R = \frac{L_e^2}{24 * R_c}$$

3.1.7. Longitud de las curvas de transición

Especificar la longitud de las curvas de transición de acuerdo a la comodidad, seguridad y conservación del material.

- Basado en el confort

$$L_e = 0.925 * V \text{ [m]}$$

V=Velocidad en Kph

- Basado en el peralte

$$L_e = 0.0046 * V * E_a$$

V = Velocidad en kph

Ea = elevación del carril exterior en milímetros [8]

3.2. TRAZADO EN ALZADO

El rendimiento del vehículo, las dimensiones y la tolerancia al estrés flexión vertical dictan criterios para alineaciones verticales. Los siguientes criterios se utilizan para los sistemas propuestos que utilizan un vehículo moderno de piso bajo. Se puede utilizar como base de la consideración para el uso general.

3.2.1. Inclinación De La Rasante

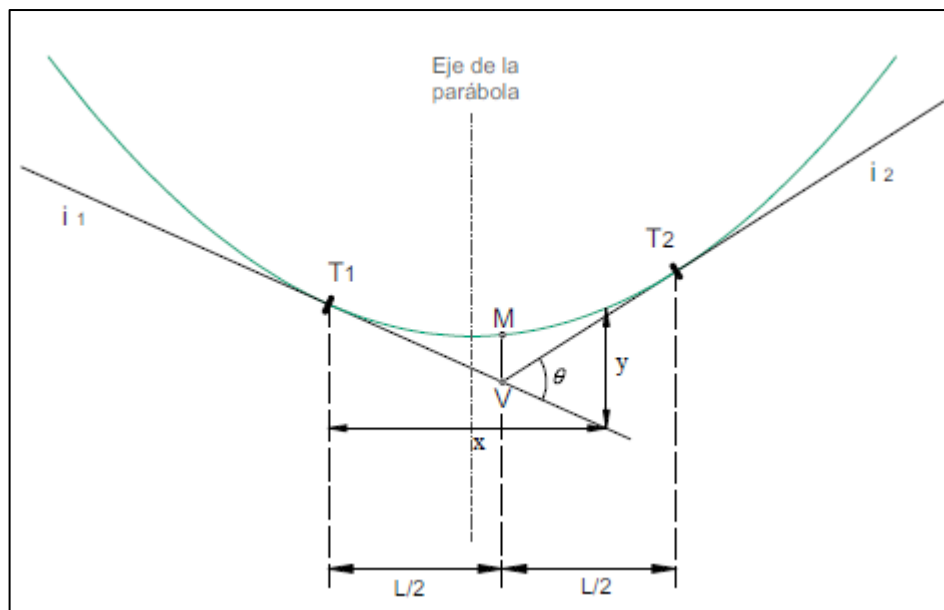
Pendiente Máxima 7%

Pendiente Mínima para drenaje 0.2%

3.2.2. Curvas Verticales

Curvas parabólicas son, para todos los propósitos prácticos, equivalentes a las curvas circulares para el diseño de Light Rail Transit (LRT), pero curvas parabólicas son más fáciles de calcular y por lo tanto son preferibles para este fin.

Figura 6 Curva vertical parabólica [5]



Fuente: Tesis de Especialización,
Criterios de trazado para la inserción urbana del tranvía

$$L = Kv * \theta \geq 12 \text{ [m]}$$

L = Longitud de transición

Kv = Parámetro de la curva

θ = Variación de la inclinación de la rasante, para ingresarla en % se multiplica por 0.01.

$$Kv \geq \frac{v^2}{2,15} \leq 250 \text{ [m]}; \text{ para curvas cóncavas}$$

$$Kv \geq \frac{v^2}{3,87} \leq 350 \text{ [m]}; \text{ para curvas convexas}$$

Dónde: Kv está en metros

V está en Km/h [8].

3.3. *PERFIL TRANSVERSAL*

Esta sección trata sobre las dimensiones mínimas que deben establecerse para respetar las distancias mínimas entre los vehículos de tranvía y estructuras de tránsito u otros obstáculos que permitan una circulación segura.

Estas dimensiones se presentan mediante el concepto de gálibo, el cual se define como figura ideal, cuyo perímetro marca las dimensiones máximas de la sección transversal autorizadas a los vehículos [10].

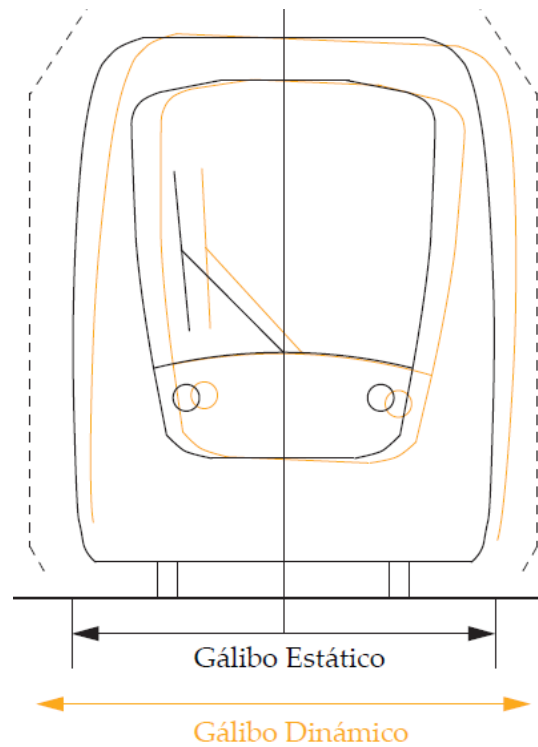
3.3.1. *Gálibo Estático*

El gálibo estático o de construcción del material está conformado por el contorno del vehículo parado en alineación recta y horizontal, con las suspensiones regladas y cuyos componentes no han sufrido desgaste [5].

3.3.2. *Gálibo Dinámico (GD)*

El gálibo dinámico corresponde al espacio ocupado por el vehículo en movimiento. Depende únicamente del tipo de material y de las condiciones en las que se utiliza. Se deduce a partir del gálibo estático más los desplazamientos que pueda presentar el vehículo (ver figura 7). Se tienen en cuenta los siguientes aspectos [5]:

Figura 7 *Gálibo estático y dinámico*



Fuente: El espacio público en la inserción del Tranvía

3.3.3. *Gálibo libre de obstáculos (GLO), y entrevía*

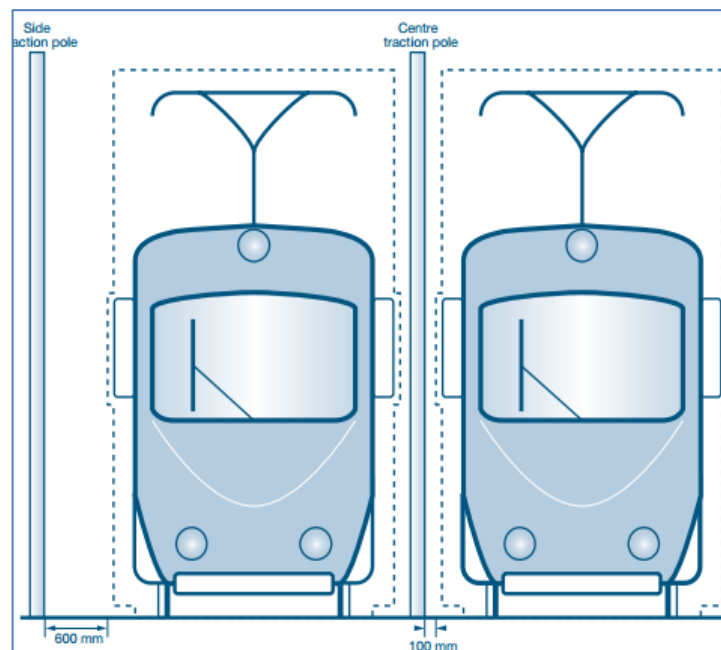
Determina el espacio que debe respetar todo obstáculo, se determina a partir del galibo dinámico más unas láminas de aire, la cual confina el obstáculo.

La entrevía (ver figura 8) es la distancia que existe entre dos vías de tren, medida entre sus caras activas más próximas [11].

Tabla 3 Valores de *lámina de aire* [12]

Línea de tráfico	200 mm
Obstáculo aislado	100 mm
Bordillo	300 mm
Obstáculo continuo	600 mm

Figura 8 *Holgura en vía doble en recta* [12]



Fuente: GUIDANCE ON TRAMWAYS

3.4. ESTACIONES

Las necesidades de los pasajeros, los peatones y otros usuarios de la carretera se deben reflejar en el diseño de las estaciones, paradas del tranvía y rutas peatonales asociados, por lo tanto las paradas deberán situarse de manera que:

- (a) las personas que cruzan hacia la parada del tranvía tengan una adecuada visibilidad de aproximación de los tranvías y el tránsito;

(b) Los conductores de tranvía tengan una visibilidad adecuada de la parada del tranvía, de las personas que se acercan a la parada, y del tráfico vehicular.

(d) otros conductores de vehículos tengan una visibilidad adecuada de los peatones que se acercan o dejan la parada del tranvía [12].

Algunas recomendaciones geométricas:

- Respecto al trazado: pendiente longitudinal máxima admisible es de 2 % y pendiente transversal mínima para permitir drenaje es de 0.2 %.

- Respecto al perfil transversal: Gap: distancia entre el límite del andén y el límite de la puerta del vehículo, a manera de orientación, el documento Accesibilidad al medio físico y al transporte [13] sugiere un gap máximo de 20 mm en sentido horizontal y 10 mm en sentido vertical para el acceso a ascensores.

- Tipología:
 - Integrado al viario: la zona debe estar debidamente identificada.
 - Entidad propia: el andén forma parte de una plataforma elevada
 - Se cuenta con dos tipos de andenes: centrales y laterales [5].

- Dimensiones:

La longitud de la estación está formada por la longitud del andén más las rampas de acceso. El andén viene determinado por la longitud de los vehículos que se emplearán durante la explotación más un margen de error.

La anchura es una de las variables que influyen en la posibilidad de inserción urbana de una estación. No sólo debe proporcionar suficiente espacio a los pasajeros, sino que también ha de tener en cuenta sus movimientos y la acumulación producida durante la espera a título orientativo se recomiendan entre 2 y 3 metros [5]

La altura del andén se determina a partir del nivel de las puertas del tranvía buscando facilitar el acceso al vehículo. De cara a mejorar la accesibilidad y la inserción urbana es conveniente limitar esta altura. El uso de vehículos

de plataforma baja proporciona alturas sobre el carril en el entorno de los 30 cm. El uso de plataformas de mayor altura es desaconsejable [5].

3.5. PLATAFORMA

El grado de segregación de la plataforma es un punto fundamental de un proyecto de tranvía: repercute en la explotación del sistema, en el aspecto global, en la redistribución de los usos del espacio público, etc.

Plataforma Reservada: La plataforma reservada se entiende como una parte de la sección transversal de una vía de circulación que, mediante los instrumentos técnicos y normativos adecuados, queda, de forma permanente o temporal, reservada para el uso exclusivo de las categorías de vehículos autorizados a circular por ella [14].

Plataforma compartida: La plataforma está integrada en el viario y por ella pueden circular habitualmente otros usuarios de la vía. Como bien se sabe, es la configuración empleada por los sistemas antiguos de tranvía.

La calidad de explotación ofrecida depende de forma sustancial de las medidas de regulación aplicadas. Sin una ordenación apropiada se crearían conflictos con el resto de tráfico ofreciendo un nivel de servicio inferior al de los autobuses [5].

Tipos de separación: Los separadores permiten delimitar los espacios. Se emplean con el fin de guiar los vehículos y disuadir a otros usuarios de invadir la plataforma, aumentando el nivel de seguridad y la calidad de explotación del sistema. También contribuyen a la legibilidad del espacio urbano.

La separación física se puede conseguir mediante, una diferencia de cota entre la plataforma y la calzada, bordillos de mayor o menor anchura y/o altura, barreras metálicas o vegetales. Se pueden clasificar en tres categorías: 1) franqueable por todos los usuarios, 2) franqueable sólo por peatones, 3) infranqueable. Estas formas de demarcación pueden ser complementadas o sustituidas, si hay suficiente espacio, por franjas laterales de vegetación contribuyendo a la visibilidad y estética de la plataforma [5].

Acabado de la superficie: En la elección del acabado de una plataforma compartida se deben tener en cuenta los diferentes tipos de solicitaciones a los

que se ve sometido la plataforma y las necesidades de los usuarios que circulan por ella.

En plataformas reservadas, es recomendable hacer la superficie en un material diferente al de la calzada. Esto permite delimitar el gálibo y dar una identidad propia a la plataforma que disuada a peatones y otros vehículos de invadirla.

El revestimiento en los cruces de peatones debe ser el apropiado para facilitar la percepción del mismo por el peatón [5].

3.6. COCHERAS

Trazado en planta: los radios de curvatura pueden tomar el valor mínimo absoluto según la Transit Cooperative Research Program (TCRP) es igual a 15 m, también sugiere que los tramos rectos entre curvas tengan una longitud no menor de 15 m.

Perfil Longitudinal: para cocheras la Transit Cooperative Research Program (TCRP) sugiere una pendiente ideal igual 0.02 % o hasta 4% [7].

La zona de talleres y cocheras debe contener:

- Taller general: Esta zona consta de una vía de mantenimiento, vía de levante, vía de torno, y vía de chapa y pintura. Algunas de ella tienen fosos y pasarelas de trabajo.
- Taller Específico: consta de zonas una de talleres (eléctrico, electrónico, mecánico.) y otra de administrativa.

3.7. MATERIAL MÓVIL

El tranvía se ha convertido en mucho más que un simple medio de transporte. También es un medio para desarrollar la movilidad urbana sostenible, revitalizar las ciudades y mejorar el patrimonio arquitectónico [15].

Los vehículos tranviarios varían en las siguientes características de diseño:

- Unidireccional o bidireccional

- Articulado o no articulado
- Altura de piso: parcialmente bajo (70%); bajo (100%)
- Tamaño total: ancho, largo y alto
- Rendimiento: aceleración, velocidad y frenado
- Diámetro y calibre de la rueda: Calibre de la rueda para asegurar la compatibilidad con el ancho de vía incluyendo tolerancias.
- Sistema de propulsión:
 - Catenaria: la potencia propulsora se extrae de un cable de distribución aérea por medio de un pantógrafo y regresa a las subestaciones eléctricas a través de los carriles [7].
 - Sistema Free Drive: es un sistema de acumulación de energía embarcado orientado al modo de operación sin catenaria basado en supercondensadores y baterías. Esta tecnología posibilita la eliminación del tendido eléctrico en los tramos [16].

3.8. INTERSECCIONES

La inserción del sistema tranviario, sea éste en plataforma reservada o compartida, tiene por característica que es atravesable al mismo nivel de cota por otros usuarios de la vía (peatones, ciclistas, automóviles y otros medios de transporte).

En el tratamiento de las intersecciones resultan de interés las siguientes medidas:

1. Disponer de una superficie de la plataforma adaptada a la circulación de otro tipo de vehículos. Marcarla de forma que al paso del tranvía no este ocupada por ningún otro usuario.

2. Establecer la señalización y barreras necesarias para guiar a los diferentes usuarios. En intersecciones en las que se permita el cruce, también sería necesaria la señalización luminosa.

3. Prohibir las maniobras en las que el vehículo atraviesa la plataforma partiendo de un carril paralelo a la vía. Por ejemplo, si la plataforma es central, prohibir los giros a la izquierda.

4. Tomar las medidas adecuadas si se decide permitir la realización de dichas maniobras.

Estas son:

- Controlar la intersección mediante fases semafóricas y señalización.
- Separar el carril, desde el que se va a girar, de la plataforma de forma que el vehículo quede en una posición con mejor visibilidad sobre la vía.
- Si es posible, implantar un carril exclusivo para efectuar esa maniobra con el fin de no obstruir a los vehículos que siguen recto.

Ser conscientes que esta decisión implica la disminución de la calidad de explotación del sistema: el ciclo semafórico tendría tres fases, aumentaría el riesgo de accidentes. Por otra parte, la anchura necesaria sería mayor.

5. Implantar un sistema de detección de la presencia del tranvía con el objetivo de darle prioridad en las intersecciones. Mientras no se detecta presencia de tranvía, el cruce funcionaría con las 2 o 3 fases para regular la circulación general. En cuanto se detecta el tranvía, el ciclo introduce la 'fase tranvía' y recupera el funcionamiento normal después de su paso. [5]

4. DEFINICIÓN DE LA ZONA DE INFLUENCIA

En la segunda etapa se determina la ruta de análisis y área de influencia para lo cual se recorrieron diferentes rutas de la malla vial de las poblaciones de Girón, Floridablanca, Piedecuesta y Bucaramanga con el fin de conocer de manera física sus características, de esta primera inspección se deduce que la malla vial de las zonas urbanas de Girón, Floridablanca y Piedecuesta no son aptas para el análisis debido a que sus calles son muy angostas y que los sus viajes diarios están dirigidos a la ciudad de Bucaramanga, luego se procedió a analizar detalladamente las siguientes alternativas:

4.1. ALTERNATIVA 1

Se consideraron las vías que conectan a Bucaramanga-Girón por la (carrera 27 y calle70), Bucaramanga-Floridablanca por la (carrera 33) y Bucaramanga-Piedecuesta por la (Autopista).

4.2. ALTERNATIVA 2

Esta alternativa nace en la estación Metrolínea del centro comercial San Andresito Isla ubicada sobre la diagonal 15 entre calle 56 y calle 59 con el propósito de tener un punto de contacto entre el actual sistema de transporte masivo y la ruta del tranvía unificando estos sistemas, el trazado nace en este punto y toma como eje la carrera 21 en sentido sur-norte ya que esta carrera es de gran importancia al estar dentro la zona céntrica-comercial; como puntos importantes de referencia se tienen Homecenter, los parques la Concordia y Antonia Santos, siendo una vía con alta demanda del servicio público. La ruta llegaría hasta la calle 18 con carrera 21 donde daría un giro y tomaría la calle 18 sentido oriente-occidente hasta empalmar con la carrera 22 sentido norte-sur comunicándose con la zona comercial del barrio San Francisco, los parques Antonia Santos y Simón Bolívar, esta ruta continuara por la carrera 22 hasta encontrarse con la calle 59 sentido occidente-oriente que la comunicara de nuevo con la estación de metrolínea del centro comercial San Andresito Isla.

4.3. ALTERNATIVA 3

La ruta del tranvía comenzara en la calle 55 entre carrera 3 y carrera 6 en frente del conjunto residencial Marsella Real, luego tomará la carrera 7 y subirá por la calle 61 hasta la avenida los búcaros sentido occidente-oriente y retomara nuevamente por la calle 61 hasta llegar a la diagonal 15 donde realizará un giro en dirección sur-norte, con el fin de empalmar en la estación de Metrolínea ubicada

en el sector conocido como la isla; posteriormente la ruta dejara la diagonal 15 para tomar como vía la carrera 21 que lo llevará por la parte alta del centro hasta la zona comercial del barrio San francisco y realizará un giro por la calle 19 sentido oriente-occidente para empalmar con la carrera 18 en dirección norte-sur. La ruta continuará por la carrea 18 hasta llegar a la avenida la rosita la cual se usara para empalmar con la diagonal 15 facilitando la conexión con la carrera17 en sentido norte-sur, la línea del tranvía seguirá por la carrera 17 hasta llegar a la avenida los samanes y luego esta se ensamblara con la carrera 7 hasta llegar al punto de inicio de la ruta.

Como puntos importantes de referencia en el trazo de esta ruta se tiene sobre la calle 61 Ferretería la CASITA antiguo INDUSTRIAS Partmo S.A., ARDISA S.A.; sobre la carrera 21 se tienen Homecenter, el parque la Concordia y el parque Antonia Santos; en la carrera 18 está el parque Centenario, en la avenida la rosita, el Éxito de Centro, y sobre la avenida los samanes el Centro Comercial Acrópolis.

- Análisis de las alternativas

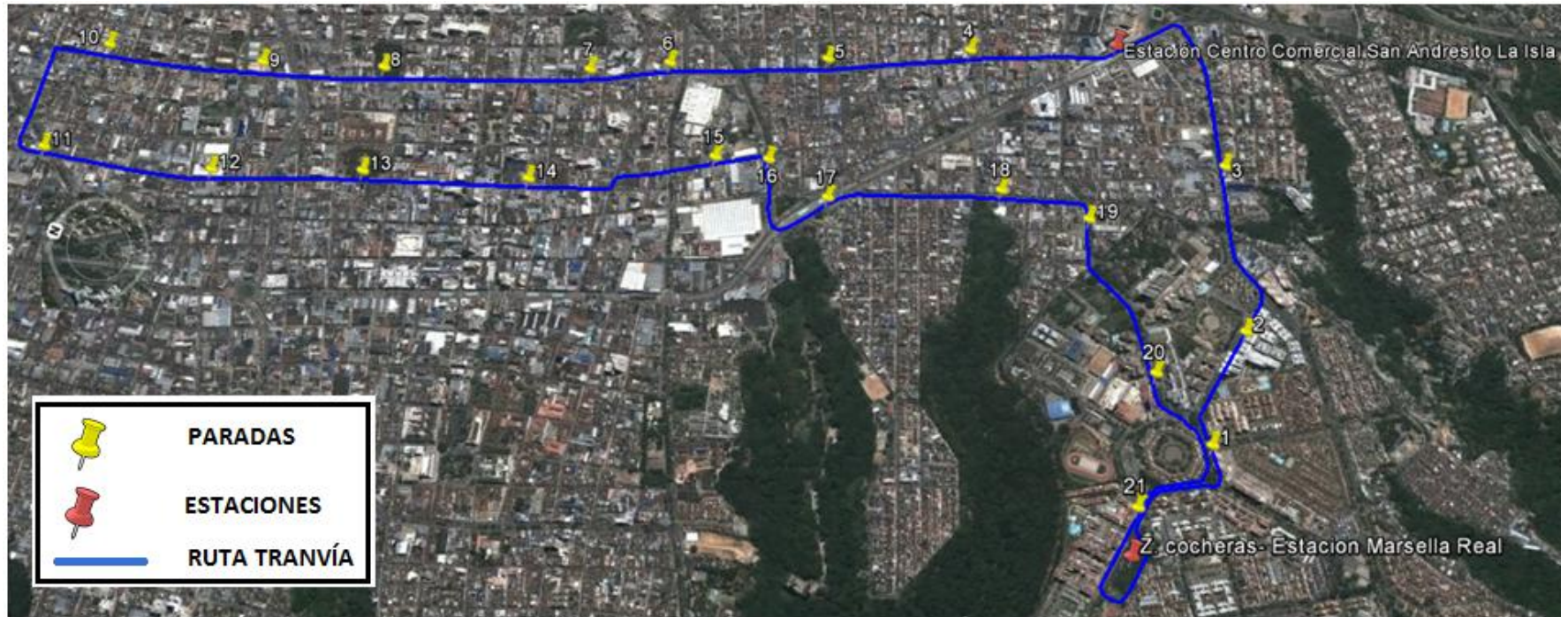
La alternativa número 1, presenta inconvenientes en las diferentes vías respecto a los siguientes parámetros: pendientes mayores al 7 %, anchos de vía insuficiente y la necesidad de realizar estructuras elevadas paralelas a los viaductos García Cadena y La Flora.

La alternativa número 2, tiene como principal ventaja el ancho de vía de la carrera 21 la cual en la mayoría de su longitud es una vía de tres carriles, lo cual difiere de la carrera 22 ya que su trayecto consta de dos carriles pero su gran desventaja es la falta de un lugar para la zona de talleres y cocheras.

La alternativa número 3 presenta algunas ventajas como anchos de vía favorables, disponibilidad de un terreno adecuado para disposición de la zona de talleres y cocheras además de la conexión directa de la Ciudadela Real de Minas con la zona centro y la zona comercial de San Francisco.

Haciendo un análisis de ventajas y desventajas se concluye que la alternativa óptima es la número 3 (ver figura 9), teniendo presente que esta contiene puntos de conflicto los cuales serán descritos más adelante.

Figura 9 Posible ruta línea tranvía



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

5. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS PROPIOS DEL TRAZADO

Basados en la anterior información y la integración urbana se procede a establecer los parámetros técnicos más importantes para la implementación la línea de tranvía.

5.1. TRAZADO:

- Curvas: longitud entre curvas igual a cero si la velocidad es inferior a 20 Km/h.
- Curvas de igual sentido: Longitud del tramo recto entre esta igual a cero.
- Radio de curvatura igual a 25 [m].
- Ancho de vía 1435 [mm].
- Ancho del carril 3 [m].
- Pendiente máxima igual 6%.

5.2. PLATAFORMA RESERVADA:

La segregación de una parte de la red viaria para el uso exclusivo de los vehículos de transporte colectivo, de modo que al evitar la incidencia de la congestión se preservan su velocidad comercial, su fiabilidad y regularidad y, consecuentemente, la capacidad y calidad del servicio de transporte público colectivo. Esta solución parece, ante todo, equitativa, porque contribuye a distribuir la capacidad de la red viaria en función del número de personas transportadas y no del flujo de vehículos.

5.3. ESTACIONES:

- Distancia entre estaciones de 300 a 500[m].
 - Longitud de estación entre 5 y 10 [m] o Longitud= f(long veh) + Margen Error.
 - Ancho de estación igual a 2.5 [m].
 - Altura de la estación respecto al carril entre 25-35 [cm].
 - Pendiente máxima igual al 2%.
 - Rasante de pendiente uniforme en 12 [m] antes y después de la estación.
 - Gap: distancia entre el andén y el límite de la puerta del vehículo horizontal igual a 3.5 [cm], Vertical igual a 1 [cm].

5.4. TALLERES Y COCHERAS:

- Área igual a 6500 [m²].
- Estación principal área igual a 1217 [m²].
- Zona de taller igual a 2307 [m²].
- Zona de cochera 1943 [m²].
- Zona administrativa igual a 5467 [m²]

5.5. MATERIAL MÓVIL: CAF

- Plataforma integral: piso bajo.
- Longitud igual a 20 [m]
- Galibo igual a 2.4 [m].
- Sistema de propulsión: Sistema Free Drive

6. ANÁLISIS DE LIMITANTES PROPIOS DEL TRAZADO

6.1. PUNTOS CRÍTICOS DEBIDO A RADIO DE GIRO

Descripción de puntos críticos debido a radios de giro menores de 25 metros por lo que se estima compra de predios, y se procederá a realizar un análisis de afectación predial.

Puntos críticos

Figura 10 Punto crítico Carrera 21 con Calle 19



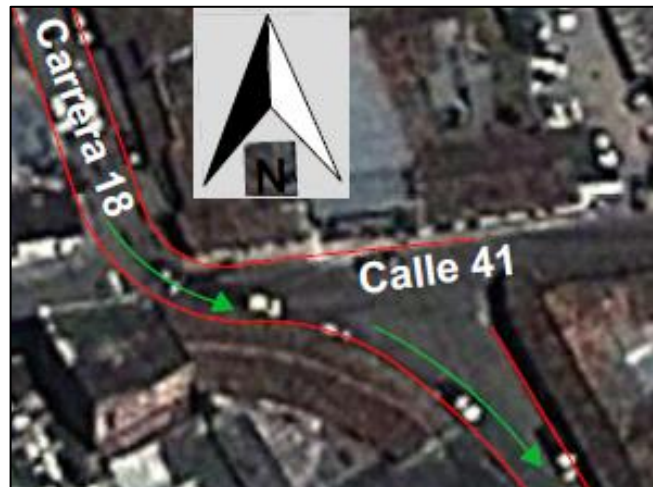
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Figura 11 Punto crítico Calle 19 con Carrera 18



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Figura 12 *Punto crítico Carrera 18 con Calle 41*



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Figura 13 *Punto crítico Carrera 18 con Avenida Rosita*



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Figura 14 Punto crítico Carrera 17 con Avenida Samanes



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

6.2. AFECTACIÓN PREDIAL

Teniendo en cuenta que la implementación del sistema tranviario requiere del cumplimiento de algunas exigencias mínimas se hace necesario un análisis, relacionado con la afectación predial vista desde un comparativo entre las demandas del Plan De Ordenamiento Territorial POT y el tranvía, con el fin de visualizar la envergadura de la afectación cuando se sigue la norma, el POT plantea un ancho de carril para vías terciarias igual a 3.2 [m], con un mínimo de 3 carriles lo que genera un ancho de calzada igual 9.8 [m] y cumplimiento de las exigencias mínimas del tranvía lo que genera un ancho de banca igual a 6.2 [m],

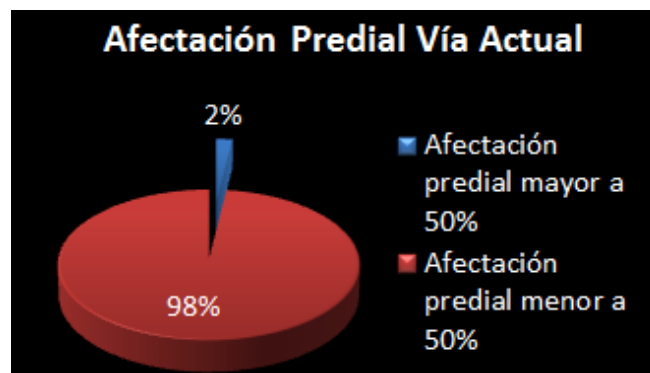
a estas dimensiones se le suma el ancho del andén que para este análisis se toma de 2 [m].

Para este análisis se utilizó el programa ARCGIS con el fin de plasmar las dos alternativas sobre un modelo previo de la ciudad de Bucaramanga, el cual nos arrojó los siguientes resultados:

Tabla 4 *Afectación predial de la vía actual:*

Afectación Predial Vía Actual	N° de predios
Afectación predial mayor a 50% del predio	4
Afectación predial menor a 50% del predio	200
Área total predios [m ²]	68868.5
Área Afectada total [m ²]	2583.8
% Área Afectada	3.75%

Figura 15 *Afectación predial teniendo en cuenta la implantación de la línea de tranvía.*

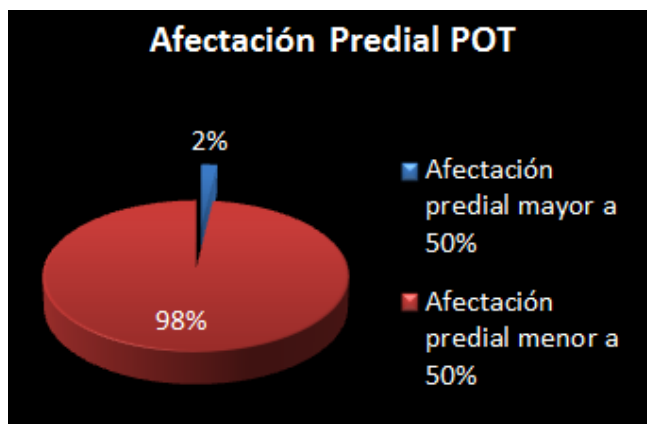


N° de predios sobre el eje vial	623
N° de predios afectados	204
% de afectación predial	33%

Tabla 5 *Afectación predial según el POT:*

Afectación Predial POT	N° de predios
Afectación predial mayor a 50% del predio	7
Afectación predial menor a 50% del predio	359
Área total predios [m ²]	115481.0
Área Afectada total [m ²]	7679.8
% Área Afectada	6.65%

Figura 16 *Afectación predial teniendo en cuenta los requerimientos del POT y la implantación de la línea de tranvía.*



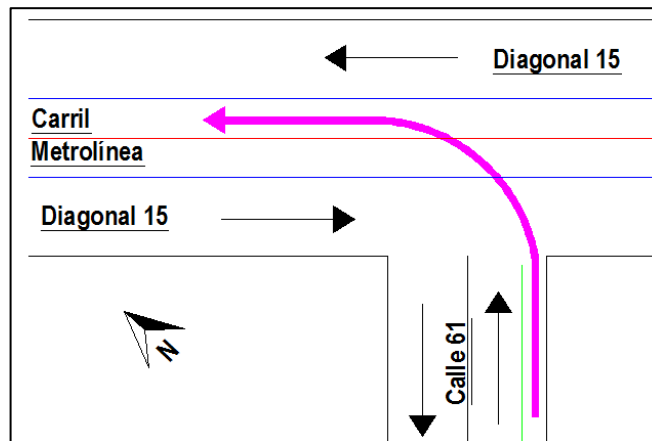
N° de predios sobre el eje vial	623
N° de predios afectados	366
% de afectación predial	59%

7. INTERSECCIONES

La designación y el tratamiento de los puntos de cruces son determinantes para la explotación y funcionamiento del sistema de tranvía, como para la inserción y compatibilidad de este medio en el entorno urbano. Es así, que los cruces deben enfocarse en cubrir tanto las necesidades de cruce entre los diferentes usuarios en condiciones de seguridad óptima, como permitir el acceso a las diferentes funciones del espacio público, a la vez que se interfiera lo menor posible a la circulación del tranvía [5].

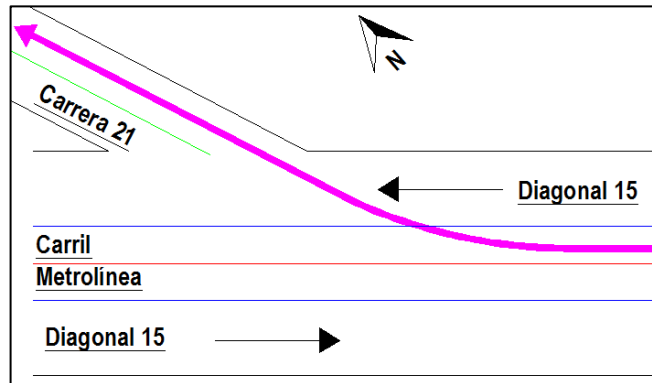
En la línea de tranvía que se plantea como alternativa, se identifican 4 intersecciones críticas debido al cambio de dirección de la ruta, la primera de ellas se localiza entre la calle 61 con la diagonal 15 sentido norte-sur por donde viene flujo vehicular y esta ruta atraviesa la avenida para empalmar con la estación del Sistema De Transporte Masivo de La Isla, siendo un obstáculo tanto para el flujo vehicular que sube por la calle 61 y el flujo que viene por la diagonal 15;

Figura 17 *Intersección Calle 61 con Diagonal 15*



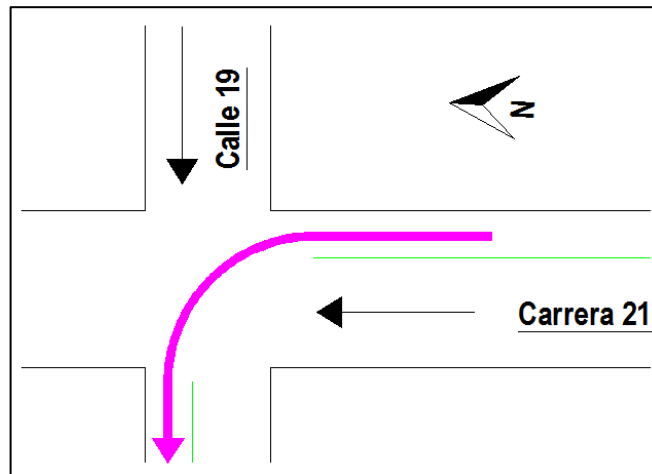
El segundo punto crítico se sitúa entre la diagonal 15 sentido sur-norte con carrera 21; la ruta atraviesa esta diagonal para continuar por la carrera 21 presentando problema con el flujo vehicular que viene por la diagonal 15 antes de empalmar con esta carrera:

Figura 18 *Intersección Diagonal 15 con Carrera 21*



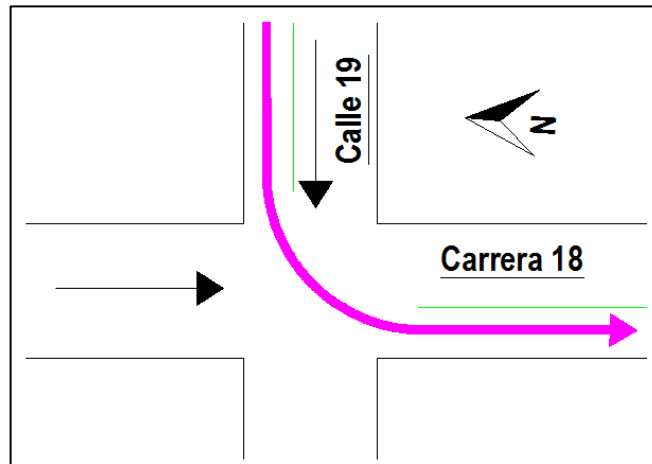
El tercer punto crítico se ubica entre la carrera 21 y la calle 19 cuando va en sentido sur-norte y se pasa a sentido oriente-occidente presentando problema con el tráfico vehicular que viene por la carrera 21 y de igual forma el que viene por la calle 19:

Figura 19 *Intersección Carrera 21 con Calle 19*



El cuarto punto crítico se localiza entre la calle 19 con carrera 18 cuando se toma sentido norte-sur teniendo problema con el flujo vehicular que viene por la calle 19 y el flujo vehicular de la carrera 18 antes de esta intersección:

Figura 20 Intersección Calle 19 con Carrera 18



Los demás cruces e intersecciones son descartados como puntos críticos debido a que la ruta de tranvía proyectada a trazar es de plataforma reservada (tiene carril propio), y con la señalización semafórica que se tiene esta satisface las necesidades para el resto de ruta.

7.1. POSIBLES SOLUCIONES A LAS INTERSECCIONES

Las soluciones dependen del tipo de tratamiento que se le quiera dar a la intersección, las cuales pueden ser:

- **Prioridad absoluta:** cuando el tranvía pasa sobre una baliza determinada (**ver Figura 21**), el sistema organiza las fases semafóricas para que al llegar el tranvía a la intersección se la encuentre libre de obstáculos y con autorización para su rebase. Es la mejor fase para el tranvía, pero debe sujetarse a las necesidades de los peatones [18].
- **Microrregulación:** cuando el tranvía pasa sobre una baliza determinada (**ver Figura 21**), el sistema calcula si el tranvía llegará a tiempo en la fase de tráfico que le permite rebasar la intersección, o cuántos segundos necesitaría para incorporarse en la misma. El sistema autorizará el rebase si llega a tiempo a la fase determinada o si los segundos necesarios no exceden la tolerancia establecida por la autoridad municipal responsable del semáforo. Es una

tratamiento óptimo para el tranvía siempre y cuando la fase se diseñe con prioridad para el transporte público (velocidades medias de 16-20 km/h) y no para el transporte privado (velocidades medias teóricas de 30 km/h). La microrregulación puede favorecer también a autobuses paralelos al tranvía [18].

Figura 21 *Baliza*



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/European_Train_Control_System

- **Prioridad nula:** el tranvía se ajusta a las fases existentes sin ninguna posibilidad de modificación. La empresa explotadora podría programar el paso de sus tranvías por estas intersecciones, pero la rigidez de las mismas se muestra implacable ante el más mínimo contratiempo, algo difícil de evitar en cualquier explotación de transporte público [18].

Los agentes implicados en el proceso son básicamente cuatro: vehículos de motor, peatones, bicicletas y el propio tranvía.

Teóricamente la semaforización debería garantizar unos buenos objetivos de seguridad global, velocidad comercial y permeabilidad transversal a la vía.

La semaforización se organiza a partir de un sistema de balizas y señales luminosas que, en consonancia con los semáforos del resto del tráfico, regula la circulación del tranvía. Esta depende básicamente de los siguientes factores:

- Presencia / ausencia del tranvía en cuestión
- Si existe un parada próxima y anterior a la intersección, tiempo de estacionamiento del tranvía
- Presencia / ausencia de un tranvía en sentido contrario

- Coordinación con los enclavamientos en puntos de escasa visibilidad o regulación de tramos en vía única
- Funcionamiento del propio sistema semafórico (averías, caídas de tensión, vandalismo...) [18].

7.2. SOLUCIÓN A LAS INTERSECCIONES DEL TRAZADO

Una posible solución a las intersecciones presentadas anteriormente es un tratamiento de prioridad absoluta o de microregulación mediante el sistema de detección de la presencia del tranvía.

En estas intersecciones no se hace uso de talanqueras o señales mecánicas (constan de un brazo mecánico que puede moverse en diferentes posiciones, indicando generalmente vía libre cuando se encuentra vertical y parada cuando se encuentra horizontal) para la detección del flujo vehicular debido al corto intervalo de tiempo entre los cambios de fase del semáforo.

Un ejemplo de este sistema es la ciudad de Múnich Alemania la cual implemento un programa de priorización del servicio público para autobuses y tranvías y mejoro el sistema de información de pasajeros. Con lo cual se presentaron mejoras en cuanto a la velocidad media en un 22%, la tasa de puntualidad aumento del 58% al 80% y actualmente los tranvías transportan aproximadamente un 20% más de pasajeros [17].

Figura 22 *Intersección del tranvía con el tráfico vehicular*



Fuente: Tesis de Especialización,
Criterios de trazado para la inserción urbana del tranvía.

8. CONCLUSIONES

- Los parámetros técnicos más influyentes en la inserción urbana de una línea tranviaria es el radio de giro, la pendiente longitudinal y la zona de talleres y cocheras, debido a la afectación de la propiedad pública y privada ya establecida, la disponibilidad de un terreno amplio y adecuado y a la geografía de la ciudad.
- El radio de giro, la pendiente longitudinal y la zona de talleres y cocheras permiten la determinación de la zona de influencia y son el tamiz a la hora de elegir una alternativa para la implementación de una línea tranviaria.
- La implementación de una línea de tranvía no solo requiere de un análisis basado en los parámetros técnicos, también debe realizarse un análisis profundo acerca de la afectación predial y de los conflictos con el resto de tráfico vehicular que produciría la implementación de dicho sistema, esto con fin de obtener datos que sirvan de argumento a la hora de verificar si el proyecto sería viable o no viable.
- La causa principal que genera puntos críticos es el radio de giro en las curvas, el cual podría ser solucionado mediante la reducción significativa de la velocidad del tranvía o la compra de predios con el fin de aumentar este espacio.
- El problema de interferencia con el tráfico vehicular se maneja mediante semaforización interconectada con un sistema de detección del tranvía, esto con el fin de darle prioridad al mismo para que el tiempo de recorrido sea el mínimo posible de manera que sea más atractivo para el usuario, aunque esto podría generar inconformidad en el resto del flujo vehicular debido a que aumentaría los tiempos de parada.
- Con el fin de mitigar los efectos del tráfico vehicular sobre el servicio público se plantea, la implementación de plataforma reservada o carril exclusivo bajo la premisa de que “un tranvía que transporta cien pasajeros tiene

derecho a cien veces el espacio de un automóvil que transporta una sola persona” [19].

9. CITAS

[1] PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD, ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA 2011 – 2030 Documento resumen [CD-ROM]: Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2011.

[2] DANE. Boletín de prensa, Encuesta de Transporte Urbano de Pasajeros, 13 de Marzo de 2014 [en línea]. <http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/transporte/bolet_transp_IVtrim13.pdf > [citado 20 de Marzo de 2013]

[3] El tranvía de Zaragoza, las ventajas del tranvía <<http://tranviazaragoza.wordpress.com/ventajas-del-tranvia/> > [citado 20 de Febrero de 2014].

[4] Insa, F. Ricardo & Real, H. Julia. Estado del Arte y Análisis de la Tecnología de sistemas de “Carril Embebido” en el año 2008 [en línea]. <http://www.vialibreffe.com/PDF/ERS_23_09_2008def.pdf > [citado 23 de Febrero de 2014].

[5] Hilarión, H. Andrés. & López, P. Andrés. Criterios de trazado para la inserción urbana del tranvía (Tesis de Especialización, Universidad Politécnica de Cataluña) [en línea]. <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9699/1/01.pdf> > [citado 26 de Febrero de 2014]

[6] Definición de bogie [en línea]. <<http://www.ferropedia.es/wiki/Bogie> > [citado 11 de Marzo de 2014]

[7] AREMA. Railway Track Desing [en línea]. <http://www.arema.org/publications/pgre/Practical_Guide/PGChapter6.pdf > [citado 11 de Marzo de 2014]

[8] TCRP Report 57. Light Rail Track Desing Handbook [en línea]. <<https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww> > [citado 13 de Marzo de 2014]

[9] REPUBLICA DE COLOMBIA, Ministerio De Transporte, Instituto Nacional De Vías, subdirección De Apoyo Técnico. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. [CD-ROM]

[10] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA [en línea]. <http://lema.rae.es/drae/?val=g%C3%A1libo> [citado 15 de Marzo de 2014]

[11] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA [en línea]. <http://lema.rae.es/drae/?val=entrev%C3%ADa> [citado 20 de Marzo de 2014]

[12] OFFICE OF RAIL REGULATION. GUIDANCE ON TRAMWAYS [en línea]. <http://orr.gov.uk/__data/assets/pdf_file/0018/2637/rspg-2g-trmwys.pdf > [citado 20 de Marzo de 2014]

[13] MinTransporte. Accesibilidad al medio físico y al transporte [en línea]. <<https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=4298> > [citado 20 de Marzo de 2014]

[14] Bigas, S. Joan. & Fanlo, N. Jorge & Rocci, B. Sandro & Sánchez, D. Emilio. & Sastre, G. Julián. Sistemas de transporte en plataformas reservadas [en línea]. <http://www.ciccp.es/ImgWeb/Sede%20Nacional/Transportes/Plataformas_Reservadas_N4.pdf > [citado 22 de Marzo de 2014]

[15] ALSTOM. Brochure [en línea].
<<http://www.alstom.com/transport/products-and-services/trains/tramway-citadis/> >
[citado 25 de Marzo de 2014]

[16] CAF. Ecocaf [en línea].
<<http://www.caf.es/esn./ecocaf/nuevas-soluciones/tranvia-acr.php> > [citado 3 de marzo de 2014]

[17] SIEMENS. Soluciones inteligentes para el tráfico de hoy y del mañana [en línea].
<<http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/mobility/Documents/traffic.pdf>
> [citado 2 de Abril de 2014]

[18] PTP. Análisis y propuestas sobre la explotación de la red Trambaix [en línea]. <<http://www.tramvia.org/documentos/ptp/050800-estudi.pdf> > [citado 2 de Abril de 2014]

[19] Revista PODER 360°. Un subterráneo para Lima [en línea].
<http://www.poder360.com/article_detail.php?id_article=5255 > [citado 9 de Abril de 2014]

BIBLIOGRAFÍA

- AREMA. Railway Track Desing [en línea]. <http://www.arena.org/publications/pgre/Practical_Guide/PGChapter6.pdf > [citado 11 de Marzo de 2014]
- Hilarión, H. Andrés. & López, P. Andrés. Criterios de trazado para la inserción urbana del tranvía (Tesis de Especialización, Universidad Politécnica de Cataluña) [en línea]. <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9699/1/01.pdf> > [citado 26 de Febrero de 2014]
- OFFICE OF RAIL REGULATION. GUIDANCE ON TRAMWAYS [en línea]. <http://orr.gov.uk/__data/assets/pdf_file/0018/2637/rspg-2g-trmwys.pdf > [citado 20 de Marzo de 2014]
- PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD, ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA 2011 – 2030 Documento resumen [CD-ROM]: Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2011.
- TCRP Report 57. Light Rail Track Desing Handbook [en línea]. <<https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww> > [citado 13 de Marzo de 2014]