



Alternativas de diseño estructural y geométrico como solución a problemas de congestión vehicular

Structural and geometric design alternatives as a solution to traffic congestion problems

Alternativas de concepção estrutural e geométrica como solução para problemas de congestionamento de tráfego

Jorge Antonio Molina Galván

jorgemolinag77@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0949-7450>

Universidad Mayor de San Andrés, La Paz-Bolivia

Artículo recibido el xx de septiembre 2021, / Aceptado el xx de octubre 2021 / Publicado el 15 de marzo 2022

RESUMEN

El objetivo de este artículo fue proponer una solución de diseño estructural y geométrico a los problemas de congestión vehicular en la ciudad de La Paz, Bolivia. El estudio se divide en tres etapas: primero, se desarrollaron los estudios técnicos correspondientes; segundo, se presentó un análisis de situación; tercero, se presenta la alternativa óptima de solución. Como resultado se encuentra que el tráfico vehicular en el área urbana de la ciudad está colapsado, generando un impacto negativo a la normal circulación de los motorizados conllevando una demora en los tiempos de viaje para llegar a su destino. Se concluye que una solución de infraestructura vial con paso a desnivel permite que estos problemas de congestión vehicular se reduzcan en gran medida, siempre que vaya acompañada de la implantación de medidas regulatorias de circulación y educación viales que optimicen la capacidad de las vías.

Palabras clave: Proyectos viales; Estudio de tráfico; Diseño estructural; Viaducto; Paso a desnivel

ABSTRACT

The objective of this article was to propose a structural and geometric design solution to traffic congestion problems in the city of La Paz. The study was divided into three stages: first, the corresponding technical studies were developed; second, a situation analysis was presented; third, the optimal alternative solution was presented. As a result, it was found that vehicular traffic in the urban area of the city is collapsed, generating a negative impact on the normal circulation of motorized vehicles, leading to a delay in travel times to reach their destination. It was concluded that a road infrastructure solution with overpass will allow these traffic congestion problems to be greatly reduced, provided that it is accompanied by the implementation of regulatory measures for traffic circulation and road education that optimize road capacity.

Key words: Road projects; Traffic study; Structural design; Viaduct; Overpass

RESUMO

O objetivo deste artigo era propor uma solução estrutural e geométrica para os problemas de congestionamento de tráfego na cidade de La Paz, Bolívia. O estudo está dividido em três fases: primeiro, foram desenvolvidos os estudos técnicos correspondentes; segundo, foi apresentada uma análise da situação; terceiro, é apresentada a solução alternativa óptima. Como resultado, verifica-se que o tráfego de veículos na zona urbana da cidade é colapsado, gerando um impacto negativo na circulação normal de veículos motorizados, levando a um atraso nos tempos de viagem para chegar ao seu destino. Conclui-se que uma solução de infraestruturas rodoviárias com viadutos permite reduzir consideravelmente estes problemas de congestionamento, desde que seja acompanhada pela implementação de medidas de regulação do tráfego e de educação rodoviária para otimizar a capacidade rodoviária.

Palavras-chave: Projectos rodoviários; Estudo de tráfego; Concepção estrutural; Viaduto; Flyover; Ultrapassagem; Estudo de tráfego

INTRODUCCIÓN

La movilidad urbana que es parte componente para el desarrollo de las actividades económicas y, en general, de las personas, se constituye uno de los motores bajo el cual el desarrollo de los países crece y es más dinámico, ya que este permite reducir los tiempos de viaje de las personas para llegar a sus destinos y, con ello, desarrollar sus actividades de manera normal, sin contratiempos (Hasan, 2010). La infraestructura civil para la movilidad urbana puede desarrollarse por medio aéreo, terrestre y acuático, sin duda el medio más empleado para las personas es el medio terrestre y, es aquí, donde los proyectos de infraestructura vial juegan un rol importante, porque proveen soluciones inmediatas y efectivas a los problemas de congestamiento vehicular en áreas urbanas (Olivares y Piscocoya, 2020).

En Bolivia se tiene ciudades importantes con un tráfico vehicular considerable que hoy en día reflejan problemas de movilidad de sus habitantes. Si bien se tiene una oferta de medios de transporte terrestre, estos no cuentan con una infraestructura vial acorde a las necesidades y tiempos de viajes demandados por los usuarios, lo cual repercute de manera implícita en el desarrollo de cada región, reflejándose a través de su crecimiento económico.

Un caso en específico es la ciudad de La Paz, Sede de Gobierno de Bolivia, esta ciudad muestra un crecimiento poblacional directamente proporcional con la cantidad de motorizados, la urbe paceña colinda con la ciudad de El Alto, aspecto que influye y

alimenta el congestamiento vehicular de las calles y avenidas principales del casco urbano, saturando las vías y alcanzando su máxima capacidad. Se generan constantes problemas de congestión vehicular y desorden en la circulación de motorizados y peatones.

El objetivo de este artículo fue proponer una solución de diseño estructural y geométrico a los problemas de congestamiento vehicular en la ciudad de La Paz. En consecuencia, los objetivos específicos fueron: elaborar estudios técnicos y de ingeniería, analizar la situación problemática y definir la alternativa óptima de solución.

MÉTODO

El estudio tuvo como objetivo proponer una solución de diseño estructural y geométrico a los problemas de congestamiento vehicular en la ciudad de La Paz, específicamente el mercado Camacho (M-C), calle final Ingavi (C-I1), Plaza San Francisco (P-SF) y la Plaza Venezuela (P-V), mismo que fue posible alcanzar bajo un paradigma positivista. El estudio se dividió en tres (3) etapas: primero, se desarrollaron las siguientes tareas: delimitación del área de influencia, volúmenes de tráfico, estudio de velocidades, análisis de capacidades, niveles de servicio, estudios topográficos, estudios geológicos y geotécnicos, estudios de hidrología e hidráulica. En una segunda etapa se desarrolla el análisis de situación correspondiente, para finalmente, en la tercera etapa presentar la alternativa óptima de solución.

Para la delimitación del área de influencia se realizaron mediciones sobre la calzada

y las aceras, los datos complementarios se obtienen mediante revisión de documentos proporcionados por la Honorable Alcaldía Municipal de La Paz (HAML) (Atlas del Municipio de La Paz, 2006) y por observación directa. Asimismo, para determinar los volúmenes de tráfico realizaron recuentos manuales para obtener: clasificación de vehículos, números de ellos que giran y sus ocupantes. El método empleado permite conseguir datos que no es posible obtener por procedimientos mecánicos.

Para el estudio de velocidades se utiliza el método del vehículo flotante, fundamentalmente porque se trata de una zona donde se presentan demoras considerables entre los vehículos. En este método el vehículo de prueba (vehículo de flotante) realizó tres (3) viajes en la hora pico (8:00– 9:00) y tres (3) viajes en una hora no pico (20:00 – 21:00) para cada una de las rutas establecidas con la consigna de que el conductor tenía instrucciones de “flotar” en la corriente vehicular, procurando que el número de vehículos que adelante sea igual al que lo pasan. El trabajo de campo fue realizado por un conductor y dos (2) anotadores, cada anotador tuvo un cronómetro y sus planillas respectivas. Uno de ellos controlaba los tiempos de parada y su motivo y el otro anotador controlaba los tiempos de recorrido total para cada tramo de la ruta de recorrido.

El vehículo empleado fue un automóvil (marca Peugeot 405, modelo 2002), el mismo también fue utilizado para registrar

distancia en base de su kilometraje. Las distancias registradas en el vehículo fueron corroboradas con las distancias que se tienen en los planos generales de la ciudad de La Paz, de los levantamientos realizados por el GAML (Atlas del Municipio de La Paz, 2006).

Se toma como periodos de estudio las horas pico y las horas no pico, dichos periodos fueron obtenidos de los aforos vehiculares, para las estaciones que entran en las rutas seleccionadas, las horas que se tomaron en cuenta fueron de 8:00 a 9:00 (hora pico) y de 20:00 a 21:00 (hora no pico). Los parámetros de diseño se basaron en el Manual de Diseño Geométrico de la Administradora Boliviana de Carreteras (Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras Bolivia, 2008) y la Norma AASHTO LRFD (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2002) y la Norma ACI (318-95) (American Concrete Institute, 1995).

RESULTADOS

Delimitación del área de influencia

El área de influencia para este estudio se encuentra determinado para el casco urbano central de la ciudad de La Paz, específicamente: M-C, C-I1, P-SF y P-V. A partir de estos cuatro (4) puntos específicos se analizaron seis (6) rutas (ver Tabla 1 y Figura 1).

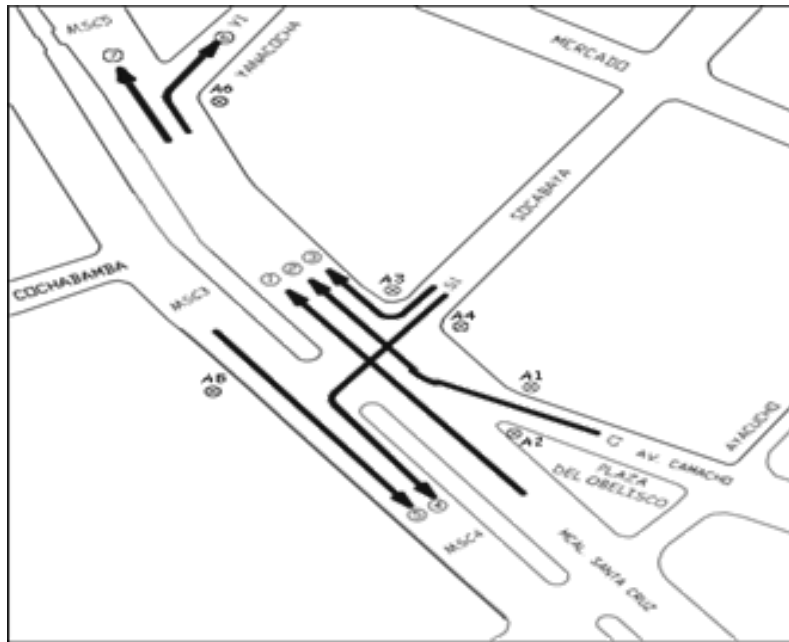


Figura 1. Mapa de Avenidas y Calles.

Tabla 1. Inventario vial de la intersección de estudio.

Ruta	Calle o avenida	Entre	Y	Longitud [m]	Ancho [m]	Acera izq. [m]	Acera der. [m]	Pendiente [%]
1	A-MSC (subida)	C-S1	C-Y1	103,05	14,80	2,78	3,72	6,5
2	A-MSC (subida)	C-A1	C-S1	78,06	9,71	2,54	2,88	5,8
3	A-MSC (bajada)	C-C1	C-O1	153,49	10,25	2,78	5,11	6,1
4	C-S1	C-M1	A-MSC	97,11	4,98	3,76	2,10	8,4
5	A-C1	C-A1	C-S1	59,61	7,65	2,30	3,30	1,0
6	C-Y1	A-MSC	C-M1	42,54	4,98	2,13	4,09	5,3

En la zona de estudio se observa que A-MSC es de doble sentido, mientras que las demás vías disponen de un (1) solo sentido. La intersección de estudio posee un control semafórico además de un policía de tránsito en las horas de mayor congestión vehicular. Existen puestos callejeros además de anaqueles, lo que da lugar a una ocupación parcial de las aceras a lo largo de las longitudes

de los sentidos. Existen flujos peatonales. Como se observa en la Tabla 1, las pendientes de los sentidos de circulación oscilan desde 1,0 % (A-C1) hasta 8,4 % (C-S1).

Volúmenes de tráfico

En la Tabla 2 se presenta la clasificación de volúmenes de tráfico promedio diario.

Tabla 2. Volúmenes de tráfico.

Tramo	Dirección del flujo		Flujo	TPD		Hora pico	Transporte vehicular horas pico		
	Desde	Hacia		Privado [%]	Público [%]		Veh/h	Privado [%]	Público [%]
1	A-MSC1	A-MSC2	12846	10,26	89,74	8:00 - 9:00 am	1091	10,82	89,18
2	A-C1	A-MSC2	8932	10,60	89,40	8:00 - 9:00 am	701	13,45	86,55
3	C-S1	A-MSC2	1521	43,92	56,08	10:00 - 11:00 am	127	35,26	64,74
4	C-S1	A-MSC4	5545	23,08	76,92	10:00 - 11:00 am	377	15,13	84,87
5	A-MSC3	A-MSC4	11778	10,06	89,94	7:00 - 8:00 am	1015	8,38	91,62
6	A-MSC2	C-Y1	4871	10,93	89,07	8:00 - 9:00 am	389	9,18	90,82
7	A-MSC2	A-MSC5	18437	13,04	86,96	8:00 - 9:00 am	1467	14,33	85,67

Como se observa en la Tabla 2, los flujos más intensos se manifiestan a lo largo de la A-MSC2 carril de subida a la A-MSC5. El tráfico supera en un 26% al tráfico vehicular del carril de bajada de la misma avenida (de A-MSC3 a A-MSC4). El giro de los vehículos provenientes de A-MSC2 hacia C-Y1 genera congestión vehicular en la intersección afectando considerablemente el flujo de A-MSC2 a A-MSC5, creando flujo intermitente.

El volumen de tráfico vehicular en C-Y1 es de 4871 [veh] que representa el 21% del tráfico que circula de A-MSC2 a A-MSC5, por tanto, la mayor cantidad que hacen paso por la intersección de estudio se ven afectados por los que giran hacia C-Y1 generando congestión y demoras que impiden libre circulación de C-S1 hacia el carril de bajada A-MSC4.

Según el análisis de horas pico, para A-MSC (carril de subida) se tiene el mayor volumen de 8:00 – 9:00 am con 1.848 [Veh/h]. Asimismo, en C-S1 de 10:00 – 11:00 am, el flujo es 497 [Veh/h]. Como consecuencia los vehículos que

llegan de C-S1 no ingresan en su totalidad a A-MSC (carril de bajada) en semáforo verde (40 s), quedando así vehículos parados en medio de A-MSC (carril de subida) provocando saturación vehicular.

Asimismo, la mayor parte del tránsito es generado por el transporte público; compuesto por: taxis, radiotaxis, trufis, minibuses y buses de 30 y 50 asientos. A-MSC presenta una considerable cantidad de minibuses (962 minibuses) los cuales representan el 52% del tráfico que circula por el carril de subida en hora pico (1848 veh/h). Mientras que en el carril de bajada de la misma avenida la cantidad de minibuses se reduce a 526 minibuses, es decir, un 41% del tráfico que circula en la hora pico (1283 veh/h). Por otra parte, el tráfico vehicular que circula por C-Y1 en la hora pico es de 382 veh/h; el 65% de este tráfico está conformado por minibuses, es decir, 249 minibuses. El volumen de minibuses mencionado anteriormente representa más o menos la cuarta parte de la cantidad de minibuses que circulan por la A-MSC. El tráfico que circula por C-S1 está compuesto

principalmente por taxis y radio taxis; éstos representan el 44% del tráfico total que circula en dicha calle en la hora pico, es decir, 219. C-S1 posee el mayor porcentaje de transporte privado respecto a los demás accesos a la intersección de estudio (20.32%).

Estudio de velocidades

Las estaciones que permitieron determinar la velocidad media y los niveles de servicio, se constituyeron, según se muestra en la Figura 2, en seis (6) rutas:

Ruta 1, representada con color rojo; Ruta 2, color magenta; Ruta 3, color verde; Ruta 4, color naranja; Ruta 5, color azul y; Ruta 6, color celeste. Se consideraron los siguientes periodos de tiempo: 8:00 a 9:00 am (hora pico) y de 20:00 a 21:00 p.m. (hora no pico). La evaluación de las velocidades en la hora no pico permitió determinar la velocidad promedio de la ruta en condiciones ideales y a partir de ello determinar las causas que generan el decremento en horas pico.

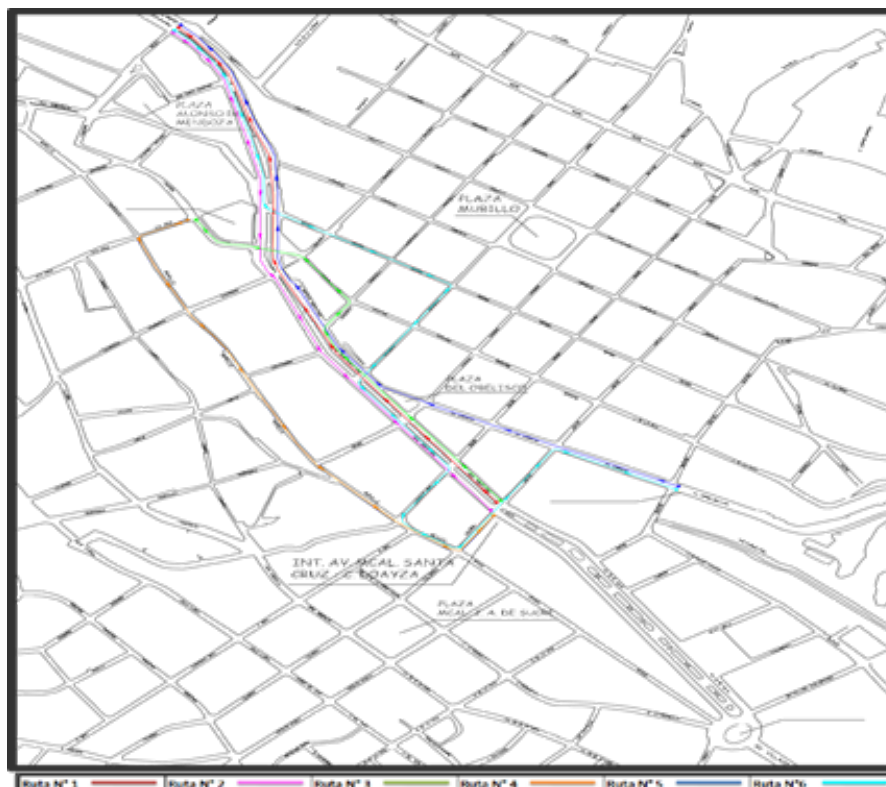


Figura 2. Rutas consideradas en el estudio de velocidades.

Tabla 3. Rutas consideradas en el estudio de velocidades.

	DISTANCIA RECORRIDA [Km]	VELOCIDAD PROMEDIO [Km/h]		VELOCIDAD PROMEDIO [Km/h]	
		20:00 - 21:00 p.m.		08:00 - 09:00 a.m.	
		VEL. RECORRIDO	VEL. CRUCERO	VEL. RECORRIDO	VEL. CRUCERO
1	0,98	21,38	23,92	18,49	22,72
2	1,00	23,93	25,78	20,69	25,00
3	0,71	10,99	14,67	5,49	10,76
4	0,82	18,20	18,87	12,22	14,09
5	1,17	21,43	26,39	16,34	22,11
6	1,65	17,48	21,31	8,43	10,76

En la Tabla 3, se aprecia las velocidades de recorrido y crucero determinadas en hora pico y no pico, para el cálculo se midió la distancia recorrida por cada ruta y el tiempo que demora el recorrido. A partir de los recorridos realizados en el estudio de velocidades se afirma que no existe congestión total, pero si existen flujos intermitentes principalmente en C-S1 y C-Y1. La velocidad en la intersección de estudio varía entre 17 – 20 [Km/h]. Para en la propuesta se considera una velocidad de diseño de 40 [Km/h], el doble el valor actual.

Análisis de capacidades

Según el Manual de Capacidades de Carreteras (HCM – 94) (Transportation Research Board, 1994), la capacidad del grupo de carriles se calcula de la siguiente manera:

$$c = \frac{S \times g}{C}$$

Donde:

- c : Capacidad del grupo de carriles [uvp/h]
- S : Flujo de Saturación [uvp/h]
- g : Tiempo efectivo de verde [s];
- C : Tiempo de ciclo [s]

El flujo de saturación está dado por la siguiente expresión:

$$S = K \times w$$

Donde:

- S : Flujo de Saturación [uvp/h]
- K : Constante de proporcionalidad
- w : Ancho de calzada [m]

El valor de K para el centro urbano de La Paz es 359 (Control de Tráfico Vehicular y Semaforización, 2007).

Tabla 4. Capacidad del grupo de carriles.

APROXIMACIÓN	w [m]	S [veh/h]	g [s]	C [seg]	c [veh/h]
A-MSc (subida)	14,80	4026	41,2	89,0	1865
A-MSc (bajada)	10,25	2788	41,2	89,0	1291
C-S1	4,98	1215	34,7	89,0	473

Finalmente, según se observa en la Tabla 4, las capacidades determinadas para los diferentes grupos de carriles que se aproximan a la intersección de estudio son: A-MSc tramo subida $c=1865$; A-MSc tramo bajada $c=1291$; y C-S1, $c=473$.

Niveles de servicio

A partir de las expresiones citadas, el nivel de servicio para cada acceso se presente en la Tabla 5.

Tabla 5. Demoras y niveles de servicio.

APROXIMACIÓN	1er TÉRMINO DE LA DEMORA (d1FD)				2do TÉRMINO DE LA DEMORA (d2)			ACCESO	
	REL.	REL.	d ₁	FD	CAP. "c"	FACTOR DE	d ₂	DEMORA	NIVEL DE
	"l/c"	"g/C"	[seg/veh]		[veh/h]	CALIBR. "m"	[s/veh]	[s/veh]	SERVICIO
A-MSc (subida)	1,054	0,463	19,0	1,585	1865	8	26,9	57,0	E
A-MSc (bajada)	0,985	0,463	17,9	1,202	1291	12	13,7	35,3	D
C-S1	1,025	0,390	21,0	0,357	473	4	22,0	29,5	D

Los niveles de servicio (NS) obtenidos a partir de la demora media de cada acceso a la intersección muestra que A-MSc (Subida) posee NS= E, que tiende cambiar a NS F ya que la demora estimada para este acceso (57,0 s) se halla próxima al límite permitido para NS E (60 s). Asimismo, Av. Camacho influye en gran manera al NS que posee A-MSc (Subida), puesto que el carril de bajada tiene NS D, que relativamente mejor al NS que posee el carril de subida.

A partir de la determinación de las demoras para los accesos de la intersección

se afirma que aún no se da una congestión total (NS F), pero si se registran demoras de gran consideración principalmente en el carril de subida A-MSc (57,0 s). Por otra parte, se puede apreciar que la demora de C-S1 es bastante elevado (29,5 s), este valor se debe a las "colas" que se producen sobre la A-MSc (Subida) lo cual no permiten un flujo libre a los vehículos provenientes de C-S1.

En la Tabla 6 se presenta los resultados del cálculo de Demora Media de la Intersección.

Tabla 6. Demoras y niveles de servicio.

APROXIMACIÓN	I [uvp/h]	DEMORA [s/veh]
A-MSC (subida)	1965	57,0
A-MSC (bajada)	1272	35,3
C-S1	485	29,5
SI _A		3722
SdAIA		171268,89
di [seg/veh]		46,0
NS de la Intersección		E

Como puede observarse la A-MSC (Subida) influye de gran manera en el NS de la intersección, ya que los elevados tiempos de demora (57,0 y 35,3 s en el carril de subida y bajada respectivamente) hacen que dicha intersección posea un NS E haciendo más notable la influencia de la congestión vehicular, donde muchos vehículos se detienen y la proporción de vehículos que no se detienen disminuye.

La proyección de tráfico en hora pico para el año 2032 es la siguiente: 2476 en A-MSC (subida); 1402 en A-MSC (bajada) y, finalmente, 695 en C-S1.

Estudios topográficos

La topografía del área de estudio es irregular como lo es en general la topografía que presenta la ciudad de La Paz, la misma que se caracteriza por tener una variedad de pendientes en sus calles sobre todo en las arterias del casco urbano central. El plano topográfico de la zona fue proporcionado por Gobierno Autónomo Municipal de La Paz (2006).



Figura 3. Plano topográfico del área de estudio.

Estudios geológicos y geotécnicos

La cuenca de La Paz está conformada por numerosos tipos de suelos, los cuales sirven para fundar todo tipo de construcciones en la ciudad. Estos suelos se encuentran además en condiciones naturales bastante variadas.

El área de emplazamiento del proyecto se encuentra sobre las Gravas Miraflores. Las principales características que posee este suelo se presentan a continuación.

Gravas Miraflores, esencialmente gravas arenosas a arenosas limosas, con lentes arenosos – limosos – arcillosos y localmente con niveles intercalados de extensión muy variable, de materiales finos retrabajados.

- Clasificación: GW o GP hasta GM o GC.
- Granulometría muy extendida: Hasta 85% > 10 cm; A partir de los elementos < 10 cm se posee granulometría frecuentemente

próxima a la curva Talbot de compacidad máxima: más de 40% > 2mm, menos de 30% < 80 (generalmente menos del 20%) menos de 5% < 2 μ

- Clastos redondeados, de tamaño mediano 10 – 50 cm, y pedrones hasta varios metros de diámetro, predominancia de granitos (algunos alterados), con cuarcitas, areniscas y pizarras.

- Plasticidad generalmente baja, a veces media:

$$IP \leq 10 \text{ (15)}$$

$$WL \leq 30$$

$$WP \leq 20$$

$$EA \geq 20$$

- Densidad seca alta, variable según la proporción de matrix:

$$\gamma_d = 1.80 - 2.20$$

$$W_{sat} = 8 - 18\%$$

$$\gamma_{sat} = 2.15 - 2.40$$

- Densidad específica alta: $s = 2.70 - 2.80$
- Características mecánicas: en estado seco, cohesión natural muy fuerte (cf. Naturaleza y densidad); farellones altos y verticales; ángulo de fricción netamente superior a 35°.
- Permeabilidad media a fuerte (alrededor de 1,10-3 m/s)
- Los lentes e intercalaciones de material fino limoso arcilloso presentan evidentemente características físico – mecánicas variables, generalmente medias a bajas:

Clasificación: SP a SM o SC y CL o ML

$$\gamma_d = 1.60 - 1.80$$

Plasticidad media, a veces IP > 30

- Presencia frecuentemente de napas suspendidas en las gravas, debidas a los lentes de terrenos finos.
- Presencia de una cobertura de coluvios, poco resistentes, hasta 5,50 m de profundidad.
- Debajo de los grandes pedrones, se observan frecuentemente lentes limoso – arcillosos de 5 a 15 cm de espesor.
- Es el mejor terreno de fundación de la Cuenca. Localmente, puede tener demasiada
- proporción de finos o de pedrones de gran tamaño.
- Carga admisible:

En las gravas: $Q_{adm} = 2.50 - 4.50 \text{ kg/cm}^2$ o más, generalmente > 3 kg/cm^2

En los lentes arenosos: $Q_{adm} = 2.00 - 2.60 \text{ kg/cm}^2$

En los lentes finos: $Q_{adm} \leq 1.60 \text{ kg/cm}^2$

En Proyecto de Grado que se realizó se adopta como capacidad de soporte admisible del suelo el valor de 2,0 [kg/cm^2].

Estudios de hidrología e hidráulica

La construcción de un drenaje adecuado es un factor importante en la localización y el diseño geométrico de la vía, principalmente a la que se refiere a A-MSC, estas deben proveer en forma adecuada el alejamiento del flujo

hidráulico de la superficie del pavimento, hacia canales que tengan un diseño apropiado. A partir de la estimación de los caudales máximos procedentes de las cuencas adyacentes a la vía para un periodo de retorno determinado, se realiza el diseño del sistema de drenaje, para ello será de importancia la determinación de ciertos parámetros que se detallan en el presente estudio.

cuenca del río Choqueyapu, hasta el punto de control definido en la denominada “Gruta de Lourdes”, en virtud de que se encuentra dentro de la zona de influencia de presente proyecto. En la Figura 4 es posible observar las subcuencas que componen la cuenca principal en la zona del casco urbano central y en el Parque Urbano Central.

Cuenca en la zona del proyecto, El estudio se realiza sobre la cuenca del río La Paz, que se subtiende desde los límites superiores de la



Figura 4. Identificación de las subcuencas en la zona del proyecto.

Características hidráulicas, el ingreso del Río Choqueyapu a la Zona Central se da a la altura de la CB. Los conductos del Choqueyapu en esta zona son mayoritariamente embovedados. Las longitudes de tramos son de 40 m hasta 150 m, con caídas entre 2 y 3 m.

Análisis de la situación

El congestionamiento vehicular en las horas pico de la intersección A-MSA y C-S1, se acrecienta debido a las paradas que realizan los vehículos, principalmente los de transporte público. Los usuarios del servicio público generan paradas no oficiales según comodidad, provocando constantes demoras.

La existencia del punto de parada y el paso peatonal entre la calle Ayacucho (C-A1) y C-A1 sobre la AAv. Camacho (AC-1), no permiten tránsito vehicular fluido produciendo “colas” las cuales perjudican a los vehículos que llegan de A-MSA hacia C-A1. Por otra parte, sobre la A-MSA en el carril de subida, pese a no tener una señal de parada de transporte vehicular, los conductores aprovechan de la Plaza del Obelisco (P-O) para la carga y descarga de pasajeros.

La prohibición de estacionamiento de vehículos a lo largo de A-MSA, como se pudo constatar, es ignorada por los vehículos públicos y la Dirección de Tránsito de la Policía Nacional que usan la calzada en ambos sentidos, obstaculizando la circulación sobre todo en horas de mayor demanda vehicular (8:00 – 9:00, 11:00 – 13:00, 16:00 – 18:00).

Otro conflicto identificado es el de los vehículos que giran hacia C-Y1 generando “colas” que obstruyen el paso de los vehículos provenientes de C-S1, los cuales deben

esperar hasta dos tiempos de ciclo del semáforo (aproximadamente 2,5 min) para poder cruzar A-MSA en las horas de mayor demanda vehicular (11:00 – 13:00, 16:00 – 18:00). Si bien la intersección de estudio cuenta con señalizaciones tanto horizontal como vertical, las mismas no son respetadas por parte de diferentes instituciones como ser: la Policía, la Alcaldía, Universidades, Colegios; se suma el comportamiento de los peatones que intensifica la congestión vehicular.

Los aspectos mencionados anteriormente ocasionan el congestionamiento vehicular en horas pico (8:00 – 9:00, 10:00 – 11:00) y periodos de donde el flujo vehicular se torna lento (11:30 – 13:00 y 16:30 – 18:30). Por este motivo y las conclusiones desarrolladas en el Estudio de Tráfico, es necesario plantear una solución al problema, que tiende a incrementarse con el crecimiento del parque automotor, de la población de la zona y la generación del movimiento económico que se produce en el casco urbano central de la ciudad de La Paz.

Alternativas de solución

Las alternativas de solución de corto, mediano y largo plazo deben ser planteadas desde dos ámbitos. Primero, el educativo. Identificadas las causas del problema se hizo evidente la necesidad de educación vehicular para la población, en todos sus niveles. Así como existen niños que en su condición de peatones infringen las normas de tránsito poniendo en peligro su seguridad y favoreciendo la congestión vehicular; también existen funcionarios de la Policía Nacional que en su condición de conductores incumplen las normas y favoreciendo la congestión

vehicular. Este es un tema que deberá ser abordado a profundidad por otro estudio.

Segundo, el ámbito de la construcción civil. Las intersecciones en áreas urbanas generan corrientes de circulación de diferentes características, que crean puntos de conflicto, ocasionando demoras de tránsito, limitando la capacidad de la vía y provocando accidentes. En general, hay dos clases de intersecciones para evitar los conflictos en los cruces: a nivel y con pasos a desnivel; pero

atendiendo a la forma en que se realizan, según se observa en la Figura 5, se clasifican en tres tipos fundamentales: (1) Intersecciones a nivel directas, permiten cruces directos de las trayectorias de los vehículos; (2) Intersecciones a nivel rotatorias, en este caso no existen cruces directos sino maniobras de entrecruzamiento y los vehículos dan vueltas parciales alrededor de una zona central y; (3) Intersecciones con pasos a desnivel, propician cruces a distintos niveles.

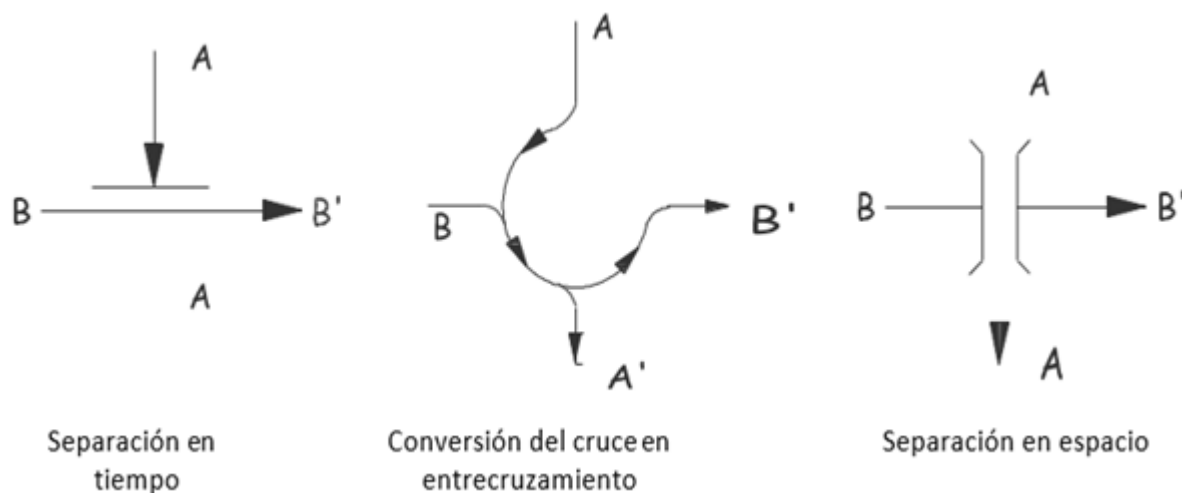


Figura 5. Representación esquemática de las tres alternativas de solución.

Actualmente la intersección de estudio corresponde a una intersección a nivel, en la cual el tránsito se regula con un control semafórico, el mismo que produce demoras (46.0 seg). El ensanche de los accesos disminuiría la congestión de la intersección, pero en una intersección urbana es muy difícil debido a las edificaciones existentes. Dada la imposibilidad de ampliar los accesos, la construcción de una rotonda significaría obstrucción en lugar de una solución. Además,

las características topográficas de la zona no permiten que las velocidades de ingreso sean iguales (el terreno no es horizontal).

La tercera opción, los pasos a desnivel, son recomendables cuando se cumplan las siguientes condiciones: tratarse de vías de alto tráfico, existencia de congestiones, accidentes frecuentes, cuando las condiciones topográficas no facilitan el paso a nivel, el costo se justifica por los beneficios que genera para los usuarios. Nótese que en el caso de

estudio se cumplen todas estas condiciones. En consecuencia, la alternativa adecuada de solución implica una separación en espacio del tráfico vehicular, es decir, un paso a desnivel. En este sentido se realizó el estudio correspondiente considerando los aspectos técnicos que justifican su ejecución.

Parámetros de diseño del paso a desnivel

Los parámetros de diseño se basaron en el Manual de Diseño Geométrico de la ABC para vías urbanas y la Norma AASHTO LRFD y la Norma ACI (318-95) para el Diseño Estructural. De esta manera se tiene los parámetros de diseño que se presentan a continuación.

Velocidad de diseño, se pretende lograr que la vía alcance un nivel de servicio igual a “B” (flujo estable con demoras leves). Además, a partir del estudio de velocidades realizado se estableció que la velocidad directriz de diseño adoptado es 40 [km/h], velocidad que es justificada por tratarse de una arteria urbana que se encuentra dentro de la zona del casco urbano central.

Volúmenes de tránsito y número de vías, el diseño de la arteria urbana se basó en el estudio de volúmenes de tránsito presentado previamente, obteniéndose así los volúmenes más críticos en las horas pico proyectados para el año 2032 (ver Tabla 7).

Tabla 7. Volúmenes de tránsito y número de vías.

Aproximación	Volumen de tráfico hora pico [Veh/h]	Número de carriles
A-MSc (subida)	2.476	4
A-MSc (bajada)	1.402	3
C-S1	695	2

El número de carriles en un acceso depende, entre otros, de la demanda de tránsito y el espacio físico que se tiene en la zona, incluyendo el plan semafórico existente. Según se muestra en la última columna de la Tabla 7, en este caso los accesos se ven limitados de gran manera por el espacio físico que presenta la zona, puesto que las edificaciones existentes no permitirían un ensanche de la calzada para poder otorgar un mejor servicio a los vehículos que circulan. Por más que los volúmenes de tránsito requieran un número de carriles mayor al existente, la adopción de esta solución sería inútil por la razón expuesta anteriormente.

Nivel de servicio, como se mencionó anteriormente el proyecto pertenecerá a un NS “B”, que corresponde a un flujo estable con demoras leves, superiores a los 5 s y hasta 15 s por vehículos.

Longitud del paso a desnivel, la longitud del paso a desnivel determinada a partir del relevamiento de la zona es de 15.80 m; corresponde a la luz libre o claro del tramo que permitirá el paso de los vehículos que vienen de C-S1 hacia el carril de bajada de A-MSc.

Tipo de estructura, consiste en una estructura isostática de un solo tramo ($L=16.00$ m), conformada por un sistema de multivigas prefabricadas y pretensadas simplemente apoyadas sobre los estribos; compuesta por los aparatos de apoyo simples y estribos de H[°]A[°] vaciados en sitio. Además, se dispone de muros de contención de H[°]A[°] vaciados en sitio para los accesos de la A-MS1 y A-C1. Para el diseño de los elementos estructurales se aplicó la Norma: AASTHO LRFD.

Sección transversal, tiene dos carriles de circulación con un ancho de calzada de 6,00 m y un ancho de acera de 1,50 m, además de una baranda metálica dispuesta en los extremos de la sección.

Pendientes, según la norma empleada por el GAMLP se recomienda una pendiente máxima de 12%. Las pendientes adoptadas para los accesos de entrada y de salida son los que se muestran a la Tabla 8.

Tabla 8. Volúmenes de tránsito y número de vías.

Acceso	Pdte. [%]
A-MS1	- 8,0
A-C1	- 8,0
A-MS2	+ 13,6
C-S1	- 4,1

La geometría de la estructura del embovedado del Río Choqueyapu (R-C), se adopta una pendiente de salida sobre A-MS1 (Subida) de +13.6%, evitando así daño sobre la estructura existente.

Drenaje, se dispondrá de sumideros de rieles dispuestos al pie de la infraestructura del paso a desnivel y la evacuación de las aguas será directamente hacia el embovedado del R-C. Por otra parte, la superestructura dispone de un sistema de tuberías (PVC 4") que van conectados de forma directa a los sumideros mencionados anteriormente.

Pendiente transversal, el bombeo que se tiene en los accesos y en la superestructura es de 1% que permite un drenaje transversal hacia las cunetas laterales de los accesos.

Gálibo vertical, según la norma empleada por el GAMLP se adopta el valor mínimo recomendado, es decir, un gálibo de 4.35 [m] para los accesos de MS1 y A-C1.

Mejoras y controles de señalización, la alternativa planteada debe estar acompañada de controles y señalizaciones que permitan, con bajo costo disminución de la congestión a partir del incremento de la capacidad de la vía de A-MS1. Las acciones por seguir son las siguientes: señalización, puntos de parada y enrejados; relocalización del comercio informal y; aplicación estricta del Reglamento del Código de Tránsito. Estas acciones acompañadas de control policial, colaboración de los conductores, peatones y usuarios, permitirá mejorar la circulación vehicular y disminuir el congestamiento.

CONCLUSIONES

Según estudio de velocidades y análisis de capacidad determinó demoras de gran consideración y sobresaturación vehicular en A-MSC. La intersección de estudio de A-MSC y C-S1 forman parte de una de las vías más importantes y de mayor circulación vehicular de la ciudad de La Paz, por las características geométricas y de superficie que presenta, se constituye como el medio de comunicación más importante para aquellos vehículos que tienen como destino la zona Norte y principalmente la ciudad de El Alto. En horas pico existen problemas de congestión vehicular, principalmente por el transporte público circulante en la intersección. Las características geométricas que presenta la vía son razonablemente adecuadas pero la capacidad de la intersección se encuentra afectada principalmente por: condiciones locales (crecimiento poblacional y área comercial), características de tránsito (movimientos de giro y transporte público), medidas de control (semáforos y señalización horizontal) y principalmente la ausencia de educación vial (señales restrictivas, irrespeto de conductores y pasajeros).

Se pudo observar en el Estudio de Volúmenes de Tránsito el mayor flujo vehicular lo presenta la A-MSC en el carril de subida (MSC2), seguido por el carril de bajada de la misma avenida (MSC4). Debido al flujo vehicular elevado que presenta el carril de subida y principalmente las características físicas y operativas que presenta la misma con respecto a C-S1, corresponde la implementación del paso a desnivel

únicamente en la intersección de las dos vías anteriormente mencionadas. Esta intersección es estratégica, el volumen de tráfico vehicular en C-A1 representa el 21% del tráfico que circula por A-MSC en el carril de subida; por tanto, la mayor cantidad de vehículos que hacen paso por la intersección de estudio tienen como destino continuar su ruta de viaje hacia la zona Norte de la ciudad y en su gran mayoría hacia la ciudad de El Alto.

La alternativa propuesta es la solución constructiva y de ingeniería que necesariamente deberá ir acompañada de educación vial, mejoras en señalizaciones y control de tránsito. Se requiere de participación del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz (GAMLP), conductores, peatones y usuarios. Los beneficios que se obtengan son indirectos: el incremento de la velocidad genera ahorro del consumo de combustible y disminución del tiempo de parada para los usuarios de la intersección.

REFERENCIAS

- ACI Committee 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI Estándar 318-95. (1995). Detroit: American Concrete Institute
- Administradora Boliviana de Carreteras. (2008). Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras. Bolivia, Ed. APIA XXI
- American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO (2002). Standard Specifications for Highway Bridges. Washington D. C.
- Condarco Aguilar Primitivo. (2007) Control de Tráfico Vehicular y Semafización. La Paz Gobierno Autónomo Municipal de La Paz. (2006). Atlas del Municipio de La Paz.

- Hasan, M. K. (2010). A framework for intelligent decision support system for traffic congestion management system. *Engineering*, 2(04), 270
- Olivares, S. M. S., y Piscocoya, C. A. E. (2020). Diseño geométrico de intercambio vial a desnivel entre la carretera panamericana norte con carretera de acceso al puerto Salaverry-Trujillo. Universidad César Vallejo. Trujillo, Perú. Obtenido de: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/48911/Olivares_SMS-Piscocoya_CAE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Transportation Research Board (1994). "Manual de Capacidades" (Highway Capacity Manual). Special Report 209 Tercera Edición