

## IMPACTO VIAL DEL TÚNEL SANTA ROSA EN LA AVENIDA PRÓCERES DE LA INDEPENDENCIA, SJL, LIMA

### TRAFFIC IMPACT ANALYSIS OF THE SANTA ROSA TUNNEL ON PROCERES DE LA INDEPENDENCIA AV., SJL, LIMA

Fecha de recepción: 23 de setiembre de 2013

Fecha de aprobación: 3 de enero de 2014

Ing. Andrés Sotil Chávez, Ph.D., P.E.  
Gerente General  
SAYS Ingeniería SAC  
Perú.  
andressotil@hotmail.com

Ing. Karen Eugenia Chalco Condorhuamán.  
Coordinadora de Proyectos Comunitarios  
TECHO  
Perú  
karen.chalco@techo.org

## RESUMEN

El presente artículo es un resumen del trabajo de investigación sobre la influencia de los proyectos de infraestructura vial en las condiciones de tráfico de la intersección Av. Perú con la Av. Próceres de la Independencia ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho (SJL) en la ciudad de Lima, Perú. De esta manera, el artículo contiene la presentación del problema de estudio, considerando las condiciones y características de las intersecciones estudiadas; descripción del flujo vehicular, compuesta por aforos de volúmenes obtenidos del estudio de tráfico del proyecto Túnel de Interconexión Santa Rosa - San Martín; y análisis de las condiciones de tráfico actuales y futuras; así como, la formulación de las soluciones. Es por ello que el objetivo principal de este trabajo es analizar la influencia de la construcción y apertura de los proyectos de infraestructura vial en las condiciones de tráfico, actuales y futuras, de la intersección Av. Perú con la Av. Próceres de la Independencia para evaluar sus niveles de servicio aplicando la metodología HCM. Por último, es importante mencionar que este trabajo se convierte en uno de los esfuerzos iniciales llevados a cabo por algunos profesionales en el país para retomar esta área para la ingeniería civil y empezar a proponer Estudios de Impacto Vial (EIV) de alto nivel técnico que, dentro de las condiciones apropiadas, puedan ser una futura solución al actual crecimiento desmedido y no planificado de la ciudad de Lima (y también de las ciudades del interior del país).

**PALABRAS CLAVES:** Impacto vial, crecimiento, ciudad, Lima, Perú, tren eléctrico, túnel.

## ABSTRACT

*The following paper is the summary of a research project studying the influence of several transportation infrastructure projects in the traffic conditions of the intersection of Av. Perú and Av. Próceres de la Independencia, located in the district of San Juan de Lurigancho (SJL), Lima, Perú. Thus, the paper provides the presentation of the study problem, considering the conditions and characteristics of the studied intersections;*

*description of the vehicular flow, composed of traffic counts collected for the traffic study of the Santa Rosa – San Martín Interconnection Tunnel project; and analysis of the current and future conditions, as well as the solution formulation. Therefore, the main objective of this work is to analyze the influence of the construction and opening of the transportation infrastructure projects in the traffic conditions, current and future, of the intersection of Av. Peru with Av. Próceres de la Independencia to evaluate its levels of service applying the HCM methodology. Lastly, it is important to mention that this work becomes one of the first attempts taken by some professionals in the country to retake this area of civil engineering, and start proposing the formulation of Traffic Impact Analysis (TIA) of high technical level that, within the appropriate conditions, may provide a future solution to the current uncontrolled and unplanned growth of the city of Lima (and other cities in the provinces)*

**KEY WORDS:** Traffic impact analysis, metro, growth, city.

## EL PROBLEMA DE ESTUDIO

A pesar de los diversos problemas en la construcción del túnel Santa Rosa – San Martín en los últimos años, este proyecto se terminará y unirá el tráfico entre los distritos limeños del Rímac y San Juan de Lurigancho (SJL), esperando mejorar el tráfico existente en la Av. Próceres de la Independencia (zona de estudio escogida por representar uno de los puntos con mayor congestión vehicular de la ciudad de Lima). Sin embargo, el proyecto se realizó sin tener información numérica y/o ingenieril sobre el efecto de estas mejoras en el tráfico existente y a futuro. Este trabajo buscó cuantificar dicho efecto en términos de los Niveles de Servicio (NdS o LoS = Levels of Service) de intersecciones aledañas, en el sector de Caja de Agua, SJL, siguiendo las metodologías disponibles del Highway Capacity Manual (HCM), Institute of Transportation Engineers (ITE) norteamericanos, el Plan Maestro de Transporte Urbano para Lima y Callao (PMTU) presentado en el 2005 y literatura disponible. Además, el trabajo se tuvo que

ampliar para incluir las mejoras que se tienen planificadas en el PMTU, como son la construcción del Tramo 2 de la Línea 1 del Metro de Lima (en construcción), la implementación de buses patrón en la Av. Próceres de la Independencia (en proceso de licitación por la Municipalidad Metropolitana de Lima, MML) y otras obras mencionadas en el PMTU. No es parte de este estudio el enlace que se propone de la Av. Próceres de la Independencia con el proyecto Vía Parque Rímac, porque hasta ahora no es claro como sería el sistema de unión o interconexión de esta obra con el distrito de SJL. Sin embargo, se tiene claro que si el proyecto Vía Parque Rímac se concreta, esta debería ser añadida a este EIV y evaluar sus efectos en el sistema.

## ESTUDIOS DE IMPACTOS VIALES EN LIMA Y NECESIDAD DE MEJORA

Es importante mencionar que este estudio no se ha hecho siguiendo los criterios mencionados en las ordenanzas de la MML (1268-2009 y 1404-2010), porque es la opinión de los autores que dichas ordenanzas confunden dos tipos de necesidades que aunque relacionadas deben ser apropiadamente separadas. Por un lado, se tiene la necesidad de evaluar los NdS de calles, avenidas e intersecciones y proponer recomendaciones de mejora esquemática al sistema carretera o urbano existente aledaño. Esto es el EIV propiamente dicho, realizado para condiciones actuales y condiciones futuras (5, 10 o 20 años según el tamaño y alcance del proyecto).

Una vez terminado esto, recién ahí se puede iniciar la fase de desarrollo de planos de obras de mejora, mitigación o reconstrucción, según lo recomiende el EIV. Las ordenanzas mencionadas mezclan el proceso en uno solo, desvirtuando la necesidad de evaluar el EIV y tratándolo como una parte de un expediente técnico más, y más aun, no especifican una proyección a futuro más allá de los 12 meses, lo cual hace que el estudio mismo no tenga valor ingenieril a futuro. Así, el alcance de este EIV (y como futuros estudios deberían ser) termina en la propuesta esquemática de mejoras a las intersecciones estudiadas para condiciones actuales y a un horizonte de 20 años.

## LA ZONA DE ESTUDIO Y GEOMETRÍA ACTUAL DE INTERSECCIONES

La zona de estudio, integrada por las intersecciones Av. Lima con Av. Próceres de la Independencia (Intersección C), Av. Perú con Av. Próceres de la Independencia (Intersección A) y la ramificación Av. 9 de Octubre en Av. Próceres de la Independencia y Malecón Checa, paralela al margen del río Rímac (Intersección B), se encuentra ubicada en la urbanización Caja de Agua del distrito de SJL, tal como se observa en la figura 1 y 2.

Las figuras 3, 4 y 5 muestran las intersecciones A, B, y C, respectivamente, de forma esquemática, indicando el número de carriles y giros permitidos/diseñados.

Actualmente, no hay semáforos en la intersección A ni señalizaciones de pare porque el flujo vehicular de la Av. Perú es escaso (solamente circulan algunos mototaxis y pocos vehículos livianos) y, además, existe un puente peatonal para cruzar la Av. Próceres de la Independencia. Mientras tanto, las otras dos intersecciones si se encuentran semaforizadas, con diferente ciclo semafórico y sin coordinación.

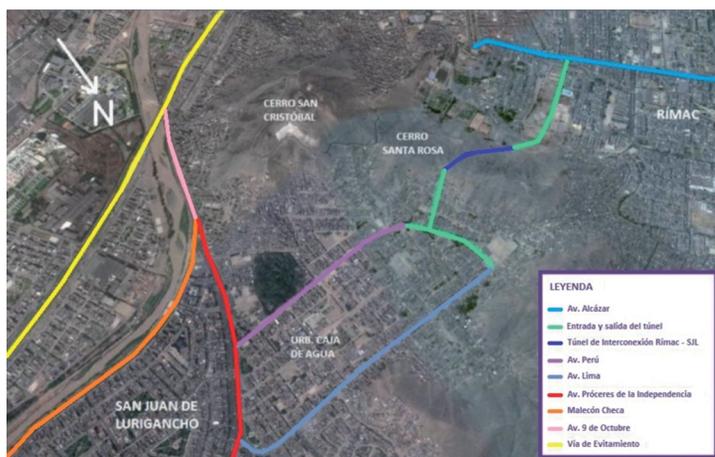


Figura 1: Plano de ubicación de la zona de estudio (vista satelital)  
Fuente: Elaboración propia en base a fotografía digital de Google Earth



Figura 2: Plano de ubicación de las intersecciones de análisis  
Fuente: Elaboración propia en base al plano de calles de Google Maps

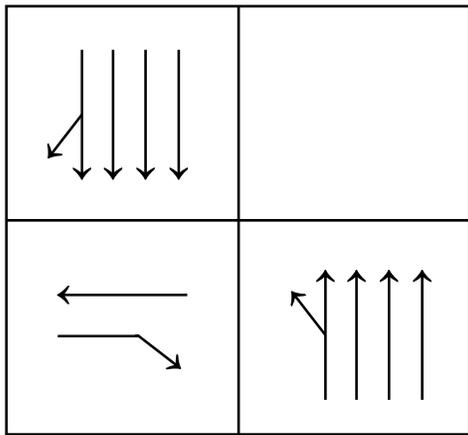


Figura 3: Diagrama Esquemática Actual de la Intersección A. / Fuente: Elaboración propia en base al plano de calles de Google Maps

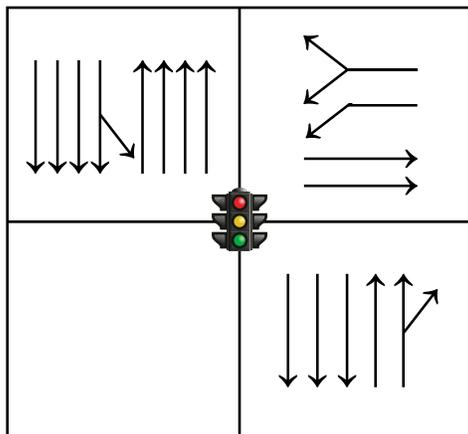


Figura 4: Diagrama Esquemática Actual de la Intersección B. / Fuente: Elaboración propia en base al plano de calles de Google Maps

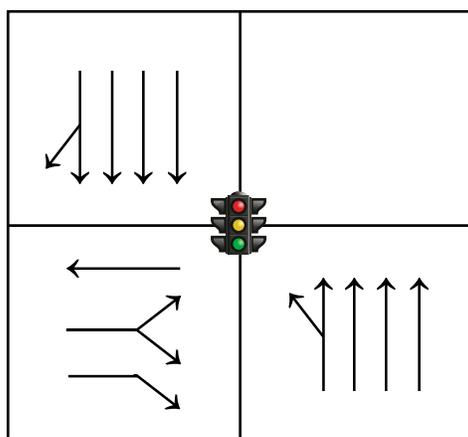


Figura 5: Diagrama Esquemática Actual de la Intersección C. / Fuente: Elaboración propia en base al plano de calles de Google Maps

## NDS ACTUALES

Este análisis se realizó tanto para las horas punta de la mañana (HPM) como en la tarde (HPT). La evaluación de los NdS de las intersecciones se determinó según la semaforización actual, conformados por la duración del ciclo y el número de fases de operación del tráfico.

Los datos compilados para la HPM (figura 6) y la HPT (figura 7) de la intersección C se agruparon en tres movimientos, los cuales llegan a la intersección desde los sentidos SN (A), NS (B) y OE

Movimientos	TOTAL
AF	1886
AFI	368
BF	2613
BFD	27
CD	1441
CI	54

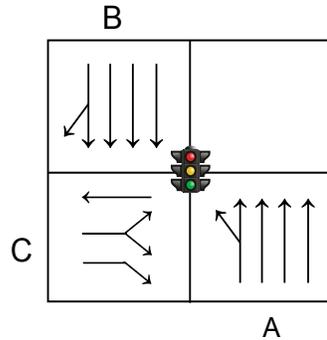


Figura 6: Movimientos del flujo vehicular actual - Av. Lima (HPM)  
Fuente: Elaboración propia

Movimientos	TOTAL
AF	1676
AFI	327
BF	2323
BFD	24
CD	1281
CI	48

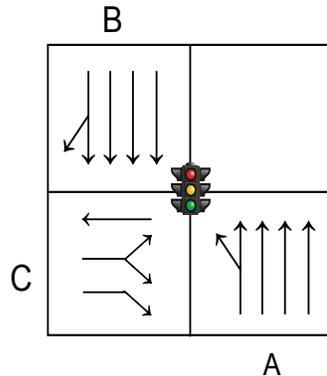


Figura 7: Movimientos del flujo vehicular actual - Av. Lima (HPT)  
Fuente: Elaboración propia

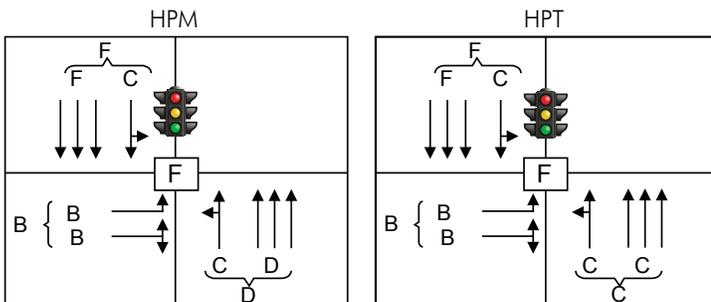


Figura 8: Niveles de Servicio para la Intersección C en HPM y HPT  
Fuente: Elaboración propia siguiendo metodología HCM

(C). Los movimientos identificados son en sentido solo de frente (F), de frente e izquierda (FI), solo izquierda (I), solo derecha (D), solo de frente y derecha (FD).

La duración del ciclo es 110 segundos, dividido en dos fases, donde la luz verde y ámbar es de 62 y 3 s, y 42 y 3 s para los movimientos A y B, y C, respectivamente.

Siguiendo la metodología HCM se pudo calcular las demoras por intersección, acercamiento y movimiento, tal como se muestra en la tabla 1 (HPM) y la tabla 2 (HPT). Se puede observar que el NdS de la intersección C es F y E debido a que las demoras promedio son iguales a 117,9 y 65,2 segundos durante los períodos HPM y HPT, respectivamente. Gráficamente, esto se puede observar en la figura 8.

Este trabajo muestra el análisis realizado para la intersección B de forma similar (NdS HPM = F, NdS HPT = E), mientras que a la intersección A (de estudio) no se le hizo el análisis porque el tráfico es muy ligero, ya que el túnel aún no entra en funcionamiento. NdS en E y F cuantifica el estado de falla en la que se encuentran la zona de estudio hoy y justifica la necesidad de realizar las obras viales mencionadas al inicio.

## CONDICIONES FUTURAS, CRECIMIENTO VEHICULAR Y NUEVOS PROYECTOS

Para el análisis de las condiciones futuras del tránsito, consideraremos los cambios de las características geométricas de las intersecciones A y C, producto de la construcción del túnel de interconexión Rímac – SJL y del segundo tramo del Tren Eléctrico (de 4 carriles a 3 carriles, por la construcción del terminal Caja de Agua). Asimismo, evaluaremos el comportamiento vehicular del tráfico proyectado estimado según los factores de crecimiento demográfico y socioeconómico, el grado de saturación de las vías debido al funcionamiento del túnel, y la reestructuración de la composición vehicular por presencia del segundo tramo del Tren Eléctrico y la implementación del bus patrón.

En cuanto al flujo vehicular futuro, proyectado a 20 años se utilizaron los valores de 2,2% como tasa de crecimiento promedio económico y 3,2% como tasa de crecimiento promedio demográfico (explicados en detalle en la tesis). La tabla 3 muestra estos crecimientos para las tres intersecciones.

Con estos flujos vehiculares futuros, debemos distribuirlos de acuerdo a la composición vehicular equivalente de la zona, según lo muestra el PMTU. En la tabla 4 se indican los porcentajes de distribución de los vehículos particulares, ómnibus y coasters para cada intersección de estudio.

Tabla 1: Nivel de servicio actual - Av. Lima (HPM)

DATOS						CÁLCULOS						LOS	
Dirección	v	s	g	C	PF	v/s	g/C	c=sg/C	X=v/c	d1	d2	DEMORA	LOS
AF	1886	5100	42	110	1	0,37	0,38	1947,3	0,97	25,3	10,2	35,6	D
AFI	368	1500	42	110	1	0,25	0,38	572,7	0,64	21,2	1,7	22,9	C
BF	2613	5100	42	110	1	0,51	0,38	1947,3	1,34	32,8	217,9	250,7	F
BFD	27	1600	42	110	1	0,02	0,38	610,9	0,04	16,2	0,0	16,2	C
CD	1441	3200	62	110	1	0,45	0,56	1803,6	0,80	14,5	1,9	15,0	B
CI	54	1500	62	110	1	0,04	0,56	845,5	0,06	8,3	0,0	8,3	B
Inters.	6389											117,9	F

Fuente: Elaboración propia siguiendo metodología HCM

Tabla 2: Nivel de servicio actual - Av. Lima (HPT)

DATOS						CÁLCULOS						LOS	
Dirección	v	s	g	C	PF	v/s	g/C	c=sg/C	X=v/c	d1	d2	DEMORA	LOS
AF	1676	5100	42	110	1	0,33	0,38	1947,3	0,86	23,8	3,0	25,0	C
AFI	327	1500	42	110	1	0,22	0,38	572,7	0,57	20,4	1,0	21,5	C
BF	2323	5100	42	110	1	0,46	0,38	1947,3	1,19	29,3	100,9	130,2	F
BFD	24	1600	42	110	1	0,02	0,38	610,9	0,04	16,2	0,0	16,2	C
CD	1281	3200	62	110	1	0,40	0,56	1803,6	0,71	13,3	0,9	14,2	B
CI	48	1500	62	110	1	0,03	0,56	845,5	0,06	8,2	0,0	8,2	B
Inters.	5679											65,2	F

Fuente: Elaboración propia siguiendo metodología HCM

A continuación, se detallarán los pasos realizados para los escenarios de la evaluación del NdS y optimización de la semaforización, y la propuesta de sincronización de la ola verde para las tres intersecciones.

## ESCENARIO A

Según el PMTU, la frecuencia de operación ferroviaria del segundo tramo de la Línea 1 del Tren Eléctrico, ruta Grau – Bayóvar, permite un volumen máximo de 60 000 personas por hora, considerando que cada unidad tendrá diez vagones y transitarán cada 2,5 minutos, es decir, 250 personas por vagón. Por ello, este escenario considera que 30% del flujo de vehículos particulares y 70% del volumen de transporte público utilizarán el Tren Eléctrico, asumiendo que los vehículos particulares, ómnibus y coasters tienen una capacidad de 2, 60 y 30 pasajeros, respectivamente. De esta manera, podemos encontrar los nuevos flujos para vehículos reales y equivalentes, tal como se muestra en la tabla 5.

Por ello, la futura cantidad de unidades de transporte (ver tabla 6), será distribuida según los movimientos de los flujos direccionales

de cada intersección para facilitar su análisis, incluyendo el flujo generado por el túnel de interconexión: 2 600 veh/h hacia Rímac y 1 300 veh/h hacia SJL durante la HPM, y 1 300 veh/h en ambas direcciones durante la HPT, considerando un nivel de servicio C, según lo define el HCM.

## ESCENARIO B

Según el programa de reordenamiento vehicular propuesto por la Municipalidad Metropolitana de Lima, la Av. Próceres de la Independencia será la ruta de uno de los corredores complementarios del sistema de transporte integrado de Lima y Callao. La finalidad de esta reforma vehicular consiste en retirar todas las unidades de transporte público de la avenida arterial para implementar la circulación de los buses patrón articulados de 18 metros de largo (modelo Euro IV). De esta manera, según el PMTU, la frecuencia de operación de los buses patrón permite un volumen máximo de 29 000 personas por hora, considerando que cada unidad tiene capacidad para 160 pasajeros y transitarán cada 20 segundos. Por ello, este escenario considera que 10% del flujo de autos particulares y todo el volumen restante

**Tabla 3: Proyección del flujo vehicular en 20 años (HPM y HPT)**

Intersección	# Actual de vehículos	Factor Demográfico	Factor Económico	# Futuro de vehículos
Av. Lima	6389	1,032	1,022	12391
Av. Perú	6308	1,032	1,022	12234
Av. 9 de Octubre	7356	1,032	1,022	14266

Intersección	# Actual de vehículos	Factor Demográfico	Factor Económico	# Futuro de vehículos
Av. Lima	5679	1,032	1,022	11014
Av. Perú	5607	1,032	1,022	10874
Av. 9 de Octubre	6539	1,032	1,022	12682

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4: Futura composición vehicular equivalente (HPM y HPT)**

Tipo de vehículo	Composición	Vehículos Equivalentes			F.C.V.E	Vehículos Reales		
		Av. Lima	Av. Perú	Av.9 de Octubre		Av. Lima	Av. Perú	Av. 9 de Octubre
Particular	47%	5824	5750	6705	1,0	5824	5750	6705
Ómnibus	23%	2850	2814	3281	2,5	1140	1126	1312
Coaster	26%	3222	3181	3709	2,0	1611	1590	1855
Total	96%	11895	11745	13695		8575	8466	9872

Tipo de vehículo	Composición	Vehículos Equivalentes			F.C.V.E	Vehículos Reales		
		Av. Lima	Av. Perú	Av.9 de Octubre		Av. Lima	Av. Perú	Av. 9 de Octubre
Particular	47%	5177	5111	5961	1,0	5177	5111	5961
Ómnibus	23%	2533	2501	2917	2,5	1013	1000	1167
Coaster	26%	2864	2827	3297	2,0	1432	1414	1649
Total	96%	10573	10439	12175		7622	7525	8776

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5: Futura redistribución vehicular equivalente (HPM y HPT, Escenario A)**

Tipo de vehículo	Hacia T.E.	Vehículos Reales			Vehículos Equivalentes		
		Av. Lima	Av. Perú	Av.9 de Octubre	Av. Lima	Av. Perú	Av. 9 de Octubre
Particular	30%	4077	4025	4694	4077	4025	4694
Ómnibus	70%	342	338	394	855	844	984
Coaster	70%	483	477	556	966	954	1113
Total		4902	4840	5644	5898	5823	6791

Tipo de vehículo	Hacia T.E.	Vehículos Reales			Vehículos Equivalentes		
		Av. Lima	Av. Perú	Av.9 de Octubre	Av. Lima	Av. Perú	Av. 9 de Octubre
Particular	30%	3624	3578	4172	3624	3578	4172
Ómnibus	70%	304	300	350	760	750	875
Coaster	70%	430	424	495	859	848	989
Total		4357	4302	5017	5243	5176	6037

Fuente: Elaboración propia

de transporte público (30%) usarán este sistema de transporte, asumiendo que los vehículos particulares, ómnibus y coasters tienen una capacidad de 2, 60 y 30 pasajeros, respectivamente. De esta manera, podemos encontrar los nuevos flujos vehiculares totales, conformados por automóviles y buses patrón, durante los periodos HPM y HPT, tal como se observa en la tabla 7.

## ESCENARIO C

A diferencia del escenario A, consideraremos que 40% del flujo de autos particulares usarán el Tren Eléctrico, al igual que el 70% del volumen de transporte público. De esta manera, los nuevos flujos para vehículos reales y equivalentes se muestran en la tabla 8.

Tabla 6: Flujo vehicular futuro (Escenario A)

Intersección	# Vehículos (HPM)	# Vehículos (HPT)
Av. Lima	6394	5683
Av. Perú	6313	5611
Av. 9 de Octubre	7361	6544

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Flujo vehicular futuro (Escenario B)

Intersección	# Vehículos (HPM)	# Vehículos (HPT)
Av. Lima	4499	4444
Av. Perú	4442	4388
Av. 9 de Octubre	5180	5116

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Futura redistribución vehicular equivalente (HPM y HPT, Escenario C)

Tipo de vehículo	Hacia T.E.	Vehículos Reales			Vehículos Equivalentes		
		Av. Lima	Av. Perú	Av. 9 de Octubre	Av. Lima	Av. Perú	Av. 9 de Octubre
Particular	40%	3494	3450	4023	3494	3450	4023
Ómnibus	70%	342	338	394	855	844	984
Coaster	70%	483	477	556	966	954	1113
Total		4320	4265	4973	5316	5248	6120

Tipo de vehículo	Hacia T.E.	Vehículos Reales			Vehículos Equivalentes		
		Av. Lima	Av. Perú	Av. 9 de Octubre	Av. Lima	Av. Perú	Av. 9 de Octubre
Particular	40%	3106	3066	3576	3106	3066	3576
Ómnibus	70%	304	300	350	760	750	875
Coaster	70%	430	424	495	859	848	989
Total		3839	3791	4421	4725	4665	5441

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, a diferencia del escenario B, asumiremos que 20% del flujo de autos particulares usarán el bus patrón, al igual que el volumen restante de transporte público (30%). Por ello, podemos encontrar los flujos vehiculares totales, conformados por autos y buses patrón, durante los periodos HPM y HPT, tal como se observa en la tabla 9.

## ESCENARIO D

La propuesta de cambio geométrico consiste en agregar un carril a la Av. Perú para mejorar el comportamiento del flujo vehicular. Por ello, el tránsito NS y SN de la Av. Próceres de la Independencia seguirá siendo por tres carriles bidireccionales; mientras que, en la vía local, operarán tres carriles en dirección OE. De esta manera, el flujo vehicular de la intersección (figura 9), se divide en los movimientos A (SN), B (NS) y C (OE). El movimiento A y B

permiten tres carriles de frente; y el movimiento C, uno con giro a la izquierda y dos con giro a la derecha.

## ESCENARIO E

Según el PEMTNM de la Municipalidad Metropolitana de Lima, la construcción de una red de ciclovías complementaria al Tren Eléctrico es un proyecto en etapa de evaluación e implementación a mediano plazo. Por ello, a diferencia del escenario C, consideraremos que 10% del 30% del flujo restante de transporte público se desplazará en bicicletas. De esta manera, con la finalidad de analizar el efecto de la consolidación inicial de un sistema integrado de transporte sostenible, podemos encontrar los flujos vehiculares totales, conformados por automóviles y buses patrón, durante los periodos HPM y HPT, tal como se observa en la tabla 10.

Tabla 9: Flujo vehicular futuro (Escenario C)

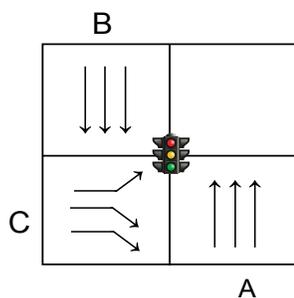
Intersección	# Vehículos (HPM)	# Vehículos (HPT)
Av. Lima	3342	3287
Av. Perú	3299	3245
Av. 9 de Octubre	3848	3784

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Flujo vehicular futuro (Escenario E)

Intersección	# Vehículos (HPM)	# Vehículos (HPT)
Av. Lima	3172	3120
Av. Perú	3134	3080
Av. 9 de Octubre	3655	3591

Movimientos	TOTAL
AF	2999
BF	2121
CD	910
CI	390



Movimientos	TOTAL
AF	2069
BF	2085
CD	910
CI	390

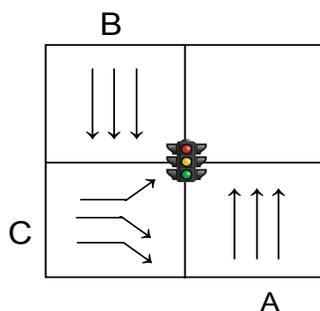


Figura 9: Movimientos del flujo vehicular futuro - Av. Perú (HPM y HPT, Escenario D)  
Fuente: Elaboración propia

Además, el análisis de este escenario incluye la coordinación de los tres semáforos analizados y como una medida propuesta para garantizar la fluidez del tránsito peatonal, se propone la implementación de pasos subterráneos diseñados mediante la normativa técnica existente en las intersecciones para disminuir los conflictos con los movimientos vehiculares y así darle mayor fluidez al tráfico.

Es importante mencionar que esta alternativa debe evaluar la proyección del aforo peatonal de la zona de estudio, considerando los flujos de entrada y salida de la estación Caja de Agua durante los períodos de hora pico, y el volumen peatonal generado por la promoción de movilidad sostenible, integrada al futuro sistema de

transporte masivo de la ciudad. Asimismo, existen otros factores determinantes para la ejecución de estos pasos peatonales: análisis de las condiciones topográficas de la zona, sistema de visibilidad e iluminación de la infraestructura, criterios de costos de construcción y mantenimiento, y mecanismos de vigilancia para garantizar la seguridad ciudadana.

## RESUMEN DEL ANÁLISIS DE ESCENARIOS

A continuación, presentaremos un resumen de los resultados obtenidos en cada escenario propuesto para el análisis del tráfico en condiciones futuras para las intersecciones A, B y C en las tablas 11, 12 y 13, respectivamente.

Como se puede ver, la distribución actual de los ciclos de los semáforos no es adecuada, provocando el congestionamiento vehicular de la zona de estudio (tablas 1 y 2, figura 8 y explicaciones). De la tabla 11 se puede observar que la intersección de salida de vehículos del Túnel Santa Rosa (Av. Perú - Intersección A) tendrá unos Nds "D" y "C" para la HPM y HPT, respectivamente, mientras que la tabla 13 muestra la intersección que permite el ingreso al túnel (Av. Lima - Intersección C), muestra Nds "F" y "E" para la HPM y HPT, respectivamente. La intersección aledaña, Intersección B, muestra también Nds "F" y "E" para la HPM y HPT, respectivamente.

Se optimizaron los tres semáforos, obteniendo una ola verde con un ancho de banda de 88 y 52 segundos (HPM), y 58 y 66 segundos (HPT) para las rutas NS y SN, respectivamente. Estos resultados demuestran que el sistema de coordinación se priorizó en dirección al Centro de Lima (NS) y Canto Rey (SN) durante los períodos HPM y HPT, respectivamente.

Es importante mencionar que, sin importar que el nivel de servicio F sea vinculado con el grado de congestión severa, donde los vehículos se desplazan en una operación cíclica de "pare y avance", estos resultados permiten comprobar que:

- Los proyectos de infraestructura vial en la zona de estudio, especialmente el segundo tramo del Tren Eléctrico, influyen directamente en la reducción de la capacidad vial (menor número de carriles en la Av. Próceres de la Independencia).
- De acuerdo al actual planeamiento del transporte urbano de la ciudad, las propuestas de reordenamiento y redistribución vehicular disminuyen los flujos vehiculares mediante la sustitución de las unidades tradicionales de transporte público por buses patrón de mayor capacidad de pasajeros y rutas modelo no motorizadas (viajes en bicicleta) integradas al sistema de transporte masivo.

Tabla 11: Resumen del análisis del NdS Futuro - Av. Perú (HPM y HPT)

	Escenario A	Escenario B	Escenario C	Escenario D	Escenario E
Duración del ciclo	150	150	130	140	150
Duración de fase	81 - 61	76 - 66	62 - 60	86 - 46	90 - 52
Duración de demoras	289,5	182,3	131,7	47,4	46,0
Nivel de servicio	F	F	F	D	D
Semáforo sincronizado	No	No	No	No	Si

	Escenario A	Escenario B	Escenario C	Escenario D	Escenario E
Duración del ciclo	150	150	130	55	150
Duración de fase	77 - 65	69 - 73	51 - 71	26 - 21	76 - 66
Duración de demoras	197,0	133,5	94,5	25,2	23,5
Nivel de servicio	F	F	F	C	C
Semáforo sincronizado	No	No	No	No	Si

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Resumen del análisis del NdS Futuro - Av. 9 de Octubre (HPM y HPT)

	Escenario A	Escenario B	Escenario C	Escenario D	Escenario E
Duración del ciclo	120	150	150	150	150
Duración de fase	94 - 18	126 - 16	126 - 16	126 - 16	126 - 16
Duración de demoras	627,1	338,7	188,9	188,9	168,5
Nivel de servicio	F	F	F	F	F
Semáforo sincronizado	No	No	No	No	Si

	Escenario A	Escenario B	Escenario C	Escenario D	Escenario E
Duración del ciclo	130	150	150	150	150
Duración de fase	106 - 16	126 - 16	126 - 16	126 - 16	126 - 16
Duración de demoras	468,0	289,1	68,3	68,3	56,5
Nivel de servicio	F	F	E	E	E
Semáforo sincronizado	No	No	No	No	Si

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Resumen del análisis del NdS Futuro - Av. Lima (HPM y HPT)

	Escenario A	Escenario B	Escenario C	Escenario D	Escenario E
Duración del ciclo	150	150	140	140	150
Duración de fase	73 - 69	83 - 59	86 - 46	86 - 46	119 - 23
Duración de demoras	528,4	288,4	199,2	196,2	162,8
Nivel de servicio	F	F	F	F	F
Semáforo sincronizado	No	No	No	No	Si

	Escenario A	Escenario B	Escenario C	Escenario D	Escenario E
Duración del ciclo	150	140	130	130	150
Duración de fase	73 - 69	72 - 60	74 - 48	74 - 48	111 - 31
Duración de demoras	343,1	213,6	128,5	127,8	56,1
Nivel de servicio	F	F	E	F	E
Semáforo sincronizado	No	No	No	No	Si

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Se pudo cuantificar que la situación actual en las intersecciones semaforizadas del estudio es de NdS "F" y "E" en la HPM y HPT, respectivamente, lo cual muestran la pésima condición en la que se encuentran.

Cuando se hizo el análisis en condiciones futuras se tomó en cuenta las diversas mejoras que van a afectar a la Av. Próceres de la Independencia, como son el Túnel Santa Rosa, el Tren Eléctrico, y los Buses Patrón. Con estas mejoras, el tráfico que se supone aumentará por temas de crecimiento se compensa con la redistribución de la composición vehicular debido a estas mejoras, en especial reduciendo el volumen de los automóviles particulares. Es por eso vital que estas mejoras se culminen lo más pronto posible y que se tomen las medidas políticas que permitan las reducciones asumidas en este trabajo, convirtiendo al chofer de auto particular en usuario de sistema de transporte masivo rápido y efectivo.

Se puede concluir que en un lapso de 20 años, con los proyectos ya en sitio, las intersecciones B y C del estudio volverán a tener problemas de NdS "F" y "E", mientras que la intersección A de estudio tendría un NdS "D" y "E", en la HPM y HPT, respectivamente. Por lo tanto, se puede decir que la conjunción de estos proyectos tienen un tiempo de vida máximo de 20 años.

Hay que hacer hincapié que estos resultados también requieren incluir el análisis peatonal que se realizó en el escenario E. Este análisis requiere la inclusión de pasos peatonales subterráneos en la estación Caja de Agua para mejorar el desplazamiento de

los transeúntes. Así también, se requiere la inclusión de los viajes no motorizados (bicicletas) que también reduce el flujo vehicular en dicho escenario.

## RECOMENDACIONES

Se ha podido concluir que las obras actuales tendrán un tiempo de vida útil de máximo 20 años. Sin embargo, esto se ha realizado teniendo como hipótesis fundamental que los comportamientos se han de mantener en este lapso de tiempo. Actualmente, el distrito de SJL, así como las actuales zonas periféricas de la ciudad, tienen aún un comportamiento predominantemente de distrito-dormitorio y no de eje o centro económico. Es fundamental entonces que se promueva en SJL el desarrollo de un entorno comercial y financiero, capaz de reducir la necesidad de trasladarse a otros polos generadores de la ciudad y que sea foco de atracción socioeconómica de la ciudad. De esta manera, los viajes hacia y desde SJL se reducirían y esto se vería en esta zona de acceso del distrito.

No se ha analizado el efecto de optimizar el uso de las vías actuales. Así por ejemplo, debería analizarse el efecto de reducir y/o restringir el tráfico de vehículos pesados durante el día. De la misma forma, se ha respetado la proyección del tren eléctrico de frecuencia de vagones, sin embargo, no se ha hecho el ejercicio para evaluar el aumentar el flujo de trenes.

Se recomienda estudiar con énfasis el efecto de incluir la Vía Parque Rímac a un lapso de 20 años y no únicamente a un período corto placista, ya que en vez de solucionar problemas,

tal vez los genere aun más en el futuro. Se dice esto analizando el efecto que tendrá el Túnel Santa Rosa que en vez de reducir el tráfico actual, ha de traer más tráfico a la Av. Próceres de la Independencia. Y si se planea incluir la Vía Parque Rímac, se recomienda se haga incluyendo algún método de transporte público con derecho de vía exclusivo.

En este análisis se incluyeron los efectos de flujos peatonales y de vehículos no motorizados. Estos han de tomar una importancia

preponderante a futuro, y con el crecimiento vehicular y actual geometría, se van a tener que tomar medidas para proteger estos movimientos. Así, se recomienda el analizar no únicamente para esta estación Caja de Agua del Tren Eléctrico sino para otras estaciones de pesada confluencia peatonal el uso de pasos diferenciados (subterráneos o elevados) para minimizar los semáforos peatonales o similares.

## REFERENCIAS

1. AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DE JAPÓN (JICA) (2005) Plan maestro de transporte urbano para el área metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú (consulta: 14 de mayo de 2011) (<http://www.ctlc-st.gob.pe/index/home.htm>)
2. AUTORIDAD AUTÓNOMA DEL TREN ELÉCTRICO (AATE) (2012) (<http://www.aate.gob.pe/>) Sitio oficial del AATE; contiene información sobre la institución y enlaces de interés (consulta: 1 de mayo)
3. CAL Y MAYOR, Rafael y CÁRDENAS, James (2007) Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones. 8ª ed. México D.F.: Alfaomega.
4. CHALCO, Karen (2012), Influencia de los proyectos de infraestructura vial en las condiciones de tráfico de la intersección Av. Perú con Av. Próceres de la Independencia ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho. Tesis de Título Profesional de Ingeniería Civil. UPC Lima, Perú.
5. GERENCIA DE TRANSPORTE URBANO (GTU) (2012) (<http://www.gtu.munlima.gob.pe/>) Sitio oficial del GTU; contiene información sobre la institución y enlaces de interés (consulta: 25 de septiembre de 2010)
6. HAY, William (2002) Ingeniería de transporte. 2ª ed. México D.F.: Limusa.
7. INSTITUTE OF TRAFFIC ENGINEERS (ITE) (1999) Traffic engineering handbook. 2ª ed. Connecticut: ITE.
8. INSTITUTO METROPOLITANO PROTRANSPORTE DE LIMA (PROTRANSPORTE) (2006) Estudio de corredores complementarios (consulta: 15 de mayo de 2011) ([http://www.protransporte.gob.pe/pdf/info/publi1/CC-F1-Capitulo\\_7.pdf](http://www.protransporte.gob.pe/pdf/info/publi1/CC-F1-Capitulo_7.pdf))
9. INSTITUTO METROPOLITANO DE PLANIFICACIÓN (IMP) (2012) (<http://www.munlima.gob.pe/imp/>) Sitio oficial del IMP; contiene información sobre la institución y enlaces de interés (consulta: 9 de junio de 2011)
10. PAPACOSTAS, C. S. y PREVEDOUROS, P. D. (1993) Transportation engineering. 2ª ed. New Jersey: Prentice Hall.
11. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB) (2003) Transit Cooperative Research Program. Report 100: Capacity and quality of service manual (consulta: 28 de abril de 2012) (<http://www.trb.org/Main/Blurbs/153590.aspx>)
12. VÍCTOR CHÁVEZ INGENIEROS S.A.C. (2009) Expediente Técnico: Vías de acceso a los túneles de interconexión vial entre los distritos del Rímac y San Juan de Lurigancho, Lima.