



**Facultad de ingeniería, industrial y construcción**

**Trabajo de titulación previo a la obtención al título de  
ingeniero eléctrico**

**Título:**

“Diseño de un sistema de coordinación de semáforos controlado por  
PLC, aplicado en la avenida 113 en la ciudad de Manta”

**Autores:**

Bazurto Mendieta Jonathan Jesús

Mendoza Santana Marcos José

**Tutor:**

Ing. Juan Miguel Cedeño Villaprado, MSc

**Manta-Ecuador**

## CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

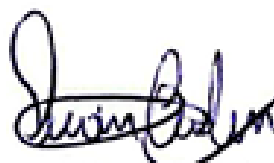
Haber dirigido y revisado el trabajo de Integración Curricular, bajo la autoría de los estudiantes Bazurto Mendieta Jonathan Jesús y Mendoza Santana Marcos José, legalmente matriculado/a en la carrera de Electricidad, período académico 2026-2026, cumpliendo el total de 400 horas, cuyo tema del proyecto es "Diseño de un sistema de coordinación de semáforos controlado por PLC, aplicado en la avenida 113 en la ciudad de Manta".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 20 de julio de 2026.

Lo certifico,



Ing. Juan Miguel Cedeño Villaprado, MSc  
**Docente Tutor(a)**  
**Área:**

## AUTORÍA DEL PROYECTO TÉCNICO

Quienes suscriben, Bazurto Mendieta Jonathan Jesús y Mendoza Santana Marcos José con cédulas de identidad, 131555703-1 y 131555841-9, egresados de la carrera de Electricidad de la universidad Laica “Eloy Alfaro De Manabí”, Declaramos que el presente proyecto de titulación “Diseño de un sistema de coordinación de semáforos controlado por PLC, aplicado en la avenida 113 en la ciudad de Manta” constituye un trabajo desarrollado íntegramente por nuestra autoría.

Asimismo, manifestamos que el contenido, análisis, metodología, resultados, conclusiones y recomendaciones expuestos en este trabajo son de nuestra exclusiva responsabilidad académica. De igual manera, certificamos que toda la información proveniente de otras fuentes ha sido debidamente citada y referenciada conforme a las normativas vigentes, respetando en todo momento los derechos de propiedad intelectual de los autores consultados.

El patrimonio intelectual de este proyecto de titulación corresponderá a la universidad Laica “Eloy Alfaro De Manabí”



Bazurto Mendieta Jonathan Jesús  
131555703-1



Mendoza Santana Marcos José  
131555841-9



Ing. Juan Miguel Cedeño Villaprado, MSc  
**Docente Tutor(a)**

## **Agradecimiento**

En primera instancia agradezco a Dios por su amor, por darme aquella paz que necesita el corazón de cada una de las personas, expreso mi mayor agradecimiento por permitirme estar con vida y darme la sabiduría, paciencia y deseo de culminar mi carrera académica.

A mis padres, porque este logro es posible gracias a sus sabios consejos, su paciencia y su apoyo fundamental, agradezco su esfuerzo por sacar adelante a mis hermanos y a mí, pese a las dificultades siempre han sido un pilar fundamental, las palabras faltarían para agradecerle a mi Padre y Madre, estaré eternamente agradecidos por los padres que Dios me regalo.

A mis hermanos, por apoyarme en momento de dificultad, por su predisposición y por estar presente en cada una de las etapas de mi vida, agradezco por su apoyo incondicional tanto de mi hermano mayor y mi hermana menor, agradezco a Dios por los hermanos que me permitió tener.

A mi compañero de tesis, que fue una clave fundamental para hacer posible este trabajo de titulación con sus ideas, apoyo y conocimiento, quedo agradecido por todo el tiempo el cual pudimos compartir como compañeros de tesis.

Agradezco, a cada uno de mis familiares, mis abuelos, mis tíos, mis primos. Por sus palabras, en especial a cada una de las personas que pude conocer en este maravilloso proceso académico, a mi tutor de tesis.

Jonathan Bazurto

## **Agradecimiento**

A Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación profesional.

A mis hijas, mi esposa y mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y la confianza que siempre depositaron en mí. Gracias por acompañarme en cada desafío y por motivarme a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mi tutor de tesis, por compartir sus conocimientos, orientación y experiencia, contribuyendo de manera significativa al desarrollo de esta investigación y a mi crecimiento académico y profesional.

A mi compañero de tesis, quien con su apoyo, consejo y motivación hicieron más llevadero este proceso, compartiendo experiencias que enriquecieron mi formación.

Finalmente, expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas de la facultad, que de una u otra manera, aportaron sus conocimientos y anécdotas en todo mi proceso académico. Este logro no solo representa la culminación de una meta, sino también el resultado del esfuerzo, la dedicación y el respaldo de quienes estuvieron presentes durante este camino.

A todos ustedes, mi más profunda gratitud.

Marcos Mendoza

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de titulación y logro en primer lugar y en especial a Dios, por permitirme culminar esta etapa y por permitirme caminar junto con Cristo.

A mis padres, por su condicional amor, compañía y apoyo, agradezco cada uno de sus palabras, por ello les dedico este logro y cada uno de los logros que tendré en mi vida, los amo.

A mis hermanos, por ser una fuente de fuerza y agradezco por su apoyo incondicional.

A mis familiares, este logro es por cada uno de mis familiares que me apoyaron a lo largo de mi vida académica.

Dedicatoria especial por cada una de las personas que aportaron un granito de arena para poder culminar este maravilloso proceso, mis mas sincero agradecimiento y dedicatoria

Jonathan Bazurto

## **Dedicatoria**

Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía, mi fortaleza. Gracias por concederme la sabiduría, la salud y la perseverancia para superar cada obstáculo y alcanzar esta importante meta.

A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y las enseñanzas que forjaron los valores con los que hoy afronto cada reto. Todo lo que soy es, en gran parte, gracias a ustedes.

A mi amada esposa, por ser mi compañera de vida, mi apoyo incondicional y mi refugio en los momentos de mayor dificultad. Gracias por tu paciencia, comprensión y por creer en mí incluso cuando el cansancio y las responsabilidades parecían superar mis fuerzas.

A mis dos queridas hijas, quienes son la mayor bendición de mi vida y la razón por la que cada día busco ser una mejor persona. Cada esfuerzo realizado durante este proceso tuvo como propósito construir un mejor futuro para ustedes. Espero que este logro les recuerde siempre que, con dedicación, disciplina y perseverancia, los sueños pueden hacerse realidad.

A mi familia, por acompañarme con sus palabras de aliento, su apoyo y su confianza durante todo este recorrido académico.

Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional. Este logro representa el resultado de años de esfuerzo, sacrificio y aprendizaje, y simboliza el inicio de una nueva etapa llena de retos, oportunidades y el compromiso de ejercer mi profesión con ética, responsabilidad y vocación de servicio.

Marcos Menoza

## Resumen

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad realizar una eficiente coordinación de semáforos en la avenida 113 de la ciudad de Manta, para evitar congestiones vehiculares prolongadas las cuales generan malestar por los usuarios de dicha avenida, en la cual transitan la mayoría de vehiculos, porque es una zona o una de las vías importante de la ciudad de Manta porque nos lleva directamente al Centro de la ciudad.

Dentro de la investigación se dará a conocer qué tipo de topología es vinculada ahora en los semáforos de dicha avenida y cuál sería la configuración más adecuada para ciertos semáforos los cuales el flujo vehicular ya sea en la avenida y las intersecciones es mayor, es el caso de donde se centra la investigación el evidenciar y elaborar una mejora en el tramo con mayor congestión vehicular, para así elaborar de forma eficaz los tiempos de verde en cada uno de estos semáforos, también el poder demorar que solo con la configuración la continuidad de paso vehicular mejorara. Para ello se demostrar de forma práctica dichos cambios en los módulos de los laboratorios de la carrera de ingeniería eléctrica.

## Tabla de contenido

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Resumen .....                                              | 8  |
| Tabla de ilustraciones.....                                | 12 |
| Tabla de cuadros .....                                     | 12 |
| Tabla de formulas.....                                     | 14 |
| Capítulo I: Introducción.....                              | 15 |
| 1.1.    Título: .....                                      | 15 |
| 1.2.    Antecedentes:.....                                 | 15 |
| 1.3.    Justificación .....                                | 16 |
| 1.4.    Importancia y propósito .....                      | 17 |
| 1.5.    Objetivo general .....                             | 18 |
| 1.6.    Objetivos específicos .....                        | 18 |
| Capítulo II: Marco Teórico .....                           | 19 |
| 2.1. Políticas públicas de seguridad vial en Ecuador. .... | 19 |
| 2.2. Capacidad de una infraestructura de transporte. ....  | 20 |
| 2.2.1. Flujo ininterrumpido: .....                         | 20 |
| 2.2.2. Flujo interrumpido: .....                           | 20 |
| 2.3. Criterios de la capacidad vehicular: .....            | 21 |
| 2.4. Niveles de servicio. ....                             | 21 |
| 2.5. Control de tráfico por semaforización. ....           | 23 |
| 2.5.1. ¿Cómo funciona un sistema de semáforo? .....        | 23 |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.2. Detectores de tránsito: .....                                 | 23 |
| 2.6. Tipos de semáforos: .....                                       | 25 |
| 2.6.1. Semáforos de tiempo fijo:.....                                | 25 |
| 2.6.2. Semáforos activados: .....                                    | 25 |
| 2.6.3. Semáforos adaptativos: .....                                  | 26 |
| 2.7. Coordinación de Semáforos.....                                  | 26 |
| 2.7.1. Capacidad u oferta del sistema vial: .....                    | 27 |
| 2.7.2. Demanda vehicular: .....                                      | 27 |
| 2.7.3. Tránsito promedio diario (TPD): .....                         | 27 |
| 2.7.4. Flujo de saturación:.....                                     | 28 |
| 2.8. El PLC fundamental en la automatización industrial .....        | 28 |
| 2.9. ¿Qué es un PLC? .....                                           | 29 |
| 2.10. Simatic HMI: .....                                             | 30 |
| Capítulo III: Diseño De Proyecto .....                               | 31 |
| 3.1. Metodología.....                                                | 31 |
| 3.1.1. Tipo de investigación .....                                   | 31 |
| 3.1.2. Tipo de estudio.....                                          | 31 |
| 3.1.3. Métodos e instrumentos .....                                  | 32 |
| 3.2. Estudio y determinación del tráfico vehicular .....             | 32 |
| 3.2.1. Ubicación del proyecto: .....                                 | 32 |
| 3.2.2. Conteo manual de tráfico en cada una de las estaciones: ..... | 36 |
| 3.2.3. parámetros para el registro vehicular. ....                   | 36 |

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.4. Tiempos de duración en semáforos.....                        | 38 |
| 3.2.5. Resultado del conteo vehicular .....                         | 40 |
| 3.2.6. Flujo vehicular aplicado en el caso de estudio: .....        | 41 |
| 3.3. Situación actual:.....                                         | 45 |
| 3.4. propuesta de actualización .....                               | 46 |
| 3.4.1. ¿por qué implementar el doble ciclo en la avenida 113? ..... | 46 |
| 3.5. Diseño de la coordinación de semáforos. ....                   | 48 |
| 3.5.1. Levantamiento Geométrico: .....                              | 48 |
| 3.5.2. Distancia entre intersecciones.....                          | 49 |
| 3.5.3. El flujo horario.....                                        | 50 |
| 3.5.4. Cálculo del intervalo de cambio: .....                       | 51 |
| 3.5.5. Tiempo perdido:.....                                         | 51 |
| 3.5.6. Tiempo de recorrido entre intersecciones .....               | 52 |
| 3.5.7. Ciclo de operación .....                                     | 52 |
| 3.5.8. Tiempo verde efectivo .....                                  | 53 |
| 3.5.9. Redistribución de tiempos: .....                             | 53 |
| 3.5.10. Cálculo del rojo.....                                       | 54 |
| 3.6. Estado de operación del sistema .....                          | 55 |
| 3.3. Programación en PLC sim .....                                  | 55 |
| CAPITULO 4.....                                                     | 57 |
| 4.1. Programación en LOGO Soft .....                                | 57 |
| Bibliografía .....                                                  | 67 |

## Tabla de ilustraciones

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1: imagen referencial de un PLC fuente: (siemens, 2026) .....                                                                     | 29 |
| Ilustración 2: Interfaz hombre-Máquina. Obtenido de (IronTECH, 2023).....                                                                     | 30 |
| Ilustración 3: Semáforo #1 Av. 113 y Av. Las Acacias (entrada divino niño;<br>imagen referencial obtenida de Google earth .....               | 33 |
| Ilustración 4: Semáforo # 2: Av. 113 (Referencia Puerto Plaza y Titan); imagen<br>referencial obtenida de Google earth.....                   | 34 |
| Ilustración 5: Semáforo #3: Calle Oliva Miranda y Av. 113; imagen referencial<br>obtenida de Google earth.....                                | 34 |
| Ilustración 6: Semáforo #4: Calle Oliva Miranda y Av. 113 entrada al barrio San<br>Agustin; imagen referencial obtenida de Google earth ..... | 35 |
| Ilustración 7: Semáforo # 5: Av. 113 Diagonal al colegio Pedro Balda; imagen<br>referencial obtenida de Google earth.....                     | 35 |
| Ilustración 8: avenida 113 de la ciudad de Manta; imagen referencial obtenida de<br>Google earth .....                                        | 36 |
| Ilustración 9: Intervalo de 7:00 a 7:15; Autores: Bazurto y Mendoza.....                                                                      | 40 |
| Ilustración 10: Intervalo de 13:15 a 13:30; Autores: Bazurto y Mendoza.....                                                                   | 40 |
| Ilustración 11: Intervalo de 18:00 a 18:15; Autores: Bazurto y Mendoza.....                                                                   | 41 |
| Ilustración 12: Área de semáforos a intervenir; imagen referencial obtenida de<br>Google earth .....                                          | 44 |
| Ilustración 13: Ciclo semafórico actual; Autores: Bazurto y Mendoza.....                                                                      | 45 |
| Ilustración 14: Ciclo semafórico propuesto; Autores: Bazurto y Mendoza.....                                                                   | 46 |

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 15: levantamiento de circulación vehicular en la av 113; Autores:<br>Bazurto y Mendoza.....             | 48 |
| Ilustración 16: Distancia entre S2 Y S4; imagen referencial obtenida en Google<br>earth .....                       | 49 |
| Ilustración 17: Distancia entre S2 y S3; Imagen obtenida en Google earth .....                                      | 50 |
| Ilustración 18: Programación en Logo soft; Autores Bazurto y Mendoza .....                                          | 57 |
| Ilustración 19: Ilustración 20:Imagen de configuración semafórica; Autores:<br>Bazurto y Mendoza.....               | 58 |
| Ilustración 21: Dirección ip de los bloques de salidas; Autores Bazurto y<br>Mendoza .....                          | 59 |
| Ilustración 22: Bloques de entrada de señal del sensor; Autores: Bazurto y<br>Mendoza .....                         | 60 |
| Ilustración 23: Imagen de topología entre PLC local y logos (Maestro y esclavo);<br>Autores: Bazurto y Mendoza..... | 61 |
| Ilustración 24: Configuración de ambos ciclos; Autores: Bazurto y Mendoza ..                                        | 62 |
| Ilustración 25: proceso de cableado en módulos de prácticas; Autor: Bazurto y<br>Mendoza .....                      | 62 |
| Ilustración 26: Anexo N°1 .....                                                                                     | 65 |
| Ilustración 27: ANEXO N°2 .....                                                                                     | 66 |

## Tabla de cuadros

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: tabla de nivel de servicio- Elaboración Propia .....                                                          | 22 |
| Tabla 2: Tabla obtenida de Excel; Autores: Bazurto y Mendoza.....                                                      | 37 |
| Tabla 3: Comparativa de tiempo actual con tiempo propuesto; Autores Bazurto y Mendoza .....                            | 53 |
| Tabla 4: Estado de cada uno de los semáforos en coordinación con el diseño propuesto; Autores: Bazurto y Mendoza ..... | 55 |

## Tabla de formulas

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1: Formula de demanda vehicular, Fuente: (Verdezoto, Montes, & Medina, 2020)..... | 27 |
| Ecuación 2: Formula de tránsito diario, Fuente: (Montes, 2025).....                        | 28 |
| Ecuación 3: Formula de Flujo vehicular.....                                                | 41 |
| Ecuación 4: Formula de flujo horario .....                                                 | 50 |
| Ecuación 5: Formula de intervalo de cambio .....                                           | 51 |
| Ecuación 6: Formula de tiempo perdido.....                                                 | 52 |
| Ecuación 7: Formula de tiempo verde efectivo .....                                         | 53 |
| Ecuación 8: Formula del cálculo del rojo .....                                             | 54 |

## **Capítulo I: Introducción**

### **1.1.Título:**

Diseño de un sistema de coordinación de semáforos controlado por PLC, aplicado en la avenida 113 en la ciudad de Manta.

### **1.2.Antecedentes:**

En los últimos años la ciudad de Manta a presenciado un cambio significativo en su infraestructura vehicular, ya que el crecimiento vehicular se ha incrementado progresivamente, ya que el uso de vehículos automotriz aumento por la necesidad de la ciudadanía, con ello también aumenta la congestión vehicular, en la ciudad de Manta y mucho más en sus avenidas concurrentes. Una de dichas avenidas importantes de la ciudad es la avenida 113, la cual conecta varias zonas de la ciudad, ya sean residenciales, comerciales y de servicio, por lo tanto, mantiene un tránsito concurrente durante el día y mucho más en horas pico.

La avenida 113 consta con un sistema de semaforización instalada, a pesar de que existe un control, las interrupciones frecuentes en cada punto de control por medio de semáforos aumenta el tiempo de viaje, consumo adicional de combustible y por lo tanto mayores niveles de contaminación por emisión de ozono. En la actualidad existe en varias ciudades del Ecuador una coordinación semafórica adecuada, la cual demuestra mejoras importantes en la movilidad urbana mediante la sincronización de los ciclos y la implementación de ondas verdes en corredores viales estratégicos.

La incorporación de controles lógicos programables (PLC) en el control de sistemas de tráfico representa una alternativa moderna y eficiente, al permitir la automatización, monitoreo y sincronización de los tiempos de semáforos con alta confiabilidad. En este contexto, la presente investigación presenta desarrollar una coordinación de semaforización en la avenida 113, utilizando PLC como núcleo del control, para optimizar la circulación vehicular y mejorar la eficiencia del sistema de tránsito.

### **1.3.Justificación**

La eficiencia del sistema de transporte urbano de Manta se ve afectada por la congestión vehicular, la semaforización actual opera con tiempos predefinidos sin coordinación entre sí, provocando que los vehículos se detengan repetidamente en cada intersección.

Mediante la coordinación semafórica controlada con PLC, es posible establecer un ciclo común y desfases temporales que permiten crear una “onda verde”, facilitando la circulación continua a velocidades óptimas. El uso de PLC garantiza precisión, estabilidad y flexibilidad en la programación, además de ser una herramienta de bajo costo en comparación con sistemas de control centralizados más complejos.

Este proyecto constituye desarrollar una propuesta técnica aplicable que podría ser replicada por las autoridades municipales de la ciudad de Manta en futuras implementaciones. A su vez, presentar un aporte académico relevante para la carrera de Ingeniería Eléctrica, al integrar automatización con la gestión de tráfico urbano, fortaleciendo la formación en control, simulación y diseño de sistemas eléctricos automatizados.

Se pretende utilizar controlador lógico programable (PLC) ya que nos permite diseñar un sistema que cumpla los requerimientos de la propuesta y para su adaptación a necesidades futuras, con la intención de que se pueda extender la coordinación de semáforos por toda la avenida, ya que en esta investigación se toma en cuenta un tramo de la vía que cubre un total de 6 semáforos de la avenida, adicional se toma en cuenta los semáforos de una intersección específica la cual nos permite viajar hacia el centro de Manta que sería la av 113, regresar a la zona urbana que es por medio de la av. 4 de noviembre y adicional avanzar hacia el terminal terrestre y aeropuerto de la ciudad por medio de la av. Oliva Miranda.

#### **1.4.Importancia y propósito**

Este estudio se enfoca en la mejora de la movilidad urbana y en la integración del control automatizado del tránsito, mediante la coordinación de los semáforos, se busca reducir los tiempos de detención, las emisiones contaminantes, beneficiando tanto a conductores y peatones.

El alcance de la investigación comprende el análisis, diseño y simulación de la coordinación semafórica en la avenida 113 de Manta, utilizando software especializado para la programación, así como herramientas complementarias para el análisis de tiempos y sincronización. Además, se usarán los módulos de PLC de la facultad de ingeniería eléctrica para demostrar de forma visual, el comportamiento de cada uno de los semáforos.

### **1.5.Objetivo general**

Diseñar un sistema de coordinación de semáforos en la avenida 113 de la ciudad de Manta, aplicado a la intersección con mayor flujo vehicular, considerando el análisis previo de congestión vehicular en el sector.

### **1.6.Objetivos específicos**

- Analizar el comportamiento del flujo vehicular en la avenida 113 para determinar las condiciones actuales de operación y los tiempos de ciclo de cada intersección.
- Determinar la intersección con mayor demanda vehicular para implementar la mejora del sistema por medio de una coordinación de semáforos eficiente.
- Calcular los tiempos óptimos necesario para cada uno de los ciclos de la zona seleccionada a intervenir
- Diseñar la lógica de control en un PLC que permita la operación sincronizada y adaptable del sistema semafórico.
- Simular el funcionamiento del sistema de coordinación mediante el uso de PLC sim, demostrando la secuencia de fase y sincronización de tiempos.
- Evaluar la eficiencia del diseño propuesto comparando los resultados con la operación semafórica actual.

## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1. Políticas públicas de seguridad vial en Ecuador.

Según (ESPOL, 2024) “El establecimiento de normativas relacionadas con los principales factores de riesgo, constituye una parte esencial junto con la correcta aplicación permite consolidar una cultura integral de seguridad vial”

Estos factores crean un enfoque integral para fortalecer la seguridad en las vías, por lo cual debe de fundamentarse en evidencia científica, en la cual se debe de contar con una estructura coherente y mantenerse en constante actualización. En algunos países incluido Ecuador, se tiene en cuenta la coexistencia de disposiciones legales tanto a nivel nacional, regional o local. Lo que genera inconsistencias normativas y generar ambigüedad. Existen variaciones significativas en las regulaciones de tránsito en distintas jurisdicciones, lo que puede dificultar el uso de políticas orientadas a la seguridad y una de las formas de existir un orden adecuado en las calles es a través de la correcta semaforización de las calles y avenidas de las ciudades (ESPOL, 2024).

En el territorio ecuatoriano, se ha mostrado una clara necesidad de consolidar un marco unificado de reglamentos que facilite las medidas de seguridad vial en todo el territorio nacional. Este proceso debería de ser la actualización de la legislación y el fortalecimiento de las capacidades de los organismos de control, mediante capacitaciones continúa y el mejoramiento de la coordinación de semáforos. (ESPOL, 2024)

## **2.2. Capacidad de una infraestructura de transporte.**

Permite conocer cómo se acomoda el flujo vehicular o de peatones, para poder obtener la capacidad infraestructural se debe de conocer mediante un análisis el cual nos permite conocer la demanda y la calidad de flujo. Es necesario para tomar las decisiones y acciones correctas al momento de elaborar el plan de señalización y control vehicular, el análisis de servicio permite responder preguntas, tales como (Escobar, 2007):

- ¿Cuál es la calidad de servicio durante las horas pico?
- ¿Qué tipo de vía es necesaria para poder abastecer el flujo vehicular?
- ¿Es necesario ampliar la vía en el futuro?
- ¿Qué tipo de señalización es la adecuado?

Según (Escobar, 2007) “las infraestructuras se clasifican en dos categorías las cuales son, flujo ininterrumpido e interrumpido”

### ***2.2.1. Flujo ininterrumpido:***

Según (Escobar, 2007) “Son tipos de infraestructuras que no tienen elementos fijos, como los semáforos, que sean externos al flujo y que lo puedan interrumpir. Las condiciones de circulación son el resultado de las interacciones entre los vehículos en el flujo y entre los vehículos y las características geométricas y de entorno de la carretera.”

### ***2.2.2. Flujo interrumpido:***

Según (Escobar, 2007) “Las infraestructuras de este tipo tienen elementos fijos que pueden interrumpir el flujo vehicular. Estos elementos incluyen intersecciones de prioridad, intersecciones semaforizadas y paraderos

de buses. Estos dispositivos obligan a parar el tránsito en forma periódica o a reducir significativamente su velocidad, independencia de la magnitud del tránsito,”

### **2.3. Criterios de la capacidad vehicular:**

Se denomina a la capacidad máxima de flujo vehicular que una calle o avenida puede soportar de manera eficiente y segura en intervalos de tiempo ya sea en horas pico o no, depende también de muchos factores, uno de ellos es el tipo de calle y su construcción, las características del tráfico, el tipo de vehículos que pasa por la zona, las condiciones ambientales también es algo importante que se debe de considerar. (Surichaqui, y otros, 2023)

La forma correcta de poder determinar la capacidad vehicular es vehículo por hora, con la cual se puede determinar cuál es la capacidad de una calle o avenida, para poder tomar acciones necesarias y ese fuera el caso. También se utiliza para poder construir de forma eficiente una vía y planificar mejoras con las cuales reducir la congestión vehicular. Debemos de tomar en cuenta que existe una diferencia significativa entre capacidad vehicular y volumen de tráfico, el cual es para medir el número real de vehículos que pasan en una sección de la vía en un tiempo determinado. (Surichaqui, y otros, 2023)

### **2.4. Niveles de servicio.**

Según (Escobar, 2007) “Es utilizado para evaluar la calidad del flujo vehicular, existen 6 tipos de servicio, los cuales están categorizados desde la A hasta la F”, los cuales se describen en la siguiente tabla:

*Tabla 1: tabla de nivel de servicio- Elaboración Propia*

*fuentes: (Escobar, 2007)*

|                            |                                                                                                                                          |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nivel de servicio A</b> | Es el nivel con menor congestión vehicular en el cual el flujo es libre.                                                                 |
| <b>Nivel de servicio B</b> | Está dentro del rango estable de flujo vehicular, pero se restringe de forma mínima las maniobras que se pueden realizar.                |
| <b>Nivel de servicio C</b> | El nivel de comodidad dentro de la carretera comienza a verse afectada y se restringe mucho más las maniobras que se pueden realizar.    |
| <b>Nivel de servicio D</b> | Se eleva el tráfico, aunque aún el flujo vehicular permanece estable.                                                                    |
| <b>Nivel de servicio E</b> | El funcionamiento estable desciende notablemente y la velocidad con la cual pasa el vehículo se ve restringida por el flujo vehicular    |
| <b>Nivel de servicio F</b> | La cantidad de tráfico es notable en este nivel y excede la cantidad vehicular que puede transitar por la zona, generando estancamiento. |

Para poder mitigar o controlar el tráfico se debe de controlar con señalizaciones, semáforos, estructuras dentro de la vía como redondeles y en la actualidad el uso de tecnologías inteligentes.

## **2.5. Control de tráfico por semaforización.**

Se puede gestionar de forma eficiente el tráfico vehicular en intersecciones por medio de semáforos los cuales controlan el paso vehicular por medio de tres luces esenciales las cuales son: verde, ámbar y roja. Los cuales se pueden controlar por medio de temporizadores que establecen un rango específico para que cada una de estas luces estén encendidas, existen también sistemas inteligentes que usan sensores para detectar los vehículos, peatones. (Chen, 2025).

### ***2.5.1. ¿Cómo funciona un sistema de semáforo?***

Este sistema de control vehicular utiliza un controlador el cual gestiona la operación de cambio entre luces, ya sea esta roja la cual significa que los vehículos deben de detenerse, la luz verde tiene como finalidad darle la apertura a los vehículos para que puedan transitar de forma segura y por último la luz ámbar es la transición entre la verde y la roja la cual tiene como finalidad dar una prevención a los vehículos que deben de detenerse. (Chen, 2025)

### ***2.5.2. Detectores de tránsito:***

Según (INEN, 2012) el cual es el instituto ecuatoriano de normalización nos comenta que “los detectores de tránsito son dispositivos que se utilizan en un sistema de semáforos semi o completamente actuados por el tránsito vehicular y peatonal. Los cuales registran la presencia o paso de vehículos y peatones. La demanda es generada por la detección de vehículos, operación de botones de presión peatonales y otros sensores, interruptores y más. El tránsito que cruza o se aproxima a una intersección, puede ser detectado en cualquier etapa del ciclo, ya que los detectores están relacionados tanto con los movimientos vehiculares” el cual permiten:

- Demandar una fase o detección inicial el tránsito que se aproxima cuando la luz del semáforo es amarilla o roja, registra demanda inicial. (INEN, 2012)
- Extender una fase ya que cuando el tránsito se aproxima es verde, registra que requiere que la señal verde se mantenga para continuar. (INEN, 2012)

Existen algunos tipos de detectores de acuerdo con su función, los cuales son:

- Detectores vehiculares.
- Detectores para peatones.
- Detectores especiales como ferroviarios

Y su utilización depende de qué tipo de tránsito va a ser detectado los cuales pueden incluir:

- Vehículos
- Peatones
- Tránsito prioritario
- Vehículos especiales

Los más usados son los detectores de vehículos y para su función se utiliza algunos principios físicos como radares, luz, sonido y video. (INEN, 2012)

## 2.6. Tipos de semáforos:

Existen diferentes tipos de semáforos los cuales se describen a continuación:

### ***2.6.1. Semáforos de tiempo fijo:***

Su funcionamiento está determinado por un ciclo previamente ya definido, el cual cambia las luces en un intervalo diseñado e independiente de las condiciones actuales del tráfico, estos se utilizan generalmente en zonas las cuales su tráfico es predecible. (FAMA, 2024)

### ***2.6.2. Semáforos activados:***

Estos están diseñados y equipados con sensores los cuales permiten detectar la presencia de vehículos o peatones, permitiendo ajustar su ciclo de intervalo, los cuales se modifica según el estado actual de la vía o intersección en el que está ubicado, permitiendo un flujo vehicular más eficiente, dentro de este rango existen dos tipos de semáforos activados, los cuales son (FAMA, 2024):

- **Semi-actuados:** Estos semáforos cuentan con sensores en las vías secundarias de una intersección. El semáforo de la vía principal permanece en verde hasta que se detecta un vehículo en la vía secundaria, momento en el cual el semáforo cambia para permitir el paso del tráfico de la vía secundaria. (FAMA, 2024)
- **Semáforos de accionamiento completo:** Cuentan con sensores en todos los accesos a la intersección. El semáforo cambia según la demanda de tráfico en todas las direcciones, optimizando el flujo vehicular y reduciendo las demoras. (FAMA, 2024)

### **2.6.3. Semáforos adaptativos:**

Representan lo último en tecnología en la gestión de tráfico, los cuales utilizan datos en tiempo real de sensores y cámaras para monitorizar y ajustar de forma continua la temporización de los semáforos según las condiciones actuales de la vía en la cual están ubicados. Este tipo de semáforos pueden modificar la duración de sus ciclos. (FAMA, 2024)

## **2.7. Coordinación de Semáforos**

La coordinación semafórica en vías de alto flujo vehicular se define como el proceso en el cual se planifica y sincronizan los ciclos de los semáforos en intersecciones, con la finalidad de optimizar el paso vehicular a lo largo de una vía, permitiendo el desplazamiento vehicular de forma continua a velocidades controladas y reduciendo la congestión vehicular innecesarias. Se determina el desfase entre la luz verde de los distintos semáforos que se coordinaran y sus intersecciones, para mantener un orden claro y ordenado en cada uno de los semáforos. (Ivorra, y otros, 2002)

El funcionamiento es un proceso en el cual la sincronización es efectiva cuando los semáforos seleccionados tienen una correcta programación de sus ciclos tanto en: verde, rojo y ámbar. El uso de cámaras es importante para detectar el volumen de flujo vehicular y la velocidad del tráfico en tiempo real. Por lo cual estos datos son procesados por medio de controladores electrónicos estos ajustan las señales para optimizar el flujo vehicular, en sistemas mucho más actuales usan inteligencia artificial para adaptarse a el tráfico, horas pico o eventos inesperados.

### **2.7.1. Capacidad u oferta del sistema vial:**

(Verdezoto, Montes, & Medina, 2020), nos comenta que la capacidad u oferta del sistema vial es la capacidad máxima de vehículos ya sean pesados o livianos que pueden transitar por un tramo durante un tiempo determinado en condiciones favorables, en las cuales influyen la infraestructura vial, las condiciones de tránsito, el control vehicular. Al cambiar o alterar algunas de estas condiciones se modificaría la capacidad del sistema vial.

### **2.7.2. Demanda vehicular:**

Según (Verdezoto, Montes, & Medina, 2020) es el número de vehículos que pasan por un determinado tramo de la vía, durante un periodo de tiempo establecido, se cuantifica para establecer una relación la cual se puede determinar matemáticamente con la siguiente formula:

$$q = \frac{N}{t}$$

*Ecuación 1: Formula de demanda vehicular, Fuente: (Verdezoto, Montes, & Medina, 2020)*

En la cual:

q es el flujo vehicular

N: número de vehículos contados

t: tiempo de conteo en el cual es en horas

su forma de conteo es vehículos / hora.

### **2.7.3. Tránsito promedio diario (TPD):**

(Montes, 2025) nos comenta que es la información que obtenemos en los estudios que nos permite establecer el tránsito promedio diario (TPD), el cual es

el numero promedio de vehículos que circulan diariamente por un tramo de la vía en la cual se tomara los datos para cuantificar la carga vehicular en la vía.

Podemos también tomar en cuenta el TPDS el cual es el tránsito promedio diario semanal, es cual es el promedio de vehículos que pasan en un determinado periodo en la semana. La fórmula que debemos tener en cuenta es la siguiente:

$$TPDS = \frac{\sum_{i=1}^7 \text{Volumen diario}}{7}$$

*Ecuación 2: Formula de tránsito diario, Fuente: (Montes, 2025)*

#### **2.7.4. Flujo de saturación:**

De acuerdo con (Vargas, 2019), el flujo de saturación se define como el máximo volumen de tránsito que pueden entrar en una intersección semaforizada, por un acceso o carril de este y al determinar este valor es posible determinar la capacidad de que dispone un carril o varios carriles con el tiempo efectivo disponible para el cruce.

### **2.8. El PLC fundamental en la automatización industrial**

Dentro de la industria surgió la necesidad de hacer los procesos mucho más eficientes y rápidos, en este contexto el controlador lógico programable (PLC) se ha posicionado como la herramienta clave para diseñar sistemas más eficientes por su flexibilidad, robustez y capacidad para poder adaptarse, por lo tanto se convirtió en uno de los componentes esenciales y claves para llevar la industria hacia otro nivel, con esto existen mucho tipos y marcas de PLC, el diseño de estos componentes tiene el propósito de sustituir sistemas basados en relés y temporizadores, por lo que ofrece una plataforma digital programable que gestiona tanto entradas como salidas a su vez. Gracias a su diseño y a su

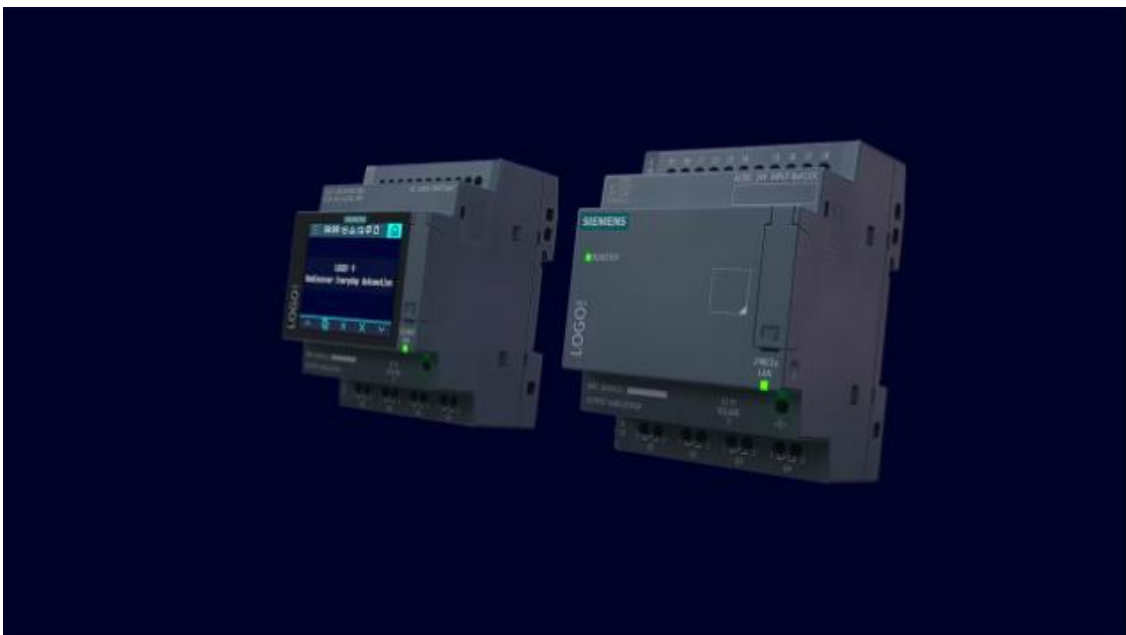
capacidad de programación, su aplicación se ha hecho esencial para muchos procesos tanto en industrias de diversas materias primas y también como en elementos claves para el uso de semaforización inteligente, ya que su mayor fortaleza es su adaptabilidad a cualquier proceso. (Guangaje, 2025)

## 2.9. ¿Qué es un PLC?

(paessler, 2026) nos comenta que las siglas PLC son las siguientes “programmable logic controller” el cual es un dispositivo programable que se puede utilizar para poder gestionar procesos electromecánicos, generalmente es en el ámbito industrial pero se puede aplicar en muchas más áreas, nos permite monitorear el estado de un dispositivo de entrada con señales ya sea por ejemplo la de un interruptor de luz y toma las decisiones sobre el estado del dispositivo en la salida, con este mismo ejemplo el apagar y prender una iluminaria.

También (paessler, 2026) nos comenta que es importante conocer los componentes del PLC, primero el cual está conectado a una fuente de alimentación, el cual consta de una unidad central de procesamiento, un bastidor

*Ilustración 1: imagen referencial de un PLC fuente: (siemens, 2026)*



de montaje, memoria de lectura, memoria RAM, módulos tanto de entrada y de salida, el diseño de los PLC es de forma modular

## 2.10. Simatic HMI:

Es un interfaz hombre-máquina que permite interactuar entre el operador (humano) y una máquina o un sistema automatizado el cual es conocido como MMI. El HMI actúa como el punto de conexión y comunicación entre el hombre y el sistema, en la cual los usuarios pueden operar, controlar y configurar dispositivos o procesos de una forma eficiente e intuitiva. (IronTECH, 2023)

Dentro de los objetivos fundamentales simplificar las operaciones automatizadas y proporcionar una interfaz gráfica y amigable que permita a el usuario tener una interfaz gráfica con representaciones de datos y estado del sistema, lo cual facilita la toma de decisiones en tiempo real. (IronTECH, 2023)

*Ilustración 2: Interfaz hombre-Máquina. Obtenido de (IronTECH, 2023)*



## **Capítulo III: Diseño De Proyecto**

### **3.1. Metodología**

#### ***3.1.1. Tipo de investigación***

La presente investigación corresponde al tipo descriptivo y proyectivo, con un enfoque al diseño técnico y elaboración de un sistema de coordinación semafórica mediante PLC. Se considera descriptiva ya que, permite el análisis de las condiciones actuales del flujo vehicular y el funcionamiento de los semáforos en la avenida 113. En este apartado de la investigación se describirán los componentes que se utilizarán en la programación para la automatización. También es proyectiva, ya que plantea un modelo mejorado con base en técnicas de coordinación semafórica y control lógico programable.

El diseño de investigación es no experimental ya que, no se manipula de una forma física los semáforos en la vía, con lo cual no se interviene en ninguno de ellos, sino que se desarrollara una propuesta técnica por medio de una simulación que representa el comportamiento del sistema coordinado.

#### ***3.1.2. Tipo de estudio***

Se clasifica como proyectivo, ya que está dirigido a optimizar los tiempos de espera por medio de una coordinación de semáforos en la avenida 113 en Manta, principalmente en un tramo de esta misma ya que cuenta con una intersección con tres semáforos existentes, el presente estudio permite obtener una base sólida para realizar la coordinación, en el punto donde existe mayor congestión vehicular.

Tiene un enfoque analítico, ya que permite conocer el sistema actual de semaforización y cada uno de los componentes o agentes que intervienen, de esta forma comprender su funcionamiento.

También, tenemos una combinación de parte teórica con practica utilizando los módulos del laboratorio de la facultad de ingeniería eléctrica que nos ayudan a palpar los resultados de la investigación de una forma visible.

### ***3.1.3. Métodos e instrumentos***

El método utilizado es el bibliográfico, este método permite consultar libros, manuales, informes académicos, informes técnicos, proyectos relacionados al de la actual investigación, artículos científicos. Con el fin de obtener una base para el marco teórico y reforzar y comprender conceptos para familiarizarnos con la coordinación de semáforos.

Como instrumento principal se utilizó PLC logo de Siemens, el cual nos permite diseñar la lógica de control con todas las variables que influyen en el funcionamiento óptimo de la coordinación de semáforos.

Como instrumento secundario se hace uso de los módulos para prácticas que se encuentran en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Carrera de Electricidad, estos nos permiten diseñar la lógica y cableado del estudio.

## **3.2. Estudio y determinación del tráfico vehicular**

### ***3.2.1. Ubicación del proyecto:***

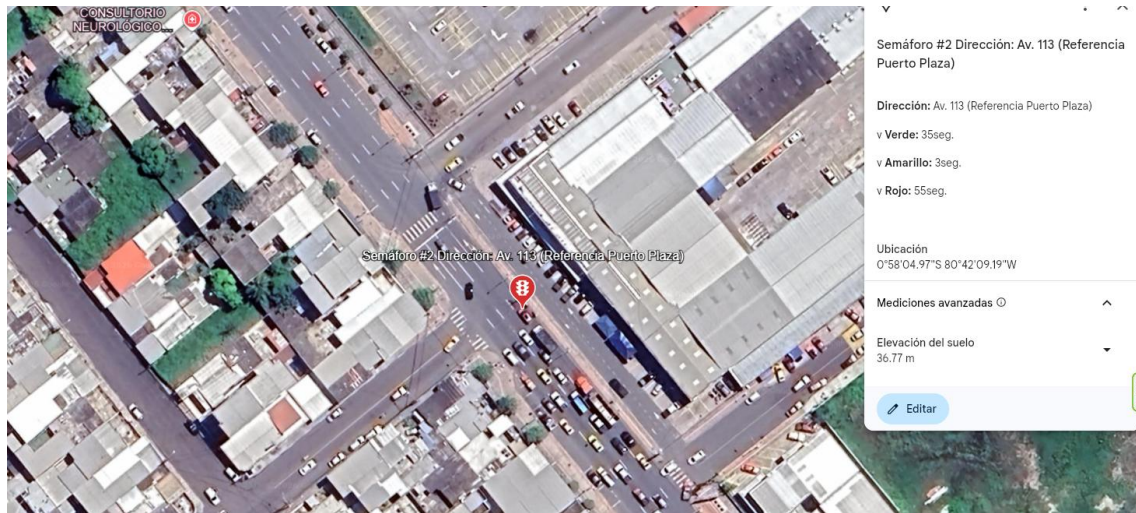
La ubicación para analizar se encuentra en la ciudad de Manta, específicadamente en un fragmento de la avenida 113, en la cual se encuentra una serie de semáforos, los que es de interés para el presente trabajo son 6 semáforos de dicha avenida, estos se describirán de acuerdo al orden en el que se

consideró para determinar que tramo tiene mayor flujo vehicular, como tal la vía es de un solo sentido, lo que facilitó la dirección en el cuales se iba a tomar de referencia como primer semáforo hasta el último semáforo el cual es el sexto, al conocer las ubicaciones de los semáforos se realizara la toma de datos o conteo de autos ya sea liviano o pesado y transporte público o privado, para tomar a consideración el fragmento con mayor congestión vehicular o de alto flujo vehicular y mejorar los tiempos de coordinación entre semáforos, se describe cada uno de los semáforos y tomando su ubicación:

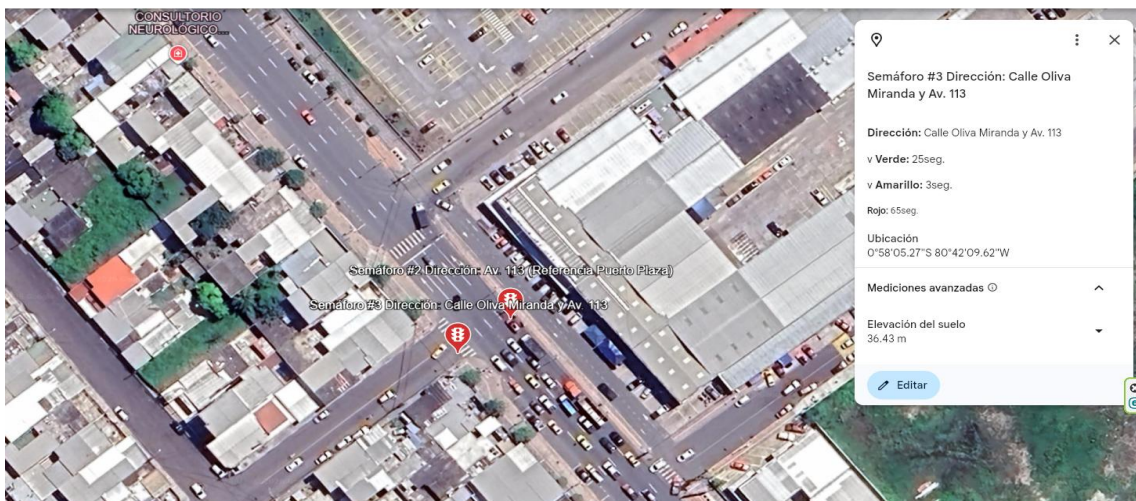
*Ilustración 3: Semáforo #1 Av. 113 y Av. Las Acacias (entrada divino niño; imagen referencial obtenida de Google earth*



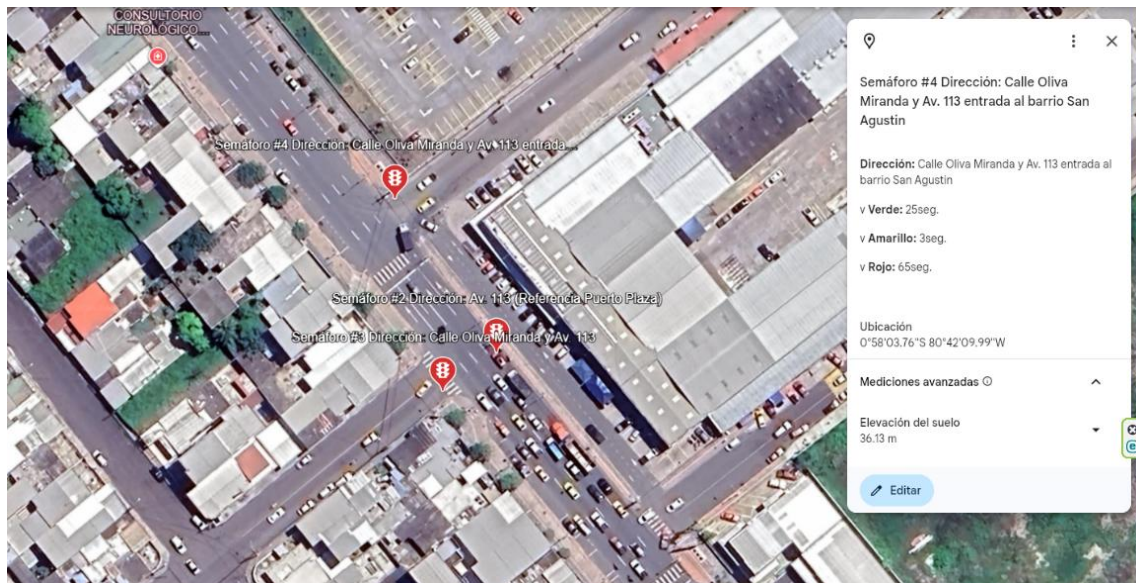
*Ilustración 4: Semáforo #2: Av. 113 (Referencia Puerto Plaza y Titan); imagen referencial obtenida de Google earth*



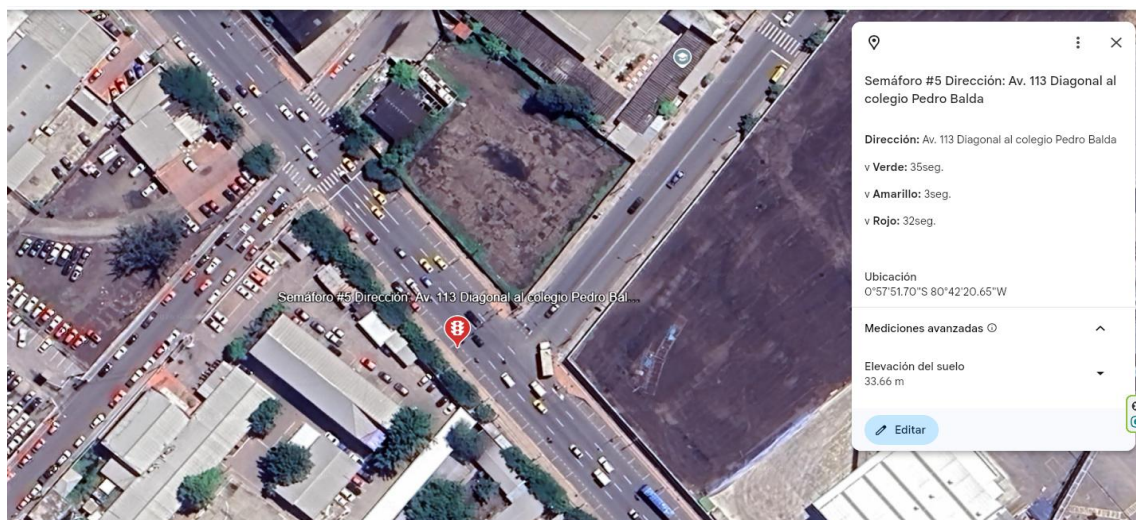
*Ilustración 5: Semáforo #3: Calle Oliva Miranda y Av. 113; imagen referencial obtenida de Google earth*



*Ilustración 6: Semáforo #4: Calle Oliva Miranda y Av. 113 entrada al barrio San Agustín; imagen referencial obtenida de Google earth*

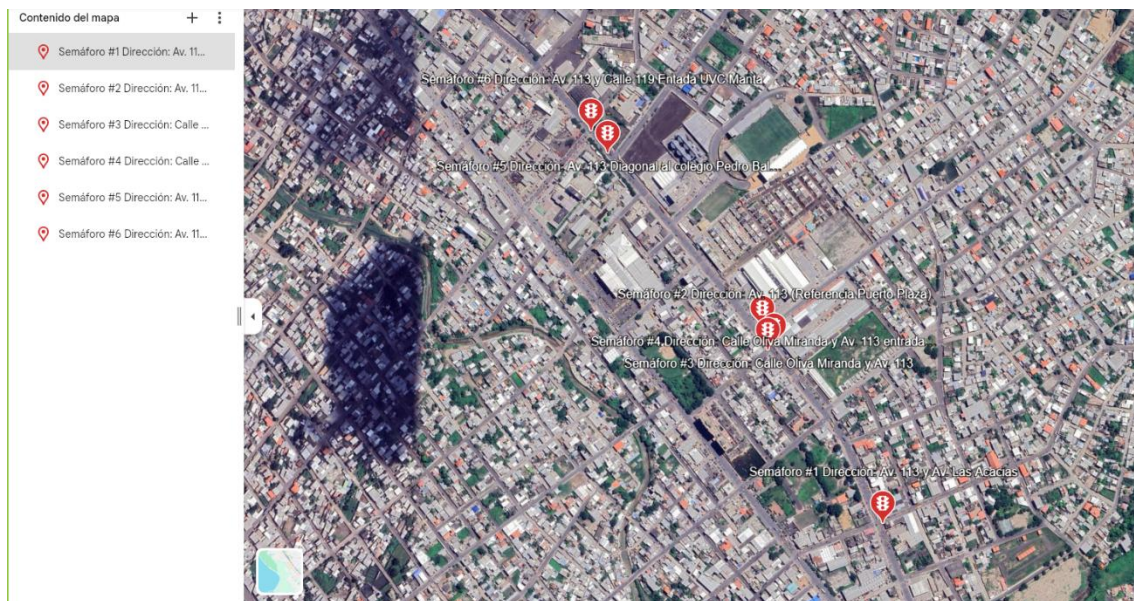


*Ilustración 7: Semáforo # 5: Av. 113 Diagonal al colegio Pedro Balda; imagen referencial obtenida de Google earth*



Se tomará datos en cada uno de los puntos, como referencia se les mencionará en cinco estaciones descritos en la siguiente imagen:

*Ilustración 8: avenida 113 de la ciudad de Manta; imagen referencial obtenida de Google earth*



### ***3.2.2. Conteo manual de tráfico en cada una de las estaciones:***

Es necesario realizar el conteo manual de vehículos para obtener la base de datos necesarias para tomar referencia del flujo vehicular, como se comporta el tráfico en horas pico. Al obtener dichos datos se podrá obtener la información necesaria para poder realizar una coordinación adecuada de los semáforos y dentro de la simulación realizar escenarios donde este fragmento de la avenida 113 este tanto en un escenario optimo y en un escenario de horas pico.

### ***3.2.3. parámetros para el registro vehicular.***

- **Horario:** el conteo vehicular se hará en un periodo de 7 días de lunes a domingo, entres distintos horarios. El primero será de 7:00 am a 9:00 am periodo de ingreso de clases y entrada a jornadas laborales, el segundo horario será de 11:30 am a 13:30 pm, periodo de tiempo el cual se da por salida de estudiantes en jornada matutina y entrada de estudiantes en jornada vespertina y

periodo de almuerzo de jornadas laborales, por último, el tercer periodo será de 16:30 pm a 18:30 pm, periodo de salida de estudiantes jornada vespertina y salida de personal en jornadas laborales.

- Forma de toma de datos: se tomará los datos por medio de una tabla la cual se dejará registrada la cantidad de vehiculos en periodos de 15 minutos, en los horarios establecidos en el punto anterior.

Tabla 2: Tabla obtenida de Excel; Autores: Bazurto y Mendoza

| Horario             | Día   | Hora   |       | Tipo de vía | vehículos livianos |       | vehículos pesados |          |
|---------------------|-------|--------|-------|-------------|--------------------|-------|-------------------|----------|
|                     |       | inicio | Fin   |             | Motocicletas       | Autos | buses             | camiones |
| 7:00 am 9:00 am     | Lunes | 7:00   | 7:15  |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 7:15   | 7:30  |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 7:30   | 7:45  |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 7:45   | 8:00  |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 8:00   | 8:15  |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 8:15   | 8:30  |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 8:30   | 8:45  |             |                    |       |                   |          |
| 8:45                |       | 9:00   |       |             |                    |       |                   |          |
| 11:30 am a 13:30 pm |       | 11:30  | 11:45 |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 11:45  | 12:00 |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 12:00  | 12:15 |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 12:15  | 12:30 |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 12:30  | 12:45 |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 12:45  | 13:00 |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 13:00  | 13:15 |             |                    |       |                   |          |
| 16:30 pm a 18:30    |       | 13:15  | 13:30 |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 16:30  | 16:45 |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 16:45  | 17:00 |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 17:00  | 17:15 |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 17:15  | 17:30 |             |                    |       |                   |          |
|                     |       | 17:30  | 17:45 |             |                    |       |                   |          |
|                     | 17:45 | 18:00  |       |             |                    |       |                   |          |
|                     | 18:00 | 18:15  |       |             |                    |       |                   |          |
|                     | 18:15 | 18:30  |       |             |                    |       |                   |          |

Los datos obtenidos serán de los seis tramos seleccionados, los cuales se van a considerar tanto la avenida 113, los cuales se describieron previamente al inicio del capítulo 3.

Con los datos obtenido obtendremos el flujo vehicular por hora de cada uno de los tramos y así conocer en que tramo existe mayor congestión vehicular y procesar los datos para así poder realizar el diseño.

Para aquello, los tiempos actuales de los semáforos serán tomados por medio de un cronometro, para poder considerar cual será el mejoramiento de estos tiempos al compararlos con los tiempos obtenidos al realizar el diseño.

### ***3.2.4. Tiempos de duración en semáforos***

#### **1. Semáforo #1**

**Dirección:** Av. 113 y Av. Las Acacias (entrada divino niño)

- **Verde:** 30seg.
- **Amarillo:** 3seg.
- **Rojo:** 22seg.

#### **2. Semáforo #2**

**Dirección:** Av. 113 (Referencia Puerto Plaza)

- **Verde:** 35seg.
- **Amarillo:** 3seg.
- **Rojo:** 55seg.

#### **3. Semáforo #3**

**Dirección:** Calle Oliva Miranda y Av. 113

- **Verde:** 25seg.
- **Amarillo:** 3seg.
- **Rojo:** 65seg.

#### **4. Semáforo #4**

**Dirección:** Calle Oliva Miranda y Av. 113 entrada al barrio San Agustín

- **Verde:** 25seg.
- **Amarillo:** 3seg.
- **Rojo:** 65seg.

## 5. Semáforo #5

**Dirección:** Av. 113 Diagonal al colegio Pedro Balda

- **Verde:** 35seg.
- **Amarillo:** 3seg.
- **Rojo:** 32seg.

## 6. Semáforo #6

**Dirección:** Av. 113 y Calle 119 Entada UVC Manta

- **Verde:** 45seg.
- **Amarillo:** 3seg.
- **Rojo:** 19seg.

Al determinar los datos previsto y realizando las adecuaciones necesarias y los cálculos respectivos para el mejoramiento y la coordinación de semáforos dichos valores previamente mencionados pueden variar, para optimizar el proceso y la mejora sea continua dentro de la coordinación de semáforos.

Estos valores están definidos en la programación actual y se obtuvieron al cronometrar cada uno de sus estados (verde, amarillo y rojo).

3.2.5. Resultado del conteo vehicular

Ilustración 9: Intervalo de 7:00 a 7:15; Autores: Bazurto y Mendoza

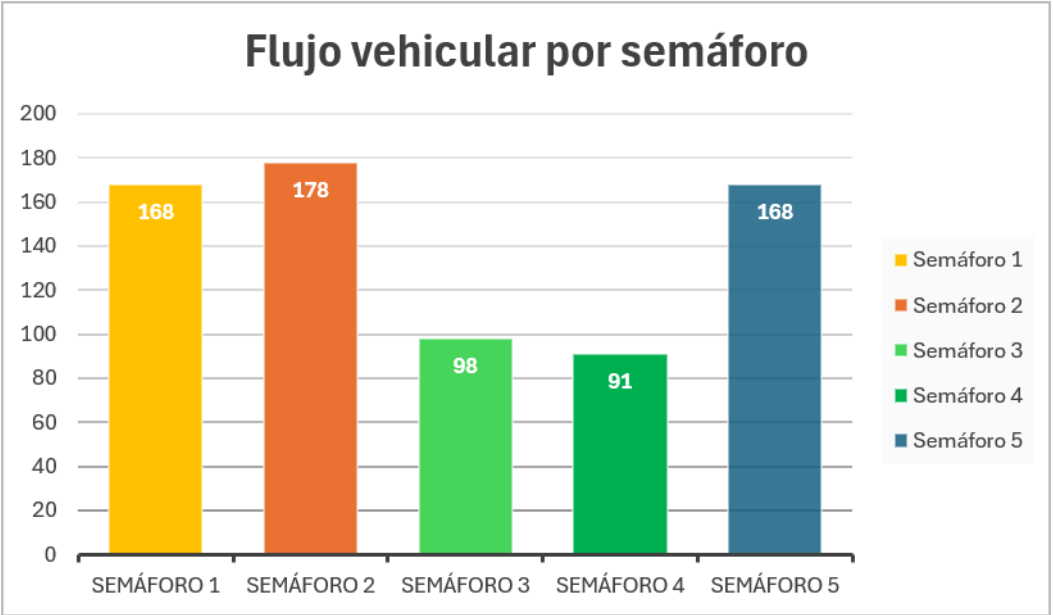
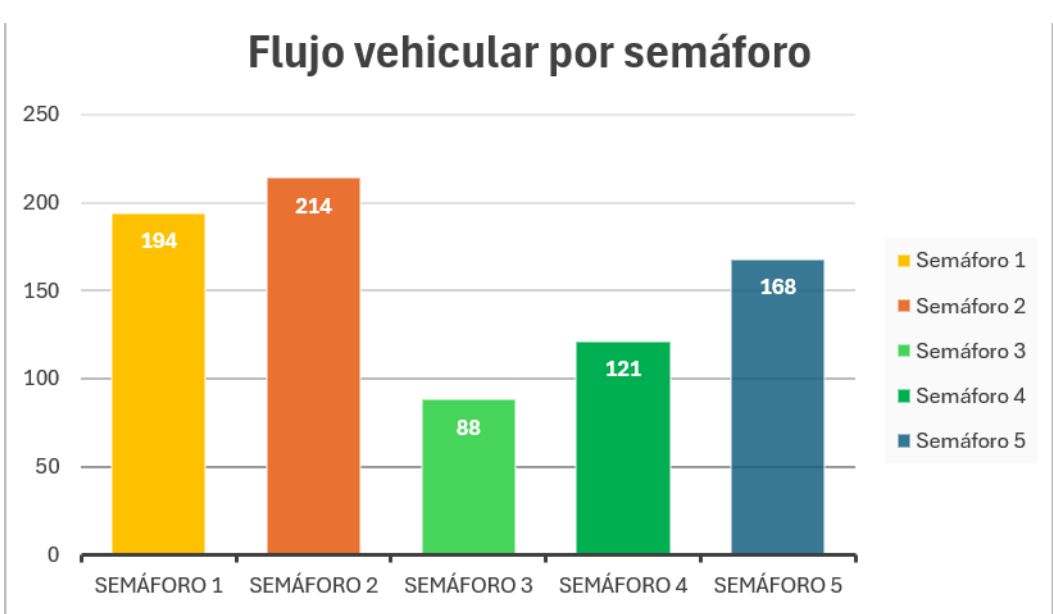
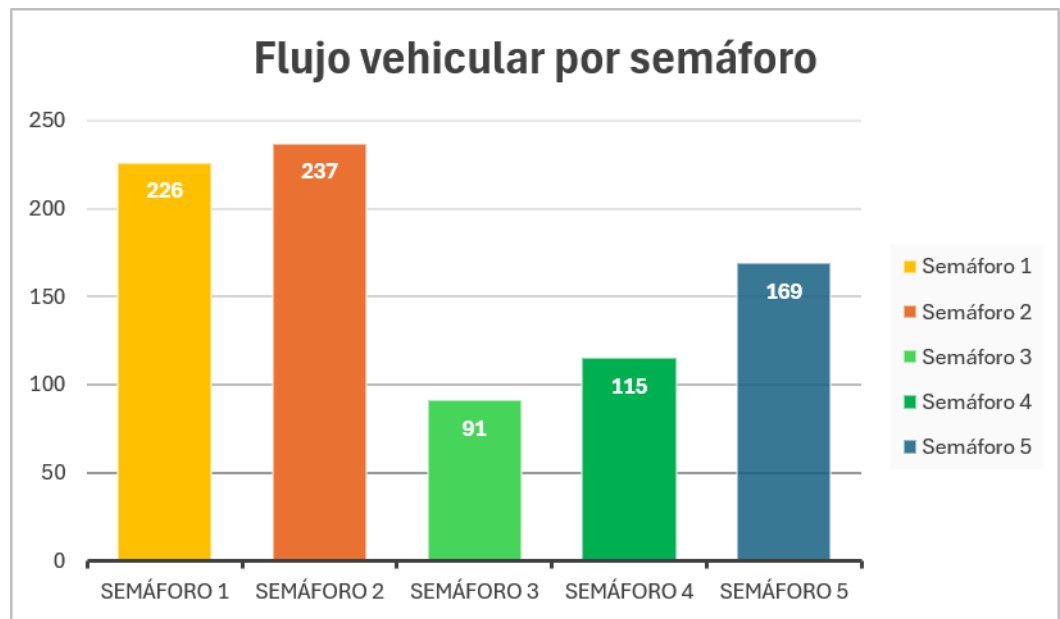


Ilustración 10: Intervalo de 13:15 a 13:30; Autores: Bazurto y Mendoza



*Ilustración 11: Intervalo de 18:00 a 18:15; Autores: Bazurto y Mendoza*



### **3.2.6. Flujo vehicular aplicado en el caso de estudio:**

En el capítulo II se planteó la siguiente formula:

*Ecuación 3: Formula de Flujo vehicular*

$$q = \frac{N}{t}$$

En la cual:

q es el flujo vehicular

N: número de vehículos contados

t: tiempo de conteo en el cual es en horas

su forma de conteo es vehículos / hora.

Por lo tanto, usaremos el conteo vehicular de cada uno de los semáforos y el tiempo será de 0.25 porque usamos un intervalo de 15 minutos lo que corresponde a  $\frac{1}{4}$  de hora equivalente en porcentaje al 25 %.

## 3.3.1. Semáforo #1

$$q = \frac{226}{0.25}$$

$$q = 904 \frac{vehiculos}{hora}$$

## 3.3.1. Semáforo #2

$$q = \frac{237}{0.25}$$

$$q = 948 \frac{vehiculos}{hora}$$

## 3.3.1. Semáforo #3

$$q = \frac{91}{0.25}$$

$$q = 364 \frac{vehiculos}{hora}$$

## 3.3.1. Semáforo #4

$$q = \frac{115}{0.25}$$

$$q = 460 \frac{vehiculos}{hora}$$

## 3.3.1. Semáforo #5

$$q = \frac{169}{0.25}$$

$$q = 676 \frac{vehiculos}{hora}$$

Según los datos tomados en campo, y analizando el estado de la avenida principal, se valida que el área a mejorar es del semáforo 2 y es de carácter importante ya que esta misma dada a su geografía consta con una intersección cruzada, por la cual en primera instancia se validan 3 semáforos en el sitio dando a tiempos en espera muy prolongados generando embotellamientos y esto a su vez genera retrasos.

Analizando los datos obtenidos en campo, tenemos que, en tiempos de alto flujo vehicular, se genera tiempos prolongados y acumulación de vehículos en los semáforos, llegando a haber entre 80 y 150 vehículos ya sea, vehículos motorizados, vehículos particulares y vehículos de transporte público.

Se toma en consideración esta intersección a intervenir dado que, este tramo de la avenida nos permite, avanzar hacia el centro de la ciudad desde el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, regresar a la Av. 4 de noviembre desde el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y avanzar al terminal terrestre y aeropuerto de manta desde el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, por lo tanto, con estos detalles, y también los tiempos existentes en los semáforos y llegando a validar que en el transcurso del día tenemos horas de mayor afluencia vehicular consideradas como horas pico.

Por lo tanto, el sincronismo se enfocará en el semáforo #2, semáforo #3 y semáforo #4. Ya que se considera que la avenida 113 e intersección Oliva Miranda es un punto estratégico, porque nos permite como usuarios retornar hacia la avenida 4 de noviembre y barrios aledaños, también podemos ir a la zona urbana de la ciudad, la misma intersección, pero en sentido opuesto nos

permite el recorrido hacia el terminal terrestre de Manta y el aeropuerto de la ciudad.

Partiendo de lo mencionado y analizado por medio de las gráficas, se realizará la optimización de los tres semáforos que se encuentra en la avenida y se observa en la ilustración 12.

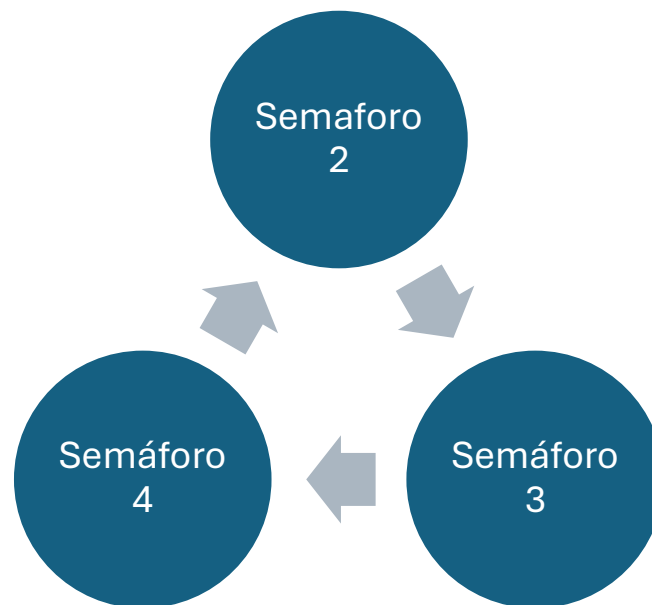
*Ilustración 12: Área de semáforos a intervenir; imagen referencial obtenida de Google earth*



### 3.3. Situación actual:

Actualmente el controlador trabaja con una secuencia convencional que sigue el siguiente esquema:

*Ilustración 13: Ciclo semafórico actual; Autores: Bazurto y Mendoza*



Considerando que:

- Semáforo 2: Semáforo principal avenida 113.
- Semáforo 3: Intersección que conecta a la avenida 4 de noviembre
- Semáforo 4: Intersección con referencia hacia el terminal terrestre

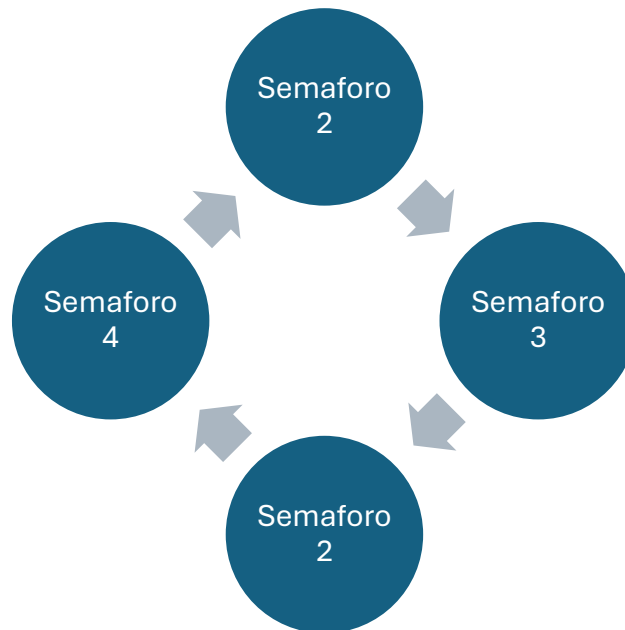
En esta lógica cada movimiento recibe una sola oportunidad de paso por ciclo. Cuando la avenida principal esta congestionada por un alza en el flujo vehicular, los vehículos deben esperar que finalicen todas las fases antes de volver a obtener luz verde. Lo que genera una congestión vehicular y tiempos de

espera prolongados, además la geometría de las intersecciones provoca conflictos recurrentes entre giros.

### 3.4. propuesta de actualización

Se propone modificar la secuencia a:

*Ilustración 14: Ciclo semafórico propuesto; Autores: Bazurto y Mendoza*



De esta manera, la fase correspondiente a la avenida 113 su ciclo se repite dos veces por intersección, formando un doble ciclo. La repetición del semáforo N°2 reduce el tiempo máximo de espera de los vehículos que circulan por la vía principal manteniendo una mejor progresión y disminuye la acumulación y aglomeración de vehículos en horarios pico, sin eliminar el servicio para los accesos secundarios.

#### ***3.4.1. ¿por qué implementar el doble ciclo en la avenida 113?***

La avenida 113 constituye una de las arterias viales importante de la ciudad de Manta, debido al elevado volumen vehicular que transita por esta vía ya que es una de las principales vías que nos permite llegar al centro de la ciudad tiene presencia de múltiples intersecciones semaforizadas. Pero la falta de una

adecuada coordinación entre los ciclos de los semáforos ocasiona demoras en horas pico, afectando la continuidad y eficiencia en el flujo vehicular.

Con base en el estudio del comportamiento del flujo vehicular y los datos tomados, se propone una estrategia distinta de coordinación la cual fue mencionada anteriormente, esta es una coordinación mediante doble ciclo, su fin es sincronizar el funcionamiento de los semáforos a coordinar en la presente investigación, optimizando la asignación de los tiempos de luz verde de acuerdo con el flujo vehicular.

Este tipo de topología de coordinación nos permite establecer una secuencia de operación entre los tres semáforos seleccionados previamente a intervenir, favoreciendo el paso vehicular en la avenida 113 tomándola como prioridad en horarios de alto flujo vehicular, pero sin dejar aún lado las intersecciones.

En la parte económica la siguiente propuesta no representa un gasto alto ya que no son trabajos de infraestructuras a mejorar en su totalidad más bien es una alternativa de bajo costo, porque su implementación principalmente afecta a la programación de los tiempo y sincronización de los semáforos. Evitando gastos relacionados en una nueva infraestructura de control vehicular.

Por lo tanto, es viable todo lo planteado para optimizar la operación de la avenida 113 en el tramo seleccionado, contribuyendo a una circulación vehicular más fluida, eficiente y con mayor seguridad.

Por ello los siguientes cálculos demostrarán los tiempos apropiados y el tipo de topología que se usara para realizar un cambio de tiempos. Existirán dos escenarios los cuales se van a describir como:

- Normal
- Alto tráfico

Estos estados estarán configurados con una topología distinta, en el estado normal se usará el funcionamiento actual del semáforo con sus tiempos actuales los cuales fueron tomados en sitio, el siguiente estado de alto tráfico la topología de sincronismo de los semáforos será distinta, se utilizará un selector para cambiar los estados el cual simulara una entrada digital en la cual serán sensores que estarán en el área donde están ubicados los semáforos.

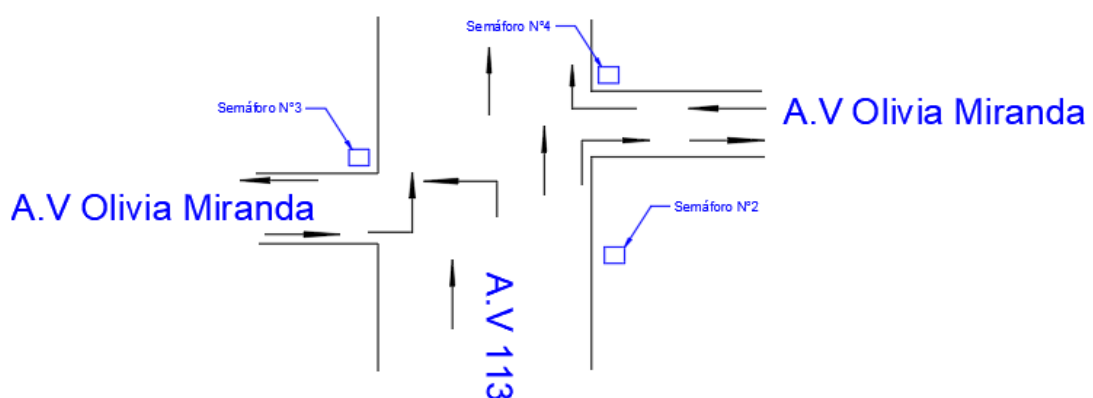
A continuación, se describirá cada uno de los cálculos para obtener el valor de verde efectivo en cada uno de los semáforos.

### 3.5. Diseño de la coordinación de semáforos.

#### 3.5.1. Levantamiento Geométrico:

La siguiente imagen ilustra cada uno de los sentidos de circulación del

*Ilustración 15: levantamiento de circulación vehicular en la av 113; Autores: Bazurto y Mendoza*



fragmento que previamente se seleccionó para intervenir:

En la imagen anterior se observa de forma referencial la intersección N°1 la cual es la avenida 113 se podría describir de la siguiente manera:

- 4 carriles
- Un solo sentido de circulación vehicular
- Es la vía principal

La avenida Olivia Miranda en la cual se encuentra el semáforo N°3 se describe de la siguiente manera:

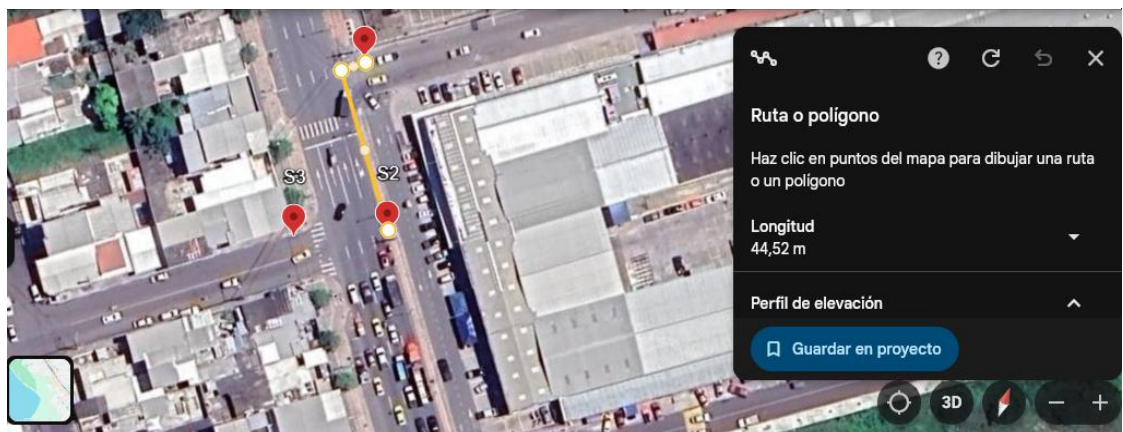
- Vía de dos carriles
- Doble sentido de circulación

La avenida Olivia Miranda en la cual se encuentra el semáforo N°4 se describe de la siguiente manera:

- Vía de dos carriles
- Doble sentido de circulación

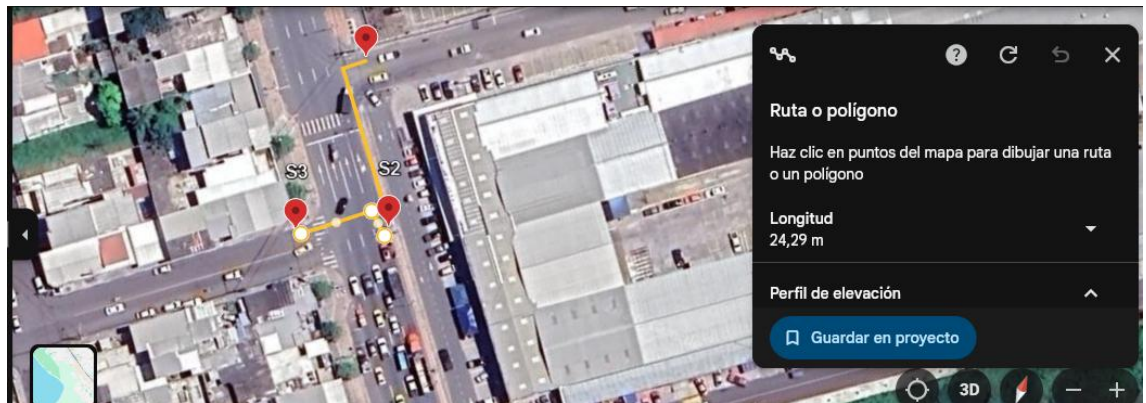
### 3.5.2. Distancia entre intersecciones

*Ilustración 16: Distancia entre S2 Y S4; imagen referencial obtenida en Google eath*



Se observa una distancia desde el Semáforo N°2 a N°4 de 44,52 metros

*Ilustración 17: Distancia entre S2 y S3; Imagen obtenida en Google earth*



Se observa una distancia desde el Semáforo N°2 a N°3 de 24,29 metros

### ***3.5.3. El flujo horario***

lo obtenemos de la siguiente manera:

*Ecuación 4: Formula de flujo horario*

$$Q_h = Q_{15} * 4$$

Donde:

$Q_h$ : es el flujo horario equivalente (veh/h)

$Q_{15}$ : Vehículos contados en 15 minutos

Obtenemos los siguientes valores:

S2:

$$Q_h = 237 * 4$$

$$Q_h = 948 \text{ veh/h}$$

S3:

$$Q_h = 91 * 4$$

$$Q_h = 364 \text{ veh/h}$$

S4:

$$Q_h = 115 * 4$$

$$Q_h = 460 \text{ veh/h}$$

#### 3.5.4. Cálculo del intervalo de cambio:

Utilizamos la ecuación de ITE la cual se describe a continuación:

*Ecuación 5: Formula de intervalo de cambio*

$$IC = t_0 + \frac{V}{2a} + \frac{W + L}{V}$$

$IC$ : Intervalo de cambio de fase  $i$ , en segundos.

$t_0$ : Tiempo de percepción y reacción del conductor (1 sg)

$V$ : Velocidad de circulación (11.11 m/sg)

$a$ : Aceleración promedio (3 m/s<sup>2</sup>)

$W$ : Ancho de la intersección (m)

$L$ : Longitud promedio del vehículo (6 m)

S2:

$$IC = 1 + \frac{11.11}{6} + \frac{8.62 + 6}{11.11}$$

$$IC = 4.17 \text{ segundos}$$

S3:

$$IC = 4.02 \text{ segundos}$$

S4:

$$IC = 4.11 \text{ segundos}$$

#### 3.5.5. Tiempo perdido:

El tiempo perdido corresponde a la suma de los intervalos de cambio.

*Ecuación 6: Formula de tiempo perdido*

$$L = \sum IC_i$$

Donde:

$L$ : Tiempo perdido del ciclo

$IC_i$ : Intervalo de cambio de cada fase

$$L = 4.17 + 4.02 + 4.11$$

$$L = 12.30 \text{ segundos}$$

### ***3.5.6. Tiempo de recorrido entre intersecciones***

Estos tiempos son referencial para establecer los desfases entre semáforos durante la coordinación.

Del semáforo S2 a S3

$$t = \frac{24.29}{11.11}$$

$$t = 2.19 \text{ segundos}$$

Del semáforo S2 a S4

$$t = \frac{44.52}{11.11}$$

$$t = 4.01 \text{ segundos}$$

### ***3.5.7. Ciclo de operación***

Aunque el método de Webster permite estimar un ciclo óptimo para una intersección aislada, para el siguiente trabajo usaremos como referencia el ciclo

de operación existente de 93 segundos el cual es un valor referencial al momento de realizar una coordinación de semáforos, por lo tanto:

$$C = 93 \text{ segundos}$$

### 3.5.8. Tiempo verde efectivo

La fórmula es la siguiente:

*Ecuación 7: Formula de tiempo verde efectivo*

$$V_t = C - L$$

Entonces:

$$V_t = 93 - 12.30$$

$$V_t = 80.70 \text{ segundos}$$

Este seria el tiempo que tenemos a disposición para distribuirlo entre las fases de verde para obtener una coordinación adecuada los PLC trabajan en segundos por lo tanto se lo redondea a 81 segundos.

### 3.5.9. Redistribución de tiempos:

*Tabla 3: Comparativa de tiempo actual con tiempo propuesto; Autores Bazurto y Mendoza*

| Sistema actual  | Sistema propuesto |
|-----------------|-------------------|
| S2:35 segundos  | S2:40 segundos    |
| S3: 25 segundos | S3:23 segundos    |
| S4: 25 segundos | S4: 21 segundos   |

Estos valores son para los verdes de cada uno de los semáforos a continuación se mostrarán los cálculos para el rojo ya que se estima el color amarillo en 3 segundos.

### 3.5.10. Cálculo del rojo

La siguiente formula los permite calcular dichos valores en segundos:

*Ecuación 8: Formula del cálculo del rojo*

$$R = C - (V + A)$$

$R$ : tiempo de rojo

$C$ : ciclo total

$V$ : tiempo de verde del semáforo

$A$ : tiempo de amarillo

S2:

$$R = 93 - (40 + 3) = 50 \text{ segundos}$$

S3:

$$R = 93 - (23 + 3) = 67 \text{ segundos}$$

S4:

$$R = 93 - (21 + 3) = 69 \text{ segundos}$$

### 3.6. Estado de operación del sistema

*Tabla 4: Estado de cada uno de los semáforos en coordinación con el diseño propuesto; Autores: Bazurto y Mendoza*

| Estado | S2       | S3       | S4       |
|--------|----------|----------|----------|
| E1     | Verde    | Rojo     | Rojo     |
| E2     | Amarillo | Rojo     | Rojo     |
| E3     | Rojo     | Verde    | Rojo     |
| E4     | Rojo     | Amarillo | Rojo     |
| E5     | Verde    | Rojo     | Rojo     |
| E6     | Amarillo | Rojo     | Rojo     |
| E7     | Rojo     | Rojo     | Verde    |
| E8     | Rojo     | Rojo     | Amarillo |
| E9     | Verde    | Rojo     | Rojo     |

### 3.3. Programación en PLC sim

En el proceso de semaforización, los pasos a seguir son los siguientes.

En el semáforo de la avenida 113, (Titan) es el semáforo el cual tiende a congestionarse y es el que requiere de atención para poder optimizar los tiempos de circulación.

Según el análisis en campo, se ha determinado 3 lapsos de tiempo los cuales se consideran horas pico, en estos lapsos de tiempo se validan entre 150 y 200 vehículos estacionados esperando el cambio de semáforo.

La propuesta es optimizar el proceso vehicular, tomando en consideración los tiempos del semáforo principal y los dos secundarios que son de las intersecciones, esto se dará en el tramo de la avenida 113 diagonal al

supermercado Titan, dado que este tramo de intersección es de manera crucial un punto que me permite como usuario avanzar al centro de la ciudad, retornar a la zona urbana de la ciudad y avanzar al terminal y aeropuerto de la ciudad.

Este tramo de vía consta con una intersección la cual no es en línea recta si no que tiene una forma peculiar de cruce, este a su vez consta con semáforos independientes los cuales en un solo tramo de vía con intersección que en condiciones normales serian dos tiempos de semaforización, acá se consta con tres semáforos cada uno con su tiempo respectivo lo cual requerirá de configuraciones adicionales para su respectivo funcionamiento.

coordinación en PLC. Dada

Partiendo del análisis realizado, se toma en consideración el concepto de doble ciclo, el cual nos permite pasar de la configuración redactada anteriormente, a un ciclo que me permita mantener un flujo vehicular más estable.

Teniendo en consideración los semáforos establecidos, se consideró según el conceto de doble ciclo realizar la siguiente configuración de los semáforos:

$S2 \Rightarrow S3 \Rightarrow S2 \Rightarrow S4 \Rightarrow S2$

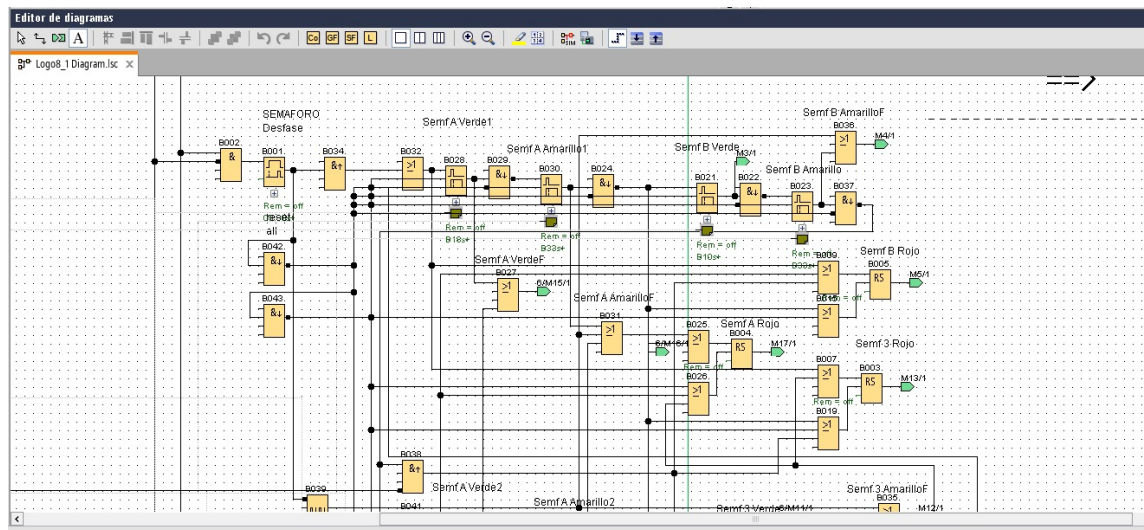
Estas configuraciones se simularán en los módulos de prácticas que se encuentran en el laboratorio de la Facultad de ingeniería, los cuales constan de PLC con sus respectivas entradas y salidas, adicional cuentan con los diferentes implementos para usar en la simulación, como lo son

selectores, pulsadores e indicadores led de los colores respectivos para la simulación práctica.

## CAPITULO 4

### 4.1. Programación en LOGO Soft

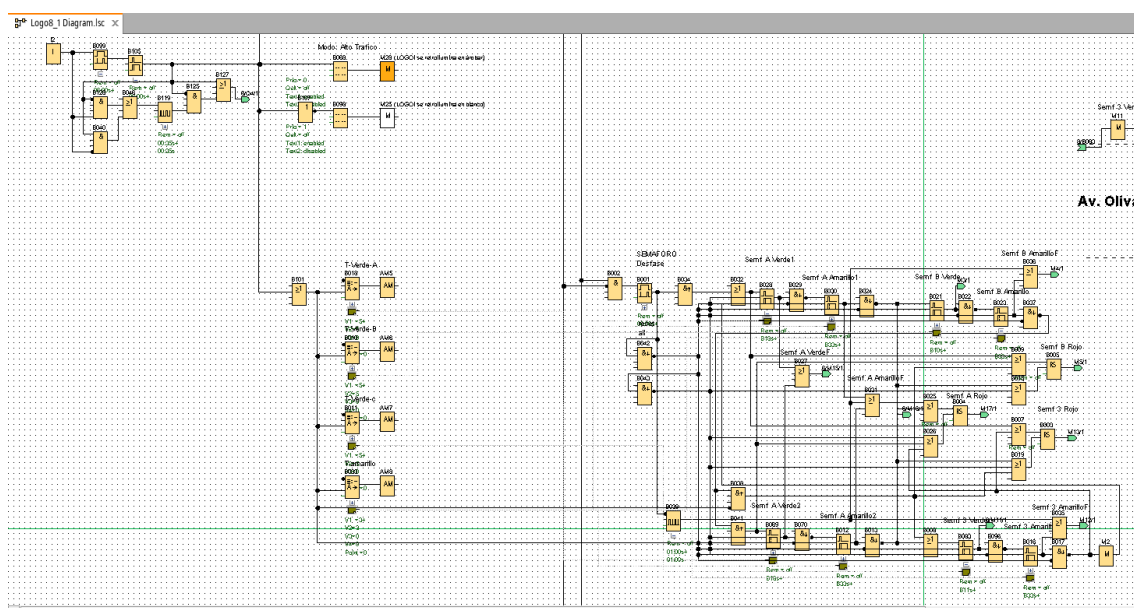
*Ilustración 18: Programación en Logo soft; Autores Bazurto y Mendoza*



Para la representación simulada de los ciclos semafóricos, se realizaron por medio de módulos de prácticas que se encuentran en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería, previo a esto se realizó la configuración lógica por medio de diagramas de bloques en el programa LOGO!Soft, lo cual me permite realizar el diseño estructural y lógico de los semáforos.

Partiendo desde los tiempos establecidos en los semáforos, se realiza la configuración de cada uno de los semáforos existentes, cada estado del semáforo sea verde ámbar o rojo está considerado como una salida por parte del PLC.

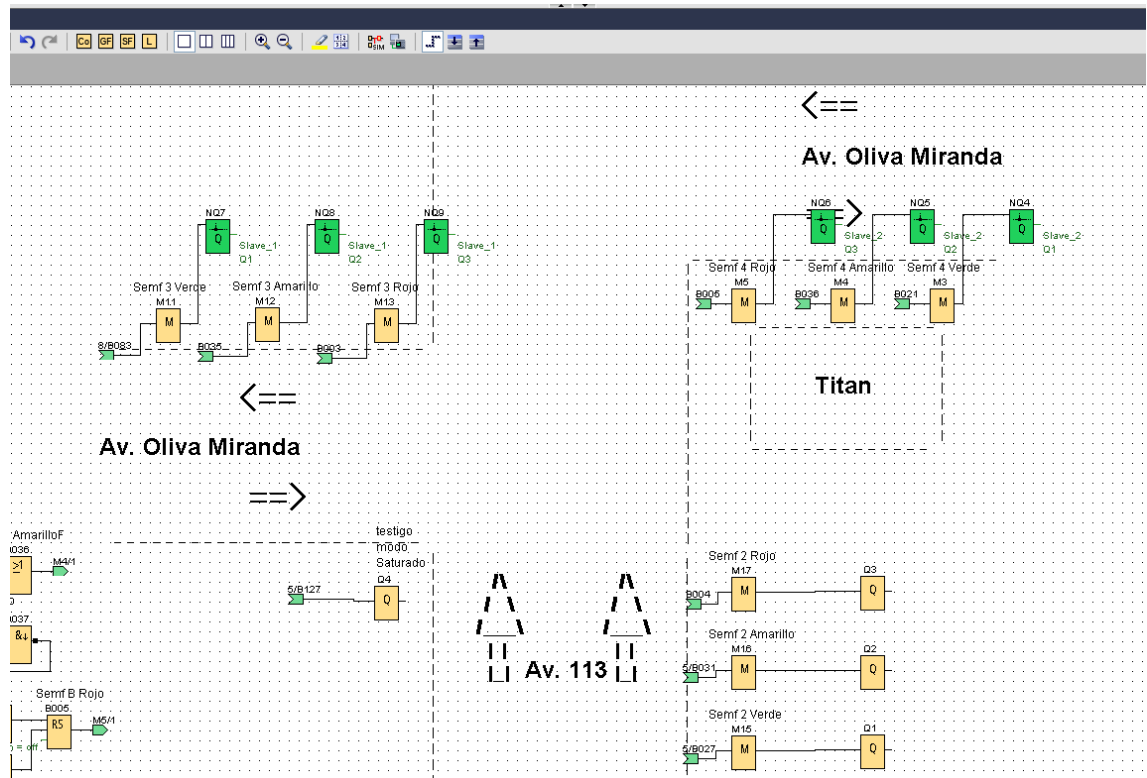
*Ilustración 19: Ilustración 20:Imagen de configuración semafórica; Autores: Bazurto y Mendoza*



En la ilustración 19 anterior se valida el proceso de configuración de los semáforos a intervenir, estos como se mencionó anteriormente se realizó por medio de bloques los cuales me permiten diseñar su configuración donde visualmente se pueden validar las conexiones de los bloques, y me permite identificar qué tipo de bloque se ha usado para la configuración.

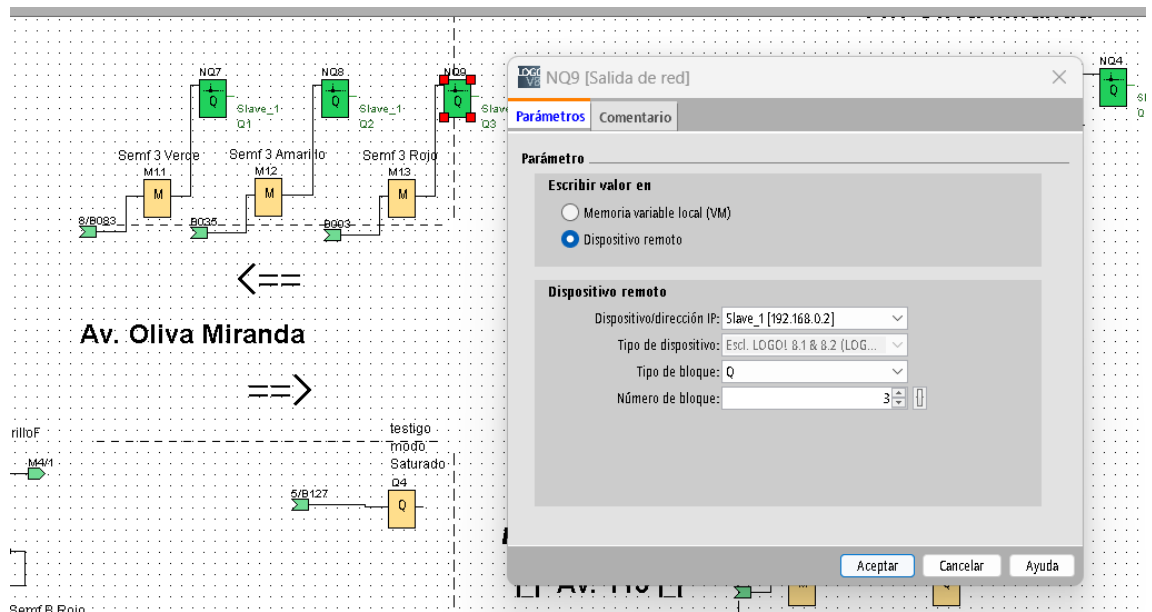
la programación mediante bloques es más intuitiva, donde se permite validar las conexiones entre bloques, adicional ver si hay alguna interferencia entre conexiones permitiendo corregir errores al momento de configurar la programación de los PLC.

Ilustración 20: Imagen de intersección a intervenir; Autores: Bazurto y Mendoza



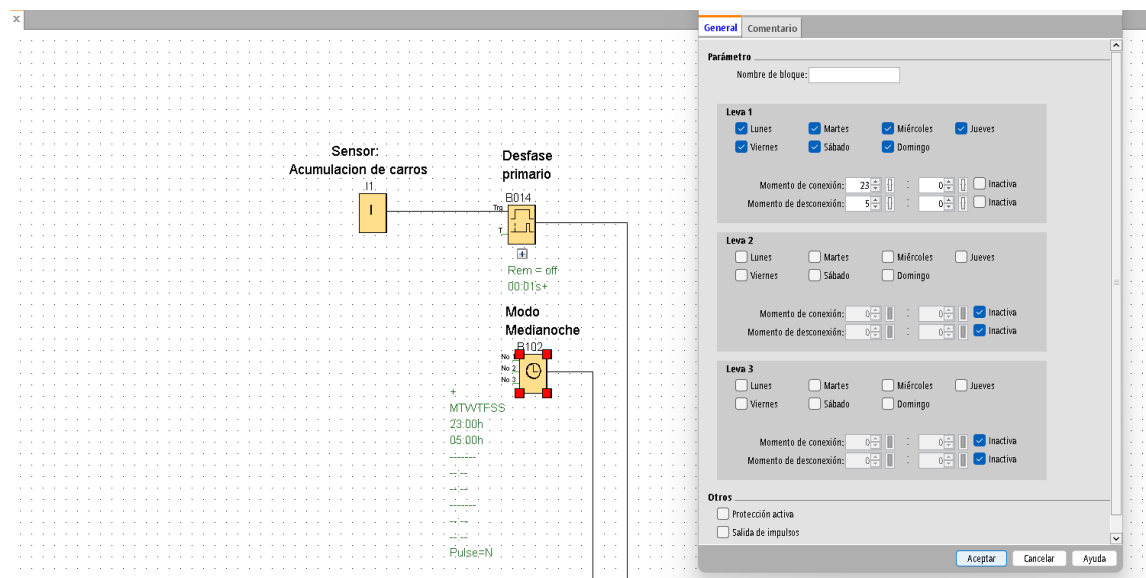
En la ilustración 20 se valida el diseño de la avenida con la intersección, adicional su configuración de bloques los cuales para poder tener salida a los módulos de practica se realizó el direccionamiento ip de cada salida de semáforo hacia la dirección ip de cada plc correspondiente sea maestro o esclavo.

Ilustración 21: Dirección ip de los bloques de salidas; Autores Bazurto y Mendoza



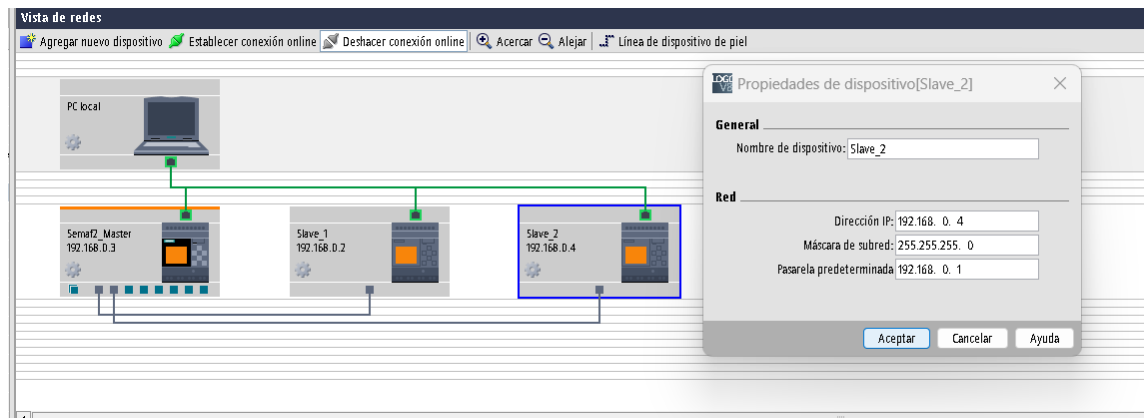
Para la programación de los semáforos se ha implementado el ciclo principal de secuencia  $S2 \Rightarrow S3 \Rightarrow S4$ , el cual es el ciclo actual dejado por personal de movilidad y control de tráfico de la ciudad, se implementa una señal externa la cual se simulará un sensor de tráfico para determinar si la avenida se encuentra con alto flujo vehicular, se realiza la programación del segundo ciclo semaforico el cual será  $S2 \Rightarrow S3 \Rightarrow S2 \Rightarrow S4$ , y se configura el tiempo de intermitencia en luz ámbar el cual a partir de las 23:00 pm hasta las 05:00am.

*Ilustración 22: Bloques de entrada de señal del sensor; Autores: Bazurto y Mendoza*



En la ilustración 22 podemos validar los bloques correspondientes a la entrada de señal del sensor de alto tráfico y al bloque correspondiente al modo media noche.

*Ilustración 23: Imagen de topología entre PLC local y logos (Maestro y esclavo); Autores: Bazurto y Mendoza*



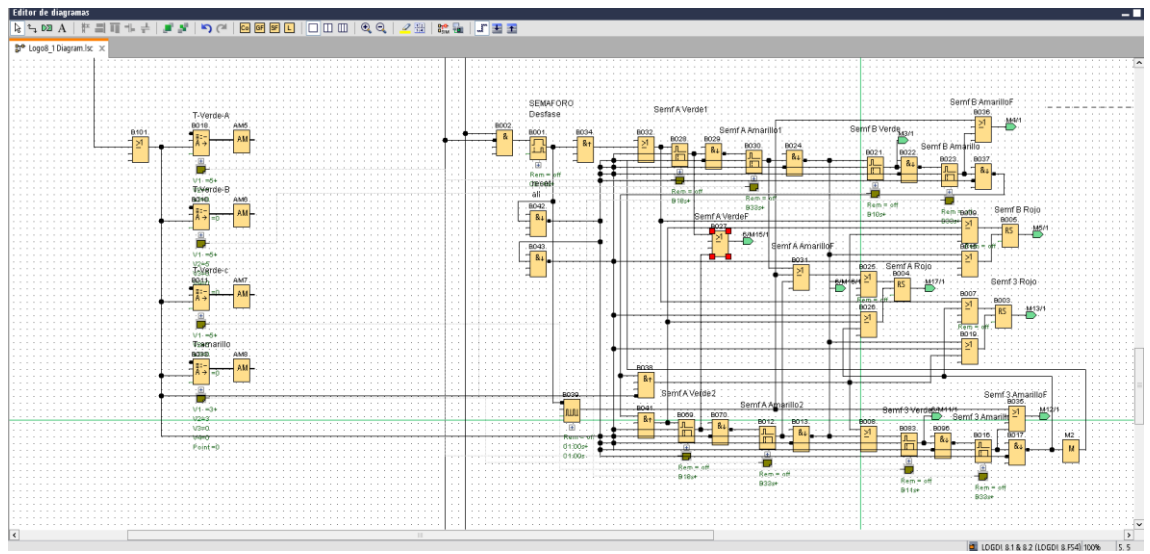
Para las comunicaciones entre logos, se realizó la configuración de un logo como maestro y los otros dos como esclavos, esta configuración me permite comunicar los logos por medio de cables de redes, con la finalidad de que cada módulo de practica con su PLC simule un semáforo, se tiene en consideración que cada PLC tiene una dirección IP establecida, lo cual al momento de seleccionar un PLC como maestro se valida que dirección ip tiene, ya que los PLC esclavos tienen que llevar la dirección ip del PLC maestro.

Estas configuraciones se realizan tanto físicamente como lógicamente a través del programa de configuración.

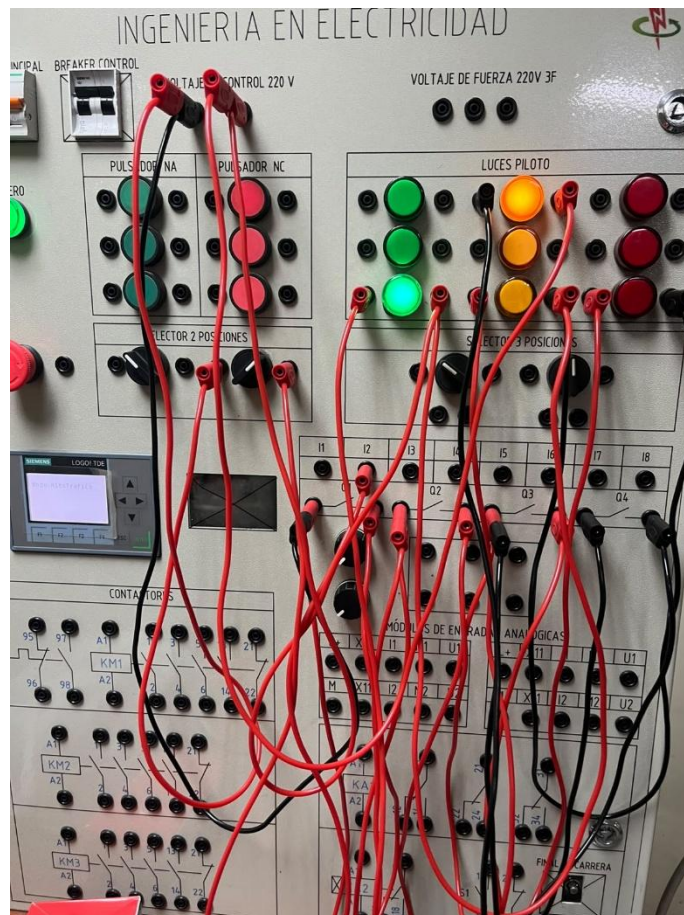
Entonces los pasos a seguir para usar varios PLC es el siguiente:

1. Validación de direcciones ips de cada PLC.
2. Seleccionar que PLC quedara como maestro y cuales esclavos.
3. Realizar la topología desde el programa LOGO!Soft.
4. Direccionar los bloques de salida hacia las ip de los logos esclavos.

*Ilustración 24: Configuración de ambos ciclos; Autores: Bazurto y Mendoza*



*Ilustración 25: proceso de cableado en módulos de prácticas; Autor: Bazurto y Mendoza*



Para cada semáforo se ha ocupado un módulo de práctica, este con la finalidad de usar el PLC integrado el módulo teniendo en consideración que un PLC será maestro y los otros esclavos. Se procede con el cableado hacia cada entradas y salidas del PLC y estos a los indicadores led que representaran los estados de los semáforos verde, ámbar y rojo.

Las conexiones se realizan mediante cables especiales diseñados para los bornes de los módulos de prácticas estos están identificados de color rojo y negro con la finalidad de mantener identificadas las líneas o fases de las conexiones, estos estarán así con la finalidad de poder identificar visualmente de donde vine la conexión y hacia dónde va.

## 5. Conclusiones

- Se realizo el estudio de flujo vehicular en la avenida 113 de forma empírica con intervalos de 15 minutos entre cada toma de datos con un horario de 7:00 a 18:00 horas tomando en cuenta los tiempos de mayor congestión vehicular, lo cual fue primordial para obtener los datos necesarios para enfocarnos en la zona donde se requiere un cambio de la configuración en la coordinación de los semáforos.
- A partir de los parámetros ya establecidos en la operación de los semáforos en el tramo donde está ubicado el semáforo N°2,3 y 4. Tomando en cuenta también las características geométricas de las intersecciones se determinaron parámetros de nuevos valores de coordinación para el diseño de la nueva topología de coordinación que se propone.

- Se diseño de forma física por medio de los módulos de prueba del laboratorio, el correcto sincronismo entre los PLC, para emular cada uno de los módulos un semáforo, para evidenciar de forma visual la correcta coordinación tanto de los semáforos y del sensor que a modalidad de practicas esta como una entrada de un selector.

## **6. Recomendaciones**

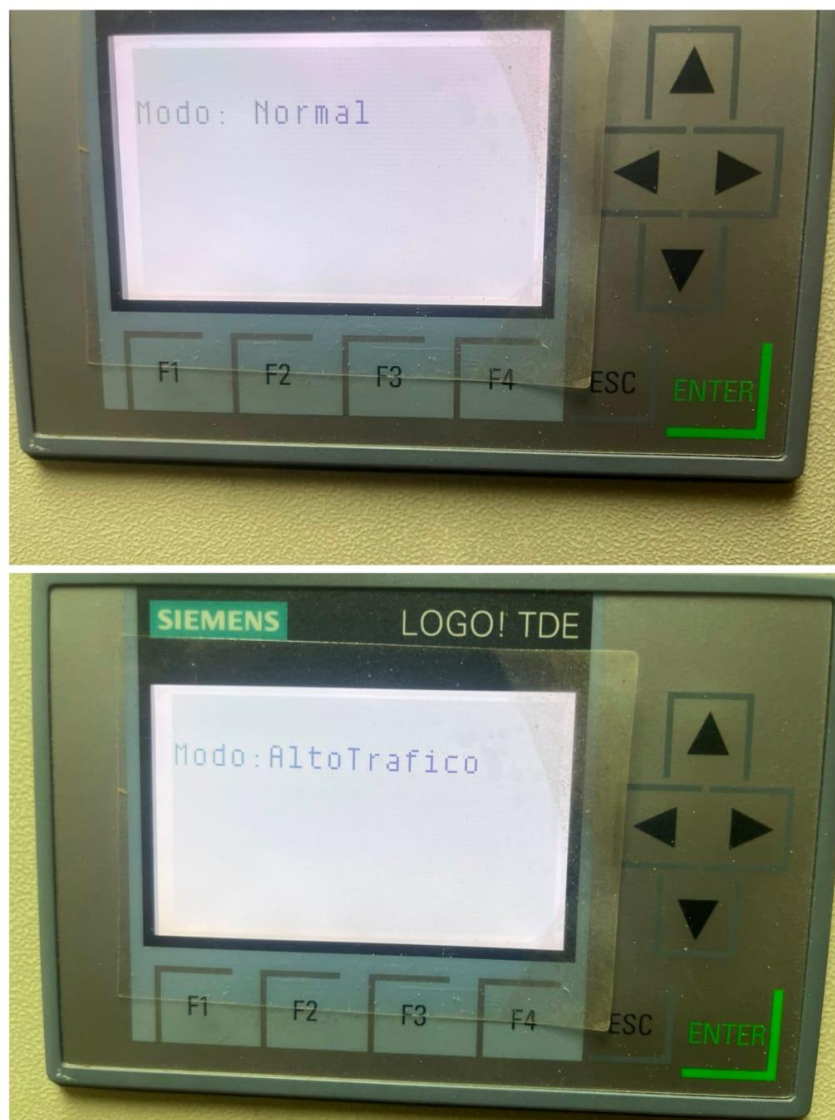
- Se recomienda que n el tramo a consideración para este proyecto se tome cartas en el asunto y se considere un cambio previo a un estudio que es necesario para mejorar la coordinación ya que es la zona con mayor conflicto vehicular o cual puede ocasionar hasta accidentes.
- Para futuras investigación es necesario incorporar tecnologías de detección vehicular ya sea sensores inductivos, cámaras de visión artificial o radares.
- Es necesario que la propuesta descrita en el documento se la tome a consideración para un cambio de topología y realizar un estudio con mayor variables y que las entidades encargadas de la gestión del transito considere una mejora continua en cada uno de los puntos de control vehicular de la ciudad de Manta.

## ANEXOS

*Ilustración 26: Anexo N°1*



Ilustración 27: ANEXO N°2



## Bibliografía

- Chen, J. (30 de noviembre de 2025). *<https://jackwinsafety.com/>*. Obtenido de Sistema de control de semáforos: guía completa (2026): <https://jackwinsafety.com/es/sistema-de-control-de-semaforos/>
- Escobar, F. Á. (Octubre de 2007). *<https://scispace.com/>*. Obtenido de <https://scispace.com/>: <https://scispace.com/pdf/capacidad-y-niveles-de-la-infraestructura-vial-9ngxepqikh.pdf>
- ESPOL, R. T. (2024). *Sección abierta multidisciplinaria, Soluciones para un futuro sostenible: Innovación, Educación y Seguridad*. Guayaquil: Revista Tecnológica ESPOL-RTE .
- FAMA. (14 de Septiembre de 2024). *La guía definitiva sobre los tipos de señales de tráfico modernas*. Obtenido de [ledtrafficlight.cn](https://www.ledtrafficlight.cn/): <https://www.ledtrafficlight.cn/es/the-guide-to-modern-traffic-signal-types>
- INEN, I. E. (2012). *Reglamento técnico Ecuatoriano RTE INEN 044:2012 Parte 5*. Quito.
- Ivorra, M. d., Diaz, J. F., Ferreiro, J. I., Pérez, M. T., Serrano, M. G., Tomás, R., . . . Sentana, E. (2002). *Métodos geométricos de coordinación de intersecciones reguladas por semáforos*. . España : Universidad de Alicante.
- Montes, C. C. (2025). *Documento y generación de guía para la elaboración de estudios de tránsito en la empresa Urplan S.A.S*. Antioquia : Universidad de Antioquia .
- Surichaqui, M., Matamoros, F., Sillo, A., Manrique, A., Mayhua, W., & Surichaqui, F. (2023). *Capacidad vehicular y nivel de servicio con la metodología Highway*

*Capacity Manual (HCM)*. Puno : Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.

Verdezoto, T. Z., Montes, F. F., & Medina, O. B. (2020). *Análisis del congestionamiento vehicular para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador*. Guayaquil : Revista Gaceta Técnica . Obtenido de redalyc: <https://www.redalyc.org/journal/5703/570363740001/html/>