

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE  
SEMAFORIZACIÓN AUTOMATIZADA BAJO EL  
PAVIMENTO PARA REDUCIR LA CONGESTIÓN  
VEHÍCULAR EN LA INTERSECCIÓN AV. VÍA DE  
EVITAMIENTO NORTE Y LA AV. HOYOS  
RUBIO, CAJAMARCA - 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Autor:**

Edgar Garcia Diaz

**Asesor:**

Mg. Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán

<https://orcid.org/0000-0001-7619-7995>

Cajamarca - Perú

2023

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>LIZBETH MILAGROS MERMA GALLARDO</b>	<b>40012838</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>TULIO EDGAR GUILLEN SHEEN</b>	<b>26676774</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>CARLOS ELDER RUDECINDO CALUA CARRASCO</b>	<b>71573678</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD



ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

2%

★ [dspace.ucuenca.edu.ec](https://dspace.ucuenca.edu.ec)

Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 12 words

Excluir bibliografía

Apagado

## DEDICATORIA

Este trabajo va dirigido para mis padres, que son el motor de mi vida, y que sin su valiosa ayuda no hubiese sido posible llegar hasta aquí. Un sueño más cumplido, una meta lograda y un largo camino por seguir.

## AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento se dirige a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, a Dios, el que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis Errores para no cometerlos otra vez; así mismo a mis docentes, quienes fueron pieza valiosa en mi formación académica, a mis compañeros de clases por haberme ayudado en este proceso formativo y con quienes compartí un sinfín de alegrías. Y en general a todas aquellas personas que colaboraron a que este esfuerzo se materialice

## Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
RESUMEN	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
<b>1.1. Realidad problemática</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Formulación del problema</b>	<b>33</b>
<b>1.3. Objetivos</b>	<b>33</b>
<b>1.4. Hipótesis</b>	<b>34</b>
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	35
CAPÍTULO III: RESULTADOS	45
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	105
REFERENCIAS	112
ANEXOS	118

## Índice de tablas

	<b>Pag.</b>
<b>Tabla 1.</b> <i>Pruebas de lectura del sensor Loop.</i>	48
<b>Tabla 2.</b> <i>Pruebas de lectura del sensor Loop.</i>	49
<b>Tabla 3.</b> <i>Decodificación de tiempos de funcionamiento</i>	62
<b>Tabla 4.</b> <i>Modos de funcionamiento</i>	63
<b>Tabla 5.</b> <i>Parámetros del ciclo semafórico de la intersección</i>	79
<b>Tabla 6.</b> <i>Resumen del Aforo en vehículos mixtos de la intersección A</i>	81
<b>Tabla 7.</b> <i>Volumen de la hora de máxima demanda del Acceso 1 (Intersección A).</i>	89
<b>Tabla 8.</b> <i>Volumen de la hora de máxima demanda del Acceso 2 (Intersección A).</i>	89
<b>Tabla 9.</b> <i>Volumen de la hora de máxima demanda del Acceso 3 (Intersección A)</i>	90
<b>Tabla 10.</b> <i>Volumen de la hora de máxima demanda del Acceso 4 (Intersección A)</i>	90
<b>Tabla 11.</b> <i>Grupo de carriles para el análisis de intersecciones sanforizadas</i>	98

## Índice de figuras

**Fig.1.** *Congestionamiento vehicular en Cajamarca*

11

**Fig.2.** *Imagen de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca*

30

**Fig. 3.** *Registro de flujo vehicular manual*

32

**Fig. 4.** *Registro de datos*

33

**Fig. 5.** *Registro de datos*

33

**Fig. 6** *Registro de datos*

34

**Fig. 7.** *Ubicación de las intersecciones sometidas a estudio.*

38

**Fig. 8.** *Localización y ubicación de la intersección*

39

**Fig.9.** *Diagrama de flujos procesos de sistema de semaforización automatizada*

40

**Fig. 10.** *Forma de implementar el sensor Loop*

43

**Fig. 11.** *Ubicación de las intersecciones sometidas a estudio*

47

**Fig. 12.** *Ubicación de las intersecciones sometidas a estudio*

48

**Fig.13.***Ubicación del sensor Loop*

49

**Fig. 14.** *Detección del Sensor Loop a taxi y taxi.*

50

<b>Fig. 15</b>	<i>Detección del Sensor Loop a taxi y taxi.</i>	50
<b>Fig. 16</b>	<i>Detección del Sensor Loop a taxi y tráiler</i>	51
<b>Fig. 17</b>	<i>Simulación del semáforo en Proteus</i>	52
<b>Fig. 18</b>	<i>Placas de control del semáforo</i>	54
<b>Fig. 19</b>	<i>Interfaz de usuario</i>	56
<b>Fig. 20</b>	<i>Interfaz de usuario específica</i>	57
<b>Fig. 21</b>	<i>Menú desplegable de modo de funcionamiento</i>	58
<b>Fig. 22</b>	<i>Inicialización del sistema</i>	59
<b>Fig. 23</b>	<i>Configuración de la velocidad de comunicación</i>	60
<b>Fig. 24</b>	<i>a) Selección de modo de funcionamiento. b) Recibe el estado del semáforo</i>	60
<b>Fig. 25</b>	<i>Tiempo del sistema y Visualización de la hora y fecha</i>	61
<b>Fig. 26</b>	<i>Tiempos de sincronización</i>	62
<b>Fig. 27</b>	<i>Codificación</i>	62
<b>Fig. 28</b>	<i>Modo de funcionamiento</i>	63
<b>Fig. 29</b>	<i>Ajuste a modos de funcionamiento del sistema</i>	64
<b>Fig. 30</b>	<i>Ciclo de lectura del Sensor</i>	65
<b>Fig.31</b>	<i>Semáforo basado en el Sensor Loop.</i>	66
<b>Fig.32</b>	<i>Configuración inicial del sistema</i>	67
<b>Figura 33</b>	<i>Proceso principal</i>	68

**Fig. 34.** *Semáforo basado en el Sensor Loop.*

69

**Fig. 35.** *Diagrama estructural general*

70

**Fig. 36.** *Diseño de sistema semaforización mediante algoritmos de flujogramas*

72

**Fig. 37.** *Visuales de los accesos de la intersección.*

73

**Fig. 38.** *Característica geométrica de la intersección*

74

**Fig. 39.** *Sección transversal típica del acceso 1 de la intersección A*

75

**Fig. 40.** *Sección transversal típica del acceso 2 de la intersección A*

76

**Fig. 41.** *Sección transversal típica del acceso 3 de la intersección A*

76

**Fig. 42.** *Sección transversal típica del acceso 4 de la intersección*

77

**Fig. 43.** *Sección transversal típica del acceso 4 de la intersección*

78

**Fig. 44.** *Diagrama de fases de los semáforos de la intersección*

78

**Figura. 45.** *Variación de volúmenes totales cada 60 minutos de la intersección*

84

**Fig. 46.** *Histograma volúmenes de tráfico en intervalos de 15 minutos*

87

**Fig. 47.** *Composición vehicular en la hora pico de la intersección*

92

**Fig. 48.** *Resumen de las características preliminares de la hora pico de la intersección*

93

**Fig. 48.** *Cuadro de Datos de entrada de la intersección*

98

## Índice de ecuaciones

<b>Ecuación 1.</b>	Factor de la Hora de Máxima Demanda.....	87
<b>Ecuación 2.</b>	Fórmula para medir la capacidad y fluidez del tráfico en un acceso.....	101

## RESUMEN

La presente investigación tiene como principal objetivo modelar una propuesta de sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento para ayudar a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Utilizando una metodología de tipo básica, enfoque cuantitativo, diseño propositivo, la muestra la conforman la intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca, utilizando como instrumentos de recolección de datos la guía de observación, así como los software: Sistema Operativo *Windows® 8 Single Languaje*, Microsoft office 2013, LabVIEW. Los resultados demostraron que, la propuesta del sistema de semaforización automatizada se destaca como una solución eficaz respaldada por principios de ingeniería sólidos y una interfaz de usuario amigable. Además, se han identificado problemas clave, como ciclos de semaforización prolongados y desafíos geométricos, que requieren medidas inmediatas. Concluyeron que la propuesta contribuye a mejorar los ciclos de semaforización y mejorar las condiciones geométricas, para abordar estos problemas y mejorar la eficiencia y seguridad del tráfico en la zona. Esto beneficiará tanto a los conductores como a los peatones y promoverá un sistema de transporte más eficiente en la región de Cajamarca.

**PALABRAS CLAVES:** Sistema de semaforización automatizada; bajo el pavimento; reducir; congestión vehicular; intersección

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La congestión vehicular es un problema que afecta a ciudades de todo el mundo. Se trata de una situación en la que hay demasiados vehículos en las carreteras, lo que provoca retrasos en el tráfico, aumento de la contaminación, disminución de la calidad del aire y problemas de salud para los residentes de las áreas afectadas. Además, la congestión vehicular también puede afectar negativamente la economía, ya que puede causar retrasos en la entrega de mercancías y aumentar los costos de transporte (INRIX, 2021).

A nivel mundial, una investigación llevada a cabo en la India encontró que la congestión vehicular en Delhi ha aumentado un 100% en los últimos 10 años, lo que ha llevado a una disminución en la calidad del aire y un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero. Por esta situación se necesitan políticas públicas efectivas para abordar este problema, incluyendo la inversión en transporte público, la promoción de modos de transporte sostenibles y la implementación de medidas para reducir la congestión vehicular (Sharma et al., 2021).

Asimismo, en América Latina, según un informe de la CEPAL publicado en 2021, la congestión vehicular es uno de los principales problemas de movilidad en la región. El informe señala que el aumento del parque vehicular y la falta de inversión en transporte público son los principales factores que contribuyen a la congestión vehicular en la región. Por otro lado, un estudio realizado en México encontró que la congestión vehicular en la Ciudad de México es responsable de una pérdida anual de \$ 4,200

millones de dólares en términos de tiempo de viaje perdido, costos de combustible y emisiones de gases de efecto invernadero (Rojas, 2021).

El Perú es un país deficiente en cuanto a infraestructura vehicular, las medidas para solucionar esta disyuntiva no son eficientes y suelen demorar un tiempo excesivo para su aplicación. El número de vehículos en las calles de Perú ha aumentado considerablemente en los últimos años. El crecimiento del parque automotor no ha sido acompañado por un desarrollo adecuado de infraestructura vial y sistemas de transporte público eficientes, lo que ha llevado a una mayor congestión. (Basurto e Yzaguirre, 2019). Debido al incremento acelerado del parque automotor en los últimos años, se han producido sustanciales cambios en el sistema de transporte, sin embargo, muchos de sus problemas no sólo han persistido, sino que se han incrementado como el congestionamiento vehicular, los niveles de contaminación, deficiente infraestructura vial, etc. (Avalos, 2021). Según la Asociación Automotriz del Perú (AAP) (2019), el Perú tiene un parque automotor de 2981000 unidades lo cual es escaso en relación al número de habitantes respecto al vehículo (índice de motorización de 10.7); lo que nos indica que los problemas de congestionamiento no se generan por la cantidad de vehículos, si no por otros factores.

Asimismo, datos suministrados por el director ejecutivo del Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior, Posada (2018), uno de los principales factores que ocasiona el aumento de tráfico, es la falta de planificación que viene acompañado del tráfico generado por la sobrepoblación y la mala logística, diseño e infraestructura de las vías. Así también según la ONG Luz Ámbar, una de las razones del caos vehicular es la falta de ordenamiento en el sistema de semaforización en las

intersecciones, debido a que el 90% de las semaforizaciones funcionan a su libre albedrío sin ningún nivel de coordinación (Posada, 2018).

La urbe cajamarquina, situada en el norte de la nación peruana, se ha enfrentado a un creciente problema de congestión vehicular en los últimos años. Esta situación ha acarreado numerosas consecuencias negativas para la ciudad y sus residentes, entre las cuales se destacan la disminución de la calidad del aire, el aumento en los tiempos de desplazamiento, el encarecimiento del transporte y un incremento de la inseguridad vial (INEI, 2020).

De acuerdo con un estudio llevado a cabo en el año 2020 por el INEI, el número de vehículos registrados en Cajamarca ha experimentado un incremento del 50% en los últimos cinco años, lo que ha generado una mayor presión sobre la infraestructura vial existente en la ciudad. Asimismo, otro estudio realizado en el año 2021 por la Municipalidad Provincial de Cajamarca revela que el tiempo promedio de viaje en la ciudad ha aumentado en un 30% debido a la congestión vehicular. Esta situación constituye un problema en constante crecimiento, con consecuencias negativas para la ciudad y sus habitantes (Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2021).

En la ciudad de Cajamarca no se cuenta con un correcto análisis de sus calles ocasionando así muchos problemas de congestión vehicular dado que aumentado de manera elocuente y exagerada estos últimos años, hasta el punto en que colapsan las estrechas calles, especialmente en la zona monumental de la urbe afectando de manera preocupante la estructura urbana, problemas de déficit de zonas de parqueo de automóviles; problemática del aumento de vehículos, en especial unidades de transporte público ya que no cumplen las reglas mínimas de tránsito, los incorrectos desplazamientos vehiculares por falta de educación vial, la falta de una apropiada

señalización y semaforización, la entrada arbitraria, incorrecta y abusiva de vehículos pesados al centro urbano. (ANP, 2020).

El presente estudio se realiza en las intersecciones de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca, puesto que la congestión vial produce un impacto de gran envergadura en esta zona. Teniendo en cuenta que existen varias zonas por las cuales transitan vehículos en grandes proporciones, los cuales generan puntos de atascamiento que incrementan la demora vehicular y aumentan el número de accidentes.

Dentro de contexto, podemos indicar que la vía de Evitamiento Norte, es una de las principales vías de la ciudad, donde circulan vehículos de servicio público urbano e interurbano, gran cantidad de Mototaxi, vehículos particulares. La vía fue construida en el año 2002 para un índice medio diario que a la fecha ha sido superado considerablemente, razón por la cual en ciertas horas del día se tiene un incremento del tiempo de viaje, como consecuencia del congestionamiento que se presenta , por influencia de las actividades generadas por , las empresas de transporte entre otros centros atractores y generadores de viajes; sumado a ello la problemática del tránsito vehicular causada por la sobre oferta de vehículos particulares, transporte público, taxis , moto taxis, falta de control de estacionamientos, falta de infraestructura para el transporte público como paraderos, etc. ; los mismos que van acompañados por la ausencia de planificación y operación del sistema de transporte público por las autoridades competentes.



### **Fig. 1. Congestionamiento vehicular en Cajamarca**

Bajo este contexto, esta investigación propone el diseño de un sistema de semaforización automatizada debajo del pavimento. Esta propuesta tiene una serie de beneficios, puesto que se busca reducir la congestión vehicular y mejorar la fluidez del tráfico en la zona. Dado que, un sistema de semáforos bien coordinado puede disminuir los conflictos entre vehículos y peatones, además de mejorar la visibilidad de los semáforos para los conductores.

Al mejorar los tiempos de espera y la fluidez del tráfico en la intersección, se logra aumentar la eficiencia del transporte en la zona. Esta mejora conlleva una reducción en los costos de transporte y facilita el acceso a los servicios y lugares de trabajo para los residentes del área. Además, el diseño de un sistema de semaforización automatizada puede contribuir a disminuir los tiempos de espera en la intersección al ajustar los tiempos de los semáforos en función del volumen de tráfico y la hora del día.

En otro contexto, es de precisar que existen distintas investigaciones que se han realizado a nivel internacional sobre el tema, entre ellas Andrade (2022). En la tesis: Estudio de factibilidad para implementación de un sistema inteligente de control de tránsito en áreas críticas del Cantón Paján. Con el objetivo de realizar un estudio de factibilidad para la implementación de un sistema a inteligente de control de tránsito en áreas críticas del Cantón Paján. Se aplicó una metodología histórico lógico, análisis síntesis, inducción-deducción, como técnica se aplicaron entrevistas y encuestas. La población la conformaron 12.266 ciudadanos, y la muestra 373 ciudadanos del Cantón Paján. Los resultados demostraron que el 86% que da un total de 319 personas en la comunidad del Cantón Paján consideran que el tráfico vehicular es sumamente malo, mientras que un 13% que son 50 personas consideran que el tráfico vehicular es regular.

Como conclusión se determinó que implementar un sistema inteligente de control de tránsito ayudará a tener un efecto positivo del tráfico vehicular, reducirá los tiempos de espera y mejorará el flujo vial en las zonas claves.

Guevara y Miño (2023). En la tesis: Estudio de tráfico y planteamiento de alternativa de solución para los giros de retorno en la abscisa 2+654,67 de la Avenida Simón Bolívar del Cantón Quito, Provincia de Pichincha. Con el objetivo de realizar el estudio de tráfico y plantear una solución para los giros de retorno en la abscisa 2+654,67 de la Avenida Simón Bolívar del Cantón Quito, Provincia de Pichincha. Aplicando una metodología exploratorio, correlacional y descriptivo, la técnica aplicada fue análisis documental y encuesta, la muestra la conforman la problemática que se origina en la abscisa 2+654,67 de la Avenida Simón Bolívar. Los resultados demostraron que mediante el conteo vehicular manual realizado en la Av. Simón Bolívar se determinó el VHMD entre las horas de 6:00 am hasta las 19:00 pm para ambos sentidos de circulación, donde se evidencia que por los carriles sentido Sur – Norte un total de 4252 vehículos/hora existe mayor circulación que en la dirección Norte – Sur con un total de 3908 vehículos/hora. Concluyendo que, el nivel de servicio se calcula en función de la velocidad a la que los autos circulan en la vía y su densidad, por lo tanto, el nivel de servicio actual que tiene la vía es de C en ambos sentidos y puede tolerar tráficos aún mayores a los actuales sin que colapse la operabilidad en la vía.

Puello y Recuerdo (2022). En la tesis: Enfoque sistémico para el análisis de planes de movilidad urbana sostenible: La seguridad vial como indicador clave de desempeño. Con el objetivo de analizar los planes de movilidad urbana sostenible. Se aplicó una metodología de enfoque cualitativo, utilizando como técnica el análisis

documental. Los resultados demostraron que, en las ciudades colombianas (Bogotá, Bucaramanga y Medellín) se presenta una disminución en tasas de siniestralidad en el año 2021 respecto al promedio que se presentaron del año 2015 a 2019, lo que representa que sus estrategias y objetivos en pro de la seguridad vial y la movilidad han mostrado un comportamiento eficiente. Para la ciudad de Cartagena se plantearon recomendaciones en educación vial, señalización, protección a grupos vulnerables de la vía, control de velocidad, diseño de vías y cruces que cumplan con los criterios de la seguridad vial.

Rello (2020). En la tesis: Propuesta para reducir los tiempos de viaje del modo de transporte público Metrobús mediante el uso del sistema de priorización de semáforos. Con el objetivo de plantear una solución a los elevados tiempos de traslado del sistema de transporte público de la CDMX mediante el uso del sistema de priorización semafórica (TSP) en corredores del tipo BRT. Utilizando una metodología de diseño experimental, como técnica se utilizó la observación. Los resultados demostraron que los altos tiempos de espera en las intersecciones semaforizadas provocan que, aunque el Metrobús cuente con su propio carril, los tiempos de viaje sean elevados. Dicho tiempo muerto representa un poco más de la cuarta parte del tiempo total del viaje y, en promedio, cada unidad se detiene en la mitad de las intersecciones a lo largo del tramo. Concluyendo que, los beneficios sociales, económicos y ambientales mostraron buenos resultados. Las emisiones de GEI, así como el consumo de combustible, disminuyeron 1% para el segundo escenario. El último escenario, volvió a presentar la misma tendencia: el incremento en el ahorro fue mínimo. Como el ahorro monetario depende directamente del ahorro en el tiempo de viaje, la tendencia fue la misma.

En cuanto a los estudios previamente realizados a nivel nacional, se han seleccionado los estudios de Avalos (2021). En la tesis: Micro simulación de flujo vehicular para reducir el congestionamiento en una intersección de la ciudad de Puno, 2021. Con el objetivo de realizar la micro simulación de flujo vehicular para reducir el congestionamiento en la intersección de la avenida El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno. Los resultados obtenidos en el proceso de micro simulación para el escenario actual, muestra longitudes de cola de hasta 90.86 m para la Av. El Sol (NS = D) y de 40.50 m para el Jr. Ricardo Palma (NS = C). Estos valores se han logrado reducir con la optimización de los ciclos semafóricos hasta en 18.79 % para la Av. El Sol (NS = C) y 17.43% para el Jr. Ricardo Palma (NS = B), considerándose resultados muy satisfactorios. Para el escenario futuro los resultados en cuanto a los indicadores evaluados se han incrementado significativamente presentando una longitud de cola de hasta 118.80 m en la Av. El Sol y de 53.65 m en el Jr. Ricardo Palma, lo que indicaría una sobresaturación en el sistema de transporte.

Carrera (2022). En la tesis: Diseño de un sistema basado en la tecnología de censado remoto en un sistema de semaforización del distrito de Comas. El objetivo es demostrar cómo puede actuar el semáforo de manera inteligente, cediendo el pase en tiempo real a los vehículos de la avenida 1 que están esperando a que el semáforo les dé luz color verde cuándo el sensor detecte que no hay ningún vehículo está transitando o se dispone a cruzar por la avenida 2 y tampoco hay peatones o transeúntes que se dispongan a cruzar la calzada de la Avenida 1. Se aplicó una metodología experimental, tipo cuasi-experimental, enfoque cuantitativo. Los resultados demuestran que, mediante la instalación de sensores infrarrojos ubicadas cerca de las vías es posible disminuir en un 16% el tiempo que esperan los conductores a que el semáforo cambie a verde y que

el mismo ofrezca un 11% más de tiempo para que los vehículos puedan circular y sin afectar otra avenida que también es controlado por el mismo semáforo.

Cárdenas (2022). En la tesis: Análisis y evaluación de la congestión urbana vehicular en los tramos Ovalo Cayhuayna y el Ovalo Esteban Pavletich, Huánuco – 2021. El cual tuvo como propósito analizar y evaluar la congestión urbana Vehicular en los tramos del ovalo Cayhuayna al ovalo Esteban Pavletich, Huánuco – 2021. Se aplicó una metodología de tipo básica, enfoque cuantitativo, alcance descriptivo, diseño no experimental. La población y muestra la conformaron los tramos del ovalo Esteban Pavletich al ovalo de Cayhuayna, Huánuco; durante el tiempo necesario. Los resultados demostraron que, el único tramo que cumple con un ancho mínimo de pavimento de 2,4 m es en la intersección de las carreteras Carretera Central y Santos Atahualpa (Es Salud); La acera de la izquierda tiene 2,4 m de ancho, la acera de la derecha 1,6 m, y en otras intersecciones, el nivel de la acera es de 2,0 a 1,5 m, que es inferior a las normas. Concluyendo que, el Expreso Carretera central; vertical y horizontalmente sin carteles apropiados o suficientes; En el caso de orientación vertical y horizontal, la señal está ausente, con el paso del tiempo por el movimiento de los vehículos en la calzada se desgasta o desaparece.

Por su parte, Basurto e Yzaguirre (2019). En la tesis: Propuesta de un sistema de semaforización para reducir el grado de saturación en las intersecciones de Av. Angamos Este Con Av. República de Panamá, Av. Tomás Marsano y Av. Aviación; a través de la metodología del Ramp Metering. Su finalidad fue reducir el grado de saturación en las intersecciones urbanas de la Av. Angamos Este con Av. Aviación, Av. Tomás Marsano y Av. República de Panamá ubicadas en Lima Metropolitana a través de la metodología Ramp Metering que considera desarrollar el algoritmo ALINEA.

Metodología cuantitativa, correlacional experimental. Los resultados permitieron concluir que el implementar un sistema de semaforización en las intersecciones de Av. Angamos Este con Av. Tomás Marsano, Av. República de Panamá y Av. Aviación con la metodología Ramp Metering permitió mejorar las condiciones de circulación de dichos cruces viales y disminuir el grado de saturación.

A nivel local fue seleccionada la investigación de Cerna (2020). En la tesis: Microanálisis de los desplazamientos peatonales y vehiculares entre la Av. Hoyos Rubio y La Av. Andrés Zevallos, Cajamarca – 2020. Con el objetivo de realizar el microanálisis de los desplazamientos peatonales y vehiculares de la intersección entre las avenidas Hoyos Rubio y Andrés Zevallos – Cajamarca, 2020. Corresponde a una investigación de diseño no experimental de alcance descriptivo y transeccional, con una muestra estratificada donde el número de vehículos y personas se trasladan según su necesidad a diferentes puntos. Entre los resultados se encontró respecto a la eficiencia vehicular: longitudes de colas de 71.27m para Av. Andrés Zevallos de N--->S, 65.55m Av. Andrés Zevallos de S--->N, 33.88m Av. Hoyos Rubio de O--->E, 54.72m Av. Hoyos Rubio de E--->O; velocidad de viaje de 25km/h; tiempo de viaje de 36.68seg; paradas de 15.42seg y, respecto a la eficiencia peatonal: velocidad de viaje de 2.03km/h; tiempo de viaje de 144.24seg; densidad promedio de 0.2peat/m<sup>2</sup>.

Haciendo referencia al enfoque teórico del estudio, la Teoría del flujo de tráfico, es una rama de la ingeniería de tráfico que se centra en el estudio y la predicción del comportamiento de los vehículos en las carreteras y calles. Su objetivo principal es comprender cómo se mueve el tráfico y cómo se pueden mejorar las condiciones de circulación. Sustenta que la congestión vehicular se produce debido a la interacción

compleja entre los vehículos en movimiento. Por lo que basa en varios conceptos clave, como la densidad del tráfico, la velocidad y el flujo de vehículos (Laval, et al. 2020).

Por su parte la teoría de la capacidad vial se centra en la capacidad de las vías y sugiere que la congestión ocurre cuando la demanda de tráfico supera la capacidad de la infraestructura vial. Mediante esta teoría se examina los factores que afectan la capacidad vial y propone estrategias de gestión de tráfico para aliviar la congestión en áreas urbanas congestionadas. La capacidad vial depende de varios factores, incluyendo el diseño geométrico de la vía, el tipo de vehículos que circulan, las condiciones de operación (como la presencia de semáforos o señales de tráfico) y el comportamiento de los conductores. También se ven afectados por las condiciones meteorológicas y otros eventos que puedan causar interrupciones en el flujo normal del tráfico (Ji, et al. 2020).

Otra de las teorías que sustenta la investigación es la teoría del comportamiento del conductor, se enfoca en el comportamiento de los conductores y cómo influye en la congestión del tráfico, examina el impacto de diferentes comportamientos de conducción, como la distancia entre vehículos y los cambios de carril, en la congestión del tráfico y propone estrategias de gestión para mejorar la fluidez del tráfico. También sostiene que el comportamiento de los conductores no es simplemente el resultado de habilidades técnicas y conocimientos de conducción, sino que también está influenciado por factores emocionales, motivacionales y situacionales (Kamalanathsharma, e tal. 2020).

Por lo que se refiere al enfoque conceptual de la variable sistema de semaforización automatizado bajo pavimento, para Middelham (2019), se refiere a un conjunto de dispositivos y tecnologías utilizados para controlar el tráfico vehicular y peatonal en las intersecciones viales. Consiste en semáforos, que son dispositivos de

señalización con luces de diferentes colores (generalmente rojo, amarillo y verde) que indican a los conductores cuándo detenerse, tener precaución o avanzar. Estos sistemas pueden ser programados para ajustar los tiempos de luz verde y roja en función de las condiciones del tráfico, lo que ayuda a mejorar el flujo vehicular y reducir la congestión.

Según la normativa española, un sistema de semaforización se define como "el conjunto de elementos que, ubicados en una intersección, regulan el paso de vehículos, peatones y ciclistas mediante luces de distintos colores, y que incluye el equipo de control de las señales luminosas, los detectores de vehículos y peatones, y la señalización complementaria" (Real Decreto 1428/2003).

El sistema de semaforización es un conjunto de dispositivos y señales luminosas utilizadas para regular y controlar el flujo del tráfico vehicular y peatonal en las vías públicas. Consiste en la instalación de semáforos en intersecciones y cruces viales, los cuales emiten luces de diferentes colores (generalmente rojo, amarillo y verde) para indicar a los conductores cuándo deben detenerse, prepararse para detenerse o avanzar (Transportation Research Board, 2016).

En cuanto a su importancia, el sistema de semaforización es fundamental para garantizar la seguridad de conductores y peatones en las calles y carreteras. Al proporcionar una señal clara y visible, los semáforos ayudan a prevenir accidentes al controlar el tráfico en momentos específicos. Esto es especialmente importante en intersecciones donde convergen múltiples corrientes de vehículos y peatones.

Las dimensiones que componen la variable sistema de semaforización automatizado bajo pavimento, son en primer lugar sus características geométricas, las

mismas que están compuestas por Ciclo: Se refiere a algún período completo o también a las indicaciones que transmite un semáforo. Duración del ciclo: Significa el lapso en segundos y es ahí que lo requiere el semáforo, se representa con el símbolo C. Fase: Se refiere a la porción del periodo que se establece en cualquier composición de movimientos de tránsito, con la condición de solo pasar a la vez durante los intervalos establecidos. Intervalo: Significa la fase de tiempo y se dará para que todas las predicciones semaforicas continúan siendo invariables. Tiempo de Cambio: Los intervalos rojo más el amarillo, las cuales se encuentran entre las fases que permiten despejar la intersección; esto sucede antes de que se produzcan movimientos inapropiados de tránsito. Se demuestra de la siguiente forma, la simbología y su medida son segundos. Tiempo de Verde: En un período dado, en el lapso de la indicación “verde”, se expresa mediante la simbología o expresión siguiente:  $G_i$  (esto se denomina periodo  $i$ ) y se da mediante los segundos (Rojas, 2020).

Tiempo Perdido: Considerado como lapso en donde el encuentro no se halla usado en ninguna dirección de acceso; este tipo de ciclos suceden mediante una fase de canje (en donde las vías cruzadas se deponen) y al inicio de cada fase, es allí donde los vehículos delanteros de la cola se retrasan a la hora de arrancar. Tiempo de verde efectivo: Es el lapso de cierta fase que ciertamente se utiliza para aquellos movimientos que están permitidos, usualmente se considera “ciclo verde” adicional al momento canjeado, restando la fase olvidada para los momentos que están situados en segundos. Proporción de verde: Es efectivo a comparación de la duración del ciclo, el cual se indica con la simbología  $G_i/C$  (periodo denominado  $i$ ). Rojo efectivo: Se refiere al lapso en donde no es permitido el avance, los tipos de circulación o circulaciones, movimientos que significa la cantidad medida en tiempo del ciclo disminuyéndole el

lapso verde, cabe mencionar que el tiempo verde es funciona mejor en una fase específica, el que a su vez es indicado en segundos (Rojas, 2020).

La segunda dimensión condiciones de transitabilidad, viene a ser el grado de satisfacción que tiene la infraestructura vial asegurando el resguardo de tal manera que exista una transitabilidad vehicular óptima en un tiempo determinado. En el Perú el concepto se define como un estado en la que se puede disponer el uso de esta (Ministerio de Transportes y Comunicación, 2018). El volumen de transitabilidad vehicular viene a ser el elemento originado a causa del flujo vehicular que pasan por una vía, dados en una calzada en un periodo de tiempo determinado. El tráfico está relacionado con la densidad, la intensidad y la velocidad con que circulan los vehículos, cuando la densidad es nula entonces la intensidad será la misma, esta relación siempre es constante, puesto que, a una alta densidad de vehículos, estos dejan de circular a la velocidad que se desea, disminuyendo la fluidez y la eficiencia en la circulación provocando el congestionamiento vehicular (National Academies of Science, 2010).

Desarrollar una transitabilidad fluida significa tener una planificación adecuada y actual del transporte urbano donde se conocen todas las evidencias necesarias de los flujos de transitabilidad actuales para así comprender mejor las deficiencias y trabajar en ello, ya que el transporte urbano involucra vehículos con pasajeros y vehículos con carga, teniendo una transitabilidad diferente, para esto se hacen uso de los datos digitales de modernas fuentes de obtención de datos como cámaras de reconocimiento automático de matrículas, etc. (Hadavi 21 et al. 2020).

Y, la tercera dimensión simulador de tráfico, es una herramienta computacional que permite recrear y modelar el flujo de vehículos en una red de carreteras o en un sistema de transporte urbano. Utiliza algoritmos y modelos matemáticos para simular el

comportamiento de los conductores, las interacciones entre los vehículos y las condiciones de tráfico. Se utiliza para diversos propósitos, como el diseño y la evaluación de infraestructuras viales, la planificación del transporte urbano, el análisis de congestión y la optimización de la movilidad. Permite a los investigadores y planificadores probar diferentes escenarios y políticas antes de implementarlos en la realidad (Cantillo et al. 2016).

Además de la seguridad vial, el sistema de semaforización también contribuye a la eficiencia del tráfico. Al regular el flujo de vehículos, los semáforos ayudan a evitar la congestión y los embotellamientos. Al establecer ciclos de cambio de luces que equilibran el tiempo dedicado a cada dirección, se puede lograr un flujo más fluido y eficiente de vehículos.

En relación a la variable congestión vehicular, se puede definir un estado de congestión vehicular como una situación en la que el paso de un vehículo por las carreteras de una ciudad está siendo limitado, u obstaculizado, por el paso y la circulación de otros vehículos (RAE, 2019). En el estado de la congestión, los vehículos circulan de manera lenta y discontinua, provocando aumentos en los tiempos de transporte, y dificultades en el proceso de desplazamiento urbano, e interurbano.

La congestión vehicular, también conocida como embotellamiento de tráfico o congestión de tráfico, se refiere a la situación en la cual la demanda de uso de la vía sobrepasa la capacidad de la infraestructura vial existente, resultando en la reducción de la velocidad de los vehículos, mayores tiempos de viaje y una disminución general del flujo de tráfico. Es un fenómeno común en las áreas urbanas densamente pobladas y se considera un problema importante en términos de eficiencia del transporte y calidad de vida (Levinson y Krizek, 2018).

Iturra (2018), en general entiende la congestión de vehículos como una extralimitación de vehículos en una vía determinada, la cual trae como resultado que cada vehículo disminuya su avance en modo lento e irregular siempre comparando a los términos normales de operación. Entonces que el exceso de vehículos va a generar una congestión vehicular puesto que la aglomeración provoca desplazamientos más lentos, igualmente dichas aglomeraciones en muchos casos son provocadas por error humano tanto al que conduce un vehículo como al peatón, que en ambos casos hacen uso de la vía y en estos casos está relacionado a la falta de cumplimiento de las normas que regulan el tránsito.

Por lo que se refiere a sus dimensiones, como primera dimensión está el tiempo, se refiere a la cantidad de tiempo adicional que los vehículos deben pasar en un tramo de carretera o en una intersección debido a la congestión del tráfico u otras condiciones adversas. Este retraso puede ser causado por factores como el volumen de tráfico, la falta de capacidad de la infraestructura vial, la presencia de semáforos, el diseño deficiente de las intersecciones, entre otros. El tiempo de retraso experimentado por los vehículos es un indicador importante para evaluar la eficiencia y el rendimiento del sistema de transporte, así como para identificar áreas problemáticas y buscar soluciones para mejorar la fluidez del tráfico. Se utiliza en estudios de ingeniería de tráfico y planificación de transporte para analizar y diseñar infraestructuras viales y estrategias de gestión del tráfico (Cepal, 2018).

La segunda dimensión, flujo vehicular, se refiere al volumen de tránsito y es definido como la cantidad de vehículos que pasan por una determinada sección transversal durante un intervalo de tiempo. El intervalo es de un día, el cual es denominado como vehículos por día. Es decir, se evidencia un límite de circulación del

número de vehículos relativamente libres, las cuales están dados en función de la cantidad de intersecciones y de los límites de velocidad. Por lo que, el incremento paulatino de la cantidad de vehículos obstaculiza la libre circulación, generándose de esa manera el fenómeno de la congestión vehicular (Gutiérrez y Márquez, 2020).

La tercera dimensión el espacio vehicular, se refiere al espacio que cada vehículo ocupa en la carretera cuando está en movimiento o detenido en el tráfico. La causa fundamental de la congestión es la fricción o interferencia entre los vehículos en el flujo de tránsito. Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, y otras condicionantes. Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, es decir, comienza el fenómeno de la congestión. Entonces, una posible definición objetiva sería: “la congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás” (Thomson y Bull, 2001).

La presente investigación se justifica debido a la importancia de abordar el problema de congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Esta zona ha emergido como un punto crítico donde el tráfico se acumula de manera significativa durante las horas pico. Esta afirmación se basa en evidencia recopilada por Cerna (2020), cuyos resultados proporcionan una visión detallada de la deficiencia vehicular en la zona, demostrando longitudes de colas notables para diversas direcciones, como 71.27m para Av. Andrés Zevallos de N a S, 65.55m para Av. Andrés Zevallos de S a N, 33.88m para Av. Hoyos Rubio de O a E, y 54.72m para Av. Hoyos Rubio de E a O. Además, se evidencian cifras críticas

relacionadas con la velocidad de viaje (25km/h) y el tiempo de viaje (36.68seg), junto con paradas de 15.42seg.

Este análisis exhaustivo no solo se limita a los aspectos vehiculares, sino que también aborda la eficiencia peatonal, destacando una velocidad de viaje de 2.03km/h, un tiempo de viaje de 144.24seg, y una densidad promedio de 0.2peat/m<sup>2</sup>.

Sin embargo, aunque estos datos revelan la magnitud del problema, es imperativo mencionar que la falta de información de campo específica sobre la congestión vehicular en la zona limita la comprensión completa de la situación. La ausencia de datos actualizados y detallados obstaculiza la identificación de soluciones efectivas. Por lo tanto, esta investigación no solo se centrará en la solución de la congestión vehicular en sí, sino también en la recopilación de datos de campo para una comprensión más holística y precisa de la problemática, contribuyendo así a la formulación de estrategias efectivas de mejora para esta intersección crítica.

Ante esta problemática, se propone la implementación de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento como solución para reducir la congestión vehicular en dicha intersección. La semaforización automatizada bajo el pavimento se presenta como una solución innovadora y eficiente que aprovecha los avances tecnológicos en sistemas de detección de vehículos y control de tráfico. Este sistema utiliza sensores colocados debajo del pavimento para detectar el flujo vehicular en tiempo real y ajustar automáticamente los tiempos de los semáforos de acuerdo con la demanda del tráfico.

A nivel teórico el estudio se justifica porque se alinea con el campo de la ingeniería de transporte y la gestión del tráfico urbano. Al proponer un enfoque

innovador para el control de intersecciones, la tesis contribuye al avance del conocimiento en el diseño y la implementación de soluciones inteligentes para reducir la congestión vehicular. Además, esta propuesta también puede ser considerada como una contribución al desarrollo sostenible de las ciudades, ya que una mejor gestión del tráfico conlleva beneficios en términos de reducción de emisiones contaminantes y mejora de la calidad del aire.

La relevancia social surge porque la implementación de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento en el cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio tiene un impacto positivo en la seguridad vial. Al ajustar los tiempos de los semáforos de manera dinámica, se minimizan las posibilidades de colisiones y accidentes causados por el flujo vehicular desorganizado y la falta de sincronización en los semáforos convencionales. Adicionalmente, este sistema puede integrarse con otros sistemas de gestión de tráfico y transporte, como el monitoreo en tiempo real y la coordinación de semáforos en red. Esto permite un enfoque integral para el control del tráfico, donde las decisiones se toman en función de datos precisos y actualizados, mejorando aún más la eficiencia y la fluidez del tráfico en la intersección y en las áreas circundantes.

Las implicancias prácticas surgen porque se presenta un enfoque integral y detallado que involucra el análisis de las características del tráfico en la intersección objetivo, la evaluación de las tecnologías disponibles para la detección y el control del tráfico, así como el diseño e implementación del sistema propuesto. La tesis también debe abordar posibles limitaciones y desafíos asociados con la implementación de este tipo de tecnología, así como consideraciones económicas y de viabilidad.

La justificación metodológica surge porque se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con sistemas de semaforización y soluciones automatizadas para la gestión del tráfico vehicular. Esta revisión permitirá identificar enfoques y técnicas previamente propuestas, así como conocer las mejores prácticas utilizadas en otros contextos similares. La aplicación de este enfoque metodológico aportará conocimientos y soluciones prácticas para reducir la congestión vehicular en las intersecciones mencionadas, contribuyendo así a mejorar la movilidad y el bienestar de la comunidad en Cajamarca.

Por tanto, el principal objetivo de esta investigación es: Modelar una propuesta de sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento para ayudar a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Y como objetivos específicos: Definir un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Verificar la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Medir el tiempo en la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Identificar el flujo vehicular por la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.

También se plantea como hipótesis de estudio: La propuesta de modelamiento de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.

## 1.2. Formulación del problema

### Pregunta general

¿De qué manera la propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca?

### Preguntas específicas

- ¿De qué manera la propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir el tiempo en la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca?
- ¿De qué manera la propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir el flujo vehicular por la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca?
- ¿De qué manera la propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir el espacio vehicular por la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca?

## 1.3. Objetivos

### Objetivo general

Modelar una propuesta de sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento para ayudar a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.

### **Objetivos específicos**

- Definir un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.
- Verificar la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.
- Medir el tiempo en la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.
- Identificar el flujo vehicular por la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.

### **1.4. Hipótesis**

La propuesta de modelamiento de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### Tipo de investigación

Es de tipo básica, debido a que este tipo de estudios, no persiguen una utilización inmediata para los conocimientos obtenidos, sino que busca acrecentar los acontecimientos teóricos para el progreso de una ciencia, sin interesarse directamente en sus posibles aplicaciones o consecuencias prácticas (Aguilar y Oseda, 2022).

Enfoque cuantitativo: puesto que permite medir variables o fenómenos a través de valores numéricos y un procesamiento estadístico descriptivo y/o inferencial. La investigación cuantitativa se deriva del empirismo y la observación directa para poder obtener los datos; en ocasiones estos datos son recogidos a través de instrumentos como el cuestionario o la ficha de observación y en otras ocasiones, mediante una ficha de análisis documental (Arias et al. 2022).

### Diseño de investigación

El diseño es descriptivo, se orienta a describir el fenómeno e identificar las características de su estado actual, lleva a las caracterizaciones y diagnóstico descriptivos; propositiva, es el estudio en el cual se formula una solución antes un problema, previo diagnóstico y evaluación de un hecho o fenómeno. Esta propuesta es de cambio, adición o supresión, producto de un análisis y fundamentación de las teorías necesarias y suficientes, enfocadas en la variable diagnóstica y la propositiva; las cuales deben conducir a un salto, el diseño de la propuesta como tal (Estela, 2020). Su esquema es el que se presenta:



Donde:

Rx: Diagnóstico de la realidad

T: Estudios teóricos

PV: Propuesta validada

## **Variables y operacionalización**

Definición conceptual

Variable independiente: Propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento

El sistema de semaforización es un conjunto de dispositivos y señales luminosas utilizadas para regular y controlar el flujo del tráfico vehicular y peatonal en las vías públicas. Consiste en la instalación de semáforos en intersecciones y cruces viales, los cuales emiten luces de diferentes colores (generalmente rojo, amarillo y verde) para indicar a los conductores cuándo deben detenerse, prepararse para detenerse o avanzar (Transportation Research Board, 2016).

Variable dependiente: Congestión vehicular

Se puede definir un estado de congestión vehicular como una situación en la que el paso de un vehículo por las carreteras de una ciudad está siendo limitado, u obstaculizado, por el paso y la circulación de otros vehículos (RAE, 2019).

Definición operacional

Variable independiente: Propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento

Esta variable será operacionalizada por medio de 3 dimensiones: características geométricas, condiciones de transitabilidad y simulador de tráfico. Con la finalidad de diseñar una propuesta de sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento para ayudar a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca

Variable dependiente: Congestión vehicular

Esta variable será operacionalizada por medio de 3 dimensiones: tiempo, flujo vehicular, espacio vehicular. Con la finalidad de diseñar una propuesta de sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento para ayudar a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.

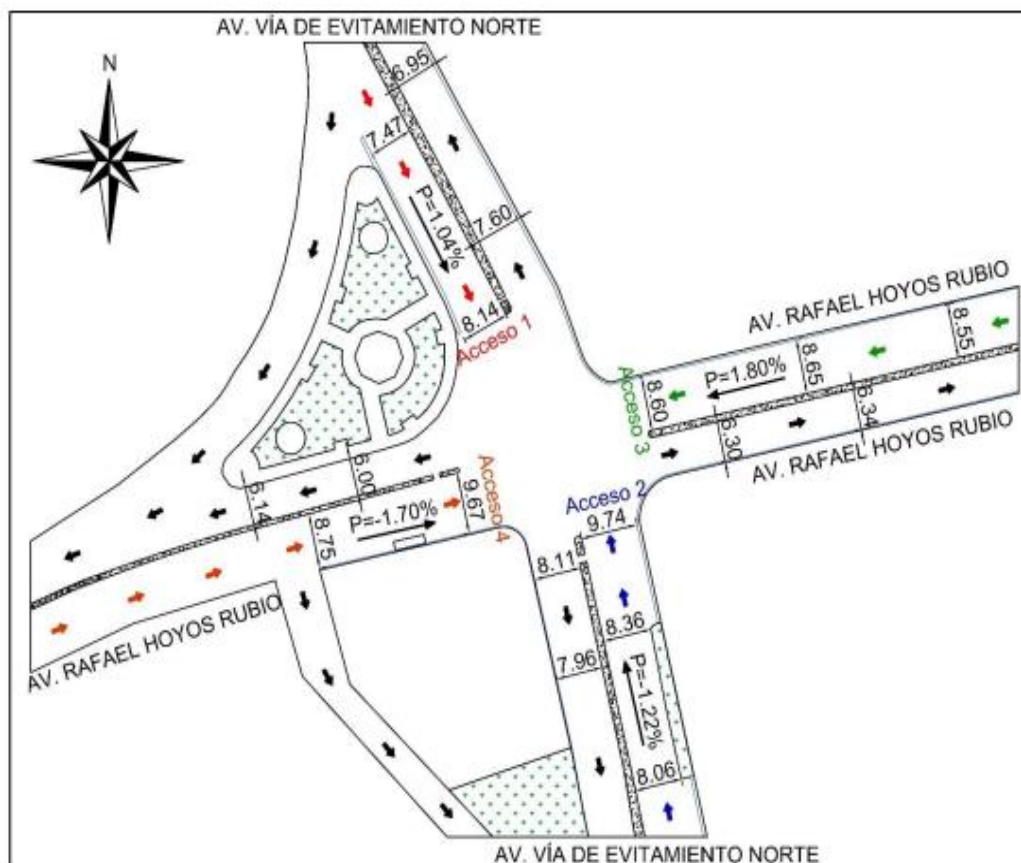
## **Población**

Se define como el conjunto de casos que tienen una serie de especificaciones en común y se encuentran en un espacio determinado. En muchos casos, no es posible analizar toda la población por cuestiones de tiempo y recursos humanos. Es por ello que debe trabajarse con una parte “Muestra” (Chaudhuri, 2018). En esta investigación la población está conformada por las intersecciones muy transitadas (puntos críticos) del cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. La misma que dispone de 2 carriles con un ancho promedio de 3.87 m, dispone de una berma central de 1.80 m, no se dispone de carriles de estacionamiento ni paradero de buses. Atravesando el cruce y en la misma dirección, la avenida sigue con 2 carriles de 4.02 m. La pendiente es de 1.04%. Este trabajo de investigación permitió tener información de

las necesidades que requiere la ciudad en cuanto a la congestión de tráfico vehicular, y dar una disminución del problema realizando este trabajo de investigación.

**Fig. 2.**

*Imagen de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca*



Nota. Catastro Municipalidad Provincial de Cajamarca

## Muestra

La muestra se define como aquel subgrupo de casos de una población en el cual se recopilan los datos. Trabajar con una muestra presenta ventajas como el ahorro de tiempo, la reducción de costos y, si está bien seleccionada, puede contribuir a la precisión y exactitud de los datos. Es crucial tener en cuenta que la población y la

muestra deben guardar relación con la pregunta de investigación y los objetivos, además de poseer representatividad estadística (Arispe et al. 2020). Para determinar la muestra, en el presente estudio se emplearon los siguientes criterios:

- **Ubicación estratégica:** La intersección seleccionada, conformada por el cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca, fue elegida por su importancia en términos de flujo vehicular y su relevancia para los temas abordados en la investigación.
- **Características físicas:** Se consideraron las características físicas de la intersección, como el número de carriles (2 carriles con un ancho promedio de 3.87 m y 2 carriles de 4.02 m después del cruce), la presencia de una berma central de 1.80 m, y la ausencia de carriles de estacionamiento o paraderos de autobuses. Estas características fueron cruciales para el análisis de la circulación vial y la seguridad en el cruce.
- **Topografía:** La pendiente de la vía, evaluada en un 1.04%, también fue un factor considerado, ya que podría influir en la dinámica del tráfico y la seguridad vial.
- **Relevancia para la investigación:** Se tuvo en cuenta la relación directa entre la ubicación de la muestra y los objetivos específicos de la investigación, asegurando que la información recopilada fuera directamente aplicable a la temática abordada.

La elección del muestreo no probabilístico a conveniencia del autor se basa en la intención de seleccionar una población específica, precisando sus características comunes, o mediante juicios tendenciosos por parte de los investigadores (Arias et al. 2022).

## Técnicas de recolección de datos

Observación: Es una técnica utilizada comúnmente en los estudios cualitativos, para ello se requiere que el investigador se integre al grupo que se pretende estudiar y se relacione con estos, lo más que se pueda. El investigador debe estar en el sitio o lugar a investigar y debe establecer una relación con las personas que conforman dicho grupo, la información se recoge a partir de instrumentos como bitácoras, registros anecdóticos, lista de corroboración, guía de observación, entre otros (Trujillo, et al. 2019). Para este estudio se aplicó la técnica de la observación para el flujo de tráfico vehicular con el fin de estudiar la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca durante el periodo 2023, de acuerdo a este modelo se diseñó un sistema de semaforización inteligente para una mejora de su funcionalidad, con los recursos utilizados.

### Fig. 3

*Registro de flujo vehicular manual.*



Nota. Catastro Municipalidad Provincial de Cajamarca

## Instrumentos de recolección de datos

a. Guía de observación: se realizó una lectura manual de datos de Campo para la recolección de información. Se analizó el prototipo de semaforización actual existente en el cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. La

misma que dispone de 2 carriles con un ancho promedio de 3.87 m, dispone de una berma central de 1.80 m, de acuerdo a este modelo se diseñó un sistema de semaforización inteligente para una mejora de su funcionalidad, con los recursos utilizados.

b. Para el diseño del sistema de semaforización se realizó algoritmos de flujogramas del sistema de semaforización propuesto y la elaboración de la programación del controlador de forma computarizada, utilizando los software: Sistema Operativo Windows® 8 Single Lenguaje, Microsoft office 2013, LabVIEW. Se utiliza el software Proteus para simular el funcionamiento del sistema antes de su implementación real.

**Fig. 4**

*Registro de datos*



Nota. Catastro Municipalidad Provincial de Cajamarca

## Procedimientos

La investigación se divide en cuatro etapas. La primera etapa consiste en seleccionar los 2 cruces semaforizados críticos con superior demanda vehicular, como se indica en el estudio y se detalla en este capítulo.

**Fig. 5**

*Registro de datos.*



**Nota.** Catastro Municipalidad Provincial de Cajamarca

En la segunda etapa, se procede al registro de datos de campo, los cuales son obtenidos en tiempo real, y corresponden al número de vehículos detectados. Posteriormente, todos los datos obtenidos son minuciosamente revisados para garantizar que cumplan con los requisitos establecidos antes de someterlos al análisis correspondiente.

**Fig. 6***Registro de datos***Nota.** Catastro Municipalidad Provincial de Cajamarca

La tercera etapa comprende el análisis de los datos, que se inicia con la organización cuantitativa y se extiende a los análisis estadísticos correspondientes. Estos análisis posibilitan el cálculo de promedios, porcentajes, ponderaciones y otros resultados cuantificables. Asimismo, se evalúa el impacto de las variables a través de pruebas de campo y se validan las hipótesis planteadas.

En la cuarta etapa se presentan de manera objetiva los resultados obtenidos, precisando la implicancia de la variable independiente en relación con la variable dependiente. Además, se sustentan las hipótesis formuladas al inicio de la investigación. En esta etapa, también se contrasta la información necesaria proveniente de revisiones bibliográficas, con el fin de respaldar la propuesta de solución planteada como alternativa.

### **Métodos de análisis de datos**

El proceso de análisis de datos en esta tesis implica la recopilación, organización, análisis estadístico, modelado y simulación, evaluación y validación de los datos obtenidos mediante el uso de detectores de bucle inductivo. Estas etapas y

métodos permiten comprender la situación actual de la intersección, desarrollar un sistema de semaforización automatizada y respaldar la propuesta con datos y evidencia sólidos.

**Análisis estadístico:** En esta etapa, se aplican métodos estadísticos para analizar los datos recopilados. Esto puede incluir el cálculo de promedios, desviaciones estándar, correlaciones y otros indicadores relevantes. El objetivo es comprender la situación actual de la intersección y establecer una base sólida para la propuesta de solución.

**Modelado y simulación:** Con base en los datos recopilados y el análisis estadístico, se desarrolla un modelo y se realizan simulaciones para evaluar el rendimiento del sistema propuesto. Esto implica utilizar software especializado que permita simular el comportamiento del tráfico en la intersección y analizar cómo el sistema de semaforización automatizada podría reducir la congestión vehicular.

### **Aspectos éticos**

En esta investigación se ha considerado el respeto al derecho de autor de cada una de las definiciones y teorías utilizadas, lo que asegura que la información presentada en el estudio cumple con los estándares establecidos por las normas APA 7ma edición. Para garantizar una calidad ética en el estudio, se han aplicado los principios éticos de autonomía, justicia y beneficencia, los cuales son fundamentales en cualquier investigación (Moli et al., 2018). La investigación se destacó por contemplar diversos aspectos éticos, tales como la observancia del consentimiento informado y la autonomía de los participantes para formar parte del estudio. Se aseguró la beneficencia al no generar daños en los involucrados en la investigación y se trató a todos los participantes de manera equitativa y justa.

### **CAPÍTULO III: RESULTADOS**

El presente capítulo presenta los resultados obtenidos en la investigación sobre la propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento, diseñado específicamente para reducir la congestión vehicular en el cruce de la Avenida Vía de Evitamiento Norte y la Avenida Hoyos Rubio, en la ciudad de Cajamarca.

#### **Ubicación y descripción**

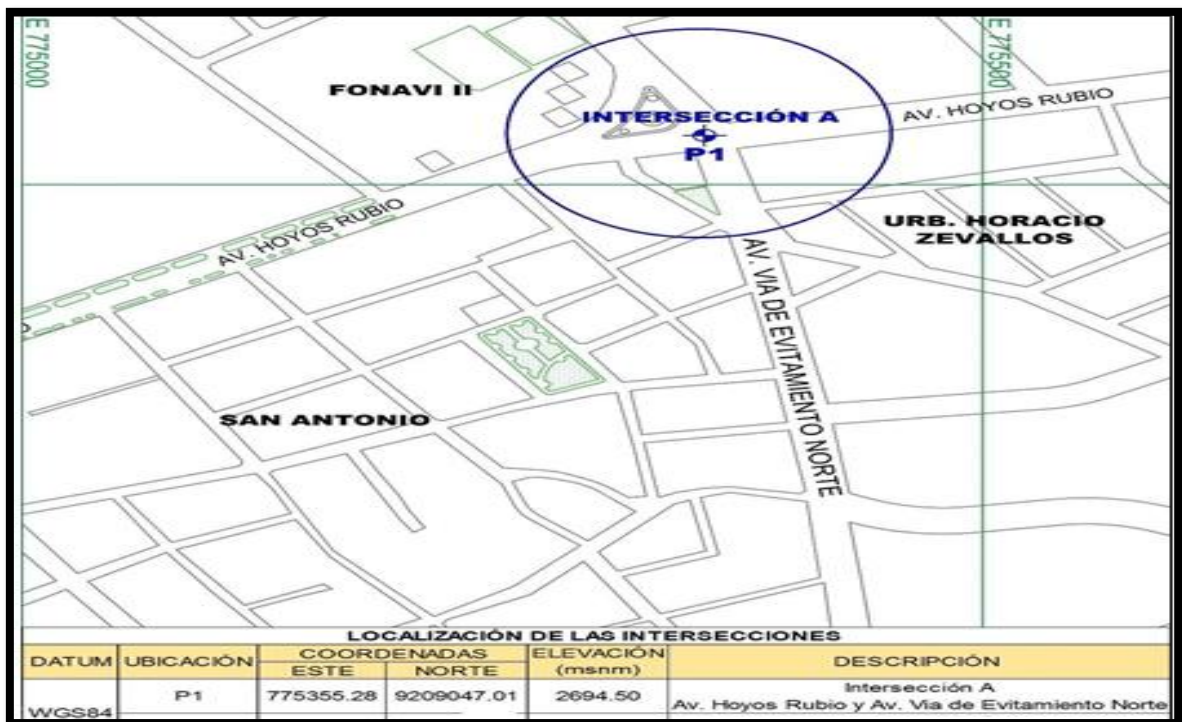
Rafael Hoyos Rubio es una de las avenidas con mayor importancia de la urbe cajamarquina, en la nación peruana. Se extiende a lo largo de dieciocho cuadras numeradas de Este a Oeste, con un largo aproximado de 2.9 km, une el centro con el aeropuerto Armando Revoredo Iglesias.

Rafael Hoyos Rubio comienza en el jirón Revilla Pérez, con una orientación de circulación de este a oeste, en la cuadra dos se transforma en un camino de dos sentidos, en la siguiente se encuentra localizada la plazuela Hoyos Rubio y la capilla Nuestra Señora de Guadalupe, aquí el camino muestra una berma central la que sigue hasta la penúltima cuadra.

En el cruce con la Av. Vía de Evitamiento Norte comienza la ciclo vía, entre las cuadras diez y trece entre el Centro de Urbanización Horacio Zevallos, la Institución Educativa María de Nazaret, el conjunto residencial Balcones de la Alameda y un nosocomio EsSalud, la cuadra catorce cuenta con taller de autos Toyota, los siguientes micro-distritos se caracterizan por la presencia de ocio, entretenimiento, centros de autos e instituciones educativas Pamer, Davy y del Carmen, lo cual al mismo tiempo reduce aún más el área residencial y de entretenimiento nocturno. Luego se reduce el espacio y aparece la carretera interdistrital desde la Avenida Hoyos Rubio que conduce a Ventanillas de Otuzco. A partir de este punto, el Bulevar Hoyos Rubio

pierde su arcén central y pasa a ser una vía de un solo carril. Al mismo tiempo, finaliza el distrito centro. Por último, después de cruzar el puente sobre el río Mashcon, nos encontraremos en la vía principal de acceso al Aeropuerto Armando Revoredo Iglesias.

Todas estas instalaciones de entretenimiento, organismos estatales, organismos privados, residenciales, centros comerciales y centros educativos transforman a esta avenida en un camino bastante concurrido, ocasionando varios viajes durante el día, incrementado el flujo vehicular, en especial en la mañana, lográndose desarrollar de esta manera puntos críticos en los cruces que en seguida se presenta en la figura siguiente:



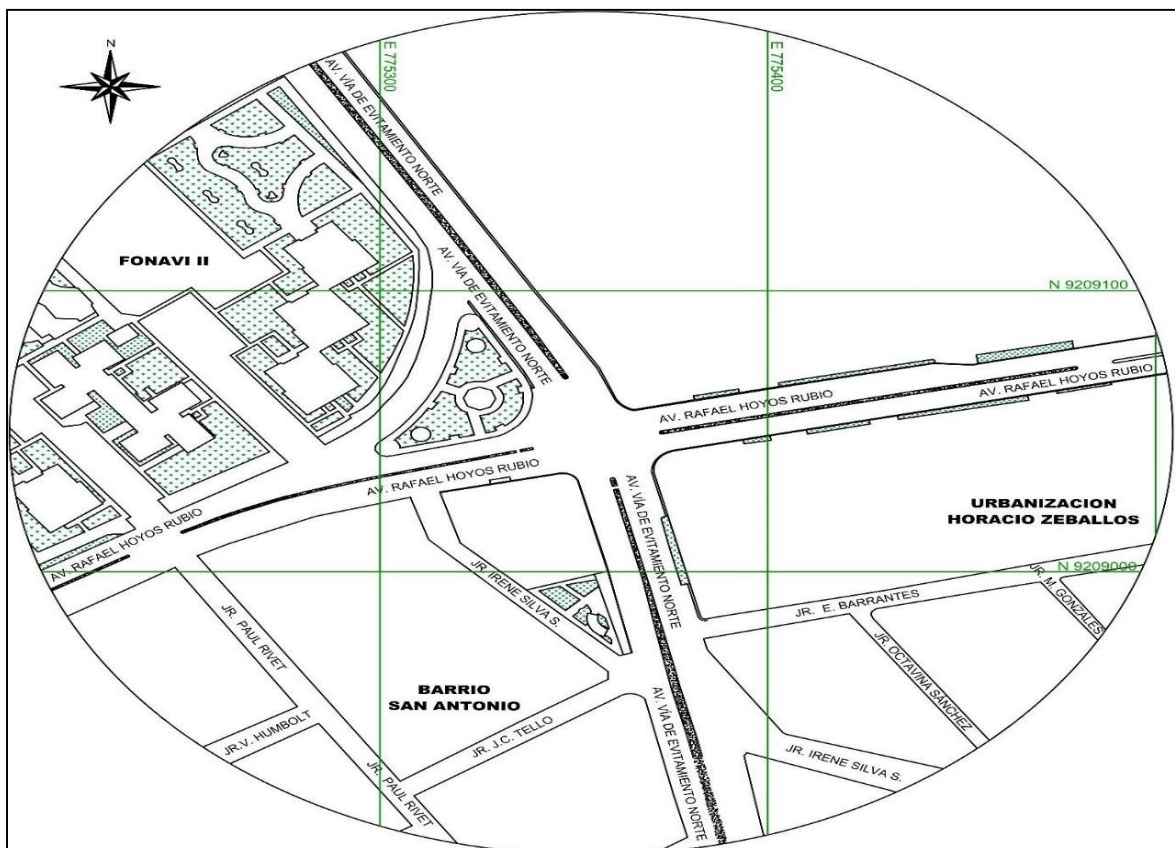
*Nota. Catastro de la Municipalidad provincial de Cajamarca*

## Intersección

El primer cruce con superior afluencia vehicular en investigación, es una intersección con forma de cruz, constituido por cuatro accesos y constituido por 2 vías, la principal y la secundaria. La vía principal, Av. Vía de Evitamiento Norte, es tomada en consideración como un camino arterial, mencionada avenida es una ruta primordial que cruza y une la urbe cajamarquina de Norte a Sur y al contrario. La vía secundaria es la avenida Rafael Hoyos Rubio, es tomada en consideración como un camino colector, cruza la urbe de Este a Oeste y al contrario, uniendo el centro de la urbe con el aeropuerto y la circunscripción de Baños del Inca.

**Fig. 8**

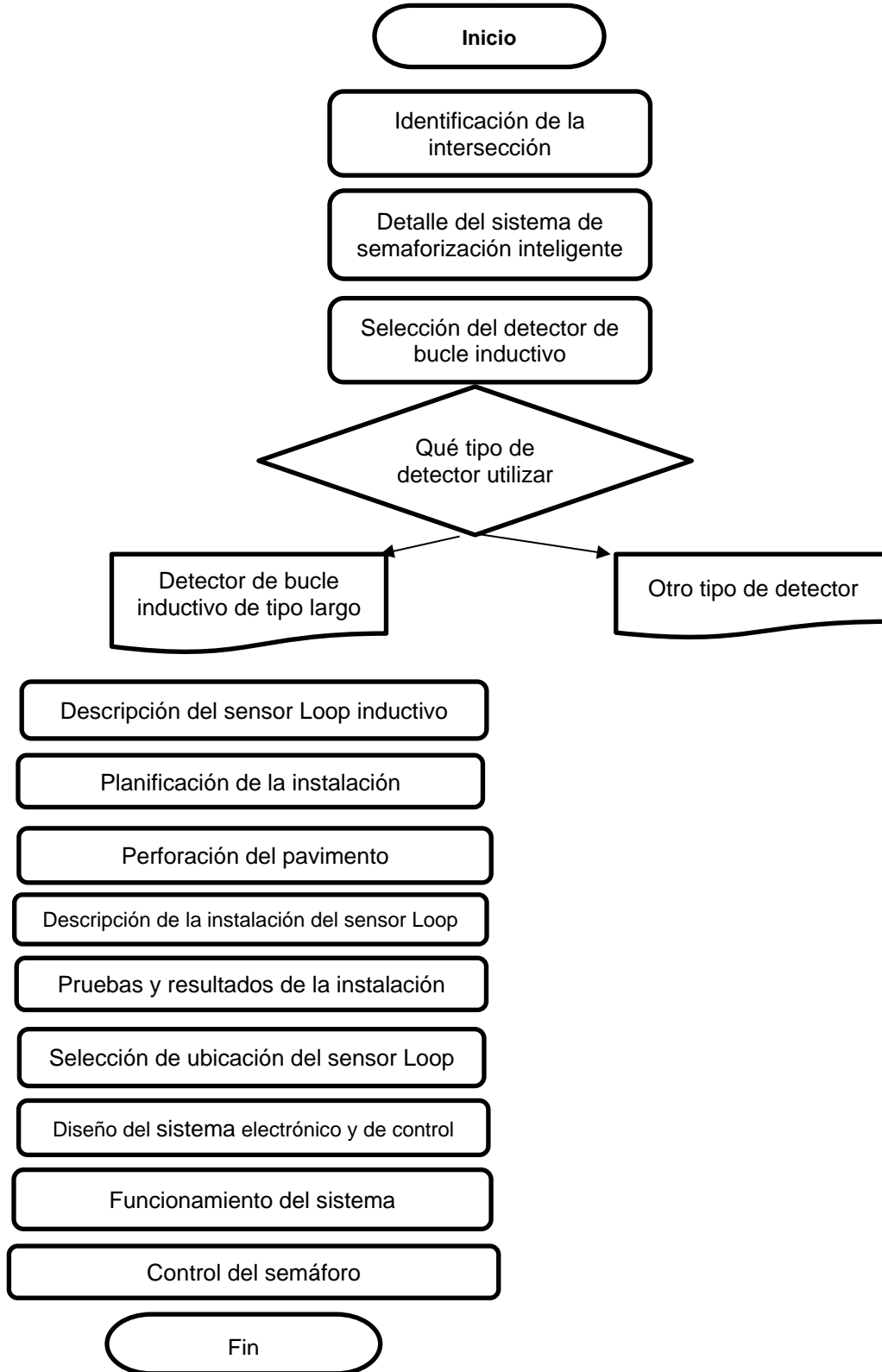
*Localización y ubicación de la intersección*



*Nota. Catastro de la Municipalidad provincial de Cajamarca*

**Fig. 9**

*Diagrama de flujos procesos de sistema de semaforización automatizada*



## **Diseño del sistema de semaforización**

El sensor más fácil e idóneo para aplicarlo en un diseño de una propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento para reducir la congestión vehicular en el cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte Y La Av. Hoyos Rubio - Cajamarca es el detector de bucle inductivo. Es el sensor más utilizado para detectar el tráfico porque es fácil de instalar, mantener y usar. También es relativamente económico.

Para el diseño del semáforo inteligente, tomando en cuenta que el objetivo es tener una gestión óptima y eficiente de la movilidad vehicular en las intersecciones de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca se propone desarrollar un sistema de semaforización inteligente que cumpla las características siguientes:

- Una aplicación racional de la tecnología
- Un correcto mantenimiento preventivo, correctivo y evolutivo.
- Una eficiente operación en la gestión.

## **Parámetros de selección**

El requerimiento para implementar el sistema al semáforo inteligente es de vital importancia para la pre-selección de los materiales adecuados, en esta sección se usará el método de criterios ponderados para la selección del elemento de control. También se tomará en cuenta para la selección de parámetros que un semáforo esté conformado por los siguientes partes:

- Mobiliario Semafórico. - Luces y ubicación de la parte física del semáforo.
- Sistema de Control. - Caja de control tanto de potencia como de control.
- Sistema de Comunicaciones. - comunicación Bluetooth entre las dos interfaces, fija y móvil.

## **Operación del sistema de semaforización**

En esta sección el semáforo operará de manera automática, mediante la detección de vehículos ubicados en la vía secundaria utilizando el sensor Loop. El mismo que dará

lectura de la presencia de vehículos y entregará una señal lógica, que a su vez entrará al ciclo de programación para brindar la semaforización adecuada, si no existe señal de vehículos en la vía secundaria el semáforo de la calle principal permanecerá en verde. Adicional se implementó un parámetro de activación de luz verde para la vía secundaria luego de 2 minutos por motivo de fluidez de vehículos no motorizados. A partir de las 10:00 p.m. el semáforo entrará en forma intermitente con luz amarilla para la vía principal y con la luz roja para la vía secundaria, hasta las 05:00 a.m. que retoma el funcionamiento normal.

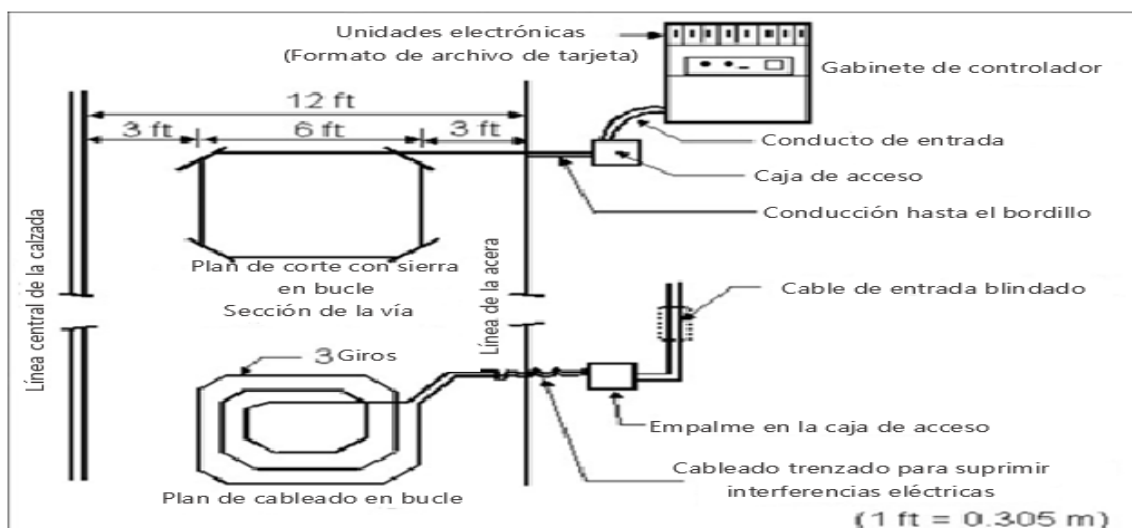
### Detección de vehículos

Los circuitos de detección de vehículos, llamados detectores de tráfico de bucle inductivo, pueden detectar los vehículos que pasan o llegan a un determinado punto, por ejemplo acercándose a un semáforo en el tráfico de la avenida

En la figura 10 se muestra la forma de instalar en el pavimento el sensor Loop, el mismo que se instala un lazo eléctricamente aislado. La unidad electrónica transmite energía en los bucles de alambre en las frecuencias entre 10 kHz a 200 kHz, dependiendo del modelo.

**Fig. 10**

*Forma de implementar el sensor Loop*



Nota.

[http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/images/fig1\\_4.gif](http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/images/fig1_4.gif)

El sistema de bucle inductivo se comporta como un circuito eléctrico sintonizado en el que el cable de bucle y el cable de entrada son los elementos inductivos. Cuando un vehículo pasa sobre el bucle o se detiene dentro del bucle, el vehículo induce corrientes parásitas en los bucles de hilo, lo que disminuye su inductancia. La inductancia disminuida acciona el relé de salida de la unidad electrónica o la salida ópticamente aislada de estado sólido, que envía un impulso al controlador de la señal de tráfico que significa el paso o la presencia de un vehículo.

Los detectores de bucle inductivo se instalan en el pavimento y crean un campo magnético. Cuando un vehículo pasa por encima del detector, perturba el campo magnético, lo que genera una señal. La señal se utiliza para contar el número de vehículos que pasan por el detector y para determinar su velocidad. Los detectores de bucle inductivo pueden utilizarse para detectar el tráfico en una variedad de aplicaciones, como control de semáforos, control de acceso, congestión vehicular y seguridad vial. Para aplicar un detector de bucle inductivo en el diseño de la presente propuesta, se deben realizar los siguientes pasos:

### **Seleccionar el tipo de detector de bucle inductivo adecuado para la aplicación**

En el caso de las intersecciones de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio en Cajamarca, se recomienda utilizar detectores de bucle inductivo de tipo largo. Estos detectores son capaces de detectar vehículos de diferentes tamaños y pueden utilizarse en diferentes tipos de pavimento. También son relativamente económicos, lo que los hace una buena opción para esta aplicación.

### **Proceso de instalación**

Los detectores de bucle inductivo de tipo largo se instalarán debajo del pavimento de las intersecciones considerando los siguientes procesos:

**a.1. Planificación:** Esto incluye determinar la ubicación de los detectores, la longitud de los detectores y el tipo de detectores que se utilizarán. Para ello los detectores deben colocarse en la intersección de las Avenidas. Puesto que es una intersección con forma de cruz, constituido por cuatro accesos y constituido por 2 vías, la principal y la secundaria. La vía secundaria es la avenida Rafael Hoyos Rubio, es tomada en consideración como un camino colector, cruza la urbe de Este a Oeste y al contrario, uniendo el centro de la urbe con el aeropuerto y la circunscripción de baños del inca.

**a.2. Longitud:** La longitud de los detectores cubrirá el ancho de la calzada de la intersección de las avenidas, Detallada en el anexo (4) Por lo que Para la calzada de 7.74 pies de ancho, se deben utilizar detectores de bucle inductivo de al menos 15 pies de longitud. Para la calzada de 8.72 pies de ancho, se deben utilizar detectores de bucle inductivo de al menos 17 pies de longitud. Para la calzada de 8.60 pies de ancho, se deben utilizar detectores de bucle inductivo de al menos 16 pies de longitud. Para la calzada de 8.78 pies de ancho, se deben utilizar detectores de bucle inductivo de al menos 18 pies de longitud.

**a.3. Perforación:** Una vez que se haya planificado la instalación, se perforan los agujeros en el pavimento para colocar los detectores considerando los siguientes procesos:

El tipo de pavimento: en la zona de las intersecciones de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio en Cajamarca es asfalto. El asfalto es un material común para el pavimento porque es duradero, económico y fácil de instalar. También es un buen conductor de calor, lo que puede ayudar a derretir la nieve y el hielo. El asfalto es un buen material para un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento porque es resistente al daño y puede soportar el peso de los vehículos.

Tamaño del agujero: El tamaño correcto del agujero para los detectores en un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento para reducir la congestión vehicular en las intersecciones de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio en Cajamarca es de 2 a 3 pulgadas de diámetro. Para ello, se utiliza una barrena para perforar los agujeros correspondientes en el pavimento a la profundidad correcta.

Este tamaño es lo suficientemente grande para acomodar los detectores y los cables, pero no es tan grande como para dañar el pavimento. Es importante utilizar el tamaño correcto del agujero para los detectores para garantizar que los detectores se instalen correctamente y que funcionen correctamente. Si el agujero es demasiado pequeño, los detectores no podrán detectar los vehículos correctamente. Si el agujero es demasiado grande, los detectores pueden dañarse.

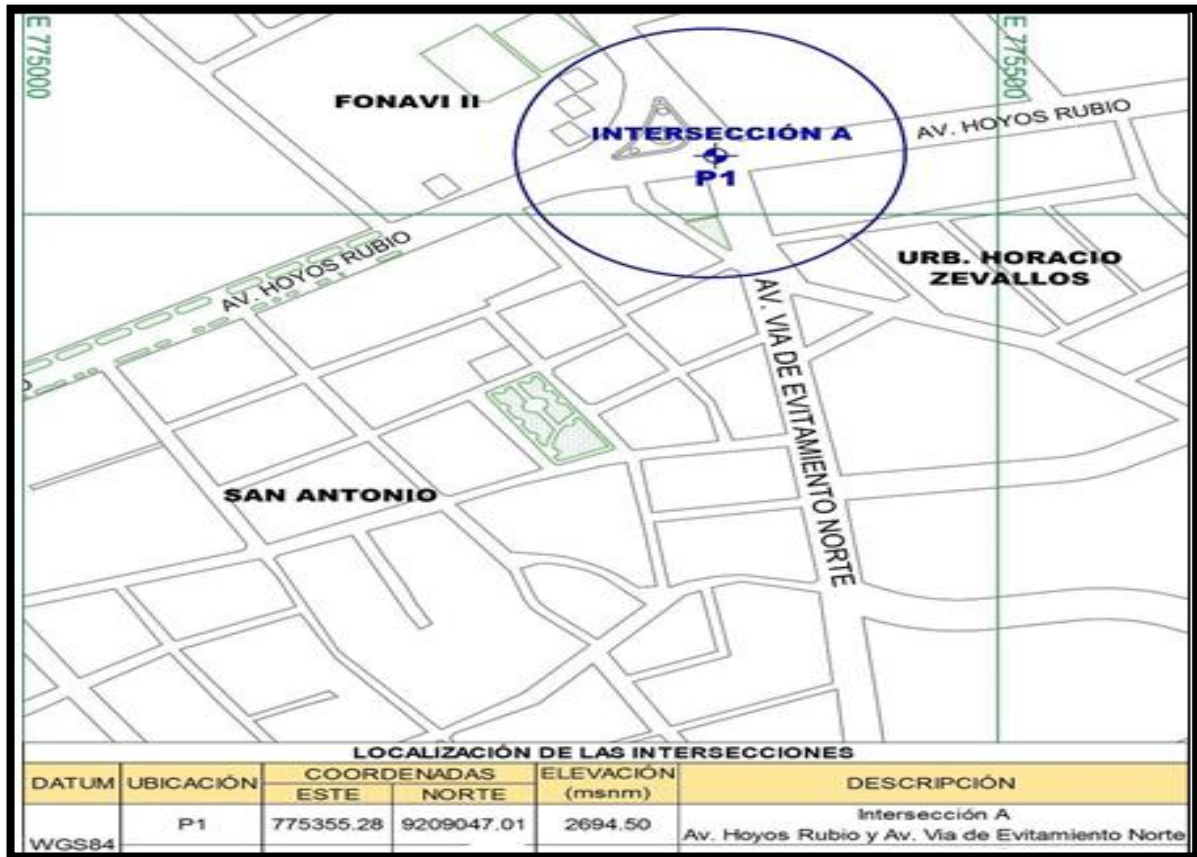
La naturaleza relativamente cruda de la estructura del bucle significa que sólo las masas de metal por encima de un cierto tamaño son capaces de activar el relé. La mayoría de los bucles se pueden ajustar manualmente para detectar de forma consistente la presencia de scooters y motocicletas como mínimo

### **Implementación**

El sistema automatizado del semáforo inteligente estará diseñado para detectar desde una moto, hasta los vehículos de carga pesada que circulan por la vía. En la siguiente figura se muestra la intercesión “A” de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca, donde se implementará el semáforo automatizado con el sensor Loop.

**Fig. 11**

*Ubicación de las intersecciones sometidas a estudio*



**Nota.** Catastro de la Municipalidad provincial de Cajamarca

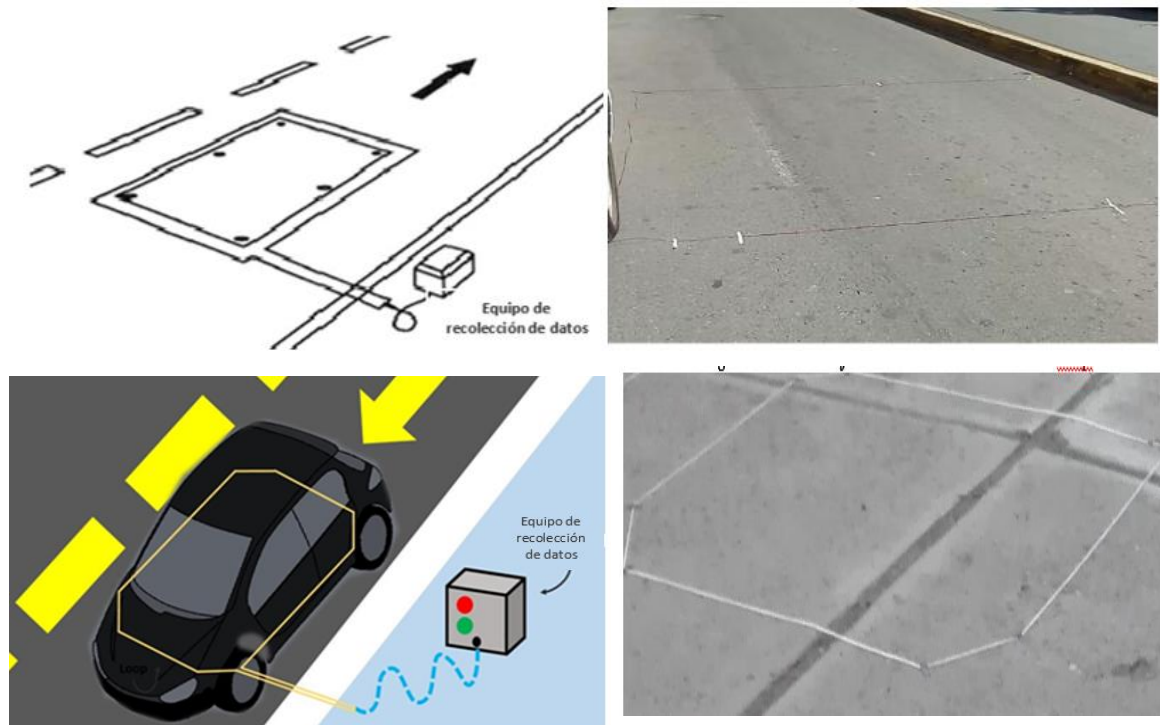
### Ubicación del sensor Loop en la vía

Se requiere conocer la distribución del cableado del sensor Loop en la vía, por lo que se realiza la implementación. Distribuyendo la cantidad necesaria de cable para generar un campo inductivo, siendo capaz de leer los diferentes medios de transporte, y así poder procesar la señal mediante el dispositivo de control Arduino

En las siguientes imágenes se muestra las pruebas realizadas de la instalación del sensor como propone el fabricante.

**Fig. 12**

*Ubicación de las intersecciones sometidas a estudio*



**Nota.** Elaboración propia

Con la distribución del sensor Loop como se muestra en la figura anterior, es necesario tomar en cuenta la forma de implementar el sensor Loop para que la resolución sea la adecuada, tomando en cuenta el tamaño de los vehículos y motos, así también el tiempo de respuesta que emite. En la tabla siguiente se detallan los datos de lectura del sensor Loop con la primera opción de distribución del mismo.

**Tabla 1**

*Pruebas de lectura del sensor Loop*

Tipo de vehículo	Número	Vehículos detectados
Carro	10	8
Mototaxi	10	0
Bus	10	10

Otra forma que el fabricante sugiere de la conexión del sensor Loop en la vía, se muestra en la siguiente figura:

**Fig.13**

*Ubicación del sensor Loop*



**Nota.** Elaboración propia

Con la distribución del sensor Loop en la forma que se muestra en la figura 12, se tiene los siguientes datos de su lectura que se tabulan en la siguiente tabla:

Tabla 2

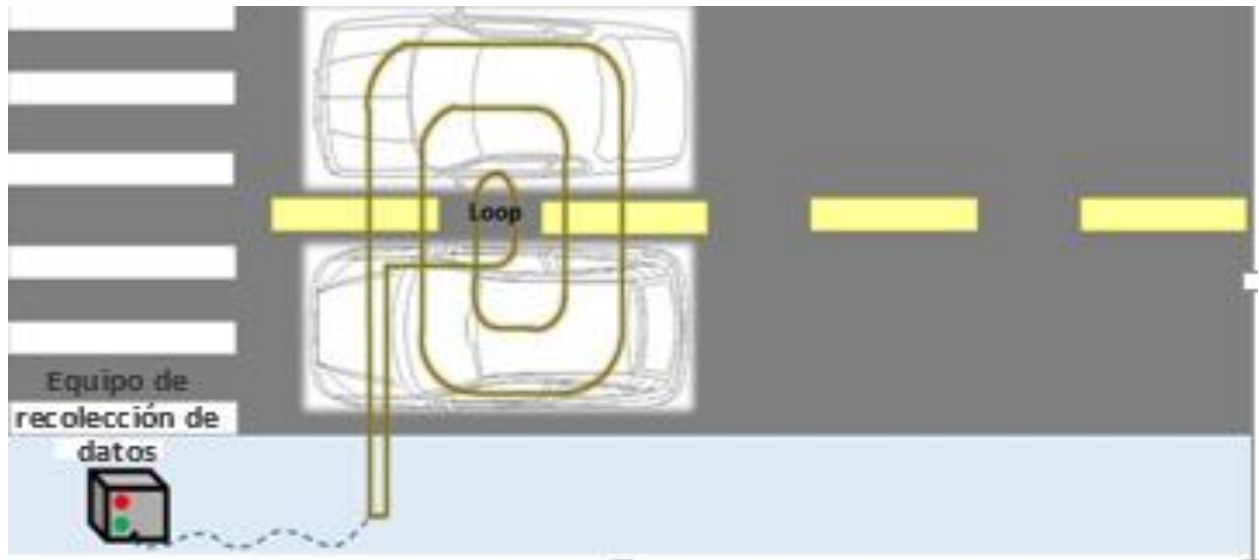
*Pruebas de lectura del sensor Loop*

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Número</b>	<b>Vehículos detectados</b>
Carro	10	10
Mototaxi	10	10
Bus	10	10

Elijiéndose así la ubicación del sensor Loop como se muestra en la figura 14, que se adapta a nuestro estudio en particular. Para la instalación del sensor Loop se tomó en cuenta la sensibilidad requerida por lo cual se utilizó una cantidad de 50 m de cable.

**Fig. 14**

*Detección del Sensor Loop a taxi y taxi*

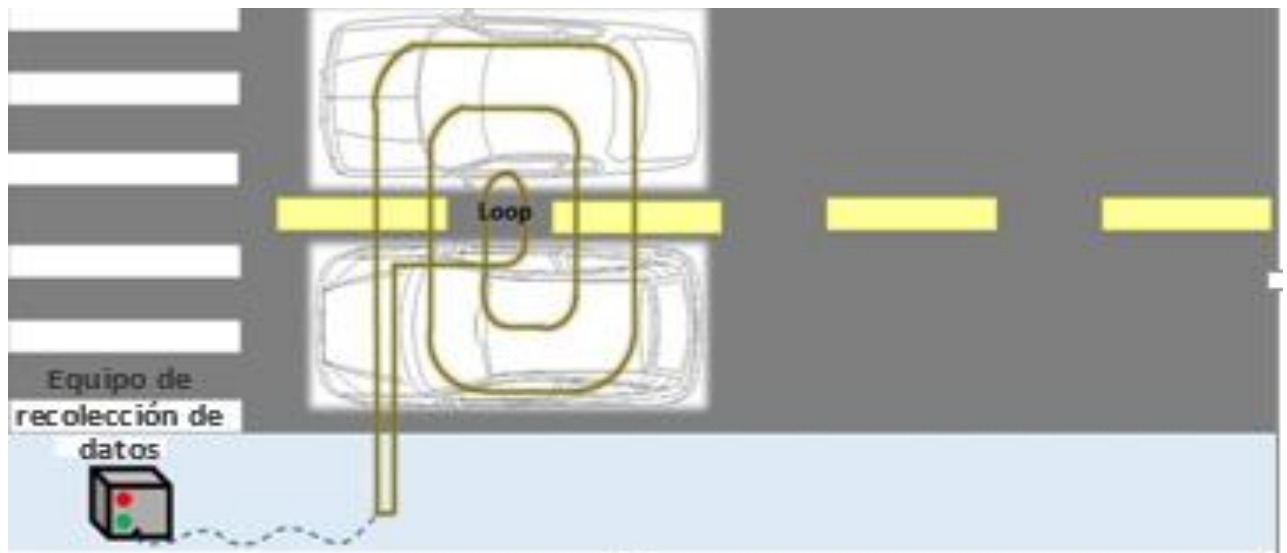


Nota. Elaboración propia

En la figura se observa la distribución que se hizo del sensor Loop en la vía obteniendo datos precisos de los autos que pasaron sobre el sensor.

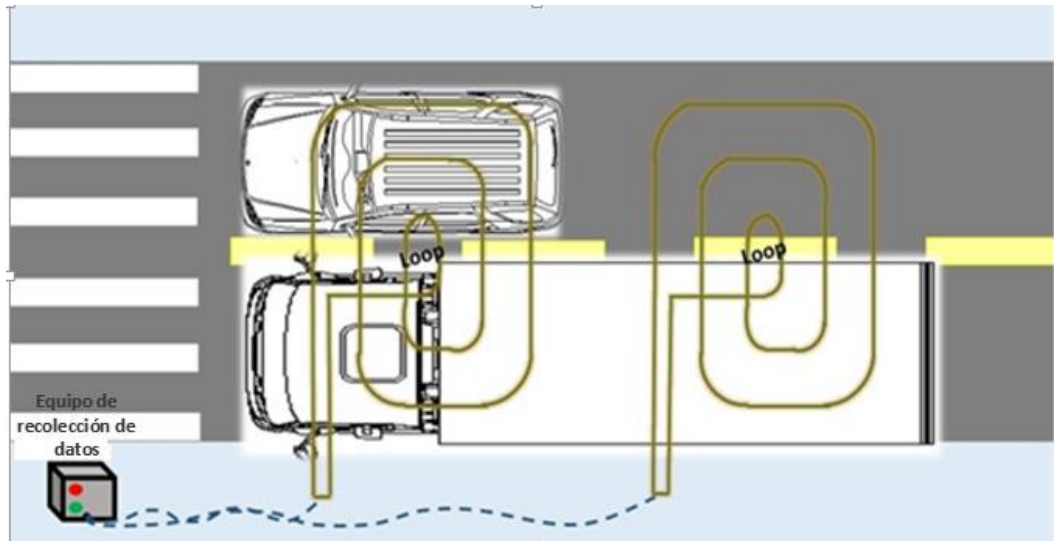
**Fig. 15**

*Detección del Sensor Loop a taxi y taxi*



Nota. Elaboración propia

En la figura mostrada a continuación se puede observar un vehículo menor y un vehículo de tamaño considerable el cual es detectado sin inconvenientes algunas.

**Fig. 16***Detección del Sensor Loop a taxi y tráiler*

**Nota.** Elaboración propia

Con la distribución realizada de la segunda forma indicada por el fabricante de este componente es más eficiente que la primera forma de instalación los resultados lo indican puesto que la lectura es de mayor resolución, es capaz de detectar vehículos menores para entregar la señal al dispositivo.

**Simulación de la solución**

Para realizar las pruebas, se realizó una simulación con la ayuda del software Proteus, en la siguiente figura se puede observar la simulación implementada. Para llevar a cabo este estudio, se empleó el software Proteus, una herramienta ampliamente reconocida y utilizada en el ámbito de la ingeniería electrónica y de sistemas. Esta elección se basa en la necesidad de simular de manera precisa y detallada el funcionamiento del sistema de semaforización automatizada propuesto antes de su implementación real en la intersección mencionada. La simulación desempeña un papel fundamental en el desarrollo de este proyecto, ya que permite verificar la eficacia y la seguridad del sistema, así como realizar ajustes y optimizaciones sin poner en riesgo la seguridad vial.

La figura que se presenta a continuación representa la simulación implementada en el software Proteus, en la cual se pueden observar los componentes y el comportamiento del sistema de semaforización automatizada. Esta simulación es una etapa crítica en la investigación, ya que brinda la oportunidad de evaluar el correcto funcionamiento de todas las condiciones requeridas por el semáforo inteligente, incluyendo la detección de vehículos, la sincronización de los semáforos y la gestión de las señales lumínicas.

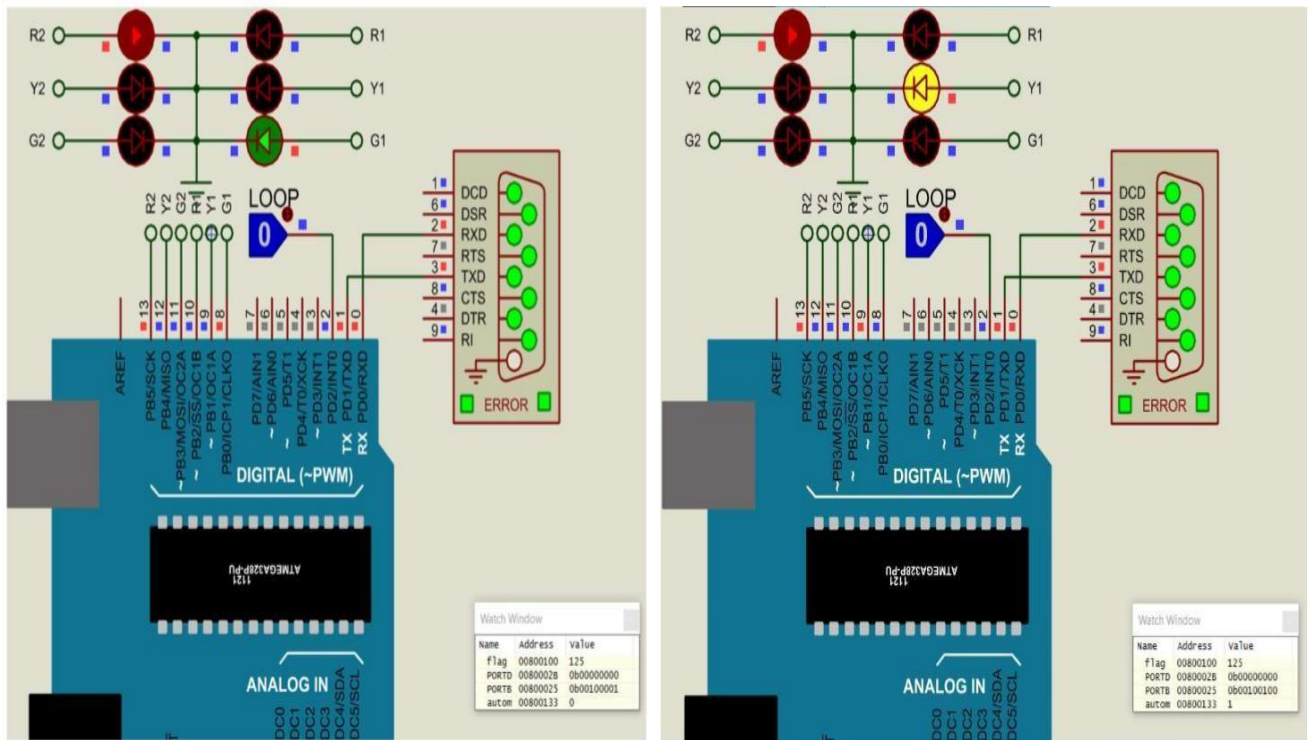
Un aspecto fundamental a destacar es el uso de un controlador principal, en este caso, un Arduino Uno, que desempeña un papel central en la gestión de las señales lumínicas del semáforo. La elección de Arduino como plataforma de control se basa en su versatilidad, facilidad de programación y capacidad para interactuar con sensores y actuadores, aspectos cruciales en un sistema de semaforización automatizada de este tipo.

La simulación a través del software Proteus y la elección del controlador Arduino Uno son componentes esenciales en la investigación, ya que permiten asegurar la viabilidad y eficacia del sistema de semaforización automatizada propuesto antes de su implementación en el mundo real. Esta metodología garantiza la seguridad vial y la optimización del flujo de tráfico, contribuyendo así a la solución de un problema crítico de congestión vehicular en el cruce de la avenida Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio en Cajamarca.

Luego del emular el correcto funcionamiento de todas las condiciones requeridas por el semáforo inteligente, se procede a ser implementado

**Fig. 17**

*Simulación del semáforo en Proteus*



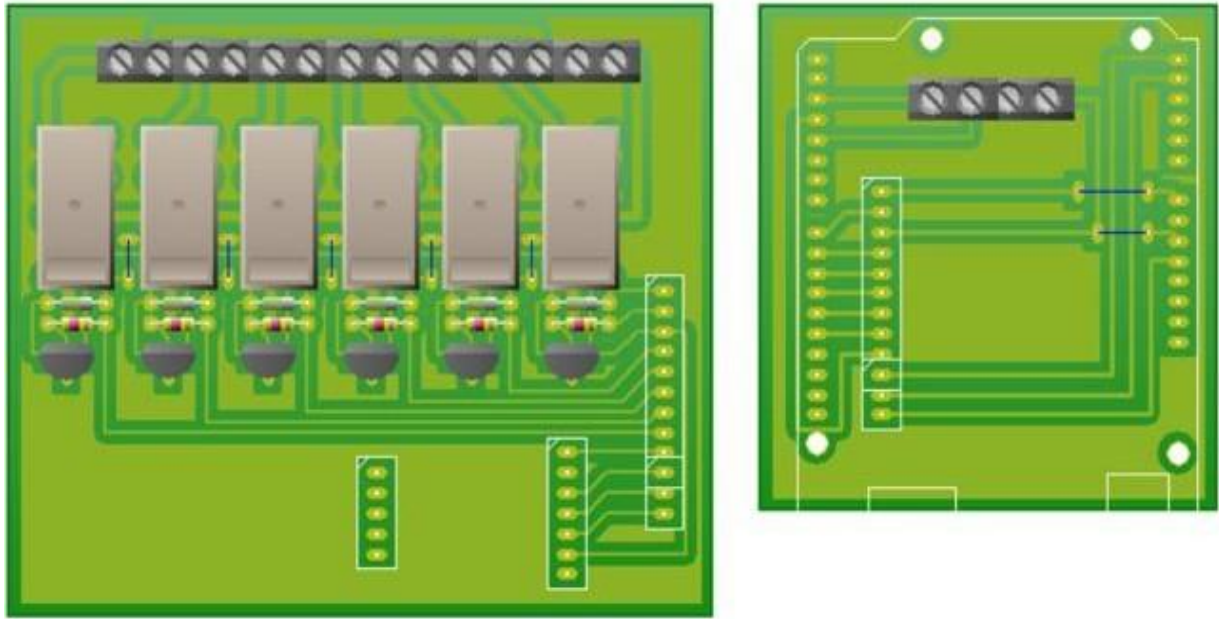
*Nota.* Proteus /Elaboración propia

### Diseño del sistema electrónico y de control

El sistema eléctrico se basa en la elección del controlador en este caso específico por las características mencionadas anteriormente se implementa el un Arduino uno, para controlar las señales lumínicas del semáforo. Para poder separar la parte de control con la el circuito de potencia, tomando en cuenta el consumo de corriente de las luminarias del semáforo, se implementa la tarjeta de control con relay de un amperaje máximo de 5<sup>a</sup>

**Fig. 18**

*Placas de control del semáforo*



*Nota.* Proteus / Elaboración propia

### **Diseño de la interfaz en Labview**

La elección de herramientas y programas adecuados para el diseño y monitoreo de este sistema es de vital importancia, y en este contexto, se ha optado por utilizar principalmente la plataforma LabVIEW, con una alternativa que incluye el monitoreo a través de una aplicación en Android.

La selección de LabVIEW como la plataforma principal para el diseño del sistema de semaforización automatizada representa una elección estratégica de alto nivel debido a sus capacidades avanzadas y su amplio uso en aplicaciones de control y monitoreo en tiempo real. LabVIEW, desarrollado por National Instruments, es una herramienta de programación gráfica que permite la creación de sistemas de control y adquisición de datos de manera eficiente y robusta. Su flexibilidad y versatilidad lo convierten en la elección ideal para el desarrollo de sistemas complejos como el que se aborda en esta tesis.

Una de las ventajas cruciales de LabVIEW es su capacidad para proporcionar una interfaz gráfica de usuario (GUI) intuitiva, como se muestra en la figura 19. Esta interfaz permite a los operadores y administradores del sistema visualizar de manera efectiva el estado actual de los semáforos y acceder a los parámetros de configuración mínimos. Esta visualización en tiempo real es esencial para garantizar un control adecuado de la intersección y para tomar decisiones informadas sobre la sincronización de los semáforos, lo que a su vez contribuye a reducir la congestión vehicular de manera efectiva.

Además, la elección de LabVIEW también se justifica por su capacidad para la integración con una variedad de sensores y dispositivos de adquisición de datos, lo que es esencial para recopilar información en tiempo real sobre el tráfico y la ocupación de la intersección. Esto permite la toma de decisiones basadas en datos precisos y en tiempo real, lo que es esencial para optimizar la operación de los semáforos y, por ende, reducir la congestión vehicular de manera efectiva.

La alternativa de monitoreo a través de una aplicación en Android también es de gran relevancia, ya que permite un acceso remoto y móvil a la información del sistema. Esto puede ser especialmente útil para los operadores de tráfico y otros interesados que necesitan supervisar la intersección desde ubicaciones fuera de la central de control. La movilidad proporcionada por una aplicación en Android asegura que la gestión y el monitoreo del sistema puedan llevarse a cabo de manera eficiente y oportuna, lo que contribuye aún más a la reducción de la congestión vehicular.

**Fig. 19**

*Interfaz de usuario*



Nota. LabVIEW /Elaboración propia

La interfaz principal contiene varios elementos de monitoreo y configuración, que los podemos ver en la figura 20, el manejo de la interfaz es simple, no es necesario ser un usuario con conocimiento avanzado para controlar el semáforo.

**Fig. 20**

*Interfaz de usuario específica*



Nota. LabVIEW /Elaboración propia

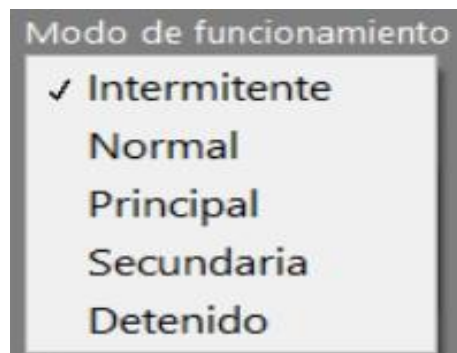
## Configuración de la aplicación

1. Selección del modo de funcionamiento
2. Envío de tiempos de funcionamiento
3. Hora y fecha del sistema
4. Selección del puerto de comunicación
5. Configuración de los tiempos del funcionamiento
6. Configuración del tiempo de espera
7. Botón de detención del sistema

Al iniciar el sistema es necesario seleccionar el puerto de comunicación correcto, el cual se comunica con el tablero de control mediante bluetooth, lo que permite enviar comandos de configuración y recibir el estado actual del semáforo.

Cuando el sistema ya está en funcionamiento se puede seleccionar el modo de funcionamiento mediante el menú desplegable.

**Fig. 21**



*Menú desplegable de modo de funcionamiento*

Nota. Arduino / Elaboración propia

Se puede seleccionar entre las diferentes categorías:

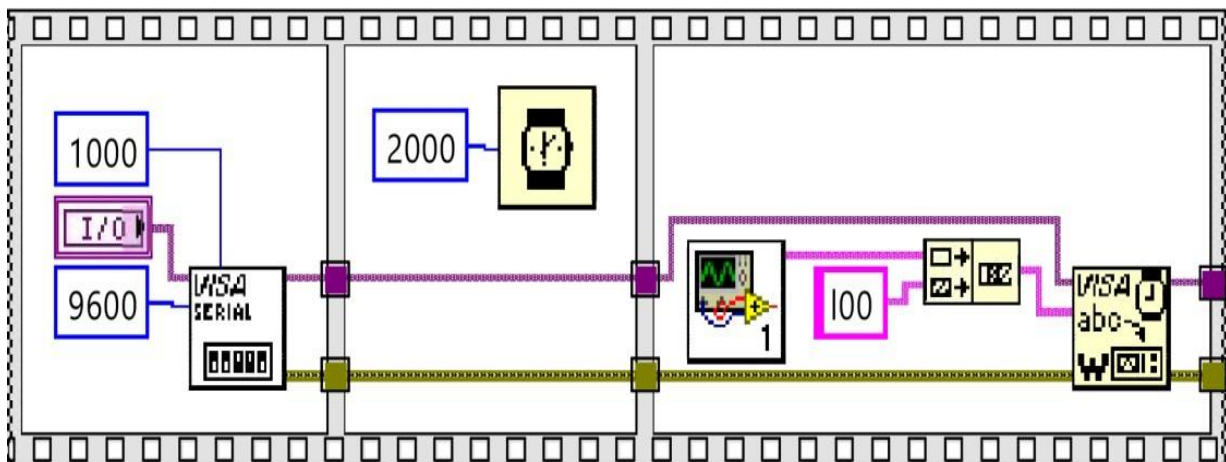
- **Intermitente.** - como su nombre lo indica, permite al sistema ingresar al modo intermitente.

En el semáforo principal se tendrá una intermitencia de la luz amarilla mientras en el semáforo secundario la intermitencia será de la luz roja.

- **Normal.** - en este modo de operación el semáforo principal se encuentra siempre con la luz verde encendida y el secundario con la luz roja, en el momento que el sensor Loop detecte un vehículo en la vía secundaria, el sistema realiza el proceso de un semáforo normal dando paso al vehículo.
- **Principal.** – este modo de operación permite mantener la luz verde encendida en la vía principal y la luz roja en la secundaria.
- **Secundaria.** - este modo de operación permite mantener la luz roja encendida en la vía principal y la luz verde en la secundaria.
- **Detenido.** - en este modo de operación las dos vías están detenidas, por lo que la luz roja está encendida en ambos semáforos.

**Fig. 22**

*Inicialización del sistema*

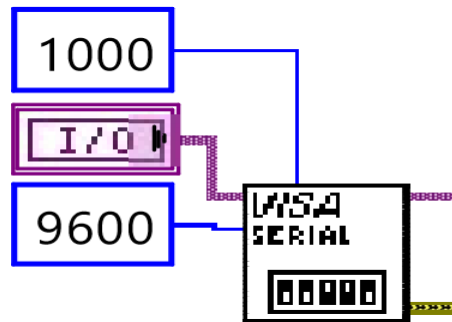


Nota. Arduino / Elaboración propia

Inicialmente el sistema configura el puerto serial, cuyos parámetros necesarios son el puerto de comunicación, en este caso para el bluetooth, la velocidad de comunicación (9600 baudios) y el tiempo permitido por problemas de comunicación (1000 ms).

**Fig. 23**

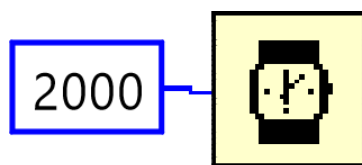
*Configuración de la velocidad de comunicación*



Nota. Arduino /Elaboración propia

Es necesario ofrecer al sistema un tiempo de estabilización (2000 ms) para sincronizar correctamente la comunicación con el módulo Arduino. Ofrecer un tiempo de estabilización antes de iniciar la comunicación ayuda a garantizar que los dispositivos estén configurados y listos para comunicarse a la misma velocidad, lo que reduce la probabilidad de errores y garantiza una comunicación fiable entre el Arduino y el módulo o dispositivo externo. El tiempo exacto de estabilización puede variar según la configuración específica y los dispositivos involucrados.

**Fig. 23**



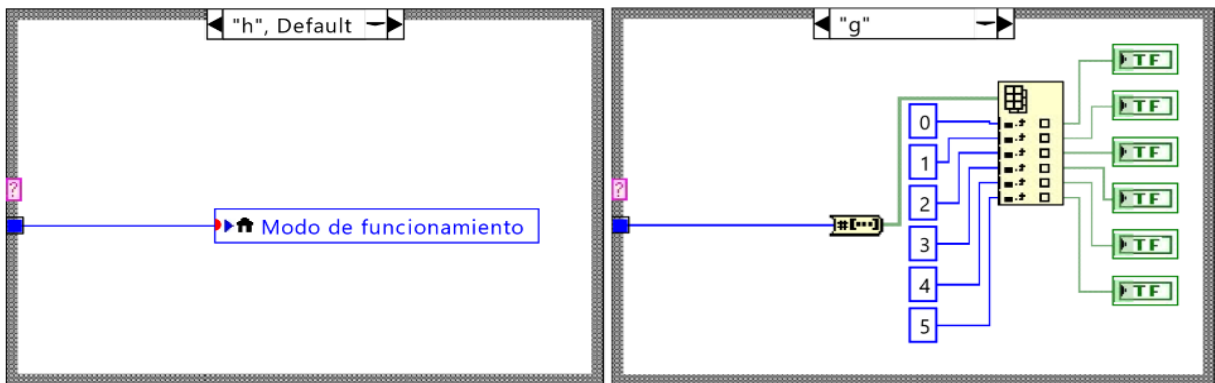
*Tiempo de estabilización*

Nota. Arduino /Elaboración propia

Dependiendo de la letra de reconocimiento, sea 'g' o 'h', el sistema realiza diferentes operaciones, para el comando 'g' realizamos la recepción del estado del semáforo, mientras para el comando 'h' realizamos la recepción del modo de funcionamiento actual en el dispositivo.

**Fig. 24**

a) Selección de modo de funcionamiento. b) Recibe el estado del semáforo



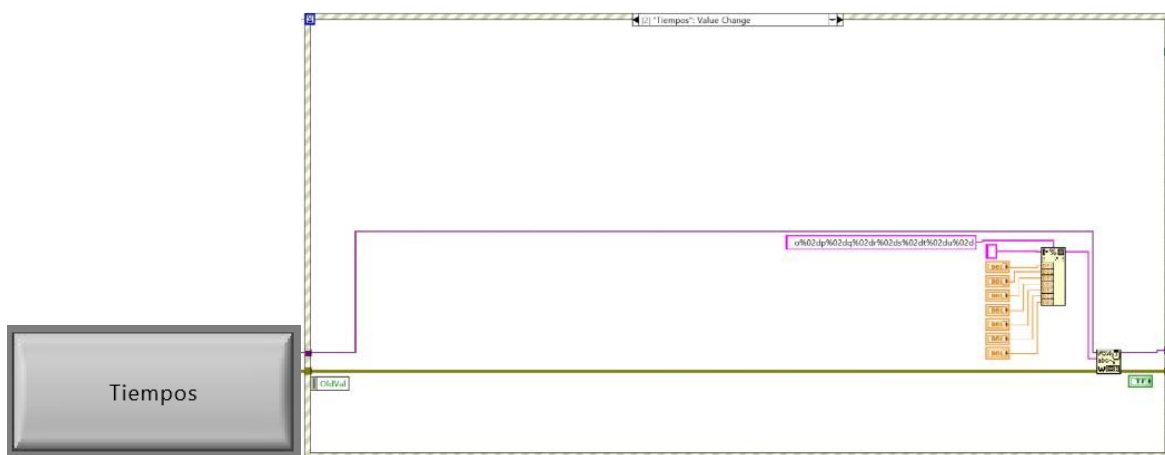
Nota. Arduino Elaboración propia

Dentro del mismo ciclo de temporización se realiza de manera paralela la lectura del tiempo del sistema para visualizarlo en la interfaz principal y realizar la debida sincronización con el semáforo

El siguiente ciclo de interrupción permite realizar el envío de los tiempos de sincronización con el semáforo, este ciclo se activa al presionar el botón tiempos en la pantalla principal.

**Fig. 26**

*Tiempos de sincronización*



Nota. Arduino / Elaboración propia

**Tabla 3**

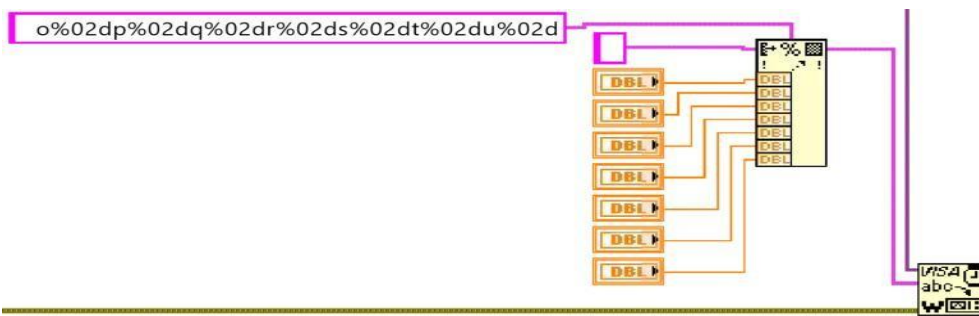
*Decodificación de tiempos de funcionamiento*

Descripción	Comando de reconocimiento	Dato	Comando codificado
Etapa 1	o	11	o11
Etapa 2	p	12	p12
Etapa 3	q	2017	q17
Etapa 4	r	9	r09
Etapa 5	s	26	s26
Etapa 6	t	5	t05
Tiempo de espera	u	25	u25

Nota. Elaboración propia

El código realiza la codificación adecuada y la envía mediante el puerto serial hacia el semáforo.

**Fig. 27**



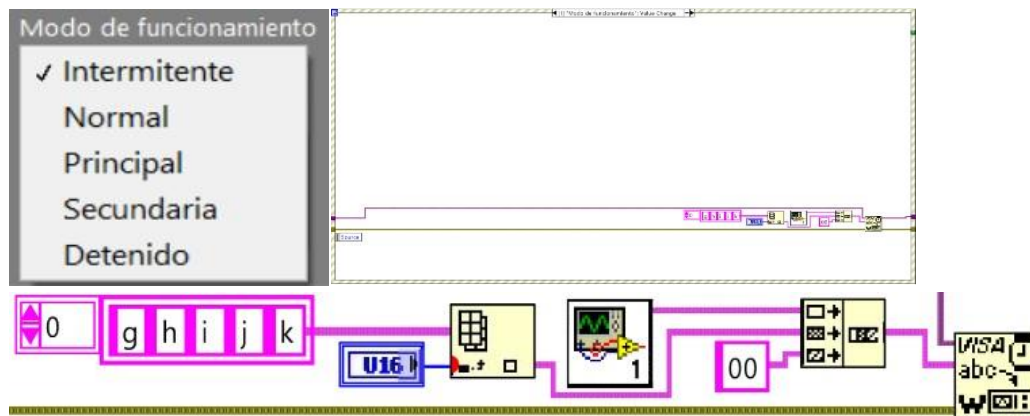
*Codificación*

Nota. Arduino / Elaboración propia

Y por último la interrupción del modo de funcionamiento, el cual permite codificar y realizar el envío del modo seleccionado

**Fig. 28**

*Modo de funcionamiento*



Nota. Arduino / Elaboración propia

Al igual que el envío de tiempos, el sistema usa un comando de reconocimiento y dos bytes para el envío de datos, para mantener la compatibilidad de los comandos los bytes enviados pueden tener cualquier valor ya que estos no influyen en el modo de funcionamiento, en la siguiente tabla se puede observar la equivalencia de los comandos.

**Tabla 4.**

*Modos de funcionamiento*

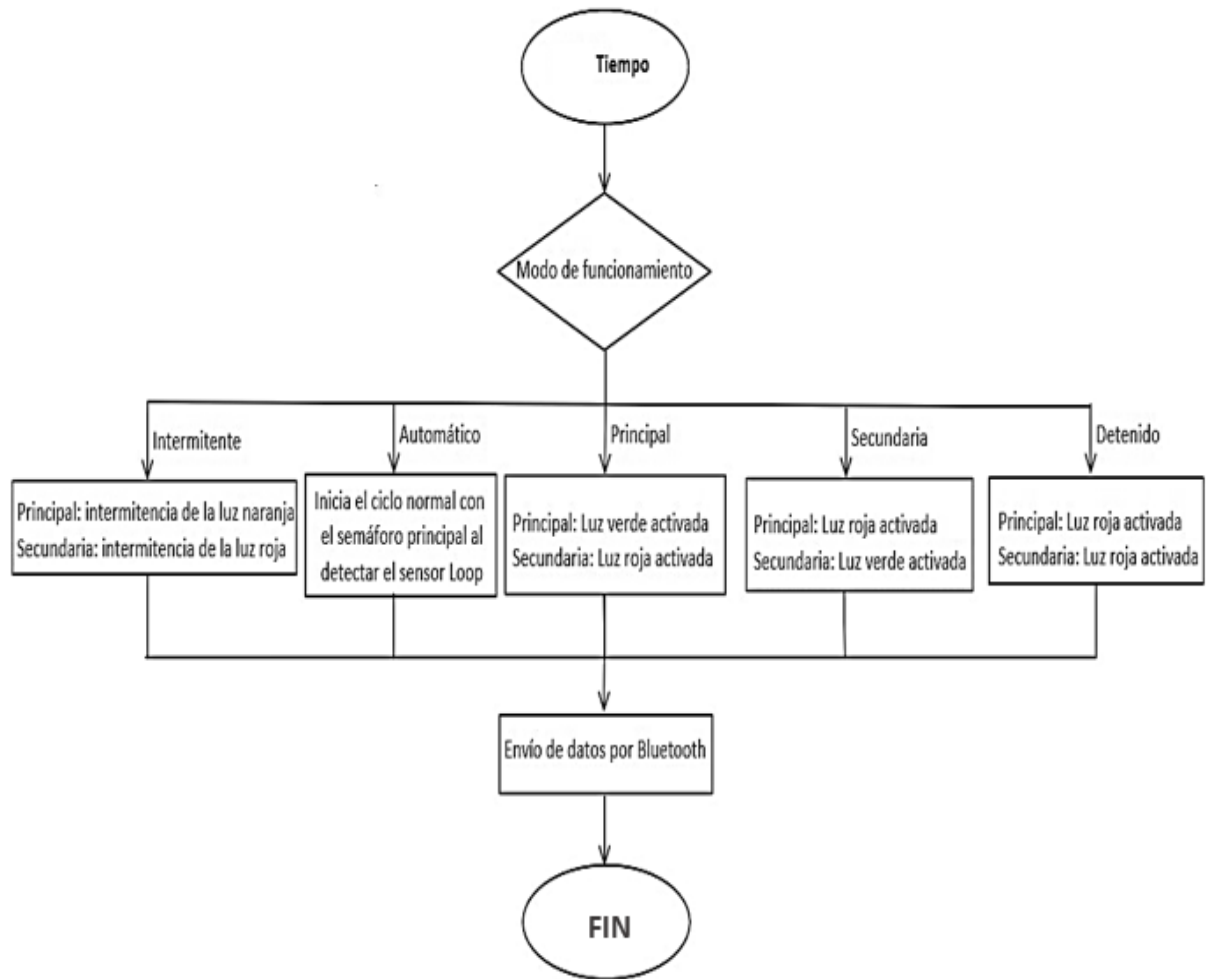
	Descripción	Comando de reconocimiento	Comando codificado
<b>Intermitente</b>	g	g	g00
<b>Normal</b>	h	h	h00
<b>Principal</b>	i	i	i00
<b>Secundaria</b>	j	j	j00
<b>Detenido</b>	k	k	k00

### Código implementado en Arduino

Al encender el sistema de semaforización, Arduino realiza una lectura en la memoria EEPROM para identificar el modo de funcionamiento en el que se encontraba antes de apagarse, además de realizar las adecuadas configuraciones en los puertos E/S para el correcto funcionamiento del sistema.

**Fig. 29.**

*Ajuste a modos de funcionamiento del sistema*

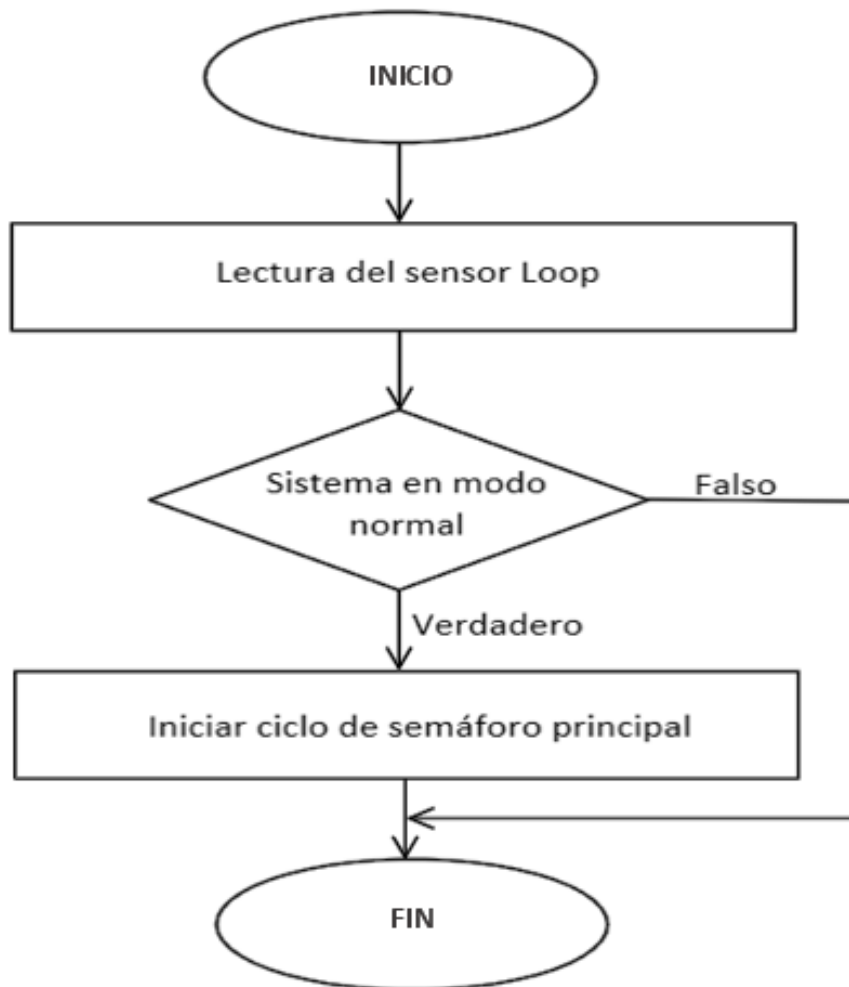


*Nota. Elaboración propia*

En la siguiente figura se muestra el detalle del ciclo de lectura de sensor Loop en una vía

**Fig. 30**

*Ciclo de lectura del Sensor*



Los sensores instalados en el pavimento desempeñan un papel fundamental en la operación del sistema. Estos sensores son dispositivos sensibles a la presión y están diseñados para detectar la presencia de vehículos. Una vez que un sensor detecta un vehículo, transmite una señal digital al controlador central del semáforo. El controlador central, como núcleo del sistema, juega un papel crucial en la toma de decisiones. Una vez que recibe las señales de los sensores, su función principal es cambiar el estado de los semáforos correspondientes. Esto se

traduce en una transición de la luz roja a la luz verde en la vía donde se ha detectado un vehículo. Sin embargo, este sistema va más allá de una simple respuesta binaria.

El controlador también realiza una evaluación continua de la cantidad de datos recopilados en ambas vías. Esta evaluación implica un análisis en tiempo real de la densidad de tráfico en la vía principal y la vía secundaria. Con base en esta comparación, el controlador determina cuál de las dos vías presenta un mayor flujo de vehículos. En consecuencia, otorga prioridad a la vía con mayor densidad de tráfico, permitiendo una gestión más eficiente de los tiempos de luz verde y minimizando los tiempos de espera para los conductores.

En el caso específico de la vía secundaria, se ha implementado un mecanismo de retardo de 5 segundos antes de activar la luz verde. Este retraso se introduce deliberadamente para evitar una activación prematura de los sensores debido a un solo vehículo. La intención detrás de esta medida es permitir que múltiples vehículos tengan la oportunidad de activar los sensores de la vía secundaria, garantizando una distribución equitativa del tiempo de luz verde.

En situaciones donde no se detecta la presencia de vehículos durante un lapso continuo de 25 segundos, el sistema entra en un ciclo de operación predeterminado. Este ciclo se caracteriza por un período de 25 segundos de luz verde, seguido por 3 segundos de luz roja y, finalmente, 22 segundos de luz roja. Este ciclo se repite cíclicamente hasta que se detecta un vehículo nuevamente, momento en el cual el sistema reanuda su funcionamiento adaptativo basado en la detección de tráfico.

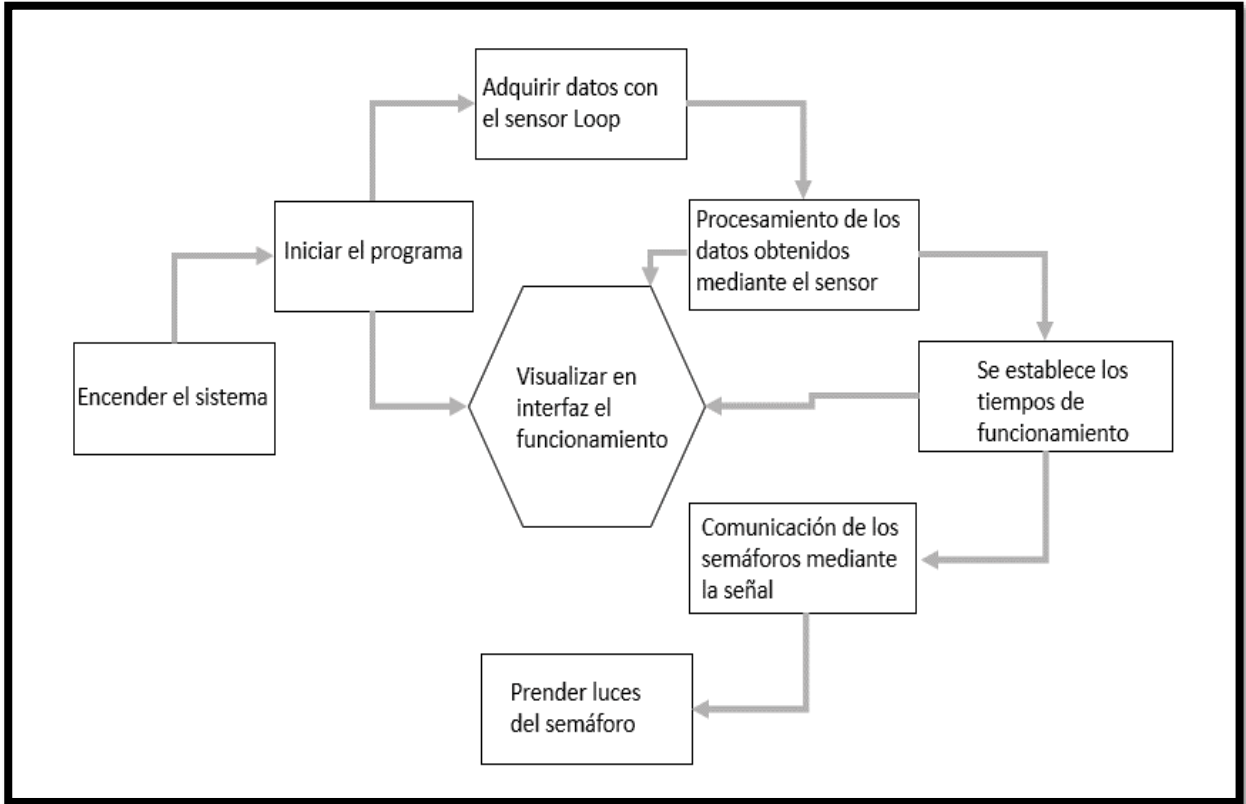
En adición a la gestión del tráfico vehicular, el sistema también da prioridad al cruce peatonal. Cuando se identifica la presencia del primer vehículo, se otorga el derecho de paso a dicho vehículo, garantizando así la seguridad de los peatones que desean cruzar la vía.

Este sistema de control de semáforos representa una contribución significativa en términos de eficiencia y seguridad en la gestión del tráfico vial, aprovechando tecnología

avanzada y una estrategia adaptativa que se adapta a las condiciones cambiantes del tráfico y garantiza la prioridad peatonal.

**Fig.31**

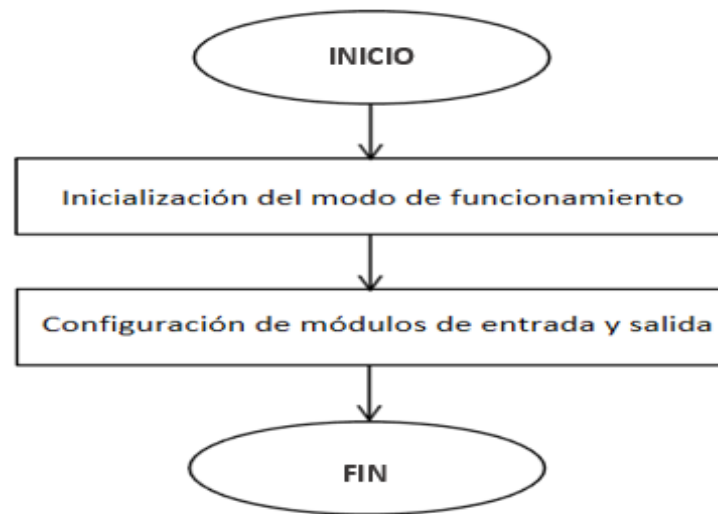
*Semáforo basado en el Sensor Loop*



**Nota.** Elaboración propia

**Fig.32**

*Configuración inicial del sistema*

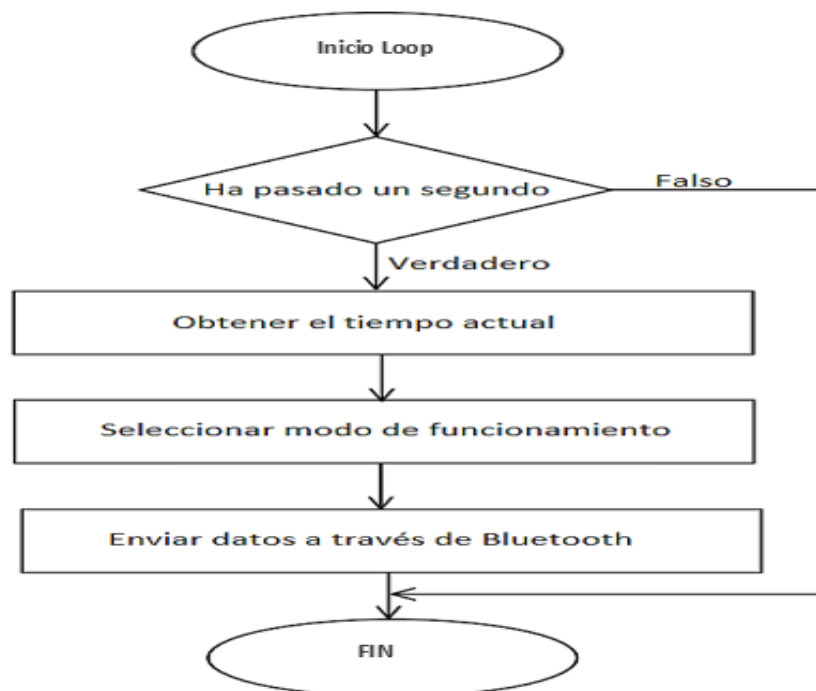


**Nota.** Elaboración propia

Una vez configurado el sistema, se procede a iniciar el programa principal. La siguiente figura muestra el proceso que sigue el sistema.

**Figura 33**

*Proceso principal*

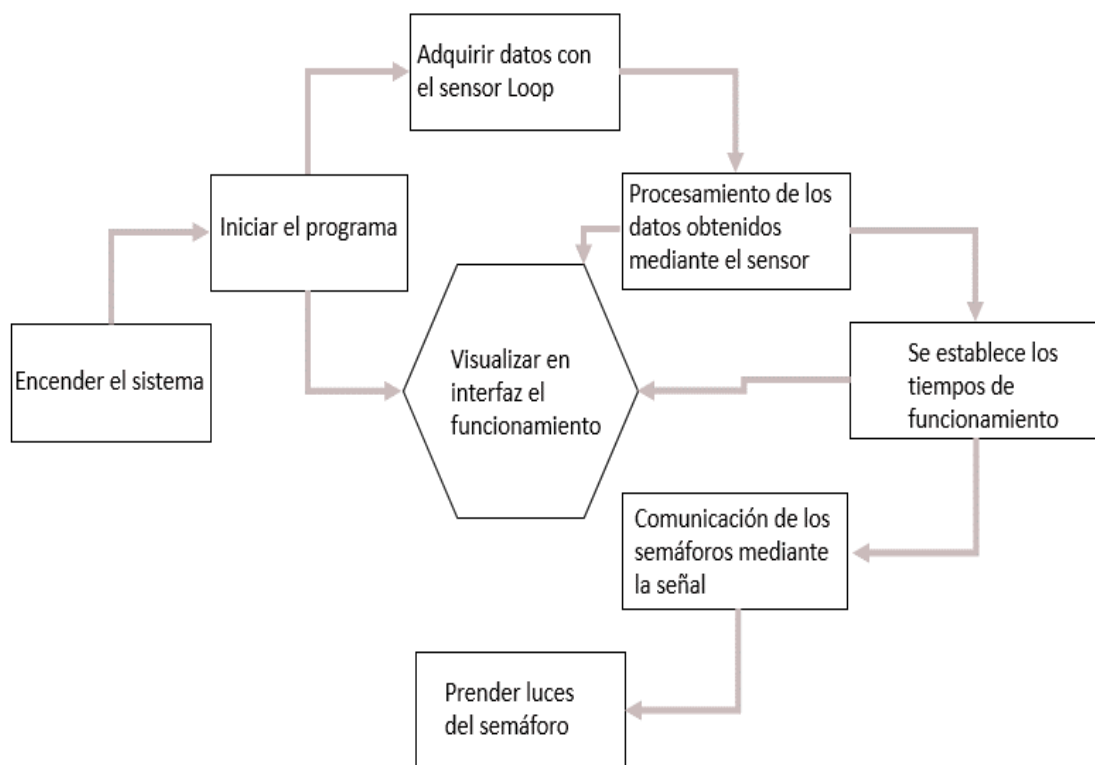


**Nota.** Elaboración propia

Los sensores instalados en el pavimento tanto de la vía principal y de la vía secundaria entregarán una señal digital al controlador, este cambiará en luz verde al semáforo a la vez una comparación de en cuál de las vías mencionadas existe más datos y priorizará a la calle con más datos para dar paso o luz verde. En la vía secundaria, los sensores tendrán un delay de 5'' para evitar que un solo auto active todos los sensores de una vía. Cuando ya no haya autos que detectar el semáforo después de un tiempo de 25 s. quedará en un ciclo de 25 s. luz verde, 3 s. de luz roja y 22 s. de luz roja, alternando sucesivamente Para el paso peatonal y cuando haya presencia del primer vehículo se dará paso a este.

**Fig. 34**

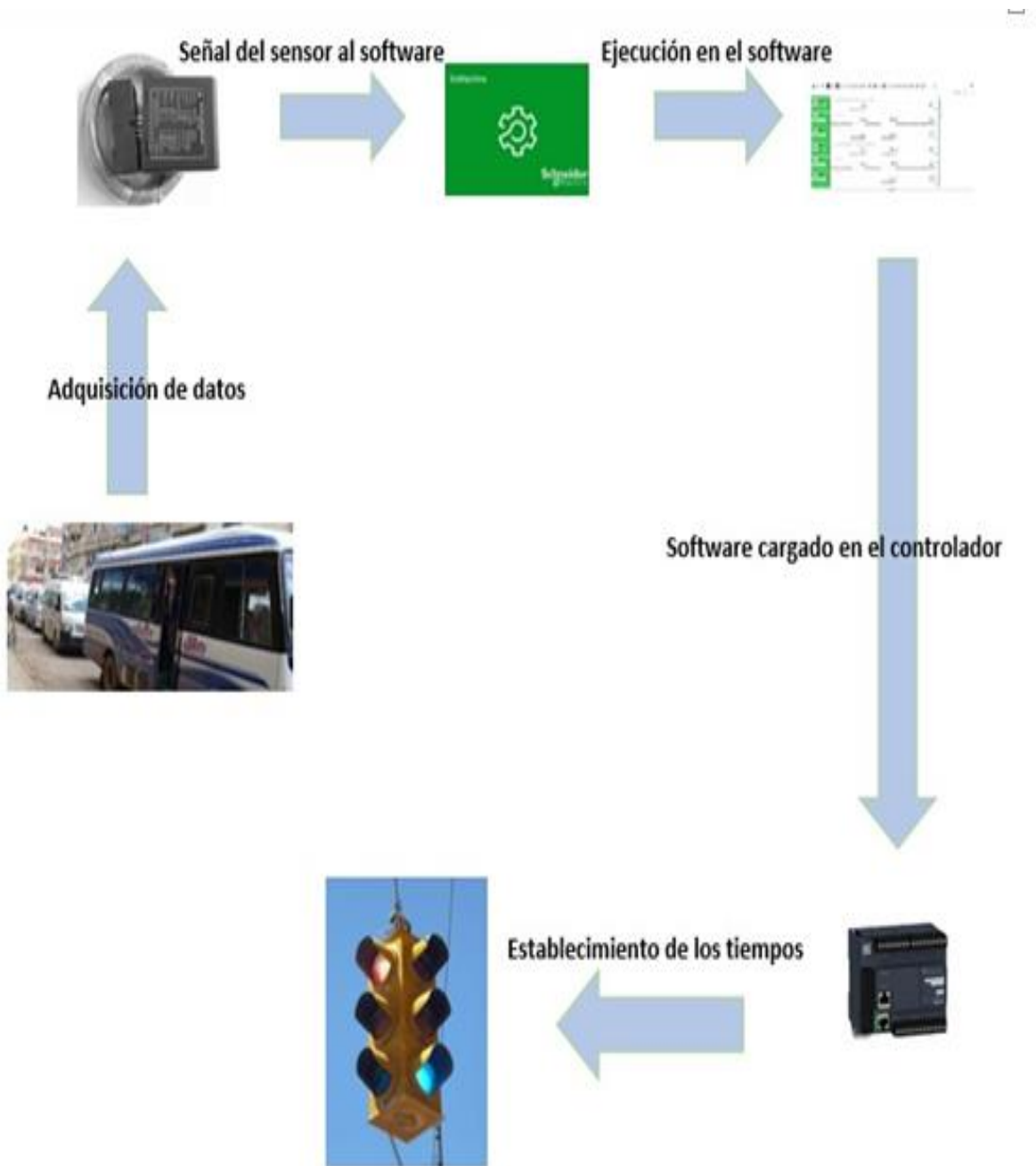
*Semáforo basado en el Sensor Loop*



Nota. Elaboración propia

**Fig. 35**

*Diagrama estructural general*

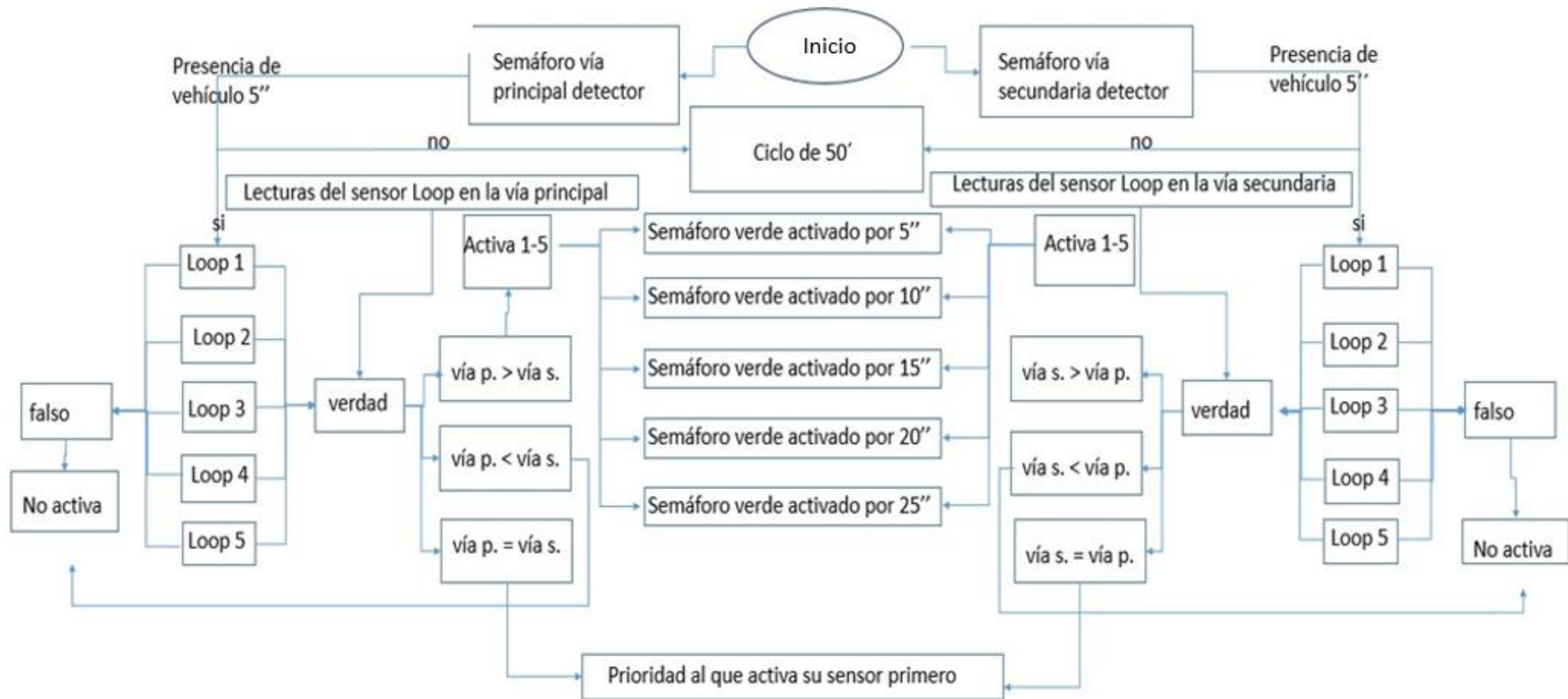


El diseño se realizó mediante algoritmos de flujogramas para corroborar el funcionamiento del sistema de semaforización se programó en el software So machine en el lenguaje Ladder. Al encender el sistema de semaforización, el controlador PLC entra en funcionamiento

adquiriendo datos de los sensores y permitiendo el paso a la vía que tenga más vehículos estacionados en la vía.

Fig. 36

Diseño de sistema semaforización mediante algoritmos de flujogramas



**Verificar la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.**

**Registro del tráfico**

El área de estudio del cruce de la Av. Hoyos Rubio y la Av. Vía de Evitamiento, mediante la observación a la semaforización de la intersección se pudo apreciar que el semáforo es temporizado, de tiempo fijo con un ciclo de semaforización en la vía principal de 113 segundos; 58 segundos fase rojo, 03 segundos fase ámbar y 52 segundos fase verde. En la vía secundaria de 113 segundos; 68 segundos de fase rojo, 03 segundos de fase ámbar, 42 segundos de fase verde.

**Fig. 37**



*Visuales de los accesos de la intersección*

(a) |

(b)

(c)

(d)

(e)

(d)

*Nota: Elaboración propia*



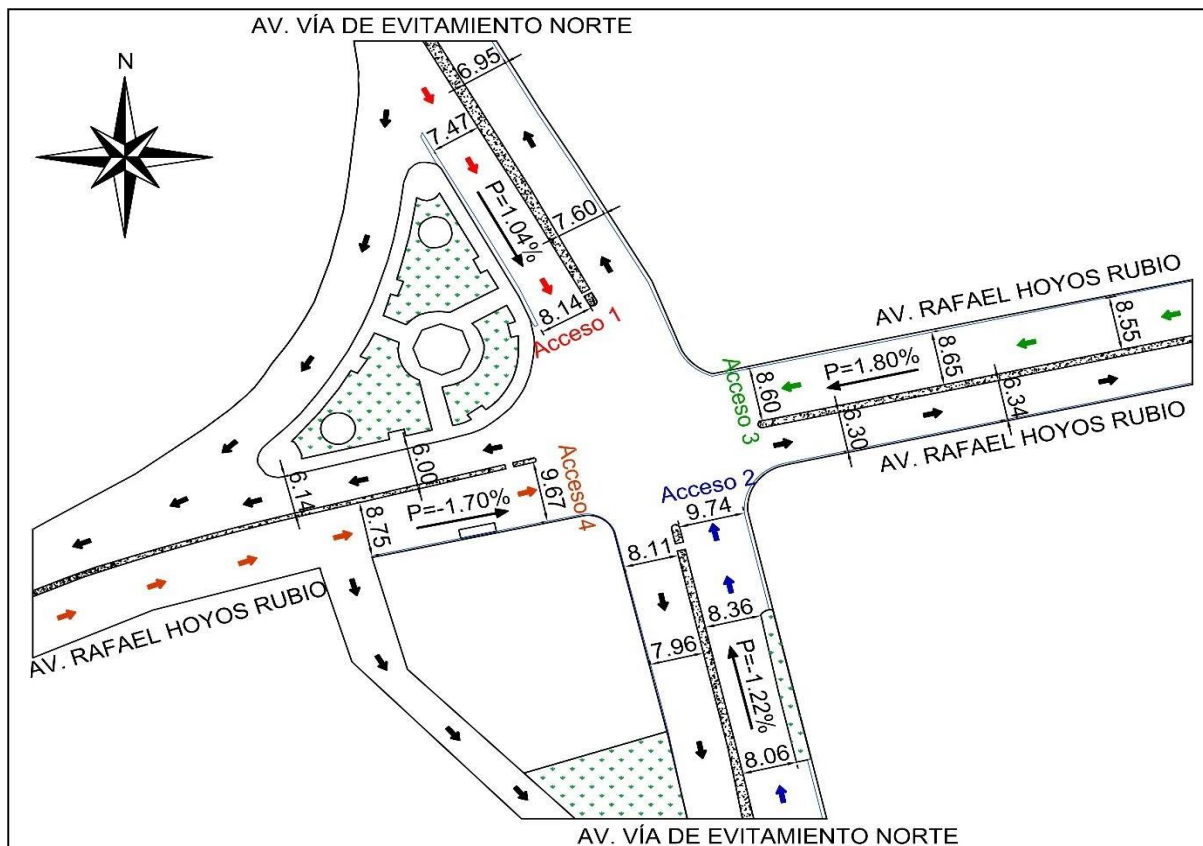
Para recopilar información de la condición geométrica se llevó a cabo el levantamiento topográfico el mes de enero del 2023, las siguientes figuras presentan la síntesis de los datos necesarios para analizar los rasgos físicos de la intersección en investigación.

### Intersección

En seguida, se detallan las particularidades de cada acceso que constituye el cruce de la Av. Hoyos Rubio con la Av. Vía de Evitamiento Norte, de igual modo se presenta sus correspondientes secciones transversales tradicionales.

**Fig. 38**

*Característica geométrica de la intersección*



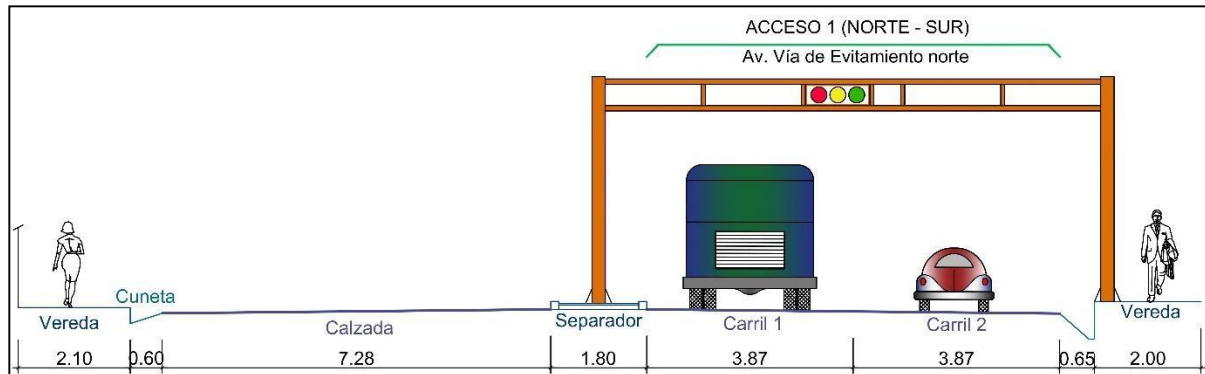
Nota. Catastro Municipalidad Provincial de Cajamarca

El primero de los accesos al cruce tiene la orientación de circulación Norte – Sur en la Av. Vía de Evitamiento Norte, dispone de 2 carriles con un ancho promedio de 3.87 m, dispone de una

berma central de 1.80 m, no se dispone de carriles de estacionamiento ni paradero de buses. Atravesando el cruce y en la misma dirección, la avenida sigue con 2 carriles de 4.02 m. La pendiente es de 1.04%.

**Fig. 39.**

*Sección transversal típica del acceso 1 de la intersección A*

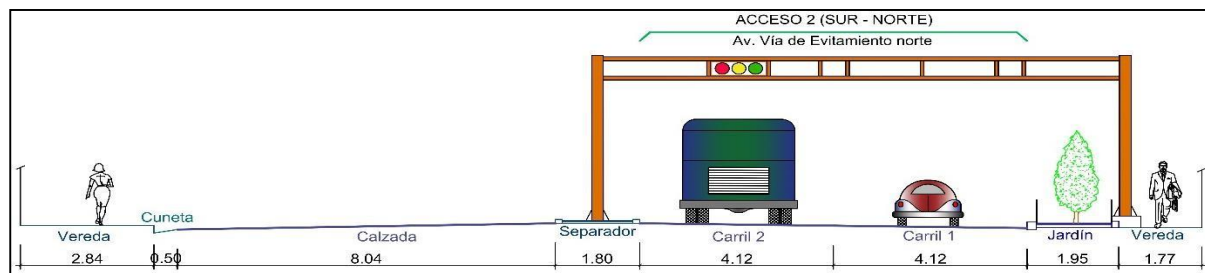


Nota. Catastro Municipalidad Provincial de Cajamarca

El segundo acceso al cruce tiene la orientación de circulación Sur – Norte en la misma Av. Vía de Evitamiento Norte, dispone de 2 carriles con un ancho promedio de 4.36 m, posee una berma central de 1.80 m. no se dispone de carriles de estacionamiento ni paradero de buses, próximo a la línea de parada, está un jardín ocupando área en el camino, disminuyendo su dimensión. Atravesando el cruce y en la misma dirección, la avenida sigue con 2 carriles de 3.64 m. El acceso posee una pendiente negativa de -1.22%.

**Fig. 40**

*Sección transversal típica del acceso 2 de la intersección A*

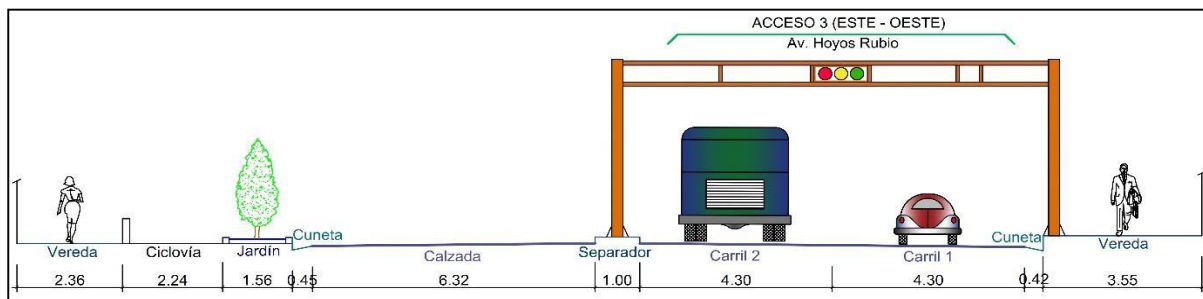


Nota. Catastro Municipalidad Provincial de Cajamarca

El tercer acceso al cruce tiene la orientación de circulación Este – Oeste en la Av. Rafael Hoyos Rubio, dispone de 2 carriles con un ancho promedio de 4.30 m, dispone de una berma central de 1.00 m. en el acercamiento a la línea de parada no se dispone de carriles de estacionamiento ni paradero de buses. Atravesando el cruce y en la misma dirección, la avenida sigue con 2 carriles de 3.04 m. El acceso posee una pendiente de 1.80%.

**Fig. 41**

*Sección transversal típica del acceso 3 de la intersección A*

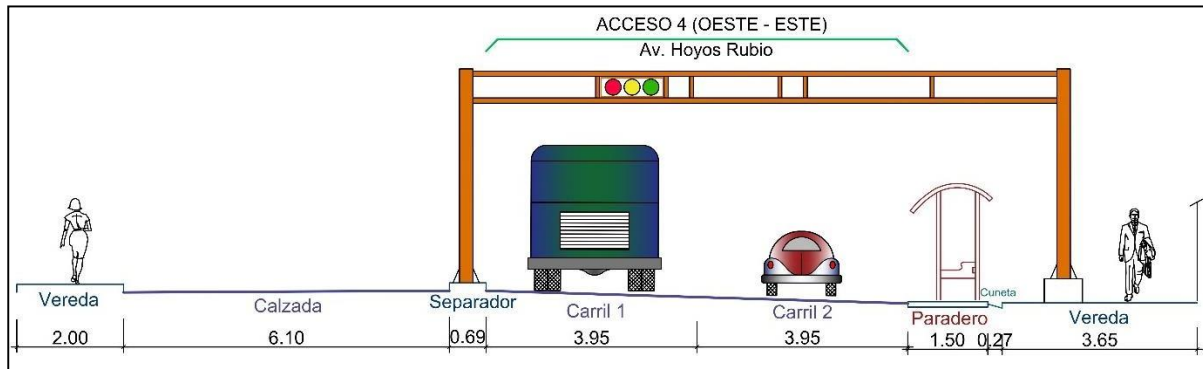


Nota. Catastro Municipalidad Provincial de Cajamarca

El cuarto acceso al cruce tiene la orientación de circulación Oeste – Este, de igual modo localizado en la Av. Rafael Hoyos Rubio, dispone de 2 carriles con un ancho promedio de 4.39 m, posee una berma central de 0.70 m. no se dispone de carriles de estacionamiento, próximo a la línea de parada se encuentra ocupando área en el camino, un paradero de buses. Atravesando el cruce y en la misma dirección, la avenida sigue con 2 carriles de 3.16 m. La pendiente de este acceso es de -1.70%

**Fig. 42**

*Sección transversal típica del acceso 4 de la intersección*

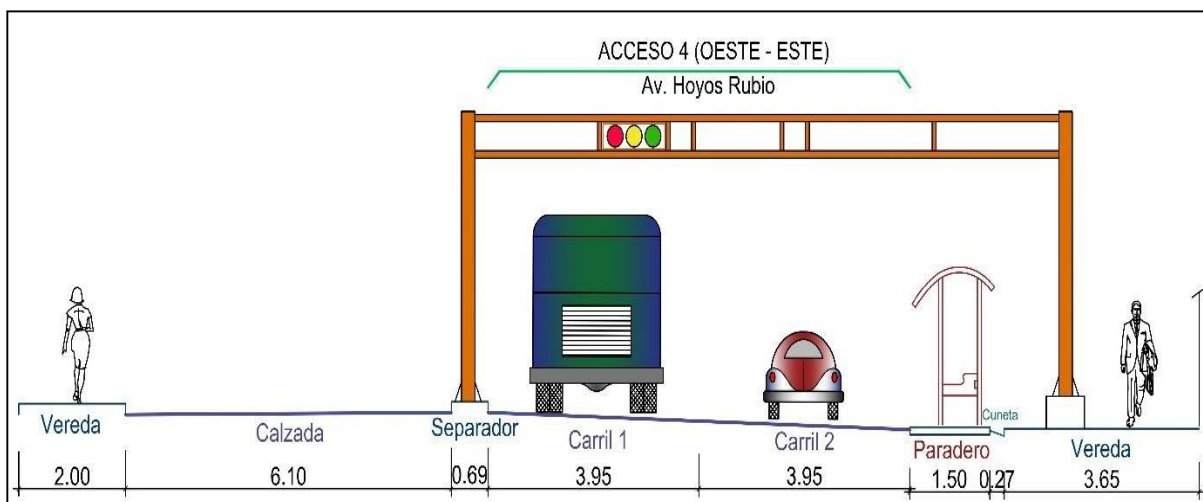


Nota. Catastro Municipalidad Provincial de Cajamarca

El cuarto acceso al cruce tiene la orientación de circulación Oeste – Este, de igual modo localizado en la Av. Rafael Hoyos Rubio, dispone de 2 carriles con un ancho promedio de 4.39 m, posee una berma central de 0.70 m. no se dispone de carriles de estacionamiento, próximo a la línea de parada se encuentra ocupando área en el camino, un paradero de buses. C Atravesando el cruce y en la misma dirección, la avenida sigue con 2 carriles de 3.16 m. La pendiente de este acceso es de -1.70%

**Fig. 43**

*Sección transversal típica del acceso 4 de la intersección*



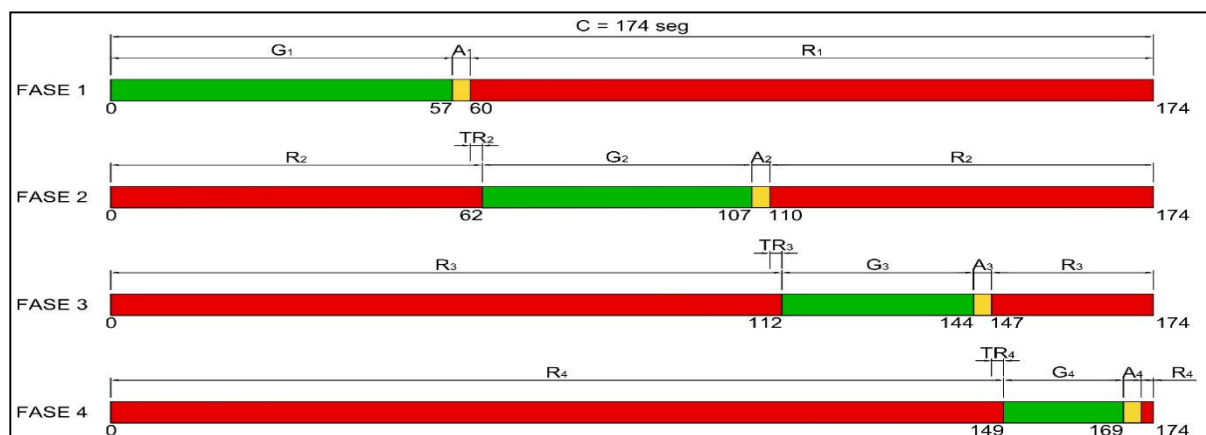
Nota. Catastro Municipalidad Provincial de Cajamarca

### Condiciones semafóricas de las intersecciones

El reglaje del semáforo del cruce se llevó a cabo manualmente haciendo uso de un cronometro, para calcular el tiempo real del largo del ciclo, tiempos de verde y otros intervalos de los semáforos, se usaron 10 registros, con dichos datos se obtuvieron los diagramas de fases presentados en la Figura 44

**Fig. 44**

*Diagrama de fases de los semáforos de la intersección*



Nota. Elaboración propia

Con los tiempos de verde, rojo, ámbar conseguidos y haciendo uso de las ecuaciones 6, 7 y 8 se lograron obtener los valores de verde efectivo (g) y rojo efectivo (r) de los semáforos, mostrados en la Tabla 5. Es importante resaltar que para los valores del tiempo perdido inicial (11) y del tiempo de ganancia (e), se hizo uso de los valores típicos de  $11 = 2s$  y  $e = 2s$  (TRB, 2000, p. 10-12).

**Tabla 5.**
*Parámetros del ciclo semafórico de la intersección*

Parámetro	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4
<i>G</i>	57.0	45.0	32.0	20.0
<i>A</i>	3.0	3.0	3.0	3.0
<i>R</i>	114.0	126.0	139.0	151.0
<i>C</i>	174.0	174.0	174.0	174.0
<i>TR</i>	2.00	2.00	2.00	2.00
<i>Y</i>	5.00	5.00	5.00	5.00
<i>l<sub>1</sub></i>	2.0	2.0	2.0	2.0
<i>l<sub>2</sub>=Y-e</i>	3.00	3.00	3.00	3.00
<i>t<sub>L</sub>=l<sub>1</sub>+l<sub>2</sub></i>	5.00	5.00	5.00	5.00
<i>e</i>	2.0	2.0	2.0	2.0
<i>g</i>	57.0	45.0	32.0	20.0
<i>r</i>	117.0	129.0	142.0	154.0

**Medir el tiempo en la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.**

**Condiciones del tráfico de las intersecciones**

**Aforo vehicular y selección de los periodos de análisis**

Para llevar a cabo esta tarea, se empleó una metodología de recolección manual de datos mediante la técnica de observación, utilizando la lectura manual como instrumento de registro. Este enfoque de recolección de datos se seleccionó con la intención de obtener información precisa y detallada sobre el movimiento de vehículos en la intersección y en tramos rectos de la vía circundante.

La recolección de datos implicó realizar un aforo de la intersección, que consistió en llevar a cabo un conteo exhaustivo de los vehículos que transitaban por la zona de estudio. Durante este proceso, se recopilaron varios parámetros importantes, como la composición

vehicular (tipos de vehículos presentes), los movimientos direccionales (giros, cambios de carril, etc.), los volúmenes totales de tráfico en diferentes momentos del día y los periodos de estudio. Además, el aforo se realizó en un horario específico, que comprendió desde las 7:00 de la mañana hasta las 20:00 horas, abarcando todos los carriles y tipos de movimientos presentes en la intersección. El hecho de llevar a cabo el aforo en un horario específico que abarca desde las 7:00 de la mañana hasta las 20:00 horas garantiza la captura de datos en diferentes condiciones de tráfico a lo largo del día.

La clasificación de vehículos según su tipo y capacidad de carga permitió obtener una visión completa del flujo vehicular en la zona estudiada, lo que resulta fundamental para comprender la dinámica del tráfico en ese lugar. A pesar de que la recolección de datos de manera manual puede ser un proceso laborioso, ofrece ventajas significativas en términos de la precisión y la calidad de la información recopilada. Esta información es crucial para entender las demandas específicas de tráfico en la intersección y planificar intervenciones adecuadas.

Después de la etapa de recolección de datos, se procedió al análisis y procesamiento de los mismos. Este paso fue esencial para obtener una visión clara y completa del flujo vehicular en el sistema vial de la intersección. Los resultados obtenidos, como se menciona, fueron resumidos en la Tabla 6, que incluye los aforos en vehículos mixtos (todos los tipos de vehículos) y los volúmenes totales de tráfico. En esta tabla, se resaltaron en color rojo los periodos de 15 minutos con mayor carga de tráfico y la hora en la que se registró el mayor volumen de vehículos. Estos resultados destacados ofrecen una instantánea clara de los momentos en los que la intersección experimenta la mayor carga de tráfico y, por lo tanto, la congestión más significativa.

Asimismo, proporcionan una comprensión detallada del comportamiento del tráfico en la zona estudiada. Además, esta información puede ser de utilidad en el diseño de estrategias de gestión y planificación del tráfico, así como en la toma de decisiones relacionadas con proyectos de infraestructura vial. Los datos resaltados en rojo en la tabla indican claramente los momentos de mayor congestión vehicular, lo que puede servir como punto de partida para implementar medidas que alivien la congestión en esa intersección y mejorar la fluidez del tráfico en esa área específica de Cajamarca.

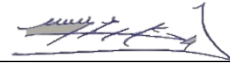
**Tabla 6**
*Resumen del Aforo en vehículos mixtos de la intersección A*

PERIODO	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO		DOMINGO	
	Vol. Tot.	Vol. Hora	Vol. Tot.	Vol. Hora	Vol. Tot.	Vol. Hora	Vol. Tot.	Vol. Hora	Vol. Tot.	Vol. Hora	Vol. Tot.	Vol. Hora	Vol. Tot.	Vol. Hora
7:00 - 7:15	847		852		835		852		817		654		534	
7:15 - 7:30	859		903		895		937		944		710		572	
7:30 - 7:45	897		907		909		874		900		670		533	
7:45 - 8:00	835	3438	767	3429	795	3434	759	3422	780	3441	559	2593	466	2105
8:00 - 8:15	732	3323	729	3306	790	3389	738	3308	772	3396	514	2453	434	2005
8:15 - 8:30	750	3214	703	3106	734	3228	702	3073	689	3141	510	2253	423	1856
8:30 - 8:45	719	3036	719	2918	696	3015	681	2880	721	2962	509	2092	401	1724
8:45 - 9:00	731	2932	676	2827	689	2909	709	2830	710	2892	558	2091	416	1674
9:00 - 9:15	826	3026	749	2847	782	2901	757	2849	778	2898	633	2210	472	1712
9:15 - 9:30	757	3033	718	2862	664	2831	725	2872	743	2952	568	2268	444	1733
9:30 - 9:45	698	3012	666	2809	696	2831	677	2868	705	2936	561	2320	443	1775
9:45 - 10:00	681	2962	661	2794	681	2823	657	2816	691	2917	528	2290	423	1782
10:00 - 10:15	719	2855	680	2725	690	2731	683	2742	700	2839	568	2225	434	1744
10:15 - 10:30	723	2821	680	2687	677	2744	682	2699	710	2806	541	2198	441	1741
10:30 - 10:45	736	2859	672	2693	716	2764	681	2703	702	2803	549	2186	447	1745
10:45 - 11:00	757	2935	694	2726	736	2819	720	2766	722	2834	571	2229	458	1780
11:00 - 11:15	691	2907	643	2689	655	2784	640	2723	662	2796	520	2181	430	1776
11:15 - 11:30	728	2912	647	2656	675	2782	708	2749	683	2769	541	2181	430	1765
11:30 - 11:45	721	2897	642	2626	679	2745	695	2763	647	2714	555	2187	455	1773
11:45 - 12:00	704	2844	665	2597	699	2708	689	2732	690	2682	585	2201	477	1792
12:00 - 12:15	657	2810	684	2638	670	2723	686	2778	707	2727	631	2312	497	1859
12:15 - 12:30	730	2812	723	2714	732	2780	738	2808	753	2797	666	2437	527	1956
12:30 - 12:45	793	2884	778	2850	778	2879	764	2877	826	2976	674	2556	541	2042
12:45 - 13:00	777	2957	762	2947	779	2959	763	2951	766	3052	588	2559	527	2092
13:00 - 13:15	861	3161	835	3098	863	3152	845	3110	900	3245	662	2590	564	2159
13:15 - 13:30	832	3263	802	3177	837	3257	802	3174	854	3346	658	2582	549	2181
13:30 - 13:45	779	3249	736	3135	773	3252	753	3163	805	3325	632	2540	532	2172
13:45 - 14:00	709	3181	691	3064	715	3188	675	3075	728	3287	596	2548	498	2143
14:00 - 14:15	738	3058	677	2906	701	3026	682	2912	725	3112	568	2454	489	2068
14:15 - 14:30	728	2954	687	2791	697	2886	722	2832	712	2970	548	2344	471	1990
14:30 - 14:45	714	2889	665	2720	698	2811	724	2803	726	2891	569	2281	473	1931
14:45 - 15:00	673	2853	610	2639	650	2746	640	2768	650	2813	527	2212	441	1874
15:00 - 15:15	653	2768	640	2602	661	2706	631	2717	649	2737	539	2183	442	1827
15:15 - 15:30	719	2759	674	2589	702	2711	701	2696	700	2725	569	2204	472	1828
15:30 - 15:45	672	2717	672	2596	670	2683	688	2660	683	2682	538	2173	452	1807
15:45 - 16:00	682	2726	638	2624	664	2697	653	2673	699	2731	580	2226	474	1840
16:00 - 16:15	758	2831	749	2733	776	2812	752	2794	761	2843	632	2319	498	1896
16:15 - 16:30	745	2857	777	2836	755	2865	765	2858	738	2881	639	2389	481	1905
16:30 - 16:45	661	2846	695	2859	706	2901	678	2848	663	2861	571	2422	455	1908
16:45 - 17:00	711	2875	718	2939	711	2948	703	2898	720	2882	622	2464	486	1920
17:00 - 17:15	718	2835	691	2881	765	2937	690	2836	724	2845	619	2451	486	1908
17:15 - 17:30	746	2836	747	2851	735	2917	710	2781	746	2853	628	2440	491	1918
17:30 - 17:45	776	2951	782	2938	774	2985	773	2876	794	2984	673	2542	512	1975
17:45 - 18:00	826	3066	829	3049	801	3075	819	2992	829	3093	710	2630	543	2032
18:00 - 18:15	845	3193	768	3126	816	3126	839	3141	896	3265	674	2685	511	2057
18:15 - 18:30	837	3284	805	3184	813	3204	838	3269	834	3353	669	2726	511	2077
18:30 - 18:45	794	3302	759	3161	768	3198	848	3344	807	3366	683	2736	534	2099
18:45 - 19:00	828	3304	826	3158	830	3227	729	3254	770	3307	672	2698	503	2059
19:00 - 19:15	800	3259	789	3179	788	3199	762	3177	812	3223	662	2686	523	2071

19:15 - 19:30	749	3171	774	3148	802	3188	811	3150	803	3192	665	2682	480	2040
19:30 - 19:45	781	3158	776	3165	778	3198	776	3078	791	3176	584	2583	442	1948
19:45 - 20:00	682	3012	700	3039	701	3069	691	3040	696	3102	524	2435	398	1843

Elaborado por: García Díaz, Edgar

Validado por: Mg. Ing. Eryln Giordani Salazar



Nota. Elaboración propia

La tabla 6 presenta la adición de los volúmenes de los cuatro accesos de un cruce en periodos de quince y sesenta minutos. Además, se calculó el Factor de la Hora de Máxima Demanda (FHMD) utilizando la Ecuación 1. El FHMD se calculó como 0.911, lo que significa que durante la hora de máxima demanda, el flujo máximo representado por  $q_{maw15}$  es aproximadamente el 91.1% del Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD). Por lo tanto, utilizando la Ecuación 1 se consiguió mencionado factor:

### Ecuación 1

*Factor de la Hora de Máxima Demanda*

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(q_{maw15})} = \frac{3441}{4 * 944} = 0.911$$

Por lo tanto, la Hora de Máxima Demanda es un período crítico en el que se espera que el tráfico sea más intenso en la intersección. En este caso, el VHMD es 3441, lo que indica el volumen máximo de tráfico observado durante esa hora.

El FHMD calculado es 0.911, lo que significa que durante la HMD, el flujo máximo ( $q_{maw15}$ ) representa aproximadamente el 91.1% del VHMD. Esto sugiere que la intersección está cerca de su capacidad máxima durante la HMD, ya que la mayoría de la demanda se está utilizando.

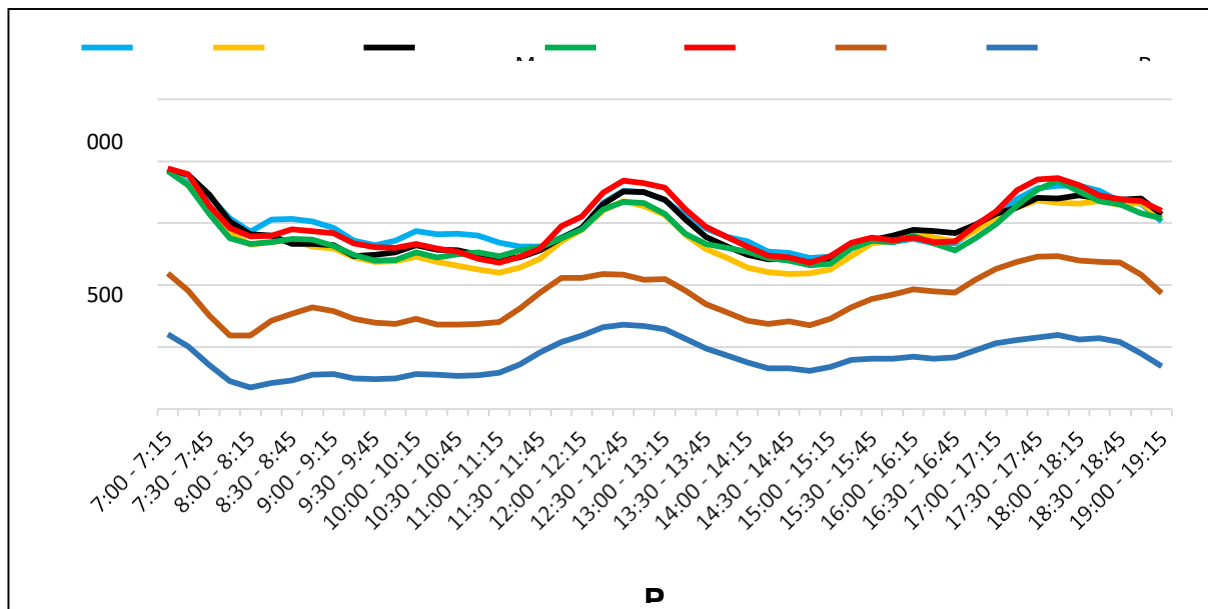
Este cálculo es valioso para la planificación del tráfico y el diseño de la intersección. Si el FHMD fuera significativamente menor, podría indicar que la intersección tiene capacidad

para manejar más tráfico durante la HMD sin congestión significativa. Por otro lado, si fuera significativamente mayor, podría señalar la necesidad de mejoras para manejar la demanda.

Con los datos de la Tabla 6 se consiguió la gráfica de la Fig. 45, esta presenta el cambio del volumen total que pasa por el cruce de lunes a domingo, en el cual diferencia de forma clara el periodo picos y la conducta del flujo vehicular.

**Figura. 45**

*Variación de volúmenes totales cada 60 minutos de la intersección*



Nota. Elaboración propia

En la figura 45, es apreciable el volumen total en periodos de una hora. Es apreciable que la conducta del flujo vehicular es bastante consistente de lunes a viernes, con una variación típica de cifras máximas a lo largo del día. Esto sugiere que existen tres periodos pico durante el día en los que el tráfico alcanza su punto máximo de congestión. Esta información es crucial para gestionar adecuadamente los recursos de tráfico y mejorar la circulación en estos momentos críticos.

Un aspecto destacado de los datos es que el volumen de tráfico disminuye significativamente los fines de semana, aunque aún sigue manteniendo el mismo patrón típico observado en días laborables. Esta disminución de la congestión los fines de semana puede estar relacionada con la menor actividad laboral y comercial en comparación con los días laborables.

Para obtener una visión más detallada del periodo de análisis seleccionado, se presenta en la Figura 46 un histograma que muestra los volúmenes de tráfico en intervalos de 15 minutos. En este análisis, se determinó que el volumen horario de máxima demanda es de 3441 vehículos mixtos por hora, con un pico de 944 vehículos en intervalos de 15 minutos. Estos datos son cruciales para identificar los momentos precisos en los que la congestión alcanza su punto máximo y, por lo tanto, para tomar medidas específicas de gestión del tráfico durante esos momentos críticos. El análisis detallado de los datos proporcionados en la Figura 26 revela información esencial para entender la dinámica del tráfico en el cruce de la Avenida Vía de Evitamiento Norte y la Avenida Hoyos Rubio en Cajamarca. En este análisis específico, se descompone el flujo de vehículos en intervalos de 15 minutos, lo que permite una comprensión más granular de cómo evoluciona la congestión a lo largo del período de observación.

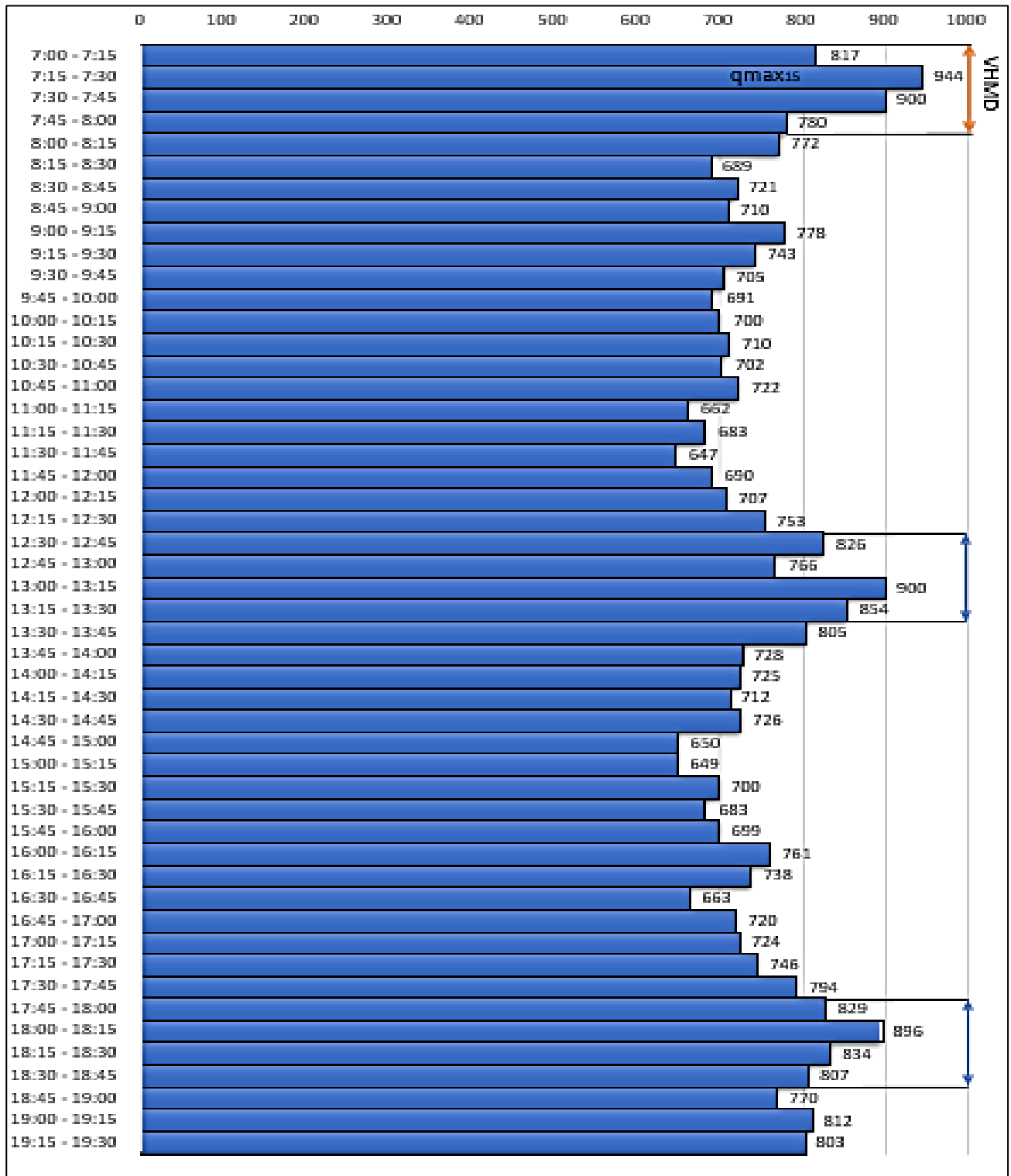
El hallazgo más destacado es que se identificó un volumen horario de máxima demanda de 3441 vehículos mixtos por hora. Esto significa que durante una hora determinada, que puede coincidir con uno de los períodos pico previamente mencionados, se registra el superior número de vehículos circulando por la intersección. Este dato es fundamental para la planificación de medidas de gestión del tráfico, ya que permite a las autoridades y planificadores de transporte concentrar sus esfuerzos y recursos en ese momento específico para mitigar la congestión.

Además, se señala que hubo un pico de 944 vehículos en un intervalo de 15 minutos. Esta cifra refleja un momento crítico dentro de la hora de máxima demanda, lo que indica un flujo de tráfico particularmente intenso en ese lapso de tiempo. La identificación de estos momentos precisos es crucial para tomar medidas inmediatas y específicas, como ajustar los semáforos, implementar desvíos temporales o utilizar sistemas de control de tráfico adaptativos para gestionar el flujo de vehículos de manera más eficaz.

En última instancia, estos datos permiten una toma de decisiones más informada y eficiente en la gestión del tráfico en la intersección estudiada. Conocer cuándo y dónde se producen los picos de congestión proporciona la base para implementar estrategias efectivas que puedan reducir la congestión, mejorar la seguridad vial y facilitar la movilidad de los conductores en la zona.

**Fig. 46**

*Histograma volúmenes de tráfico en intervalos de 15 minutos*



Nota. Elaboración propia

## **Identificar el flujo vehicular por la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.**

### **Volúmenes de la hora de máxima demanda**

Una vez finalizada la extracción de datos mediante la recopilación de datos de forma manual de los aforos correspondientes en cada acceso, y tras la elaboración de las tablas resumen, así como la identificación del factor horario de máxima demanda y la selección del periodo de análisis para cada intersección, tal como se detalló en el apartado anterior, se procede en esta sección a presentar el desglose de la información correspondiente a dicho periodo.

En las siguientes Tablas 7, 8, 9 y 10 se presentan los volúmenes totales de tráfico, discriminados por carril y tipo de movimiento vehicular, para cada uno de los accesos: Acceso 1 (Norte), Acceso 2 (Sur), Acceso 3 (Este) y Acceso 4 (Oeste), respectivamente. Esta primera intersección se encuentra dentro del período de análisis mencionado.

Es importante destacar que esta desagregación de datos permitirá un análisis más detallado y específico de la demanda en cada acceso, lo que contribuirá a obtener una visión clara y precisa de los patrones de tráfico en dicha intersección durante el período de máxima demanda horaria. Estos resultados serán fundamentales para futuras decisiones de planificación y gestión del tráfico en la zona.

**Tabla 7.**

*Volumen de la hora de máxima demanda del Acceso 1 (Intersección A)*

ACCESO 1 (N - S)			Motos		Livianos		Combi	Buses		Camiones				Otros	Suma	Veh. Carril	Vol. Total
Per.	Carril	Dirección	Moto	Mototaxi	Autos y Stations	Camionetas		Microbús	Bus	2 ejes (2-8)	2 ejes (10-15)	3 ejes (20-25)	Semi tráiler				
7:00 8:00	C1	Giro en U	1												1		
		Izquierda	65	300	97	73	13	1		2					551	692	
		De frente	3	49	36	35	2		2	5	3	3	2		140		
			Derecha												0		
			Giro en U												0		1282
		C2	Izquierda												0		
	De frente		75	356	74	60	3	12		5		2			589	590	
			Derecha		1										2	1	
		SUMA	144	706	207	168	18	13	2	12	3	5	2	0	2	1282	
		%	11.23	55.07	16.15	13.10	1.40	1.01	0.16	0.94	0.23	0.39	0.16	0.00	0.16	100	

**Tabla 8.**

*Volumen de la hora de máxima demanda del Acceso 2 (Intersección A)*

ACCESO 2 (S - N)			Motos		Livianos		Combi	Buses		Camiones				Otros	Suma	Veh. Carril	Vol. Total
Per.	Carril	Dirección	Moto	Mototaxi	Autos y Stations	Camionetas		Microbús	Bus	2 ejes (2-8)	2 ejes (10-15)	3 ejes (20-25)	Semi tráiler				
7:00 8:00	C1	Derecha	10	38	27	14	3	1			1				94		
		De frente	48	185	47	30	1	9		2	1	1	2		326	449	
		Izquierda		18	8	3									29		
			Giro en U												0		
			Derecha												0		848
		C2	De frente	13	50	31	39	3		1	6	2	8	4		158	
	Izquierda		12	107	50	20	1			2					192	399	
			Giro en U	1	46	2									49		
		SUMA	84	444	165	106	8	10	1	10	4	9	6	0	1	848	
		%	9.91	52.36	19.46	12.50	0.94	1.18	0.12	1.18	0.47	1.06	0.71	0.00	0.12	100	

**Tabla 9.**

*Volumen de la hora de máxima demanda del Acceso 3 (Intersección A)*

ACCESO 3 (E - O)			Motos		Livianos		Combi	Buses		Camiones				Otros	Suma	Veh. Carril	Vol. Total
Per.	Carril	Dirección	Moto	Mototaxi	Autos y Stations	Camionetas		Microbús	Bus	2 ejes (2-8)	2 ejes (10-15)	3 ejes (20-25)	Semi tráiler				
7:00 8:00	C1	Derecha	23	156	43	38	5	5	3	1			2		276	486	877
		De frente	23	79	31	13	29	14	1						190		
		Izquierda	1	12	4	3									20		
		Giro en U													0		
	C2	Derecha		4	4							1	1		10		
		De frente	17	67	66	31	16		3	3					203		
		Izquierda	10	53	49	53	1			4	4		3		178		
		Giro en U												1	0		
SUMA			74	371	197	138	51	19	3	11	5	1	6	0	1	877	
%			8.44	42.30	22.46	15.74	5.82	2.17	0.34	1.25	0.57	0.11	0.68	0.00	0.11	100	

**Tabla 10.**

*Volumen de la hora de máxima demanda del Acceso 4 (Intersección A)*

ACCESO 4 (O - E)			Motos		Livianos		Combi	Buses		Camiones				Otros	Suma	Veh. Carril	Vol. Total
Per.	Carril	Dirección	Moto	Mototaxi	Autos y Stations	Camionetas		Microbús	Bus	2 ejes (2-8)	2 ejes (10-15)	3 ejes (20-25)	Semi tráiler				
7:00 8:00	C1	Giro en U													0	231	434
		Izquierda	4	25	8	11	5								53		
		De frente	13	68	58	22	9	2		4		1			177		
		Derecha				1									1		
	C2	Giro en U													0		
		Izquierda		1											1		
		De frente	18	69	32	27	31	12							189		
		Derecha	1	5	3	4									13		
SUMA			36	168	101	65	45	14	0	4	0	1	0	0	0	434	
%			8.29	38.71	23.27	14.98	10.37	3.23	0.00	0.92	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	100	

Los datos presentados en las tablas muestran claramente que la Avenida Vía de Evitamiento experimenta una mayor afluencia de vehículos en comparación con la Avenida Hoyos Rubio. Esta mayor afluencia se observa tanto en la dirección Norte-Sur como en el sentido Sur-Norte. Sin embargo, lo que destaca aún más es que la Avenida Hoyos Rubio también experimenta una intensidad de tráfico significativa, especialmente en la dirección Este-Oeste, llegando a tener un volumen inclusive mayor al acceso 2 de la Vía de Evitamiento.

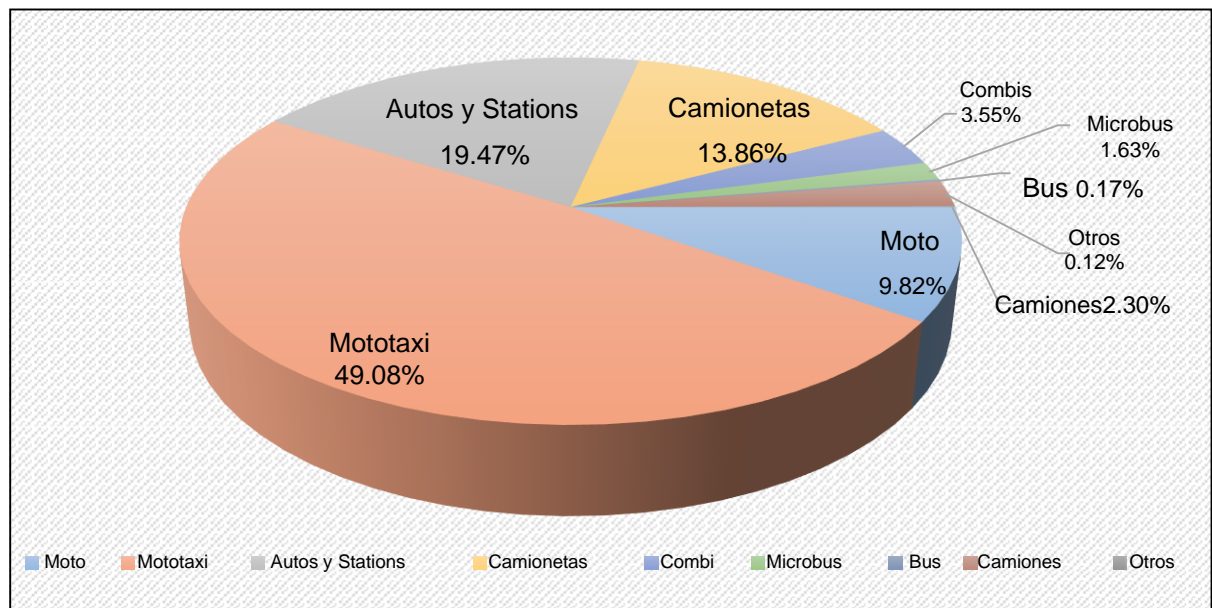
Este hallazgo es de suma importancia, ya que sugiere que la congestión vehicular en esta intersección no es solo un problema relacionado con la Vía de Evitamiento, sino que también afecta a la Avenida Hoyos Rubio, especialmente en el flujo Este-Oeste. La congestión en esta área puede deberse a diversos factores, como el crecimiento del tráfico urbano, la falta de infraestructura adecuada, la planificación deficiente de las vías, entre otros.

Además, la categoría de vehículos denominada "otros" hace referencia a vehículos agrícolas o de construcción. Esto es relevante porque estos tipos de vehículos pueden ser más grandes y lentos, lo que podría contribuir aún más a la congestión y a la necesidad de tomar medidas específicas para gestionar su circulación en esta intersección.

En cuanto a la importancia de conocer la composición vehicular, se destaca que en las investigaciones de volúmenes de tránsito es esencial entender la proporción de diferentes clases de vehículos en el flujo total. Esto es útil para tomar decisiones informadas sobre la planificación de la infraestructura vial, la implementación de restricciones de tráfico, la promoción del transporte público o la consideración de medidas específicas para mejorar la circulación de vehículos agrícolas o de construcción en esta área.

**Fig. 47**

*Composición vehicular en la hora pico de la intersección*



Nota. Elaboración propia

### Resumen preliminar de la hora de máxima demanda

Para una superior comprensión de los datos presentados y desarrollados en las figuras y cuadros previos, se presenta en seguida las ilustraciones siguientes, que contienen una síntesis preparatoria de los rasgos geométricos, semafóricos y volumen del tráfico de los cruces en investigación. Es importante destacar que el volumen de vehículos que giran en U, se unió al volumen de vehículos que giran a la izquierda, por tener la misma dirección y generar igual conflicto.



## **Identificar el espacio vehicular por la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca**

### **Agrupamiento de carriles**

La metodología del HCM (Manual de Capacidad de Carreteras), que es un conjunto de directrices y procedimientos ampliamente utilizado para evaluar y analizar la capacidad y el rendimiento de las intersecciones de carreteras y otras infraestructuras de transporte toma en consideración los accesos de un cruce de modo individual y las agrupaciones de carriles de cada acceso del mismo modo de manera individual. La segmentación considera la geometría del cruce y la repartición de movimientos (Vera, 2012). En la Tabla 11 se muestran algunas agrupaciones de carriles comunes y recomendados por el manual.

Del análisis de los datos de los cuadros del volumen vehicular se puede comprobar que para el acceso 1 del cruce A, cada giro a la izquierda se lleva a cabo a partir del primer carril, empero además hay un veinte por ciento de vehículos que pasan De frente, de igual modo cada volumen también se demostraron con la fórmula 12 y 13, de manera que no puede ser considerado como un conjunto de carriles independiente único para cualquier giro al lado izquierdo.

El análisis revela que, en el acceso 1 del cruce A, todos los giros a la izquierda se llevan a cabo a partir del primer carril. Esto significa que los conductores que desean girar a la izquierda utilizan exclusivamente el carril más cercano al borde izquierdo de la carretera para hacerlo. Este hallazgo es importante porque muestra una preferencia clara por parte de los conductores en cuanto a la ubicación del carril para realizar giros a la izquierda.

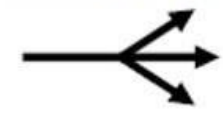
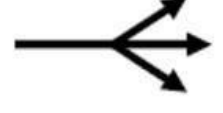





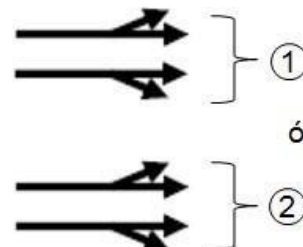
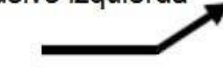

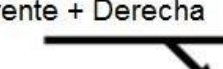
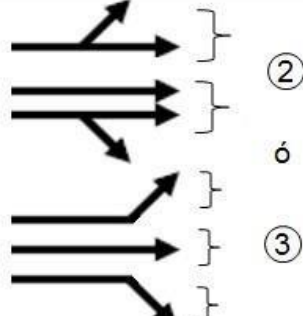
Además de los giros a la izquierda desde el primer carril, se observa que un veinte por ciento de los vehículos que llegan a este acceso continúan recto en lugar de girar. Esto significa que

un segmento significativo de los conductores opta por no realizar giros en esta intersección y en su lugar sigue su trayectoria original.

Los volúmenes vehiculares también se verificaron utilizando las ecuaciones. Esto sugiere que se han aplicado métodos específicos para calcular los volúmenes de tráfico en esta intersección, lo que respalda la validez de los datos recopilados y del análisis realizado. Este resultado proporciona información valiosa sobre cómo se comportan los conductores en la mencionada intersección. Muestra que existe una preferencia clara por parte de los conductores por el primer carril para realizar giros a la izquierda y que un porcentaje de vehículos opta por continuar recto en lugar de girar. Además, sugiere que no hay un carril exclusivo para giros a la izquierda en este acceso debido a la forma en que se utilizan los carriles por parte de los conductores. Este tipo de análisis es esencial para la planificación y el diseño de intersecciones viales eficientes y seguras.

**Tabla 11.**

*Grupo de carriles para el análisis de intersecciones sanforizadas*

No. De Carriles	Movimiento por carril	Posibilidades de Agrupación
1	Izq. + de frente + der. 	1. 
2	Exclusivo Izquierda  De frente + Derecha 	2. posibilidades de grupo 
2	Izq + De frente  De frente + Derecha 	
3	Exclusivo izquierda  De frente  De frente + Derecha 	

Nota. Elaboración propia

Se tiene que definir conjuntos de carriles adecuados, tomando en consideración la geometría de como la distribución del movimiento vehicular, se sentarán conjuntos de carriles separados, cuando se cuente con bahías únicas de vuelta a izquierda y a la derecha. Cuando se tenga un carril de vuelta a izquierda compartido, se tendrá que valorar el procedimiento en el carril compartido para definir si realmente opera como

carril exclusivo de vuelta izquierda. Para un acceso, cuando el flujo de vuelta a la izquierda en el carril de extremo izquierdo es inferior que el flujo promedio en los otros carriles, se supone que los vehículos directos comparten el carril izquierdo y todo el acceso puede suponerse en un conjunto de carriles simple. En situación de ser superior, el carril exterior se tiene que designar como un carril único de vuelta a la izquierda en un conjunto de carriles separados. De manera matemática ello es expresado de esta forma:

## **Ecuación 2.**

*Fórmula para medir la capacidad y fluidez del tráfico en un acceso*

$$V1 < \frac{Va - V1}{N - 1} \text{ (Ec. 10)}$$

$$V1 \geq \frac{Va - V1}{N - 1} \text{ (Ec. 10)}$$

*Donde:*

*VI: Volumen actual de vuelta a la izquierda (vehículos/h)*

*Va: Volumen actual en el acceso (vehículos/h)*

*N: Número de carriles del acceso*

En esta desigualdad, se compara el volumen actual de vuelta a la izquierda (VI) con la diferencia entre el volumen total de acceso (Va) y el volumen actual de vuelta a la izquierda (VI), dividida por la cantidad de carriles disponibles menos uno (N - 1). Si esta desigualdad se cumple, significa que el carril extremo izquierdo puede ser compartido por otros vehículos y se utiliza un único conjunto de carriles para todo el acceso.

## **Aplicación de la metodología para la Intersección**

El módulo de datos de entrada es fundamentalmente una recopilación de todos los datos de la condición geométrica, semafórica y del tráfico, estos datos pueden ser esquematizados en la tabla siguiente.

**Cuadro de Datos de entrada de la intersección**

Intersección: Av. Vía de Evitamiento Norte - Av. Rafael Hoyos Rubio.										
Tipo de área: <span style="float:right">√ CRB Otros</span>								Provincia: Cajamarca      Distrito: Cajamarca      Ciudad: Cajamarca		
<b>Geometría y Volúmenes</b>										
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"> <p>Tiempo perdido en arranque/movimiento (I1) <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2 seg</span></p> <p>Extensión del tiempo efectivo de verde (e) <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2 seg</span></p> </div> <div style="width: 70%;"> </div> </div>										
<b>Condiciones de Tráfico y la vía</b>										
Acceso	Pendiente (%)	% VP	Estacionamientos		Combis / Buses Nb	PHF	Bicicleta (Bici./hr)	Peatones/hr		Tipo de Arribo
			Si o No	Nm				Izq.	Der.	
(1) Norte - Sur	1.04	3.04	No	-	7	0.911	16	56	36	4
(2) Sur - Norte	-1.22	4.83	No	-	8	0.911	20	34	56	3
(3) Este - Oeste	1.80	5.25	No	-	6	0.911	17	28	59	2
(4) Oeste - Este	-1.70	4.38	No	-	18	0.911	8	32	25	2
Pendiente: + subida, - bajada			Nb: paradas de Combi/Bus/hr			Bicicletas: Conflicto Der. VP:				
Vehículos pesados			PHF: Factor hora pico			Tipo de Arribo: Del 1 al 6 Nm:				
Maniobras/hr de estacionamiento			Peatones: Vol. en conflicto Izq. y Der.							
<b>Condiciones semafóricas o de señalización</b>										
DIAGRAMAS	Ø1		Ø2		Ø3		Ø4			
	Norte - Sur		Sur - Norte		Este - Oeste		Oeste - Este			
Reglaje	G1 = 57 Y1= (A1+TR1) = 4		G2 = 45 Y2= (A2+TR2) = 4		G3 = 32 Y3= (A3+TR3) = 4		G4 = 20 Y4= (A4+TR4) = 4			
Giros protegidos			Giros Permitidos			- - - - Peatones			Duración del ciclo (C)=174	
Elaborado por: García Díaz, Edgar					Validado por: Mg. Ing. Eryln Giordani Salazar Humana					

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente apartado se analizan los resultados correspondiente a la propuesta de sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento para ayudar a reducir la congestión vehicular en el cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.

En relación al objetivo específicos, definir un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento en el cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Se precisa que la elección de los detectores de bucle inductivo se erige como una decisión efectiva, respaldada por la simplicidad de su instalación y la asequibilidad de su costo. Estos dispositivos conforman una base sólida para la detección de vehículos en el contexto de una intersección vial. El diseño propuesto para el sistema, de manera congruente, se adhiere a los cánones fundamentales de la ingeniería. Esto se traduce en la aplicación lógica de tecnología, la consideración meticulosa de los aspectos vinculados al mantenimiento, y la maximización de la eficiencia operativa.

Comparativamente, los resultados se conectan con investigaciones anteriores, como la de Carrera (2022), que sugiere mejoras en los tiempos de espera mediante sensores infrarrojos. Por tanto, la ubicación estratégica de los detectores de bucle inductivo en el pavimento promete una adecuación apreciable, respaldada por la simulación previa al despliegue físico del sistema. La interfaz de usuario en LabVIEW se presenta como una herramienta efectiva para supervisar y gestionar el sistema de semaforización.

Al respecto estudio han demostrado la efectividad de los sistemas de semaforización automatizado entre ellos, Yzaguirre (2019), determinó que el implementar un sistema de semaforización en las intersecciones de Av. Angamos Este con Av. Tomás Marsano, Av.

República de Panamá y Av. Aviación con la metodología Ramp Metering permitió mejorar las condiciones de circulación de dichos cruces viales y disminuir el grado de saturación.

Haciendo referencia al segundo objetivo de investigación, sobre verificar la congestión vehicular en el cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. El análisis de los datos arroja una luz esclarecedora sobre la complicada naturaleza de la intersección, así como sobre los posibles retos que plantea en términos de congestión vehicular y seguridad en la vía. Al examinar el flujo de tráfico en esta área, se ha constatado que los semáforos operan en un ciclo de 113 segundos, el cual se divide en tres fases distintas: rojo (58 segundos), ámbar (3 segundos) y verde (52 segundos) en la vía principal, con fases similares en la vía secundaria. Este ciclo prolongado podría contribuir de manera significativa a la congestión del tráfico, especialmente durante las horas de mayor afluencia. Además, las disparidades en el ancho de los carriles, así como la presencia de elementos como jardines y paraderos de autobuses, añaden complejidad a la circulación vehicular en la zona.

El levantamiento topográfico identifica cuatro accesos principales, cada uno con características específicas que afectan la circulación vehicular. La calibración manual de los semáforos proporciona datos cruciales para evaluar la eficiencia del flujo de tráfico y la capacidad de la intersección. Se subraya la complejidad inherente y la necesidad de medidas para mejorar la gestión del tráfico y la seguridad vial.

En cuanto al objetivo específico, medir el tiempo en la congestión vehicular en el cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Se ha identificado con precisión los momentos críticos en los que la congestión vehicular alcanza su punto máximo en la mencionada intersección. Esto se logró a través de una metodología detallada de observación manual y la recopilación meticulosa de datos relacionados con la composición de

los vehículos, sus movimientos y los volúmenes de tráfico en distintos momentos del día.

Además, se observó una variación tanto diaria como semanal en el comportamiento del flujo vehicular. Los días laborables exhibieron tres periodos pico de congestión, mientras que los fines de semana evidenciaron una marcada disminución en la congestión. Esto sugiere que las estrategias de gestión del tráfico deben adaptarse a estas fluctuaciones para ser efectivas.

Uno de los hallazgos más destacados fue la identificación de una hora de máxima demanda, caracterizada por un volumen de 3441 vehículos mixtos por hora. Esta hora representa el momento de mayor congestión en la intersección y es crucial para la asignación eficiente de recursos y esfuerzos en la gestión del tráfico durante ese período específico. El análisis de intervalos de 15 minutos reveló picos de hasta 944 vehículos, indicando momentos de congestión intensa dentro de la hora pico. Estos datos sugieren la necesidad de implementar medidas específicas y ágiles para gestionar eficazmente el flujo vehicular durante estos lapsos críticos.

Información que se sustenta en la teoría de la capacidad vial, mediante esta teoría se examina los factores que afectan la capacidad vial y propone estrategias de gestión de tráfico para aliviar la congestión en áreas urbanas congestionadas. La capacidad vial depende de varios factores, incluyendo el diseño geométrico de la vía, el tipo de vehículos que circulan, las condiciones de operación (como la presencia de semáforos o señales de tráfico) y el comportamiento de los conductores. También se ven afectados por las condiciones meteorológicas y otros eventos que puedan causar interrupciones en el flujo normal del tráfico (Ji, et al. 2020).

La disminución de la congestión los fines de semana, a pesar de mantener patrones similares a los días laborables, apunta a una relación entre la actividad laboral y comercial y la

congestión vehicular. Esta observación podría influir en decisiones relativas a los horarios de trabajo y políticas de tráfico en la zona.

Por lo que se refiere al objetivo específico identificar el flujo vehicular por la congestión vehicular en el cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Se centra en revelar los volúmenes de tráfico en la hora de máxima demanda, una variable de suma importancia en la gestión del tráfico en esta área. El proceso de obtención de datos se llevó a cabo mediante la recolección manual de aforos en cada acceso. Destaca con claridad en los datos presentados que la Av. Vía de Evitamiento experimenta un flujo de vehículos significativamente mayor en comparación con la Av. Hoyos Rubio, tanto en la dirección de Norte a Sur como en el sentido de Sur a Norte. Sin embargo, un hallazgo aún más destacado es que la Av. Hoyos Rubio también experimenta un flujo de tráfico considerable, especialmente en la dirección Este a Oeste, llegando incluso a superar el volumen del Acceso 2 de la Vía de Evitamiento.

Hallazgos que pueden ser comparados con la investigación de Andrade (2022), a precisar en sus resultados que el 86% que da un total de 319 personas en la comunidad del Cantón Paján consideran que el tráfico vehicular es sumamente malo, mientras que un 13% que son 50 personas consideran que el tráfico vehicular es regular. Como conclusión se determinó que implementar un sistema inteligente de control de tránsito ayudará a tener un efecto positivo del tráfico vehicular, reducirá los tiempos de espera y mejorará el flujo vial en las zonas claves.

Por tanto, estos resultados reflejan la complejidad inherente a la intersección y subraya la imperiosa necesidad de implementar medidas orientadas a mejorar la gestión del tráfico en esta área en particular. Entre estas posibles medidas se incluyen la optimización de los ciclos

de semaforización, la adecuación de las condiciones geométricas y la implementación de estrategias destinadas a mitigar la congestión vehicular.

Algunas de las limitaciones del estudio surgen porque la investigación estuvo sujeta a factores externos impredecibles, como eventos climáticos, accidentes o modificaciones en la infraestructura vial. Estos elementos incontrolables influyeron en el comportamiento del tráfico, generando posibles implicaciones en los resultados. Asimismo, la calidad de los datos recopilados manualmente, especialmente en lo que respecta a los aforos y observaciones detalladas, constituye otra limitación. Estos datos estuvieron sujetos a errores humanos, introduciendo posibles sesgos o imprecisiones en las conclusiones extraídas.

Es importante destacar que la investigación se concentra en una intersección específica, y las condiciones de tráfico pueden variar significativamente en diferentes áreas geográficas. Por lo tanto, los resultados pueden carecer de aplicabilidad directa a otras ubicaciones sin considerar las diferencias contextuales. Al reconocer estas limitaciones, se fomenta una interpretación más cuidadosa de los resultados y se sugiere que investigaciones futuras aborden estas cuestiones para mejorar la validez y aplicabilidad de los hallazgos.

**En relación al aporte del estudio**, desde un punto de vista teórico, la investigación ofrece una contribución al abordar de manera específica la implementación de detectores de bucle inductivo en una ubicación estratégica bajo el pavimento. La elección de esta tecnología se respalda por su efectividad, simplicidad de instalación y costos asequibles, lo que representa un aporte novedoso a la teoría de detección vehicular en intersecciones viales.

Además, el estudio sitúa su diseño propuesto dentro de los cánones fundamentales de la ingeniería. La aplicación lógica de la tecnología, la meticulosa consideración de aspectos relacionados con el mantenimiento y la maximización de la eficiencia operativa no solo

consolidan el fundamento teórico de la propuesta, sino que también establecen un estándar para futuros desarrollos en ingeniería de tráfico.

En términos prácticos, el estudio no solo se queda en la propuesta teórica, sino que respalda sus afirmaciones con resultados empíricos. La simulación previa al despliegue físico del sistema, utilizando software como Proteus en combinación con el controlador Arduino Uno, demuestra un enfoque pragmático y proactivo en la fase de diseño. Este método no solo permite ajustes y optimizaciones antes de la implementación física, sino que también destaca la aplicación efectiva de herramientas tecnológicas en la ingeniería vial.

La interfaz de usuario concebida en LabVIEW emerge como un componente crucial para la supervisión y gestión eficiente del sistema de semaforización. Su diseño intuitivo no solo simplifica la operación para los usuarios finales, sino que también ejemplifica cómo la ingeniería puede integrar soluciones tecnológicas para mejorar la funcionalidad y la administración de sistemas de tráfico.

#### **4.1. Conclusiones**

La propuesta de modelamiento de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. La elección de detectores de bucle inductivo, su ubicación estratégica en el pavimento y la simulación previa al despliegue han respaldado su eficiencia. Además, la interfaz de usuario en LabVIEW facilita la gestión del sistema. Este proyecto representa un avance importante en la gestión del tráfico y la seguridad vial en la región de Cajamarca.

Los largos ciclos de semaforización, junto con desafíos geométricos y elementos como jardines y paraderos de autobuses, contribuyen a los problemas de tráfico. El estudio también

identifica desafíos específicos en los accesos a la intersección. Por tanto la propuesta contribuye a mejorar los ciclos de semaforización y mejorar las condiciones geométricas, para abordar estos problemas y mejorar la eficiencia y seguridad del tráfico en la zona. Esto beneficiará tanto a los conductores como a los peatones y promoverá un sistema de transporte más eficiente en la región de Cajamarca.

En cuanto a la congestión vehicular en el cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio en Cajamarca ha identificado con precisión momentos críticos y una hora de máxima demanda. También ha revelado variaciones diarias y semanales en el tráfico, destacando la importancia de adaptar estrategias de gestión del tráfico. Los datos muestran picos de congestión intensa en intervalos de 15 minutos, indicando la necesidad de medidas específicas durante esos lapsos. Además, se observó una relación entre la congestión y la actividad laboral y comercial. Esta propuesta tiene el potencial de reducir la congestión, mejorar la seguridad vial y optimizar la movilidad de los conductores de manera significativa. Además, su flexibilidad y capacidad para adaptarse a las demandas cambiantes del tráfico hacen que sea una solución prometedora para mejorar la calidad de vida de los residentes y visitantes de la zona.

Se ha demostrado que tanto la Vía de Evitamiento como la Av. Hoyos Rubio experimentan una congestión vehicular significativa, especialmente en el sentido Este-Oeste de la última. La implementación de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento tiene el potencial de optimizar la coordinación de los semáforos en tiempo real, respondiendo a las condiciones del tráfico y la composición vehicular en constante cambio. Esto ayudaría a mejorar la fluidez del tráfico en el cruce de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio, reduciendo la congestión y los tiempos de espera, lo que a su vez podría tener un impacto positivo en la eficiencia y la seguridad vial en la zona.

## Referencias

- AAP, (2019). AAP: *Los efectos de un parque automotor escaso y antiguo* | Asociación Automotriz del Perú. <https://aap.org.pe>. Disponible en: <https://aap.org.pe/aap-los-efectos-de-un-parqueautomotor-escaso-y-antiguo-2/>.
- Aguilar, M. y Oseda, D. (2022). *Taller de Investigación I. Modulo n°2*. 2022. Universidad Nacional de Huancavelica. <https://www.unh.edu.pe/>
- Andrade, R. (2022). *Estudio de factibilidad para implementación de un sistema inteligente de control de tránsito en áreas críticas del Cantón Paján*. [Tesis e grado] Universidad Estatal del Sur de Manabí. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/4568/1/ANDRADE%20BAQUE%20OREBECA%20SUSANA.pdf>
- Arias, J. Holgado, J. Tafur, T. y Vásquez, M. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para realizar un proyecto de tesis. Primera edición*. Editado por Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C. <https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/3109>
- Arispe, C. Yangali, J. Guerrero, M. Lozada, O. Acuña, L. y Arellano, C. (2020). *La investigación científica. Una aproximación para los estudios de posgrado. Primera edición*. Universidad Internacional del Ecuador. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4310>
- Avalos, E.(2021). *Microsimulación de flujo vehicular para reducir el congestionamiento en una intersección de la ciudad de Puno, 2021*. [Tesis de grado] Universidad César Vallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71246/Avalos\\_AEA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71246/Avalos_AEA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Basurto, L. Yzaguirre, R. (2019). *Propuesta de un sistema de semaforización para reducir el grado de saturación en las intersecciones de Av. Angamos Este Con Av. República de Panamá, Av. Tomás Marsano y Av. Aviación; a través de la metodología del Ramp Metering*. [Tesis de grado] Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/629963/Basurto\\_VL.pdf?sequence=3](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/629963/Basurto_VL.pdf?sequence=3)
- Cantillo V. Garcés P. Márques L. (2016), "*Factors Influencing the Occurrence of Traffic Accidents on Urban Roads: A Combined GesEmpirical Bayesian Approach*". Universidad de Colombia, Dyna Magazine
- Cárdenas, C. (2022). *Análisis y evaluación de la congestión urbana vehicular en los tramos Ovalo Cayhuayna y el Ovalo Esteban Pavletich, Huánuco – 2021*. [Tesis de grado] Universidad de Huánuco. <http://200.37.135.58/bitstream/handle/20.500.14257/3967/C%C3%A1rdenas%20Camarena%20Carlos%20Jaime.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carrera, (2022). *Diseño de un sistema basado en la tecnología de sensado remoto en un sistema de semaforización del distrito de Comas*. [Tesis de grado] Universidad Tecnológica del Perú. [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/6486/D.Cabrera\\_Tesis\\_Titulo\\_Profesional\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/6486/D.Cabrera_Tesis_Titulo_Profesional_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- CEPAL. (2021). *La movilidad urbana en América Latina y el Caribe*. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46818/1/S2100013\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46818/1/S2100013_es.pdf)
- Cerna, M. (2020). *Microanálisis de los desplazamientos peatonales y vehiculares entre la Av. Hoyos Rubio y La Av. Andrés Zevallos, Cajamarca – 2020*. [Tesis de grado] Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25244>

Estela, R. (2020). *Módulo 1. Investigación propositiva*. Instituto de Educación Superior

Pedagógico

Público

Indoamérica.

<https://institutorambell.blogspot.com/2022/11/investigacion-propositiva.html>

Guevara, N. y Miño, J. (2023). *Estudio de tráfico y planteamiento de alternativa de solución para los giros de retorno en la abscisa 2+654,67 de la Avenida Simón Bolívar del Cantón Quito, Provincia de Pichincha*. [Tesis de grado] Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/29861/1/UCE-FING-CIC-GUEVARA%20NATHALY-MI%c3%91O%20JEFFERSON.pdf>

Gutierrez, R. y Márquez, J. (2020). *Análisis de los factores asociados al crecimiento del tráfico vehicular, mediante un método dinámico intertemporal en Lima Metropolitana Periodo, 1990-2018*. [Tesis de grado] Universidad San Ignacio de Loyola. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b88e8262-a3a3-411f-b89c-7d7014fa9a7a/content>

HADAVI SHEIDA, RAI HELEEN, VERLINDE SARA, HUANG HE, MACHARYS CATHY Y PISTOLAS TIAS (2020), "Analysis of Passenger and Cargo Vehicle Movements from Automatic License Plate Recognition Camera" - Springer Magazine

INRIX. (2021). *Global Traffic Scorecard*. <https://inrix.com/scorecard/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2020). Perú: Vehículos registrados por departamento, según tipo, 2015-2020. Recuperado de [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1769/1ibro.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1769/1ibro.pdf)

Iturra, N. (31 de Mayo 2012). *Blogger.com*. Obtenido de: <https://bit.ly/3JEz9o5>

- Ji, Y., Zhao, J. y Wang, Y. (2020). *Traffic congestion reduction with dynamic road capacity estimation and adaptive signal control: An integrated framework*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 117, 102719.
- Kamalanathsharma, R., Dixit, V. y Chakroborty, P. (2020). *Influence of driving behavior on congestion in urban arterials*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 133, 366-387.
- Laval, J. A., Rakha, H. A., & Rakha, E. A. (2020). *Congestion mitigation through coordinated signal control and route guidance*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 112, 453-470.
- Levinson, D., & Krizek, K. (2018). *Planning for place and Plexus: Metropolitan land use and transport*. Routledge.
- Li, Y., Lin, W., & Jiang, H. (2019). *Evaluation of Traffic Signal Importance and Performance Measures in Urban Traffic Management*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2673(9), 609-620. doi: 10.1177/0361198119851932
- Middelham, F. (2019). *Traffic Signal Systems*. En: Hensher, D. A., Button, K., Haynes, K. (eds.) *Handbook of Transport Strategy, Policy & Institutions*. Edward Elgar Publishing. Páginas 364-380.
- Ministerio De Transportes Y Comunicaciones (2018), *"Glosario De Términos De Uso Frecuente En Proyectos De Infraestructura Vial"*, Lima, Perú.
- Municipalidad Provincial de Cajamarca. (2021). *Diagnóstico de la situación de la movilidad urbana en la ciudad de Cajamarca*. Recuperado de [http://www.municaj.gob.pe/web/images/publicaciones/PLAN\\_DE\\_MOVILIDAD\\_URBANA\\_DE\\_CAJAMARCA.pdf](http://www.municaj.gob.pe/web/images/publicaciones/PLAN_DE_MOVILIDAD_URBANA_DE_CAJAMARCA.pdf)

Posada, C. (2018). *Aumento Continuo Del Parque Automotor, Un Problema Que Urge*

*Solucionar.* La Cámara [en línea], pp. 24-26.

[https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r816\\_3/comercio exterior.pdf](https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r816_3/comercio exterior.pdf).

Puello, J. y Recuerdo, J. (2022). *Enfoque sistémico para el análisis de planes de movilidad urbana sostenible: La seguridad vial como indicador clave de desempeño*. [Tesis de grado] Universidad de Cartagena.

<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/16084/TG%20-%20Puello,%20Recuerdo.pdf?sequence=1>

RAE. (2019). *Congestionar*. Obtenido de Real Academia Española:

<https://dle.rae.es/congestionar>.

Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo. Disponible en:

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-21516>

Rello, E. (2020). *Propuesta para reducir los tiempos de viaje del modo de transporte público Metrobús mediante el uso del sistema de priorización de semáforos*. [Tesis de grado] Universidad Nacional Autónoma de México.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/17236/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rojas, J. (2020). *Diseño de un Sistema de Semaforización con el Software SYNCHRO 8 en la congestión vehicular en el puente la Ensenada del Distrito de Puente Piedra, Lima – 2020*. [Tesis de grado] Universidad César Vallejo.

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/58441/Rojas\\_GJT-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/58441/Rojas_GJT-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rojas-Valencia, N. (2021). *Estudio de la congestión vehicular en la Ciudad de México*.

Recuperado de <https://www.eluniversal.com.mx/opinion/norberto-rojas-valencia/estudio-de-la-congestion-vehicular-en-la-ciudad-de-mexico>

Sharma, S., Singh, R., & Sharma, R. (2021). *Traffic Congestion and its Impact on Environment: A Study of Delhi*. International Journal of Engineering and Technology, 13(3), 249-255.

Thomson, Ian y A. Bull (2001). *La congestión de tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales, serie Recursos naturales e infraestructura, N° 25 (LC/L.1560-P)*, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.01.II.G.105.

Transportation Research Board (2016). *Traffic Signal Systems Operations and Design*

## Anexos

Anexo 1. Matriz de operacionalización.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento</b>	El sistema de semaforización es un conjunto de dispositivos y señales luminosas utilizadas para regular y controlar el flujo del tráfico vehicular y peatonal en las vías públicas. Consiste en la instalación de semáforos en intersecciones y cruces viales, los cuales emiten luces de diferentes colores (generalmente rojo, amarillo y verde) para indicar a los conductores cuándo deben detenerse, prepararse para detenerse o avanzar (Transportation Research Board, 2016)	Esta variable será operacionalizada por medio de 3 dimensiones: características geométricas, condiciones de transitabilidad y simulador de tráfico. Con la finalidad de diseñar una propuesta de sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento para ayudar a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca	<b>Características geométricas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eficiencia</li> <li>▪ Fluidez</li> <li>▪ Modernización</li> <li>▪ Seguridad</li> <li>▪ Cruce</li> </ul>	Intervalo de tipo Likert
			<b>Condiciones de transitabilidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Movilidad</li> <li>▪ Espera</li> <li>▪ Automatización</li> <li>▪ Accidentes</li> <li>▪ Acceso</li> </ul>	
			<b>Simulador de tráfico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Implementación</li> <li>▪ Gestión del tráfico</li> <li>▪ Localidad</li> <li>▪ Calidad de vida</li> <li>▪ Congestión vehicular</li> </ul>	

**Congestión vehicular**

Se puede definir un estado de congestión vehicular como una situación en la que el paso de un vehículo por las carreteras de una ciudad está siendo limitado, u obstaculizado, por el paso y la circulación de otros vehículos (RAE, 2019).

Esta variable será operacionalizada por medio de 3 dimensiones: tiempo, flujo vehicular, espacio vehicular. Con la finalidad de diseñar una propuesta de sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento para ayudar a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.

**Tiempo**

- Diario
- Viaje
- Estrés
- Calidad de vida
- Atraso

**Flujo vehicular**

- Congestión
- Afectación
- Reducción
- Normativas
- Seguridad

**Espacio vehicular**

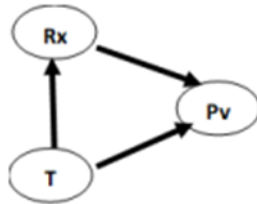
- Problemática
- Lineamientos
- Estrés
- Aumento
- Calidad de vida

Intervalo de tipo Likert

Anexo 2. Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Técnicas e instrumentos
<p><b>Problema general</b> ¿De qué manera la propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca?</p> <p><b>Problemas específicos</b> ¿De qué manera la propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir el tiempo en la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca? ¿De qué manera la propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir el flujo vehicular por la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca? ¿De qué manera la propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir el espacio vehicular por la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Modelar una propuesta de sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento para ayudar a reducir la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca..</p> <p><b>Objetivos específicos</b> Definir un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Verificar la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Medir el tiempo en la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Identificar el flujo vehicular por la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca. Identificar el espacio vehicular por la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.</p>	<p>Hi: El diseño de una propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento ayuda a reducir significativamente la congestión vehicular en la Intersección de la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.</p>	<p><b>Técnica</b> Observación</p> <p><b>Instrumento</b> Ficha de observación: Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca.</p>
<b>Diseño de investigación</b>	<b>Población y muestra</b>	<b>Variables y dimensiones</b>	
	<b>Población</b>	<b>Variable 1:</b>	

### Tipo descriptivo prospectivo



Donde:

Rx: Diagnóstico de la realidad

T: Estudios teóricos

PV: Propuesta validada

La población 1: la componen 1.341.012 pobladores de la ciudad de Cajamarca durante el año 2023.

La población 2: se halla conformada por Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca durante el año 2023

### Muestra

Muestra 1 fue calculada usando la fórmula correspondiente al muestreo probabilístico aleatorio simple y se compone de 385 pobladores con residencia estable en la Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca durante el año 2023.

Muestra 2 fue delimitada usando el muestreo no probabilístico a conveniencia de autor, la misma se compone por tanto por Av. Vía de Evitamiento Norte y la Av. Hoyos Rubio – Cajamarca durante el año 2023

### Propuesta de un sistema de semaforización automatizada bajo el pavimento

Dimensiones  
Características geométricas  
Condiciones de transitabilidad  
Simulador de tráfico.

### Variable 2: Congestión vehicular

Dimensiones  
Tiempo  
Flujo vehicular  
Espacio vehicular.

### Anexo 3. Instrumentos

#### FICHA REGISTRO DE INFORMACIÓN

**Tabla de lectura de datos obtenidos mediante la observación para el análisis del tráfico vehicular en la intersección en horas de la mañana**

Primera fecha (veh.) 7:15-8:15 06-03-2023			Segunda fecha (veh.) 7:30-8:30 12-03-2023			Tercera fecha (veh.) 07:00 - 08:00 14-03-2023		
En horas de la mañana								
Combis			Combis			Combis		
Coaster			Coaster			Coaster		
Taxi			Taxi			Taxi		
Motos			Motos			Motos		
Motos lineales			Motos lineales			Motos lineales		
Vehículos pesados			Vehículos pesados			Vehículos pesados		

Primera fecha (veh.) 12:15-01:15 06-03-2023			Segunda fecha (veh.) 7:30-8:30 12-03-2023			Tercera fecha (veh.) 7:30-8:30 14-03-2023		
En horas de la tarde								
Combis			Combis			Combis		
Coaster			Coaster			Coaster		
Taxi			Taxi			Taxi		
Motos			Motos			Motos		
Motos lineales			Motos lineales			Motos lineales		
Vehículos pesados			Vehículos pesados			Vehículos pesados		

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO DEL TRÁFICO VEHICULAR DE LA INTERSECCIÓN DE LA AV. VÍA DE EVITAMIENTO NORTE Y LA AV. HOYOS RUBIO - CAJAMARCA

Primera fecha (veh) 7:15-8:15			Segunda fecha (veh) 7:30-8:30			Tercera fecha (veh) 7:00-8:00		
En horas de la mañana								
Combis	Via principal 126	Via secundaria 180	Combis	Via principal 196	Via secundaria 119	Combis	Via principal 221	Via secundaria 199
Coaster	Via principal 105	Via secundaria 101	Coaster	Via principal 92	Via secundaria 83	Coaster	Via principal 112	Via secundaria 100
Taxis	Via principal 96	Via secundaria 80	Taxis	Via principal 97	Via secundaria 79	Taxis	Via principal 88	Via secundaria 60
Motos	Via principal 125	Via secundaria 130	Motos	Via principal 112	Via secundaria 120	Motos	Via principal 136	Via secundaria 122
Motos lineales	Via principal 37	Via secundaria 48	Motos lineales	Via principal 41	Via secundaria 37	Motos lineales	Via principal 36	Via secundaria 20
Vehiculos pesados	Via principal 22	Via secundaria 12	Vehiculos pesados	Via principal 18	Via secundaria 17	Vehiculos pesados	Via principal 24	Via secundaria 35

Anexo 4.

Figura de la toma de datos de campo



## Anexo 5. Condiciones geométricas

### A. CONDICIONES GEOMÉTRICAS

#### A.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA INTERSECCIÓN

INTERSECCIÓN	Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento
FECHA	Domingo, 13 de marzo de 2023

#### 1.0 CALZADA

ACCESO	ANCHO DE CALZADA (m)			
	1ra medición	2da medición	3ra medición	Promedio
ACCESO 1	8.14	7.60	7.47	<b>7.74</b>
ACCESO 2	9.74	8.36	8.06	<b>8.72</b>
ACCESO 3	8.60	8.65	8.55	<b>8.60</b>
ACCESO 4	9.67	7.92	8.75	<b>8.78</b>

#### 2.0 CARRIL

CARRIL	ANCHO DE CARRIL (m)			
	ACCESO 1	ACCESO 2	ACCESO 3	ACCESO 4
Carril 1	<b>3.87</b>	<b>4.36</b>	<b>4.30</b>	<b>4.39</b>
Carril 2	<b>3.87</b>	<b>4.36</b>	<b>4.30</b>	<b>4.39</b>
NUMERO DE CARRILES	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

#### A.2 NIVELACIÓN TOPOGRÁFICA INTERSECCIÓN

ACCESO	PUNTO	COTA	DESNIVEL	DISTANCIA	PENDIENTE	PENDIENTE PROMEDIO
<b>1</b>	1 (Final)	2694.02				<b>1.04</b>
	2 (Mitad)	2694.20	0.183	20	0.915	
	3 (Inicio)	2694.55	0.350	30	1.167	
<b>2</b>	4 (Inicio)	2694.48				<b>-1.22</b>
	5 (Mitad)	2694.90	-0.417	40	-1.042	
	6 (Final)	2695.32	-0.418	30	-1.393	
<b>3</b>	7 (Inicio)	2694.48				<b>1.80</b>
	8 (Mitad)	2693.99	0.498	30	1.660	
	9 (Final)	2693.11	0.871	45	1.936	
<b>4</b>	10 (Inicio)	2694.52				<b>-1.70</b>
	11 (Mitad)	2695.05	-0.538	30	-1.793	

	12 (Final)	2695.69	-0.640	40	-1.600	
--	------------	---------	--------	----	--------	--

**\*Según cotas del plano catastral de la Municipalidad de Cajamarca**

## B CONDICIONES SEMAFÓRICAS

### A.1 Estimación de los intervalos de tiempo para cada fase del semáforo INTERSECCIÓN ACCESO 1 (Norte-Sur)

Instante	Medición 1		Medición 2		Medición 3		Medición 4	
	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00		0.00		0.00	
Inicio Verde ACC1	56.85	56.85	57.22	57.22	57.07	57.07	56.97	56.97
Inicio Ámbar ACC1	59.81	2.96	60.24	3.02	59.90	2.83	59.99	3.02
Inicio Rojo ACC1	173.87	114.06	174.13	113.89	173.82	113.92	174.01	114.02

Instante	Medición 5		Medición 6		Medición 7		Medición 8	
	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00		0.00		0.00	
Inicio Verde ACC1	57.00	57.00	57.01	57.01	57.03	57.03	56.88	56.88
Inicio Ámbar ACC1	60.05	3.05	59.94	2.93	59.89	2.86	59.78	2.90
Inicio Rojo ACC1	173.87	113.82	174.08	114.14	174.06	114.17	173.91	114.13

Instante	Medición 9		Medición 10	
	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00	
Inicio Verde ACC1	56.99	56.99	56.92	56.92
Inicio Ámbar ACC1	59.90	2.91	59.95	3.03
Inicio Rojo ACC1	174.02	114.12	174.08	114.13

PROMEDIO	DESV. EST.
Intervalo (seg)	Intervalo (seg)
<b>57.0</b>	0.10
<b>3.0</b>	0.08
<b>114.0</b>	0.12

Ciclo semafórico de la intersección =

**174.0**

### A.2 Estimación de los intervalos de tiempo para cada fase del semáforo INTERSECCIÓN ACCESO 2 (Sur-Norte)

Instante	Medición 1		Medición 2		Medición 3		Medición 4	
	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00		0.00		0.00	
Inicio Verde ACC2	45.04	45.04	45.22	45.22	44.87	44.87	44.83	44.83
Inicio Ámbar ACC2	48.02	2.98	48.02	2.8	47.81	2.94	47.81	2.98
Inicio Rojo ACC2	174.07	126.05	174.14	126.12	173.93	126.12	173.82	126.01

Instante	Medición 5		Medición 6		Medición 7		Medición 8	
	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00		0.00		0.00	
Inicio Verde ACC2	44.94	44.94	44.85	44.85	45.01	45.01	45.02	45.02
Inicio Ámbar ACC2	47.89	2.95	47.83	2.98	47.97	2.96	47.99	2.97
Inicio Rojo ACC2	173.97	126.08	173.9	126.07	174.05	126.08	173.87	125.88

Instante	Medición 9		Medición 10	
	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00	
Inicio Verde ACC2	45.00	45.00	44.97	44.97
Inicio Ámbar ACC2	48.00	3.00	47.91	2.94
Inicio Rojo ACC2	173.85	125.85	174.11	126.2

PROMEDIO	DESV. EST.
Intervalo (seg)	Intervalo (seg)
<b>45.0</b>	0.11
<b>3.0</b>	0.06
<b>126.0</b>	0.11

**Ciclo semafórico de la intersección** =

**174.0**

### A.3 Estimación de los intervalos de tiempo para cada fase del semáforo INTERSECCIÓN ACCESO 3 (Este-Oeste)

Instante	Medición 1		Medición 2		Medición 3		Medición 4	
	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00		0.00		0.00	
Inicio Verde ACC3	31.93	31.93	31.82	31.82	32.01	32.01	31.96	31.96
Inicio Ámbar ACC3	34.97	3.04	34.77	2.95	35.01	3	34.95	2.99
Inicio Rojo ACC3	174.01	139.04	173.81	139.04	173.97	138.96	174.00	139.05

Instante	Medición 5		Medición 6		Medición 7		Medición 8	
	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00		0.00		0.00	
Inicio Verde ACC3	32.02	32.02	32.00	32	32.00	32	31.84	31.84
Inicio Ámbar ACC3	35.08	3.06	34.93	2.93	34.79	2.79	34.76	2.92
Inicio Rojo ACC3	174.07	138.99	174.10	139.17	173.95	139.16	173.86	139.10

Instante	Medición 9		Medición 10	
	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00	
Inicio Verde ACC3	31.82	31.82	32.10	32.1
Inicio Ámbar ACC3	34.78	2.96	34.97	2.87
Inicio Rojo ACC3	173.60	138.82	174.08	139.11

PROMEDIO	DESV. EST.
Intervalo (seg)	Intervalo (seg)
<b>32.0</b>	0.10
<b>3.0</b>	0.08
<b>139.0</b>	0.10

--

--

Ciclo semafórico de la intersección "" =

174 Seg

#### A.4 Estimación de los intervalos de tiempo para cada fase del semáforo INTERSECCIÓN ACCESO 4 (Oeste-Este)

	Medición 1		Medición 2		Medición 3		Medición 4	
Instante	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00		0.00		0.00	
Inicio Verde ACC4	19.88	19.88	20.02	20.02	20.10	20.1	20.02	20.02
Inicio Ámbar ACC4	22.98	3.1	22.96	2.94	22.95	2.85	22.89	2.87
Inicio Rojo ACC4	173.93	150.95	174.11	151.15	174.10	151.15	173.89	151.00
	Medición 5		Medición 6		Medición 7		Medición 8	
Instante	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00		0.00		0.00	
Inicio Verde ACC4	20.00	20	19.98	19.98	20.00	20	20.00	20
Inicio Ámbar ACC4	23.00	3	22.95	2.97	23.01	3.01	22.98	2.98
Inicio Rojo ACC4	174.14	151.14	174.09	151.14	173.96	150.95	174.03	151.05

	Medición 9		Medición 10	
Instante	Cronómetro	Intervalo (seg)	Cronómetro	Intervalo (seg)
	0.00		0.00	
Inicio Verde ACC4	19.93	19.93	19.90	19.9
Inicio Ámbar ACC4	22.85	2.92	22.95	3.05
Inicio Rojo ACC4	173.89	151.04	173.87	150.92

PROMEDIO	DESV. EST.
Intervalo (seg)	Intervalo (seg)
<b>20.0</b>	0.06
<b>3.0</b>	0.08
<b>151.0</b>	0.09

=
<b>Ciclo semafórico de la intersección</b>

=
<b>174.0</b>

### A.1 RESUMEN DEL AFORO DEL ACCESO 1 DE LA INTERSECCIÓN

PER.	CAR.	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
		Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.
7:00	C1	148		175		181		186		169		128		100	
7:15	C2	154	302	108	283	112	293	108	294	111	280	101	229	80	180
7:15	C1	156		186		182		199		202		165		132	
7:30	C2	171	327	157	343	144	326	164	363	172	374	121	286	91	223
7:30	C1	177		183		170		181		171		157		131	
7:45	C2	158	335	164	347	167	337	164	345	177	348	115	272	88	219
7:45	C1	167		159		160		161		150		123		107	
8:00	C2	160	327	132	291	130	290	128	289	130	280	91	214	73	180
8:00	C1	134		137		149		144		143		114		95	
8:15	C2	129	263	125	262	120	269	111	255	122	265	87	201	74	169
8:15	C1	141		149		155		152		141		108		91	
8:30	C2	133	274	111	260	103	258	116	268	107	248	76	184	64	155
8:30	C1	137		153		131		139		151		83		74	
8:45	C2	108	245	124	277	90	221	115	254	109	260	85	168	65	139
8:45	C1	148		139		139		152		146		123		85	
9:00	C2	110	258	105	244	113	252	103	255	107	253	98	221	75	160
9:00	C1	148		143		146		154		147		131		106	
9:15	C2	137	285	138	281	137	283	135	289	131	278	111	242	85	191
9:15	C1	134		135		108		154		143		104		87	
9:30	C2	116	250	113	248	100	208	110	264	113	256	84	188	73	160
9:30	C1	135		141		173		147		147		124		103	
9:45	C2	103	238	106	247	93	266	112	259	110	257	90	214	71	174
9:45	C1	133		137		149		148		152		108		92	
10:00	C2	95	228	103	240	93	242	95	243	97	249	95	203	75	167
10:00	C1	155		143		150		162		151		137		114	
10:15	C2	109	264	116	259	109	259	120	282	114	265	106	243	78	192
10:15	C1	136		133		135		137		138		115		98	
10:30	C2	115	251	108	241	114	249	116	253	112	250	97	212	76	174
10:30	C1	129		117		123		125		117		113		98	
10:45	C2	117	246	115	232	120	243	120	245	127	244	96	209	68	166
10:45	C1	136		130		124		129		121		114		101	
11:00	C2	124	260	121	251	131	255	130	259	133	254	103	217	72	173
11:00	C1	126		123		124		116		124		107		91	
11:15	C2	108	234	97	220	100	224	96	212	101	225	79	186	64	155
11:15	C1	140		123		129		128		133		107		88	
11:30	C2	108	248	107	230	114	243	107	235	117	250	94	201	67	155
11:30	C1	131		115		118		127		116		105		85	
11:45	C2	125	256	108	223	116	234	117	244	115	231	99	204	75	160
11:45	C1	144		138		149		126		150		132		105	
12:00	C2	119	263	103	241	122	271	121	247	129	279	105	237	76	181
12:00	C1	118		138		133		131		141		116		93	
12:15	C2	117	235	112	250	121	254	112	243	128	269	105	221	79	172
12:15	C1	142		148		150		132		159		141		105	
12:30	C2	117	259	114	262	121	271	117	249	115	274	112	253	86	191
12:30	C1	149		159		148		140		153		141		120	
12:45	C2	137	286	123	282	133	281	129	269	123	276	126	267	79	199
12:45	C1	155		142		152		142		144		108		104	
13:00	C2	123	278	113	255	116	268	121	263	105	249	105	213	78	182
13:00	C1	177		169		191		172		184		150		117	
13:15	C2	159	336	159	328	150	341	155	327	157	341	128	278	90	207
13:15	C1	156		150		146		152		158		133		118	
13:30	C2	132	288	131	281	144	290	127	279	136	294	125	258	83	201

PER.	CAR.	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
		Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR	Veh. ACC.	Veh.CAR	Veh. ACC.	Veh. CAR	Veh. ACC.	Veh. CAR	Veh. ACC.	Veh. CAR	Veh. ACC.	Veh. CAR	Veh. ACC.
13:30	C1	152	270	149	263	154	279	149	263	152	276	130	245	110	189
13:45	C2	118		114		125		114		124		115		117	
13:45	C1	152	258	160	271	162	283	144	250	162	277	144	250	117	196
14:00	C2	106		111		121		106		115		106		117	
14:00	C1	137	257	134	244	136	248	138	249	140	259	119	228	105	183
14:15	C2	120		110		112		111		119		109		112	
14:15	C1	139	267	126	238	127	261	136	267	140	274	126	237	112	193
14:30	C2	128		112		134		131		134		111		112	
14:30	C1	128	251	131	251	121	248	127	251	130	258	118	230	102	185
14:45	C2	123		120		127		124		128		112		112	
14:45	C1	131	234	120	211	109	216	119	220	117	236	112	200	99	172
15:00	C2	103		91		107		101		119		88		112	
15:00	C1	132	255	131	251	149	256	123	242	133	241	120	225	105	182
15:15	C2	123		120		107		119		108		105		105	
15:15	C1	142	268	116	237	129	250	135	266	123	244	134	240	109	192
15:30	C2	126		121		121		131		121		106		106	
15:30	C1	130	254	136	251	138	262	141	257	145	268	124	233	105	187
15:45	C2	124		115		124		116		123		109		109	
15:45	C1	156	289	124	242	153	287	131	239	151	280	140	255	117	201
16:00	C2	133		118		134		108		129		115		115	
16:00	C1	140	299	141	286	162	306	159	290	152	300	153	273	121	208
16:15	C2	159		145		144		131		148		120		120	
16:15	C1	163	291	164	291	163	291	148	282	160	295	142	259	115	197
16:30	C2	128		127		128		134		135		117		117	
16:30	C1	125	250	134	251	129	253	138	252	136	257	117	225	103	178
16:45	C2	125		117		124		114		121		108		108	
16:45	C1	134	263	131	258	137	265	126	254	125	260	127	238	111	194
17:00	C2	129		127		128		128		135		111		111	
17:00	C1	143	277	141	279	131	260	138	274	152	269	127	247	115	200
17:15	C2	134		138		129		136		117		120		120	
17:15	C1	148	290	147	290	148	280	155	289	156	298	128	260	114	206
17:30	C2	142		143		132		134		142		132		132	
17:30	C1	155	296	154	298	147	299	150	291	148	295	134	271	121	214
17:45	C2	141		144		152		141		147		137		137	
17:45	C1	162	308	161	325	140	303	137	297	146	306	150	288	124	220
18:00	C2	146		164		163		160		160		138		138	
18:00	C1	178	329	138	261	176	323	179	330	164	335	129	240	116	194
18:15	C2	151		123		147		151		171		111		111	
18:15	C1	161	301	136	256	153	292	163	312	164	323	124	229	106	190
18:30	C2	140		120		139		149		159		105		105	
18:30	C1	168	302	168	292	171	287	151	315	183	338	152	284	132	220
18:45	C2	134		124		116		164		155		132		132	
18:45	C1	179	333	176	322	188	336	120	231	165	321	144	269	116	209
19:00	C2	154		146		148		111		156		125		125	
19:00	C1	151	281	159	289	144	275	144	262	153	298	141	248	118	203
19:15	C2	130		130		131		118		145		107		107	
19:15	C1	138	269	150	293	170	318	156	323	181	334	162	281	111	196
19:30	C2	131		143		148		167		153		119		119	
19:30	C1	162	304	175	315	166	306	168	316	156	300	145	249	109	187
19:45	C2	142		140		140		148		144		104		104	
19:45	C1	128	241	143	253	145	259	143	247	113	237	112	210	96	169
20:00	C2	113		110		114		104		124		98		98	

**A.2 RESUMEN DEL AFORO DEL ACCESO 2 DE LA INTERSECCIÓN**

PER.	CAR.	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
		Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.
7:00	C1	83	205	126	246	112	228	118	231	100	180	78	149	54	107
7:15	C2	122		120		116		113		80		71		53	
7:15	C1	99	211	126	253	103	238	118	249	136	247	86	171	58	118
7:30	C2	112		127		135		131		111		85		60	
7:30	C1	116	210	124	236	136	247	123	220	113	230	73	161	46	108
7:45	C2	94		112		111		97		117		88		62	
7:45	C1	104	191	100	185	112	202	99	176	100	191	63	128	48	98
8:00	C2	87		85		90		77		91		65		50	
8:00	C1	82	168	93	186	102	201	104	197	91	173	54	105	41	86
8:15	C2	86		93		99		93		82		51		45	
8:15	C1	87	172	89	169	97	171	84	165	95	161	59	120	42	91
8:30	C2	85		80		74		81		66		61		49	
8:30	C1	94	178	80	166	100	176	92	160	83	171	57	115	44	86
8:45	C2	84		86		76		68		88		58		42	
8:45	C1	102	176	83	164	79	150	100	189	95	171	59	115	48	84
9:00	C2	74		81		71		89		76		56		36	
9:00	C1	116	255	99	212	104	196	98	219	107	222	72	161	53	108
9:15	C2	139		113		92		121		115		89		55	
9:15	C1	112	227	98	212	110	210	107	205	103	222	74	166	51	112
9:30	C2	115		114		100		98		119		92		61	
9:30	C1	85	183	74	160	86	185	97	184	87	184	68	143	50	100
9:45	C2	98		86		99		87		97		75		50	
9:45	C1	80	176	72	157	88	180	80	177	82	174	62	134	43	91
10:00	C2	96		85		92		97		92		72		48	
10:00	C1	88	178	80	166	91	180	84	169	88	175	58	129	37	84
10:15	C2	90		86		89		85		87		71		47	
10:15	C1	95	195	86	181	90	189	98	189	99	198	72	143	48	97
10:30	C2	100		95		99		91		99		71		49	
10:30	C1	112	218	110	208	114	222	109	210	106	213	71	155	47	106
10:45	C2	106		98		108		101		107		84		59	
10:45	C1	112	221	98	207	110	227	105	221	101	220	72	165	51	112
11:00	C2	109		109		117		116		119		93		61	
11:00	C1	98	177	91	180	90	177	89	168	99	187	67	139	47	94
11:15	C2	79		89		87		79		88		72		47	
11:15	C1	110	197	86	177	97	182	104	190	97	196	70	148	43	98
11:30	C2	87		91		85		86		99		78		55	
11:30	C1	115	203	106	200	116	216	101	198	113	204	77	156	50	105
11:45	C2	88		94		100		97		91		79		55	
11:45	C1	82	179	86	189	88	191	88	185	92	187	67	137	46	94
12:00	C2	97		103		103		97		95		70		48	
12:00	C1	93	195	99	194	104	193	98	187	102	188	88	182	58	120
12:15	C2	102		95		89		89		86		94		62	
12:15	C1	115	217	118	214	121	223	119	219	114	212	89	183	60	126
12:30	C2	102		96		102		100		98		94		66	
12:30	C1	110	206	115	223	108	238	102	219	116	239	98	186	61	127
12:45	C2	96		108		130		117		123		88		66	
12:45	C1	127	234	120	241	116	244	99	224	116	240	93	189	59	127
13:00	C2	107		121		128		125		124		96		68	
13:00	C1	147	256	145	253	138	252	138	247	149	263	100	198	59	135
13:15	C2	109		108		114		109		114		98		76	
13:15	C1	135	253	145	251	141	266	140	250	146	257	103	203	69	142
13:30	C2	118		106		125		110		111		100		73	

PER.	CAR.	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
		Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.
13:30	C1	129	233	127	217	117	225	132	229	126	243	97	199	65	137
13:45	C2	104		90		108		97		117		102		117	
13:45	C1	85	182	87	172	87	171	78	171	88	174	80	151	48	100
14:00	C2	97		85		84		93		86		86		71	
14:00	C1	102	196	95	180	86	182	100	186	107	196	88	161	48	107
14:15	C2	94		85		96		86		89		89		73	
14:15	C1	100	199	125	222	104	193	99	188	95	178	68	139	45	98
14:30	C2	99		97		89		89		83		83		71	
14:30	C1	125	212	93	195	113	212	112	209	107	215	75	161	46	106
14:45	C2	87		102		99		97		108		108		86	
14:45	C1	114	201	96	178	107	202	97	179	94	174	63	139	43	94
15:00	C2	87		82		95		82		80		80		76	
15:00	C1	92	153	94	167	99	169	85	154	86	157	63	128	42	84
15:15	C2	61		73		70		69		71		71		65	
15:15	C1	111	203	105	204	110	207	103	196	106	204	70	149	41	95
15:30	C2	92		99		97		93		98		98		79	
15:30	C1	83	169	82	173	75	159	83	173	76	165	61	130	43	88
15:45	C2	86		91		84		90		89		89		69	
15:45	C1	81	156	73	144	70	134	89	170	93	184	70	139	40	91
16:00	C2	75		71		64		81		91		91		69	
16:00	C1	104	220	92	197	96	212	108	210	94	213	64	158	40	99
16:15	C2	116		105		116		102		119		119		94	
16:15	C1	106	218	112	214	105	199	123	229	98	211	77	167	45	108
16:30	C2	112		102		94		106		113		113		90	
16:30	C1	82	174	92	184	86	166	96	182	89	178	70	139	45	96
16:45	C2	92		92		80		86		89		89		69	
16:45	C1	109	212	100	207	112	203	115	216	118	229	78	166	50	108
17:00	C2	103		107		91		101		111		111		88	
17:00	C1	96	196	79	180	120	251	87	186	84	204	68	155	42	99
17:15	C2	100		101		131		99		120		120		87	
17:15	C1	94	207	95	198	95	198	90	194	102	194	72	147	41	94
17:30	C2	113		103		103		104		92		92		75	
17:30	C1	110	228	120	248	102	222	103	229	114	241	84	180	51	112
17:45	C2	118		128		120		126		127		127		96	
17:45	C1	114	261	111	253	96	245	109	255	105	253	84	192	54	126
18:00	C2	147		142		149		146		148		148		108	
18:00	C1	118	246	110	236	120	245	111	217	144	269	110	201	62	132
18:15	C2	128		126		125		106		125		125		91	
18:15	C1	113	252	119	253	134	257	137	250	141	254	104	204	60	139
18:30	C2	139		134		123		113		113		113		100	
18:30	C1	110	211	107	202	111	223	150	271	115	206	97	178	60	125
18:45	C2	101		95		112		121		91		91		81	
18:45	C1	122	227	123	238	132	227	133	240	98	177	83	157	47	105
19:00	C2	105		115		95		107		79		79		74	
19:00	C1	147	289	129	256	133	258	115	224	126	239	96	183	62	125
19:15	C2	142		127		125		109		113		113		87	
19:15	C1	128	252	125	248	123	245	139	253	131	246	85	170	47	107
19:30	C2	124		123		122		114		115		115		85	
19:30	C1	121	250	123	236	116	246	106	234	122	260	75	154	37	93
19:45	C2	129		113		130		128		138		138		79	
19:45	C1	113	231	116	244	125	240	112	236	111	255	68	144	35	80
20:00	C2	118		128		115		124		144		144		76	

### A.3 RESUMEN DEL AFORO DEL ACCESO 3 DE LA INTERSECCIÓN

PER.	CAR.	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
		Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.
7:00	C1	105	211	113	209	100	196	117	211	136	236	102	187	89	173
7:15	C2	106		96		96		94		100		85		84	
7:15	C1	122	226	115	214	130	222	119	218	111	209	92	175	94	163
7:30	C2	104		99		92		99		98		83		69	
7:30	C1	127	235	111	209	120	220	108	210	115	212	85	166	82	151
7:45	C2	108		98		100		102		97		81		69	
7:45	C1	138	248	112	206	126	224	108	207	124	220	78	159	74	142
8:00	C2	110		94		98		99		96		81		68	
8:00	C1	116	218	108	200	131	231	102	204	151	257	91	167	76	132
8:15	C2	102		92		100		102		106		76		56	
8:15	C1	114	220	105	199	125	228	97	199	119	213	88	160	71	129
8:30	C2	106		94		103		102		94		72		58	
8:30	C1	112	217	103	198	124	222	100	192	114	210	92	173	66	126
8:45	C2	105		95		98		92		96		81		60	
8:45	C1	114	216	102	194	103	203	103	191	103	203	86	166	71	123
9:00	C2	102		92		100		88		100		80		52	
9:00	C1	112	213	105	192	124	228	102	187	102	200	88	170	66	121
9:15	C2	101		87		104		85		98		82		55	
9:15	C1	111	211	101	191	88	174	98	185	100	195	85	157	72	124
9:30	C2	100		90		86		87		95		72		52	
9:30	C1	112	212	99	196	103	182	88	174	99	197	82	147	75	119
9:45	C2	100		97		79		86		98		65		44	
9:45	C1	109	204	105	192	102	188	92	167	102	193	71	141	72	117
10:00	C2	95		87		86		75		91		70		45	
10:00	C1	105	205	100	191	91	181	81	168	100	186	70	138	62	114
10:15	C2	100		91		90		87		86		68		52	
10:15	C1	103	198	94	185	91	163	89	166	103	179	68	131	66	122
10:30	C2	95		91		72		77		76		63		56	
10:30	C1	104	201	91	166	99	178	76	159	95	171	80	136	75	123
10:45	C2	97		75		79		83		76		56		48	
10:45	C1	102	195	79	161	85	175	88	162	84	164	74	135	70	125
11:00	C2	93		82		90		74		80		61		55	
11:00	C1	99	193	86	157	91	168	83	165	81	159	79	140	70	128
11:15	C2	94		71		77		82		78		61		58	
11:15	C1	100	191	86	155	94	166	110	192	85	148	76	136	66	120
11:30	C2	91		69		72		82		63		60		54	
11:30	C1	94	185	78	151	83	160	103	183	83	142	73	135	66	128
11:45	C2	91		73		77		80		59		62		62	
11:45	C1	91	181	84	158	86	159	98	180	80	145	72	146	77	132
12:00	C2	90		74		73		82		65		74		55	
12:00	C1	84	156	94	170	83	152	100	187	93	179	80	153	84	141
12:15	C2	72		76		69		87		86		73		57	
12:15	C1	106	185	92	179	93	168	99	195	101	190	86	158	79	150
12:30	C2	79		87		75		96		89		72		71	
12:30	C1	100	182	96	180	91	164	98	192	120	225	73	150	85	152
12:45	C2	82		84		73		94		105		77		67	
12:45	C1	95	172	99	175	87	175	103	186	94	180	58	121	82	154
13:00	C2	77		76		88		83		86		63		72	
13:00	C1	96	181	91	171	91	184	102	188	117	211	69	120	81	154
13:15	C2	85		80		93		86		94		51		73	
13:15	C1	99	190	90	174	97	182	87	176	109	204	71	128	77	141
13:30	C2	91		84		85		89		95		57		64	

PER.	CAR.	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
		Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.
13:30	C1	102		89		102		89		95		68		78	
13:45	C2	81	183	80	169	76	178	83	172	101	196	62	130	67	145
13:45	C1	94		88		86		85		104		64		73	
14:00	C2	86	180	74	162	87	173	79	164	79	183	68	132	63	136
14:00	C1	97		79		83		76		85		72		74	
14:15	C2	85	182	80	159	86	169	75	151	81	166	51	123	58	132
14:15	C1	102		75		83		104		87		65		68	
14:30	C2	76	178	77	152	78	161	89	193	88	175	56	121	58	126
14:30	C1	92		76		86		102		85		72		66	
14:45	C2	78	170	74	150	72	158	91	193	85	170	57	129	59	125
14:45	C1	86		78		88		97		84		75		70	
15:00	C2	81	167	79	157	72	160	82	179	84	168	65	140	52	122
15:00	C1	94		78		85		92		94		75		66	
15:15	C2	71	165	75	153	72	157	74	166	79	173	59	134	54	120
15:15	C1	93		86		83		89		85		72		71	
15:30	C2	70	163	72	158	79	162	73	162	81	166	58	130	53	124
15:30	C1	78		91		85		90		83		71		71	
15:45	C2	86	164	73	164	79	164	86	176	77	160	56	127	46	117
15:45	C1	83		98		91		94		82		76		67	
16:00	C2	77	160	79	177	78	169	77	171	73	155	56	132	53	120
16:00	C1	82		103		92		85		80		71		68	
16:15	C2	72	154	79	182	82	174	85	170	79	159	70	141	54	122
16:15	C1	85		102		88		93		82		73		65	
16:30	C2	70	155	83	185	89	177	75	168	68	150	72	145	54	119
16:30	C1	80		94		113		88		78		79		57	
16:45	C2	73	153	86	180	92	205	74	162	65	143	62	141	60	117
16:45	C1	86		89		79		77		86		78		64	
17:00	C2	72	158	89	178	88	167	80	157	72	158	70	148	53	117
17:00	C1	88		73		94		74		91		82		60	
17:15	C2	72	160	79	152	76	170	74	148	74	165	65	147	59	119
17:15	C1	85		93		92		75		97		78		65	
17:30	C2	86	171	92	185	86	178	79	154	79	176	71	149	53	118
17:30	C1	87		85		91		90		96		82		60	
17:45	C2	90	177	81	166	88	179	94	184	88	184	69	151	62	122
17:45	C1	103		87		95		106		94		79		71	
18:00	C2	79	182	88	175	81	176	86	192	98	192	74	153	52	123
18:00	C1	102		99		81		117		112		83		65	
18:15	C2	86	188	98	197	87	168	94	211	101	213	72	155	55	120
18:15	C1	98		91		87		109		91		91		68	
18:30	C2	96	194	100	191	85	172	95	204	96	187	71	162	53	121
18:30	C1	111		103		95		97		92		84		70	
18:45	C2	90	201	79	182	81	176	82	179	87	179	69	153	59	129
18:45	C1	104		98		95		85		103		79		74	
19:00	C2	79	183	85	183	79	174	90	175	79	182	79	158	58	132
19:00	C1	78		84		86		95		102		84		72	
19:15	C2	81	159	82	166	80	166	89	184	85	187	77	161	61	133
19:15	C1	82		87		86		74		85		80		68	
19:30	C2	68	150	70	157	68	154	68	142	70	155	67	147	59	127
19:30	C1	77		83		77		77		74		69		64	
19:45	C2	65	142	63	146	67	144	64	141	69	143	61	130	51	115
19:45	C1	78		69		67		70		72		68		55	
20:00	C2	59	137	65	134	67	134	63	133	62	134	53	121	53	108

**A.4 RESUMEN DEL AFORO DEL ACCESO 4 DE LA INTERSECCIÓN**

PER.	CAR.	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
		Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.
7:00	C1	85	129	70	114	70	118	61	116	66	121	46	89	40	74
7:15	C2	44		44		48		55		55		43		34	
7:15	C1	53	95	56	93	48	109	59	107	59	114	41	78	35	68
7:30	C2	42		37		61		48		55		37		33	
7:30	C1	62	117	58	115	57	105	60	99	63	110	38	71	29	55
7:45	C2	55		57		48		39		47		33		26	
7:45	C1	35	69	41	85	40	79	43	87	43	89	30	58	27	46
8:00	C2	34		44		39		44		46		28		19	
8:00	C1	45	83	42	81	47	89	42	82	37	77	23	41	28	47
8:15	C2	38		39		42		40		40		18		19	
8:15	C1	44	84	42	75	40	77	32	70	36	67	24	46	27	48
8:30	C2	40		33		37		38		31		22		21	
8:30	C1	41	79	43	78	42	77	46	75	44	80	28	53	29	50
8:45	C2	38		35		35		29		36		25		21	
8:45	C1	42	81	38	74	43	84	49	74	48	83	31	56	28	49
9:00	C2	39		36		41		25		35		25		21	
9:00	C1	45	73	32	64	44	75	30	62	45	78	32	60	29	52
9:15	C2	28		32		31		32		33		28		23	
9:15	C1	42	69	35	67	38	72	38	71	38	70	29	57	29	48
9:30	C2	27		32		34		33		32		28		19	
9:30	C1	33	65	31	63	35	63	35	60	33	67	36	57	31	50
9:45	C2	32		32		28		25		34		21		19	
9:45	C1	40	73	40	72	42	71	46	70	44	75	29	50	30	48
10:00	C2	33		32		29		24		31		21		18	
10:00	C1	35	72	35	64	36	70	31	64	39	74	35	58	28	44
10:15	C2	37		29		34		33		35		23		16	
10:15	C1	38	79	38	73	33	76	37	74	44	83	34	55	26	48
10:30	C2	41		35		43		37		39		21		22	
10:30	C1	39	71	36	66	43	73	36	67	40	74	28	49	29	52
10:45	C2	32		30		30		31		34		21		23	
10:45	C1	41	81	36	75	38	79	39	78	42	84	30	54	30	48
11:00	C2	40		39		41		39		42		24		18	
11:00	C1	43	87	47	86	47	86	50	95	43	91	29	55	30	53
11:15	C2	44		39		39		45		48		26		23	
11:15	C1	48	92	41	85	41	84	44	91	45	89	32	56	29	57
11:30	C2	44		44		43		47		44		24		28	
11:30	C1	37	77	36	68	36	69	31	70	38	70	33	60	32	62
11:45	C2	40		32		33		39		32		27		30	
11:45	C1	43	81	38	77	43	78	40	77	43	79	37	65	36	70
12:00	C2	38		39		35		37		36		28		34	
12:00	C1	44	71	35	70	36	71	31	69	39	71	39	75	35	64
12:15	C2	27		35		35		38		32		36		29	
12:15	C1	34	69	29	68	34	70	36	75	40	77	37	72	31	60
12:30	C2	35		39		36		39		37		35		29	
12:30	C1	64	119	54	93	50	95	43	84	47	86	38	71	36	63
12:45	C2	55		39		45		41		39		33		27	
12:45	C1	48	93	48	91	45	92	49	90	50	97	35	65	35	64
13:00	C2	45		43		47		41		47		30		29	
13:00	C1	52	88	44	83	50	86	47	83	46	85	35	66	38	68
13:15	C2	36		39		36		36		39		31		30	
13:15	C1	54	101	56	96	54	99	56	97	56	99	38	69	32	65
13:30	C2	47		40		45		41		43		31		33	

PER.	CAR.	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
		Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.	Veh. CAR.	Veh. ACC.
13:30	C1	52	93	46	87	50	91	50	89	49	90	36	58	36	61
13:45	C2	41		41		41		39		41		22		25	
13:45	C1	46	89	44	86	43	88	45	90	55	94	34	63	45	66
14:00	C2	43		42		45		45		39		29		21	
14:00	C1	51	103	55	94	54	102	49	96	56	104	34	56	36	67
14:15	C2	52		39		48		47		48		22		31	
14:15	C1	42	84	44	75	47	82	41	74	49	85	27	51	32	54
14:30	C2	42		31		35		33		36		24		22	
14:30	C1	42	81	39	69	50	80	40	71	50	83	28	49	30	57
14:45	C2	39		30		30		31		33		21		27	
14:45	C1	36	71	35	64	38	72	29	62	34	72	27	48	26	53
15:00	C2	35		29		34		33		38		21		27	
15:00	C1	45	80	38	69	42	79	37	69	40	78	30	52	30	56
15:15	C2	35		31		37		32		38		22		26	
15:15	C1	47	85	40	75	44	83	41	77	45	86	32	50	29	61
15:30	C2	38		35		39		36		41		18		32	
15:30	C1	49	85	47	84	48	85	47	82	49	90	23	48	27	60
15:45	C2	36		37		37		35		41		25		33	
15:45	C1	37	77	41	75	39	74	41	73	44	80	28	54	28	62
16:00	C2	40		34		35		32		36		26		34	
16:00	C1	38	85	43	84	41	84	45	82	45	89	34	60	38	69
16:15	C2	47		41		43		37		44		26		31	
16:15	C1	42	81	44	87	43	88	44	86	41	82	39	68	39	57
16:30	C2	39		43		45		42		41		29		18	
16:30	C1	47	84	40	80	43	82	40	82	41	85	42	66	34	64
16:45	C2	37		40		39		42		44		24		30	
16:45	C1	42	78	37	75	41	76	47	76	38	73	39	70	38	67
17:00	C2	36		38		35		29		35		31		29	
17:00	C1	51	85	48	80	45	84	44	82	43	86	31	70	34	68
17:15	C2	34		32		39		38		43		39		34	
17:15	C1	38	78	36	74	40	79	37	73	41	78	36	72	39	73
17:30	C2	40		38		39		36		37		36		34	
17:30	C1	46	75	40	70	44	74	38	69	42	74	43	71	36	64
17:45	C2	29		30		30		31		32		28		28	
17:45	C1	44	75	42	76	40	77	42	75	43	78	40	77	46	74
18:00	C2	31		34		37		33		35		37		28	
18:00	C1	43	82	38	74	41	80	42	81	42	79	43	78	36	65
18:15	C2	39		36		39		39		37		35		29	
18:15	C1	50	90	51	105	43	92	40	72	36	70	43	74	33	61
18:30	C2	40		54		49		32		34		31		28	
18:30	C1	42	80	41	83	43	82	42	83	43	84	33	68	34	60
18:45	C2	38		42		39		41		41		35		26	
18:45	C1	40	85	47	83	50	93	41	83	47	90	47	88	32	57
19:00	C2	45		36		43		42		43		41		25	
19:00	C1	36	71	39	78	41	89	46	92	42	88	31	70	29	62
19:15	C2	35		39		48		46		46		39		33	
19:15	C1	37	78	36	76	45	85	47	93	33	68	34	67	26	50
19:30	C2	41		40		40		46		35		33		24	
19:30	C1	43	85	41	79	44	82	49	85	47	88	29	51	28	47
19:45	C2	42		38		38		36		41		22		19	
19:45	C1	35	73	38	69	33	68	37	75	31	70	25	49	23	41
20:00	C2	38		31		35		38		39		24		18	

## B. RELACIÓN DE PELOTÓN

### B.1 Cálculo de la relación de pelotón para los Accesos de la INTERSECCIÓN

#### ACCESO 1

g =	57
C =	174

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban en Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	26	25	51	0.510	1.556
2	23	34	57	0.404	1.232
3	25	39	64	0.391	1.192
4	19	23	42	0.452	1.381
5	16	31	47	0.340	1.039
6	39	34	73	0.534	1.631
<i>Cálculos</i>					
Total	148	186	334	0.443	1.353
Promedio				0.438	1.339

Tipo de Arribo: 4  
 Calidad de la Progresión: Arribo Favorable  
 Rp por Defecto: 1.333  
 $P = RP(g/C)$ : 0.437

#### ACCESO 2

g =	45
C =	174

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban en Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	11	26	37	0.297	0.908
2	11	18	29	0.379	1.158
3	12	19	31	0.387	1.182
4	10	27	37	0.270	0.825
5	12	35	47	0.255	0.779
6	13	37	50	0.260	0.794
<i>Cálculos</i>					
Total	69	162	231	0.299	0.912
Promedio				0.308	0.941

Tipo de Arribo: 3 Calidad  
 de la Progresión: Arribos Aleatorios  
 Rp por Defecto: 1  
 $P = RP(g/C)$ : 0.259

**ACCESO 3**

g =	32
C =	174

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban en Ámbar y Rojo	Total, Vehículos	P	Rp
1	11	41	52	0.212	0.646
2	9	56	65	0.138	0.423
3	9	48	57	0.158	0.482
4	12	42	54	0.222	0.678
5	10	39	49	0.204	0.623
6	11	38	49	0.224	0.685
<i>Cálculos</i>					
Total	62	264	326	0.190	0.581
Promedio				0.193	0.590

Tipo de Arribo: \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_

 Calidad de la Progresión: Arribo Desfavorable Rp por Defecto: 0.667

\_\_\_\_\_ P =

Rp(g/C): \_\_\_\_\_ 0.123 \_\_\_\_\_

**ACCESO 4**

g =	20
C =	174

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban en Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	3	16	19	0.158	0.482
2	3	12	15	0.200	0.611
3	2	17	19	0.105	0.321
4	2	8	10	0.200	0.611
5	5	15	20	0.250	0.763
6	4	9	13	0.308	0.939
<i>Cálculos</i>					
Total	19	77	96	0.198	0.604
Promedio				0.203	0.621

Tipo de Arribo: \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_

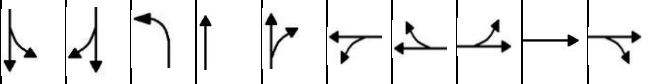
 Calidad de la Progresión: Arribo Desfavorable Rp por Defecto: 0.667

\_\_\_\_\_ P =

Rp(g/C): \_\_\_\_\_ 0.077 \_\_\_\_\_

### C. PLANTILLA HCM POSIBLE SOLUCIÓN INTERSECCIÓN

F.1 AJUSTE DE VOLUMEN										
Información General	N - S		S - N			E - O		O - E		
viernes, 07 de marzo de 2023 Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento 07:00 am - 08:00 am.										
<b>Ajuste de Volumen</b>										
Volumen Izquierda, $V_{lq}$ (veh/h)	550	0	268	0	0	186	0	54	0	0
Volumen Directo, $V_{dir}$ (veh/h)	125	580	0	287	169	197	189	110	131	120
Volumen Derecha, $V_{der}$ (veh/h)	0	1	0	0	93	0	278	0	0	14
Volumen, $V$ (veh/h)	675	581	268	287	262	383	467	164	131	134
Factor de Hora Pico, PHF	0.911	0.911	0.911	0.911	0.911	0.911	0.911	0.911	0.911	0.911
Tasa de Flujo Ajustado Izquierda, $v_p=V_{lq}/PHF$ (veh/h)	604	0	294	0	0	204	0	59	0	0
Tasa de Flujo Ajustado Directo, $v_p=V_{dir}/PHF$ (veh/h)	137	637	0	315	186	216	207	121	144	132
Tasa de Flujo Ajustado Derecha, $v_p=V_{der}/PHF$ (veh/h)	0	1	0	0	102	0	305	0	0	15
Tasa de Flujo Ajustado en el Grupo de Carriles, $v_p=V/PHF$	741	638	294	315	288	420	513	180	144	147
Proporción <sup>1</sup> de Giros LT o RT ( $P_{LT}$ o $P_{RT}$ )										
Proporción de Giros Izquierda ( $P_{LT}$ )	0.815	0.000	1.000	0.000	0.000	0.486	0.000	0.329	0.000	0.000
Proporción de Giros Derecha ( $P_{RT}$ )	0.000	0.002	0.000	0.000	0.355	0.000	0.595	0.000	0.000	0.104
F.2 AJUSTE DE LA OFERTA										
Información General	N - S		S - N			E - O		O - E		
viernes, 07 de marzo de 2023 Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento 07:00 am - 08:00 am.										
Flujo de Saturación Ideal, $s_0$ (veh/h/carril)	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975
Número de carriles, $N$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ancho de carril, $W$	3.87	3.87	3.4	3.4	3.4	4.30	4.30	3.15	3.15	3.15
Factor de ajuste por ancho de carril, $f_w$	1.030	1.030	0.978	0.978	0.978	1.078	1.078	0.950	0.950	0.950
Volumen de vehículos pesados, $HV$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcentaje de vehículos pesados, $\%HV = 100*HV/V$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Equivalente en vehículos livianos, $E_t = 2.0 pc/HV$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Factor de ajuste por vehículos pesados, $f_{HV}$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Pendiente en el grupo de carriles, $\%G$	1.04	1.04	-1.22	-1.22	-1.22	1.8	1.8	-1.70	-1.70	-1.70
Factor de ajuste por pendiente, $f_g$	0.995	0.995	1.006	1.006	1.006	0.991	0.991	1.009	1.009	1.009
Número de maniobras de estacionamiento por hora, $N_{m \leq 180}$	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Factor de ajuste por estacionamiento, $f_p \geq 0.050$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Número de buses que se detienen por hora, $N_B \leq 250$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factor de ajuste por bloqueo de buses, $f_{bb} \geq 0.050$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Tipo de área	CBD	CBD	CBD	CBD	CBD	CBD	CBD	CBD	CBD	CBD
Factor de ajuste por tipo de área, $f_a$	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
Tasa de flujo no ajustado para el grupo de carriles, $v_g$ (veh/h)	675	581	268	287	262	383	467	164	131	134
Tasa de flujo no ajustado para el carril con mayor volumen del grupo de carriles, $v_{g1}$ (veh/h)	675	581	268	287	262	383	467	164	131	134
Factor de ajuste por utilización de carril, $f_{LU}$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Factor de ajuste por giro a la izquierda, $f_{LT}$	0.961	1.000	0.952	1.000	1.000	0.976	1.000	0.984	1.000	1.000
Factor de ajuste por giro a la derecha, $f_{RT} \geq 0.050$	1.000	1.000	1.000	1.000	0.947	1.000	0.911	1.000	1.000	0.984
Factor de ajuste por peat/bic para giros a la izquierda, $f_{Lpb}$	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000	0.994	1.000	1.000	1.000	1.000
Factor de ajuste por peat/bic para giros a la derecha, $f_{Rpb}$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.996
Flujo de Saturación Ajustado, $s$ (veh/h) $(s = s_0 * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb})$	1744	1821	1665	1749	1655	1843	1729	1675	1703	1669
<b>Notas</b>										
1. Para carriles de giro exclusivo a la izquierda $P_{Li} = 1.000$ , y para carriles de giro exclusivo a la derecha $P_{Rt} = 1.000$ . Caso contrario, serán iguales a las proporciones de vehículos que giran en el grupo de carriles.										
Elaborado por: García Díaz, Edgar					Validado por: Mg. Ing. Eryln Giordani Salazar					
F.3 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD										
Información General	N - S		S - N			E - O		O - E		

viernes, 07 de marzo de 2023										
Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento 07:00 am - 08:00 am.										
										
<b>Análisis de Capacidad</b>										
Fase	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
Tipo de fase	Prot.	Prot.	Prot.	Prot.	Prot.	Prot.	Prot.	Prot.	Prot.	Prot.
Tasa de flujo ajustado, $V_p$ (veh/h)	741	638	294	315	288	420	513	180	144	147
Tasa de flujo de saturación, $s$ (veh/h)	1744	1821	1665	1749	1655	1843	1729	1675	1703	1669
Tiempo perdido, $t_L$ (s), $t_L = I_1 + Y - e$	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
Longitud de ciclo, $C$ (s)	198	198	198	198	198	198	198	198	198	198
Tiempo de verde efectivo, $g$ (s), $g = G + Y - t_L$	85.00	85.00	50.00	50.00	50.00	50.00	75.00	50.00	50.00	50.00
Proporción de verde, $g/C$	0.429	0.429	0.253	0.253	0.253	0.253	0.379	0.253	0.253	0.253
Capacidad del grupo de carriles, $c = s(g/C)$ , (veh/h)	749	782	421	442	418	465	655	423	430	421
Relación $v/c$ , $X$	0.989	0.816	0.700	0.713	0.688	0.904	0.783	0.426	0.334	0.349
Relación de flujo, $v/s$	0.425	0.350	0.177	0.180	0.174	0.228	0.296	0.107	0.084	0.088
Grupo de carriles / fase crítico ( $\checkmark$ )	$\checkmark$		$\checkmark$				$\checkmark$			
Sumatoria de relaciones de flujo para grupos de carriles críticos, $Y_c = \sum$ (grupos de carriles críticos, $v/s$ )	0.901									
Tiempo perdido total por ciclo, $L$ (s)	13.00									
Grado de saturación crítico, $X_c = (Y_c)(C)/(C - L)$	0.965									
Elaborado por: García Díaz, Edgar					Validado por: Mg. Ing. Eryln Giordani Salazar					
Humana					