

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE FLUJO VEHICULAR APLICADO A LA FASE DE TIEMPOS EN LAS INTERSECCIONES DE UN CORREDOR VIAL

Tesis para optar el Título de Ingeniero Informático, que presenta el bachiller

Javier Denis Medina Nolzco

Asesor: Ing. Rony Cueva Moscoso

Lima, noviembre del 2015

CAPÍTULO 12: ANEXOS

ANEXO A

TRANSCRIPCIÓN DE LA ENTREVISTA REALIZADA CON FUNCIONARIO DE LA GERENCIA DE TRANSPORTE DE LA MML

Datos del entrevistado

Entrevistado : Ing. Iván Romero Tinoco - UNMSM

Cargo : Bach Electrónico en GTU. Municipalidad de Lima Metropolitana

Fecha y hora : 14 de setiembre del 2015. 15:30 horas.

Lugar : Oficina de la Gerencia de Transporte Urbano

Dirección : Pasaje Vicuña 127. Cuarto Piso. Cercado de Lima

Objetivos de la reunión

1. Conocer la autoridad competente y el campo de acción de la Gerencia de Transporte Urbano.
2. Conocer los proyectos realizados en la ciudad de Lima en materia de tráfico urbano.
3. Conocer el funcionamiento de la red semafórica y la comunicación con el Centro de Control de Tráfico.
4. Conocer los procesos que determinan las modificaciones en los planes de tráfico en los corredores viales.

Resumen del desarrollo de la entrevista

1.- Conocer la autoridad competente y el campo de acción de la Gerencia de Transporte Urbano

¿Cuáles son las facultades de la Gerencia de Transporte Urbano en la Municipalidad de Lima?

La Gerencia de Transporte Urbano es el área encargada de gestionar el tránsito urbano en toda la ciudad de Lima. Como parte de sus funciones, es la autoridad encargada de brindar permisos de operación de las diferentes modalidades de servicios de transporte público. Además, esta gerencia tiene a su cargo la oficina nominada Centro de Control de Tráfico ubicada en el noveno y décimo primer piso del edificio de Protransporte.

2 .- Conocer los proyectos realizados en la ciudad de Lima en materia de tráfico urbano

¿Puede describir el proyecto que realizó SICE en conjunto con la municipalidad?

La anterior gestión municipal inauguró el nuevo centro de control de tráfico de Lima (CCT). Ese proyecto se inició en el 2011 con la integración de diversos proyectos independientes que se realizaban en varias avenidas de Lima. En aquel entonces, se advirtió la necesidad de segregar los proyectos de transporte urbano y encargarlos a una autoridad competente. Es la Gerencia de Transporte Urbano (GTU) quien toma la rienda el proyecto de modernización de la red semafórica de Lima. Durante ese mismo año se inició el proyecto SIT (Sistema Integrado de Transporte) que mediante ordenanza municipal N°1613 redefinía las rutas de transporte público y anulaba la posibilidad de reinscripción al padrón municipal de empresas independientes para circular en los nominados ‘Corredores Complementarios’ de Lima. Estos son cinco: 1) Corredor Panamericana, que integra la Panamericana Norte y Panamericana Sur, con una extensión de 42.3 km. 2) Corredor Javier Prado – La Marina –Faucett, que integra las avenidas Javier Prado Este, Javier Prado Oeste, Av. Faustino Sánchez Carrión, Av. La Marina y Av. Faucett con una extensión de 18.31 km. 3) Corredor Tacna-Garcilazo-Arequipa, que integra las avenidas Alcázar, Av. Tacna, Av. Garcilaso de la Vega, Av. Arequipa, Av. Diagonal, Av. Benavides, y Av. Larco, con una extensión de 11.67 km. 4) Corredor San Juan de Lurigancho-Abancay, que integra las avenidas Wiese, Av. Canto Grande, Av. Flores de Primavera, Av. Lima, Próceres de la Independencia, 9 de Octubre, Jr. Marañón, Av. Abancay, Av. Grau, Plaza Grau, 9 de Diciembre, Plaza Bolognesi y Av. Brasil, con una

extensión de 22.32 km. 5) Corredor Carretera Central, que integra las avenidas Nicolás de Ayllón, Av. Grau, Plaza Grau, 9 de Diciembre, Av. Arica y Av. Venezuela, con una extensión de 24.21 km. Debido a la envergadura del proyecto se convoca a licitación para la implementar un oficina encargada de la gestión y modernización de la infraestructura necesaria para estos corredores. La licitación es ganada por la consultora española SICE quien se encarga de ambas tareas. En un primer momento, mientras se implementaban todos los corredores con la infraestructura necesaria, la definición de los tiempos de la frecuencia de luces era en base a programación de luces.

¿Siguiendo el método HCM?

Así es. A finales del 2014, como segunda fase del proyecto, la misma empresa española integró la herramienta ADIMOT para la gestión de la red semafórica. Con esta herramienta ya es posible modificar el plan de tráfico remotamente, sin la necesidad de reconfigurar el controlador de la intersección personalmente.

3.- Conocer el funcionamiento de la red semafórica y la comunicación con el Centro de Control de Tráfico Urbano.

¿Cómo se registran los datos de las intersecciones que gestionan?

La conexión de todas intersecciones se realizan mediante fibra óptica y todas ellas terminan en el décimo primer piso del edificio de Protransporte. Desde esa oficina podemos ver y controlar los juegos de luces de los semáforos.

¿Qué datos registran en cada intersección?

Aproximadamente unos 70 metros antes de cada intersección hay una cámara de visión artificial, a veces está encima del semáforo. Lo que hace este dispositivo es contabilizar la cantidad de autos que circulan por una sección de la avenida. Por lo general, la

contabilidad se hace solo en la avenida principal pues no todas las avenidas o calles que la intersectan cuenta con estos dispositivos.

El dato que registra esta cámara es el número de autos que cruzan ese punto de control al cual apuntan. También clasifica el tipo de vehículo como automóvil o camión, usando una fórmula llamada Unidad de Conversión Vehicular que convierte estos datos a un número total de autos. Esto sirve para hacer un ligero ajuste al cálculo del tiempo que se determina para la fase verde de la avenida principal. Este conteo se realiza a lo largo de todo el ciclo para luego ser enviado al CCT mediante la fibra óptica.

¿Y eso les permite determinar cuando se produce un embotellamiento? ¿Cómo funciona en ese caso?

Lamentablemente, por falta de mantenimiento no funcionan todas éstas cámaras y por lo tanto no se registran los datos en todos los puntos de control de las intersecciones. Solo con las que están disponibles podemos monitorear el tráfico y contabilizar los autos y los ingenieros realizan los cálculos necesarios para hacer modificaciones si fuera necesario.

4.- Conocer los procesos que determinan las modificaciones en los planes de tráfico en los corredores viales.

[continúa de la respuesta anterior] Estos datos que son recibidos son ingresados al sistema ADIMOT. Este sistema tiene métodos de funcionamiento. Aquí usamos micro-regulación o manual.

¿Entonces ustedes determinan manualmente los ciclos de los semáforos de cada intersección?

Sí, pero normalmente funciona siguiendo lo que se conoce como 'plan de tráfico'. A lo largo del día, se han definido ocho planes de tráfico, siete para el día y uno para la noche y éstos se activan según el conteo vehicular. El tráfico tiene hora punta y hora valle y según

la variación de éste es que el sistema puede terminar qué plan de tráfico corresponde para la red de semáforos en un corredor vial.

¿Cómo determinan estos planes de tráfico?

Eso se determina con el conteo de autos que se ingresa al simulador (Synchro) que es quién determina los planes de tráfico según el volumen de autos. El volumen ha venido incrementando durante muchos años, así que esos planes se tienen que actualizar cada tres o cuatro meses.

¿Y cuándo el sistema entra en funcionamiento manual?

Cuando se quiere hacer una modificación de la configuración de una intersección en particular. Se puede realizar desde el Centro de Control o en el mismo controlador de la intersección.

¿Qué sucede si hay un accidente, un evento o algún hecho fortuito que modifique el flujo normal de auto? ¿Cómo reacciona el sistema ante ello?

No hay planes de tráfico definidos para esas circunstancias, pero podría en esos casos se puede realizar un ajuste manual para las intersecciones.

¿Qué algoritmos usa el sistema ADIMOT?

Usa algoritmos propios. ADIMOT sirve para controlar la red de semáforos, pero los planes de tráfico son realizados con Synchro. En este sistema ingresamos datos, realizamos ajustes y se determina los planes que ADIMOT deberá gestionar según los datos históricos de los últimos tres o cuatro meses que es cuando se actualizan estos planes.

Observaciones

- La realización de la entrevista se realizó en presencia del Ing. Juan Guerra quién aportó con información detallada de los procesos de gestión del tráfico.
- Durante la entrevista no se permitió la grabación audiovisual ni fotográfica por lo que se transcribe tan solo parte de la información que puede hacerse pública.

ANEXO B

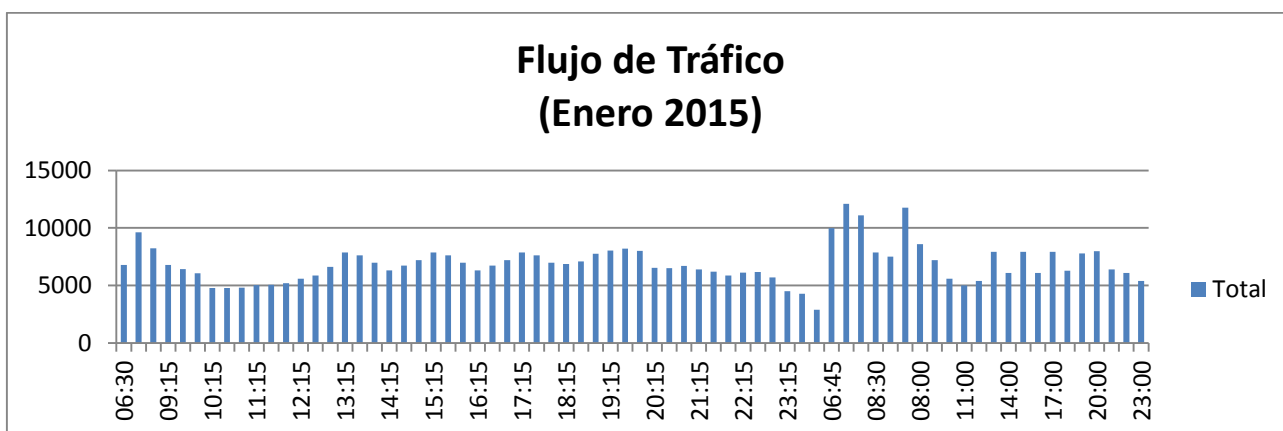
PLANES DE TRÁFICO ESTÁTICOS EN CORREDOR VIAL

N° Plan	Flujo de tráfico mín. (del corredor vial)	Tipo	Configuración $\langle b, c_1, c_2, c_3 \rangle$
1	$[q_1, q_2] = [0, 1500]$	Diurno	$\langle true, 20, 20, 20 \rangle$
2	$[q_2, q_3] = [1500, 3000]$	Diurno	$\langle true, 15, 30, 15 \rangle$
3	$[q_3, q_4] = [3000, 4500]$	Diurno	$\langle true, 30, 50, 30 \rangle$
4	$[q_4, q_5] = [4500, 6000]$	Diurno	$\langle true, 15, 60, 15 \rangle$

5	$[q_5, q_6] = [6000, 7500]$	Diurno	$\langle true, 40, 120, 40 \rangle$
6	$[q_6, q_7] = [7500, 10000]$	Diurno	$\langle true, 25, 150, 25 \rangle$
7	$[q_7, q_8] = [10000, +]$	Diurno	$\langle true, 30, 180, 30 \rangle$
8	-	Nocturno	$\langle true/false, 0, 0, 0 \rangle$

FLUJO DE TRÁFICO HISTÓRICO EN CORREDOR VIAL

En el gráfico se presenta el flujo de tráfico vehicular registrados en un corredor vial con intervalos de 15 minutos.



ANEXO C VIABILIDAD Y PLAN DE PROYECTO

Viabilidad técnica:

Los requerimientos para el desarrollo del proyecto muestran que las implicancias tecnológicas están cubiertas hasta la culminación del proyecto. Estas se detallan a continuación:

- a) Software necesario: Las herramientas para el desarrollo (IDE, marco de desarrollo) cuentan con las licencias CDDL y la GPL lo cual garantiza su disponibilidad de uso con las versiones más actuales disponibles a través de Internet. Para el IDE Netbeans

se utilizará la versión 8.0.1, mientras que la versión disponible de Java es la 8, distribución 45.

- b) Recursos humanos: Los conocimientos teórico-prácticos en las herramientas y metodologías del tesista adquiridos a lo largo de la carrera garantizan suficiencia para la construcción del software. Se utilizarán conocimientos teóricos de los cursos de Estadística Aplicada, Lenguaje de Programación 2 y Desarrollo de Programas 1.














Viabilidad económica:






En cuanto al desarrollo de la herramienta de simulación, los gastos principalmente recaen en el consumo de recursos y licencias de software utilizados en la fase de implementación, ambos estimados y cubiertos por el tesista hasta la culminación del proyecto. En cuanto al costo de las licencias resulta despreciable puesto que se usan herramientas que cuentan con General Public License (GLP), incluso las herramientas estadísticas como SPSS (con licencia estudiantil), o su variante de software libre PSPPire.




Viabilidad temporal:








En promedio, se calcula que el desarrollo del proyecto de fin de carrera debe completarse en 600 horas/hombre. La estimación del proyecto de las fases de este proyecto se detalla a continuación.






Figura 1. Plan de proyecto detallado por resultados esperados

		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado
1	✓		<input type="checkbox"/> Resultado Esperado 1	11 días	lun 07/09/15	lun 21/09/15	100%
2	✓		<input type="checkbox"/> Diseño de estructura de datos de entrada	8 días	jue 10/09/15	lun 21/09/15	100%
3	✓		<input type="checkbox"/> Entrevista GTU	4 días	jue 10/09/15	mar 15/09/15	100%
4	✓		Investigar proyecto SICE Protransporte	2 días	jue 10/09/15	vie 11/09/15	100%
5	✓		Elaborar cuestionario	2 días	vie 11/09/15	sáb 12/09/15	100%
6	✓		Concertar entrevista Iván Romero	1 día	lun 14/09/15	lun 14/09/15	100%
7	✓		Concertar entrevista Joan Guerra	1 día	lun 14/09/15	lun 14/09/15	100%
8	✓		Documentar entrevista	1 día	mar 15/09/15	mar 15/09/15	100%
9	✓		Programación concurrente para sensores de flujo	5 días	mar 15/09/15	lun 21/09/15	100%
10	✓		Elaboración de estructura de sensores simulados	5 días	mar 15/09/15	lun 21/09/15	100%
11	✓		Elaboración de archivo para la carga de datos simulados	5 días	mar 15/09/15	lun 21/09/15	100%
12	✓		Documentación de variación de flujo de tráfico en el tiempo	2 días	mar 15/09/15	mié 16/09/15	100%

		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado
13	✓		<input type="checkbox"/> Resultado Esperado 2	6 días	lun 14/09/15	dom 20/09/15	100%
14	✓		Implementación de módulo para juego de datos simulados	3 días	jue 17/09/15	dom 20/09/15	100%
15	✓		Configuración de flujo vehicular según datos históricos	3 días	jue 17/09/15	dom 20/09/15	100%
16	✓		Prueba de tareas concurrentes	6 días	lun 14/09/15	dom 20/09/15	100%

		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado
17			Resultado esperado 3	10 días	lun 21/09/15	vie 02/10/15	99%
18			Documento de diseño de la adaptación de algoritmo genético	10 días	lun 21/09/15	vie 02/10/15	99%
19	<input checked="" type="checkbox"/>		Definición de representación de parámetros de tráfico y variables en AG	5 días	lun 21/09/15	vie 25/09/15	100%
20	<input checked="" type="checkbox"/>		Implementación de función fitness para el AG	3 días	vie 25/09/15	mar 29/09/15	100%
21	<input checked="" type="checkbox"/>		Implementación de casamiento	3 días	vie 25/09/15	mar 29/09/15	100%
22	<input checked="" type="checkbox"/>		Implementación operador de mutación	3 días	vie 25/09/15	mar 29/09/15	100%
23	<input checked="" type="checkbox"/>		Implementación operador de selección	3 días	vie 25/09/15	mar 29/09/15	100%
24	<input checked="" type="checkbox"/>		Implementación de función objetivo y condiciones de parada	1 día	mié 30/09/15	mié 30/09/15	100%
25	<input checked="" type="checkbox"/>		Ejecución con carga de datos simulados	1 día	jue 01/10/15	jue 01/10/15	100%
26			Calibración de tasa de mutación	1 día	vie 02/10/15	vie 02/10/15	95%
27	<input checked="" type="checkbox"/>		Documentación de implementación del algoritmo	3 días	lun 28/09/15	mié 30/09/15	100%

	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado
28		Resultado Esperado 4	6 días	lun 28/09/15	dom 04/10/15	97%
29		Documento de experimentación numérica	1 día	vie 02/10/15	dom 04/10/15	97%
30		Prueba de Kosmogorov	1 día	vie 02/10/15	vie 02/10/15	100%
31		Prueba de Fisher	1 día	vie 02/10/15	vie 02/10/15	100%
32		Prueba Z	1 día	vie 02/10/15	vie 02/10/15	100%
33		Documentación de las pruebas realizadas (anexos)	1 día	sáb 03/10/15	sáb 03/10/15	90%
34		Documentación de resultados de las pruebas. (Cap 8)	1 día	dom 04/10/15	dom 04/10/15	95%

	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado
35		Resultado Esperado 5	6 días	lun 05/10/15	sáb 10/10/15	71%
36		Prototipo funcional	5 días	lun 05/10/15	sáb 10/10/15	71%
37		Integración modular	3 días	lun 05/10/15	mié 07/10/15	90%
38		Implementación GUI	2 días	mié 07/10/15	jue 08/10/15	30%
39		Pruebas de integración	2 días	vie 09/10/15	sáb 10/10/15	85%

Fuente: Elaboración propia

ANEXO D CALIBRACIÓN DE PORCENTAJE DE MUTACIÓN

En este anexo se presenta el resultado de ejecuciones iterativas del algoritmo genético para variaciones de la tasa de mutación en intervalos de 1% en un rango desde el 4% al 13%.

Porcentaje de mutación	Tamaño población	Función Fitness	Cantidad de mutaciones exitosas	Cantidad totales de mutaciones	% mutaciones exitosas
---------------------------------------	-----------------------------	----------------------------	--	---	--------------------------------------

0.04	50	193863.025	175	212	82
0.04	50	193863.025	173	200	86
0.04	50	193788.026	178	202	88
0.04	50	193779.025	155	184	84
0.04	50	193452.026	171	195	87
0.04	50	193752.025	162	185	87
0.04	50	193974.024	172	193	89
0.04	50	193746.026	185	205	90
0.04	50	193836.025	187	218	85
0.04	50	193809.025	177	194	91
0.04	50	193875.025	161	185	87
0.04	50	193746.026	173	202	85
0.04	50	193950.024	181	202	89
0.04	50	193827.025	182	209	87
0.04	50	193674.026	184	208	88
0.04	50	193662.025	182	206	88
0.04	50	193869.025	182	216	84
0.04	50	193749.025	183	215	85
0.04	50	193767.025	185	210	88
0.04	50	193641.026	181	204	88
0.04	50	193788.025	169	198	85
0.04	50	193941.024	173	203	85
0.04	50	193749.025	152	176	86
0.04	50	193707.026	173	194	89
0.04	50	193746.025	163	189	86
0.04	50	193524.026	172	202	85
0.04	50	193734.025	194	216	89
0.04	50	193968.024	166	194	85
0.04	50	193809.025	171	198	86
0.04	50	193794.025	170	193	88
0.04	50	193848.024	173	202	85
0.04	50	193827.025	192	213	90

0.04	50	193845.025	162	202	80
0.04	50	193500.026	192	214	89
0.04	50	193710.026	143	168	85
0.04	50	193776.025	178	211	84
0.04	50	193872.025	182	213	85
0.04	50	193728.025	196	227	86
0.04	50	193917.025	184	207	88
0.04	50	193887.025	196	225	87
0.04	50	193728.026	175	202	86
0.04	50	193797.025	164	196	83
0.04	50	193719.026	189	214	88
0.04	50	193782.025	181	215	84
0.04	50	193800.025	154	182	84
0.04	50	193851.024	181	207	87

Porcentaje de mutación	Tamaño población	Función Fitness	Cantidad de mutaciones exitosas	Cantidad totales de mutaciones	% mutaciones exitosas
0.05	50	193812.025	217	251	86
0.05	50	193728.026	218	251	86
0.05	50	193743.025	239	268	89
0.05	50	193797.025	214	241	88
0.05	50	193872.025	227	264	85
0.05	50	193800.025	216	250	86
0.05	50	193851.025	229	267	85
0.05	50	193728.026	223	256	87

0.05	50	193719.025	216	246	87
0.05	50	193710.025	247	280	88
0.05	50	193902.025	222	252	88
0.05	50	193773.026	215	253	84
0.05	50	193890.025	232	266	87
0.05	50	193884.024	201	238	84
0.05	50	193587.026	214	246	86
0.05	50	193842.025	207	226	91
0.05	50	193851.025	217	240	90
0.05	50	193818.025	200	226	88
0.05	50	193611.026	226	257	87
0.05	50	193974.024	199	225	88
0.05	50	193752.025	193	223	86
0.05	50	193809.025	219	260	84
0.05	50	193584.026	198	241	82
0.05	50	193920.025	235	256	91
0.05	50	193695.026	245	275	89
0.05	50	193812.025	208	248	83
0.05	50	193875.025	252	279	90
0.05	50	193584.026	225	252	89
0.05	50	193722.026	216	249	86
0.05	50	193917.025	205	239	85
0.05	50	193731.025	200	222	90
0.05	50	193797.025	230	270	85
0.05	50	193932.025	225	245	91
0.05	50	193923.025	222	252	88
0.05	50	193764.025	222	261	85
0.05	50	193806.025	240	269	89
0.05	50	193605.026	215	248	86
0.05	50	193917.024	235	258	91
0.05	50	193740.026	218	242	90
0.05	50	193764.026	213	249	85

0.05	50	193680.026	213	246	86
------	----	------------	-----	-----	----

Porcentaje de mutación	Tamaño población	Función Fitness	Cantidad de mutaciones exitosas	Cantidad totales de mutaciones	% mutaciones exitosas
0.06	50	193791.025	247	296	83
0.06	50	193959.023	265	298	88
0.06	50	193896.025	238	285	83
0.06	50	193905.025	261	299	87
0.06	50	193779.025	247	289	85
0.06	50	193635.026	239	286	83
0.06	50	193743.026	296	339	87
0.06	50	193794.025	255	293	87
0.06	50	193806.025	252	301	83
0.06	50	193899.025	253	289	87
0.06	50	193665.026	252	297	84
0.06	50	193866.024	275	322	85
0.06	50	193740.025	282	313	90
0.06	50	193959.025	281	325	86
0.06	50	193827.025	263	302	87
0.06	50	193821.024	255	287	88
0.06	50	193635.026	249	291	85
0.06	50	193728.026	236	275	85
0.06	50	193707.026	234	280	83
0.06	50	193746.026	254	299	84
0.06	50	193707.026	260	302	86
0.06	50	193737.026	243	281	86
0.06	50	193737.026	278	318	87
0.06	50	193863.025	241	274	87

0.06	50	193758.025	265	307	86
0.06	50	193629.026	276	325	84
0.06	50	193734.026	263	300	87
0.06	50	193680.026	271	317	85
0.06	50	193896.025	252	303	83
0.06	50	193752.025	241	278	86
0.06	50	193749.026	274	318	86
0.06	50	193851.025	248	279	88
0.06	50	193806.025	272	312	87
0.06	50	193620.026	269	296	90
0.06	50	193749.025	275	317	86
0.06	50	193926.024	257	293	87
0.06	50	193701.026	270	303	89
0.06	50	193797.025	243	286	84
0.06	50	193797.025	231	277	83
0.06	50	193815.025	261	297	87
0.06	50	193716.025	263	307	85

Porcentaje de mutación	Tamaño población	Función Fitness	Cantidad de mutaciones exitosas	Cantidad totales de mutaciones	% mutaciones exitosas
0.07	50	193737.026	296	335	88
0.07	50	193779.025	289	334	86
0.07	50	193809.025	273	310	88
0.07	50	193839.025	303	341	88
0.07	50	193653.026	309	358	86
0.07	50	193731.025	311	364	85
0.07	50	193722.026	309	354	87
0.07	50	193851.025	316	363	87
0.07	50	193872.025	285	340	83
0.07	50	193812.025	303	345	87
0.07	50	193881.025	296	343	86

0.07	50	193770.025	297	337	88
0.07	50	193812.025	292	351	83
0.07	50	193713.025	289	325	88
0.07	50	193872.025	309	350	88
0.07	50	193773.025	297	340	87
0.07	50	193710.026	307	345	88
0.07	50	193734.026	293	329	89
0.07	50	193653.026	318	359	88
0.07	50	193836.025	342	394	86
0.07	50	193827.025	315	364	86
0.07	50	193752.026	315	355	88
0.07	50	193710.026	312	354	88
0.07	50	193785.025	290	349	83
0.07	50	193872.025	311	366	84
0.07	50	193650.026	308	353	87
0.07	50	193749.026	283	333	84
0.07	50	193704.026	320	357	89
0.07	50	193707.026	291	341	85
0.07	50	193731.025	292	342	85
0.07	50	193764.026	299	338	88
0.07	50	193677.026	300	354	84
0.07	50	193878.025	283	338	83
0.07	50	193665.026	301	334	90
0.07	50	193857.025	333	385	86
0.07	50	193620.026	291	335	86
0.07	50	193884.025	317	360	88
0.07	50	193710.026	324	369	87
0.07	50	193815.025	283	324	87
0.07	50	193731.026	327	360	90
0.07	50	193794.025	287	326	88

Porcentaje de mutación	Tamaño población	Función Fitness	Cantidad de mutaciones exitosas	Cantidad totales de mutaciones	% mutaciones exitosas
0.08	50	193590.026	379	443	85
0.08	50	193713.026	349	408	85
0.08	50	193815.025	333	401	83
0.08	50	193755.025	340	401	84
0.08	50	193803.025	336	389	86
0.08	50	193611.026	380	433	87
0.08	50	193776.025	388	438	88
0.08	50	193767.025	356	405	87
0.08	50	193890.025	340	406	83
0.08	50	193611.026	363	406	89
0.08	50	193689.026	350	404	86
0.08	50	193623.026	400	455	87
0.08	50	193884.024	374	420	89
0.08	50	193539.026	383	423	90
0.08	50	193914.024	339	393	86
0.08	50	193719.026	331	390	84
0.08	50	193992.024	330	384	85
0.08	50	193809.025	342	400	85
0.08	50	193635.026	336	383	87
0.08	50	193590.026	371	423	87
0.08	50	193839.025	345	397	86
0.08	50	193671.026	336	393	85
0.08	50	193923.025	336	391	85
0.08	50	193860.025	422	460	91
0.08	50	193908.025	352	401	87
0.08	50	193734.025	348	410	84
0.08	50	193836.025	332	386	86
0.08	50	193788.025	330	384	85
0.08	50	193719.025	354	405	87
0.08	50	193770.025	356	403	88

0.08	50	193779.026	383	442	86
0.08	50	193827.023	349	398	87
0.08	50	193806.025	336	396	84
0.08	50	193719.025	370	421	87
0.08	50	193695.026	346	392	88
0.08	50	193701.026	346	403	85
0.08	50	193659.026	314	373	84
0.08	50	193779.025	366	412	88
0.08	50	193776.025	367	421	87
0.08	50	193782.025	332	393	84
0.08	50	193644.026	336	386	87

Porcentaje de mutación	Tamaño población	Función Fitness	Cantidad de mutaciones exitosas	Cantidad totales de mutaciones	% mutaciones exitosas
0.09	50	193866.025	383	442	86
0.09	50	193632.026	412	472	87
0.09	50	193644.026	411	476	86
0.09	50	193734.025	428	488	87
0.09	50	193680.026	365	422	86
0.09	50	193758.026	390	447	87
0.09	50	193824.025	402	459	87
0.09	50	193881.025	377	433	87
0.09	50	193671.025	434	501	86
0.09	50	193872.025	373	431	86
0.09	50	193794.025	402	461	87
0.09	50	193719.026	406	463	87
0.09	50	193713.026	407	477	85
0.09	50	193716.026	399	466	85
0.09	50	193788.025	371	432	85
0.09	50	193689.026	368	421	87

0.09	50	193716.025	359	414	86
0.09	50	193782.025	407	465	87
0.09	50	193815.025	403	471	85
0.09	50	193698.026	354	399	88
0.09	50	193734.026	378	438	86
0.09	50	193842.025	403	449	89
0.09	50	193764.025	375	445	84
0.09	50	193659.026	407	466	87
0.09	50	193698.026	413	488	84
0.09	50	193698.026	369	420	87
0.09	50	193860.025	417	469	88
0.09	50	193731.025	407	461	88
0.09	50	193803.025	377	440	85
0.09	50	193749.025	390	451	86
0.09	50	193719.025	394	472	83
0.09	50	193779.025	425	490	86
0.09	50	193872.025	392	445	88
0.09	50	193650.026	385	454	84
0.09	50	193692.026	382	427	89
0.09	50	193770.025	410	480	85
0.09	50	193773.025	401	465	86
0.09	50	193800.025	398	450	88
0.09	50	193632.026	360	417	86
0.09	50	193662.026	385	433	88
0.09	50	193782.026	382	444	86

Porcentaje de mutación	Tamaño población	Función Fitness	Cantidad de mutaciones exitosas	Cantidad totales de mutaciones	% mutaciones exitosas
0.1	50	93815.0258	441	508	86
0.1	50	93665.0263	439	505	86

0.1	50	93707.0261	413	469	88
0.1	50	93629.0264	371	442	83
0.1	50	93731.0254	390	446	87
0.1	50	93809.0254	404	490	82
0.1	50	93776.0258	490	554	88
0.1	50	93839.0256	463	536	86
0.1	50	93710.0258	455	519	87
0.1	50	93716.0262	421	496	84
0.1	50	93788.0257	427	482	88
0.1	50	93776.026	429	478	89
0.1	50	93569.0265	462	528	87
0.1	50	93701.0258	429	510	84
0.1	50	93635.0264	429	491	87
0.1	50	93746.026	423	499	84
0.1	50	93731.0261	439	508	86
0.1	50	93695.0264	422	491	85
0.1	50	93722.0261	460	518	88
0.1	50	93800.026	422	483	87
0.1	50	93626.0264	448	511	87
0.1	50	93740.0261	424	481	88
0.1	50	93725.026	401	468	85
0.1	50	93734.0261	426	508	83
0.1	50	93692.026	424	491	86
0.1	50	93839.0258	420	489	85
0.1	50	93728.026	444	507	87
0.1	50	93800.0257	431	490	87
0.1	50	93764.0256	394	470	83
0.1	50	93722.0262	457	525	87
0.1	50	93428.027	437	501	87
0.1	50	93761.0259	445	512	86
0.1	50	93713.0252	426	497	85
0.1	50	93824.0254	471	532	88

0.1	50	93605.0266	438	508	86
0.1	50	93905.0255	431	504	85
0.1	50	93719.0259	473	540	87
0.1	50	93707.0253	443	506	87
0.1	50	93782.0259	467	522	89
0.1	50	93722.0262	468	528	88
0.1	50	93674.0262	448	511	87

Porcentaje de mutación	Tamaño población	Función Fitness	Cantidad de mutaciones exitosas	Cantidad totales de mutaciones	% mutaciones exitosas
0.11	50	193767.025	492	560	87
0.11	50	193596.026	512	578	88
0.11	50	193779.025	482	553	87
0.11	50	193746.026	474	550	86
0.11	50	193773.025	480	549	87
0.11	50	193851.025	504	584	86
0.11	50	193815.025	497	573	86
0.11	50	193680.026	509	573	88
0.11	50	193608.026	451	534	84
0.11	50	193800.025	480	550	87
0.11	50	193719.025	475	545	87
0.11	50	193683.026	476	566	84
0.11	50	193689.026	510	571	89
0.11	50	193542.026	487	571	85
0.11	50	193746.026	474	545	86
0.11	50	193887.025	474	551	86
0.11	50	193866.024	456	530	86
0.11	50	193854.025	513	582	88
0.11	50	193860.025	480	568	84
0.11	50	193713.026	513	582	88

0.11	50	193749.026	518	591	87
0.11	50	193845.025	501	564	88
0.11	50	193722.026	461	529	87
0.11	50	193608.026	459	521	88
0.11	50	193617.026	452	528	85
0.11	50	193905.025	522	601	86
0.11	50	193767.025	483	553	87
0.11	50	193734.026	493	573	86
0.11	50	193923.025	475	536	88
0.11	50	193653.026	484	557	86
0.11	50	193860.025	480	543	88
0.11	50	193602.026	461	522	88
0.11	50	193803.025	498	569	87
0.11	50	193677.026	504	572	88
0.11	50	193740.025	490	566	86
0.11	50	193728.025	474	546	86
0.11	50	193755.026	478	548	87
0.11	50	193836.025	459	538	85
0.11	50	193698.026	426	499	85
0.11	50	193788.025	485	551	88
0.11	50	193737.025	475	547	86

Porcentaje de mutación	Tamaño población	Función Fitness	Cantidad de mutaciones exitosas	Cantidad totales de mutaciones	% mutaciones exitosas
0.12	50	193719.026	516	579	89
0.12	50	193839.025	535	606	88
0.12	50	193827.025	516	599	86
0.12	50	193788.025	527	601	87
0.12	50	193755.025	528	586	90
0.12	50	193770.025	525	616	85

0.12	50	193764.026	526	617	85
0.12	50	193671.026	563	618	91
0.12	50	193719.026	542	631	85
0.12	50	193584.026	545	626	87
0.12	50	193539.026	541	627	86
0.12	50	193779.025	500	580	86
0.12	50	193713.026	491	565	86
0.12	50	193755.026	527	595	88
0.12	50	193728.025	548	629	87
0.12	50	193770.026	530	600	88
0.12	50	193755.025	539	632	85
0.12	50	193578.026	526	613	85
0.12	50	193782.026	526	604	87
0.12	50	193758.025	529	612	86
0.12	50	193749.025	510	579	88
0.12	50	193638.026	513	574	89
0.12	50	193629.026	535	620	86
0.12	50	193623.026	505	578	87
0.12	50	193740.026	529	606	87
0.12	50	193626.026	517	583	88
0.12	50	193755.025	507	564	89
0.12	50	193776.025	499	582	85
0.12	50	193980.025	490	592	82
0.12	50	193710.026	552	628	87
0.12	50	193671.026	545	625	87
0.12	50	193803.025	511	587	87
0.12	50	193755.026	523	619	84
0.12	50	193428.027	482	564	85
0.12	50	193779.026	522	596	87
0.12	50	193623.026	510	601	84
0.12	50	193653.026	543	622	87
0.12	50	193719.026	560	630	88

0.12	50	193722.025	515	598	86
0.12	50	193665.026	496	587	84
0.12	50	193896.025	517	591	87

Porcentaje de mutación	Tamaño población	Función Fitness	Cantidad de mutaciones exitosas	Cantidad totales de mutaciones	% mutaciones exitosas
0.13	50	193722.026	559	639	87
0.13	50	193644.026	553	638	86
0.13	50	193875.025	510	602	84
0.13	50	193737.025	572	657	87
0.13	50	193605.026	549	644	85
0.13	50	193629.026	570	654	87
0.13	50	193614.026	588	671	87
0.13	50	193632.026	529	608	87
0.13	50	193815.025	584	661	88
0.13	50	193629.026	576	671	85
0.13	50	193647.026	580	657	88
0.13	50	193770.025	572	645	88
0.13	50	193704.026	577	661	87
0.13	50	193626.026	583	664	87
0.13	50	193800.025	562	644	87
0.13	50	193731.026	546	620	88
0.13	50	193524.026	574	653	87
0.13	50	193734.025	576	650	88
0.13	50	193530.026	558	653	85
0.13	50	193671.026	554	633	87
0.13	50	193770.026	550	641	85
0.13	50	193563.026	574	663	86
0.13	50	193698.025	594	692	85
0.13	50	193710.026	597	691	86

0.13	50	193833.025	540	620	87
0.13	50	193623.026	544	629	86
0.13	50	193740.026	566	663	85
0.13	50	193584.026	579	667	86
0.13	50	193794.025	556	624	89
0.13	50	193773.025	563	663	84
0.13	50	193659.026	557	647	86
0.13	50	193740.026	574	660	86
0.13	50	193734.025	568	665	85
0.13	50	193725.026	544	630	86
0.13	50	193854.024	536	621	86
0.13	50	193770.025	559	639	87
0.13	50	193896.025	559	646	86
0.13	50	193725.026	559	657	85
0.13	50	193701.026	564	641	87
0.13	50	193749.026	566	642	88
0.13	50	193827.025	573	655	87

ANEXO E
RESULTADOS INDICE DE RENDIMIENTO

A continuación se presentan los resultados obtenidos del Índice de Rendimiento alcanzado en 50 simulaciones de distintos flujos vehiculares. Se presentan las dos muestras:

- Muestra 1: Índice de Rendimiento alcanzado usando los planes estáticos de tráfico.
- Muestra 2: Índice de Rendimiento alcanzado usando las soluciones planes de tráfico obtenidos del algoritmo genético.

Simulación de Flujo Vehicular	Planes Fijos (Muestra 1)	Algoritmo Genético (Muestra 2)
1	288285.0067	193956.0249
2	302685.0064	193635.0264
3	323925.0060	193878.0256
4	326085.0060	193707.0263
5	312765.0063	193821.0258
6	283605.0070	193731.026
7	317445.0062	193794.0258
8	336885.0059	193863.0249
9	307725.0064	193956.0251
10	304845.0064	193701.0261
11	328965.0060	193911.0252
12	300165.0066	193686.0262
13	308085.0064	193878.0252
14	321765.0061	193722.0263
15	330045.0060	193512.0269
16	315645.0062	193713.0262
17	312045.0063	193701.0262
18	304125.0064	193860.0256
19	325725.0060	193662.0265
20	304845.0064	193812.0254
21	299805.0066	193665.0264
22	303405.0065	193905.0252
23	317445.0062	193776.026

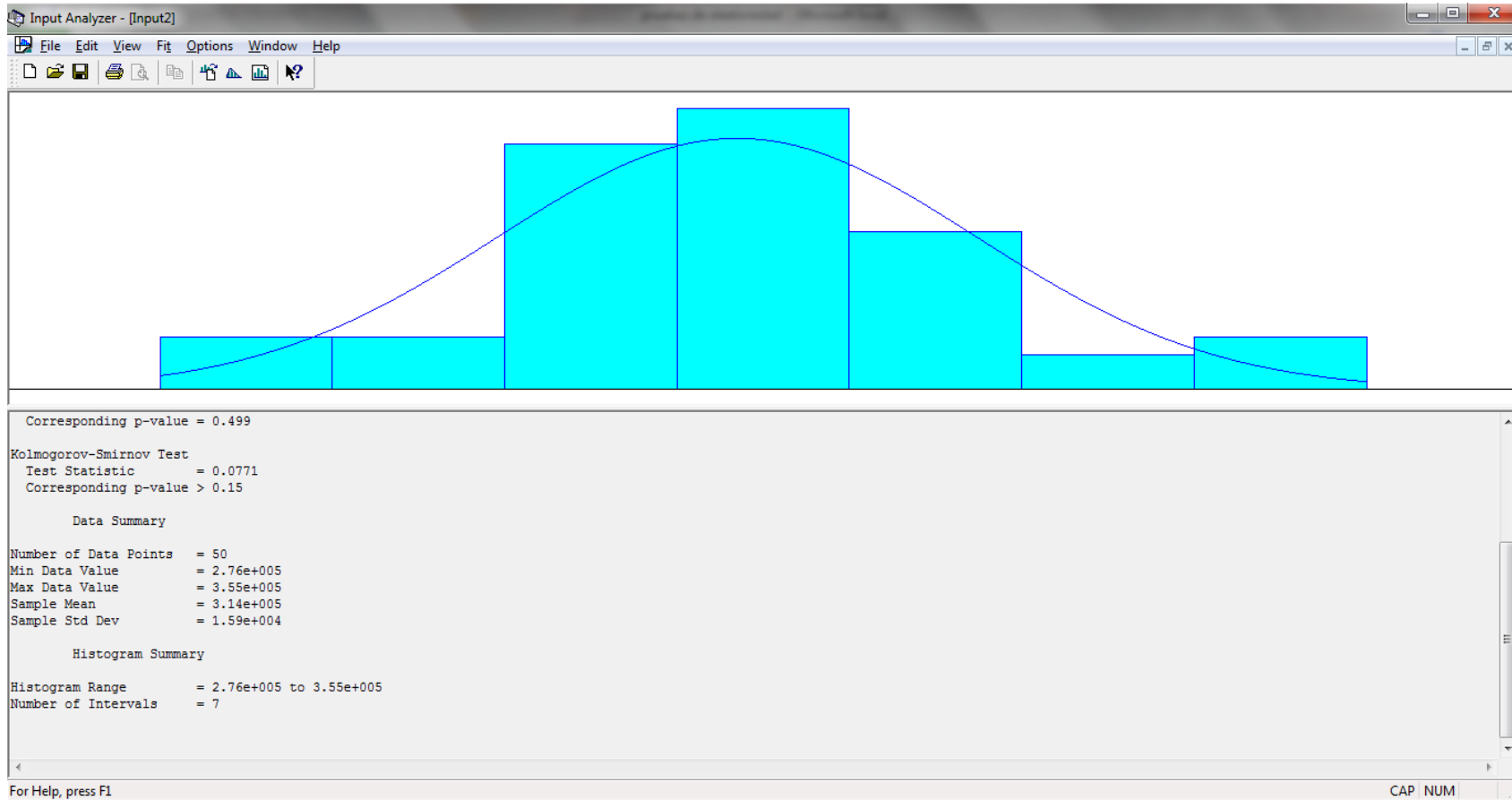
24	354885.0055	193809.0257
25	296205.0066	193950.0251
26	310965.0063	193794.0261
27	314205.0062	193848.0255
28	344805.0056	193779.0253
29	303045.0065	193740.0258
30	322845.0060	193905.0252
31	297285.0066	193773.0259
32	320685.0062	193872.0256
33	308805.0064	194004.0246
34	302685.0065	193998.0243
35	317085.0062	193737.026
36	326805.0060	193713.0252
37	318525.0062	193785.0253
38	280725.0069	193662.0263
39	320325.0061	193839.0251
40	339405.0057	193890.0254
41	312405.0063	193749.026
42	275685.0071	193731.0257
43	310605.0064	193767.0259
44	345885.0056	193851.0251
45	304845.0064	193767.0259
46	321765.0061	193872.0254
47	304485.0065	193854.0257
48	312045.0063	193755.026
49	317085.0062	193668.0359
50	316725.0062	193932.0251

Análisis de Datos :	
IR – Planes de tráfico estático	
Media	313542.606
Error típico	2248.91346
Mediana	312585.006
Desviación estándar	15902.2196
Varianza de la muestra	252880588
Curtosis	0.66508828
Coefficiente de asimetría	0.14567281

Análisis de Datos :	
IR – Algoritmo genético	
Media	193797.8059
Error típico	14.62537956
Mediana	193789.5255
Desviación estándar	103.4170506
Varianza de la muestra	10695.08636
Curtosis	-0.068275312
Coefficiente de asimetría	-0.111931519

ANEXO F

Resultado de la prueba K-S que demuestra la distribución normal para los resultados de Índice de Rendimiento logrado con planes de tráfico estáticos.



Resultado de la prueba K-S que demuestra la distribución normal para los resultados de Índice de Rendimiento logrado con planes de tráfico propuestos por el algoritmo genético.

