



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Tecnológico Nacional De México Campus Nogales

**EVALUACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN
DE SEMÁFOROS INTELIGENTES EN LOS CRUCEROS
DE BOULEVARD LUIS DONALDO COLOSIO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN URBANISMO

PRESENTA
CAMPOS GARCÍA GEMA

DIRECTOR
M.V.I.I. ARQ. JAIME WENCESLAO PARRA MOROYOQUI

H. NOGALES, SONORA, MÉXICO

DICIEMBRE 2020



“2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria”

H. Nogales Sonora, 02/diciembre/2020
Oficio No. DEPI/163/2020.

REYNALDO GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PRESENTE.

Por este medio le comunicamos a Usted que el trabajo de Tesis denominado: “**EVALUACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SEMÁFOROS INTELIGENTES EN LOS CRUCEROS DE BOULEVARD LUIS DONALDO COLOSIO**”, que presentó la alumna **GEMA CAMPOS GARCIA**, con número de control 18341006, candidato a obtener el grado de **Maestro en Urbanismo**, ha sido revisado por los miembros del Comité Tutorial y cubiertas las observaciones realizadas, se Autoriza su Impresión y se Acepta para su Evaluación en la presentación del Examen de Grado.

Agradeciendo de antemano el apoyo brindado al presente, le reitero mi consideración distinguida.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

La Ciencia y la Tecnología para la Liberación del Hombre®

GABRIEL BONILLAS GARCÍA
REVISOR

REYNALDO GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ
REVISOR

PERFECTO BARRAGAN PEÑA
REVISOR





“2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria”

H. Nogales Sonora, 02/diciembre/2020
Oficio No. DEPI/164/2020.

GEMA CAMPOS GARCÍA
CANDIDATA A OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN URBANISMO
PRESENTE.

De acuerdo con el Reglamento de Titulación del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que el Comité Tutorial realizó, con respecto a su Tesis titulada: “EVALUACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SEMÁFOROS INTELIGENTES EN LOS CRUCEROS DE BOULEVARD LUIS DONALDO COLOSIO”, la División de Estudios de Posgrado e Investigación Autoriza su Impresión.

Agradeciendo de antemano el apoyo brindado al presente, le reitero mi consideración distinguida.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
La Ciencia y la Tecnología para la Liberación del Hombre®

REYNALDO GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

ccp. Archivo

RGG/cmmj



**EVALUACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN
DE SEMÁFOROS INTELIGENTES EN LOS CRUCEROS
DE BOULEVARD LUIS DONALDO COLOSIO**

ÍNDICE

Introducción.....	1
Planteamiento Del Problema.	3
Objetivos De La Investigación.	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.	6
Hipótesis	6
Justificación	7
Alcances Y Limitaciones	9
 Capitulo I. Marco Teórico	 10
1.1. Historia Del Semáforo Desde Sus Inicios En 1868	10
1.2. El Primer Semáforo Inteligente	12
1.3. ¿Cómo Funcionan Los Semáforos?	14
1.3.1. Diseño Del Semáforo Inteligente	15
1.3.2. Adecuación Del Sistema Electrónico De Tráfico	17
1.4. El Inicio Y La Transformación De Los Semáforos En La Ciudad De México	18
1.4.1. La Nueva Era.....	19
1.4.2. En El Siglo Xxi	20
1.5. Así Funcionan Los Semáforos Inteligentes Que Evitan Atascos	23
1.5.1. Así Funcionan Los Semáforos Inteligentes	23
1.5.2. Utah, Pionera En El Uso De Señales Inteligentes Con Tecnología Adaptativa.....	24
1.5.3. Las Ciudades Que Ya Prueban Señales Inteligentes.	26
1.5.4. Caso De Éxito De Movilidad Inteligente En México	26
1.5.5. Semáforos Inteligentes En El Corredor Av. Costera Miguel Alemán	26
1.6. Semáforos Inteligentes Reducen La Contaminación Y Agilizan El Tráfico	27
1.6.1. Reducción De Emisiones.....	28
1.6.2. Sistema Adaptable.....	29

1.6.3. Comunicación Desde El Vehículo	29
1.7. Tipos De Semáforos	30
1.7.1. Semáforos Para Vehículos	30
1.7.1.1. Semáforos No Accionados Por El Tránsito O De Tiempo Fijo ...	30
1.7.1.2. Semáforos Accionados Por El Tránsito	32
1.7.1.3. Semáforos Para Peatones	35
1.7.1.4. Semáforos En Zonas Con Alto Volumen Peatonal.....	35
1.8. Unidad De Control	39
1.8.1. Factores Que Determinan La Selección Del Tipo De Control.....	39
1.8.2. Controles Para Semáforos No Accionados Por El Tránsito	39
1.8.3. Control Sin Mecanismo De Sincronización Para Intersecciones Aisladas	40
1.8.4. Control Con Mecanismo De Sincronización Para Intersecciones Aisladas	41
1.8.5. Control Que Permite Coordinación Para Intersecciones Sucesivas .	41
1.8.6. Controles Para Semáforos Accionados Por El Tránsito	41
1.8.7. Control Parcialmente Accionado Por El Tránsito	42
1.8.8. Control Totalmente Accionado Por El Tránsito	43
1.8.9. Control Adaptable A La Densidad Del Tránsito	44
1.8.10. Otros Controles Coordinados	45
1.8.11. Ubicación De Controles	46
1.9. Controles Para Semáforos Peatonales	46
1.9.1. Controles En Zonas De Alto Volumen Peatonal	46
1.10. Coordinación De Semáforos	47
1.10.1. Sistema Coordinado Simultáneo	47
1.10.2. Sistema Coordinado Alternado	48
1.10.3. Sistema Coordinado Progresivo	49
1.10.4. Planes Fijos Y Planes Dinámicos Para Semáforos	50
1.10.5. Método Proporcional.....	51
1.11. Detectores	53
1.11.1. Para El Control Del Tránsito De Vehículos.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación De Detectores Para Equipo De Control Parcial Y Totalmente Accionado Por El Tránsito..... 54

Tabla 2. Ubicación De Detectores Para Controles De Densidad De Tránsito... 57

Tabla 3. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Calle Del Crepúsculo..... 77

Tabla 4. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección Con Calle John F. Kennedy..... 77

Tabla 5. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Entrada Del Instituto Tecnológico De Nogales..... 78

Tabla 6. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Avenida Hidalgo. 79

Tabla 7. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Blvd. Pueblitos. 79

Tabla 8. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Calle Bustamante. 80

Tabla 9. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Calle Ballardó. 80

Tabla 10. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Calle Industrial. 81

Tabla 11. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Prol. Obregón. 82

Tabla 12. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Andador 24. . 82

Tabla 13. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Gral. Francisco R. 83

Tabla 14. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Gregorio Ruíz. 83

Tabla 17. Aforos Vehiculares En Periférico Con Intersección En Gral. Lauro Villa. 83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El Primer Semáforo De La Historia Abría Sus Brazos Para Señalar Orden De Paso, Creación De John Peake Knight..... 10

Figura 2. El Semáforo Inteligente Funciona 24 Horas, Tanto De Día Como De Noche, Los Siete Días De La Semana..... 13

Figura 3. Sistema Compuesto Por Cuatro Cámaras Que Realiza El Conteo De Personas..... 13

Figura 4. Diseño Macro Solución. 16

Figura 5. Diagrama Del Sistema. 17

Figura 6. Esquema De Cruce Vigilado Con Traficam..... 18

Figura 7. Inscripciones En La Señal Luminosa En Semáforo Para Peatones... 37

Figura 8. Semáforo Peatonal Con Led Y Cronómetro..... 38

Figura 9. Ubicación Transversal De Los Detectores De Presión 57

Figura10. Carreteras Con Dos O Más Carriles Por Sentido De Circulación Y Vías Primarias, Donde Se Muestra La Raya De Alto (M-6)..... 58

Figura 11. Cruce De Peatones Y De Ciclistas, Donde Se Muestra La Raya De Alto (M-6). 58

Figura 12. Diagrama De Flujo Del Semáforo Inteligente..... 61

Figura 13. Algoritmo Genético..... 62

Figura 14. Principales Actividades De La Metodología 64

Figura 15. Formato De Aforos..... 67

Figura 16. Contador Manual 67

Figura 17. Mapa De Nogales, Señalando El Crucero Investigado, Boulevard Luis Donaldo Colosio..... 75

Figura 18. Mapa De Nogales, Con Los Nombres De Las Intersecciones De Boulevard Luis Donaldo Colosio 76

Figura 19. Mapa De Nogales, Con Los Nombres De Las Intersecciones Y Resultados Del Tráfico De Boulevard Luis Donaldo Colosio 84

Figura 20. Propuesta De Retorno Para Automóviles Que Vienen Del Tianguis Con Dirección Al Oeste. 105

Figura 20.1. Propuesta De Ampliación Del Camellón, En Carril Que Se Integra A Calle Principal Boulevard Luis Donaldo Colosio Y Reducción En Camellón Que Integra A La Calle Que Dirige Del Norte Al Sur..... 106

Figura 20.2. Propuesta De Calle Que Se Dirige Al Norte – Sur Y Norte – Oeste	107
Figura 21. Propuesta De Puente Peatonal Del Crepúsculo, El Cual Disminuye Los Accidentes Para El Viandante En El Cruce De La Parada De Autobús Al Tianguis	109
Figura 22. Propuesta De Puente Peatonal Andador 24, Beneficia Al Viandante Que Circula Por La Vía, Así Como A Los Trabajadores De Las Fábricas Cercanas. Cuenta Con Elevador.....	109
Figura 22.1. Propuesta De Puente Peatonal Andador 24, Piso Táctil Para Los Peatones Invidentes.....	110
Figura 23. Propuesta De Puente Peatonal John F. Kennedy.....	110
Figura 23.1. Propuesta De Puente Peatonal John F. Kennedy.....	111
Figura 24. Propuesta De Paso Peatonal Periférico – Blvd. Pueblitos	112
Figura 24.1. Propuesta De Paso Peatonal Periférico – Tecnológico.....	113

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

La presente tesis está dedicada a todas las personas que me apoyaron en lo personal y académicamente en mi desarrollo profesional para cumplir mis metas y objetivos como estudiante.

A mis padres y hermanas que gracias a ellos pude vivir esta hermosa y gran experiencia, a ellos que forjaron mi vida por el camino del bien apoyándome diariamente e incondicional, en sus esfuerzos por que lograra mi objetivo y me enseñaron que para conseguir tus metas debes trabajar duro y esforzarte al máximo. Gracias por siempre estar conmigo y apoyarme cuando más lo necesite, debo hacer mención de que sin ellos esto no hubiera sido posible.

A mis maestros por apoyarme e incitarme a superarme a mí misma, por todos los conocimientos que me ofrecieron y por todas esas veces que estuvieron ahí apoyándome para ser mejor estudiante y profesionista.

A mis amigos por ayudarme, por ofrecerme su apoyo cuando más lo necesite, por brindarme su amistad, cariño, confianza y solidaridad en esta lucha de superación.

Al M.V. el Arq. Jaime Wenceslao Parra Moroyoqui por haberme apoyado como director de tesis y como jefe por brindarme el tiempo que necesite para mis trabajos de posgrado.

Al **TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO (ITN)** por ofrecerme lo mejor que el posee para que tuviera grandes conocimientos, y de tal manera que yo pudiera ser un estudiante de calidad y así mismo un Maestra Urbanista competente en el futuro.

Por último y lo más importante agradezco a Dios por guiarme por el camino del bien, por darme la capacidad de adquirir conocimientos, por darme la fuerza

y valor para no rendirme y ofrecer lo mejor de mí, por siempre guiar mis pasos y nunca abandonarme.

RESUMEN

Este estudio se realizó con la finalidad de fundamentar una propuesta para implementar un sistema de semáforos inteligentes en una de las avenidas principales de Nogales, Sonora, el Boulevard Luis Donaldo Colosio.

En base a la investigación de campo, se habla de cómo la ciudad de Nogales cuenta con un sistema muy obsoleto en semáforos y se tiene un crecimiento desordenado por la falta de atención al mejoramiento urbano por las autoridades responsables, esto aunado en los últimos años al incremento del tránsito vehicular; ocasiona muchas veces que haya congestión a cualquier hora del día, sin ser hora pico.

Por consiguiente, realizar un estudio de campo con aforos vehiculares y peatonales, para la verificación del volumen automovilístico y comprobar que la instalación de estos semáforos inteligentes en el Boulevard, pueden ser la solución al mencionado problema de embotellamiento ocasionado por el transporte privado mayormente.

Se muestran resultados de encuestas realizadas, para saber qué opina la gente respecto a los semáforos con los que se cuenta y el tiempo de espera que se tienen tanto para los automovilistas como para el peatón. De la misma manera, se exponen los resultados de los aforos llevados a cabo en el lugar de estudio, mostrando cuáles cruces son más congestionados.

Los resultados de los aforos muestran un alto nivel de tránsito vehicular en los cruces Periférico - Del Crepúsculo, John F. Kennedy, Bustamante, Industrial, Gral. Lauro Villa, Gral. Francisco R. y Gregorio Ruiz, en los sentidos Norte-Sur y Sur-Norte; Periférico – Entrada I.T.N, sentido Norte-Sur; Periférico – Ballard, en el sentido Sur-Norte; también cuenta con una amplia afluencia de cruce peatonal las intersecciones, Periférico – John F. Kennedy, Andador 24 y Del Crepúsculo.

ABSTRACT

This study was carried out in order to base a propose on which establishes that an intelligent traffic light system can be implemented in one of the main avenues of Nogales, Sonora, Boulevard Luis Donaldo Colosio.

Based on field research, it is discussed how the city of Nogales has a very obsolete traffic light system and has a sprawl due to the lack of attention to urban improvement by the responsible authorities, this coupled in recent years with the increase in vehicular traffic; It often causes congestion at any time of the day, regardless rush hours.

Therefore, to carry out a field study with vehicular and pedestrian traffic numbers that verifies the flow of traffic and proves that the installation of intelligent traffic lights on the Boulevard can be the solution to the afore mentioned problem of traffic jams caused by private transport, mainly.

Results of surveys carried out are shown to find out what people think about the traffic lights that are available and the waiting time that they have for both motorists and pedestrians. Likewise, the results of the gauging carried out in the site of study are exposed, showing the most congested junctions.

The results of the gauging show a high level of vehicular traffic on the Periferico - Crepusculo, John F. Kennedy, Bustamante, Industrial, Gral. Lauro Villa, Gral. Francisco R. and Gregorio Ruiz cruises, in the North-South directions and South North; Peripheral - I.T.N Entrance, North-South direction; Periferico - Ballardo, in the South-North direction; It also has a large influx of pedestrian crossing Intercessions, Periferico - John F. Kennedy, Andador 24 and Crepusculo.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de semáforos inteligentes, que se puede definir como un sistema que ayude a mejorar la gestión del tráfico de autos y personas, con la modernidad de que, con la ayuda de un sistema programado, se convierten en dinámicos al detectar la cantidad de vehículos y distancias entre ellos y se alargan las fases de luz verde.

La principal característica por la cual se escogió este tema, es la falta de circulación de los vehículos en las horas pico ante el desacierto que se tiene en la ciudad con semáforos antiguos y la ausencia de este tipo de equipamiento con nueva tecnología para el control, fluidez y seguridad del automovilista y del peatón.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Una de ellas es que se tienen semáforos obsoletos, que no se sincronizan; y dado a eso en donde sin ser hora pico, se puede presentar un tránsito pesado causando largos periodos de espera al estar atorado en el embotellamiento de los automóviles.

La investigación de esta problemática social urbana se realiza por el interés de dar a conocer, que, con la implementación de semáforos inteligentes se puede tener solución al problema del tráfico vehicular en la ciudad, en vialidades con mayor afluencia.

Con la implementación de semáforos inteligentes en Nogales, Sonora se puede dar solución a problemas de movilidad vehicular, peatonal y habrá disminución de la contaminación; ya que, contribuye a una fluidez óptima del tráfico, en cualquier horario del día. Por ejemplo: En Acapulco, se hizo el remplazo de todos los semáforos de la Avenida Costera Miguel Alemán, el cual su instalación generó una reducción del tiempo de recorrido del 26% (sentido

poniente-orientado) y del 10% en sentido orientado poniente por la mañana. Mientras por la tarde la reducción fue del 16% y el 46% (ITDP, 2016).

Así como también el estado de Utah, al oeste de los EEUU, ha implementado este sistema, el cual estima una reducción de las congestiones de tráfico de hasta el 40 por ciento, así como una reducción de los accidentes mortales por choques en intersecciones de vías de hasta el 50 por ciento (Pérez, 2015).

Para la investigación se utilizan distintos métodos de investigación los cuales de cierta manera se complementan para obtener los mejores resultados de información, para el estudio en el cual se indaga por medio de aforos vehiculares y peatonales. Los métodos son:

- Cuantitativo el cual ayuda al análisis del lugar en investigación ya que se enfoca en la distinción de la realidad objetiva a partir de mediciones numéricas.
- Explicativa, método encargado de buscar el porqué de los hechos mediante la investigación para determinar las causas y consecuencias que provocan las afluencias vehiculares.
- Investigación descriptiva que sirve para conocer el comportamiento del suceso indagado.
- Investigación de campo, este método será el primordial de esta recopilación de datos, por el hecho de que se realiza la exploración y búsqueda de datos en el lugar del acontecimiento.

Dentro del análisis se lleva a cabo la generación de encuestas para saber qué tan fundamental les parece a las personas la instalación de estos nuevos sistemas de semáforos.

EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El crecimiento desordenado y la falta de atención al mejoramiento urbano por las autoridades responsables en la ciudad, ha llevado en los últimos años al incremento de tránsito vehicular; el aumento incontrolado de carros ilegales se ha elevado, debido a la cercanía del país vecino Estados Unidos y a su vez a los bajos costos de adquisición de este tipo de vehículos; lo cual para la mayoría de los Nogalenses resulta cómodo.

La ciudad de Nogales actualmente no cuenta con suficiente infraestructura vial para manejar este volumen vehicular; del cual se estima se tiene 86,430 vehículos registrados ante el gobierno; 20,000 vehículos aproximadamente en proceso de regularización y alrededor de 12,000 vehículos con placas que no están registradas, Rivera (2020), lo que hace necesario el uso de métodos que permitan acelerar al máximo la fluidez de circulación, especialmente en avenidas principales, ya que, existen muchas situaciones que provocan la desesperación entre los conductores, pero encontrarse con una serie de semáforos en rojo, es una de las más temidas junto con la problemática ocasionada por el tráfico automovilístico en horas pico, lo cual llega a ser muy irritante, sobre todo cuando el automovilista se tiene que detener y no hay ningún otro vehículo o persona por la zona.

En la ciudad se tienen semáforos obsoletos, que se cuenta con ellos desde hace más de 40 años, los cuales son de control SEMEX, con modelos como C-5 que es un control de 5 fases, pero que sólo se hace una programación de 3 con tiempo fijo; siendo de la siguiente manera: mañana, tarde y noche con un ciclo cada una, este modelo posee un reloj mecánico que tiene temporizador el cual se utiliza para dar tiempo a las luces del semáforo y es un modelo del cual ya no se realizan refacciones; el modelo C-26 cuenta con 6 fases de tiempos y de este ejemplar si se siguen fabricando refacciones a diferencia del anterior, a este se pudiera instalar un lazo detección (Sensores en el pavimento) para que el

semáforo programe los tiempos de luces dependiendo como se comporte el tráfico; cuenta con un protocolo de comunicación cerrado, es decir que sólo el proveedor puede comunicarlos y no cuenta con la capacidad de programación de fases que se necesitan en la ciudad por el congestionamiento que se vive a diario; este modelo no cuenta con reloj mecánico, ni temporizador, sino que se opera por un circuito programable, para dar los tiempos de luces en los semáforos; los modelos C-200, C-208, C-210, cuentan con más selecciones o fases, y tienen cámaras que pueden detectar el flujo vehicular, pero no tienen la capacidad de generar aforos; al igual que el control C-26 son de protocolo cerrado. Los últimos semáforos instalados en avenidas principales son: Periférico – Pueblitos; Periférico-Tecnológico; Jesús García - calle de los portales y Blvd. 2000- con intersección en Sn. Juan norte (San Carlos). (Rivera, 2021). Por lo anterior, se puede presentar un tránsito pesado, sin ser hora pico, ya que los tiempos que suelen tener los semáforos no son ya los correctos.

Las calles más afectadas por el congestionamiento vehicular, son las principales, por lo cual se propone trabajar en Boulevard Luis Donaldo Colosio, para efectos de esta investigación; y cabe mencionar que no se cuenta con semáforos peatonales, por lo tanto el peatón no puede cruzar con la confianza de no ser arrollado por un automóvil.

La ubicación y falta de semáforos en las avenidas de Nogales, es también problema de congestionamiento en la ciudad.

Los largos tiempos de espera en horas pico, automovilistas deteniéndose en lugares no permitidos, los autobuses subiendo pasajeros en cualquier espacio de la ciudad, la falta de cultura vial, no fijarse al cruzar la calle y la situación actual de los semáforos es de los principales problemas que provocan los accidentes automovilísticos, esto es desfavorable para que el flujo vial se distribuya de manera eficiente.

El transporte público sufre una sobrecarga de pasajeros al tener retrasos por los tiempos de espera que provocan en las horas pico los semáforos y aquí

salen perjudicados tanto la gente que utiliza el transporte, como el chofer del autobús, ya que a ellos se les sanciona por no estar en tiempo en las paradas correspondientes. Los usuarios del autobús suelen tener ya los horarios en los cuales el transporte pasa y que se retrase por cuestiones de congestionamiento por los malos tiempos de semáforo provoca el estrés, de no poder estar en tiempo y forma en el destino.

Los automóviles al tener que acelerar en cada semáforo producen CO_2 (dióxido de carbono), el cual es un contaminante de la atmósfera cuya presencia perturba y desordena el balance del medio ambiente (Liñán, 2015).

La ciudad de Nogales, Sonora no cuenta con un sistema de semáforos inteligentes que otorguen tiempos variables dependiendo de la alta concentración de automóviles y que ayuden a hacer eficiente la circulación del tráfico vehicular, ya que actualmente genera caos. Incluso en ocasiones, los agentes de tránsito hacen la labor del semáforo para intentar desahogar el tráfico, lo cual muchas veces resulta contraproducente, ya que los transitarios no tienen una visión amplia de hasta dónde llega el tráfico, como lo puede lograr una cámara de semáforo inteligente, al ser programada y estar realizando sus constantes cambios en los algoritmos para dar los mejores tiempos en luces.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

- ¿Podrán los semáforos inteligentes, ser una alternativa de solución al problema de congestionamiento vehicular en Nogales, Sonora?

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

OBJETIVO GENERAL.

- Diagnostico para implementar un sistema eficiente para el control de tráfico vehicular por medio del semáforo inteligente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Investigar el funcionamiento actual de los semáforos de Boulevard Luis Donaldo Colosio (Periférico).
- Evaluar la funcionalidad y rendimiento del sistema.
- Obtener resultados característicos que contribuyan a resolver el problema de congestión en Nogales, Sonora.
- Implementar propuestas complementarias para mejorar tráfico vehicular y peatonal.

HIPÓTESIS

La implementación de semáforos inteligentes en Nogales, Sonora puede solucionar problemas de movilidad vehicular, peatonal y contribuir a la disminución de la contaminación; ya que contribuye a una fluidez óptima del tráfico, en cualquier horario del día.

JUSTIFICACIÓN

El tráfico es un problema diario en la ciudad de Nogales, Sonora; mismo que puede ser solucionado si se tiene voluntad para hacerlo, con nuevos sistemas para el control vehicular, teniendo en cuenta una distribución más eficiente en el flujo vehicular; es por ello la importancia de esta investigación, ya que tener semáforos inteligentes ayudará a la mejora de la circulación de vehículos públicos y privados en las calles, por sus capacidades tecnológicas entre otras a base de cámaras, detectarán los automóviles dando prioridad de paso donde haya mayor número de éstos y así reducir el tráfico en las avenidas principales y disminuir la tensión y estrés que provocan a los conductores las congestiones y los tiempos de viaje; así como la sobrecarga en el transporte público, manteniendo tiempos óptimos y predecibles de llegadas de autobuses urbanos, mismos que podrían programarse electrónicamente en tableros digitales instalados en las paradas de los mismos; los accidentes viales ya no serían un problema por los semáforos; incluso representaría un gasto menor del conductor en el consumo de combustible y por lo tanto los niveles de contaminación por CO₂ serían menores.

Del mismo modo se resalta que las calles de la ciudad actualmente están limitadas en expansión de más carriles, para que esa fuese una solución al congestionamiento vial, esto dado a que ya están a su límite y la única manera sería comprar los locales o casas que se encuentran en los alrededores, pero sería muy costoso y no siendo esta la solución al tráfico inmoderado en Nogales por el crecimiento vehicular en la ciudad que causa grandes embotellamientos; en efecto se debe buscar otra alternativa para dar solución a mencionado problema.

Por todo lo anterior y siendo Nogales una ciudad fronteriza, lugar que da entrada a México se puede contribuir a que los extranjeros puedan ver la ciudad como un lugar turístico donde se transite con facilidad y seguridad, al mismo tiempo es algo fructífero para el turismo y la economía de la localidad.

En efecto, poder dar movilidad óptima al vasto parque vehicular, ya sea legal o ilegal, y disminuir la contaminación ambiental sobre todo en horas pico, será un avance para esta metrópoli la instalación de dichos semáforos inteligentes.

ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES.

Algunos de los alcances atractivos para esta investigación de un sistema de semáforos inteligentes, se presentan a continuación:

- Para el automovilista
 - Solución tecnológica a la problemática del congestionamiento vial.
 - Un nuevo diseño óptimo para el tránsito vial.
 - Reducción de accidentes.
- Para el peatón
 - Se le toma en cuenta en el cruce peatonal con señales iluminadas, minimizando el riesgo de accidente.
 - Calles principales seguras para los niños.
- Infraestructura Incluyente
 - Se contempla la movilidad de personas con capacidades diferentes.

LIMITACIONES.

- La falta de interés en las autoridades encargadas del sistema de tránsito vial.
- Sería un ejercicio virtual la instalación de semáforos inteligentes, ya que se requiere de una inversión considerable que hasta la actualidad no se ha realizado.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 HISTORIA DEL SEMÁFORO DESDE SUS INICIOS EN 1868

Hace 150 años, en diciembre de 1868 se instaló en Londres el primer semáforo del mundo en el exterior del parlamento británico de Westminster.

Utilizando como referencia las señales de ferrocarril, el ingeniero ferroviario John Peake Knight diseñó el primer semáforo utilizado para controlar el tráfico. Su diseño consistía en dos brazos verticales con dos lámparas de gas. De día, cuando el brazo estaba en posición vertical indicaba “seguir” y cuando estaba en posición horizontal indicaba “parar” y de noche se utilizaban las lámparas de gas con los colores verde para “seguir” y rojo para “parar”, accionadas de forma manual por un policía. Unos meses después de su instalación, una explosión accidental hirió gravemente al policía encargado de su funcionamiento y el semáforo fue retirado.

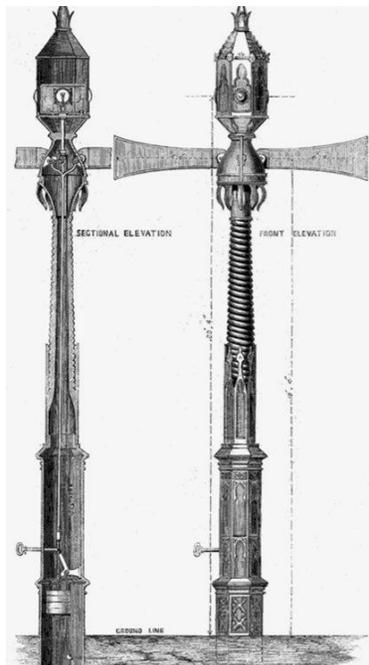


FIGURA 1. El primer semáforo de la historia abría sus brazos para señalar orden de paso, creación de John Peake Knight.

El aumento de la necesidad de controlar el tráfico debido al incremento del uso de varios tipos de vehículos y la consiguiente congestión en la circulación propició que la idea del semáforo fuera recuperada a principios del siglo XX. La evolución en la instalación de las primeras farolas eléctricas permitió adaptar la invención de J.P. Knight hacia un diseño eléctrico, más seguro. Así, el primer semáforo eléctrico del mundo se instaló en Cleveland, Estados Unidos, en 1914. El primero de Europa se instaló en Berlín, Alemania, sólo 10 años después.

En 1926, la empresa SICE (vinculada por entonces a General Electric, propietaria de la patente de los semáforos), instala por primera vez en España una “farola de señales luminosas para regular la circulación de peatones y vehículos” que ahora llamamos “semáforo”. Ese primer semáforo fue instalado en Madrid, en el cruce de la calle Alcalá con Conde de Peñalver (actual Gran Vía). En aquella época éste era uno de los cruces más complicados de la ciudad, no es casualidad que allí se encontraran los principales concesionarios: Citroën, Fiat, Renault y Chrysler-Seida. Para entonces, el color ámbar ya se había incorporado al diseño del semáforo, advirtiendo al conductor del próximo cambio de color.

Ante el desconocimiento generalizado de los ciudadanos respecto al significado de los colores de los semáforos, se utilizaron los periódicos para comunicar insistentemente el Reglamento de Tráfico y enseñar a los conductores y peatones cuándo y cómo debían cruzar.

Con el tiempo y la llegada de nuevas tecnologías, el semáforo ha ido evolucionando a lo que ahora conocemos como “semáforo inteligente”. Por supuesto, hoy en día la gestión del tráfico se realiza desde un centro de control con un software especializado compuesto de complejos algoritmos, capaz de regular el flujo de vehículos. Pero la centralización no le ha restado relevancia a la propia señal. De hecho, SICE ha realizado ya los primeros ensayos en calle, otorgándole la capacidad de comunicarse con vehículos, vía 5G y de forma inteligente, alertándoles de la presencia de peatones en el cruce o del estado del propio semáforo en el caso de giros ciegos.

Ciento cincuenta años después, el semáforo sigue regulando el tráfico de todo el mundo y su uso es universalmente conocido, asegurando que la circulación sea más fluida, cómoda y segura, tanto para conductores como para peatones, SICE (2019).

1.2 EL PRIMER SEMÁFORO INTELIGENTE

El primer semáforo inteligente se encuentra en Boecillo, un municipio de España, en la provincia de Valladolid; un proyecto pionero desarrollado por el Ayuntamiento de Valladolid en colaboración con la empresa Telvent y el centro tecnológico Cidaut ha instalado el primer sistema inteligente para regular el semáforo de un paso de peatones en el centro de la ciudad y optimizar el tránsito peatonal.

El semáforo ha supuesto una inversión de unos 13.000 € y se ha ensayado durante el último mes y medio con buen resultado. En un paso de peatones por el que circulan 20.000 personas al día, el sistema inteligente ha reducido en un 23% las aglomeraciones de espera para cruzar y varía el tiempo verde peatonal dependiendo de las circunstancias dentro de un intervalo que va desde los 26 a los 48 segundos.

El sistema funciona con el uso de varios equipos instalados en cuatro farolas adyacentes. Posee cuatro cámaras de detección y conteo de peatones, que es capaz de diferenciar a las personas que están esperando de las que circulan por el área de espera. Dos focos LED que entran en funcionamiento exclusivamente cuando existen peatones en horario nocturno para mejorar su visibilidad. Todo esto conectado con un módulo de control y comunicación que es el encargado de gestionar la información y modificar los cambios del semáforo según sea necesario.

El proyecto podría extenderse por otras partes de la ciudad y mejorar aún más la optimización, sabiendo la dirección y velocidad de la circulación de los peatones se podrían llegar a sincronizar los semáforos para llegar al próximo en

verde, aunque esta parte es aún un proyecto de futuro (Ciencia Y Cemento, 2014).



FIGURA 2. El semáforo inteligente funciona 24 horas, tanto de día como de noche, los siete días de la semana (Fernández, 2015).



FIGURA 3. Sistema compuesto por cuatro cámaras que realiza el conteo de personas (Fernández, 2015).

1.3 ¿CÓMO FUNCIONAN LOS SEMÁFOROS?

Los semáforos de una ciudad se manejan desde una central donde hay un computador con un programa especial que los hace funcionar. Allí hay personas que monitorean constantemente, por medio de cámaras, la efectividad de los semáforos en las vías.

Este funcionamiento depende del tipo de semáforos. Los más antiguos se programan para que cada color tenga un tiempo constante durante todo el día, sin importar la cantidad de carros que transitan a determinada hora.

Los más modernos, llamados semáforos inteligentes, determinan la duración de cada luz de acuerdo al flujo vehicular. Este puede ser detectado gracias a unos sensores ubicados en el pavimento por donde transitan los carros. Así, en una calle por la que circulan muchos vehículos a cierta hora del día, el semáforo va a darle un tiempo más largo a la luz verde para que no se acumule el tráfico.

En general, la programación de los semáforos es sencilla. En el caso de los más antiguos, se le asigna al programa unos tiempos fijos para cada luz y en el caso de los semáforos modernos, se diseña un programa que obedece a los sensores de flujo vehicular los cuales deciden cuánto tiempo durará cada luz.

La ubicación y programación de los semáforos se realiza teniendo en cuenta la importancia de las vías y los volúmenes de vehículos que se mueven por ellas. De acuerdo a esto, los tiempos de los semáforos de una intersección, es decir, donde se cruzan dos vías, pueden ir cambiando.

Actualmente, los semáforos son una solución de movilidad ante el creciente flujo vehicular. Los expertos analizan constantemente las vías, las intersecciones y el número de carros que transitan por allí, con el fin de determinar la duración de cada luz, para permitir que tanto vehículos como peatones se puedan desplazar de una forma segura y fácil (Escobar, 2016).

1.3.1. DISEÑO DEL SEMÁFORO INTELIGENTE

Control por tiempos fijos. Bajo la operación de un tiempo fijo, el centro de control semafórico envía órdenes con tiempos de ciclo predeterminados. Este control está basado en datos históricos y son apropiados para áreas donde la demanda es predecible;

Actuado: el controlador opera basado en las demandas de tráfico vehicular o peatonal que registran los detectores, variando los tiempos de verde mínimos y máximos dependiendo del flujo vehicular, sin necesidad de estar conectado con la central semafórica;

Responsivo: Similar al actuado, pero en este caso el controlador registra los vehículos, los cuenta y le envía esta información a la central semafórica, quien selecciona unos planes de señales predeterminados y le indica al controlador cuál utilizar;

Adaptativo: Tiene en cuenta los volúmenes instantáneos del tránsito, la densidad y el tiempo de espera consumido en cada sentido de circulación, pero en lugar de seleccionar un plan predeterminado, el sistema lo crea a través de la central semafórica. Los sistemas adaptativos más utilizados a nivel mundial son: scoot, scats, sitraffic, itaca, adimot y opac.

Los sistemas de control de tráfico pueden incluir opciones complementarias que optimicen su operación, tales como: estaciones de conteos vehiculares, estaciones de mediciones de condiciones ambientales, supervisión mediante cámaras de video (Circuito cerrado de televisión - cctv), señalización variable (información a conductores y peatones). En general, apoyan la gestión de tráfico, ya que permite a los operadores del sistema disponer de información actualizada de la situación de la red, entregar indicaciones de las condiciones del tránsito a los usuarios y adoptar acciones ante eventos no programables. Como se observa, los ITS incorporan muchas tecnologías para predecir y evitar problemas como la congestión de tránsito, el mejoramiento de la seguridad vial, la información al viajero y protección medio-ambiental (D. A. Luz-Luz y J. E. Mendigaña-Figueroa, 2013).

En tanto que la figura 5, indica el diagrama de las etapas a implementar.

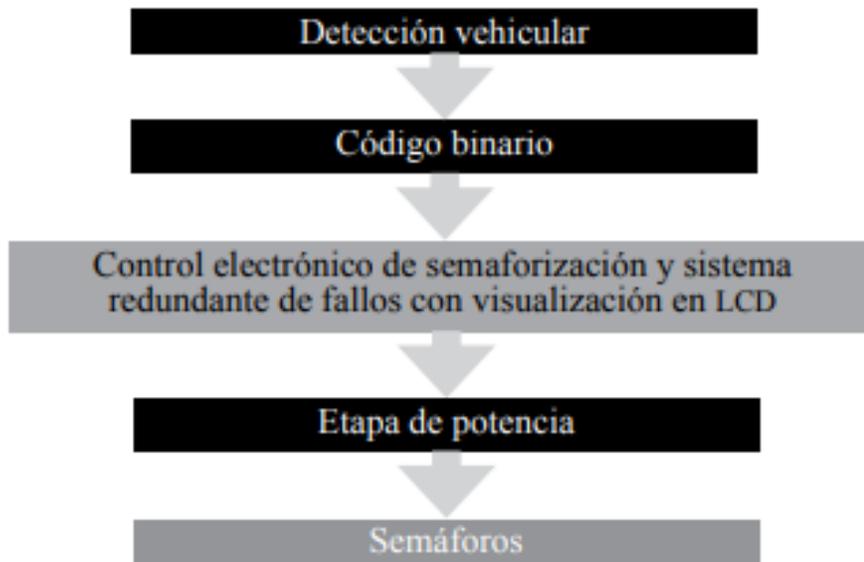


FIGURA 5. Diagrama del sistema

1.3.2. ADECUACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE TRÁFICO

El sistema electrónico lo constituyen las siguientes partes:

a. Detección: constituido por dos cámaras TrafiCam, las cuales son cámaras y detectores cmos en un sensor compacto. Este pequeño sensor controla la presencia de vehículos que se acercan o que esperan en un cruce, mediante el uso de bucles virtuales con inspección de video como se observa en la figura 6. Además, puede detectar vehículos día y noche, se puede configurar hasta en ocho zonas, realizar un conteo de vehículos, detectar un contraflujo vehicular y se adapta a cualquier tipo de superficie. Si no fuera posible la detección exacta, TrafiCam® pasa a un estado de “anular”. Cuenta con cuatro salidas ópticamente aisladas, con un consumo de corriente absorbida máxima de 30 mA (Un miliamperio, es una fracción decimal del amperio, la unidad de corriente eléctrica del SI). Otra característica por cumplir corresponde con la norma de compatibilidad electromagnética, teniendo presente el ambiente industrial en que se desempeñarán, regulada por la norma genérica de inmunidad

de compatibilidad-parte 2: Entorno industrial. 50082-2, al igual que la 55022 para “Equipos de tecnología de información-Características de alteraciones de radio-límites y métodos de medición”.

b. Interfaz: cuyas funciones básicas son:

- Conexión de las salidas de la zona de TrafiCam®.
- Proveer de energía a la TrafiCam®.

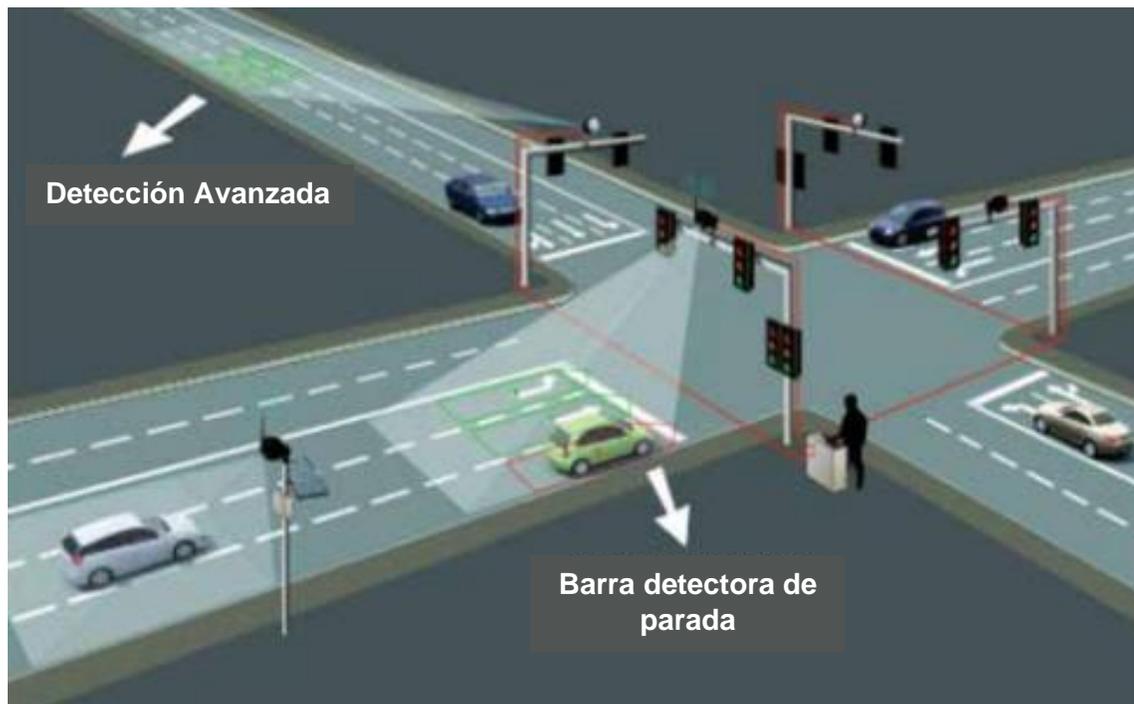


FIGURA 6. Esquema de cruce vigilado con TrafiCam

1.4 EL INICIO Y LA TRANSFORMACIÓN DE LOS SEMÁFOROS EN LA CIUDAD DE MÉXICO.

En el marco de la instalación de semáforos inteligentes en las principales vialidades de la capital, El Universal, (2016) se adentró a describir las transformaciones que han tenido los señalamientos que, entre otras cosas, contribuyen al ajetreto estilo de vida de la ciudad desde su llegada en 1930.

En los años veinte, el flujo de los vehículos en la capital empezó a ser controlado por el recién creado cuerpo de agentes de tránsito que, haciendo uso de sus brazos o de letreros en los que se leían “adelante” o “alto”, indicaban lo que tenían que hacer los conductores.

A medida que fue incrementando el número de carros, se tuvieron que implementar medidas para agilizar el tránsito y, al mismo tiempo, evitar accidentes. Así fue como aparecieron, en 1930, los primeros semáforos en la ciudad.

Se instalaron en los cruces más importantes del centro, siendo el inaugural el colocado en la esquina de la Avenida Juárez y San Juan de Letrán. Dichos semáforos eran manuales y tenían a un agente para alternar el “alto” y el “siga”; pero en 1932 fueron remplazados por los eléctricos, que cambiaban automáticamente del rojo al amarillo, del amarillo al verde y viceversa.

La primera red no estaba comunicada entre sí, por lo que los agentes de tránsito seguían vigilando, como en la actualidad, que el paso de los automóviles fuera fluido. La instalación de semáforos en otras zonas de la capital fue paulatina, por lo que el movimiento aún era guiado por dichos agentes. El Universal, (2016).

1.4.1 LA NUEVA ERA

Una gran renovación para el sistema de semáforos de la ciudad se dio en la década de los setenta, cuando se aprobó su modernización y por primera vez se consideró la instalación de semáforos peatonales. Esto como resultado de un estudio exhaustivo que realizaron las autoridades capitalinas, en el que se indicó cuáles eran las avenidas y horarios con mayor congestión vial, las principales causas de los accidentes en las calles, los cruces y arterias más conflictivas o peligrosas, entre otras.

Con base en ello, el entonces Departamento del Distrito Federal pudo elaborar un mapeo general de donde se requerían más policías y en qué sitios colocarían los primeros semáforos controlados por computadoras:

“Se aprobó la modernización el sistema de semáforos mediante la introducción de elementos electrónicos que permitan que la programación de estos dispositivos de control varíe de acuerdo con las fluctuaciones de los volúmenes. Hasta 1972 la Ciudad de México carecería de semáforos accionados por el tránsito. En septiembre de 1973 se ha terminado un Estudio de Semáforos Controlados por Computadoras y se ha instalado un sistema piloto con la primera computadora controlando 64 cruces. Además, se han instalado semáforos accionados por el tránsito en otras intersecciones aisladas”, se lee en los reportes del Departamento del Distrito Federal (DDF).

Este avance significó que desde una sala de control se decidiera qué tanto tiempo tardaría en cambiar del rojo al verde según el tráfico de la vialidad, además de que todos los semáforos de una zona podían estar regulados por una misma fuente. Al mismo tiempo ayudó DDF a determinar qué obras públicas eran absolutamente necesarias para un mejor rendimiento en cuanto a tiempo y calidad de traslado.

A su vez, el estudio arrojó que hacían falta estacionamientos, que era indispensable empezar a elaborar mapas indicando la circulación de las calles y con señalamientos para las rutas exclusivas del transporte público, favoreció a los planes de ampliación del metro en 1972 ya que facilitó la información sobre a donde se dirige la mayoría de las personas.

Veinte años más tarde, en la década de los noventa, el moderno sistema de sistematización de los semáforos se vio rebasado por el incontrolable crecimiento de la población en la ciudad y de la zona metropolitana; generando nuevos problemas de movilidad urbana. El Universal, (2016).

1.4.2 EN EL SIGLO XXI

Para los años 2000, el sistema de semáforos de los años setenta era el que seguía operando. Algunas fuentes periodísticas reportaron que varios semáforos eran tan viejos, que si se descomponían era imposible encontrar refacciones ya que tenían más de 40 años de uso. El Universal, (2016).

Si bien los semáforos son centrales para una óptima distribución del flujo vial, los recursos se destinaron a desarrollar o a mejorar la infraestructura para el automóvil y transporte privado, ya que en 2007 el INEGI reportaba que “el 29% de viajes diarios (alrededor de 6.3 millones) se realizan en automóvil privado y el 60.6% en el transporte público concesionado de baja capacidad (microbús, combis, autobús suburbano y taxi)”.

Sin embargo, los semáforos volvieron a la agenda del gobierno capitalino desde finales del 2014, cuando se anunció que empezarían un estudio sobre las condiciones actuales de movilidad urbana, encabezado por las autoridades, la UNAM y las empresas especialistas en la rama; tal cual pasó en la década de los setenta.

Las conclusiones de dicho estudio apuntaron que la ciudad necesitaba semáforos inteligentes, capaces de determinar, mediante sensores y cámaras, el flujo y la velocidad de los autos en las vialidades y con ello, decidir el cambio de luces. Esto favorecería a los ciudadanos ya que pasarían menos horas en el tráfico, ahorrarían combustible y, por ende, bajarían los niveles de contaminación.

El doctor Carlos Gerhenson García (2008), investigador de la UNAM, explicó para la Dirección Científica de la misma casa de estudios que el funcionamiento de los semáforos inteligentes sería proporcional a la cantidad de carros que espera en el alto; “Si hay pocos vehículos se tendrá que esperar más que si hay muchos. Sin embargo, en cuanto se pueda dar el cambio de luces se hará, minimizando los tiempos de espera y alcanzando un desempeño igual o cercano al más óptimo para distintas densidades vehiculares”. A su vez, el tránsito peatonal también se vería favorecido.

En marzo del 2016, Fanny Ruiz (Periodista de “El Universal”) entrevistó a Fernando Alejandro Martínez Bello, subsecretario de Tránsito de la Secretaría de Seguridad Pública; quien dijo que en la ciudad existían más de 12,800 semáforos y que sólo el 30% de ellos se encontraban monitoreados por la Subsecretaría de Control de Tránsito de la misma institución. Explicó que debido a la magnitud del a urbe, sólo con supervisores o reportes ciudadanos se puede conocer la

situación del 70% restante, que puede que tengan fallas eléctricas, cortos circuitos, que algún accidente hubiera provocado su desconexión o que tengan focos fundidos.

Para la instalación de los semáforos inteligentes, el gobierno capitalino hizo una inversión de entre 100 y 150 millones de pesos; con la intención de que, a futuro, sea un sistema que puedan adaptar al transporte público para calcular el tiempo aproximado de espera para el usuario. Las principales zonas que tendrán este tipo de semáforos serán el Centro Histórico y otras colonias de las alcaldías Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza y Benito Juárez.

Con toda la intención de ahondar más en la historia de los semáforos y actualizar la información en cuanto a reportes de rendimiento de los semáforos inteligentes, se pretendía solicitar información en la Dirección de Comunicación Social de la Secretaría de Seguridad Pública (SSP), pero a la carga laboral que se tiene es complicado que se dé respuesta.

Hoy en día, resulta imposible imaginar a la Ciudad de México sin semáforos, dado a que de ellos depende parte de la seguridad vial de peatones, ciclistas y conductores en su tránsito por la capital. Lo cierto es que por muy inteligentes que sean, no pueden prevenir accidentes si los habitantes de la urbe carecen de la educación vial.

Diarias son las escenas en las que se observa a ciclistas rodando por banquetas o en dirección contraria a la de su carril, a peatones caminando debajo de las banquetas o cruzando de un lado a otro a mitad de la calle, sin importar la indicación del semáforo más cercano.

Asimismo, se pueden atestiguar competencias improvisadas de automovilistas particulares o choferes del transporte público, que ponen en riesgo sus vidas y las de sus acompañantes-pasajeros al momento de incrementar su velocidad para poder cruzar antes de que cambie la luz amarilla.

Ante una inversión multimillonaria valdría la pena considerar la creación de un programa de cultura vial, para que tanto peatones, ciclistas y conductores

se responsabilicen de sus actos al momento de andar por la ciudad. El Universal, (2016).

1.5 ASÍ FUNCIONAN LOS SEMÁFOROS INTELIGENTES QUE EVITAN ATASCOS

Los semáforos inteligentes que evitan atascos encabezan la lista de semáforos que se han ido encontrando por el mundo. En ella, aparecen también los semáforos chinos que disparan agua a los transeúntes distraídos, los que abren el paso a los autobuses, los 'gayfriendly' de Viena.

Los semáforos inteligentes que evitan los atascos deberían colocarse en un apartado especial, por escasos y prácticos.

“¿Te imaginas conducir sin semáforos?” (López, 2019).

“Queda todavía por ver si son realmente útiles y si consiguen su ambicioso objetivo de evitar (o, al menos, reducir) los atascos, pero la teoría que aplican ofrece buenas expectativas” (López, 2019).

1.5.1 ASÍ FUNCIONAN LOS SEMÁFOROS INTELIGENTES

Los semáforos inteligentes se basan en la premisa de que no siempre es necesario que la fase roja dure cuatro segundos; en ocasiones, dependiendo de las condiciones del tráfico será más efectivo que se abra el paso en 3,2 segundos, por ejemplo, o en algo más de tiempo.

Los responsables de los semáforos inteligentes aseguran que, aunque posterior a 0,8 segundos parezca un margen irrelevante, en términos de tráfico pueden marcar la diferencia entre un cruce congestionado o uno de tráfico fluido.

Para saber cuánto tiempo deben permanecer en rojo o en verde, utilizan una serie de complicados algoritmos basados en parámetros como el número de coches que atraviesan el semáforo cada 60 segundos, el tiempo que cada uno tarda en ponerse en marcha desde que el disco pasa de rojo a verde, así como

la interrelación entre los diferentes semáforos de la zona para conseguir la denominada 'onda verde'.

También son capaces de contar cuántas personas esperan a que cambie de color para cruzar y ajustan automáticamente el tiempo para minimizar la espera.

Con este sistema de semáforos inteligentes, además, aseguran que se reduce de forma considerable el porcentaje de conductores que pasa estando el disco en rojo. Todos están equipados con cámaras que almacenan grabaciones de vídeo las 24 horas. Por motivos de privacidad, estas imágenes no se graban para sancionar, pero sí para recurrir multas o aclarar accidentes (López, 2019).

1.5.2. UTAH, PIONERA EN EL USO DE SEÑALES INTELIGENTES CON TECNOLOGÍA ADAPTATIVA.

El estado de Utah, al oeste de los EEUU, ha implementado un sistema estatal de medición automática de datos de su red de señales de tráfico en tiempo real. Este innovador sistema utiliza una red de cámaras de vídeo, radares y loops (programación) para registrar datos sobre el flujo de vehículos o la velocidad media del tráfico de forma global. Esta información se envía a través de una red de fibra óptica al centro de operaciones de tráfico, donde un sofisticado algoritmo de cálculo proporciona a los ingenieros los datos necesarios para monitorizar la frecuencia de los cambios a verde y sincronizar los ajustes de forma conjunta con el resto de semáforos de cada intersección de vías.

Este sistema desarrollado por investigadores de la Universidad de Purdue, está dirigido por el Departamento de Transporte de Utah –UDOT– y gestiona el 80 por ciento de los 1950 semáforos instalados en ciudades y condados del estado. Los datos recogidos por el centro de control, además de gestionar de forma inteligente el tráfico en tiempo real, permite también elaborar modelos de comportamiento para futuros cambios en intersecciones de vías.

No obstante, la UDOT planea la implementación de una nueva tecnología adaptativa que permitiría la sincronización y temporización de los semáforos de forma inmediata y sin pasar por el centro de operaciones de tráfico. Este nuevo sensor integra un algoritmo de cálculo que evalúa el lapso de tiempo necesario para mantener la señal de luz verde en activo, en función del flujo de vehículos calculado en cada instante y sin necesidad de un operador intermedio que registre la información y efectúe los ajustes.

Este sistema de semáforos inteligentes proporciona la ventaja de sincronizarse de forma automática con el resto de semáforos, con el propósito de hacer avanzar a un mayor número de automóviles en las vías de más tráfico, garantizando una organización del tráfico en movimiento más eficiente y adaptado a la demanda real. Esta tecnología podría incorporar también la ventaja de la energía solar para alimentar el sistema mediante células fotovoltaicas. De tal forma, que, en caso de fallo eléctrico, el sistema de semáforos de la ciudad goce de plena autonomía para mantenerse en funcionamiento de forma ininterrumpida los 365 días del año, sin ningún tipo de incidencia en la circulación.

En los últimos años, el modelo de Utah se ha ido implantando de forma paulatina en otros estados del país disparando el número de semáforos inteligentes con tecnología adaptativa de 4.500 en 2009, a cerca de 6.500 en 2014. Este incremento se debe en gran parte a la reducción de los costes de implantación del sistema, que actualmente oscilan entre los 30.000 y 50.000 dólares por cruce. En cualquier caso, los resultados del estudio arrojan datos reveladores que estiman una reducción de las congestiones de tráfico de hasta el 40 por ciento, así como una reducción de los accidentes mortales por choques en intersecciones de vías de hasta el 50 por ciento. Una inversión cuya rentabilidad a largo plazo podría acabar con los tediosos embotellamientos en horas pico de las principales ciudades (Pérez, 2015).

1.5.3 LAS CIUDADES QUE YA PRUEBAN SEÑALES INTELIGENTES

Londres es ciudad pionera en la utilización de semáforos inteligentes. Lleva tiempo con algunas unidades funcionando a modo de prueba y ahora tiene planeado aumentar el número para probar su funcionamiento en toda la ciudad.

La capital de Reino Unido quiere dar prioridad a los peatones y a aquellos que se mueven en bicicleta (López, 2019).

1.5.4. CASO DE ÉXITO DE MOVILIDAD INTELIGENTE EN MÉXICO

Hay distintos casos de éxito en México, la mayor parte concentrados en la Ciudad de México, como lo es el caso de Ecobici. Sin embargo, es posible encontrar en distintas partes del país experiencias de éxito del uso de nuevas tecnologías y datos para mejorar la movilidad urbana, en transporte público, gestión del estacionamiento y en semaforización. A continuación, se menciona el caso de Acapulco que cuenta con la instalación de semáforos inteligentes, con el fin de ejemplificar las mejores prácticas al interior del país.

1.5.5. SEMÁFOROS INTELIGENTES EN EL CORREDOR AV. COSTERA MIGUEL ALEMÁN

¿QUÉ ES?

El reemplazo de todos los semáforos de la Avenida Costera Miguel Alemán, el principal corredor vial y turístico principal de Acapulco, con semáforos inteligentes en el año 2015, Elaborado con información cortesía de Eyssa (ITDP, 2016).

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE SEMÁFOROS INTELIGENTES EN ACAPULCO

- 18 intersecciones semaforizadas.
- 350 nuevos semáforos, incluyendo semáforos peatonales.
- 108 nuevos postes, con integración de señalética, semáforos, cámaras y antenas.
- Centro de control con comunicación bidireccional en todas las intersecciones.

- Monitoreo con cámaras de video detección para realizar conteo de vehículos en tiempo real.
- Programación adaptativa al flujo vehicular o cualquier otra necesidad (emergencias).
- Su instalación generó una reducción del tiempo de recorrido del 26% (sentido poniente-oriente) y del 10% en sentido oriente poniente por la mañana. Mientras por la tarde la reducción fue del 16% y el 46%.
- Es la única vialidad del sistema de semáforos de la ciudad con estas características.
- Proyecto realizado por el municipio de Acapulco.
- Costo total de 20 millones de pesos.

(ITDP, 2016)

1.6 SEMÁFOROS INTELIGENTES REDUCEN LA CONTAMINACIÓN Y AGILIZAN EL TRÁFICO

Supondrían un 28% menos de tiempo de espera en los cruces y un 6.5% menos de emisiones de CO₂.

Científicos norteamericanos y rumanos han desarrollado un modelo informático basado en información real que atribuye inteligencia a los semáforos para optimizar la gestión del tráfico. De esta forma han comprobado que se reduce un 28% el tiempo de espera en los cruces en hora pico y un 6,5% las emisiones de CO₂. El modelo puede potenciarse si se incorpora a los automóviles un software específico que avise a los conductores tanto de las velocidades recomendables en función de las luces de los semáforos, como en función de la cantidad de coches que se pueden encontrar en los atascos. Esta aplicación también podría trasladar información al sistema para mejorar la regulación del tráfico mediante los semáforos (Martínez, 2008).

Los avances en la informática móvil y en las comunicaciones sin cable ofrecen cada vez más posibilidades para el desarrollo de Sistemas de Transporte Inteligente (ITS). Estos sistemas implican un amplio grado de tecnologías basadas en telecomunicaciones y electrónica, así como su incorporación a la

infraestructura de vehículos y sistemas de transporte. La finalidad de estos ITS sería la de reducir los atascos y mejorar la seguridad del tráfico (Martínez, 2008).

Partiendo de los últimos avances en este campo, un equipo de informáticos de la Rutgers University de Estados Unidos, en colaboración con la Universidad Politécnica de Bucarest, en Rumania, ha desarrollado un modelo en el cual los semáforos “toman decisiones” de control de sus luces basándose en la información que proviene de los vehículos, informa la revista NewScientist (2008).

El modelo registró los picos de flujo de tráfico de dos de los principales cruces de la ciudad de Bucarest, en Rumania, al tiempo que se establecía el patrón de dicho flujo desde el laboratorio de computación distribuida de la Rutgers University.

El modelo se considera como una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades, mientras que la simulación es la experimentación con un modelo de una hipótesis o un conjunto de hipótesis de trabajo (Martínez, 2008).

1.6.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES

En el modelo de estos informáticos, a los semáforos se les suministró información acerca de la posición y de la velocidad de todos los vehículos de las calles cercanas del centro de Bucarest, y se les programó para calcular con esta información cómo organizar los cambios de color de sus luces, con el fin de agilizar el tráfico.

Las mediciones de la reducción del tiempo que pasaban los vehículos en el cruce, realizadas en comparación con el tiempo de recorrido calculado en ausencia de un mecanismo de control, se acompañaron con mediciones de las emisiones de CO₂ en el mismo lugar y periodo.

Estas emisiones disminuyeron un 6,5% gracias al sistema, al mismo tiempo que el tiempo que los conductores pasan esperando en los cruces de las ciudades en horas de máxima afluencia de tráfico se redujo hasta un 28%.

Los investigadores señalan que, según este modelo, tanto los tiempos de los recorridos como el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, pueden disminuirse en el mundo real con una gestión inteligente del tráfico realizado desde los semáforos (Martínez, 2008).

1.6.2 SISTEMA ADAPTABLE

Según explican los autores de esta propuesta en la comunicación que presentaron el año 2007 en la Vehicular Technology Conference, el invento consiste en un conjunto de semáforos con capacidad de adaptación, y en un nódulo fijo de control situado en una intersección. Este nódulo determina los valores óptimos para la regulación de los cambios de color de los semáforos.

El sistema tendría mayores beneficios en comparación con otros sistemas adaptables basados en sensores o cámaras, aseguran los científicos. En los últimos treinta años, se han realizado grandes esfuerzos para crear sistemas de semáforos que puedan responder a las necesidades de un tráfico urbano cada vez más denso.

La mayoría de estos sistemas de control de señales en Estados Unidos, por ejemplo, se basan en planes de cronometraje generados sin conexión informática y han sido desarrollados por ingenieros especializados aplicando modelos de optimización. Pero son difíciles de mantener y no responden eficazmente en todas las situaciones.

Con el modelo desarrollado en la universidad de Rutgers, los investigadores comprobaron, sin embargo, que es posible mejorar significativamente el flujo del tráfico con respecto a lo que consiguen otros sistemas convencionales aplicados a semáforos ya existentes (Martínez, 2008).

1.6.3 COMUNICACIÓN DESDE EL VEHÍCULO

El modelo abre además otra posibilidad: que los coches incorporen un software específico que avise a los conductores tanto de las velocidades recomendables en función de las luces de los semáforos, como en función de la cantidad de vehículos que se pueden encontrar en los atascos. Esta aplicación

también podría trasladar información al sistema para mejorar la regulación del tráfico mediante los semáforos.

Para que esto último fuera viable, sin embargo, los vehículos deberían estar conectados con el sistema informático que controla los semáforos de cualquier ciudad. Aunque actualmente esto no es posible, diferentes empresas y grupos de investigación de todo el mundo trabajan ya en el desarrollo de sistemas de comunicación entre autos que puedan adaptarse a este propósito.

Es el caso de Dash Express, que es una unidad GPS con conexión a Internet para autos que permite la comunicación con otras unidades rodantes para compartir información sobre el estado del tráfico a través de la red Dash Driver. O de CarTel, una plataforma que envía y recibe información durante los viajes en automóvil a través de la tecnología Wi-Fi (Martínez, 2008).

1.7 TIPOS DE SEMÁFOROS

1.7.1. SEMÁFOROS PARA VEHÍCULOS

1.7.1.1. SEMÁFOROS NO ACCIONADOS POR EL TRÁNSITO O DE TIEMPO FIJO

El uso primordial de este tipo de semáforos es en intersecciones viales, en donde los patrones de movilidad del tránsito son relativamente estables y constantes, o donde las variaciones del tránsito que se registran pueden adaptarse fácilmente a una programación coordinada sin causar demoras o congestión importantes.

1) Requisitos que justifican su instalación

Estos requisitos, así como los estudios de tránsito necesarios para la justificación e instalación de semáforos se apegarán a lo indicado en el apartado “Estudios de ingeniería de tránsito”. Con los siguientes puntos:

- Número de vehículos que entran a la intersección durante 16 horas.
- Volumen horario clasificado para cada movimiento vehicular en períodos de máxima demanda.

- Volumen peatonal en períodos de máxima demanda por edades.
- Velocidad de punto para cada acceso, antes de la intersección.
- Levantamiento topográfico del cruce con usos del suelo y mobiliario.
- Estadísticas de accidentes por tipo y saldos, durante un año.
- Demoras en vehículos-segundos.

Y requisitos para instalación de semáforos, del manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014. Con los siguientes puntos:

- Volumen mínimo vehicular.
- Circulación transversal.
- Volúmenes en horas de máxima demanda.
- Volumen mínimo de peatones.
- Antecedentes sobre accidentes.
- Amplias fluctuaciones del tránsito en ambos accesos de la intersección.
- Intersecciones amplias e irregulares con más de 4 accesos.
- Sistemas progresivos de semáforos.
- Interrupción del tránsito continuo.
- Semáforos en zonas de alto volumen peatonal.
- Semáforos en zonas escolares.
- Semáforos especiales de destello.

Las características a que deben ajustarse los mecanismos de control, se definen en apartado “Unidad de control”, del Manual de Señalización Vial y dispositivos de seguridad 2014. Con los siguientes puntos:

- Factores que determinan la selección del tipo de control.
- Controles para semáforos no accionados por el tránsito.
- Control sin mecanismo de sincronización para intersecciones aisladas.
- Control con mecanismo de sincronización para intersecciones aisladas.
- Control que permite coordinación para intersecciones sucesivas.

2) Programación

La finalidad de un sistema de semáforos se cumple si éste se apega a las necesidades del tránsito. Los ciclos excesivamente largos y la división inapropiada de los mismos ocasionan faltas de respeto y desobediencia.

Los semáforos se manejarán manualmente cuando sea estrictamente necesario (durante eventos especiales como accidentes, manifestaciones o congestión de una vía primaria), ya que este tipo de funcionamiento es menos eficaz que el control automático, con tiempos previamente fijados, especialmente en sistemas coordinados.

Cualquier plan de tiempos que se programe se confrontará con la información de aforos de tránsito para tener la seguridad de que los cambios de intensidad de tránsito en las vías se regulen lo mejor posible.

Los factores que se tomarán en cuenta para programar el tiempo de los semáforos de una intersección son:

- a) Número de carriles y demás condiciones geométricas.
- b) Variaciones del flujo del tránsito para cada movimiento direccional.
- c) Necesidades de los vehículos comerciales y de transporte público.
- d) Lapso en segundos, entre el paso de dos vehículos consecutivos que salen de la intersección.
- e) Necesidades de los peatones.
- f) Necesidad de desalojar de la intersección a los vehículos y los peatones, al cambiar las indicaciones.

1.7.1.2. SEMÁFOROS ACCIONADOS POR EL TRÁNSITO

Se usan en las intersecciones donde los volúmenes de tránsito fluctúan considerablemente en forma irregular, y en donde las interrupciones de la circulación deben ser mínimas en la dirección principal. Los semáforos accionados por el tránsito se clasifican en dos categorías generales.

Totalmente accionados. Disponen de medios para ser accionados por el tránsito en todos los accesos de la intersección.

Parcialmente accionados. Disponen de medios para ser accionados por el tránsito en uno o más accesos de la intersección, pero no en todos.

1) Requisitos que justifican su instalación

Estos requisitos, así como los estudios de tránsito necesarios para la justificación e instalación de semáforos se apegarán a lo indicado en el inciso en el apartado “Estudios de ingeniería de tránsito”. Con los siguientes puntos:

- Número de vehículos que entran a la intersección durante 16 horas.
- Volumen horario clasificado para cada movimiento vehicular en períodos de máxima demanda.
- Volumen peatonal en períodos de máxima demanda por edades.
- Velocidad de punto para cada acceso, antes de la intersección.
- Levantamiento topográfico del cruce con usos del suelo y mobiliario.
- Estadísticas de accidentes por tipo y saldos, durante un año.
- Demoras en vehículos-segundos.

Y Requisitos para instalación de semáforos, Del Manual de Señalización Vial y dispositivos de seguridad 2014. Con los siguientes puntos:

- Volumen mínimo vehicular.
- Circulación transversal.
- Volúmenes en horas de máxima demanda.
- Volumen mínimo de peatones.
- Antecedentes sobre accidentes.
- Amplias fluctuaciones del tránsito en ambos accesos de la intersección.
- Intersecciones amplias e irregulares con más de 4 accesos.
- Sistemas progresivos de semáforos.
- Interrupción del tránsito continuo.
- Semáforos en zonas de alto volumen peatonal.
- Semáforos en zonas escolares.
- Semáforos especiales de destello.

Las características a que deben ajustarse los mecanismos de control, se definen en el apartado “Unidad de control”, del Manual de Señalización Vial y dispositivos de seguridad 2014. Con los siguientes puntos:

- Factores que determinan la selección del tipo de control.
- Controles para semáforos no accionados por el tránsito.
- Control sin mecanismo de sincronización para intersecciones aisladas.
- Control con mecanismo de sincronización para intersecciones aisladas.
- Control que permite coordinación para intersecciones sucesivas.

Mecanismos de control

Los mecanismos de control que se emplearán incluyen las siguientes opciones:

- Control parcialmente accionado por el tránsito.
- Control totalmente accionado por el tránsito.
- Control adaptable al tránsito.
- Otros controles coordinados.

El uso y descripción de cada uno de estos controles se establecen en el inciso “Controles para semáforos accionados por el tránsito, del Manual de Señalización Vial y dispositivos de seguridad 2014”. Con los siguientes puntos:

- Control parcialmente accionado por el tránsito.
- Control totalmente accionado por el tránsito.
- Control adaptable a la densidad del tránsito.
- Otros controles coordinados.
- Ubicación de controles.

1.7.1.3. SEMÁFOROS PARA PEATONES

Estos son los que regulan el tránsito de peatones en las intersecciones donde se registra un alto volumen peatonal y se instalarán en coordinación con semáforos para vehículos.

1.7.1.4. SEMÁFOROS EN ZONAS CON ALTO VOLUMEN PEATONAL

Los semáforos para peatones se instalarán cuando se satisfagan uno o más de los requisitos indicados en el apartado “Requisitos para instalación de semáforos, del Manual de Señalización Vial y dispositivos de seguridad 2014”.

Con los siguientes puntos:

- Volumen mínimo vehicular.
- Circulación transversal.
- Volúmenes en horas de máxima demanda.
- Volumen mínimo de peatones.
- Antecedentes sobre accidentes.
- Amplias fluctuaciones del tránsito en ambos accesos de la intersección.
- Intersecciones amplias e irregulares con más de 4 accesos.
- Sistemas progresivos de semáforos.
- Interrupción del tránsito continuo.
- Semáforos en zonas de alto volumen peatonal.
- Semáforos en zonas escolares.
- Semáforos especiales de destello.

Los semáforos para peatones se instalarán principalmente en la banqueta opuesta, con su parte inferior a no menos de 2.00 m ni más de 3.00 m sobre el nivel de la banqueta, de tal manera que la indicación quede en la visual del peatón que tiene que ser guiado por dicha señal. Cada semáforo puede montarse separadamente o en el mismo soporte de los semáforos para el control del tránsito de vehículos, debiendo existir una separación física entre ellos.

1) Señales luminosas

Todas las señales luminosas del semáforo se colocarán en posición vertical y normal con respecto a la circulación de los peatones.

Las señales luminosas llevarán inscrito el mensaje, por medio de símbolos en fondo oscuro, que representarán a una persona que está caminando cuando se le da el paso "SIGA", y a una persona parada cuando se le prohíbe el paso "ALTO".

En los cruces para peatones donde la distancia por recorrer sea menor de 18.00 m, la figura será de 16 cm de altura como mínimo, para una señal luminosa de diámetro de 20 cm. Para distancias mayores de 18.00 m el símbolo tendrá por lo menos una altura de 23 cm, para una señal luminosa de diámetro de 30 cm como se muestra en la figura 7.

Estas disposiciones se aplicarán a los dispositivos de tecnología LED, los cuales cuentan con figuras dinámicas en color rojo para indicar "ALTO" y en color verde para indicar "SIGA". Existe la combinación de un dispositivo con cronómetro y otro con una figura dinámica, como se muestra en la figura 8.

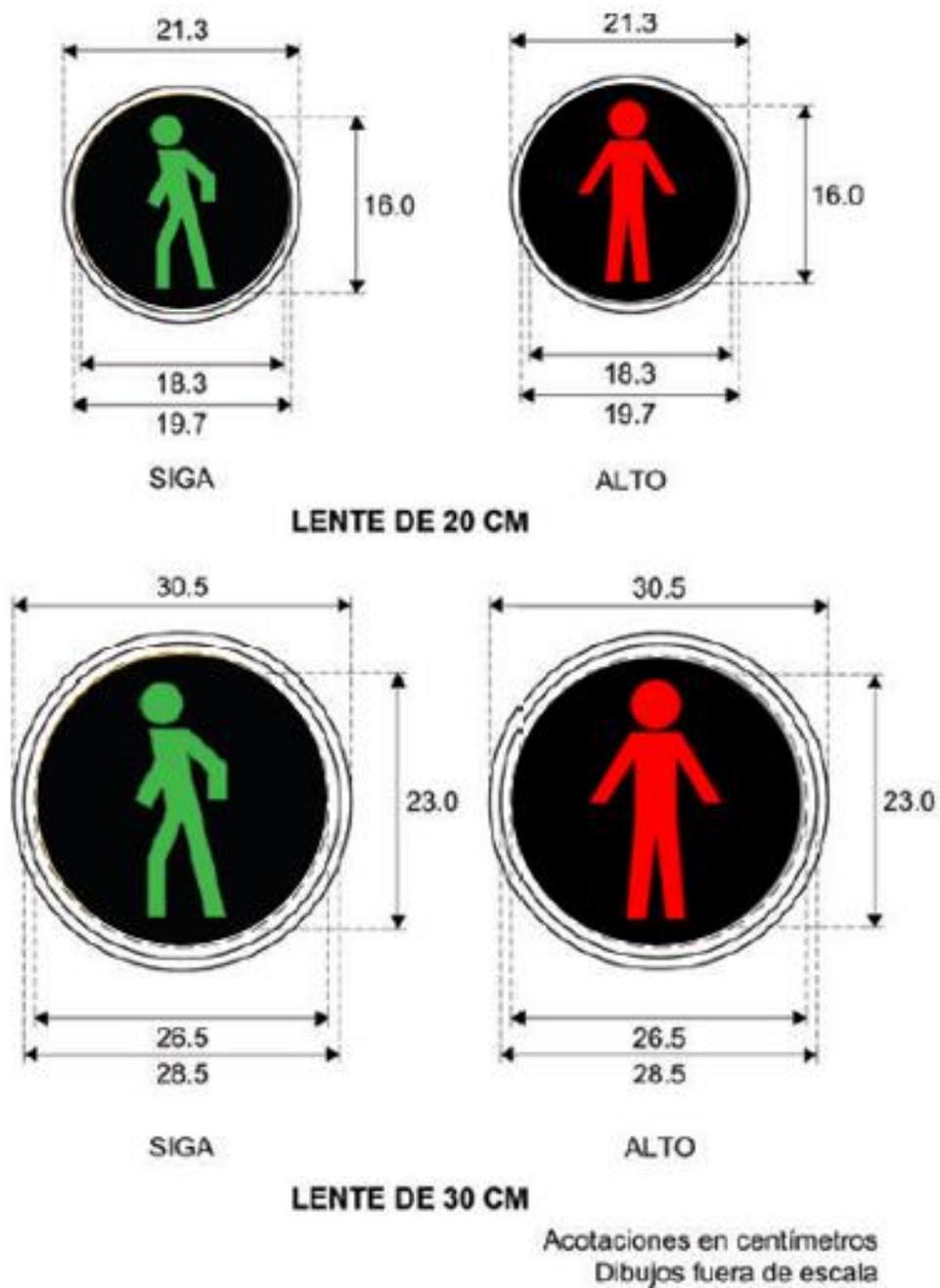


FIGURA 7. Inscripciones en la señal luminosa en semáforo para peatones.



FIGURA 8. Semáforo peatonal con LED y cronómetro.

2) Mecanismos de control

Las características a que ajustarán los mecanismos de control se definen en el apartado “Controles para semáforos peatonales, del Manual de Señalización Vial y dispositivos de seguridad 2014”. Con los siguientes puntos:

- Controles en zonas de alto volumen peatonal.
- Controles en zonas escolares.

Las indicaciones para peatones serán de luz fija, excepto durante el intervalo para despeje de los mismos, en el cual la indicación de “SIGA” será de destello. Cuando los semáforos para el control del tránsito de vehículos en la intersección estén operando con intermitentes, los semáforos para peatones permanecerán apagados.

En condiciones normales la velocidad del peatón es de 1.20 m/s, el intervalo mínimo de "SIGA" no será menor de 7 segundos para que los peatones tengan oportunidad de completar el cruce antes de que aparezca el intervalo para despeje.

1.8 UNIDAD DE CONTROL

1.8.1 FACTORES QUE DETERMINAN LA SELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROL

Los factores básicos que se considerarán para la elección del tipo de control son: los del tránsito, los económicos y las características geométricas de la intersección.

- 1) **Factores del tránsito.** Estos se refieren a los volúmenes de tránsito vehicular y peatonal por acceso y por carril, a su composición vehicular y la variación horaria.
- 2) **Factores económicos.** Se considerará el costo inicial del equipo, el costo de la instalación y los gastos de operación y mantenimiento, así como los beneficios y pérdidas económicas a conductores y peatones. También se tomarán en cuenta los accidentes. Al escoger el equipo de control de semáforos deberá preverse el funcionamiento presente y futuro.
- 3) **Aspectos físicos de la intersección.** Estos comprenden la sección transversal de los accesos, pendientes longitudinales de los mismos y las canalizaciones de la intersección.

1.8.2. CONTROLES PARA SEMÁFOROS NO ACCIONADOS POR EL TRÁNSITO

En las intersecciones donde los patrones de movilidad del tránsito son relativamente estables y constantes, las ventajas del control no accionado por el tránsito son las siguientes:

- 1) Facilitan la coordinación con semáforos adyacentes, con más precisión que los controles accionados por el tránsito, especialmente cuando es necesario coordinar los semáforos de varias intersecciones o de un sistema en red.

- 2) No dependen de la circulación de vehículos que pasan por detectores, por lo que la operación de los controles no se afecta debido a condiciones especiales que impidan la circulación normal frente a un detector.
- 3) Pueden ser más aceptables que los controles accionados por el tránsito, en zonas donde exista tránsito de peatones intenso y constante.
- 4) En general, el costo inicial del equipo es menor que el del accionado por el tránsito y su conservación de infraestructura es más económica.

Las características de diseño de estos controles permitirán el ajuste periódico a las variaciones de los volúmenes de tránsito; los parámetros básicos de control son el ciclo, las fases, el intervalo y el desfaseamiento.

Cuando de acuerdo a los estudios realizados, se ha decidido instalar un semáforo no accionado por el tránsito, se elegirá necesariamente el tipo de mecanismo de control de tiempo que se empleará.

Las elecciones posibles incluyen las siguientes:

- 1) Control no accionado por el tránsito sin mecanismo de sincronización para intersecciones aisladas.
- 2) Control no accionado por el tránsito con mecanismos de sincronización para intersecciones aisladas.
- 3) Control que permite coordinación, para intersecciones sucesivas.

1.8.3. CONTROL SIN MECANISMO DE SINCRONIZACIÓN PARA INTERSECCIONES AISLADAS.

El uso de este tipo de control, se recomienda únicamente en aquellas intersecciones aisladas en donde no es posible que se presente la necesidad de sincronizarse con el de otra intersección.

1.8.4. CONTROL CON MECANISMO DE SINCRONIZACIÓN PARA INTERSECCIONES AISLADAS.

Este tipo de control tiene un sistema de sincronización y se usará en intersecciones aisladas cuando:

- 1) En el futuro sea probable que se necesite la coordinación del semáforo con otros o que éste vaya a ser supervisado por un control maestro.
- 2) Sean aceptables las duraciones fijas de ciclos y de intervalos, todo el tiempo que dure la operación de control de tránsito.

1.8.5. CONTROL QUE PERMITE COORDINACIÓN PARA INTERSECCIONES SUCESIVAS.

Los semáforos no accionados por el tránsito funcionarán coordinadamente dentro de un radio de 400 m. A distancias mayores aún puede resultar conveniente la coordinación de semáforos sin rebasar los 800 m.

Hay varios tipos de controles para coordinación, uno de los sistemas implica la supervisión de los controles locales por medio de un control maestro, mediante interconexiones de cables, por radio o por medio de un GPS conectado vía satélite con el centro de control.

En los controles locales de estos sistemas pueden emplearse mecanismos de inducción o dispositivos electrónicos de tiempo.

1.8.6. CONTROLES PARA SEMÁFOROS ACCIONADOS POR EL TRÁNSITO

Son más eficaces en las intersecciones donde los volúmenes de tránsito fluctúan considerablemente en forma irregular, y en las que las interrupciones de circulaciones serán mínimas en la dirección principal. Entre las ventajas de este tipo, pueden mencionarse las siguientes:

- 1) Pueden resultar más eficientes en intersecciones donde las fluctuaciones del tránsito no se pueden prever y programar en la forma requerida para los sistemas con controles no accionados.

- 2) Pueden ser de mayor eficiencia en intersecciones donde una o más circulaciones son esporádicas y de intensidad variable.
- 3) Generalmente son más eficientes en intersecciones de calles principales con calles secundarias, debido a que interrumpen la circulación en la calle principal únicamente cuando se requiere dar paso a vehículos y a peatones en la calle secundaria y restringen esas interrupciones al tiempo mínimo indispensable.
- 4) Pueden dar la máxima eficiencia en las intersecciones desfavorablemente localizadas dentro del sistema progresivo, en los que las interrupciones del tránsito en la calle principal son inconvenientes y se mantendrán al mínimo en frecuencia y duración.
- 5) Proporcionan una operación continua sin demoras innecesarias en intersecciones aisladas, donde los controles no accionados por el tránsito, en ocasiones funcionan en operaciones de destello durante lapsos de escaso movimiento.
- 6) Tienen aplicación especialmente en intersecciones donde la operación de semáforos sólo hace falta durante períodos cortos del día.

1.8.7. CONTROL PARCIALMENTE ACCIONADO POR EL TRÁNSITO

Los controles parcialmente accionados por el tránsito son aplicables principalmente en las intersecciones de arterias de alto volumen y altas velocidades, con calles secundarias de escasa circulación; razón por la que disponen de medios para ser accionados por el tránsito en uno o más accesos, pero no en todas las aproximaciones de la intersección. Los detectores se ubican sólo en los accesos secundarios.

Estos controles permiten que en la calle principal normalmente se tenga indicación de luz verde, la cual cambia a la calle secundaria únicamente como resultado de la acción de los vehículos y de los peatones.

La duración de la indicación de luz verde en la calle secundaria es proporcional a las demandas del tránsito de la misma, previéndose un límite máximo de tiempo, más allá del cual no se puede mantener la indicación de luz

verde en la calle secundaria, aunque haya alta demanda de tránsito. Al término de la fase requerida, la indicación de luz verde vuelve a la calle principal y se mantiene como mínimo, durante un intervalo previamente fijado; al terminar el intervalo mínimo, el control vuelve a quedar libre para responder a la acción del tránsito en la calle secundaria.

El control parcialmente accionado por el tránsito no recibe ninguna acción para el tránsito que circula en la calle principal, y, por consiguiente, pueden otorgar frecuentemente el derecho de paso a la calle secundaria, en los momentos más inoportunos para la circulación de la calle principal.

1.8.8. CONTROL TOTALMENTE ACCIONADO POR EL TRÁNSITO

En los controles totalmente accionados por el tránsito, los detectores se instalan en todos los accesos de la intersección y el derecho de paso se le da a una calle como resultado de uno o más accionamientos en esa misma calle. Cuando no hay demandas del tránsito en ninguna de las calles, la indicación de luz verde normalmente permanecerá en aquella a la que se dio por último; pero cuando una de las calles tenga más tránsito que las demás podrán resultar de mayor eficacia revertir el derecho de paso a esa calle.

En el caso de accionamiento continuo en una misma calle, el derecho de paso cederá al tránsito que espera en la calle transversal; al terminar un lapso máximo predeterminado, automáticamente regresará a la primera calle en la primera oportunidad, misma que no se puede presentar sino hasta después de terminado un período mínimo con la indicación de luz verde en la calle transversal.

La duración de la indicación de luz verde para cada calle, con condiciones normales de tránsito, fluctúa entre los valores máximo y mínimo prefijado, dependiendo de los lapsos entre accionamientos. Con el tipo más común de control totalmente accionado por el tránsito, el derecho de paso, de acuerdo con los accionamientos será cedido inmediatamente a la calle transversal si el tiempo transcurrido entre accionamientos en la calle con indicación de luz verde excede cierto valor predeterminado y si el período mínimo para dicha calle ha expirado.

1.8.9. CONTROL ADAPTABLE A LA DENSIDAD DEL TRÁNSITO

Los controles adaptables a la densidad del tránsito, totalmente accionados por éste, permiten que el intervalo correspondiente a los lapsos entre el paso de vehículos sucesivos que exceden los tiempos prefijados para cada una de las calles, disminuya durante cada fase, de acuerdo con ciertos factores de las circulaciones. Por ello, la probabilidad de que el intervalo de luz verde termine y se ceda el derecho de paso a la calle transversal, aumenta proporcionalmente a la disminución del tránsito que circula con luz verde, al transcurso del tiempo en el cual se tienen vehículos detenidos con la indicación de luz roja, y al número de los mismos. Estos y otros factores hacen que el control totalmente accionado por el tránsito del tipo de densidad, sea más sensible a las demandas de circulación con amplias variaciones de intensidad.

Por medio de un sistema que usa un control maestro accionado por la circulación para supervisar los controles locales, se logra una combinación progresiva flexible y de los semáforos accionados por el tránsito; para ello, se instalan detectores en lugares estratégicos del sistema progresivo para suministrar al control maestro la información del tránsito en esos puntos. El control maestro selecciona el ciclo y los desfasamientos predeterminados para lograr el mejor equilibrio, de acuerdo con las intensidades de circulación que presentan en ese tiempo. Los controles locales estarán conectados al control maestro, que los manejará en un momento dado, conforme al ciclo y desfasamiento seleccionados por el control maestro.

En el sistema de control adaptable a la densidad del tránsito, el cambio de una combinación de tiempos a otra se efectúa rápidamente y con interferencia mínima para el tránsito que circula durante el cambio. Si los controles locales son parcialmente accionados por el tránsito, la duración de fase correspondiente a la calle secundaria, dentro del ciclo seleccionado, se determina por medio de accionamientos en detectores instalados en la misma. Este sistema permite una gran flexibilidad para lograr la coordinación efectiva de circulaciones tanto en una vía como en una red de calles.

1.8.10. OTROS CONTROLES COORDINADOS

Además del control adaptable a la densidad del tránsito, existen otras aplicaciones de controles accionados por el tránsito para lograr la operación coordinada de una serie de intersecciones con semáforos, como las siguientes:

- 1) **Ciclos supervisor general.** Se puede imponer un ciclo supervisor general sobre una serie de controles parcialmente accionados por el tránsito, mediante un control maestro de tiempo que envía impulsos a cada uno de los controles, o por medio de un control local, o por sistemas de sincronización en cada intersección. El ciclo general y los desfases se determinan de la misma manera que para un control no accionado por el tránsito. La función del ciclo supervisor, es asegurar que los controles parcialmente accionados por el tránsito permitan, cuando menos, el intervalo mínimo de luz verde en la calle principal en la proporción de tiempo más conveniente para mantener la circulación progresiva en ésta. Cada control parcialmente accionado por el tránsito, incrementa el intervalo de luz verde en la calle principal todo el tiempo que no lo requiera la demanda de la calle secundaria y, por lo tanto, permite la mayor fluidez posible. Una desventaja que se puede presentar es que un intervalo de luz verde tan largo, puede congestionar seriamente alguna intersección adyacente en la que las demandas del tránsito transversal sean mayores

El tipo de operación que se acaba de describir, obviamente no tiene las mismas características relativas a la regulación de velocidades que el de un sistema progresivo y, por ende, sólo se empleará cuando es más importante mover el mayor volumen de tránsito con el mínimo de demoras, para controlar las velocidades.

- 2) **Casos especiales de sistemas progresivos de tiempo.** Una aplicación más del accionamiento del tránsito en circulaciones coordinadas se presenta en un sistema progresivo con semáforos accionados en el que el

espaciamiento entre intersecciones en uno o más lugares del sistema es tal, que la mejor disposición de los tiempos progresivos implica una reducción en la eficiencia de sincronización. Las intersecciones complicadas en un sistema progresivo, también pueden ocasionar dificultades para fijar los tiempos. En dichos casos es posible lograr mejores resultados con controles accionados por el tránsito.

- 3) Coordinación mutua.** La coordinación mutua se realiza a través de dos controles parcialmente accionados por el tránsito, aislados, ubicados en intersecciones adyacentes o próximas entre sí, de tal manera que se reduzca al mínimo las paradas del tránsito en la arteria principal; esto se logra interconectando los controles de manera que haya un desfase fijo entre accionamientos en las calles transversales.

1.8.11. UBICACIÓN DE CONTROLES

En la instalación de controles se aplican las mismas consideraciones comunes a todos los semáforos; sin embargo, será conveniente ubicar el control en un sitio sin posibilidad de ser impactado por algún vehículo, con clara visibilidad de los accesos y la puerta de la unidad de control al lado opuesto de la intersección.

1.9. CONTROLES PARA SEMÁFOROS PEATONALES

1.9.1. CONTROLES EN ZONAS DE ALTO VOLUMEN PEATONAL

El control de las indicaciones de los semáforos para peatones, se puede efectuar con el mecanismo de tiempo que normalmente se emplea en los semáforos de vehículos, en cuyo caso la fase o indicación para peatones se dará en un punto predeterminado durante cada ciclo; o bien, el control podrá ser accionado por los peatones a través de botones o teclas para introducir la fase o indicación, de acuerdo a las necesidades de los mismos.

Por regla general, se evitará la instalación de semáforos para peatones en puntos fuera de las intersecciones; sin embargo, cuando los semáforos se hacen

necesarios debido a condiciones especiales, el tipo de control que se empleará es el accionado por los peatones, coordinado con los semáforos adyacentes.

1.10. COORDINACIÓN DE SEMÁFOROS

Se considera un sistema coordinado de semáforos a una serie de unidades de control adyacentes o sucesivos interconectados, que coordinan sus funciones básicas a través de un control maestro, con el fin de aumentar la efectividad de los movimientos de tránsito.

El control maestro, es esencialmente el centro de maniobras que distribuye automáticamente las señales de control generadas sobre los circuitos de las unidades de control del sistema.

En las grandes áreas urbanas es común que la distancia entre intersecciones sea corta, y cuando dichas intersecciones son controladas por semáforos, la influencia entre ellas es tan importante que la regulación del tránsito depende mucho más de la coordinación entre semáforos, que de las fases y tiempos de cada intersección en particular. Para obtener una coordinación efectiva de las unidades de control de los semáforos es esencial que los vehículos estén en un grupo compacto.

Los sistemas más utilizados son:

- 1) Sistema coordinado simultáneo.
- 2) Sistema coordinado alternado.
- 3) Sistema coordinado progresivo.

1.10.1. SISTEMA COORDINADO SIMULTÁNEO

En este sistema todos los semáforos, muestran la misma indicación a lo largo de la vialidad aproximadamente al mismo tiempo. En todas las intersecciones los tiempos son esencialmente los mismos y las indicaciones cambian simultáneamente, de manera que todos los semáforos indican verde en la dirección de la vialidad primaria y alto en las vialidades secundarias, cambiando alternadamente.

La relación que debe cumplirse entre velocidad media, duración de ciclo y distancia entre semáforos es:

$$V = D / C$$

Dónde:

V= Velocidad de circulación (m/s)

D= Distancia (m)

C= Duración del ciclo (s)

Este sistema tiene las siguientes desventajas:

- 1) Resulta con velocidades altas y detenciones en vez de alguna progresión.
- 2) Únicamente funciona para las intersecciones importantes.
- 3) Requiere separación uniforme de los semáforos.

Sin embargo, a veces puede usarse para dos o tres intersecciones muy cercanas que son parte de un sistema mayor.

1.10.2. SISTEMA COORDINADO ALTERNADO

En este sistema los semáforos adyacentes o grupos de semáforos adyacentes muestran indicaciones alternas en una ruta. En un sistema alterno sencillo hay indicaciones contrarias en semáforos adyacentes.

Los sistemas alternos dobles y triples consisten en un grupo de dos o tres semáforos que respectivamente muestran indicaciones contrarias. En estos sistemas se deja un desfase de aproximadamente medio ciclo entre grupo de intersecciones adyacentes. El sistema alterno puede funcionar con una unidad de control, aunque es recomendable el uso de unidades de control locales para una mayor flexibilidad en la operación.

En el caso del sistema alternado simple el desfase es exactamente medio ciclo. Para el caso de los sistemas múltiples el desfase es cero para los semáforos simultáneos y medio ciclo para los demás. En general este sistema es superior al anterior, pero aún no aporta la flexibilidad que se requiere en la mayoría de los casos. En el sistema alternado simple la relación entre distancia, velocidad y longitud del ciclo es:

$$V = 2D / C$$

Si el sistema es doble, la relación es:

$$V = 4D / C$$

Dónde:

V= Velocidad de circulación (m/s)

D= Distancia (m)

C= Duración del ciclo (s)

Las mayores limitaciones de este sistema son:

- 1) Requiere reparticiones de verde semejantes para la arteria principal y secundaria.
- 2) No se adapta bien a arterias que tengan semáforos espaciados en forma irregular.
- 3) Es difícil de ajustar a las condiciones de tránsito ya que esencialmente la longitud del ciclo será constante.

Sin embargo, este sistema puede aplicarse en redes cuadrículadas regulares.

1.10.3. SISTEMA COORDINADO PROGRESIVO

Este sistema puede ser limitado o flexible. En el sistema progresivo limitado se fija una duración común a los ciclos y a las indicaciones de verde, que son independientes de acuerdo a las exigencias de cada intersección y de conformidad con un programa de tiempos, para permitir la circulación continua o casi continua de grupos de vehículos que circulan a la velocidad de proyecto trazado de una carretera con correspondencia de toda una serie de factores, tales como curvas, peraltes y distancias de visibilidad, de los cuales depende la seguridad en la operación de los vehículos.

El sistema progresivo flexible abarca todas las características del sistema progresivo limitado y algunas adicionales que dependen del tipo de control maestro y de otros dispositivos. Se recomienda un ciclo común en todo el sistema. No obstante, la duración del ciclo se puede variar con la frecuencia que se desee. Se pueden establecer programas de tiempos predeterminados en los controles, dando preferencia a las circulaciones en las horas de máxima demanda durante el día o la semana y considerando otras demandas del tránsito.

Con esta flexibilidad es posible satisfacer las demandas variables del tránsito en cada intersección dentro del sistema. Es necesario conocer las demandas del tránsito para poder seleccionar programas de tiempo y de coordinación apropiados.

La medición de intensidades de tránsito y la velocidad son esenciales para determinar correctamente las duraciones del ciclo, los desfases, etc. Con objeto de obtener la máxima flexibilidad, los aforos de tránsito se efectuarán con frecuencia.

La velocidad o las velocidades para las que se diseña un sistema progresivo flexible, corresponderá con las que desarrolla el tránsito si se suprimen paradas para permitir circulaciones transversales y pasos de peatones. Después de que la corriente vehicular se haya adaptado al sistema progresivo, es posible aumentar la velocidad sin perjuicio de la seguridad.

Los sistemas progresivos en arterias urbanas, se regulan para velocidades que varían desde 30 hasta 60 km/h. Se dará atención a la relación de las velocidades de proyecto de los sistemas de semáforos y las velocidades legalmente permitidas.

En este caso el desfase entre semáforos puede tener cualquier valor y no necesariamente una función fija del ciclo común. Hoy en día el desfase puede ser diferente en distintos períodos del día (máxima demanda, valle, etc.), así como puede variar la repartición del verde. La supervisión de las unidades de control individuales en cada intersección se logra mediante un controlador maestro. Existen programas computacionales para sistemas progresivos, los cuales se pueden adaptar de acuerdo a las necesidades.

1.10.4. PLANES FIJOS Y PLANES DINÁMICOS PARA SEMÁFOROS

Con los avances tecnológicos que actualmente existen se ha sugerido que, en lugar de emplear planes fijos calculados con datos históricos, se dé solución a la demanda local en forma inmediata sin perder la coordinación, mediante sistemas dinámicos o adaptativos.

Para el buen funcionamiento de planes dinámicos se requiere:

- 1) Un gran número de detectores de tránsito.
- 2) Un buen modelo de comportamiento de los grupos de vehículos.
- 3) Equipos de cómputo con las características adecuadas, así como los programas de cómputo necesarios para analizar datos y elegir el mejor plan para el conjunto y no para cada intersección aislada.
- 4) Líneas de comunicación de capacidad suficiente y que no sean muy sensibles a interferencias externas.
- 5) Mecanismos para solucionar fallas en el equipo.

1.10.5. MÉTODO PROPORCIONAL

Es importante asignar a las diversas calles de una intersección el tiempo que corresponde a la señal de luz verde, según las demandas del tránsito. El método que se describe a continuación ha dado resultados satisfactorios.

Si los espaciamientos entre vehículos que salen de la intersección, medidos en tiempo durante la hora de máxima demanda de tránsito, son aproximadamente iguales en los carriles críticos de las calles que se interceptan, la repartición del ciclo con indicaciones de luz verde será mejor cuando los lapsos correspondientes a cada calle, se hacen directamente proporcionales a los volúmenes de tránsito en los carriles críticos.

Si durante la hora de máxima demanda existe una diferencia notable en los espaciamientos, medidos en tiempo, entre los vehículos de los dos carriles críticos, debido, por ejemplo, a la presencia de camiones y autobuses en sólo uno de dichos carriles, la división del ciclo con indicaciones de luz verde será mejor si los lapsos parciales se hacen proporcionales a los productos de volúmenes por espaciamientos en los carriles críticos de las calles que se cruzan.

Como ejemplo, se ha escogido un ciclo de 60 segundos y que el tiempo necesario para que los vehículos desalojen la intersección inmediatamente después de la indicación de luz verde, es de 5 segundos en cada vialidad; esto deja un total de 50 segundos de luz verde a dividirse entre las dos vialidades, deduce que los volúmenes V_A y V_B en los carriles críticos durante la hora de máxima demanda de tránsito en las calles A y B, son de 400 y 250 vehículos,

respectivamente, en el primer caso, asume que el espaciamiento entre vehículos para cada una de las calles es el mismo. Los tiempos aproximados T_A y T_B correspondientes a la indicación de luz verde, para las calles A y B, respectivamente, se obtienen como sigue:

$$T_A / T_B = 400 / 250 \text{ y } T_A + T_B = 50 \text{ segundos (tiempo total de luz verde)}$$

$$T_A / (50 - T_A) = 400 / 250 \text{ por lo tanto: } T_A = 31 \text{ s y } T_B = 50 - 31 = 19 \text{ s}$$

En el segundo caso, supongamos que el espaciamiento entre vehículos al arrancar en la calle A (E_A) es de tres segundos y el espaciamiento (E_B) en la calle B es de cinco segundos. La diferencia en espaciamiento se podría deber a un alto porcentaje de camiones en el carril crítico de la calle B. La división de los tiempos con indicaciones de luz verde se obtiene, en forma aproximada, como sigue:

$$T_A / T_B = (V_A \times E_A) / (V_B \times E_B) = (400 \times 3) / (250 \times 5)$$

$$T_A / (50 - T_A) = (400 \times 3) / (250 \times 5); T_A = 24 \text{ s y } T_B = 50 - 24 = 26 \text{ s}$$

Se debe insistir en que cálculos tan elementales como los anteriores, únicamente son un medio aproximado para determinar el tiempo que corresponde a cada calle. Otras consideraciones, tales como el tiempo necesario para cruces de peatones y las condiciones geométricas de la intersección, también afectan las amplitudes de los ciclos de los semáforos. Después de la elección inicial de la duración del ciclo y del programa de tiempos, se efectuarán frecuentes revisiones y estudios del semáforo en operación, para obtener el programa más adecuado.

Como regla general, ningún lapso de luz verde será menor que el tiempo necesario para que el grupo de transeúntes que espera el cambio de indicaciones pueda cruzar, excepto cuando se dispone de un intervalo especial para peatones. Los experimentos con tiempos de semáforos, en cuanto se refiere a circulación de vehículos, han demostrado que se puede alcanzar una excelente eficacia bajo ciertas condiciones de máxima demanda de tránsito, con lapsos de luz verde tan

breves como de 15 segundos; sin embargo, normalmente deben ser algo mayores para permitir a los peatones cruzar la calle con seguridad.

Cuando el tiempo para cruce de peatones coincide con el período de luz verde, éste debe ser lo suficientemente prolongado para que se disponga de no menos de 5 segundos en los que se indica a los peatones que pueden empezar a cruzar y lo suficientemente largo para permitir a los que ya empezaron a cruzar, llegar hasta una zona de seguridad. Para el cálculo del tiempo de luz verde para el cruce peatonal, se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$tVP = T \text{ mín}C + 5 - TIA$$

Dónde:

tVP = Tiempo en verde para el cruce peatonal.

TmínC = Tiempo mínimo requerido por el peatón para realizar el cruce

TIA = Tiempo del intervalo amarillo del semáforo vehicular

Por ejemplo, si se requieren 15 segundos para que los peatones crucen la calle o lleguen a una zona de seguridad ($T_{\text{mín}C}$) y el intervalo para despeje de vehículos (amarillo) es de 3 segundos (TIA), el intervalo total en luz verde debe ser, como mínimo, de $5+15-3=17$ segundos (Semáforos, 2014).

1.11 DETECTORES

1.11.1. PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO DE VEHÍCULOS

Un detector es cualquier dispositivo alámbrico o inalámbrico que registra y transmite los cambios que se producen en la cantidad de vehículos y las velocidades que se alcanzan en una determinada corriente del tránsito vehicular.

Los detectores normalmente forman parte integral de los semáforos accionados por el tránsito, que difieren de los no accionados en que estos últimos no necesitan unidades detectoras. Sin embargo, existen también detectores que tienen una aplicación especial como los utilizados para peatones, vehículos de emergencia y del ferrocarril.

Los detectores de uso común para semáforos accionados por el tránsito son de presión, magnéticos, de frecuencia y de video.

Los sistemas de video-detección destacan actualmente por su versatilidad y precisión, los cuales además de servir para el control del tránsito ayudan en aspectos de seguridad (Infraestructura, Semáforos, 2014).

1.11.2. UBICACIÓN DE DETECTORES DE PRESIÓN Y MAGNÉTICOS

1) Longitudinal

La ubicación de los detectores de vehículos, respecto de la Raya de alto M-6, se determina después de efectuar un estudio cuidadoso, tomando en consideración todos los factores que intervienen, inclusive tipo y características de funcionamiento del control, velocidades de acceso de los vehículos, pendientes y anchura de la carretera o vialidad urbana, visibilidad, entradas de vehículos y carriles exclusivos en las vueltas. Para equipo de control parcial y totalmente accionado por el tránsito, se podrá usar la Tabla 1 como guía.

TABLA 1. Ubicación de detectores para equipo de control parcial y totalmente accionado por el tránsito.

Velocidad que comprende el 85% del tránsito en el acceso (km/h)	Distancia a la Raya de alto M-6 (m)*	Período inicial mínimo aproximado (s)	Extensión de tiempo mínimo aproximado (s)**
Menor de 32	34.00	11	4
32 a 48	43.00	15	4
49 a 64	52.00	18	4
Mayor a 64	64.00 o mayor	23	4

* Distancia para accesos de uno y de dos carriles a nivel. Para anchuras mayores y con visibilidad no restringida, las distancias se pueden aumentar del 10 al 15 %.

** La suma del período inicial más una extensión de tiempo, es el período mínimo con indicación de luz verde.

Las dos últimas columnas de la tabla, indican el tiempo mínimo a que se fijará al control para diversas distancias entre el detector y la Raya de alto M-6. Estos períodos mínimos sirven para que los vehículos que accionan el detector, reciban la indicación de luz verde hasta el límite máximo para el intervalo de la

luz verde en el acceso correspondiente. Un espaciamiento corto entre el detector y la Raya de alto M-6, permitirá usar valores menores con reacciones más rápidas del control. Un espaciamiento mayor, por otra parte, le permitirá al control reaccionar con respecto de un vehículo más distante y a veces evitar un “ALTO” innecesario, mediante un período adicional de luz verde o una extensión del período normal, antes de que el vehículo llegue a la Raya de alto M-6.

Si existen entradas de vehículos a predios comerciales cerca de un detector, a veces resulta conveniente apartarse un poco de las distancias dadas por la tabla. Sin embargo, si la entrada está relativamente cerca de la Raya de alto M-6, conviene instalar un detector especial por el que tengan que pasar los vehículos que salen del predio. Éste será un detector de advertencia que funcione únicamente cuando hay luz roja. Este arreglo permitirá al control funcionar normalmente con el detector de advertencia y a la vez asegurar que el tránsito de la salida comercial pueda pedir el derecho de paso cuando no haya otra circulación.

2) Transversal

Los detectores de presión y los magnéticos compensados se colocarán transversalmente en la carretera o vialidad urbana de manera que una o más ruedas de todos los vehículos que se aproximan a la intersección pasen sobre ellos. Los primeros se colocarán al ras del pavimento, mientras que los segundos se instalarán en ductos bajo la superficie de rodamiento a una profundidad que variará entre 15 y 30 cm.

El detector de presión más cercano al eje del arroyo vial, se localizará con un extremo aproximadamente a 90 cm del eje. En accesos con varios carriles o en vías de un sólo sentido, por lo general, será necesario colocar un detector en cada carril con una distancia libre entre detectores no mayor de 1.20 m. Se hace notar que los controles adaptables a la densidad del tránsito, en algunos casos podrán funcionar eficazmente por medio de detectores instalados únicamente en el carril que se seleccione de cada acceso, como se muestra en la Figura 9.

La ubicación de un detector magnético compensado, será aproximadamente la misma que la del detector de presión; pero se tomará en

cuenta que la sensibilidad del primero se extiende alrededor de 15 cm, por fuera de cada extremo.

El detector magnético no compensado, cuando se ajusta para su mayor alcance, no tiene un punto bien definido hasta el cual se extiende su sensibilidad, a menos que se necesite un alcance muy amplio; la ubicación recomendable es de 15 a 30 cm debajo del pavimento, en la línea por la que normalmente viajan las ruedas derechas del vehículo. Este tipo de detectores es inapropiado para registrar vehículos en un sólo carril.

3) Para controles adaptables a la densidad del tránsito

En los controles de densidad de tránsito será indispensable dejar distancias relativamente grandes entre el detector y la Raya de alto M-6 (Como lo muestra la figura 10 y 11), puesto que, en ese tipo de control, gran parte de su eficacia depende de su capacidad para recibir la información del tránsito que se aproxima, con la mayor anticipación posible. A condiciones normales, las distancias que aparecen en la Tabla 2, han resultado satisfactorias. Si se necesita una mayor separación de grupos de vehículos, los espaciamientos podrán aumentarse en un 20 %.

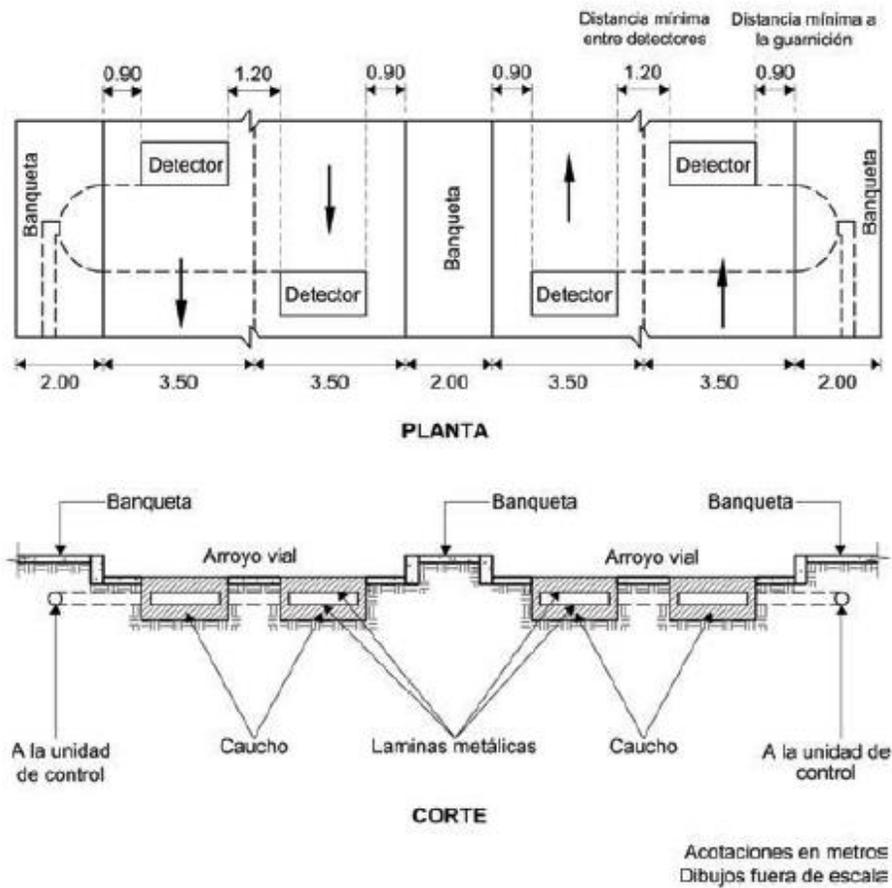


FIGURA 9. Ubicación transversal de los detectores de presión.

TABLA 2. Ubicación de detectores para controles de densidad de tránsito.

Velocidad que comprende el 85% del tránsito en el acceso (km/h)	Distancia a la Raya de alto M-6 (m)
32 a 48	73.00
49 a 64	82.00
65 a 80	96.00
Mayor de 80	114.00 o mayor

(Semáforos, 2014).

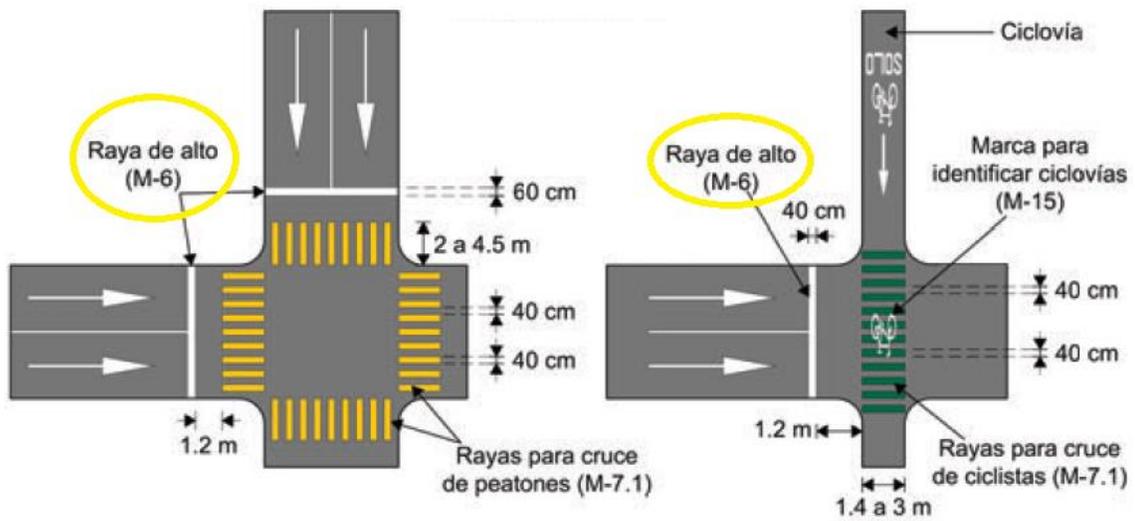


FIGURA 10. Carreteras con dos o más carriles por sentido de circulación y vías primarias, donde se muestra la raya de alto (M-6).

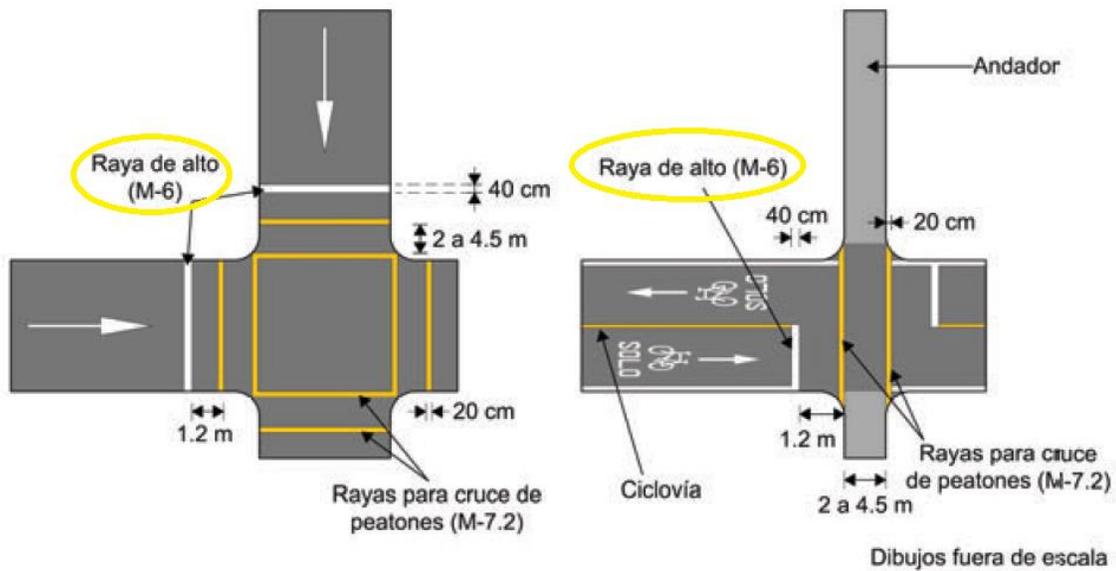


FIGURA 11. Cruce de peatones y de ciclistas, donde se muestra la raya de alto (M-6).

(Señalamiento Horizontal, 2014).

1.12 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SEMÁFOROS INTELIGENTES.

Los semáforos inteligentes también llamados adaptativos (porque se puede manipular su manejo), funcionan de la siguiente manera:

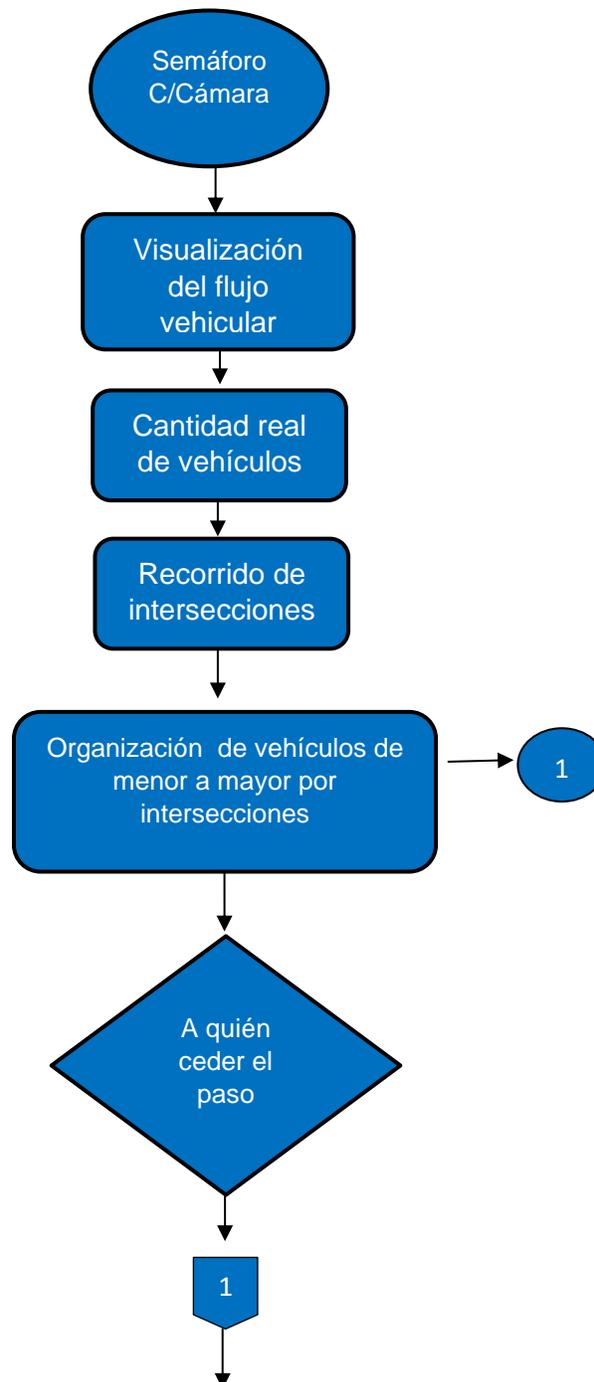
Primeramente, se cuentan con cámaras instaladas en cada brazo del semáforo para poder observar el flujo vehicular, esto se realiza por medio de un sensor ubicado en las mismas; el cual proporciona una amplia visión de los autos y desde una cabina se observa para así dar paso al sentido de circulación con más automóviles y se desahogue el tráfico.

La cabina que se menciona en el párrafo anterior, es una central donde hay un computador con un programa especial que los hace funcionar. En este lugar hay personas de tránsito que llevaron un curso de capacitación del sistema inteligente y que monitorean constantemente por medio de la imagen de las cámaras la efectividad de los semáforos en las vías.

El sistema visualiza por cada semáforo la cantidad real de vehículos que se encuentran en el cruce, de manera parecida a como si cuantificara de manera manual. Luego de recorrer todas las intersecciones y de capturar la cantidad de vehículos que se encuentren por cada semáforo, se organizan de menor a mayor. Así crea la primera generación de los ciclos verde y rojo, y el del tiempo del ciclo amarillo se ha determinado como una constante con un valor de un segundo.

Al crear la primera generación de ciclos verde y rojo, se revisa si se disminuye el tráfico, si no aminora se examinan las intersecciones prioritarias organizando de nuevo de menor a mayor la cantidad de vehículos, para también darles ciclos verdes y continuar descongestionando las intersecciones, y así dar captura de la densidad del tráfico, verificar los cambios, actualizar tiempos y se vuelve a iniciar el proceso, para pasar a una segunda generación de ciclos.

A continuación se describe el sistema del semáforo inteligente con un diagrama de flujo:



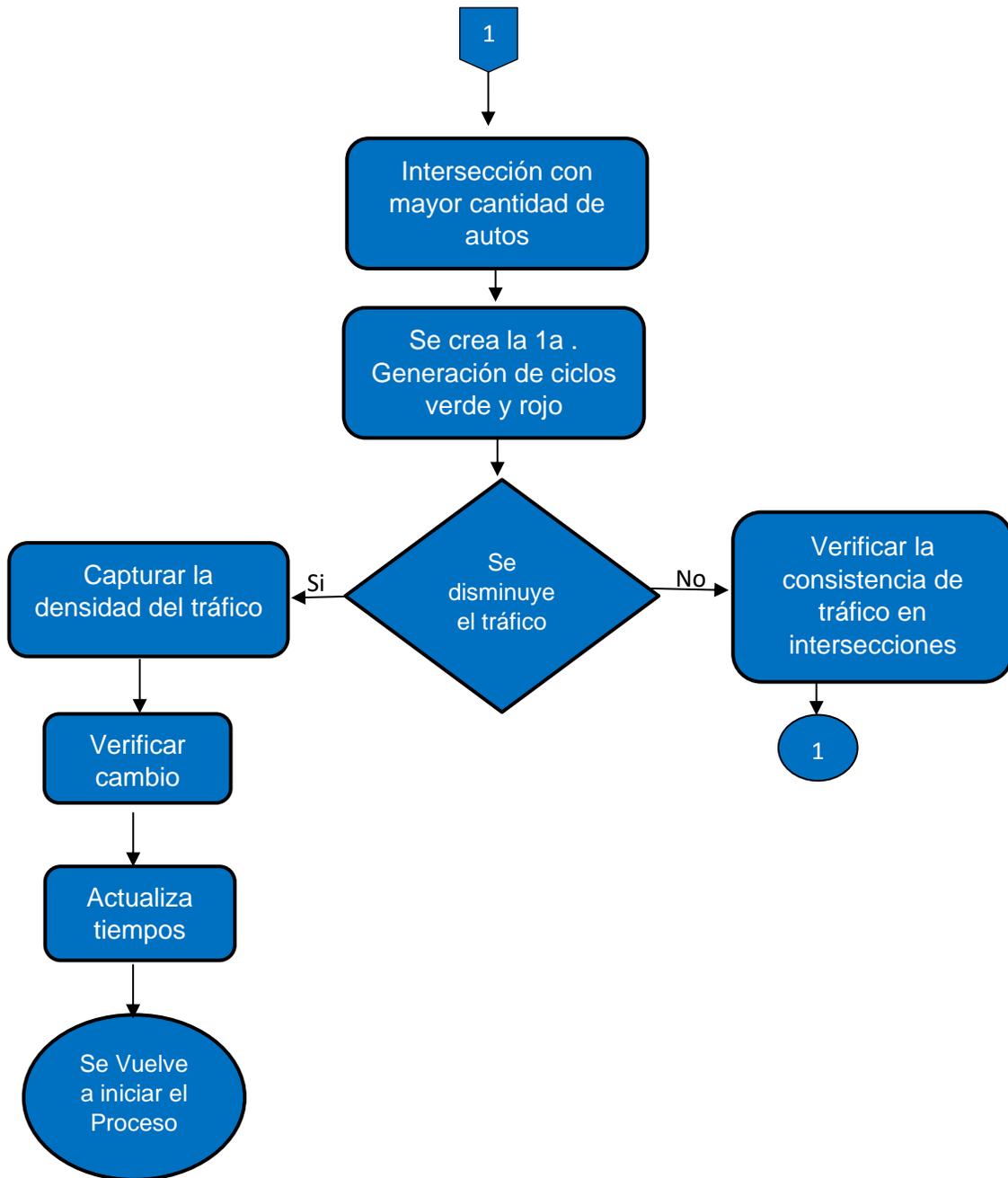


FIGURA 12. Diagrama de flujo del semáforo inteligente.

1.13 ALGORITMO GENÉTICO DEL SEMÁFORO INTELIGENTE

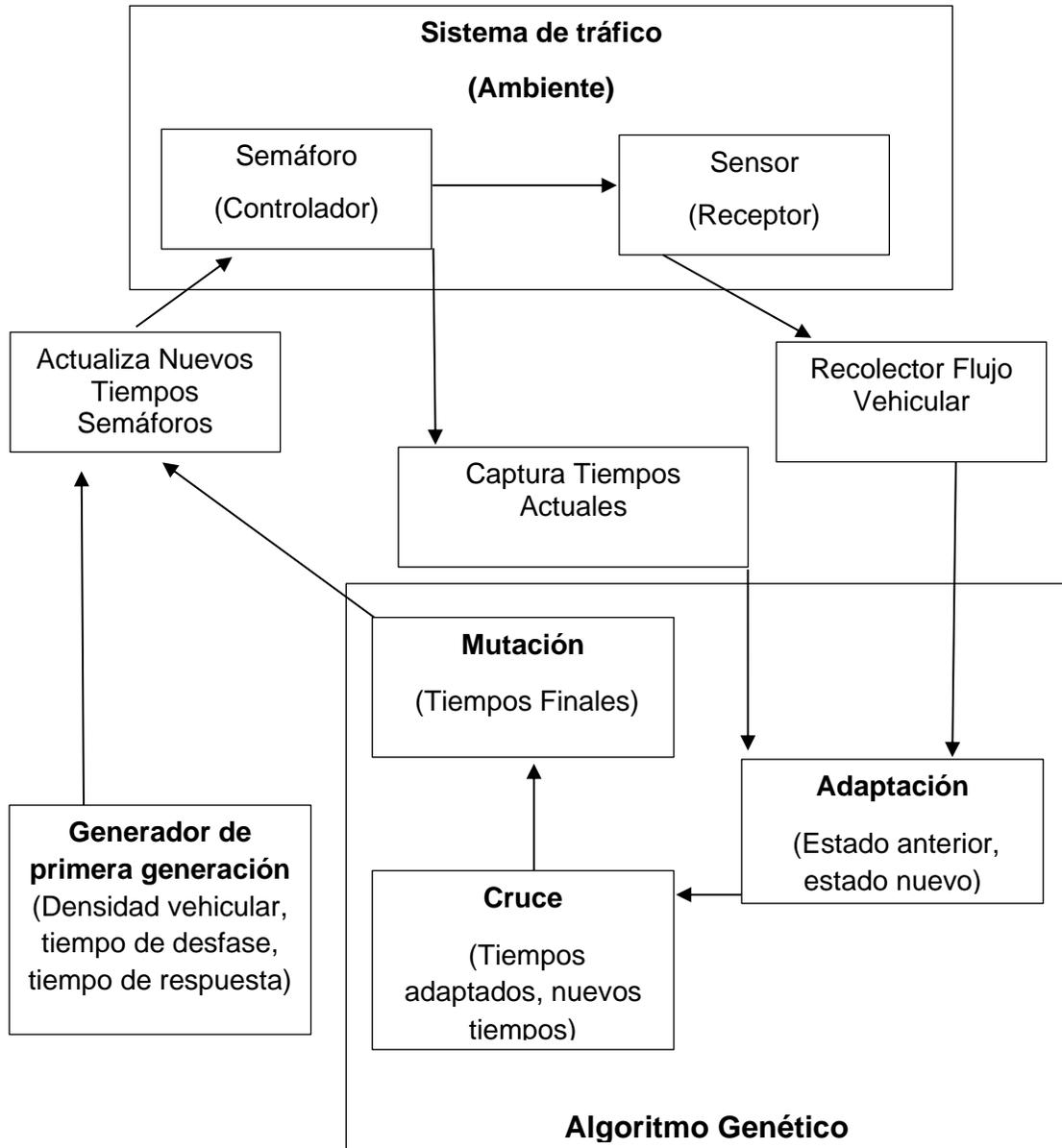


FIGURA 13. Algoritmo Genético

Los algoritmos genéticos proveen un método de aprendizaje que simula un proceso evolutivo que es sometido a cruces y a la mutación de los individuos --en este caso los tiempos de ciclo rojo y verde de los semáforos—, además de una selección de los tiempos que mejor se adaptan al sistema de tráfico. Se toman las dos mejores opciones adaptadas de un semáforo y son cruzadas, de manera que el tiempo resultante del cruce, a su vez, es mutado; luego es actualizado en el sistema de semaforización y posteriormente es pasado por la función de adaptación para determinar si se acomoda positivamente en el sistema.

Los métodos de selección y adaptación para cada tiempo de ciclo aplicado en un semáforo determinan si continúa en el algoritmo y es cruzado o si es desechado.

De esta forma se crean nuevos individuos (tiempos de ciclo) a partir de los operadores genéticos dentro de una población y por eso el cruce y la mutación son tan importantes en el algoritmo.

El cruce toma los dos individuos que mejor se adaptaron y los cruza mediante el intercambio de material genético, en este caso los bits de la cantidad de tiempo de ciclo para cada semáforo. La mutación voltea bits aleatorios dentro de la población con una pequeña probabilidad, así se genera diversidad en la población, y el sistema aprende de los tiempos de ciclo que son mejores y busca constantemente un resultado óptimo.

Se utilizó el estándar de un punto de cruce en cadenas de longitud fija para realizar el cruce, el cual está dado de manera aleatoria en la cadena de bits. Por ejemplo, cada tiempo de ciclo está representado con una cadena de ocho bits que corresponden a su material genético, de esta manera en el cruce se toma una parte de este material de uno de los padres, y otra parte del material del otro padre. Su combinación da el resultante de una nueva cadena de ocho bits; luego, en la mutación, es tomado un bit aleatorio denominado gen y este es mutado, cambiando el bit a su inverso.

**CAPITULO II.
MARCO METODOLÓGICO**

2.1 PRINCIPALES ACTIVIDADES DE LA METODOLOGÍA



FIGURA 14. Principales actividades de la Metodología.

La metodología a emplear es la siguiente: investigación cuantitativa, explicativa, descriptiva e investigación de campo.

- La investigación Cuantitativa descrita por Roberto Hernández Sampieri (2006) como cuando se da por aludido al ámbito estadístico, es en esto en lo que se fundamenta dicho enfoque, en analizar una realidad objetiva a partir de mediciones numéricas y análisis estadísticos para determinar predicciones o patrones de comportamiento del fenómeno o problema planteado. Este enfoque utiliza la recolección de datos para comprobar hipótesis, que es importante señalar, se han planteado con antelación al proceso metodológico; con un enfoque cuantitativo se plantea un problema y preguntas concretas de lo cual se derivan las hipótesis. Otra de las características del enfoque cuantitativo es que se emplean experimentaciones y análisis de causa-efecto, también se debe resaltar que este tipo de investigación conlleva a un proceso secuencial y deductivo. Al término de la investigación se debe lograr una generalización de resultados, predicciones, control de fenómenos y la posibilidad de elaborar réplicas con dicha investigación.

En este método se podrá analizar con los aforos vehiculares y peatonales cómo es el flujo de la prolongación en investigación, obteniendo resultados para determinar si la hipótesis planteada se podrá cumplir, ya que menciona que al poner en práctica los semáforos inteligentes en Nogales, Sonora podrá solucionar problemas de movilidad vehicular, peatonal y disminución de la contaminación.

- La investigación explicativa la define Arias (2016) como la encargada de buscar el por qué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de

hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos.

Con respecto al párrafo anterior este método ayuda en la investigación para determinar las causas y consecuencias que provocan las afluencias vehiculares, ya que no sólo busca el qué, si no el por qué de las cosas.

- Por otra parte Arias (2016) expresa que la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de conocer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos que se refiere.

También conocida como investigación estadística, provee una acción precisa de las características de una situación. Estos estudios son una forma de descubrir nuevos significados describiendo lo que existe, determinando la frecuencia con la que algo ocurre y categorizando información. Por lo tanto, es un método importante para explicar y especificar la manera en que se están realizando los aforos vehiculares y peatonales ya que describe el procedimiento del mismo.

La figura 15 señala el formato utilizado para la realización de los aforos vehiculares y peatonales el cual contiene un primer apartado que se llena con datos generales de la intersección a investigar y un segundo apartado donde se clasifica el transporte vehicular, así como también hay una celda para anotar cuanto peatón transita; la figura 16 muestra el contador utilizado para el conteo vehicular, el cual es de mucha ayuda para un conteo generalmente fugaz, ya que cuando los automóviles pasan a una cierta velocidad, por distracción se pudiera perder la cuenta si fuese mental.

- La Investigación de campo la define Arias (2016) como: “Aquello que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes”. De ahí su carácter de investigación experimental.

Al ser este tipo de investigación una recopilación de información fuera de un laboratorio o lugar de trabajo este método fundamenta la búsqueda de datos en los semáforos ubicados en Boulevard Luis Donaldo Colosio, tanto con el conteo de vehículos que la transitan por calle propuesta, como con los aforos de peatones; para indagar en la realidad, del por qué se necesita un Nogales inteligente (Smart city), con nuevos usos de tecnologías como lo son los semáforos inteligentes.

Dentro de esta investigación también es importante la realización de encuestas para saber qué tan importante le parece a la gente la instalación de estos nuevos sistemas de semáforos.

2.2 DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL Y POBLACIÓN DE NOGALES SONORA

El municipio está ubicado en el norte del Estado de Sonora, su cabecera es la población de Nogales y se localiza en el paralelo 31°18' de latitud norte y el meridiano 110°56' de longitud al oeste de Greenwich, a una altura de 1,200 metros sobre el nivel del mar. Colinda al norte con los Estados Unidos de Norteamérica y con los siguientes municipios: al este con Santa Cruz, al sur con Imuris y Magdalena, al oeste con Saric.

Posee una superficie de 1,754.2 kilómetros cuadrados, que representan el 0.89 por ciento del total estatal y el 0.08 por ciento en relación a la nación, cuenta con un total de 108 localidades (México).

La población intercensal 2015 muestra para Nogales un total de 233, 952 habitantes de los cuales 115, 994 son hombres y 117,958 son mujeres (Población, 2015).

2.3 CÁLCULO DE LA MUESTRA POBLACIONES FINITAS

Para el cálculo de tamaño de muestra cuando el universo es finito, es decir contable y la variable de tipo categórica, primero debe conocer "N" o sea el número total de casos esperados.

Si la población es finita, es decir conocemos el total de la población y deseásemos saber cuántos del total tendremos que estudiar la fórmula sería:

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q}$$

Dónde:

N = Total de la población

$Z\alpha$ = 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)

p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)

q = 1 - p (en este caso 1 - 0.05 = 0.95)

d = precisión (en su investigación use un 5%).

Según diferentes seguridades el coeficiente de $Z\alpha$ varía, así:

- Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 90% el coeficiente sería 1.645
- Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 95% el coeficiente sería 1.96
- Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 97.5% el coeficiente sería 2.24
- Si la seguridad $Z\alpha$ fuese del 99% el coeficiente sería 2.576

$$n = \frac{233952 * 1.96^2 * 0.05 * 0.95}{0.05^2 * (233952 - 1) + 1.96^2 * 0.05 * 0.95}$$

$$n = 72.97 \text{ ENCUESTAS}$$

$$n \cong 73 \text{ ENCUESTAS}$$

Sin embargo, se logran 250 encuestas realizadas.

CAPITULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN AFOROS VEHICULARES

Los resultados de los aforos se señalan a continuación en las tablas de la 3 a la 17, en ellos se puede observar que hay un flujo vehicular que no se detiene en ninguna hora considerando principalmente las horas en las que se realizó la investigación, esto también dependiendo del cruce. Por ejemplo, donde se observa un alto nivel de tránsito vehicular con más de mil vehículos, incluyendo transporte urbano, tráileres entre otros, son en los cruces: Periférico - Del Crepúsculo, en los sentidos Norte-Sur, Sur-Norte, mencionado cruce cuenta con bastante cruce de peatón los fines de semana, ya que se encuentra del lado Este un tianguis muy concurrido por los Nogalenses; Periférico – Entrada I.T.N, sentido Norte-Sur; Periférico – John F. Kennedy, en los sentidos Norte-Sur, Sur-Norte, así como también cuenta con un amplio cruce peatonal, debido a que se encuentran dos paradas de autobús, una del lado Este y otra del lado Oeste y la mayor parte de la gente que baja del transporte público cruza para ingresar al Tecnológico Nacional De México (ITN), esto en periodo escolar; así como también acuden a locales que se encuentran en la acera. Periférico - Bustamante, en los sentidos Norte a Sur, Sur a Norte; Periférico -Ballardo, en el sentido Sur a Norte; Periférico - Industrial, en los sentidos Norte a Sur, Sur a Norte; Periférico-Gral. Francisco R., en los sentidos Norte a Sur, Sur a Norte; Periférico-Gregorio Ruíz, en los sentidos Norte a Sur, Sur a Norte; Periférico - Gral. Lauro Villa, en los sentidos Norte a Sur, Sur a Norte.

Las intersecciones restantes también cuentan con bastante flujo vehicular pero no pasan de los mil automóviles por hora; Periférico – Con Blvd. Pueblitos, en el sentido que más circulan carros es de Norte a Sur, con 842 vehículos, sin

ser hora pico. Periférico – Andador 24, en el sentido Norte a Sur con 879 automóviles, sentido Sur a Norte con 974 vehículos, esta intersección tiene bastante flujo peatonal, ya que se encuentra una fábrica que cuenta con varios turnos de trabajo. Periférico – Av. Hidalgo, en el sentido Norte a Sur con 819 automóviles, sentido Sur a Norte con 828 vehículos y Periférico –Prolongación Obregón, sentido Sur a Oeste 694 vehículos.

La figura 17 señala en el mapa de la ciudad el crucero investigado, boulevard Luis Donaldo Colosio. Donde cada punto marca los semáforos que tiene una intersección.

A continuación, se indican los tiempos de duración con los que se cuenta actualmente en los semáforos de los cruceros investigados.

- Periférico - Del Crepúsculo, en la dirección Norte a Sur, cuenta con un tiempo en la luz verde de 1:00:12 min. y en la luz roja con 1:05:40 min; Sur a Norte, luz verde 1:22:32 min, luz roja 00:49:92 min; Sur a Oeste, luz verde 00:17:00 min, luz roja 1:45:26 min y Oeste a Sur, luz verde 00:22:27 min y la luz roja 1:45:26 min.
- Periférico – Entrada I.T.N, en la dirección Norte a Sur, cuenta con un tiempo en la luz verde de 00:39:21 min. y en la luz roja con 00:37:56 min; Oeste a Norte, luz verde 00:09:74 min, luz roja 1:07:00 min y de Sur a Oeste, luz verde 00:15:59 min y la luz roja 1:05:00 min.
- Periférico – John F. Kennedy, en la dirección Norte a Sur, cuenta con un tiempo en la luz verde de 1:28:35 min. y en la luz roja con 1:36:58 min; Sur a Norte, luz verde 1:28:35 min, luz roja 1:36:58 min; Este a Oeste, luz verde 00:35:53 min, Oeste a Este, luz verde 00:18:63 min y de Sur a Sur, la luz verde dura 00:27:46 min.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Periférico -Ballardo, en la dirección Este a Norte, cuenta con un tiempo en la luz verde de 00:22:31 min. y en la luz roja con 1:50:34 min y de Sur a Norte, luz verde 1:16:22 min y la luz roja 00:56:05 min.
- Periférico – Industrial, en la dirección Norte a Este, cuenta con un tiempo en la luz verde de 00:15:38 min. y en la luz roja con 00:45:00 min; Sur a Norte, luz verde 1:43:11 min, luz roja 00:39:00 min y de Norte a Sur, luz verde 1:06:57 min y la luz roja 1:18:00 min.
- Periférico-Gral. Francisco R, los tiempos de este cruce se relacionan con la duración del semáforo de intersección Bustamante, así como también los cruces, Gregorio Ruíz y Gral. Lauro Villa, dado a que se encuentran continuos; siendo la duración la siguiente en la dirección Norte a Sur, cuenta con un tiempo en la luz verde de 1:10:97 min. y en la luz roja con 00:53:03 min; Sur a Norte, luz verde 1:10:57 min, luz roja 00:53:03 min; Este a Sur, sólo para calle Bustamante, luz verde 00:25:00 min, luz roja 1:42:10 min y Norte a Este, sólo para calle Bustamante luz verde 00:21:39 min y la luz roja 1:10:57 min.
- Periférico – Blvd. Pueblitos, en la dirección Norte a Sur, cuenta con un tiempo en la luz verde de 00:21:32 min. y en la luz roja con 1:20:45 min; Oeste a Este, luz verde 1.20:47 min, luz roja 00:15:52 min y de Sur a Oeste, luz verde 00:59:52 min y la luz roja 00:41:16 min.
- Periférico – Andador 24, en la dirección Norte a Sur, cuenta con un tiempo en la luz verde de 1:39:29 min. y en la luz roja con 00:39:44 min y de Sur a Este, luz verde 00:14:47 min y la luz roja 2:05:10 min.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Periférico – Av. Hidalgo, en la dirección Norte a Sur, cuenta con un tiempo en la luz verde de 1:01:07 min. y en la luz roja con 1:04:13 min; Sur a Oeste, luz verde 00:15:40 min y Oeste a Este, luz verde 00:47:57 min y la luz roja 1:19:00 min.
- Periférico –Prolongación Obregón, en la dirección Sur a Oeste, cuenta con un tiempo en la luz verde de 00:38:00 min. y en la luz roja con 1:28:00 min; Oeste a Este, luz verde 00:17:56 min, luz roja 1:50:04 min y de Este a Oeste, luz verde 00:17:56 min y la luz roja 1:50:30 min.

La figura 18, mapa de Nogales que contiene los nombres de las intersecciones de boulevard Luis Donaldo Colosio, que se utilizaron para la investigación.

La figura 19, comprende los resultados de los aforos generados del tráfico y peatón, en boulevard Luis Donaldo Colosio. Estos se muestran con una pequeña grafica en cada intersección y con la simbología se detalla que fue más transcurrido, si automóviles, transporte urbano, tráileres, motocicleta o bicicleta.



Figura 17. Mapa de Nogales, señalando el cruce investigado, boulevard Luis Donaldo Colosio.

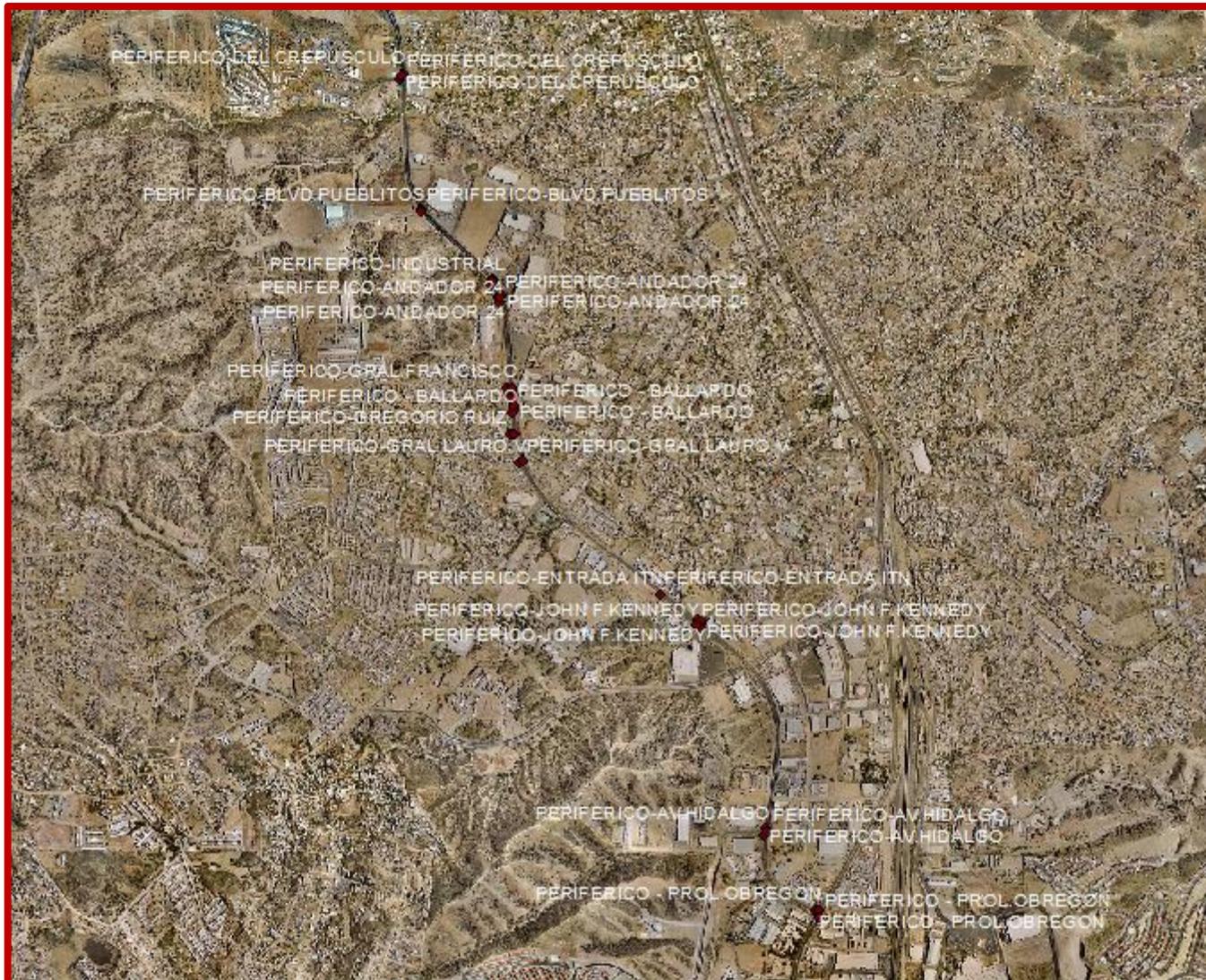


Figura 18. Mapa de Nogales, con los nombres de las intersecciones de boulevard Luis Donaldo Colosio.

TABLA 3: Aforos vehiculares en periférico con intersección en calle del crepúsculo.

PERIFÉRICO - DEL CREPÚSCULO								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MIN	H:MIN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Norte - Sur	02:13:00 p. m.	03:13:00 p. m.	1409	7	0	14	1	84
Sur - Norte	02:13:00 p. m.	03:13:00 p. m.	1239	6	8	9	3	272
Oeste - Sur	01:45:00 p. m.	02:45:00 p. m.	239	3	1	2	2	36
Norte - Sur	05:12:00 p. m.	06:12:00 p. m.	837	4	2	9	1	0
Sur - Norte	05:12:00 p. m.	06:12:00 p. m.	658	4	0	8	1	397
Sur - Oeste	01:55:00 p. m.	02:55:00 p. m.	184	0	0	0	0	484

TABLA 4: Aforos vehiculares en periférico con intersección con calle John F. Kennedy.

PERIFÉRICO - JOHN F. KENNEDY								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MIN	H:MIN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Norte - Sur	06:29:00 p. m.	07:28:00 p. m.	1467	13	13	11	1	0
Oeste - Este	07:33:00 p. m.	08:29:00 p. m.	105	0	0	1	0	82
Sur - Sur	07:33:00 p. m.	08:29:00 p. m.	64	0	0	0	0	0
Norte - Este	07:39:00 p. m.	08:29:00 p. m.	121	0	0	0	0	0
Este - Oeste	07:35:00 p. m.	08:28:00 p. m.	295	2	0	2	0	94
Sur - Norte	06:30:00 p. m.	07:29:00 p. m.	1465	13	18	6	0	0

TABLA 5: Aforos vehiculares en periférico con intersección en entrada del instituto tecnológico de Nogales.

PERIFÉRICO - ENTRADA ITN								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MIN	H:MIN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Norte - Sur	03:07:00 p. m.	03:59:00 p. m.	1266	21	36	5	0	0
Oeste - Norte	03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	117	0	0	1	0	0
Sur - Oeste	03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	100	0	0	0	0	0
Oeste - Este	03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	0	0	0	0	0	5
Sur - Oeste	07:04:00 p. m.	08:04:00 p. m.	76	0	0	0	0	0
Oeste - Norte	07:03:00 p. m.	08:04:00 p. m.	22	0	0	1	0	0
Norte - Sur	07:03:00 p. m.	08:04:00 p. m.	1030	6	9	5	0	0
Oeste - Este	07:04:00 p. m.	08:04:00 p. m.	0	0	0	0	0	11
Sur - Oeste	07:50:00 p. m.	08:51:00 p. m.	87	0	0	0	0	0
Oeste - Norte	07:03:00 p. m.	08:04:00 p. m.	23	0	0	1	0	0
Norte - Sur	07:03:00 p. m.	08:04:00 p. m.	870	2	6	8	1	0

TABLA 6: Aforos vehiculares en periférico con intersección en Avenida Hidalgo.

PERIFÉRICO - AVENIDA HIDALGO								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MIN	H:MIN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Norte - Sur	06:56:00 p. m.	07:56:00 p. m.	784	8	24	2	1	0
Sur - Norte	07:26:00 p. m.	07:59:00 p. m.	791	11	21	5	0	0
Oeste - Este	06:40:00 p. m.	07:41:00 p. m.	352	2	0	3	0	0
Sur - Oeste	06:40:00 p. m.	07:41:00 p. m.	43	0	10	0	0	0

TABLA 7: Aforos vehiculares en periférico con intersección en Blvd. Pueblitos.

PERIFÉRICO - BLVD. PUEBLITOS								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MIN	H:MIN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Norte - Sur	07:08:00 p. m.	08:08:00 p. m.	881	1	1	3	0	0
Oeste - Este	07:08:00 p. m.	08:08:00 p. m.	156	1	0	1	0	0
Sur - Oeste	06:40:00 p. m.	07:41:00 p. m.	113	1	0	2	0	0
Norte - Sur	06:51:00 p. m.	07:50:00 p. m.	784	8	24	2	1	0
Oeste - Este	06:52:00 p. m.	07:53:00 p. m.	142	1	0	1	1	0
Sur - Oeste	06:52:00 p. m.	07:50:00 p. m.	352	2	0	3	0	0
Norte - Sur	06:44:00 p. m.	07:45:00 p. m.	784	8	24	2	1	0
Oeste - Este	06:44:00 p. m.	07:45:00 p. m.	153	1	1	0	0	0
Sur - Oeste	06:44:00 p. m.	07:44:00 p. m.	136	1	0	0	0	0

TABLA 8: Aforos vehiculares en periférico con intersección en calle Bustamante.

PERIFÉRICO - BUSTAMANTE								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MN	H:MN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Este - Sur	06:37:00 p. m.	07:38:00 p. m.	235	1	1	3	0	0
Norte - Este	06:37:00 p. m.	07:38:00 p. m.	178	1	1	2	0	0
Sur - Norte	03:06:00 p. m.	04:07:00 p. m.	1443	11	6	12	0	0
Norte - Sur	03:07:00 p. m.	04:07:00 p. m.	1589	5	13	11	1	0
Sur - Norte	07:57:00 p. m.	08:58:00 p. m.	1051	1	8	5	1	0
Norte - Sur	07:57:00 p. m.	08:58:00 p. m.	965	2	7	4	0	0

TABLA 9: Aforos vehiculares en periférico con intersección en calle Ballardo.

PERIFÉRICO - BALLARDO								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MN	H:MN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Este - Norte	06:39:00 p. m.	07:41:00 p. m.	228	2	1	5	0	0
Sur - Norte	06:39:00 p. m.	07:42:00 p. m.	1288	9	25	9	0	0
Este - Norte	02:40:00 p. m.	03:41:00 p. m.	181	0	1	0	0	0
Sur - Norte	02:39:00 p. m.	03:40:00 p. m.	1310	14	5	12	1	0
Norte - Este	02:39:00 p. m.	03:40:00 p. m.	55	0	0	0	1	0

TABLA 10: Aforos vehiculares en periférico con intersección en calle Industrial.

PERIFÉRICO - INDUSTRIAL								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MIN	H:MIN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Norte - Este	04:27:00 p. m.	05:27:00 p. m.	34	0	0	3	0	0
Sur - Norte	03:24:00 p. m.	04:24:00 p. m.	1134	13	4	8	2	0
Norte - Sur	03:24:00 p. m.	04:24:00 p. m.	1323	10	11	4	0	0
Este - Sur	04:26:00 p. m.	05:26:00 p. m.	326	0	0	6	0	0
Norte - Este	06:42:00 p. m.	07:44:00 p. m.	30	1	0	1	0	0
Sur - Norte	06:43:00 p. m.	07:43:00 p. m.	1022	5	3	2	0	0
Norte - Sur	06:43:00 p. m.	07:46:00 p. m.	1203	9	4	3	0	0
Este - Sur	06:42:00 p. m.	07:43:00 p. m.	414	8	5	3	0	0
Norte - Este	05:16:00 p. m.	06:18:00 p. m.	24	0	0	1	0	0
Sur - Norte	05:17:00 p. m.	06:17:00 p. m.	489	5	0	7	0	0
Norte - Sur	05:17:00 p. m.	06:17:00 p. m.	480	6	0	7	1	0
Este - Sur	05:19:00 p. m.	06:18:00 p. m.	142	0	0	3	0	0

TABLA 11: Aforos vehiculares en periférico con intersección en Prol. Obregón.

PERIFÉRICO - PROLONGACIÓN OBREGÓN								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MN	H:MN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Este - Oeste	07:01:00 p. m.	08:02:00 p. m.	154	1	1	2	0	0
Sur - Oeste	07:01:00 p. m.	08:02:00 p. m.	615	3	20	2	2	0
Oeste -Este	07:01:00 p. m.	08:01:00 p. m.	69	0	1	0	0	0
Este - Oeste	07:13:00 p. m.	08:14:00 p. m.	127	2	2	0	0	0
Sur - Oeste	07:12:00 p. m.	08:13:00 p. m.	690	5	16	6	0	0
Oeste -Este	07:14:00 p. m.	08:14:00 p. m.	81	0	0	0	0	0
Este - Oeste	07:02:00 p. m.	08:02:00 p. m.	110	2	1	0	0	0
Sur - Oeste	07:02:00 p. m.	08:03:00 p. m.	91	1	0	1	0	0
Oeste -Este	07:02:00 p. m.	08:02:00 p. m.	681	6	32	4	0	0

TABLA 12: Aforos vehiculares en periférico con intersección en Andador 24.

PERIFÉRICO - ANDADOR 24								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MN	H:MN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Norte - Sur	05:33:00 p. m.	06:34:00 p. m.	681	17	13	13	6	149
Sur - Norte	05:48:00 p. m.	06:49:00 p. m.	618	9	16	12	0	319
Sur - Este	05:36:00 p. m.	06:36:00 p. m.	124	1	4	2	0	0
Este - Oeste	05:34:00 a. m.	06:35:00 p. m.	230	4	0	0	2	0

TABLA 13: Aforos vehiculares en periférico con intersección en Gral. Francisco R.

PERIFÉRICO - GRAL. FRANCISCO R								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MIN	H:MIN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Norte - Sur	03:07:00 p. m.	04:07:00 p. m.	1589	5	13	11	1	0
Sur - Norte	03:06:00 p. m.	04:07:00 p. m.	1443	11	6	12	0	0

TABLA 14: Aforos vehiculares en periférico con intersección en Gregorio Ruíz.

PERIFÉRICO - GREGORIO RUIZ								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MIN	H:MIN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Norte - Sur	03:07:00 p. m.	04:07:00 p. m.	1589	5	13	11	1	0
Sur - Norte	06:39:00 p. m.	07:42:00 p. m.	1288	9	25	9	0	0

TABLA 17: Aforos vehiculares en periférico con intersección en Gral. Lauro Villa.

PERIFÉRICO - GRAL. LAURO VILLA								
SENTIDO DE CIRCULACIÓN	LAPSO		CLASIFICACIÓN					
	H:MIN	H:MIN	AUTOMÓVILES	TRANSPORTE URBANO	TRÁILER	MOTOCICLETA	BICICLETA	PEATÓN
Norte - Sur	03:07:00 p. m.	04:07:00 p. m.	1589	5	13	11	1	0
Sur - Norte	06:39:00 p. m.	07:42:00 p. m.	1288	9	25	9	0	0

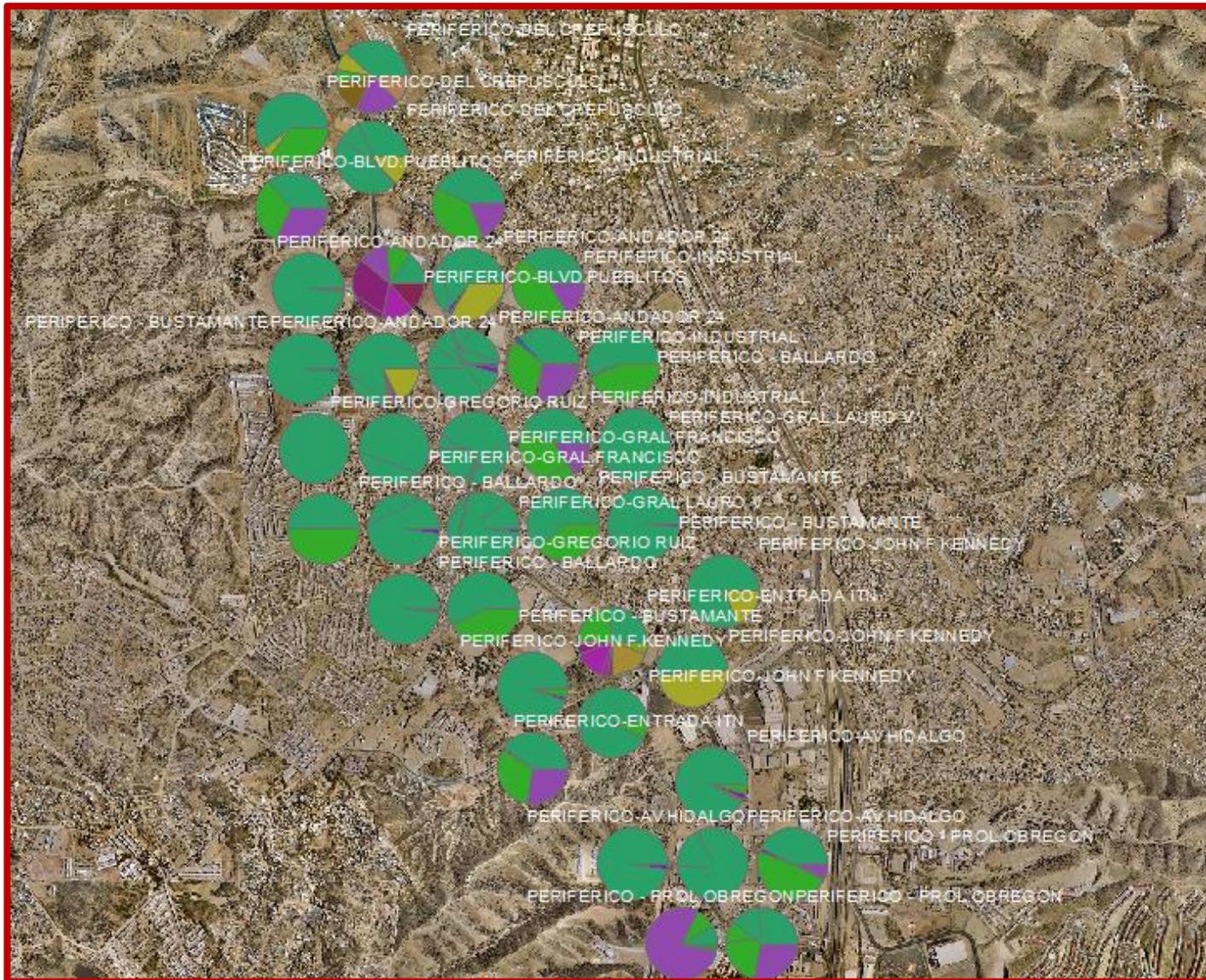
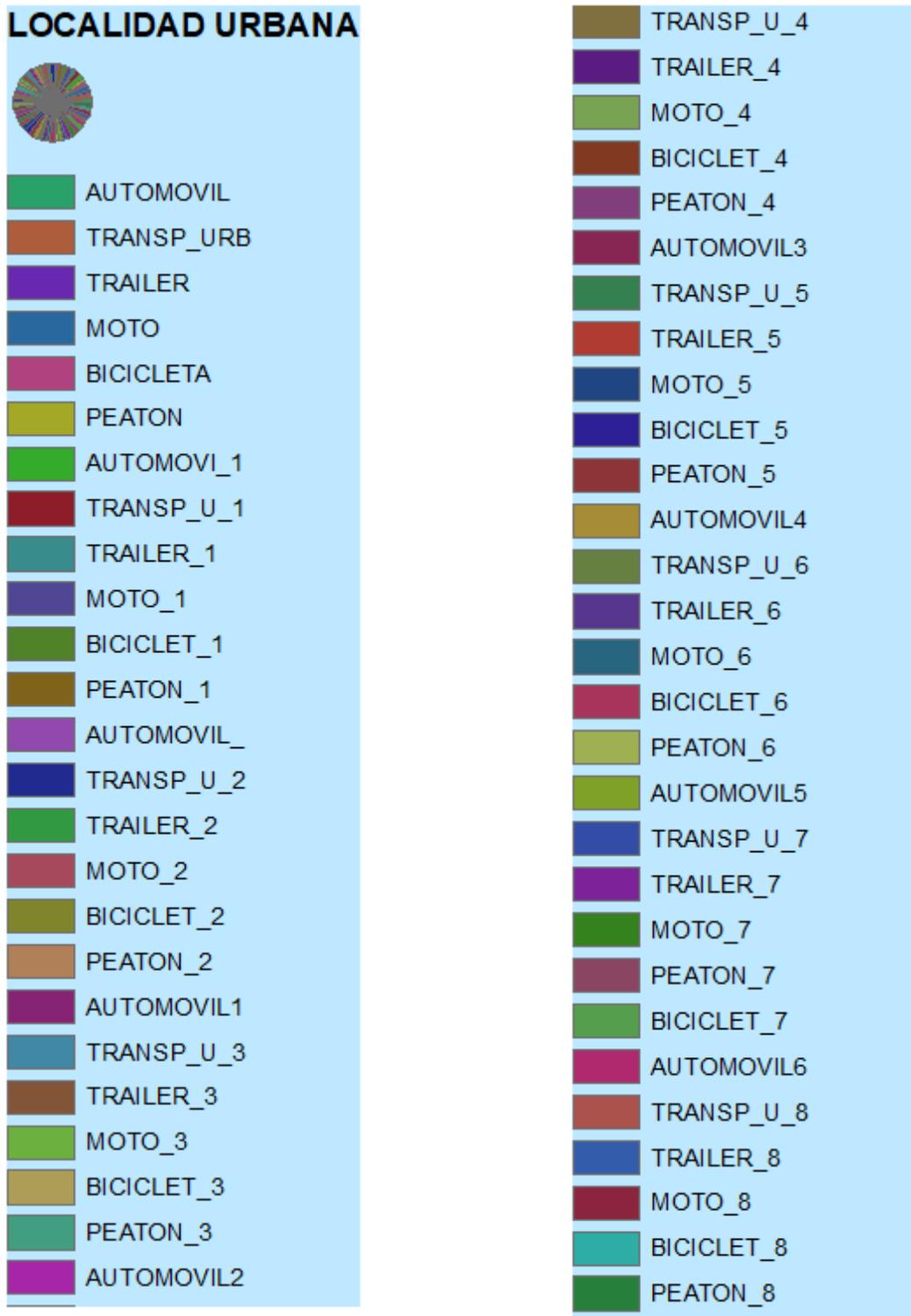


Figura 19. Mapa de Nogales, con los nombres de las intersecciones y resultados del tráfico de boulevard Luis Donaldo Colosio.

Simbología de la figura 17.

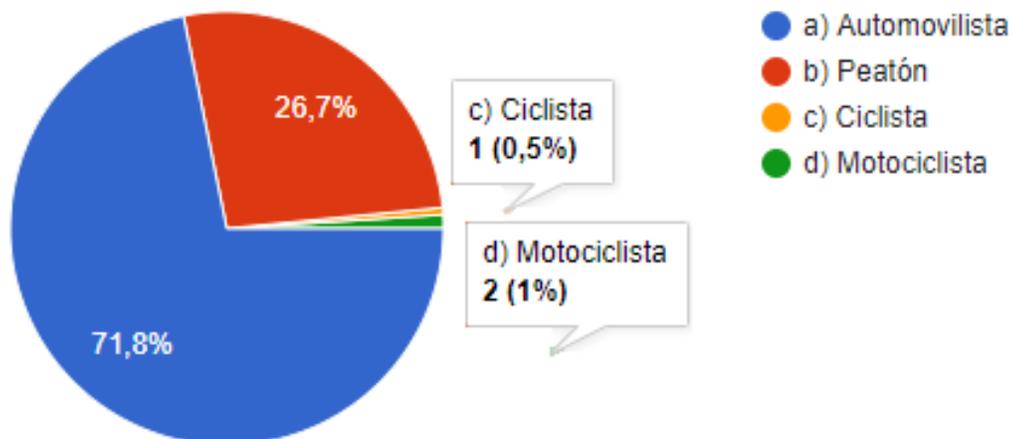


3.1.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ENCUESTAS

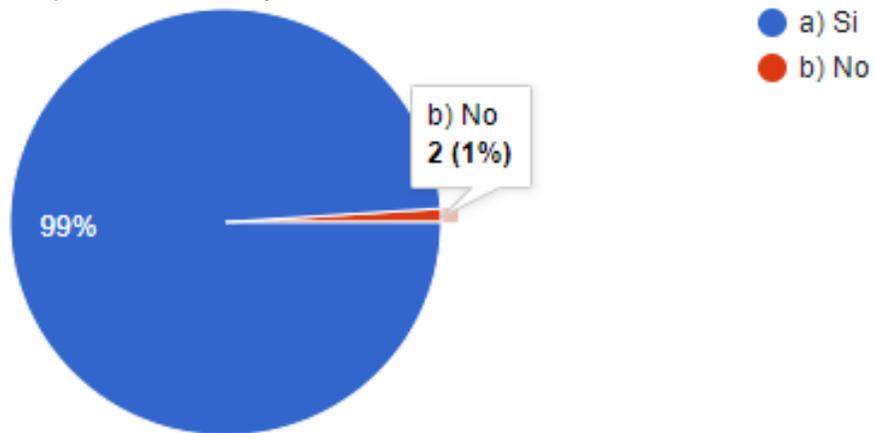
3.1.2.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ENCUESTAS EN LÍNEA

Las encuestas se realizaron con el objetivo de incluir al ciudadano y saber su opinión sobre el actual funcionamiento que se tiene con el equipamiento semafórico de boulevard Luis Donaldo Colosio, el cual es una de las avenidas principales de la ciudad de Nogales, Sonora. Así como también obtener datos sobre de que se tiene más, si peatón, automovilistas, ciclistas o motociclistas y de los automovilistas, conocer si sus carros son registrados ante el gobierno o en proceso de regularización.

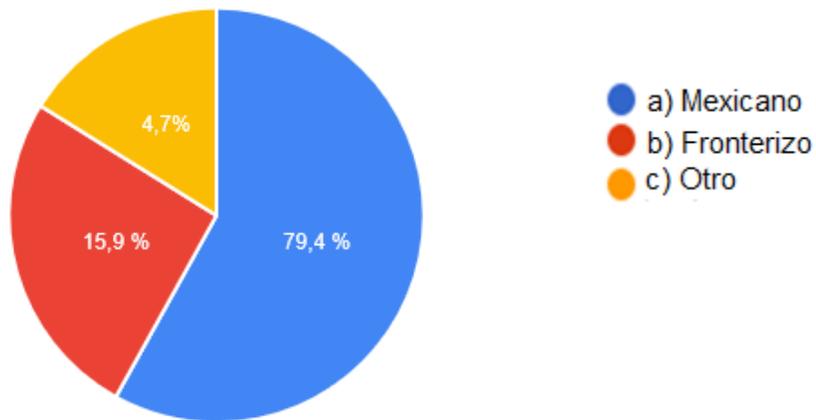
1. Usted es:



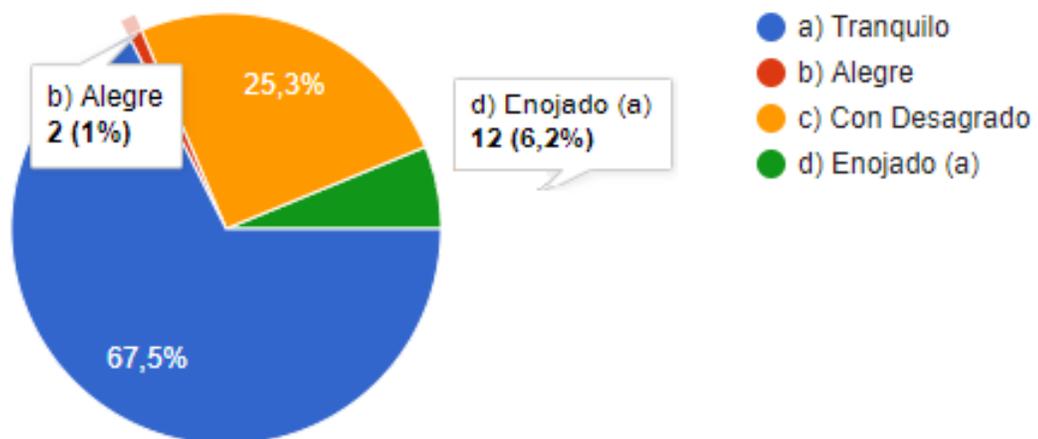
2. ¿Ha transitado por Boulevard Luis Donaldo Colosio?



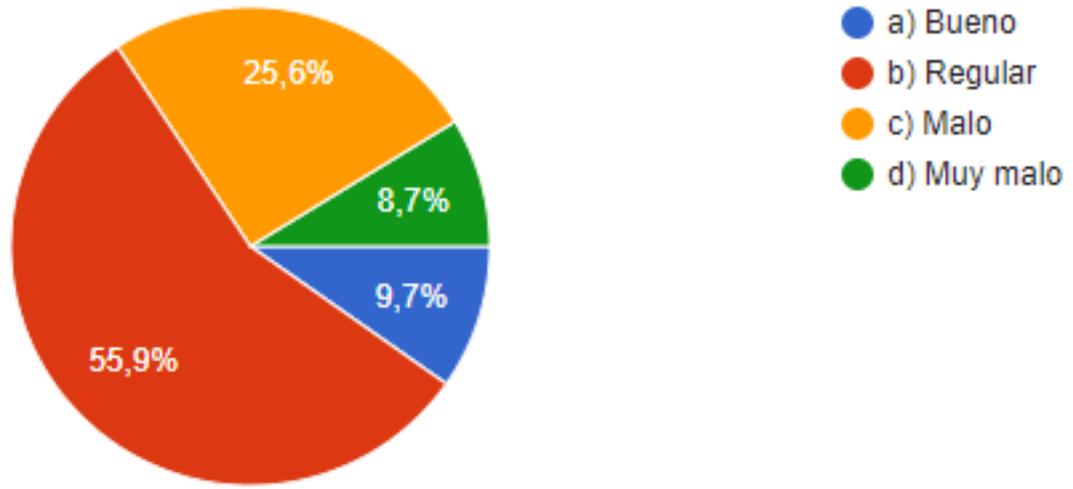
3. Si utiliza automóvil, su carro es:



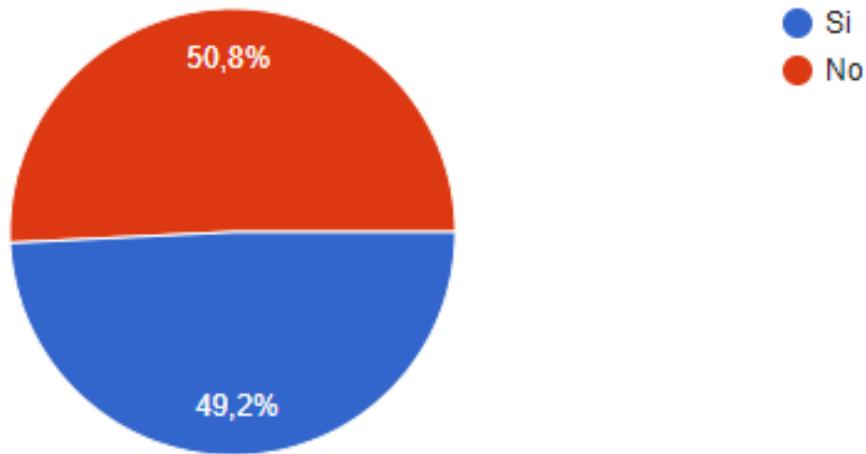
4. ¿Cómo se siente al estar esperando el cambio de luz en el semáforo?



5. ¿Qué opina del funcionamiento de los semáforos del Boulevard Luis Donaldo Colosio?



6. ¿Está de acuerdo en que haya vendedores ambulantes y/o artistas callejeros en los cruces?



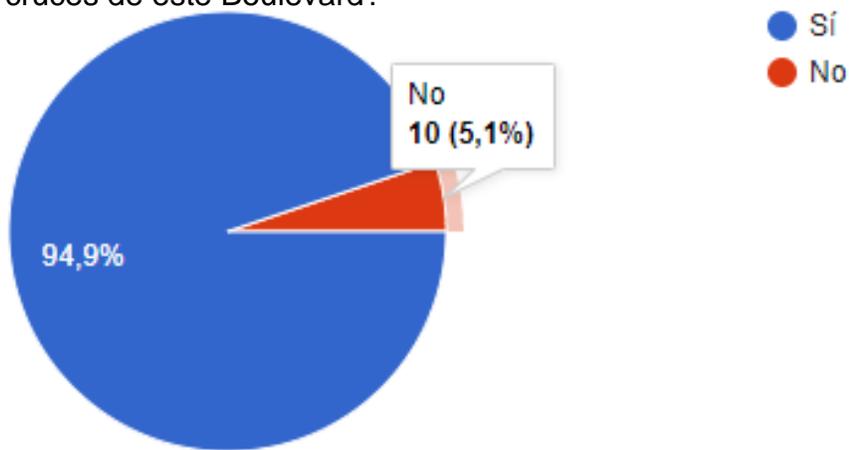
Si su respuesta es NO, especifique ¿Por qué?

Las respuestas más mencionadas son:

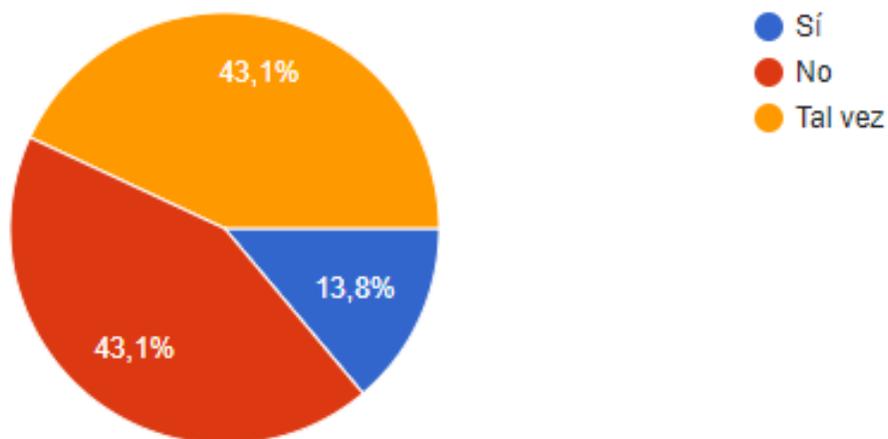
- Detienen más el tráfico
- Corren peligro tanto conductor como artistas o vendedores
- No hay seguridad para los vendedores
- Quitan tiempo y peligran de ser atropellados

- Porque molestan
- Para que se agilice el tráfico además que hay riesgo de un accidente
- Porque se andan atravesando entre los carros y de un momento a otro cambia a verde y puede haber un accidente.
- Los menores están expuestos a muchos peligros.
- Ponen en peligro su integridad física

7. ¿Está usted de acuerdo en que se instalen semáforos peatonales en los cruces de este Boulevard?



8. ¿Cree que hagan falta más semáforos en Boulevard Luis Donaldo Colosio?

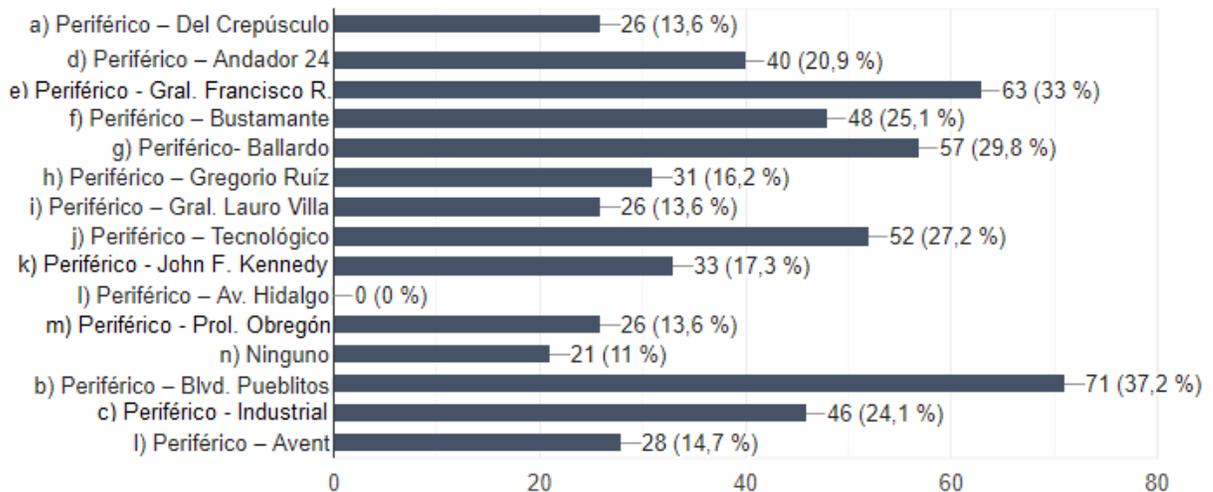


Si la respuesta anterior es SI ¿En qué calle? ¿Por qué?

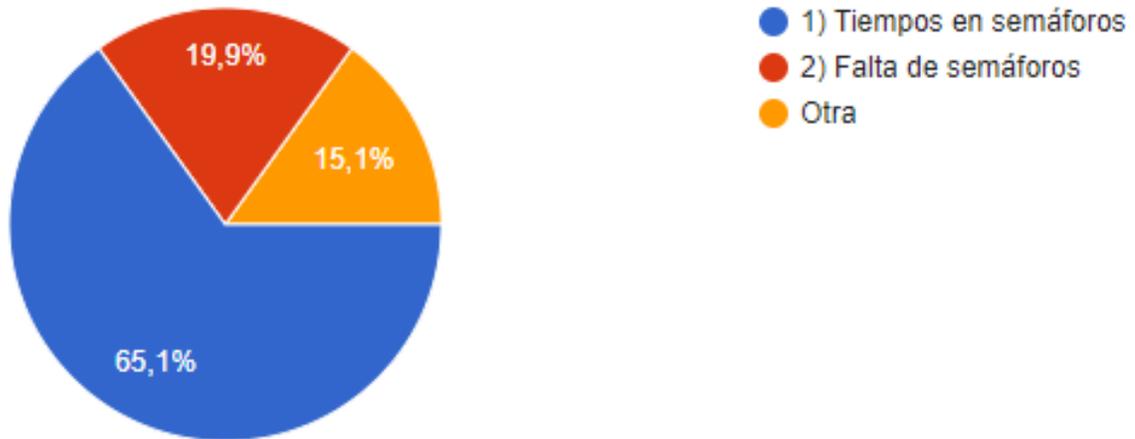
Las respuestas más concurrentes fueron:

- Cruce Blvd. Pueblitos.
- Periférico - Reforma
- Kennedy y Obregón
- Periférico- Blvd. Pueblitos
- Bustamante y Ballardo
- Sams Club
- Cruce de Pima porque la gente no utiliza el puente.
- En donde se encuentra la Escuela Secundaria General #2
- Enfrente de Home Depot, porque los carros no se detienen para los peatones ni para los automóviles.
- A la altura de la unidad deportiva.
- En la entrada de Instituto tecnológico

9. ¿Cuál(es) cruces considera que estén mal del Boulevard Luis Donaldo Colosio en alguna(s) de las siguientes Intersecciones?



¿Cuál cree que sea el motivo de que estén mal las opciones que seleccionó?



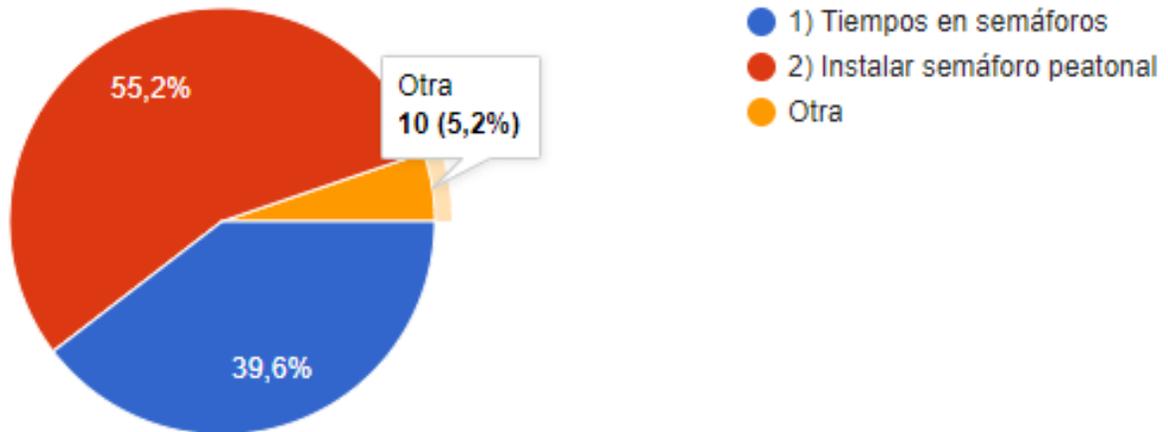
Si su opción fue otra, mencionarla

De las respuestas más mencionadas son:

- Porque no se considera al peatón
- Colocación y tiempo
- Los camellones están confusos
- Atropellados
- Falta de sincronización se pone en verde en uno antes de Gregorio Ruíz al sur y te tocan en rojo los de la Bustamante y Ballardo
- No están sincronizados
- No se respetan por algunos conductores y se convierten en riesgo
- Tiempo de espera y tiempo de respuesta, al menos en el semáforo de la calle Canoas no hay una organización en cuanto a la programación de éstos
- Tiempos y algunos muy juntos
- Falta un semáforo en la Secundaria General #2
- Siguen cruzando cuando la luz está en amarillo lo cual resulta en que cuando se pone verde para los otros carriles se tengan que esperar a que esos carros se muevan y poder seguir ellos

- Genera mucho tráfico
- Mal sincronizados
- Sencillamente están mal hechas las calles.
- Demasiados puntos de conflicto en un sólo lugar
- Posicionamientos
- Mucho semáforo
- No está en una posición bien ubicada, ocupa otra luz más cercas y más visible
- No considero prudente el cruce en esos lugares
- Sincronización en los semáforos, si te toca verde en uno, a los 50 metros esta otro en rojo. Se supone que si vas al límite de velocidad deberían de tocarte sino todos, la mayoría en verde para que el tráfico sea más fluido.
- Las intersecciones que no tienen semáforo.
- Siguen cruzando cuando la luz está en amarillo lo cual resulta en que cuando se pone verde para los otros carriles se tengan que esperar a que esos carros se muevan y poder seguir ellos.
- El semáforo que está delante del motel 32 está en rojo mientras que el siguiente está en verde y no hay ningún otro prendido.
- Porque no se considera al peatón
- Posicionamientos
- El cruce de peatones no siempre está bien
- Ubicación

10. ¿Qué le gustaría mejorar de los cruceros?

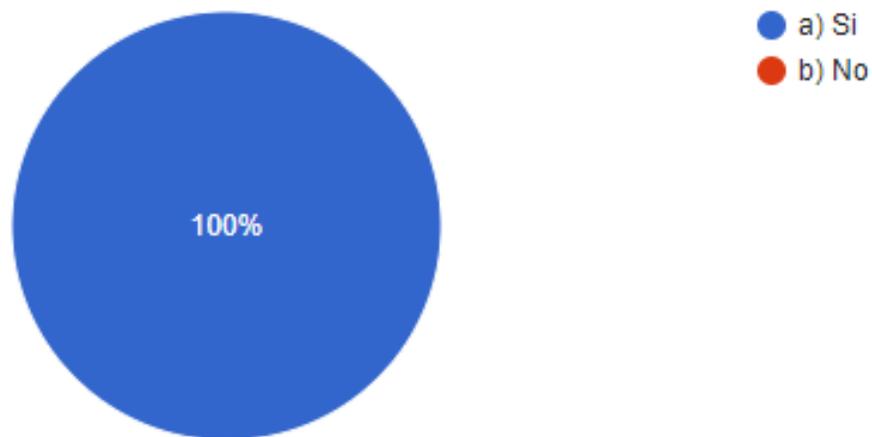


Si su opción fue otra, mencionarla

De las respuestas más mencionadas son:

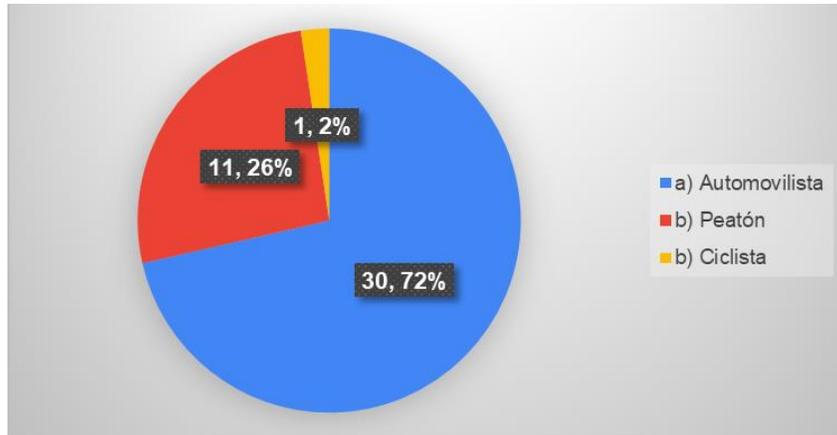
- Señalización, semiótica y coordinación de semáforos
- No hay señalamiento sobre asfalto que indique paso peatonal
- Que se sincronicen bien los tiempos entre semáforos, para que exista una mejor fluidez vehicular.
- Que estén sincronizados
- Sincronizar bien los semáforos

11. ¿Le gustaría que hubiese semáforos inteligentes que ayuden a disminuir el congestionamiento de automóviles en cualquier hora del día y a su vez se tome en cuenta al peatón?

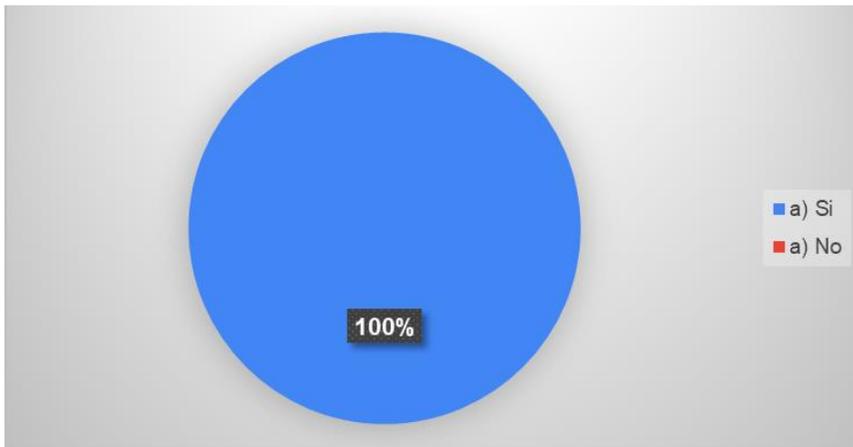


3.1.2.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ENCUESTAS EN CAMPO

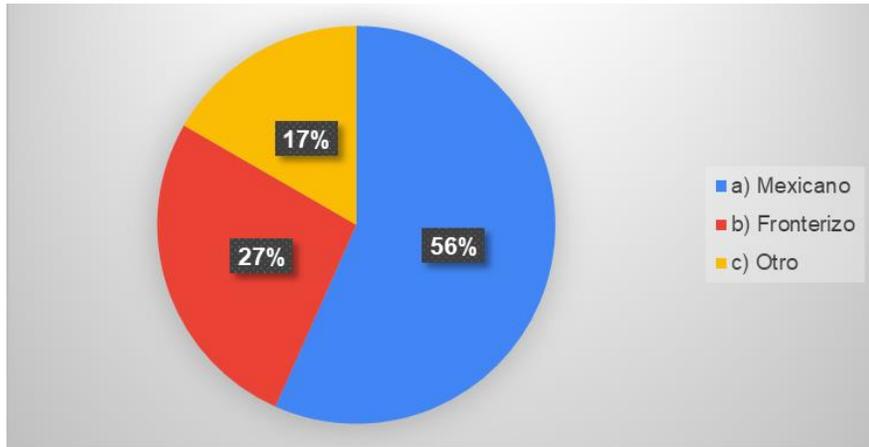
1. Usted es:



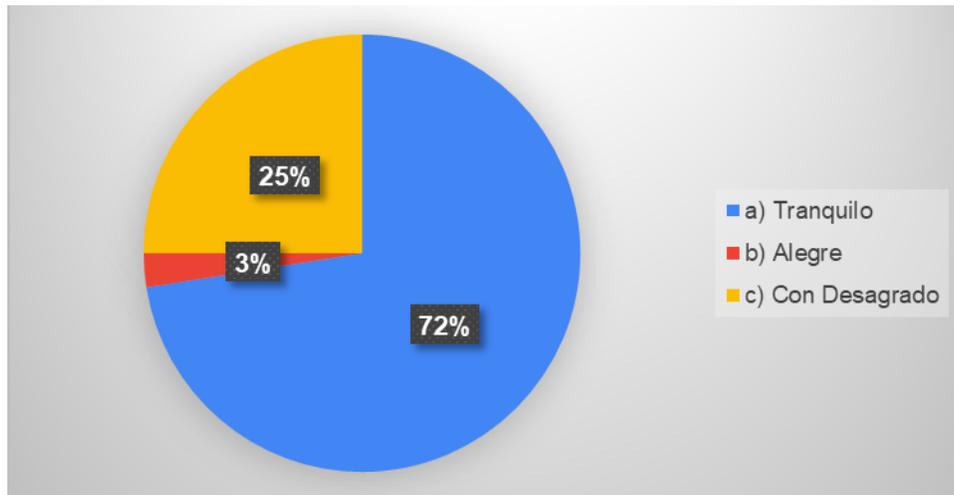
2. ¿Ha transitado por Boulevard Luis Donaldo Colosio?



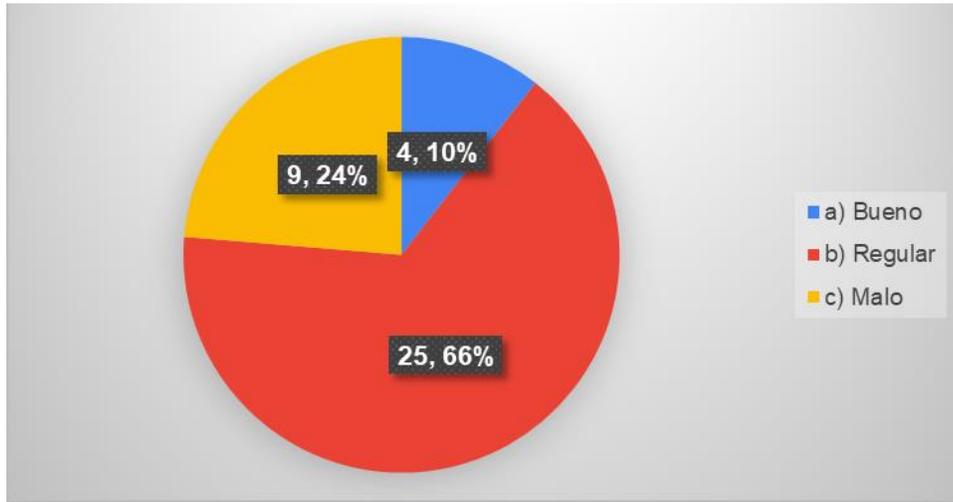
3. Si utiliza automóvil, su carro es:



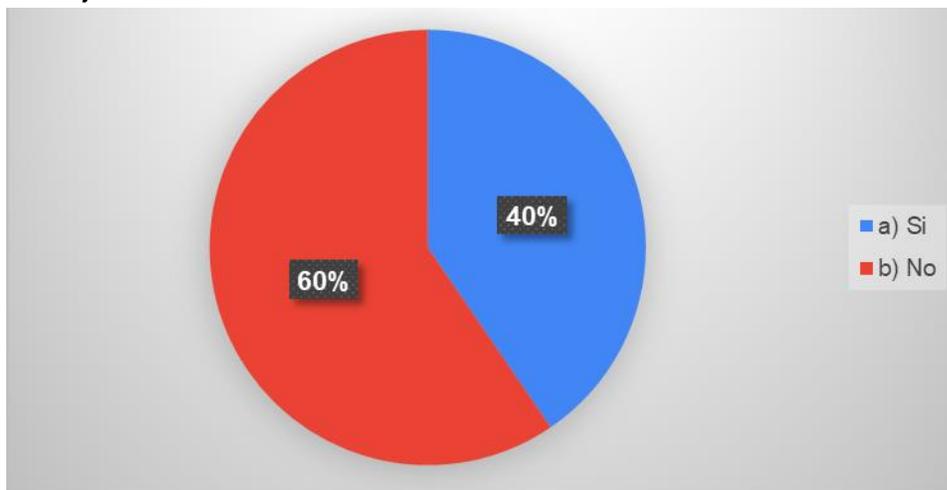
4. ¿Cómo se siente al estar esperando el cambio de luz en el semáforo?



5. ¿Qué opina del funcionamiento de los semáforos de Boulevard Luis Donaldo Colosio?



6. ¿Está de acuerdo en que haya vendedores ambulantes y/o artistas callejeros en los cruceros?



Si su respuesta es SI, especifique ¿Por qué?

Las respuestas más mencionadas son:

- Así se ganan la vida y prefiero eso a que estén robando
- Es un trabajo Honesto
- Te entretienen
- No molestan a nadie

- Si, ya que ellos no son el problema peatonal
- Hacen entretenida la espera
- Porque es su forma de generar ingresos
- No considero que sean algo malo, siempre y cuando sean respetuosos
- Está bien siempre y cuando no se aferren en sus actividades.
- Es su opción para sustentar su vida
- En cuanto a los artistas muchas veces es entretenido lo que realizan

Si su respuesta es NO, especifique ¿Por qué?

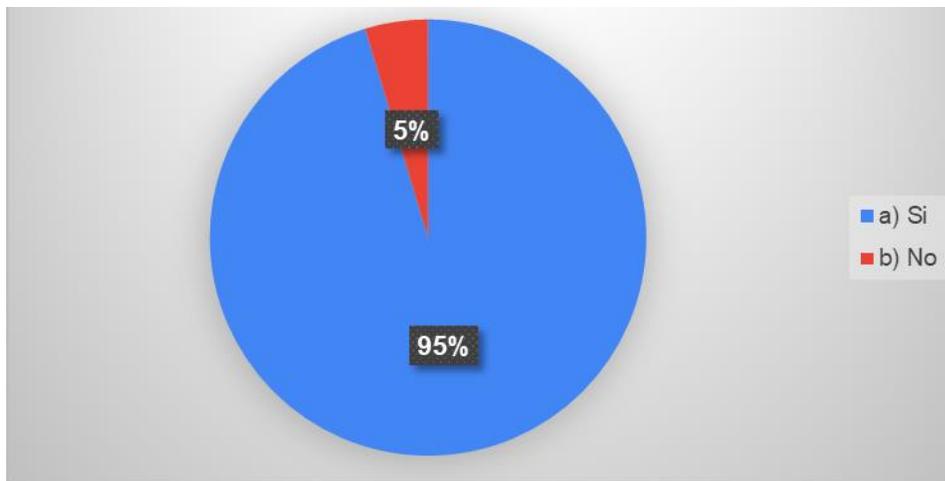
Las respuestas más mencionadas son:

- En ocasiones puede ser incomodo, y no por los vendedores, más bien por artistas callejeros o limpiaparabrisas
- Arriesgan su vida y muchas veces el semáforo cambia y ellos se quedan en medio.
- Es un poco molesto
- Algunas veces no están en sus sentidos y agreden o se portan groseros y creo que puede ser peligroso
- Deben buscar un trabajo
- Ocasionan retraso al tránsito vehicular
- Porque son un peligro al estar sobre las avenidas de los vehículos entre os autos y cuando estos empiezan a caminar
- Porque detienen la circulación de la vialidad
- Entorpecen el transito
- Los vendedores no son muy precavidos y pueden ocasionar un accidente
- Son incómodos y a veces obstruyen la vía Pública
- Es peligroso y detienen el tránsito de vehículos
- Tapan el paso cuando uno va rápido
- Se corren riesgos por ambas partes
- Peligroso para ellos mismos e incómodo para el automovilista

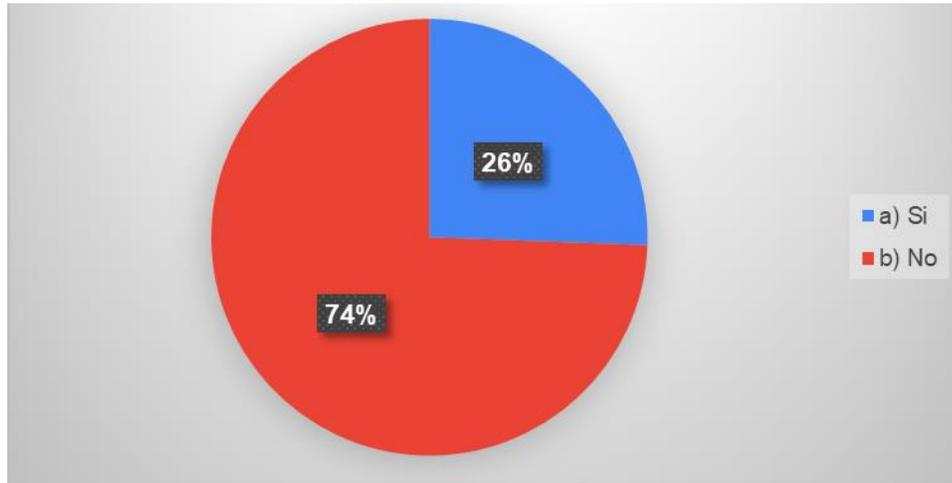
ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Es muy peligroso ya que ellos no respetan los cambios de luces de semáforo
- Mucha contaminación visual
- Es una manera de mostrar arte callejero
- Por inseguridad, desagrado, acosado
- Corren peligro
- Molesta a la gente
- Creo que se fomenta el vicio
- Es peligroso para su seguridad

7. ¿Está usted de acuerdo en que se instalen semáforos peatonales en los cruces de este Boulevard?



8. ¿Cree que hagan falta más semáforos en Boulevard Luis Donaldo Colosio?

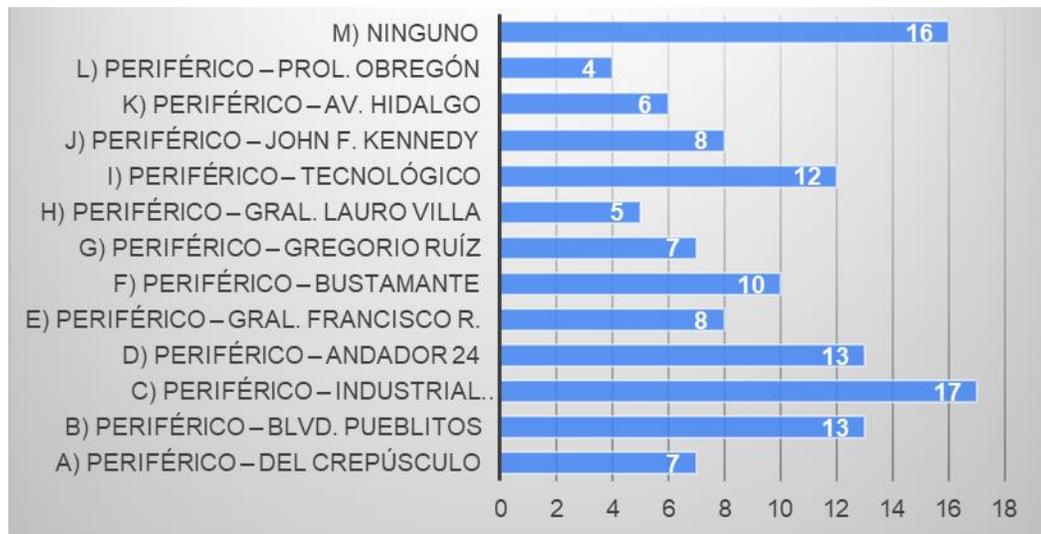


Si la respuesta anterior es SI ¿En qué calle? ¿Por qué?

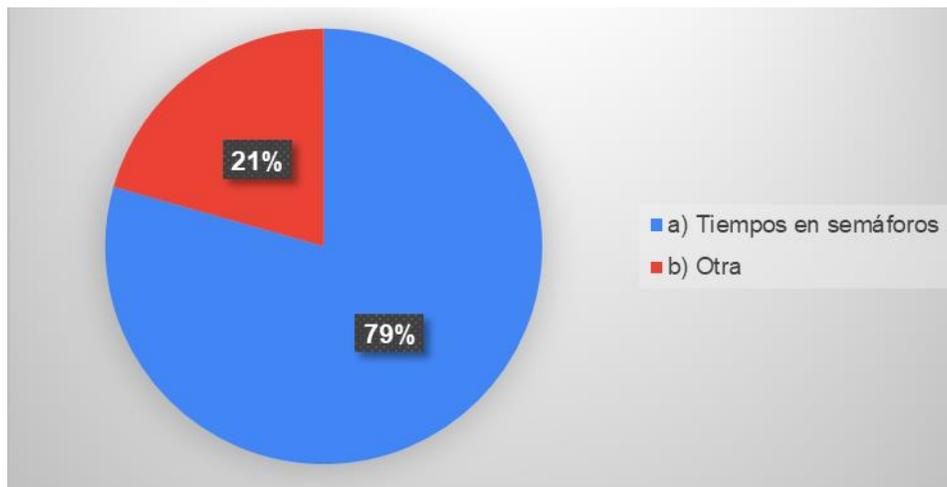
De las respuestas más concurridas son:

- Calle Reforma, obstruyen el paso de vehículos al momento de salir de Reforma e incorporarse al Blvd. Colosio
- Hace falta un semáforo peatonal en la intersección Periférico- J. F. Kennedy y Periférico - Chamberlain
- Periférico - Blvd. Pueblitos
- Frente a Home Depot por el congestionamiento que se ocasiona en horas pico, obstruyendo un carril del Blvd. Colosio
- Frente al Sams

9. ¿Cuál(es) cruces considera que estén mal del Boulevard Luis Donaldo Colosio en alguna(s) de las siguientes Intersecciones?



¿Cuál cree que sea el motivo de que estén mal las opciones que seleccionó?

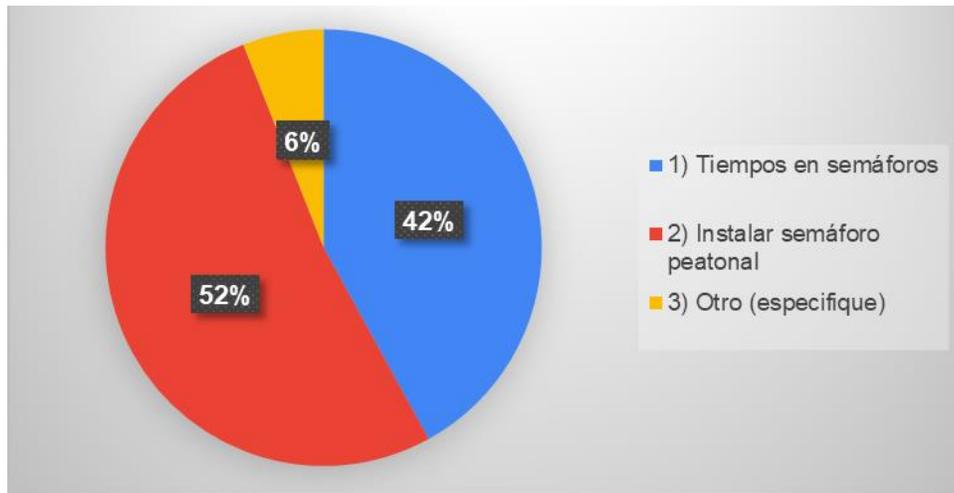


Si su opción fue otra, mencionarla

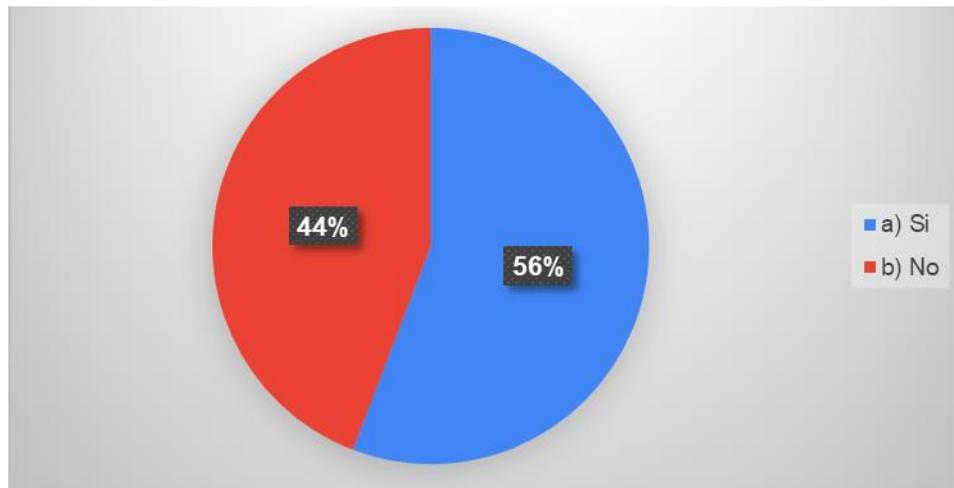
Las respuestas más mencionadas son:

- Puentes
- Mejorar pavimentación
- Espacios más amplios en calles con más de 3 carriles.

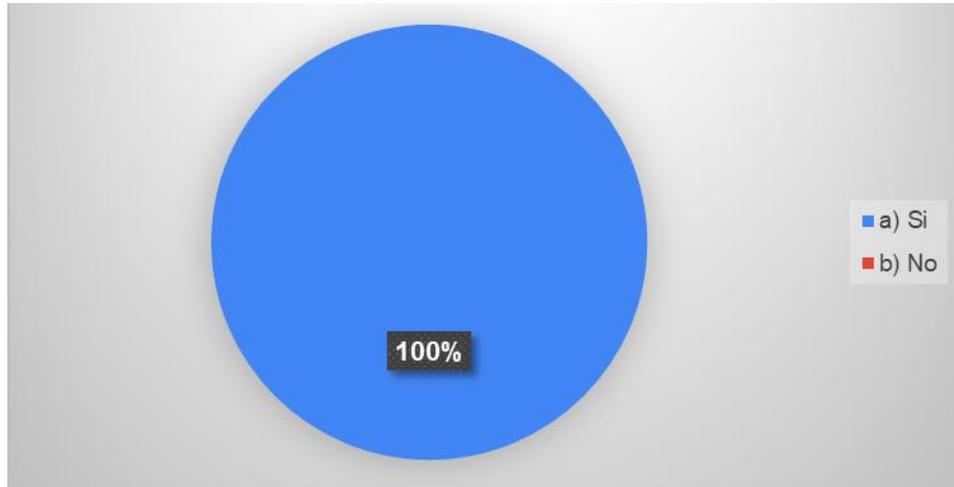
10. ¿Qué le gustaría mejorar de los cruceros?



11. ¿Conoce usted el funcionamiento de los semáforos inteligentes?



12. ¿Le gustaría que hubiese semáforos inteligentes que ayuden a disminuir el congestionamiento de automóviles en cualquier hora del día y a su vez se tome en cuenta al peatón?



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se sugiere en base a la investigación de campo realizada, que se haga el cambio de todos los semáforos que se encuentran en boulevard Luis Donaldo Colosio, por semáforos inteligentes, por lo tanto, se propone el siguiente modelo:

SWARCO ITC-3, ya que es un diseño que incluye el software de control en el mismo costo del equipo, algo que no lo maneja SEMEX. El controlador ITC-3 es un sistema basado en una plataforma moderna y confiable apoyado en ARM que es un método de procesamiento simplificado y que consume menos energía.

El controlador puede ser reparado a través de la pantalla táctil incorporada y la interfaz web, y se conecta a una amplia gama de sistemas; esto quiere decir que cuenta con un protocolo de comunicación abierta y se puede manipular el sistema ya sea desde la cabina donde se monitorea o desde otro lugar a donde se haya llevado la información. Cabe mencionar que es un modelo que no sólo detecta y graba el flujo de autos, sino que también realiza los aforos de los mismos y guarda la información (SWARCO, 2021).

El sistema cuenta con 16 fases en el modelo básico y puede crecer hasta 48 fases, en otras palabras, sería 48 cambios de luces posibles para un cruce; así como también cuenta con innovadores algoritmos de tráfico adaptativos que calculan el flujo vehicular, optimizan el tiempo del ciclo y controlan la configuración correcta de compensación y división para un corredor, dando prioridad en luz verde para el más congestionado.

En los beneficios de tener un sistema de semáforo inteligente se encuentra:

- Ahorro del tiempo de los conductores y peatones.
- Reducción del CO₂ al frenar menos veces los automóviles.
- Menor gasto de combustible.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Permite realizar una recopilación de información para dar prioridad de luz verde a la intersección con más automóviles, teniendo así tráfico más fluido y seguro.
- En caso de cortes de los suministros de luz u otros sucesos que puedan generar que no se tenga energía, los semáforos inteligentes no dejarán de funcionar. Ya que con la colocación de una pequeña celda solar beneficiara en que los semáforos sigan operando un par de horas, dando el tiempo necesario para solucionar las fallas eléctricas.
- Al no requerir policías de tránsito que tengan que manipular los tiempos de las luces en los semáforos, se podrán dedicar a dar atención a otros sectores de la ciudad donde se necesite.
- Es un primer paso para que Nogales se vaya formando como una “Smart City”.

Asimismo, se hace una recomendación complementaria para los cruces del Boulevard Luis Donald Colosio conforme a lo observado y estudiado de la investigación de campo; en el cruce Periférico – Del Crespúsculo; para los vehículos se suscita que los automóviles que vienen del tianguis con la necesidad de hacer giro hacia al este, continúen derecho para hacer retorno en el camellón como muestra la Figura 20, 20.1 y 20.2.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El beneficio de hacer de conectar camellón con camellón es tener un mejor control de la circulación de los automóviles y dominar el manejo de los sentidos que se transitan.

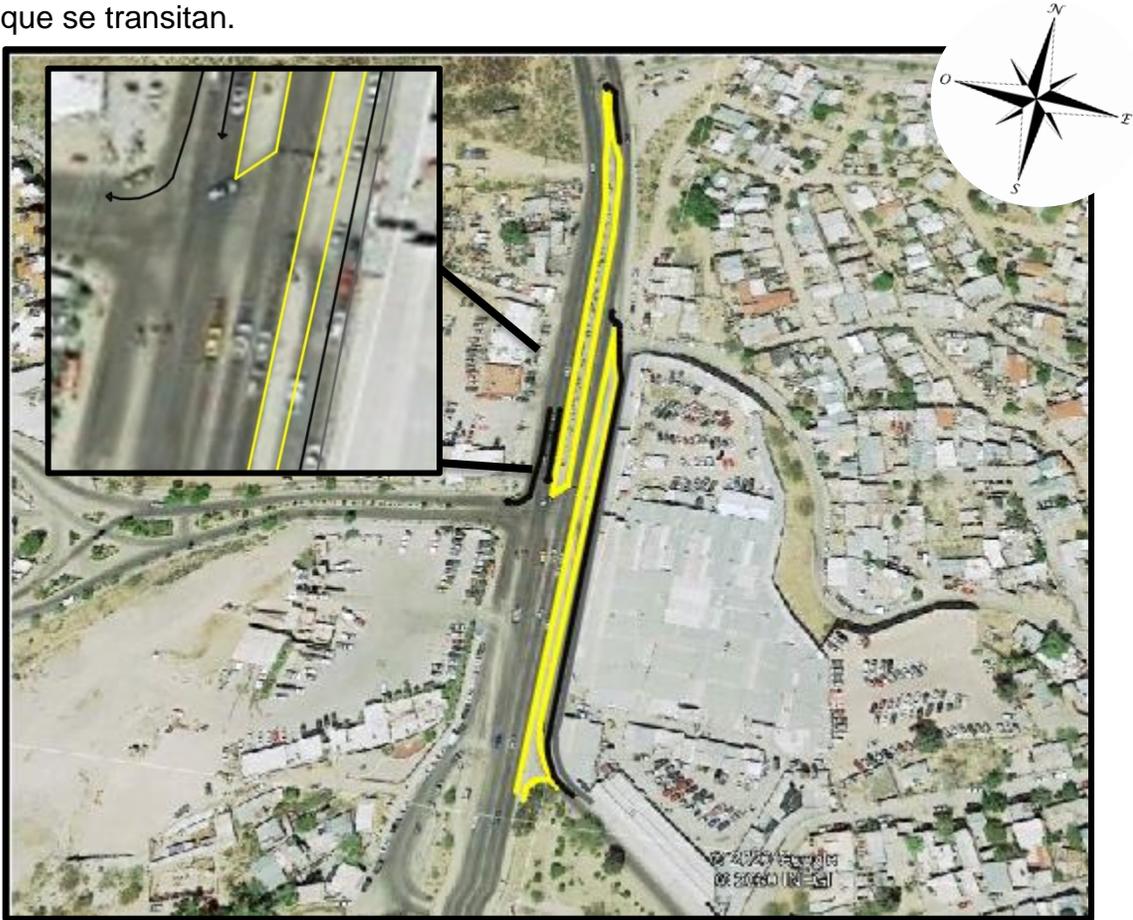


Figura 20. Propuesta de retorno para automóviles que vienen del tianguis con dirección al Oeste.

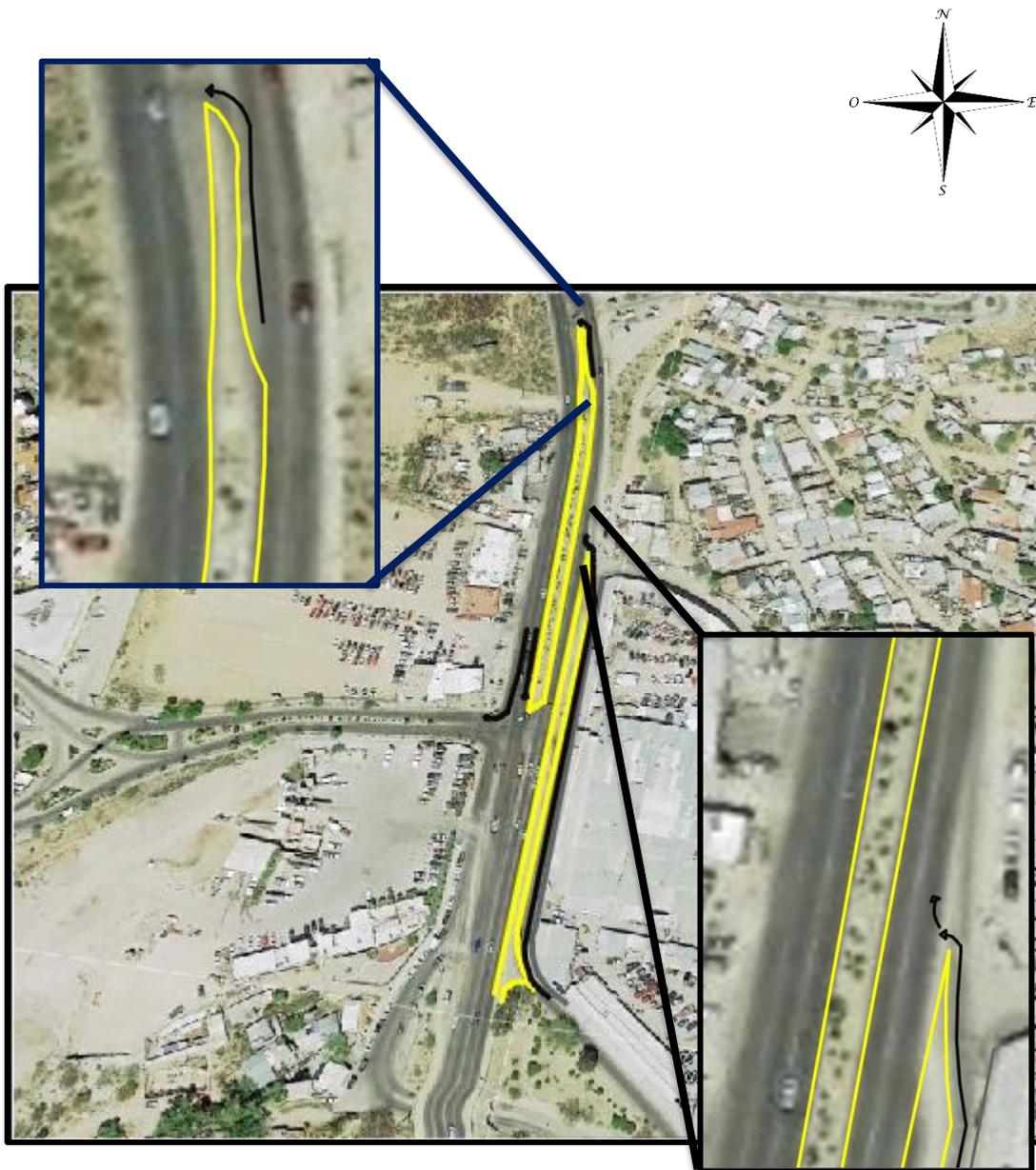


Figura 20.1. Propuesta de ampliación del camellón, en carril que se integra a calle principal Boulevard Luis Donaldo Colosio y reducción en camellón que integra a la calle que dirige del norte al sur.

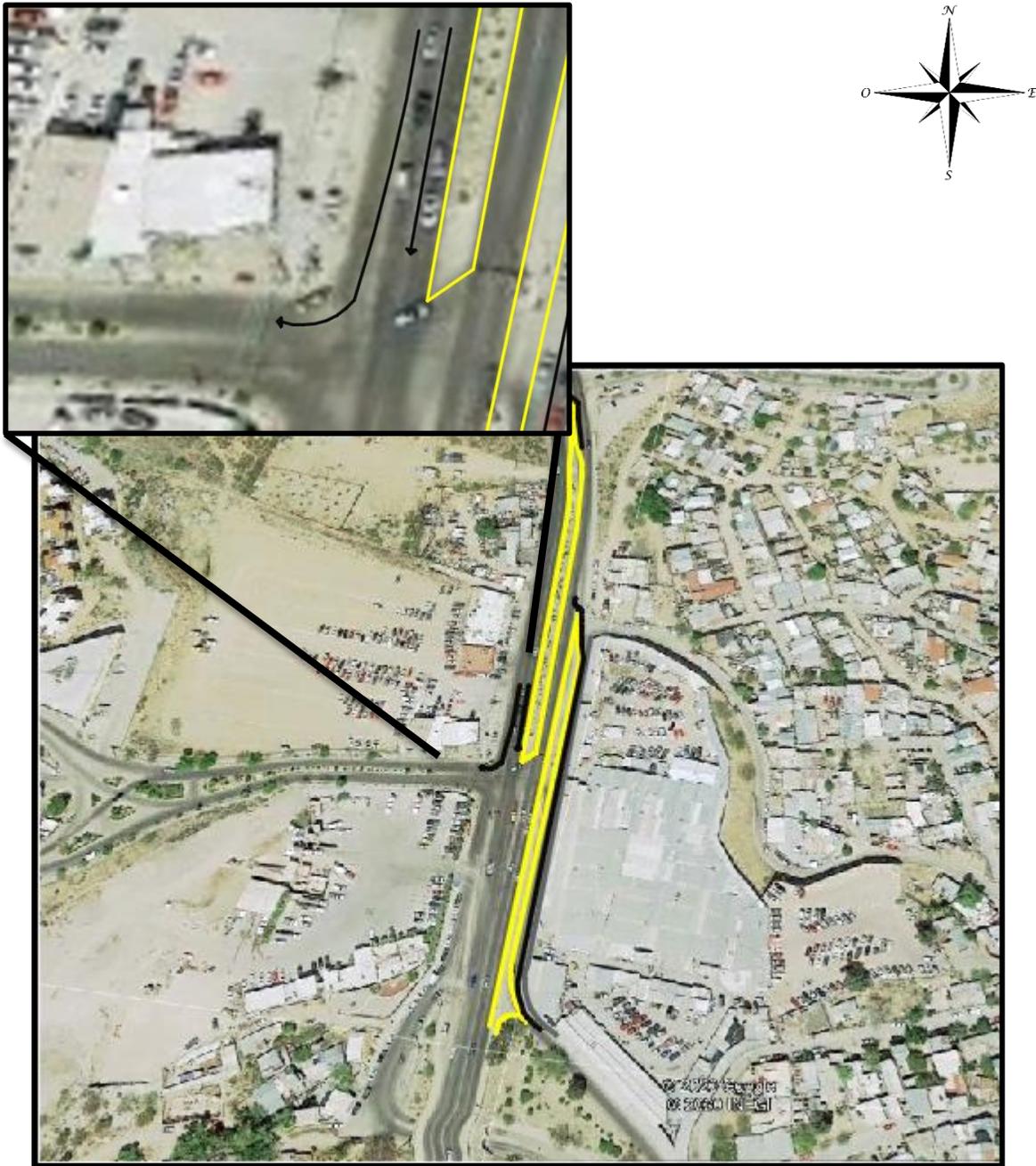


Figura 20.2. Propuesta de calle que se dirige al norte – sur y norte – oeste.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La siguiente intersección Periférico – Bustamante y Periférico Ballardo es confusa, dado a que se encuentran muy seguidos los semáforos; y se propone que la calle Bustamante sea de un sólo sentido de circulación y de igual manera Calle Ballardo, así como en calle Gregorio Ruíz que es de sólo acceso y General Lauro Villa sólo descenso; de tal forma que los automovilistas respeten las señales del semáforo, ya que en este cruce al prender verde la flecha de giro Norte a Oeste, muchos conductores cometen el error de no girar hacia la calle Bustamante, si no irse hasta el siguiente cruce (Ballardo) a dar el giro, dado que en este, no hay señalamiento de giro, pudiendo así ocasionar un accidente.

Dejando un sólo sentido en las calles mencionadas en el párrafo anterior se obtiene mejor circulación ya que no entorpece el congestionamiento a dos semáforos seguidos con el tiempo que se tiene que dar para los giros norte – este y este - norte o este – sur, dejando solamente en una calle giro norte – este y en el otro giro este - norte y este – sur.

En general por la investigación de campo que se ha realizado se sugiere que en los siguientes cruces Periférico – Del Crepúsculo, Periférico – Andador 24 y Periférico - John F. Kennedy, se construyan puentes para los viandantes y no se haga instalación de semáforos peatonales como se menciona en la hipótesis, esto dado a la cantidad de vehículos que transitan y de esta manera haya más seguridad para las personas. (Figura 21 puente peatonal Del Crepúsculo, Figura 22 y 22.1 puente peatonal Andador 24, Figura 23 y 23.1, puente peatonal John F. Kennedy, el cual beneficia al viandante de accidentes).

Además, se recomienda que se instale piso táctil para los peatones invidentes, para que les sea cómodo llegar a los puentes peatonales. De la misma manera se aconseja que se pinten los pasos peatonales, para que los automóviles se detengan a 2 metros de distancia de la misma, y así evitar que el peatón rodee el automóvil para poder cruzar una vía. Todo esto con beneficio y seguridad para el peatón.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

También para una mejor fluidez de los automóviles, se sugiere la pavimentación del Boulevard Luis Donaldo Colosio, ya que se cuenta con mucho bache, que retrasa el flujo de los carros; pudiendo en este momento haber avanzado más autos en el cruce, pero debido al mal estado, los carros no pueden pasar a la velocidad que marca el kilometraje establecido en la calle.



Figura 21. Propuesta de puente peatonal Del Crepúsculo, el cual disminuye los accidentes para el viandante en el cruce de la parada de autobús al tianguis.



Figura 22. Propuesta de puente peatonal Andador 24, beneficia al viandante que circula por la vía, así como a los trabajadores de las fábricas cercanas. Cuenta con elevador.



Figura 22.1. Propuesta de puente peatonal Andador 24, piso táctil para los peatones invidentes.



Figura 23. Propuesta de puente peatonal John F. Kennedy.



Figura 23.1. Propuesta de puente peatonal John F. Kennedy.



Figura 24.1. Propuesta de paso peatonal Periférico – Tecnológico.

GLOSARIO

- **Bucle:** Ejecución repetidas veces de un mismo conjunto de sentencias. Normalmente en cada nueva ejecución varía algún elemento.
- **mA:** Miliamperio, unidad de intensidad de corriente eléctrica que equivale a una milésima de amperio.
- **Onda verde:** Es un sistema de gestión del tráfico que consiste en coordinar diversos semáforos a lo largo de una misma calle para que los vehículos no se paren, asegurando un flujo continuo de circulación.
- **Semáforos gayfriendly:** Son semáforos que muestran iconos de chicos y chicas del mismo sexo que se abrazan en las fases roja y verde.
- **LED:** Viene de Light Emitting Diode lo que traducido al español es diodo emisor de luz. Son dispositivos semiconductores de estado sólido de gran resistencia, que al recibir una corriente eléctrica de muy baja intensidad, emiten luz de forma eficiente y con alto rendimiento. Son capaces de convertir energía eléctrica directamente en luz.
- **Bit:** Unidad de medida de información equivalente a la elección entre dos posibilidades igualmente probables.
- **LCD:** Una pantalla LCD (liquid crystal display: 'pantalla de cristal líquido' por sus siglas en inglés) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora.
- **Detectores CMOS:** Semiconductor Complementario de Óxido Metálico.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, F. G. (2016). *El Proyecto De Investigación* (Séptima Edición Corregida Y Actualizada ed., Vol. VII). Caracas - República Boliviana De Venezuela: 2016 Ediciones El Pasillo 2011, C.A.
- Ciencia Y Cemento. (06 de Junio de 2014). *El Primer Semáforo Inteligente*. Recuperado el 09 de Marzo de 2019, de <http://wp.cienciaycemento.com/el-primer-semaforo-inteligente/>
- D. A. Luz-Luz y J. E. Mendigaña-Figueredo, “. D. (2013). Diseño De Un Sistema De SemafORIZACIÓN Electrónico. En D. A.-L. Mendigaña-Figueredo, *Ingeniería Solidaria* (Vol. 9, págs. 57-64). Colombia: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia.
- Escobar, C. (25 de Enero de 2016). <http://www.eafit.edu.co/ninos/reddelaspreguntas/maquinasyenergia/Paginas/como-funcionan-los-semaforos.aspx>. Recuperado el 08 de Marzo de 2019
- El Universal. (18 de Noviembre de 2016). El Inicio Y La Transformación De Los Semáforos En La Ciudad De México. Recuperado el 09 de Marzo de 2019
- Fernández, M. D. (02 de Febrero de 2015). <http://www.interempresas.net/Energy/Articles/132517-.html>. Recuperado el 10 de Noviembre de 2020
- Infraestructura, S. D. (2014). Semáforos. En S. D. Transportes, *Manual De Señalización Vial Y Dispositivos De Seguridad* (Vol. Sexta Edición 2014 Corregida Y Aumentada, págs. 16-45). México, D.F.
- Infraestructura, S. D. (2014). *Señalamiento Horizontal*. México DF.
- ITDP. (2016). Movilidad Inteligente. En *Instituto De Políticas Para El Transporte Y El Desarrollo* (pág. 57). México: Igloo / Griselda Ojeda.
- Liñán, S. G. (26 de Mayo de 2015). *El Financiero*. Recuperado el 17 de Febrero de 2019, de <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/salvador-garcia-linan/vehiculos-y-dioxido-de-carbono>
- López, N. (08 de Enero de 2019). <https://www.autobild.es/noticias/asi-funcionan-los-semaforos-inteligentes-que-evitan-atascos-294085>. Recuperado el 2010 de Marzo de 2019
- Martínez, Y. (15 de Febrero de 2008). *Tendencias Tecnológicas*. Recuperado el 11 de Marzo de 2019, de https://www.tendencias21.net/Semaforos-inteligentes-reducen-la-contaminacion-y-agilizan-el-trafico_a2074.html
- Méndez, I. A. (2009). <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70263/299913.2009.01.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Recuperado el 14 de Enero de 2021

- México, E. D. (s.f.). *siglo.inafed.gob.mx › enciclopedia › municipios*. Recuperado el 12 de Octubre de 2019, de <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM26sonora/municipios/26043a.html>
- Nadal, M. V. (07 de Enero de 2019). Semáforos Inteligentes. *La Nación*. Recuperado el 22 de 02 de 2019, de <https://www.lanacion.com.ar/2207997-estos-semaforos-inteligentes-observan-transito-aprenden-el>
- Pérez, M. (27 de Marzo de 2015). *Woed Economic Forum*. Recuperado el 22 de Marzo de 2019, de <https://es.weforum.org/agenda/2015/03/senales-inteligentes-mejoran-el-trafico-en-las-ciudades/>
- Población, C. E. (2015). <http://www.coespo.sonora.gob.mx/documentos/municipio/2015Nogales.pdf>. Recuperado el 12 de Octubre de 2019
- Rivera, S. P. (Enero de 2020). *Vólumen Vehicular De Nogales, Sonora*. Recuperado el 15 de Enero de 2021
- Rivera, S. P. (2021). *Modelos E Instalación De Los Últimos Semáforos En Nogales, Sonora*. Nogales, Sonora, México. Recuperado el 15 de Enero de 2021
- Roberto Hernández Sampieri, C. F.-C. (2006). *Metodología De La Investigación* (Vol. IV). México, D.F.: McGRAW-HILL/Interamericana Editores, S.A. De C.V.
- Semáforos. (2014). En D. G. Técnicos, *Manual De Señalización Vial Y Dispositivos De Seguridad* (págs. 16-59). 03240 México, D.F.: LIMUSA.
- Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas, S.A. (SICE). (06 de Febrero de 2019). Recuperado el 2019 de Marzo de 2019, de <http://www.sice.com/actualidad/el-semaforo-150-anos-de-historia->
- SWARCO. (2021). *Copyright © SWARCO 2021*. Recuperado el 01 de Febrero de 2021, de <https://www.swarco.com/products/traffic-light-controllers/itc-3-traffic-controller>

ANEXOS

A continuación, se muestra la encuesta aplicada en campo y encuesta aplicada en línea.

ENCUESTA EN CAMPO

1. Usted es:
 - a) Automovilista
 - b) Peatón
 - c) Ciclista
 - d) Motociclista

2. ¿Ha transitado por Blvd. Luis Donaldo Colosio?
 - a) Si
 - b) No

3. Si utiliza automóvil, su carro es:
 - a) Mexicano
 - b) Fronterizo
 - c) Otro (especifique): _____

4. ¿Cómo se siente al estar esperando el cambio de luz en el semáforo?
 - a) Tranquilo (a)
 - b) Alegre
 - c) Con Desagrado
 - d) Enojado (a)

5. ¿Qué opina del funcionamiento de los semáforos de Blvd. Luis Donaldo Colosio?
 - a) Bueno
 - b) Regular
 - c) Malo
 - d) Muy malo

6. ¿Está de acuerdo en que haya vendedores ambulantes y/o artistas callejeros en los crucesos?
- a) Si
 - b) No

Si su respuesta es SI, especifique ¿Por qué?

Si su respuesta es NO, especifique ¿Por qué?

7. ¿Está usted de acuerdo en que se instalen semáforos peatonales en los cruces de este Boulevard?
- a) Si
 - b) No
8. ¿Cree que hagan falta más semáforos en Blvd. Luis Donaldo Colosio?
- c) Si
 - d) No

Si la respuesta es SI ¿En qué calle? ¿Por qué?

9. ¿Cuál(es) crucesos considera que estén mal del Blvd. Luis Donaldo Colosio en alguna(s) de las sig. Intersecciones?
- a) Periférico – Del Crepúsculo
 - b) Periférico – Blvd. Pueblitos
 - c) Periférico – Industrial (Chamberlain)
 - d) Periférico – Andador 24
 - e) Periférico – Gral. Francisco R.
 - f) Periférico – Z y F. Bustamante
 - g) Periférico – Gregorio Ruíz

- h) Periférico – Gral. Lauro Villa
- i) Periférico – Tecnológico
- j) Periférico – John F. Kennedy
- k) Periférico – Av. Hidalgo
- l) Periférico – Prolongación Obregón

¿Cuál cree que sea el motivo de que estén mal las opciones que selecciono?

- a) Tiempos en semáforos
- b) Otra

Si su opción fue otra, mencionarla:

10. ¿Qué le gustaría mejorar de los cruceros?

- a) Tiempos en semáforos
- b) Instalar semáforo peatonal
- c) Otro (especifique): _____

11. Conoce usted el funcionamiento de los semáforos inteligentes

- a) Si
- b) No

12. ¿Le gustaría que hubiese semáforos inteligentes que ayuden a disminuir el congestionamiento de automóviles en cualquier hora del día y a su vez se tome en cuenta al peatón?

- a) Si
- b) No

ENCUESTA EN LINEA

1. Usted es:
 - a) Automovilista
 - b) Peatón
 - c) Ciclista
 - d) Motociclista
2. ¿Ha transitado por Blvd. Luis Donaldo Colosio?
 - a) Si
 - b) No
3. Si utiliza automóvil, su carro es:
 - a) Mexicano
 - b) Fronterizo
 - c) Otro (especifique): _____
4. ¿Cómo se siente al estar esperando el cambio de luz en el semáforo?
 - a) Tranquilo (a)
 - b) Alegre
 - c) Con Desagrado
 - d) Enojado (a)
5. ¿Qué opina del funcionamiento de los semáforos de Blvd. Luis Donaldo Colosio?
 - a) Bueno
 - b) Regular
 - c) Malo
 - d) Muy malo
6. ¿Está de acuerdo en que haya vendedores ambulantes y/o artistas callejeros en los cruces?
 - a) Si
 - b) No

Si su respuesta es NO, especifique ¿Por qué?

7. ¿Está usted de acuerdo en que se instalen semáforos peatonales en los cruces de este Boulevard?

- a) Si
- b) No

8. ¿Cree que hagan falta más semáforos en Blvd. Luis Donaldo Colosio?

- a) Si
- b) No
- c) Tal vez

Si la respuesta anterior es SI ¿En qué calle? ¿Por qué?

9. ¿Cuál(es) cruceros considera que estén mal del Blvd. Luis Donaldo Colosio en alguna(s) de las sig. Intersecciones?

- m) Periférico – Del Crepúsculo
- n) Periférico – Blvd. Pueblitos
- o) Periférico – Industrial (Chamberlain)
- p) Periférico – Andador 24
- q) Periférico – Gral. Francisco R.
- r) Periférico – Z y F. Bustamante
- s) Periférico – Gregorio Ruíz
- t) Periférico – Gral. Lauro Villa
- u) Periférico – Tecnológico
- v) Periférico – John F. Kennedy
- w) Periférico – Av. Hidalgo
- x) Periférico – Prolongación Obregón

¿Cuál cree que sea el motivo de que estén mal las opciones que selecciono?

- a) Tiempos en semáforos
- b) Falta de semáforos
- c) Otra

Si su opción fue otra, mencionarla:

10. ¿Qué le gustaría mejorar de los cruceros?

- a) Tiempos en semáforos
- b) Instalar semáforo peatonal
- c) Otra

Si su opción fue otra, mencionarla:

11. ¿Le gustaría que hubiese semáforos inteligentes que ayuden a disminuir el congestionamiento de automóviles en cualquier hora del día y a su vez se tome en cuenta al peatón?

- a) Si
- b) No