

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN
PARA EL CONTROL DE SEMÁFOROS INTELIGENTES”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO.**

HERNÁN DARÍO OSORIO UNDA

**DIRECTOR:
ELIANA ORMEÑO**

Ibarra, Abril 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1002769865		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Osorio Unda Hernán Darío		
DIRECCIÓN:	Ibarra, El Ejido calle Laura Jaramillo		
EMAIL:	dario-osorio@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062510854	TELÉFONO MÓVIL:	0987462885

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL CONTROL DE SEMÁFOROS INTELIGENTES.
AUTOR:	Osorio Unda Hernán Darío
FECHA:	18/04/2018
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
DIRECTOR:	Magister Eliana Ormeño

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Hernán Darío Osorio Unda con cédula de identidad Nro.1002769865, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de Abril del 2018



Firma

Nombre: Hernán Darío Osorio Unda

Cédula: 1002769865



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Hernán Darío Osorio Unda, con cédula de identidad Nro. 1002769865, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL CONTROL DE SEMÁFOROS INTELIGENTES.**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 18 días del mes de Abril de 2018

Firma

Nombre: Hernán Darío Osorio Unda

Cédula: 1002769865

DECLARACIÓN

Yo, **Hernán Darío Osorio Unda**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte - Ibarra, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Nombre: Hernán Darío Osorio Unda

Cédula: 1002769865

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL CONTROL DE SEMÁFOROS INTELIGENTES”, certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Hernán Darío Osorio Unda, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ormeño', is centered on the page.

Msc. Eliana Ormeño
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por darme las todas las bendiciones que un ser puede tener y permitirme culminar mis estudios. Agradezco a la Universidad Técnica del Norte por la oportunidad que me otorga en el anhelado fin de conseguir un sueño de superación, agradezco a todos mis profesores de la carrera los cuales me brindaron los conocimientos técnicos-científicos para formarme como profesional, por otra parte muy agradecido con la magister Eliana Ormeño y el magister Xavier Domínguez por guiarme conjuntamente en el desarrollo de mi trabajo de grado.

Nunca me cansaré de dar las gracias y sobre todo mi amor eterno a mis padres Laura Unda y Hernán Osorio Bahamón que con su educación de valores, paciencia, disciplina, economía, sabios consejos y muy valiosos me formaron primeramente como persona y han realizado un gran esfuerzo para que hoy me gradué como ingeniero.

Con mucho amor y gratitud le agradezco a mi esposa Eliana Carolina Villa Alemán por su apoyo incondicional al estar pendiente y empujarme cada día para que este sueño sea una realidad de los dos. Y para finalizar un agradecimiento fraterno a toda mi familia que fueron un apoyo moral para lograr mi titulación.

DEDICATORIA

A Dios, a mi familia de sangre y corazón. Quienes me ayudaron, motivaron e inspiraron dándome la fuerza para seguir adelante con mis proyectos y metas. A los que nunca dudaron de mi capacidad y que me apoyaron en todo momento y lugar.

RESUMEN

El presente proyecto consiste en desarrollar el estudio e implementar un sistema de automatización para el control de semáforos inteligentes instalados en la ciudad de Ibarra – Imbabura, específicamente en la intersección de la Avenida 17 de Julio y General José María Córdova, el cual permitirá mejorar la fluidez del tránsito vehicular y reducir tiempos muertos en la espera de habilitación de la vía.

El diseño que tendrá además una comunicación por medio de una interfaz vía bluetooth para controlar los tiempos de cambio de luces y también modificar el comportamiento de la vía principal o secundaria de acuerdo a las necesidades viales, como por ejemplo en horas pico.

El proyecto se lo ha realizado previo a un estudio y análisis de la situación vial actual del sector de la Universidad Técnica del Norte en la intersección de la Avenida 17 de Julio y General José María Córdova, para el cual se tomaron indicadores de tiempo de respuesta de los semáforos instalados, presencia del congestionamiento vehicular y que tan factible han sido ante las necesidades de los conductores en transitar por esta vía.

El presente proyecto tiene como objetivo mejorar por completo la fluidez vehicular tanto en la vía principal como secundaria ya que esta es una vía de desfogue de la carretera E35.

El diseño del proyecto está basado en la detección de vehículos en la vía secundaria de la intersección “T” mediante un detector de bucle de inducción o Sensor Loop, el cual es controlado mediante Arduino permitiendo generar los tiempos adecuados para la activación de las luces rojo, verde y amarillo, dependiendo del sistema de semaforización.

Al final se realiza un análisis de aporte y beneficio para el departamento encargado de transito de la ciudad, Empresa Pública de Movilidad del Norte (MOVILDELNOR) para la implementación de este sistema.

ABSTRACT

This project consists of developing the study and implementation of an automation system for the control of intelligent traffic lights installed in the Ibarra city - Imbabura, specifically at the intersection of Avenida 17 de Julio and General José María Córdova, which will improve the fluidity of vehicular traffic and reduce downtime while waiting habilitation of the roads.

The design that carries a communication through a Bluetooth interface to control the times of change of lights and also modifies the behavior of the main or secondary route according to the road needs, such as peak times.

This project has been previously done in a study and analysis of the current situation on the state highway that crosses, Avenida 17 de Julio and General José María Córdova, which shows the response time indicators of the installed and feasible traffic lights and how feasible is according to the needs of drivers to transit this way.

The object of this project is improve the vehicular fluidity both on the main road and the secondary roads.

The design of the project is based on the detection of the presence of a vehicle in the loop sensor, which is controlled by Arduino allowing the generation of the appropriate signals in the traffic signal system.

In the end, a benefit analysis is done for the department in charge of transit of the city Public Company of Mobility of the North (MOVILDELNOR) for the implementation of this system being a profitable and efficient project.

ÍNDICE GENERAL

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	III
CONSTANCIAS.....	III
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO.....	IV
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	IV
DECLARACIÓN.....	V
CERTIFICACIÓN.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	1
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	5
ALCANCE.....	5
CAPÍTULO 1.....	7
1. MARCO TEÓRICO.....	7
1.1. SEMÁFOROS.....	7
1.1.1. VENTAJAS DE LOS SEMÁFOROS.....	8
1.1.2. DESVENTAJAS DE LOS SEMÁFOROS.....	8
1.1.3. CLASIFICACIÓN DE SEMÁFOROS.....	9
1.1.4. APLICACIONES DE SEMÁFOROS INTELIGENTES.....	9
1.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR.....	10

1.3.	DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE	11
1.3.1.	SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE CON RFID	11
1.3.2.	SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE UTILIZANDO REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS.....	11
1.3.3.	SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	12
1.3.4.	SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE BASADO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	13
1.3.5.	SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE IMPLEMENTANDO SISTEMAS EMBEBIDOS.....	14
1.4.	ACTUALIDAD	15
1.4.1.	SEMAFORIZACIÓN CON EL SISTEMA TRAFIRADAR.....	16
1.4.2.	SEMAFORIZACIÓN BASADO EN EL SISTEMA LYZUN	16
1.4.3.	SEMAFORIZACIÓN BASADA EN SCATS.....	17
1.5.	SENSOR LOOP	18
1.5.1.	CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR LOOP	19
1.5.2.	APLICACIONES DEL SENSOR LOOP.....	19
1.6.	LABVIEW.....	21
1.7.	APP INVENTOR	22
1.8.	ELEMENTOS DE CONTROL	22
1.8.1.	ARDUINO	23
1.8.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA PLACA ARDUINO UNO.....	24
1.8.3.	PLC.....	24
	CAPÍTULO 2.....	26
2.	DISEÑO DEL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE	26
2.1.	PARÁMETROS DE SELECCIÓN.....	26
2.2.	OPERACIÓN DEL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN.....	26
2.2.1.	SISTEMA AUTOMÁTICO	27
2.2.2.	SISTEMA MANUAL	27
2.3.	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	27
2.3.1.	DETECCIÓN DE VEHÍCULOS	30
2.3.2.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	32
	CAPÍTULO 3.....	33

3.	IMPLEMENTACIÓN	33
3.1.	UBICACIÓN DEL SENSOR LOOP EN LA VÍA	33
3.1.1.	SIMULACIÓN DE LA SOLUCIÓN	35
3.2.	DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y DE CONTROL	36
3.3.	CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DE LA SOLUCIÓN.....	36
3.4.	DISEÑO DE LA INTERFAZ EN LABVIEW	37
3.5.	DISEÑO DE LA INTERFAZ USUARIO EN APP iNVENTOR	46
3.6.	CÓDIGO IMPLEMENTADO EN ARDUINO	50
3.7.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	53
3.8.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO	55
3.8.1.	COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL SEMÁFORO INTELIGENTE	55
3.8.2.	COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN.....	56
3.8.3.	COSTO TOTAL.....	56
	CAPÍTULO 4.....	57
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
4.1.	CONCLUSIONES.....	57
4.2.	RECOMENDACIONES.....	58
	ANEXO 1. DIAGRAMAS DE FLUJO ARDUINO	62
	ANEXO 2. CÓDIGO ARDUINO	66
	ANEXO 3. CÓDIGO LABVIEW	72

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: MAQUETA DEL PROTOTIPO DE SEMAFORIZACIÓN, USANDO CONTROL DIFUSO EN TIEMPO REAL.....	3
FIGURA 2. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SEMÁFORO CON FPGA 'S.	3
FIGURA 3. COMUNICACIÓN ENTRE EL SEMÁFORO Y LA PC MEDIANTE ZIGBEE	4
FIGURA 4: ESTRUCTURA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTACIÓN DEL SEMÁFORO INTELIGENTE.....	4
FIGURA 5. POSICIÓN DE LAS LENTES DE UN SEMÁFORO DE TRES LUCES.....	7
FIGURA 6: CLASIFICACIÓN DE LOS SEMÁFOROS.....	9
FIGURA 7. ESQUEMA DE SEMÁFORO INTELIGENTE UTILIZANDO RFID.....	11
FIGURA 8: ESQUEMA DE SEMÁFORO INTELIGENTE USANDO REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS.	12
FIGURA 9. SEMÁFORO BASADO EN EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.	13
FIGURA 10. SEMÁFORO BASADO EN LA VISIÓN ARTIFICIAL.....	14
FIGURA 11. INTERFAZ GRÁFICA DEL ENTORNO EMULADO.	15
FIGURA 12. SEMÁFORO CON TEMPORIZADOR PARA VEHÍCULOS Y PEATONES	16
FIGURA 13. CONEXIÓN DEL SENSOR LOOP.....	18
FIGURA 14. SENSOR LOOP.....	18
FIGURA 15. FUNCIONAMIENTO DEL SEÑOR LOOP DETECTANDO CARROS.....	19
FIGURA 16. DETECTOR DE METALES (APLICACIÓN SENSOR LOOP).....	20
FIGURA 17. APLICACIÓN DEL SENSOR LOOP EN EL AUDIO	20
FIGURA 18. PROGRAMA LABVIEW	21
FIGURA 19. INTERFAZ PRINCIPAL DE APP INVENTOR.....	22
FIGURA 20. ELEMENTO DE CONTROL (ARDUINO UNO).	23
FIGURA 21. PLC S7 1200.....	25
FIGURA 22. FORMA DE IMPLEMENTAR EL SENSOR LOOP	31
FIGURA 23. UBICACIÓN DEL SEMÁFORO INTELIGENTE.	33
FIGURA 24. UBICACIÓN DEL SENSOR LOOP EN LA VÍA.....	34
FIGURA 25. UBICACIÓN DEL SEMÁFORO INTELIGENTE.	34
FIGURA 26. SIMULACIÓN DEL SEMÁFORO EN PROTEUS	35
FIGURA 27. PLACAS DE CONTROL DEL SEMÁFORO.....	36

FIGURA 28. PLACA DE CONTROL DE LAS LUCES DEL SEMÁFORO.....	37
FIGURA 29. INTERFAZ DE USUARIO.	38
FIGURA 30. INTERFAZ DE USUARIO ESPECIFICA.....	39
FIGURA 31. MENÚ DESPLEGABLE DE MODO DE FUNCIONAMIENTO.....	40
FIGURA 32. INICIALIZACIÓN DEL SISTEMA.....	41
FIGURA 33. CONFIGURACIÓN DE LA VELOCIDAD DE COMUNICACIÓN.....	41
FIGURA 34. TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN.....	41
FIGURA 35. ENVÍO DE HORA Y FECHA.....	42
FIGURA 36. RECEPCIÓN Y DECODIFICACIÓN DE DATOS.....	42
FIGURA 37. DETECCIÓN DE DATOS EN EL PUERTO SERIAL.....	43
FIGURA 38. CICLO DE LECTURA.....	43
FIGURA 39. VALOR DE CIFRAS A RECIBIR.....	43
FIGURA 40. A) SELECCIÓN DE MODO DE FUNCIONAMIENTO. B) RECIBE EL ESTADO DEL SEMÁFORO.....	44
FIGURA 41. A) TIEMPO DEL SISTEMA B) VISUALIZACIÓN DE LA HORA Y FECHA.....	44
FIGURA 42. TIEMPOS DE SINCRONIZACIÓN.....	45
FIGURA 43. ENVIO POR EL PUERTO SERIAL DE DATOS CORRESPONDIENTE A HORA Y FECHA.....	45
FIGURA 44. CODIFICACIÓN DE DATOS DE ENVÍO.....	46
FIGURA 45. CÓDIGO IMPLEMENTADO EN APP INVENTOR.....	47
FIGURA 46. INICIALIZACIÓN DE LA PANTALLA.....	47
FIGURA 47. ESTABLECER LA DIRECCIÓN DE CONECTARSE MEDIANTE BLUETOOTH.....	48
FIGURA 48. OBTENCIÓN DE LA DIRECCIÓN MAC.....	48
FIGURA 49. VISUALIZAR LISTA DE MODOS DE FUNCIONAMIENTO.....	48
FIGURA 50. SINCRONIZACIÓN DEL SEMÁFORO.....	49
FIGURA 51. DECODIFICACIÓN DE DATOS RECIBIDO DESDE LA INTERFAZ DE LABVIEW.....	50
FIGURA 52. CONFIGURACIÓN INICIAL DEL SISTEMA.....	51
FIGURA 53. PROCESO PRINCIPAL.....	51
FIGURA 54. CONFIGURACIÓN DE LOS TIEMPOS DE SEMAFORIZACIÓN.....	52
FIGURA 55. DETECCIÓN DEL SENSOR LOOP.....	52
FIGURA 55. INTERSECCIÓN DONDE SERÁ INSTALADO EL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN.....	53
FIGURA 56. INSTALACIÓN DEL SENSOR LOOP EN LA VÍA.....	53

FIGURA 57. APOYO BRINDADO POR EL PERSONAL DE SEMAFORIZACIÓN Y MÓVIL DEL NORTE..	54
FIGURA 58. PRUEBAS REALIZADAS DE LA INTERFAZ LABVIEW	54
FIGURA 59. PRUEBAS REALIZADAS DE LA INTERFAZ LABVIEW	55

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	19
CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR LOOP	19
TABLA 2	24
CARACTERÍSTICAS DEL ARDUINO UNO	24
TABLA 3	25
VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE ARDUINO Y PLC	25
TABLA 4	28
PESO ESPECÍFICO CRITERIOS SISTEMA DE TRANSMISIÓN	28
TABLA 5	29
TABLA DE PESO ESPECÍFICO CRITERIOS ELEMENTO DE CONTROL	29
TABLA 6	29
EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO PRECIO	29
TABLA 7	29
EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO FUNCIONALIDAD	29
TABLA 8	30
TABLA DE PESO ESPECÍFICO CRITERIOS SISTEMA DE VERSATILIDAD	30
TABLA 9	30
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	30
TABLA 10	34
PRUEBAS DE LECTURA DEL SENSOR LOOP	34
TABLA 11	35
PRUEBAS DE LECTURA DEL SENSOR LOOP	35
TABLA 12	37
PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y ELÉCTRICO	37
TABLA 11	45
DECODIFICACIÓN DE TIEMPOS DE FUNCIONAMIENTO	45
TABLA 14.	46

MODOS DE FUNCIONAMIENTO	46
TABLA 15	55
COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN	55
TABLA 16	56
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	56
TABLA 17	56
COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN.....	56

INTRODUCCIÓN

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante muchos años los semáforos convencionales han venido desempeñando un rol muy importante en el direccionamiento vehicular a nivel nacional e internacional. La situación actual del crecimiento vehicular según menciona (González, 2007) es claramente insostenible en muchas ciudades, es por eso que, se debe tomar medidas al respecto en un corto tiempo.

En el Ecuador ya se ha implementado semáforos inteligentes en diferentes ciudades como Cuenca, Guayaquil, Quito, Ibarra y Tulcán. (Sotomayor, 2014).

En la ciudad de Ibarra, específicamente en la intersección en “T” de la Avenida 17 de Julio y General José María Córdova, existe el problema de congestión vehicular debido a que los semáforos instalados, cuentan solamente con un sistema de activación o desactivación temporizada que no ayuda a una fluidez adecuada del tránsito.

El problema más común en los semáforos es la temporización de la luz verde, esto es más notorio en la incorporación del tránsito que se presenta en la vía secundaria, formando colas en la vía principal aun sin haber tránsito vehicular en las secundarias. Esta vía es importante ya que es muy fluida por el ingreso y salida a la Universidad Técnica del Norte, es también vía de desfogue de la carretera E35 y conecta con sectores o barrios grandes de la ciudad, también existe el problema de segundos perdidos en la activación para la vía principal en horas picos.

En los semáforos instalados de la intersección fácilmente se puede observar que presentan deficiencias en cuanto a tecnología para la fluidez vehicular, que no son suficientes para cubrir el aspecto de circulación vehicular ordenada y óptima para posteriormente brindar la satisfacción y seguridad de los usuarios que transitan día a día por dicho sitio.

OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de automatización inteligente y control en los semáforos instalados en la intersección de la Avenida 17 de Julio y General José María Córdova de la ciudad de Ibarra, mediante la instalación de un Sensor Loop con la finalidad de mejorar la fluidez del tránsito vehicular.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar el estado del arte de automatización para el control de semáforos.
- Diseñar el sistema de control de semáforos inteligentes basado en el Sensor Loop.
- Implementar un sistema óptimo de control vehicular para facilitar al departamento de tránsito de la Empresa Pública de Movilidad del Norte.
- Desarrollar una aplicación computacional y móvil, para el control y monitoreo del semáforo inteligente.

ANTECEDENTES

En esta sección mencionaremos estudios realizados referentes a implementaciones y estudios de la semaforización automática.

En el estudio realizado por (Flores, Gonzalo, Jaramillo Troya, & others, 2012) plantean un prototipo basado en el diseño de un controlador difuso adaptivo en Matlab, el cual se entrena en base al movimiento vehicular de cada intersección y de acuerdo a eso se determina y controla los tiempos de encendido en los semáforos para así evitar estancamientos y lograr optimizar el flujo vehicular.



Figura 1: Maqueta del prototipo de semaforización, usando control difuso en tiempo real

Fuente: (Flores et al., 2012)

En el trabajo realizado por (Espinosa, José, Medina, & Mercedes, 2014), plantea que los dispositivos FPGA's, son ampliamente utilizados en procesos con visión artificial, en este caso específico se emplea para el monitoreo de tránsito vehicular, el mismo que es encargado de manejar y procesar volúmenes de imágenes muy elevados, que se puede decir que lo realizan en tiempo real.

En este estudio para la implementación en el control del tránsito se realizó un análisis comparativo entre los algoritmos de reconocimiento de patrones, con la finalidad de determinar cuál es el más adecuado para la implementación de un prototipo de semáforos inteligentes mediante FPGA's, el mismo tiene como función minimizar la congestión vehicular.

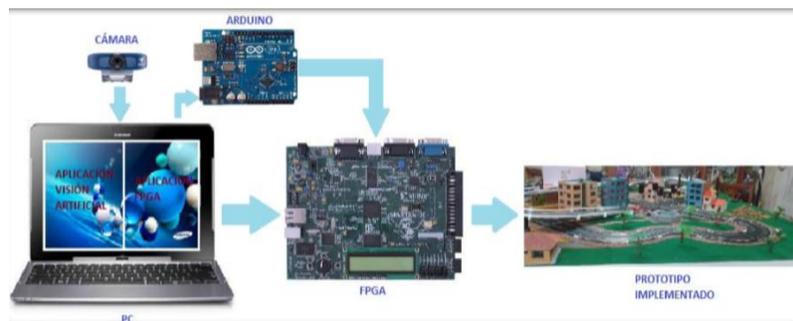


Figura 2. Esquema de funcionamiento del semáforo con FPGA's.

Fuente: (Espinosa et al., 2014)

También se puede mencionar a (Yépez, 2014), cuyo proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de control de semaforización compuesto por una interfaz gráfica, un

dispositivo USB para el intercambio de información entre la interfaz y el dispositivo de semaforización, basado en módulos ZigBee y un dispositivo de semáforo que contiene un reloj en tiempo real y salidas de potencia con relés de estado sólido.

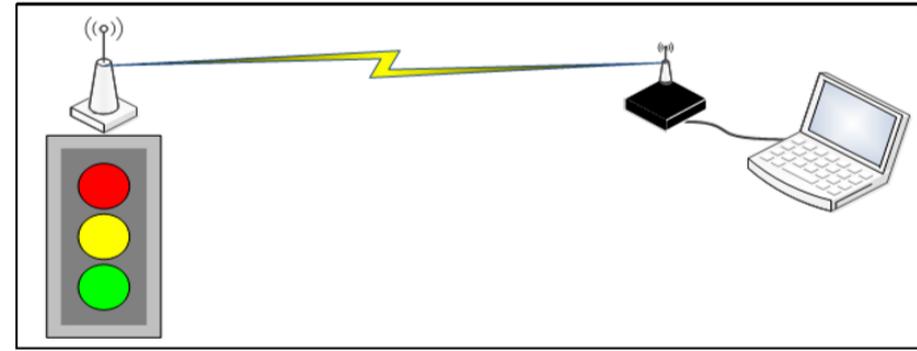


Figura 3. Comunicación entre el semáforo y la PC mediante Zigbee

Fuente: (Yépez, 2014)

El estudio realizado por (Palacios & Bowen, 2015) plantean modificar la alimentación de los semáforos inteligentes mediante la utilización de energía proveniente de paneles solares, realizando un estudio del impacto energético, social y ambiental.



Figura 4: Estructura del generador fotovoltaico para alimentación del semáforo inteligente

Fuente: (Palacios & Bowen, 2016)

JUSTIFICACIÓN

Una de las principales razones al implementar el sistema en el semáforo inteligente, es reducir la congestión vehicular en las ciudades y ayudando a salvaguardar la calidad de vida y sostenibilidad urbana.

El aumento del parque motor requiere de medidas que ayuden a tener un tráfico saludable, tanto para conductores como para transeúntes, por lo que estamos obligados a buscar diferentes formas de protección para evitar toda clase de molestias y así tener una mejor seguridad vial.

La implementación del sistema automatizado e inteligente en los semáforos tiene por objetivo ayudar a incrementar la fluidez del tránsito en forma adecuada y ordenada, principalmente en la intersección de la Avenida 17 de Julio y General José María Córdova de la ciudad de Ibarra - Imbabura.

Otro inconveniente que se presenta actualmente en los semáforos de la intersección “T”, es que están programados de forma que la luz verde en la calle secundaria se encuentra activada por un tiempo determinado, habiendo o no vehículos que circulen.

El personal encargado del control de tránsito no dispone actualmente de un sistema sobre cada semáforo que les permita modificar la programación de manera inteligente y rápida, lo cual demanda de mayor tiempo de trabajo.

Con esta investigación se propone generar una interfaz de usuario para realizar cambios del comportamiento del semáforo de acuerdo con las necesidades presentadas de forma inalámbrica sin necesidad de conocimientos específicos.

ALCANCE

La implementación del sistema en el semáforo inteligente se realizará específicamente en la intersección “T” de la Avenida 17 de Julio y General José María Córdova de la ciudad de Ibarra - Imbabura, donde existe mayor congestión vehicular.

Este proyecto se llevará a cabo inicialmente en su creación como prototipo, y se realizará las pruebas de programación, control y correcto funcionamiento en el

laboratorio de la carrera, para luego aplicarlo en la ciudad de Ibarra en la intersección de la avenida 17 de Julio y General José María Córdova, junto a la Universidad de Técnica del Norte.

El sistema del semáforo inteligente tendrá una interfaz de usuario que permita modificar el comportamiento de este en tiempo real de forma inalámbrica, tendrá varios modos de operación, el modo automático que usará el Sensor Loop en la calle secundaria para la toma de decisión y el modo manual que se usará en situaciones específicas.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1. SEMÁFOROS

El semáforo es un dispositivo que se utiliza para el control y la seguridad, tanto de vehículos como de peatones como menciona (Pagua, 2011), asignando el derecho de paso a vehículos y peatones secuencialmente. En la siguiente figura podemos ver un semáforo con sus respectivos colores y significado.

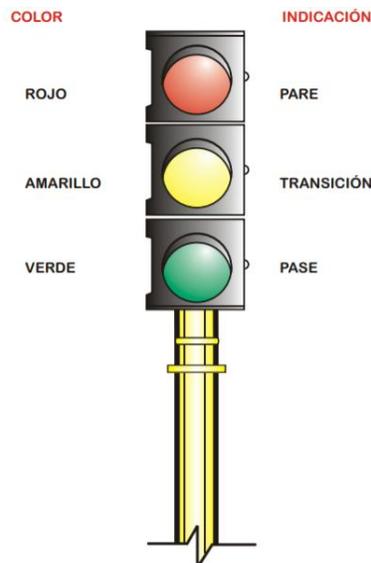


Figura 5. Posición de las lentes de un semáforo de tres luces

Fuente: («Semáforo»:., 2017)

El semáforo ejerce una profunda influencia sobre el flujo del tránsito. Por lo tanto, es de vital importancia que la selección y el uso de este dispositivo de control vengan precedidos de un estudio detallado del sitio y de las condiciones del tránsito.

Unas de las funciones de los semáforos como establece (Pagua, 2011) son:

- Interrumpir periódicamente el tránsito en una corriente vehicular o peatonal para permitir el paso de otra corriente vehicular.
- Regular la velocidad de los vehículos para mantener la circulación continua a una velocidad constante.

- Controlar la circulación por canales.
- Eliminar o reducir el número y gravedad de algunos tipos de accidentes, principalmente los que implican colisiones laterales.
- Proporcionar un ordenamiento del tránsito.

1.1.1. VENTAJAS DE LOS SEMÁFOROS

De acuerdo con (Pagua, 2011) algunas de las ventajas del uso del semáforo son:

- **Proporciona ordenamiento de los movimientos de tránsito:** el semáforo asigna el derecho de paso, por lo tanto, el tránsito se puede mover en forma efectiva y segura en las intersecciones.
- **Reduce algunos tipos de accidentes:** el semáforo puede ocasionar una reducción de cierto tipo de accidentes, en particular de las colisiones.
- **Ofrece paso a volúmenes menores de la vía secundaria:** el semáforo permite al tránsito de la vía secundaria incorporarse o cruzar la vía principal. Produce ahorros de costos: el semáforo es más económico que el control por medio de vigilantes de tránsito en forma permanente.
- **Agrupar el tránsito en pelotones:** la agrupación del tránsito en pelotones permite cierta facilidad de acceso y cruce en las intersecciones y en los cruces peatonales cercanos, los cuales podrían no estar semaforizados.

1.1.2. DESVENTAJAS DE LOS SEMÁFOROS

También nos menciona (Pagua, 2011) algunas desventajas que son:

- **Tiende a incrementar la demora:** Si se instala un equipo inadecuado o inefectivo, los semáforos pueden crear una demora excesiva, lo que ocasiona congestionamiento vehicular y por ende molestias e impaciencia en los conductores.
- **Puede aumentar la frecuencia de accidentes:** aunque el semáforo puede reducir los accidentes laterales, las colisiones por detrás generalmente aumentan y la tasa total de accidentes puede ser mayor.
- **Produce irrespeto y molestias:** si los semáforos son innecesarios o están mal diseñados los conductores tienden a desobedecerlos, incrementando el

riesgo de accidentes. Esto hace que sea necesario instalar un semáforo cuando el mismo se justifique.

- **Puede desviar al tránsito:** si los semáforos no se programan eficientemente, los conductores pueden seleccionar otras rutas menos beneficiables y no deseables. El desvío del tránsito conduce a un desperdicio de tiempo y combustible, pudiendo crear problemas adicionales si el tránsito desviado se utiliza hacia calles locales y residenciales.
- **Es susceptible a fallas:** los semáforos son dispositivos bastante confiables, pero pueden estar sujetos a fallas o problemas de suministro de energía, por lo que deben recibir un mantenimiento adecuado de parte de la autoridad responsable de su operación.

1.1.3. CLASIFICACIÓN DE SEMÁFOROS

La siguiente clasificación que refiere (Pagua, 2011), de acuerdo con el mecanismo de operación y de sus unidades de control, los semáforos se clasifican como se ilustra en la siguiente figura.



Figura 6: Clasificación de los semáforos

Fuente: Autor

1.1.4. APLICACIONES DE SEMÁFOROS INTELIGENTES

Entre las aplicaciones más importantes de los semáforos inteligentes, como menciona (Martínez Anoroza, 2017) se tiene:

- Controlar la longitud de la cola de vehículos en espera.
- Información a los conductores en caso de tráfico lento, para que tomen otras rutas.
- Semáforo con mando a distancia, que se active cuando este yendo a pasar una persona ciega, y a su vez de señal de audio para que informe cuando debe pasar.
- Forzar semáforos en casos especiales. (Paso de ambulancias, policías, etc.)
- Utilizan comunicación inalámbrica entre semáforos para optimizar el tráfico de vehículos.
- Programación, monitoreo y control de manera “on-line” a los semáforos.
- Monitorizar mediante cámaras y evidenciar las infracciones si los conductores si se cruzan en rojo.

1.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR

En la actualidad el creciente flujo vehicular a nivel general, hace que las autoridades responsables de la movilidad estén tratando de innovar alternativas para dar solución, para ello se ha implementado semáforos inteligentes que como menciona (Martínez Anoroza, 2017) son capaces de tomar decisiones dependiendo de una serie de parámetros de entrada tales como:

- Flujo de vehículos,
- Velocidad media,
- Identificación de la calle, entre otros.

Algunos de los problemas a solucionar con la implementación de estos semáforos inteligentes son:

- Congestión vehicular.
- Tiempos excesivos de viaje.
- Esperas innecesarias.
- Mayor gasto de combustible.
- Mayor contaminación en el medio ambiente.

1.3. DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE

En esta sección analizaremos los diferentes tipos de semaforización inteligente, que se han implementado para el uso de las nuevas tecnologías en el control de flujo vehicular.

1.3.1. SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE CON RFID

Su principal función es tener control inteligente de tráfico, variando los tiempos de espera en las intersecciones, basados en la congestión vehicular. Los principales elementos son:

- La tarjeta RFID
- Punto de acceso
- Ubicación de servidor de redes
- WAN
- Base de datos centralizada

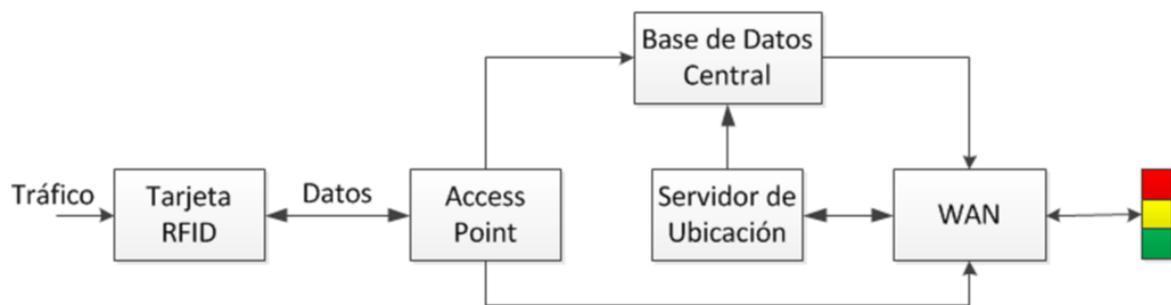


Figura 7. Esquema de semáforo inteligente utilizando RFID

Fuente: (Martínez Anoroza, 2017)

1.3.2. SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE UTILIZANDO REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS

Como menciona (Martínez Anoroza, 2017) este sistema es capaz de manipular en forma dinámica los tiempos de espera. Maneja, básicamente la misma idea que los semáforos que utilizan RFID.

Este sistema cuenta con dos partes principales:

- La red de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Network o WSN)
- La estación base (Base Station o BS),

Se utiliza TDMA (Time Division Multiple Access), para la comunicación, aprovechando en forma eficiente la energía, ya que permite a los nodos de la red, entrar en estados inactivos hasta que sus espacios de tiempo sean asignados.

En la siguiente figura se muestra el funcionamiento del sistema.

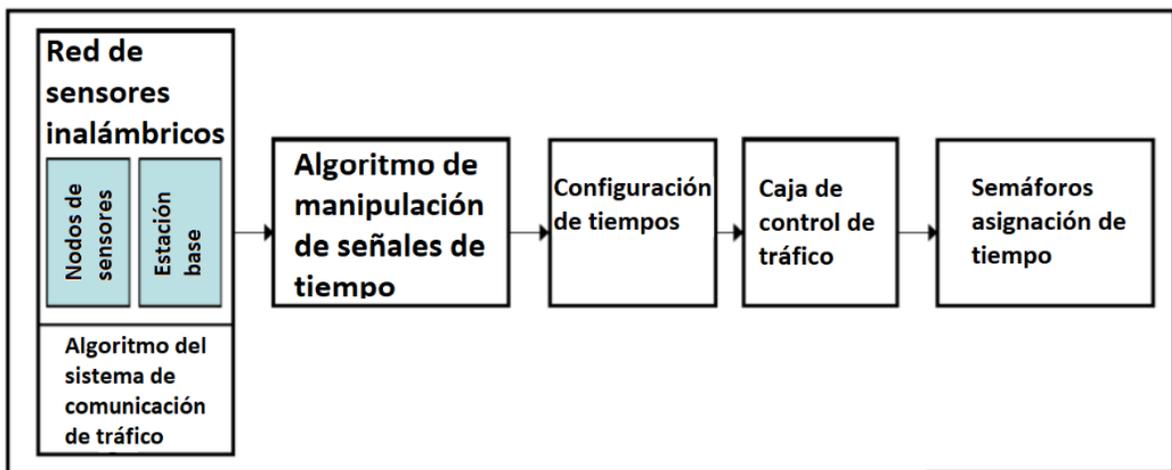


Figura 8: Esquema de semáforo inteligente usando redes de sensores inalámbricos.

Fuente: (Martínez Anoroza, 2017)

Editado: Darío Osorio

1.3.3. SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Mediante el procesamiento de imágenes también es posible medir la densidad de tráfico y de acuerdo con los datos obtenidos modificar los tiempos de semaforización, el proceso es el siguiente:

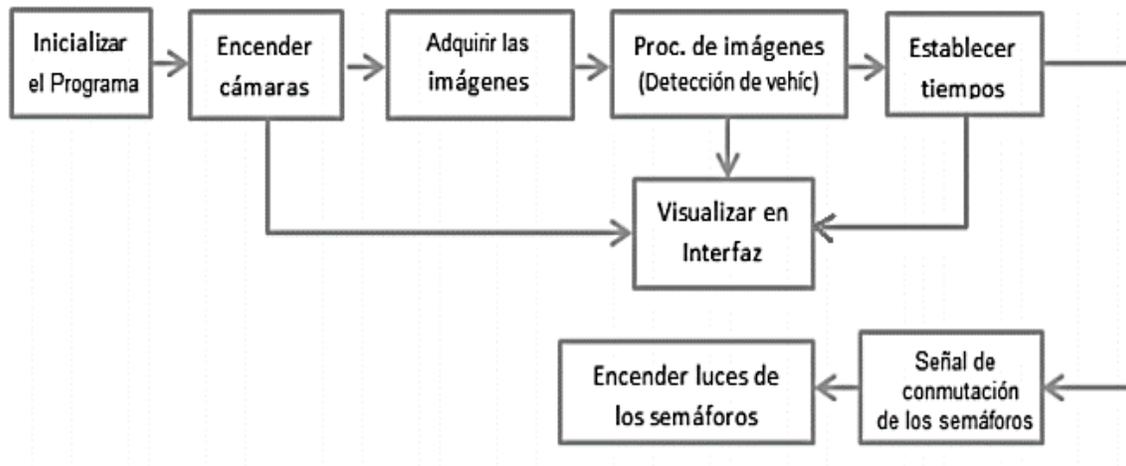


Figura 9. Semáforo basado en el procesamiento de imágenes.

Fuente: (Chávez, 2015)

1.3.4. SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE BASADO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Existen diferentes enfoques referentes a este tema entre ellos tenemos:

- **Lógica Difusa**

La tecnología de lógica difusa, aplicado a los semáforos inteligentes, se la realiza mediante la instalación de dos sensores electromagnéticos, colocados en el pavimento de una intersección, cuya función será medir cuantos carros cruzan el semáforo y cuántos vehículos llegan a la intersección, con esta información le permite al sistema el cambio de comportamiento. Entre lo que se desea lograr es:

- Determinar la presencia y ausencia de vehículos con imágenes de las rutas.
- Mantener la luz verde por más tiempo en caso de mayor flujo de vehículos.
- Si un carril está vacío, buscar un carril con vehículos y colocar dicho carril en verde.

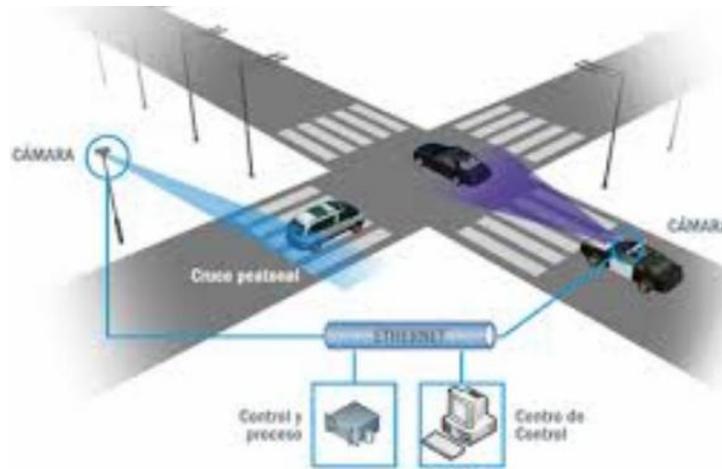


Figura 10. Semáforo basado en la visión artificial

Fuente: («Visiona Security», 2017)

- **Refuerzo de aprendizaje**

El principal objetivo de este tipo de automatización es que los semáforos sean capaces de tomar la decisión óptima para minimizar el tiempo promedio de espera de cada vehículo. Para ello realizan una validación de que tiempo le toma a un vehículo llegar a su destino si la luz está en verde, o en rojo. La diferencia de tiempos entre estos dos estados sería la ganancia para los vehículos. Y los controladores deben ser capaces de maximizar la ganancia promedio. Esto se logra mediante el refuerzo de aprendizaje que realiza un seguimiento de los tiempos de espera de los automóviles y utiliza de forma inteligente para calcular los promedios a largo plazo en los tiempos de espera utilizando algoritmos de programación dinámica. Este algoritmo permite que los vehículos nunca estén detenidos por tanto tiempo.

1.3.5. SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE IMPLEMENTANDO SISTEMAS EMBEBIDOS

Para optimizar el flujo vehicular en una intersección vial se diseñó un algoritmo de control adaptativo y una base de datos que apoya la depuración del rendimiento del controlador, ambos alojados en el sistema embebido Raspberry Pi B. (Celis-Peñaranda et al., 2016). Para ello se emuló la intersección de calles de la ciudad de Cúcuta - Colombia, cuyos parámetros serían los sensores magneto resistivos, el encendido de luces y el flujo vehicular llegando a reducir el tiempo de espera de 28 segundos.

Aumentando el flujo vehicular hasta en un 5.5%, de esto se puede inferir que es posible integrar el control adaptativo y los sistemas embebidos como herramientas de software y hardware para mejorar el funcionamiento en los sistemas de regulación vial en la explica (Celis-Peñaranda et al., 2016).

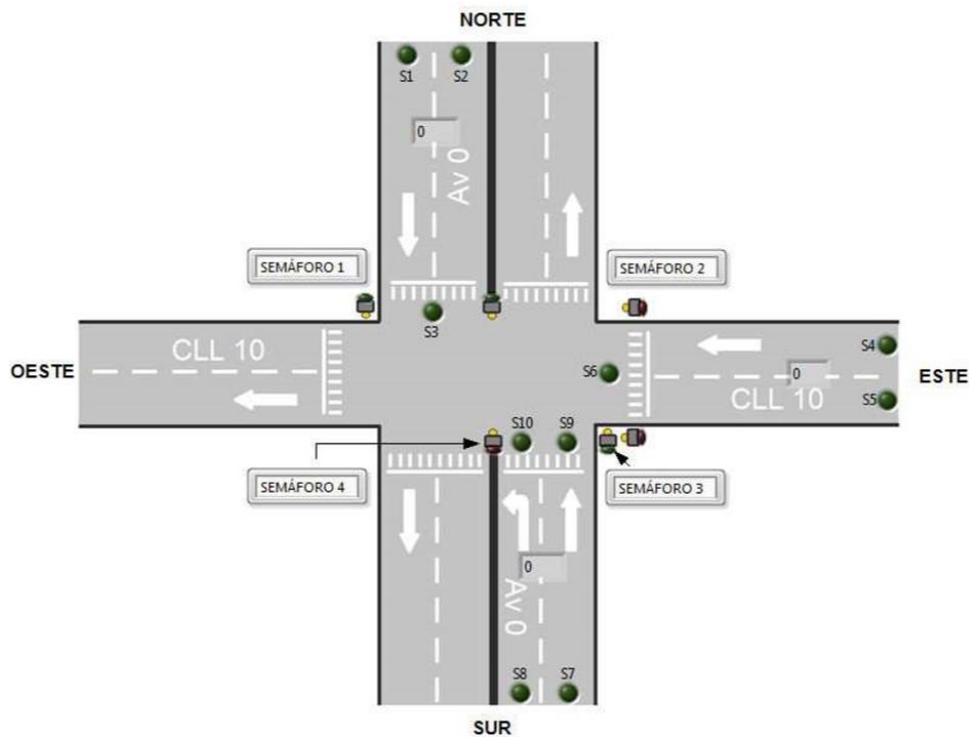


Figura 11. Interfaz gráfica del entorno emulado.

Fuente: (Celis-Peñaranda et al., 2016)

1.4. ACTUALIDAD

En la mayoría de los países los semáforos usados con más frecuencia son los que se puede observar en la figura 12, cuya función es indicar mediante un display el tiempo en el cual cambiará de color, tanto a peatones como a conductores y saber si el tiempo es necesario para cruzar o no. El objetivo de este sistema es ofrecer un tráfico fluido a través de varios cruces semafóricos, ya que este sistema está diseñado para tener luz verde al transitar a una velocidad fija en un trayecto determinado.



Figura 12. Semáforo con temporizador para vehículos y peatones

Fuente: Autor

1.4.1. SEMAFORIZACIÓN CON EL SISTEMA TRAFIRADAR

Se basa en una nueva tecnología creada que decide qué tiempo debe permanecer el color ámbar (amarillo), hasta que el vehículo haya cruzado la intersección, en otras palabras, determina si un vehículo necesita más tiempo para pasar una intersección antes de que la luz amarilla se vuelva roja y mantiene al resto del tráfico detenido hasta que el vehículo haya pasado.

1.4.2. SEMAFORIZACIÓN BASADO EN EL SISTEMA LYZUN

Este software está conectado a sensores ubicados en el pavimento, y se mide la cantidad de vehículos que pasan por cada carril. En función de la información de este sensor, se calculan demoras de los vehículos en acceder a la intersección, la relación entre la demanda y la capacidad del acceso, longitud media de las colas, la probabilidad de detención.

El software con la información recibida mediante los sensores es capaz de decidir de forma inteligente que hacer para manejar el tránsito de forma optimizada, tomando decisiones como alargar la “Luz Verde”, desviar el tránsito a otras calles para descongestionar la carga y facilitar la circulación vehicular disminuyendo también la contaminación del medio ambiente. A este diseño se ha denominado Semáforos IP, con

lo cual permite programar y controlar la sincronización de semáforos de manera rápida e inteligente mediante el uso de un navegador WEB.

Estos semáforos pueden ser conectados a la red de datos WIFI, de Fibra Óptica, o cableada, permitiendo manejar el tránsito adecuadamente ya que se interconectan con cámaras en tiempo real.

1.4.3. SEMAFORIZACIÓN BASADA EN SCATS

Utiliza el abordaje adaptativo de tráfico en tiempo real para controlar el tráfico urbano, midiendo las condiciones de tráfico actual y, enseguida, hace el ajuste del: Ciclo Length (ciclo semafórico completo), Splits (duración del tiempo de los verdes) y Off Set (para garantizar un sincronismo entre los semáforos, la conocida “ola verde”).

Su respuesta en tiempo real garantiza las condiciones más apropiadas y seguras a las fases de la señal de tránsito en los cruces.

Para los vehículos de emergencia como pueden ser ambulancias, policía, bomberos y del estado, tienen incorporado un sistema de detección, que a medida que se acercan a una intersección semafórica, activan la luz verde del semáforo de tal forma que facilita el avance de estos vehículos.

Otra forma de conexión entre los semáforos y los vehículos se hace a través de bluetooth (aún experimental). Los sistemas bluetooth permitirán:

- Conocer las rutas más habituales de los conductores, ya que se podrá determinar por qué semáforos (y el orden) pasa cada vehículo, y de esta forma se sabe la ruta seguida.
- Conocer el tiempo que le ha costado al vehículo hacer dicha ruta, es decir, se podrá saber con exactitud aquellas zonas donde hay atascos.

Una de las limitaciones presentadas en la tecnología bluetooth (Para conocer la ruta de los vehículos), es que no todos los vehículos dispongan de esta tecnología.

1.5. SENSOR LOOP

El sensor Loop es un sistema inductivo de detección de vehículos más utilizados según menciona (Gajda & Stencel, 2014). Este consta de tres componentes: Un bucle (Loop), un cable de extensión de bucle y un detector.

Cuando se instala o repara un sistema basado en un sensor Loop, se debe tener presente mucho la sensibilidad del sistema para que no haya lecturas erróneas, calibrando la sensibilidad de acuerdo a lo requerido, en la figura 13 se observa la conexión del sensor Loop con el detector.

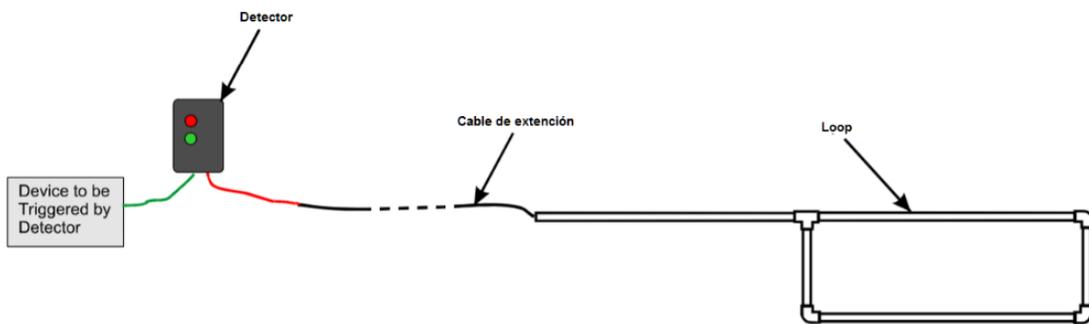


Figura 13. Conexión del Sensor Loop

Fuente: (Marsh, 2000)

En la siguiente figura se puede observar la parte física del sensor Loop, así como el detector.



Figura 14. Sensor Loop

Fuente: Autor

1.5.1. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR LOOP

En la siguiente tabla se muestra las características del sensor Loop del modelo PD123 (Tech. Co. Ltda., 2017) brindadas por el fabricante Interger (China) Tech Co, el cual se usará en este proyecto.

Tabla 1
Características del sensor LOOP

ITEM	CARACTERISTICAS
Tecnología	Campo magnético
Ajuste de la frecuencia	Automática
Modo de detección	Presencia
Tiempo de presencia	1 min. a lo infinito (presencia permanente) en 250 pies
Duración del pulso de salida	100 ms o 500 ms
Sensibilidad	0,005% a 0,5% en 250 pies
Energía	110 V AC
Tiempo de reacción	25 ms para el campo simple, 50 ms para el campo doble
Grado de protección	IP40
Frecuencia	20 a 170KHz
Consumo de energía	2,5 W
Niveles de sensibilidad	Ajustables
Salida tipo de relay	Normalmente abierto(NC) / Normalmente Cerrado (NC)

1.5.2. APLICACIONES DEL SENSOR LOOP

En esta sección se mencionará las aplicaciones que se puede dar al sensor Loop:

- **Detección de vehículos** Se utiliza para detectar la presencia de vehículos por medio de un cable inductivo enterrado en el suelo (sugerido: 33m x 16 AWG) en la figura 15 se puede observar la forma de detección del sensor Loop.

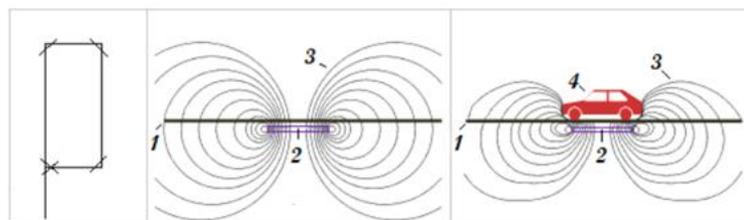


Figura 15. Funcionamiento del sensor Loop detectando carros

Fuente: («Detector de masa una vía, Detecta vehículos por medio de cable inductivo en el suelo», 2017)

- **Detectores de metales**, donde una bobina grande, que forma parte de un circuito resonante, es efectivamente "desafinada" por la proximidad de la bobina a un objeto conductor. El objeto detectado puede ser metálico (detección de metal y cable) o conductor / capacitivo. En la figura 16 se puede ver una de las aplicaciones del sensor Loop, como detector de metal.



Figura 16. Detector de metales (Aplicación sensor Loop)

Fuente: (Davidson, 2017)

- **Bobinas receptoras** el objeto detectado modifica el acoplamiento inductivo o altera el ángulo de fase de la tensión inducida en las bobinas receptoras en relación con la bobina osciladora. Una aplicación cada vez más común es la de proporcionar una bobina telefónica compatible con audífonos. En esta aplicación, se usa un bucle o serie de bucles para proporcionar un campo magnético oscilante de frecuencia de audio en un área donde un usuario de audífono puede estar presente. Muchos audífonos contienen una bobina telefónica que permite al usuario recibir y escuchar el campo magnético y eliminar la señal de audio normal proporcionada desde el sitio del micrófono del audífono (Pieters, 2017). Estos bucles se denominan a menudo bucle de audición o bucle de inducción de audio.

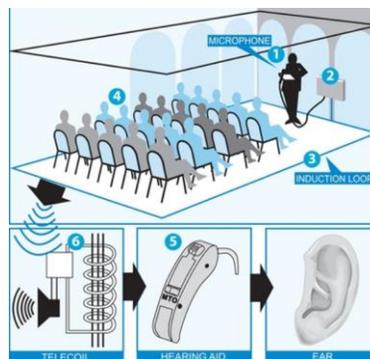


Figura 17. Aplicación del sensor Loop en el audio

Fuente: (Pieters, 2017)

- **Indicador antisubmarino** es un dispositivo utilizado para detectar submarinos y buques de superficie utilizando cables sumergidos especialmente diseñados conectados a un galvanómetro.

1.6. LABVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad.



Figura 18. Programa LabVIEW

Fuente: Autor

Los programas realizados en LabVIEW se llaman instrumentos virtuales “VIs”, ya que tienen la apariencia de los instrumentos reales, sin embargo, poseen analogías con funciones provenientes de lenguajes de programación convencionales («LabVIEW 2009/Capítulo 2 Introducción a Instrumentación Virtual - Wikilibros», 2017). Cada VI contiene tres partes principales:

- Panel frontal: Cómo el usuario interactúa con el VI.
- Diagrama de bloque: El código que controla el programa.
- Icono/Conector: Medios para conectar un VI con otros Vis.

1.7. APP INVENTOR

App Inventor es un entorno de programación visual intuitivo, permite que todos desarrollen aplicaciones completamente funcionales para teléfonos inteligentes y tabletas.

Esta herramienta está basada en bloques que facilitan la creación de aplicaciones complejas de alto impacto en mucho menos tiempo que los entornos de programación tradicionales. El proyecto MIT App Inventor busca democratizar el desarrollo de software al empoderar a todas las personas, especialmente a los jóvenes, para pasar del consumo de tecnología a la creación de tecnología.

En la figura 19 se puede visualizar la interfaz para desarrollar la aplicación en App Inventor.

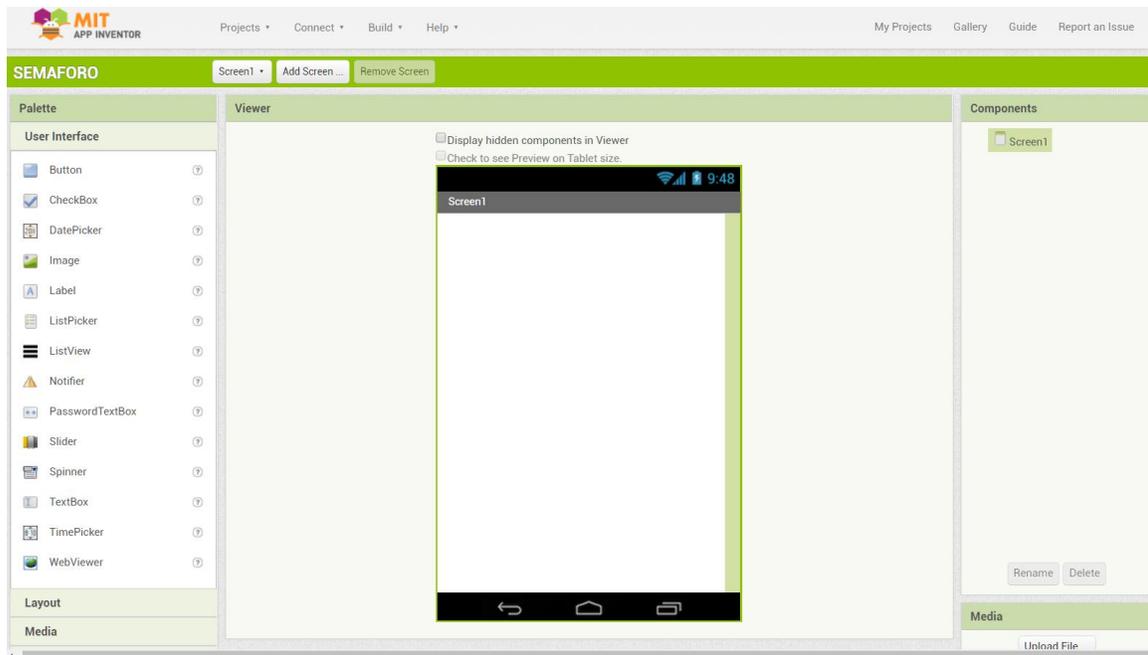


Figura 19. Interfaz principal de App Inventor

Fuente: Autor

1.8. ELEMENTOS DE CONTROL

Existen varios elementos utilizados en control, la mayoría de los semáforos utilizan un PLC, es este caso se propone una alternativa.

1.8.1. ARDUINO

Una de las ventajas que ofrece la plataforma Arduino, es que es de libre acceso, por lo que se puede desarrollar cualquier tipo de proyecto sin la necesidad de una licencia. En la placa Arduino es donde conectaremos los sensores, actuadores y otros elementos necesarios para la automatización del semáforo inteligente. En el proyecto se han utilizado las placas Arduino Uno, que se indica en la siguiente figura.



Figura 20. Elemento de control (Arduino uno).

Fuente: Autor

Unas de las características que se toma en cuenta al momento de seleccionar el elemento de control para el semáforo Arduino son las siguientes:

- **Barato:** Las placas Arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas microcontroladoras.
- **Multiplataforma:** La adaptabilidad a diferentes sistemas operativos como Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux.
- **Entorno de programación simple:** El entorno de programación de Arduino es fácil de usar.
- **Código abierto y software extensible:** El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto, el mismo que puede ser expandido mediante librerías C++, está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel.

1.8.2. CARACTERÍSTICAS DE LA PLACA ARDUINO UNO

Tabla 2

Características del Arduino Uno

Detalle	Característica
Microcontrolador	ATmega 328
Voltaje de operación	5 VDC
Voltaje de entrada recomendado	7-12 VDC
Voltaje de Entrada (Límites)	6-20 V
Entradas y Salidas Digitales	14 (6 de ellas son salidas PWM a 8 bits)
Entradas Analógicas	6
Corriente DC soportada por la conexión	40mA
Corriente DC soportada por cada conexión de entrada y salida 3.3V	50mA
Memoria Flash	32KB Pertenecientes al microcontrolador, 0.5KB usados por el cargador de inicio.
Memoria SRAM	2KB Pertenecientes al microcontrolador
Velocidad de reloj	16MHz
EEPROM	1 KB Perteneciente al microcontrolador

1.8.3. PLC

Según la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC – Programable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos (Villagrán, 2017). En la siguiente figura se muestra un PLC siemens S7-1200 de SIEMENS.

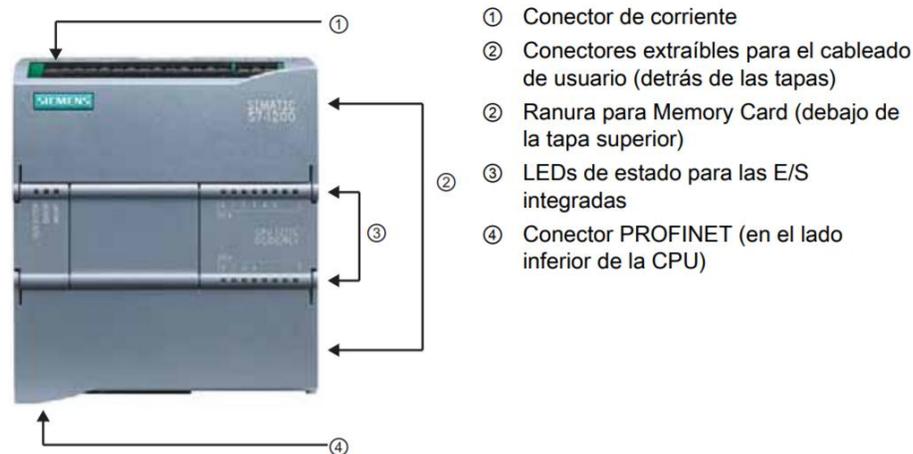


Figura 21. PLC S7 1200

Fuente: Manual S7 1200

En la siguiente tabla se detallan las ventajas y desventajas de los dos elementos de control expuestos anteriormente.

Tabla 3

Ventajas y desventajas entre Arduino y PLC.

Procesamiento de datos	Ventajas	Desventajas
PLC	<ul style="list-style-type: none"> • Útiles para trabajar con altas potencias • Recomendados en procesos industriales • Inmunes al ruido • Menor tiempo en desarrollo de proyecto • Mantenimiento económico. • Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo PLC 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado • Mayor tamaño • Software pagado • Se necesita módulos de expansión • Mayor costo de mano de obra de la instalación • Se requiere ampliar la memoria para aplicaciones de mayor demanda de recursos
Arduino	<ul style="list-style-type: none"> • Económico • Software gratuito • Se puede realizar cambios en caliente • De fácil acceso 	<ul style="list-style-type: none"> • No tiene memoria externa • No es recomendado para procesos industriales

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE

Para el diseño del semáforo inteligente, tomando en cuenta que el objetivo es tener una gestión óptima y eficiente de la movilidad vehicular en la intersección de la Avenida 17 de Julio y General José María Córdova como vía de desfogue de la carretera E35 se propone desarrollar un sistema de semaforización inteligente que cumpla las características siguientes.

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

2.1. PARÁMETROS DE SELECCIÓN

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

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

2.2. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN

Una vez analizado los estudios y prototipos realizados, se propone implementar el sistema de automatización y control en un semáforo inteligente, monitoreado en tiempo real mediante comunicación inalámbrica. A continuación, se detalla el funcionamiento del sistema.

2.2.1. SISTEMA AUTOMÁTICO

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

2.2.2. SISTEMA MANUAL

El operador encargado del tránsito mediante la interfaz de usuario de forma inalámbrica podrá cambiar el comportamiento del semáforo (las dos vías en rojo, las dos vías en intermitente, la vía principal en rojo y vía secundaria en verde o viceversa), así también modificar los tiempos de semaforización en automático, de acuerdo a las necesidades viales de una forma rápida.

2.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para la elección de alternativas y criterios de selección de los tipos de elementos de control mencionados en el literal 1.8. Y así seleccionar el elemento de control eficiente para este estudio, se usará el método de criterios ponderados.

Se realiza una tabla de ponderación de acuerdo con el grado de importancia de cada parámetro. Esta tabla se elabora con el método ordinal corregido de criterios ponderados.

El método ordinal corregido de criterios ponderados consiste en numerar los parámetros en orden de importancia, luego se ubican en la tabla como una matriz cuadrada y se califican las posibilidades.

Las condiciones para la ponderación establecidas por :(Riba i Romeva, 2002) son:

- 1 si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; $>$) que el de las columnas
- 0,5 si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas
- 0 si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; $<$) que el de las columnas

Para cada criterio se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios y se le suma una unidad. En otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio.

La evaluación total es el resultado de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo.

Tabla 4
Peso específico criterios sistema de transmisión

Código	ALTERNATIVA
Solución A	Elemento de control Arduino
Solución B	Elemento de control PLC

Los criterios que se consideran importantes para la selección:

- Precio.
- Funcionalidad
- Versatilidad

Evaluación del peso específico de cada criterio.

Precio > Funcionalidad = Accesibilidad

Como uno de los pasos de criterios ponderados es la evolución y asignación de pesos a los factores en la tabla siguiente se muestra:

Tabla 5
Tabla de Peso específico criterios elemento de control

CRITERIO	Precio	Funcionalidad	Accesibilidad	\sum 1	+ PONDERACIÓN
Precio		1	1	3	0,5
Funcionalidad	0		0,5	1,5	0,25
Accesibilidad	0	0,5		1,5	0,25
			Total	6	1

Luego de haber realizado la evaluación del peso específico de cada criterio se procede a la evaluación de los pesos específicos de los criterios en las distintas alternativas, en las siguientes tablas.

Tabla 6
Evaluación del peso específico del criterio Precio

Solución A > Solución B				
Precio	Solución A	Solución B	\sum + 1	PONDERACIÓN
Solución A		1	2	0,67
Solución B	0		1	0,33
		Total	3	1

Tabla 7
Evaluación del peso específico del criterio funcionalidad

Solución A > Solución B				
Funcionalidad	Solución A	Solución B	\sum + 1	PONDERACIÓN
Solución A		0,5	1,5	0,5
Solución B	0,5		1,5	0,5
		Total	3	1

Tabla 8
Tabla de Peso específico criterios sistema de versatilidad

Accesibilidad	Solución A	Solución B	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
Solución A		1	2	0,67
Solución B	0		1	0,33
		Total	3	1

Tabla 9
Evaluación de alternativas

CONCLUSIÓN	Precio	Funcionalidad	Versatilidad	Σ	PRIORIDAD
Solución A	$0,5 \cdot 0,67$	$0,25 \cdot 0,5$	$0,25 \cdot 0,67$	0,363	1
Solución B	$0,5 \cdot 0,33$	$0,25 \cdot 0,5$	$0,25 \cdot 0,33$	0,150	2

Siguiendo con el método planteado de criterios ponderados, y del resumen de la tabla 8, se puede ver que la alternativa A, se adapta a nuestras necesidades con una ponderación de 0,363 quedando así por utilizar un Arduino como elemento de control.

2.3.1. DETECCIÓN DE VEHÍCULOS

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

En la figura 22 se muestra la forma de instalar en el pavimento el sensor Loop, el mismo que se instala un lazo eléctricamente aislado. La unidad electrónica transmite energía en los bucles de alambre en las frecuencias entre 10 kHz a 200 kHz, dependiendo del modelo.

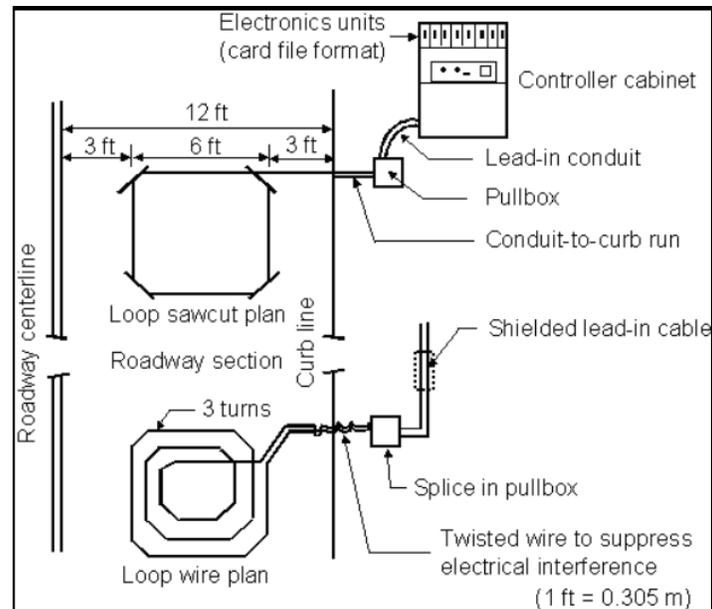


Figura 22. Forma de implementar el sensor Loop

Fuente: http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/images/fig1_4.gif

El sistema de bucle inductivo se comporta como un circuito eléctrico sintonizado en el que el cable de bucle y el cable de entrada son los elementos inductivos. Cuando un vehículo pasa sobre el bucle o se detiene dentro del bucle, el vehículo induce corrientes parásitas en los bucles de hilo, lo que disminuye su inductancia.

La inductancia disminuida acciona el relé de salida de la unidad electrónica o la salida ópticamente aislada de estado sólido, que envía un impulso al controlador de la señal de tráfico que significa el paso o la presencia de un vehículo.

La naturaleza relativamente cruda de la estructura del bucle significa que sólo las masas de metal por encima de un cierto tamaño son capaces de activar el relé. Esta es una ventaja que se aprovecha para este proyecto en específico, disminuyendo así muchos disparadores "falsos positivos" (digamos, por ejemplo, por un peatón que cruza el bucle con un bolsillo lleno de cambio de metal suelto) pero a veces también significa que las bicicletas, scooters y motocicletas detenidas en tales intersecciones nunca pueden ser detectadas por ellos (y por lo tanto riesgo de ser ignorado por el interruptor / señal). La mayoría de los bucles se pueden ajustar manualmente para detectar de forma consistente la presencia de scooters y motocicletas como mínimo.

2.3.2. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Se determinan los requisitos de diseño y se realiza la programación en la plataforma Arduino, y la simulación se implementa en Proteus, del control manual como automático del semáforo.

Se validan todas las condiciones necesarias para optimizar el flujo vehicular e implementar el código en ARDUINO con comunicación bluetooth con las aplicaciones móvil y fija.

Se requiere analizar la hora, la fecha y tiempos de semaforización, entre otras. Así también los parámetros a ser modificados por el usuario mediante la interfaz, la misma que le dará la opción de cambiar tiempos de operación y a su vez cambiar el tipo de funcionamiento de manual a automático mediante la comunicación bluetooth.

CAPÍTULO 3

3. IMPLEMENTACIÓN

El sistema automatizado del semáforo inteligente estará diseñado para detectar desde una moto, hasta los vehículos de carga pesada que circulan por la vía. En la siguiente figura se muestra la intercesión “T” de la ciudad de Ibarra donde se implementará el semáforo automatizado con el sensor Loop.

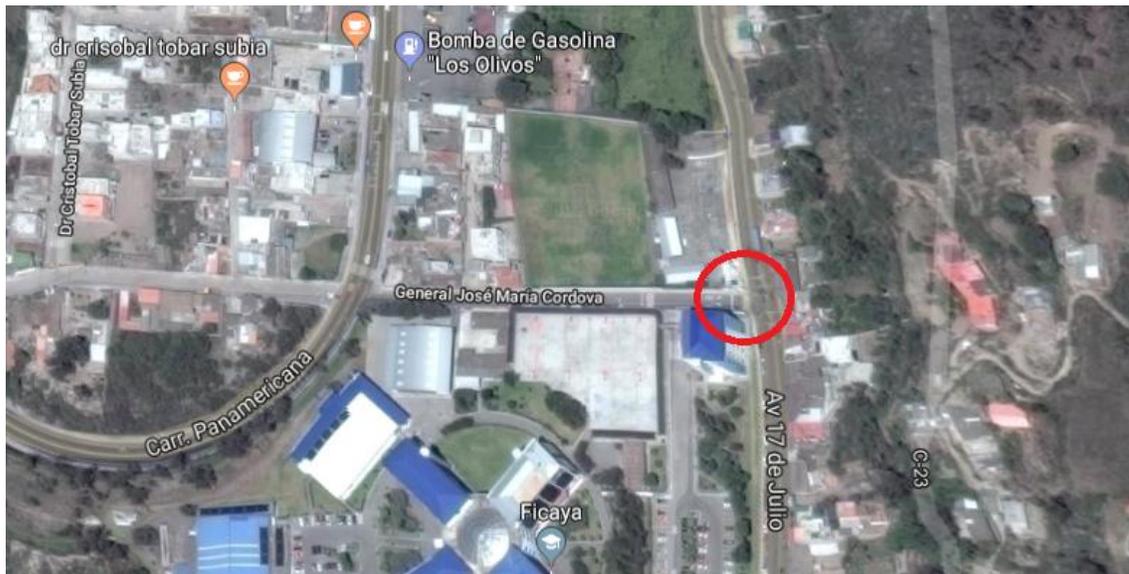


Figura 23. Ubicación del semáforo inteligente.

Fuente: Autor

3.1. UBICACIÓN DEL SENSOR LOOP EN LA VÍA

Se requiere conocer la distribución del cableado del sensor Loop en la vía, por lo que se realiza la implementación como se señaló en la figura 22. Distribuyendo la cantidad necesaria de cable para generar un campo inductivo, siendo capaz de leer los diferentes medios de transporte, y así poder procesar la señal mediante el dispositivo de control Arduino.

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

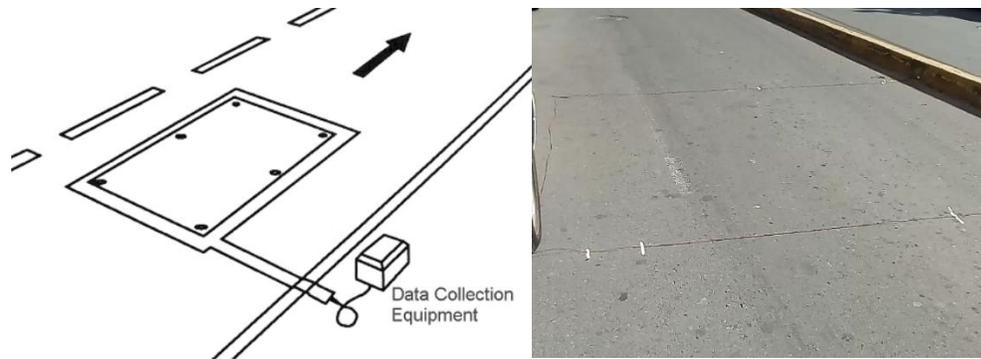


Figura 24. Ubicación del sensor Loop en la vía

Fuente: Autor

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

Tabla 10

Pruebas de lectura del sensor Loop

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

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



Figura 25. Ubicación del semáforo inteligente.

Fuente: Autor

Con la distribución del sensor Loop en la forma que se muestra en la figura 25, se tiene los siguientes datos de su lectura que se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 11
Pruebas de lectura del sensor Loop

Tipo de vehículo	Número	Vehículos detectados
Carro	10	10
Motocicletas	10	10
Bus	10	10

Eligiéndose así la ubicación del sensor Loop como se muestra en la figura 25, que se adapta a nuestro estudio en particular. Para la instalación del sensor Loop se tomó en cuenta la sensibilidad requerida por lo cual se utilizó una cantidad de 50 m de cable.

3.1.1. SIMULACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Para realizar las pruebas, se realizó una simulación con la ayuda del software Proteus, en la siguiente figura se puede observar la simulación implementada. Luego del emular el correcto funcionamiento de todas las condiciones requeridas por el semáforo inteligente, se procede a ser implementado.

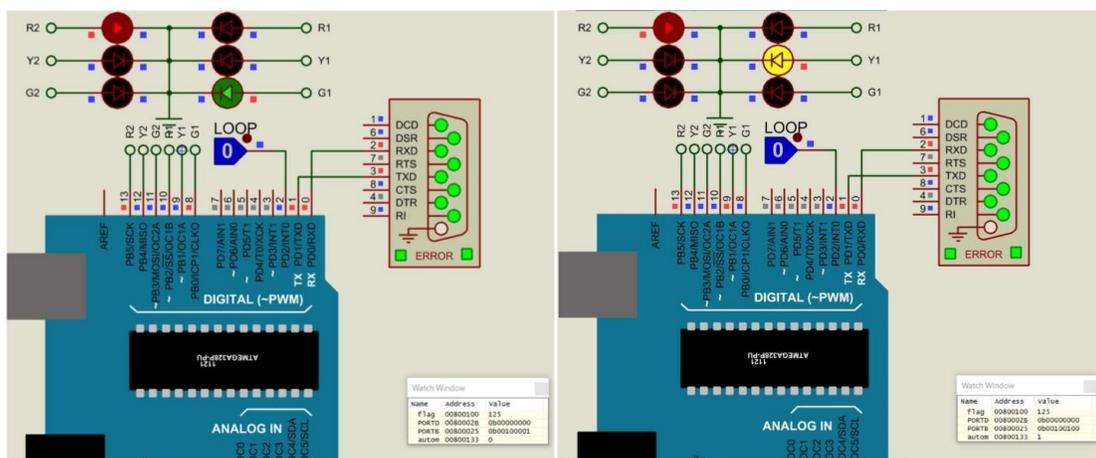


Figura 26. Simulación del semáforo en Proteus

Fuente: Autor

3.2. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y DE CONTROL

El sistema eléctrico se basa en la elección del controlador en este caso específico por las características mencionadas anteriormente se implementa el un Arduino uno, para controlar las señales lumínicas del semáforo.

Para poder separar la parte de control con la el circuito de potencia, tomando en cuenta el consumo de corriente de las luminarias del semáforo, se implementa la tarjeta de control con relay de un amperaje máximo de 5A, se procede a diseñar las placas de control, y finalmente se esboza la placa PCB del controlador.

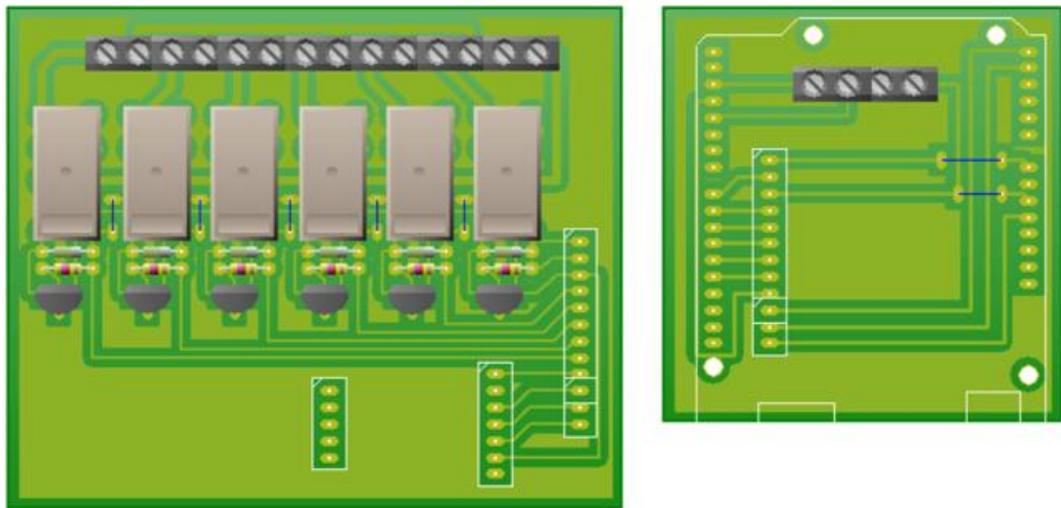


Figura 27. Placas de control del semáforo

Fuente: Autor

3.3. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DE LA SOLUCIÓN

Para la construcción de las placas de control, una vez diseñada se procede a implementarlas como se muestra en la siguiente figura.

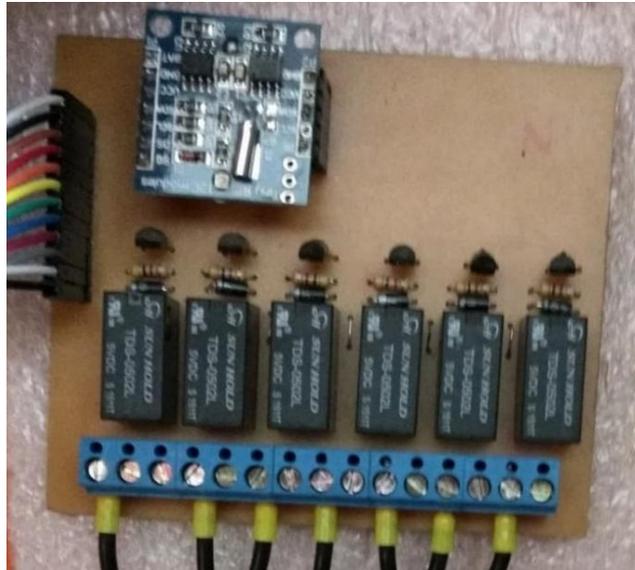


Figura 28. Placa de control de las luces del semáforo

Fuente: Autor

De igual manera se implementa la caja de control para la parte de potencia y control. En la siguiente tabla se puede observar el proceso.

Tabla 12

Proceso de implementación del sistema de control y eléctrico

<p>Distribución de los componentes</p>	<p>Cableado de los componentes</p>	<p>Caja de eléctrica y de control del semáforo</p>

3.4. DISEÑO DE LA INTERFAZ EN LABVIEW

Para el diseño del sistema de monitoreo se utilizó principalmente la plataforma LabVIEW, y como una alternativa, el monitoreo a través de una aplicación en Android.

Como podemos observar en la figura 29, que muestra la interfaz de LabVIEW, que permite visualizar el estado actual de los semáforos, y los parámetros de configuración de los mínimos.



Figura 29. Interfaz de usuario.

Fuente: Autor

La interfaz principal contiene varios elementos de monitoreo y configuración, que los podemos ver en la figura 30, el manejo de la interfaz es simple, no es necesario ser un usuario con conocimiento avanzado para controlar el semáforo.

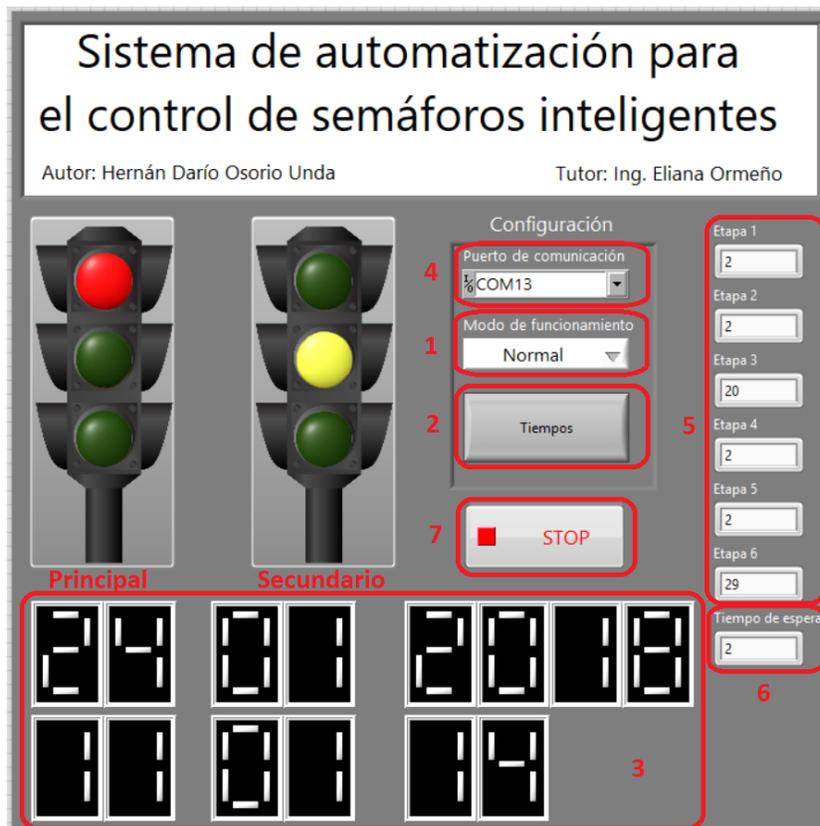


Figura 30. Interfaz de usuario específica.

Fuente: Autor

Configuración de la aplicación

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

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

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

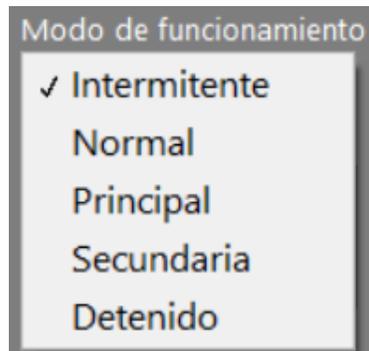


Figura 31. Menú desplegable de modo de funcionamiento

Fuente: Autor

Se puede seleccionar entre las diferentes categorías:

Intermitente. - como su nombre lo indica, permite al sistema ingresar al modo intermitente. En el semáforo principal se tendrá una intermitencia de la luz amarilla mientras en el semáforo secundario la intermitencia será de la luz roja.

Normal. - en este modo de operación el semáforo principal se encuentra siempre con la luz verde encendida y el secundario con la luz roja, en el momento que el sensor Loop detecte un vehículo en la vía secundaria, el sistema realiza el proceso de un semáforo normal dando paso al vehículo.

Principal. – este modo de operación permite mantener la luz verde encendida en la vía principal y la luz roja en la secundaria.

Secundaria. - este modo de operación permite mantener la luz roja encendida en la vía principal y la luz verde en la secundaria.

Detenido. - en este modo de operación las dos vías están detenidas, por lo que la luz roja está encendida en ambos semáforos.

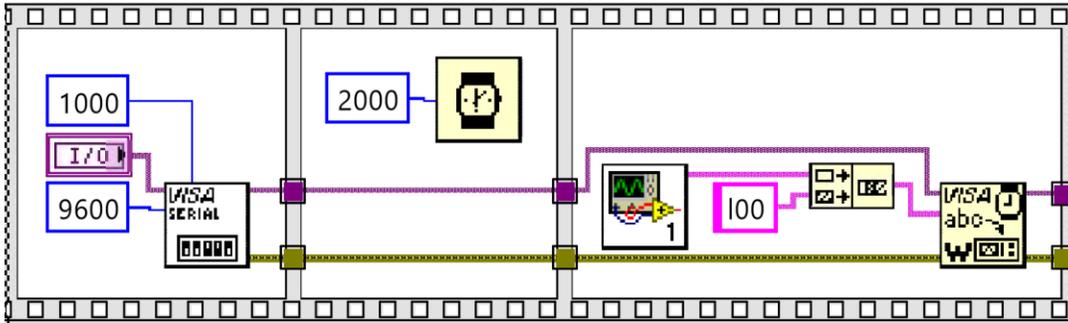


Figura 32. Inicialización del sistema

Fuente: Autor

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

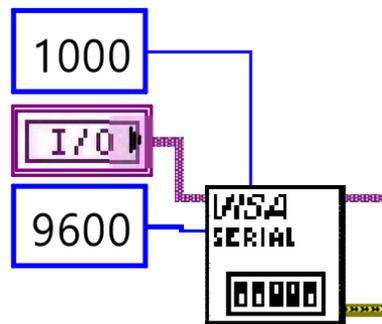


Figura 33. Configuración de la velocidad de comunicación

Fuente: Autor

Es necesario ofrecer al sistema un tiempo de estabilización (2000 ms) para sincronizar correctamente la comunicación con el módulo Arduino.

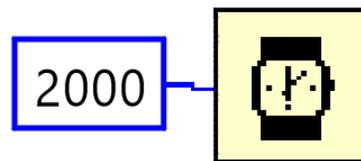


Figura 34. Tiempo de estabilización

Fuente: Autor

Y para completar la inicialización es necesario enviar comandos para la sincronización de hora y fecha, además del comando de petición del estado del sistema (100).

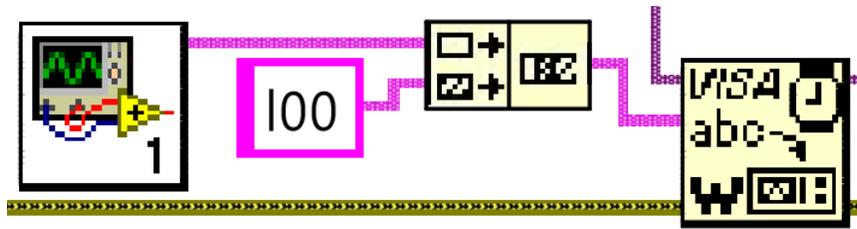


Figura 35. Envió de hora y fecha

Fuente: Autor

La siguiente etapa en el sistema es la recepción y decodificación de datos, la recepción se la realiza mediante una interrupción de tiempo (1 ms), lo cual nos permite detectar todos los datos que lleguen a través del puerto serial.

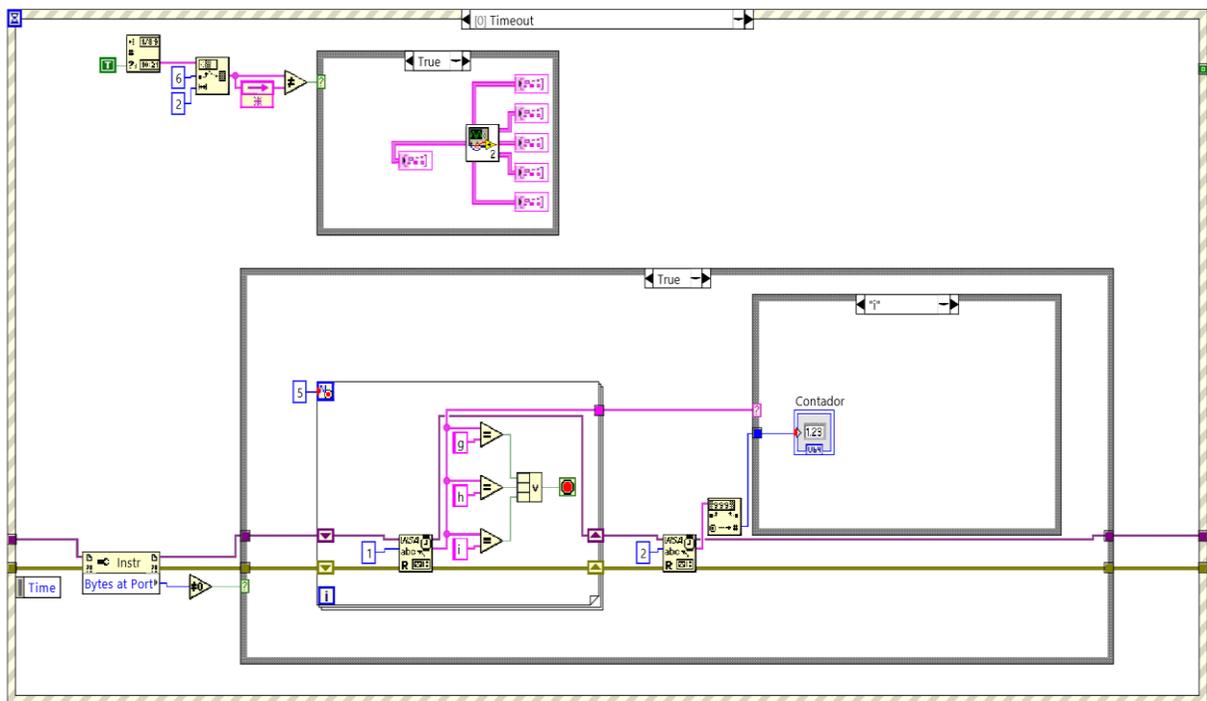


Figura 36. Recepción y decodificación de datos

Fuente: Autor

Inicialmente, es necesario detectar si existe algún dato en el puerto serial, esto ayuda a evitar al sistema tener errores de comunicación.

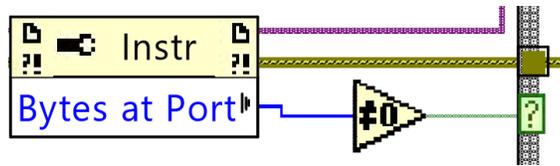


Figura 37. Detección de datos en el puerto serial

Fuente: Autor

A continuación, si el sistema tiene datos disponibles para la recepción, ingresa en un ciclo de lectura. La lectura inicial espera a que llegue una de las letras de reconocimiento, para asegurar la sincronización, al llegar una de estas letras el sistema continúa a la lectura de los siguientes datos.

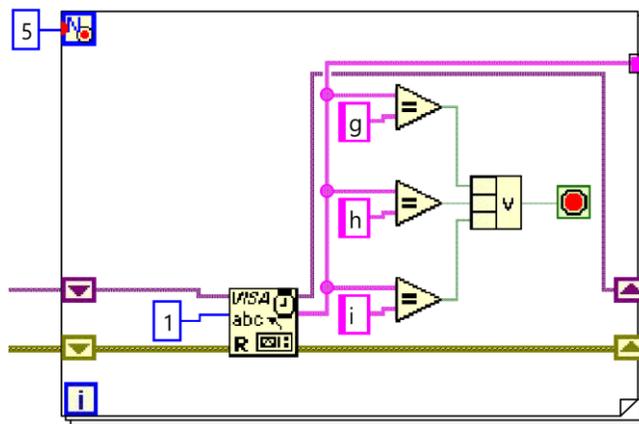


Figura 38. Ciclo de lectura

Fuente: Autor

Una vez confirmada la recepción del comando de reconocimiento, se recibe el valor de dos cifras correspondiente al estado del semáforo y al modo de funcionamiento actual, se lo transforma del valor de texto recibido por el puerto serial a un valor numérico para su posterior procesamiento.

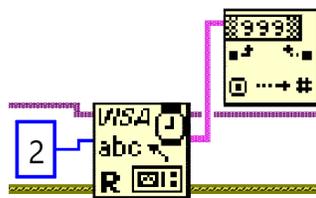


Figura 39. Valor de cifras a recibir

Fuente: Autor

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

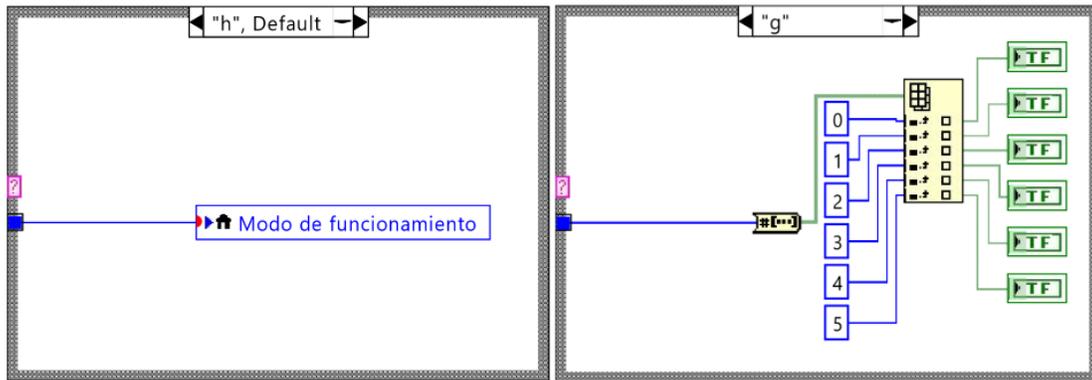


Figura 40. a) Selección de modo de funcionamiento. b) Recibe el estado del semáforo

Fuente: Autor

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

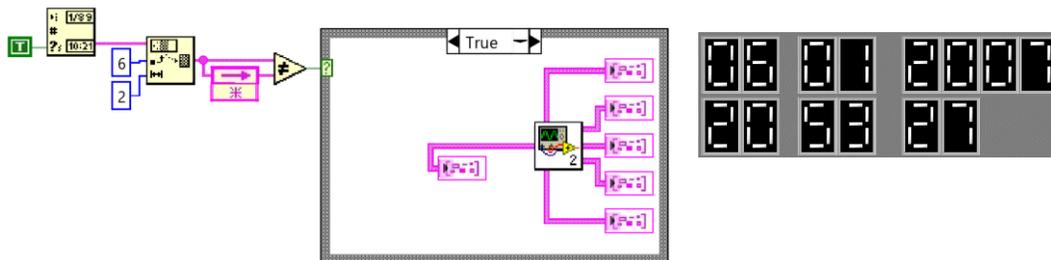


Figura 41. a) Tiempo del sistema b) Visualización de la hora y fecha

Fuente: Autor

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

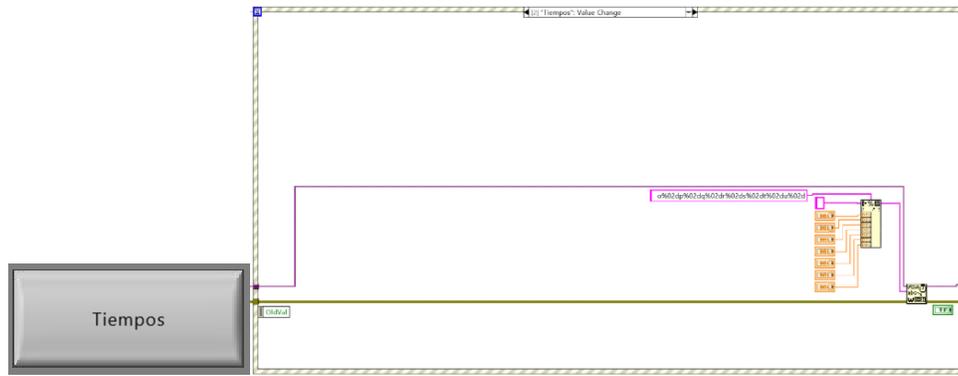


Figura 42. Tiempos de sincronización

Fuente: Autor

El envío del tiempo se lo codifica mediante una letra de reconocimiento y dos bytes para los datos, la información la podemos visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 11

Decodificación de tiempos de funcionamiento

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

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

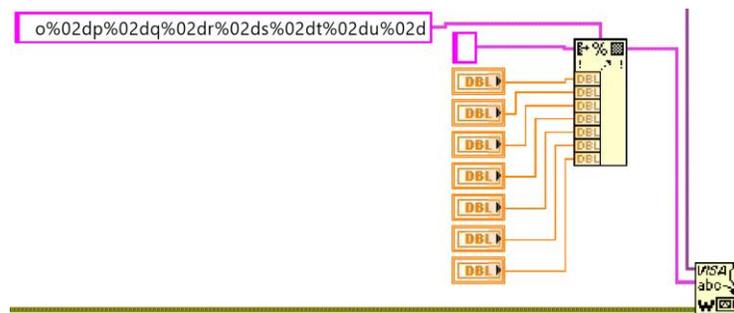


Figura 43. Envío por el puerto serial de datos correspondiente a hora y fecha

Fuente: Autor

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

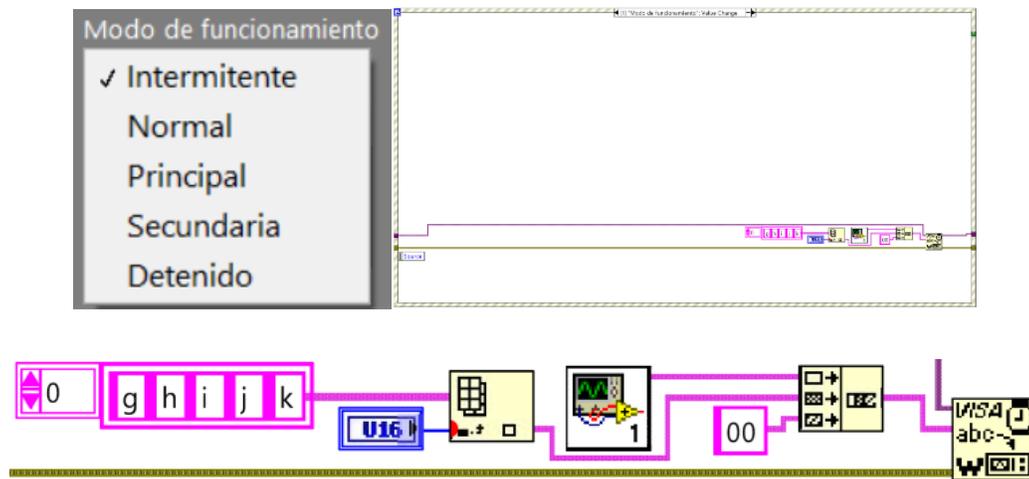


Figura 44. Codificación de datos de envío

Fuente: Autor

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

Tabla 14.
Modos de funcionamiento

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

3.5. DISEÑO DE LA INTERFAZ USUARIO EN APP INVENTOR

El sistema de semaforización también es monitoreado a través de una aplicación en un dispositivo Android, en este caso el sistema se encuentra limitado a la visualización del

estado del semáforo y al cambio del modo de funcionamiento, mientras el cambio de los tiempos de funcionamiento no se encuentra habilitado.

La aplicación en Android a diferencia del lenguaje G de LabVIEW se trabaja en la plataforma en línea APP INVENTOR del MIT que permite programar mediante bloques de conexión muy parecidas a los rompecabezas, permitiendo de esta manera la fácil depuración del código.

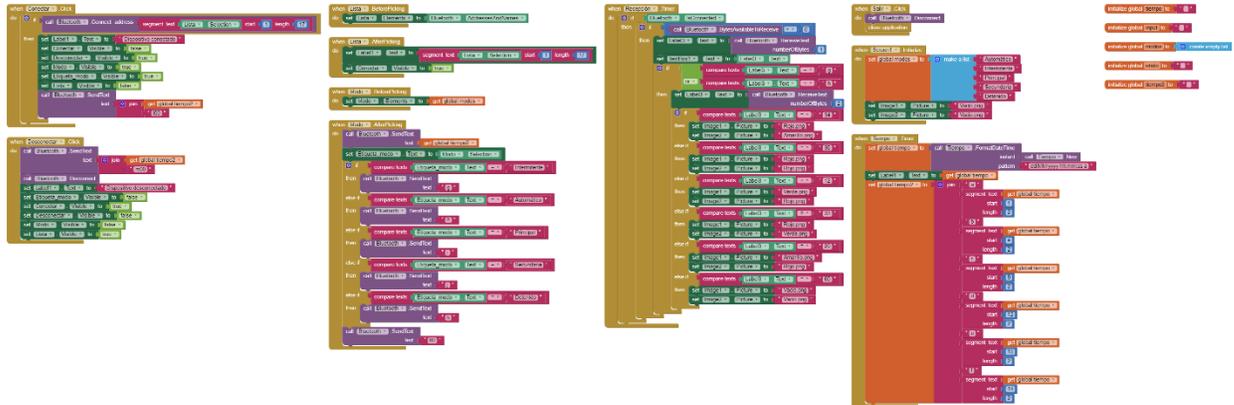


Figura 45. Código implementado en App Inventor

Fuente: Autor

La programación sigue la misma lógica de envío y recepción de datos que se realiza en Labview, además de tener la misma codificación para mantener la compatibilidad con el sistema de semaforización.

La diferencia principal en la interfaz de Android es el cambio en la visibilidad de los componentes, esto ayuda al usuario a evitar presionar por error un botón de la pantalla.

Al iniciar la aplicación, el sistema realiza la carga de las imágenes del semáforo y genera la lista de modos de funcionamiento como lo podemos ver en la figura 30, en este momento la interfaz se encuentra lista para iniciar el proceso.

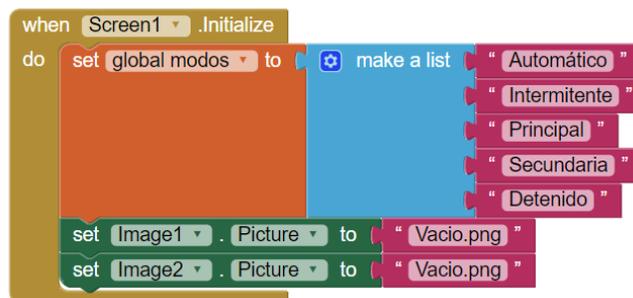


Figura 46. Inicialización de la pantalla

Fuente: Autor

El siguiente paso es seleccionar el dispositivo a conectarse, esto lo realizamos mediante el botón “Seleccionar dispositivo” el cual permite al sistema desplegar todos los dispositivos bluetooth disponibles.



Figura 47. Establecer la dirección de conectarse mediante bluetooth

Fuente: Autor

Al momento de seleccionar el dispositivo, sin importar el nombre que tenga asignado, se realizará la extracción de la dirección MAC del mismo, la cual cuenta con 15 caracteres.



Figura 48. Obtención de la dirección MAC

Fuente: Autor

A continuación, se procede a realizar la conexión con la dirección MAC obtenida presionando el botón conectar, si la conexión es correcta, el botón “conectar” deja de ser visible y aparece el botón “desconectar” en su lugar, también se vuelve visible la lista para seleccionar el modo de funcionamiento.

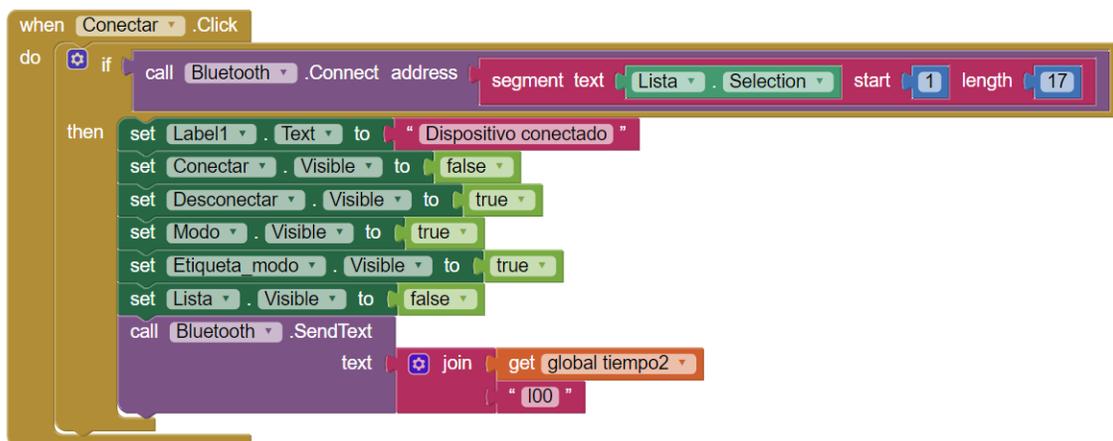


Figura 49. Visualizar lista de modos de funcionamiento

Fuente: Autor

El sistema está inicializado completamente, ahora podemos seleccionar el modo de “funcionamiento” mediante el menú desplegable configurado al iniciar el sistema. Este

bloque de programación envía el tiempo de sincronización al semáforo y el comando respectivo según la tabla.



Figura 50. Sincronización del semáforo

Fuente: Autor

Hasta este momento se ha realizado el envío de datos desde la interfaz de Android hacia el semáforo, en los siguientes bloques de comandos se explicará la recepción de los datos.

El sistema recibe los mismos datos que la interfaz de LABVIEW, la decodificación lleva el mismo sistema posicional y se realiza la comprobación de si se encuentra conectado el dispositivo mediante bluetooth además de comprobar la existencia de datos en el puerto de recepción.

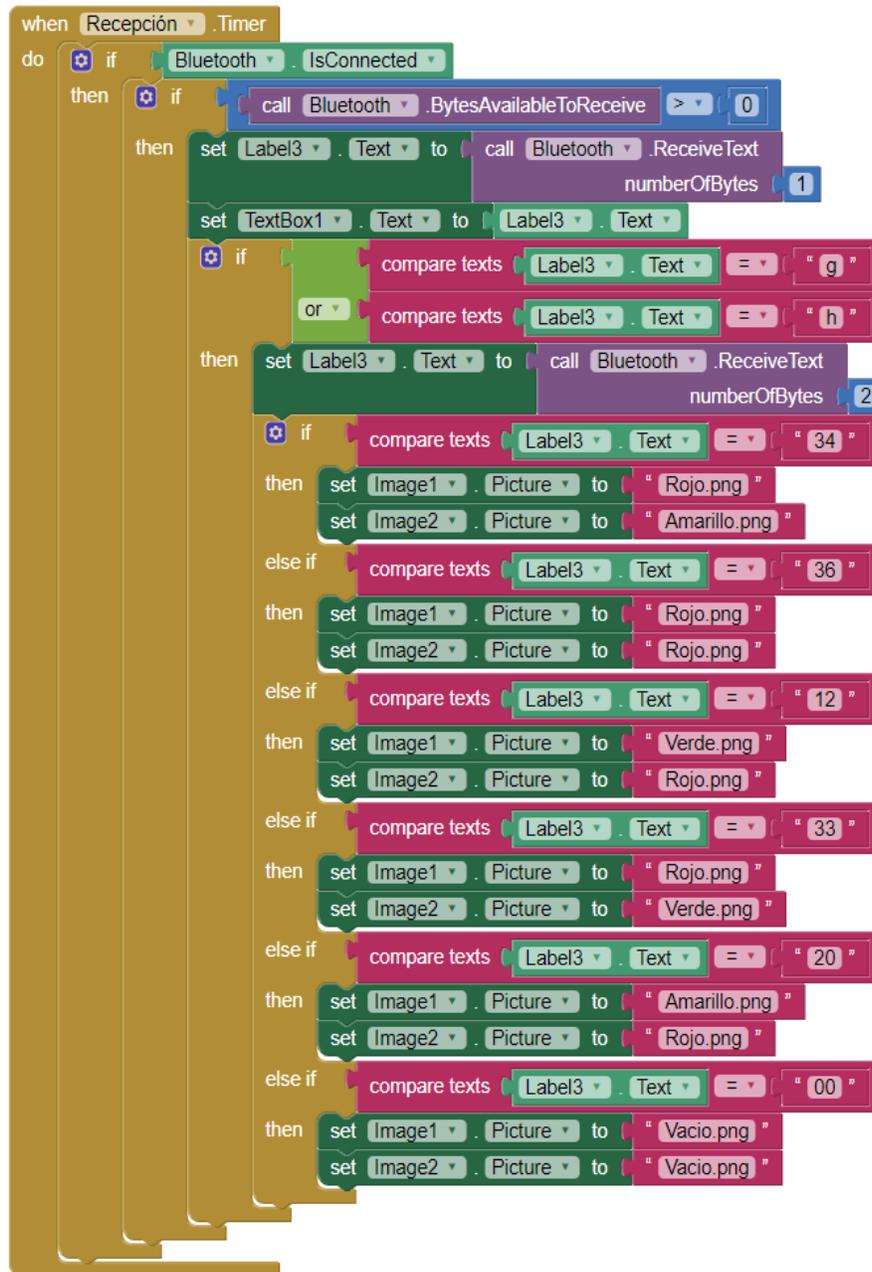


Figura 51. Decodificación de datos recibido desde la interfaz de LabVIEW

Fuente: Autor

3.6. CÓDIGO IMPLEMENTADO EN ARDUINO

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

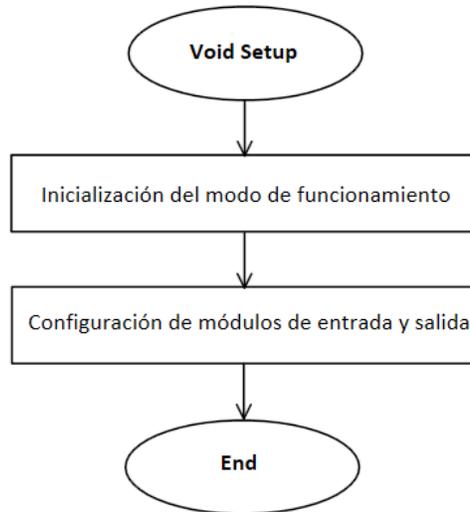


Figura 52. Configuración inicial del sistema

Fuente: Autor

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

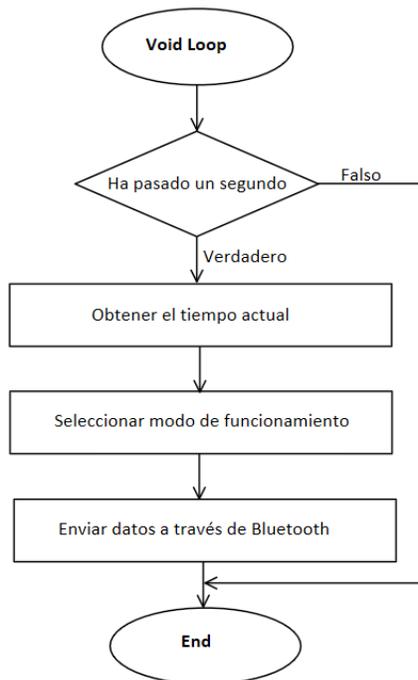


Figura 53. Proceso principal

Fuente: Autor

En la siguiente figura se puede observar la configuración del tiempo de ejecución del sistema y la configuración de los tiempos de semaforización.

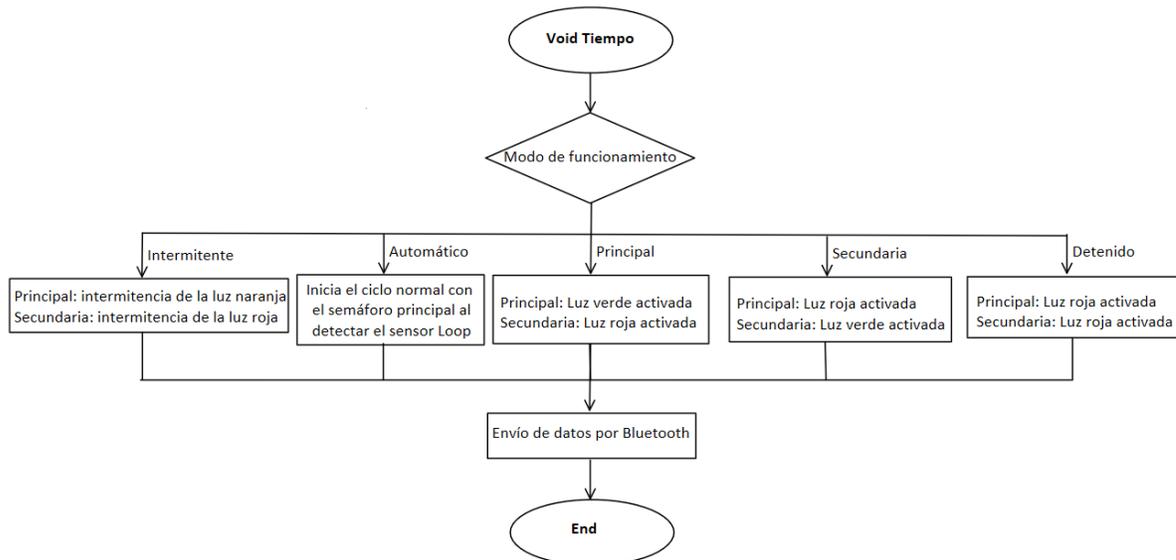


Figura 54. Configuración de los tiempos de semaforización

Fuente: Autor

En la siguiente figura se detalla el ciclo de lectura del sensor Loop.

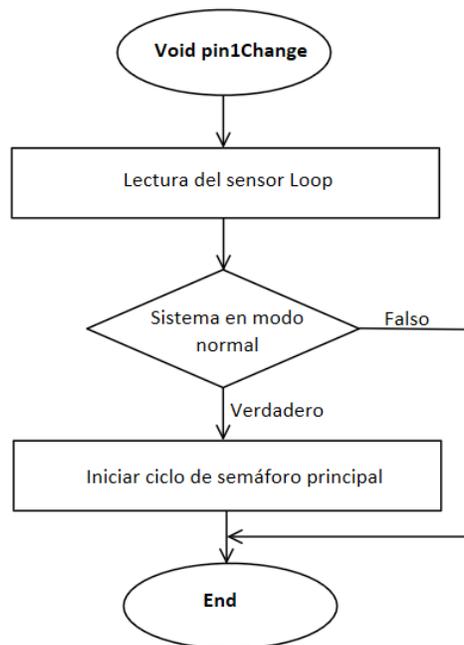


Figura 55. Detección del sensor Loop

Fuente: Autor

3.7. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Con el semáforo correctamente programado y el sensor Loop ubicado en la vía en la ciudad de Ibarra en la intersección de la Avenida 17 de Julio y General José María Córdova, se realizaron pruebas con diferentes condiciones que se pueden dar en la vía, en donde se demostró que la automatización del semáforo cumple con su función y objetivos satisfactoriamente, como se muestra en las figuras de la 55 a 56.



Figura 55. Intersección donde será instalado el sistema de semaforización

Fuente: Autor



Figura 56. Instalación del sensor Loop en la vía

Fuente: Autor

La instalación y pruebas se realizaron previa autorización del departamento de planificación de la Empresa Pública de Movilidad del Norte (MOVILDELNOR) con la ayuda del personal técnico encargada de la semaforización de la ciudad.



Figura 57. Apoyo brindado por el personal de semaforización y móvil del norte

Fuente: Autor

En esta sección se muestra las pruebas realizadas de la interfaz implementada en LabVIEW con el semáforo.



Figura 58. Pruebas realizadas de la interfaz LabVIEW

Fuente: Autor

En la siguiente imagen se muestra las pruebas del comportamiento de la lógica de programación del semáforo inteligente, con la lectura del sensor Loop.

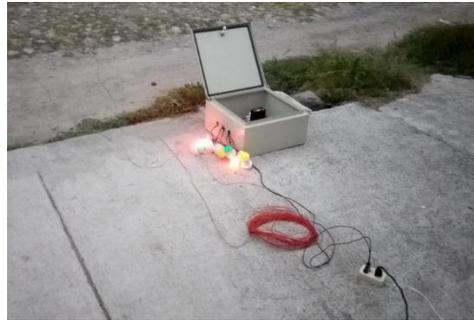


Figura 59. Pruebas realizadas de la interfaz LabVIEW

Fuente: Autor

En la sección de pruebas del sistema implementado con el sensor Loop, se hacen pasar diferentes tamaños de vehículos dando como respuesta un 0 ó 1 lógico dependiendo si existe o no vehículos en la vía. Estos valores obtenidos experimentalmente se resumen en la tabla 9.

3.8. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

3.8.1. COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL SEMÁFORO INTELIGENTE

Costos que intervinieron directamente en la fabricación del sistema de semáforo inteligente se detallan en la siguiente tabla 15.

Tabla 15
Costos directos de fabricación

Detalle	Costos (\$)
Sensor Loop	150
Materiales	230
Mano de Obra	500
TOTAL	880

3.8.2. COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN

En la tabla 16 se detallan los costos que no intervinieron directamente en la fabricación del sistema de semaforización pero que son necesarios para llevar a cabo la investigación.

Tabla 16
Costos indirectos de fabricación

Detalle	Costos (\$)
Material de oficina	180
Internet	30
Transporte	50
TOTAL	260

3.8.3. COSTO TOTAL

En la siguiente tabla se puede observar la suma de costos directos y costos indirectos de fabricación del semáforo inteligente.

Tabla 17
Costo Total del sistema de semaforización

Detalle	Costos (\$)
Costos directos	1100
Costos indirectos	320
TOTAL	1420

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- La implementación del sistema de automatización para el semáforo inteligente en la intersección vehicular nos permite establecer tiempos tanto en la vía principal como en la secundaria de acuerdo a las necesidades viales, reduciendo el tiempo muerto de espera.
- Se requiere conocer la distribución del cableado del sensor Loop en la vía, distribuyendo la cantidad de 50 metros de cable siendo la necesaria para generar un campo inductivo, tomando en cuenta el tamaño de los vehículos y motos, así también en tiempo de respuesta que tiene siendo capaz de leer los diferentes medios de transporte, y así poder procesar la señal mediante el dispositivo de control Arduino.
- La instalación del sistema de automatización para los semáforos inteligentes en la ciudad de Ibarra ayuda a elevar el nivel de seguridad vial, e implementarlo usando un ARDUINO como elemento de control reduce los costos notoriamente.
- La simulación fue una herramienta fundamental para validar todas las condiciones de funcionamiento del semáforo antes de su implementación reduciendo tiempos de desarrollo.
- El sistema de automatización en el semáforo cumple la función para la que fue desarrollado con materiales de fácil adquisición, reduciendo costos a los semáforos convencionales, tomando en cuenta la selección de alternativas de precio, funcionalidad y versatilidad.
- El sensor Loop cumple con las características requeridas para el proyecto en específico, sin embargo, se requiere de su importación ya que en el mercado local no se encontraron distribuidores de este tipo de sensores.
- Al implementar el sistema de automatización en la mayoría de los semáforos de las intersecciones, existiendo una mejor fluidez vehicular, el proyecto aportaría con la reducción en contaminación ambiental, al evitar que los vehículos se detengan y al momento de arrancar no emane gases tóxicos (CO₂) en mayor cantidad.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la continuación del trabajo de grado con la instalación del sistema de automatización en los de semáforos de las intersecciones vinculadas a carreteras estatales como por ejemplo la E35 y vías principales de mayor fluidez dentro de la urbe.
- Una alternativa para mejorar el funcionamiento y autonomía del sistema de automatización puede ser la incorporación de un sistema de energía solar como fuente de alimentación.
- Implementar en una mejor versión del proyecto un parámetro de conteo vehicular que permita llevar una estadística de la fluidez en las intersecciones para establecer horas picos, lo cual nos ayuda a modificar los tiempos de habilitación de las vías de acuerdo a las necesidades de circulación vial.

- BIBLIOGRAFÍA

- Celis-Peñaranda, J. M., Escobar-Amado, C. D., Sepúlveda-Mora, S. B., Castro-Casadiego, S. A., Medina-Delgado, B., & Ramírez-Mateus, J. J. (2016). Control adaptativo para optimizar una intersección semafórica basado en un sistema embebido. *Adaptive Control for Optimizing a Traffic Light Intersection Based on an Embedded System.*, 12(24), 169-193.
<https://doi.org/10.17230/ingciencia.12.24.8>
- Chávez, C. (2015). Sistema de semaforización inteligente para el control de flujo vehicular mediante el Procesamiento Digital de Imágenes. Recuperado a partir de http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/13061/1/Tesis_t1033ec.pdf
- Davidson, M. (2017). How a Metal Detector Works [http://www.thomasathomas.com/Metal_detectors_work.htm]. Recuperado 17 de octubre de 2017, a partir de http://www.thomasathomas.com/Metal_detectors_work.htm
- Detector de masa una vía, Detecta vehículos por medio de cable inductivo en el suelo. (2017). Recuperado 12 de octubre de 2017, a partir de <http://www.empretel.com.mx/accesorios-barreras/1162-detector-de-masa-una-via-detecta-vehiculos-por-medio-de-cable-inductivo-en-el-suelo.html>
- Espinosa, O., José, A., Medina, M., & Mercedes, G. (2014). Estudio de los algoritmos de reconocimiento de patrones para la automatización de un semáforo inteligente mediante FPGAs. Recuperado a partir de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3567>

- Flores, F., Gonzalo, J., Jaramillo Troya, R. F., & others. (2012). *Semaforización inteligente adquisición de datos e implementación de control difuso en tiempo real para la optimización del flujo en la ciudad*. (B.S. thesis). Quito: USFQ, 2012. Recuperado a partir de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1419>
- Gajda, J., & Stencel, M. (2014). A highly selective vehicle classification utilizing dual-loop inductive detector. *Metrology and Measurement Systems*, 21(3), 473–484. <https://doi.org/10.2478/mms-2014-0040>
- González, M. (2007). *Ideas y buenas prácticas para la movilidad sostenible*. Madrid: Ecologistas en Acción.
- LabVIEW 2009/Capítulo 2 Introducción a Instrumentación Virtual - Wikilibros. (2017, octubre 12). Recuperado 12 de octubre de 2017, a partir de https://es.wikibooks.org/wiki/LabVIEW_2009/Cap%C3%ADtulo_2_Introducci%C3%B3n_a_Instrumentaci%C3%B3n_Virtual
- Marsh. (2000). Inductive Loop Write up. Recuperado 27 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.marshproducts.com/pdf/Inductive%20Loop%20Write%20up.pdf>
- Martínez Anoroza, M. (2017). Semáforos inteligentes, 15.
- Pagua, N. (2011). Manual venezolano de dispositivos uniformes para el control del tránsito. Instituto nacional de transporte terrestre.
- Palacios, J., & Bowen, M. (2016). Mejora del control vehicular de la avenida 15 de abril de la ciudad de Portoviejo utilizando semaforización inteligente con energía fotovoltaica. Recuperado 15 de agosto de 2017, a partir de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/671/1/te343.pdf>
- Pieters, L. (2017). Ampetronic ¿Cómo funcionan los bucles? Recuperado 17 de octubre de 2017, a partir de <http://www.ampetronic.co/How-do-loops-work>

Punto Flotante S.A. (2017, agosto 15). Tarjetas tags rfid, control de semaforo pic 16f84 16f628 16f88 18f2550. Recuperado 15 de agosto de 2017, a partir de <http://www.puntoflotante.net/PICCITORFID.htm>

Riba i Romeva, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: Edicions UPC.

Semáforo: (2017). Recuperado 18 de octubre de 2017, a partir de <http://www.angelfire.com/nc2/misdocumentos/semaforo/Semaforo.html>

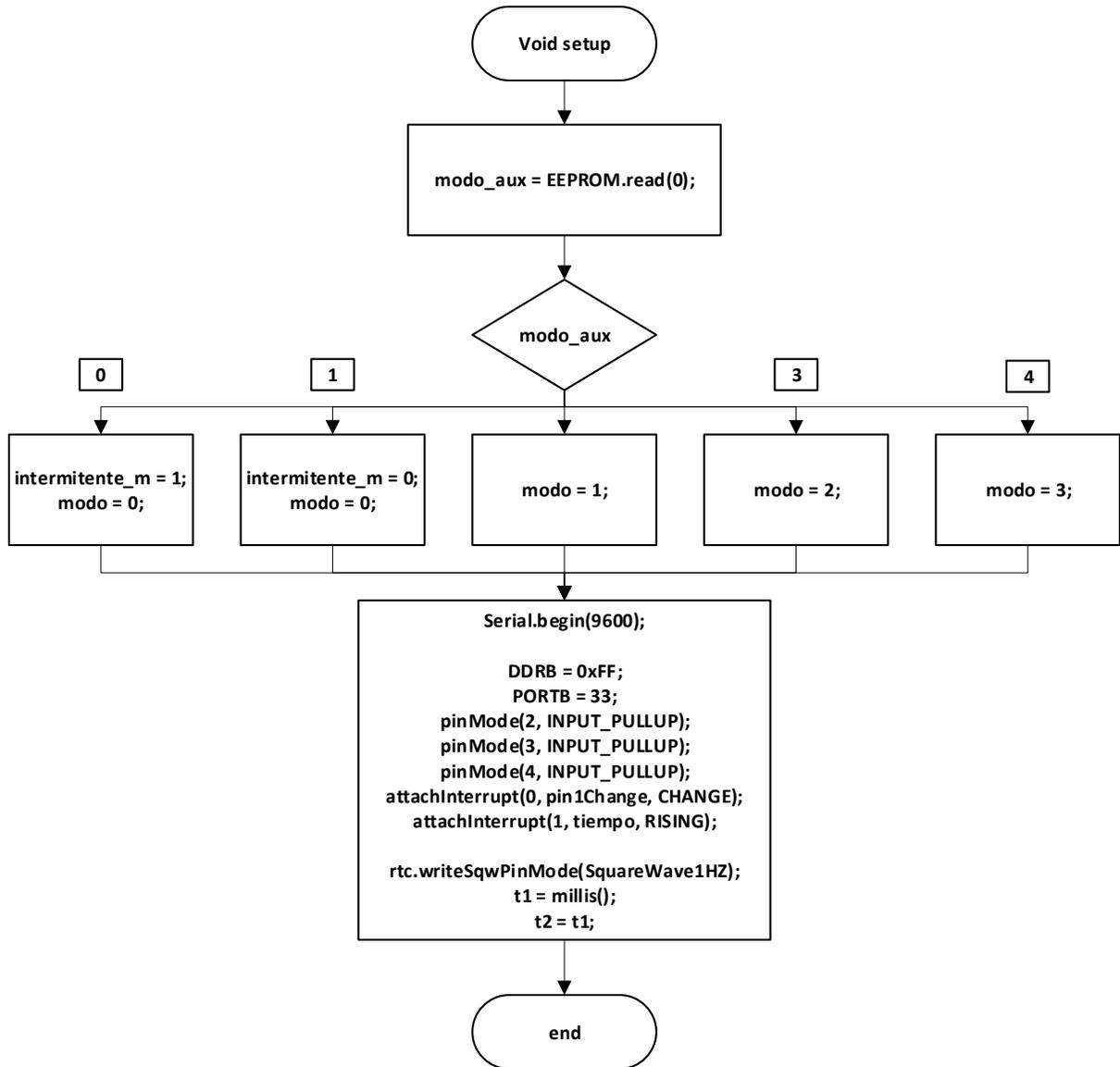
Tech. Co. Ltda. (2017). PD132 Single Loop Detector-Integer. Recuperado 11 de enero de 2018, a partir de http://www.parkingparts.com/en/product/PD132SingleLoopDetector121_pro.html

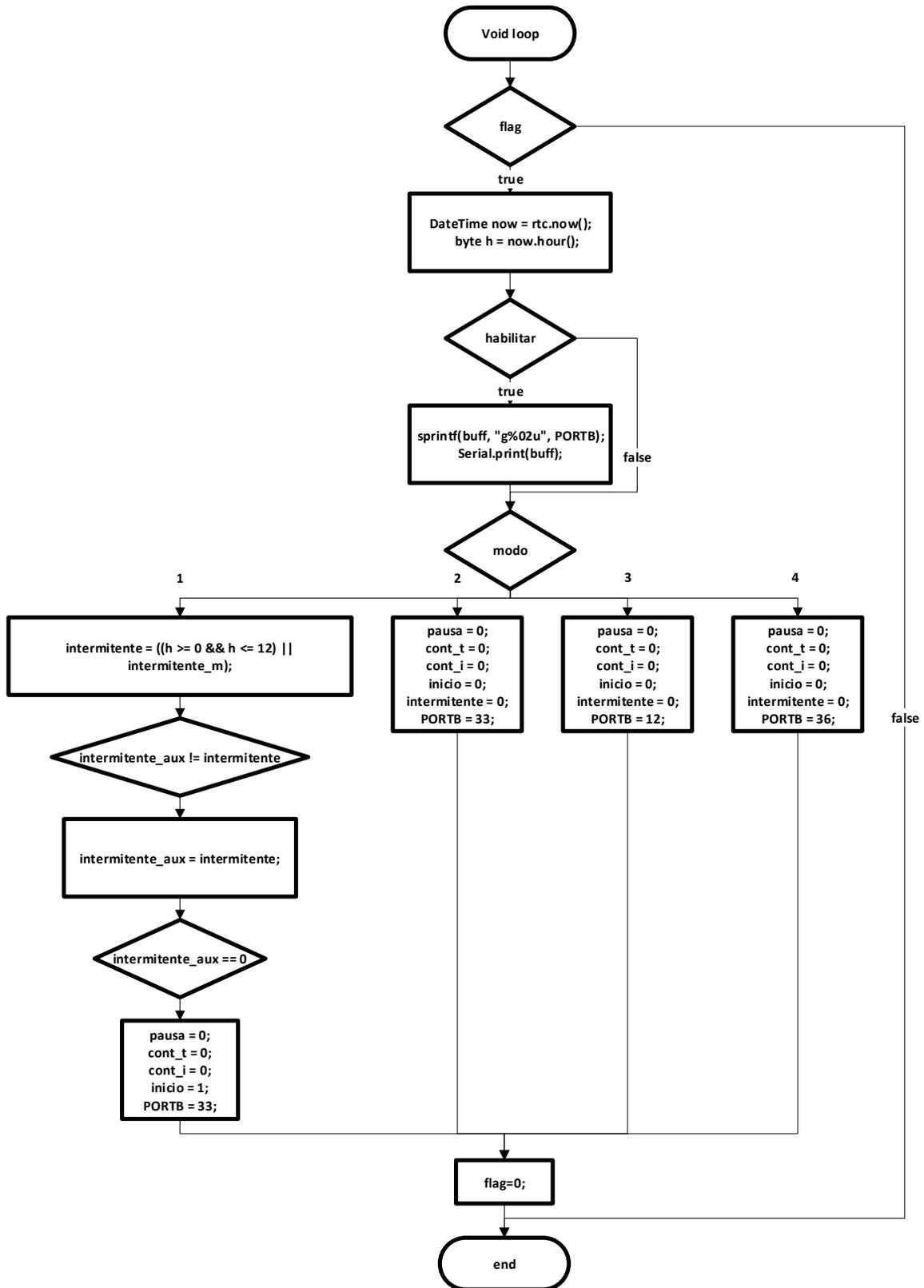
Villagrán, D. (2017, diciembre 11). Introducción a los Controladores Lógicos Programables. Recuperado a partir de https://www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/digital_I/Apunte_PLC.pdf

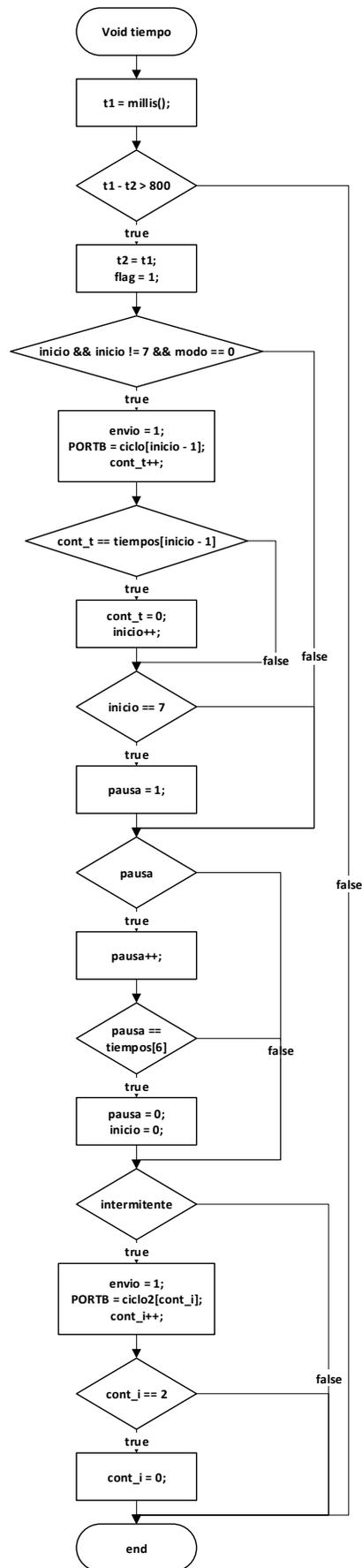
Visiona Security. (2017). Recuperado 15 de enero de 2018, a partir de VISIONA:COM

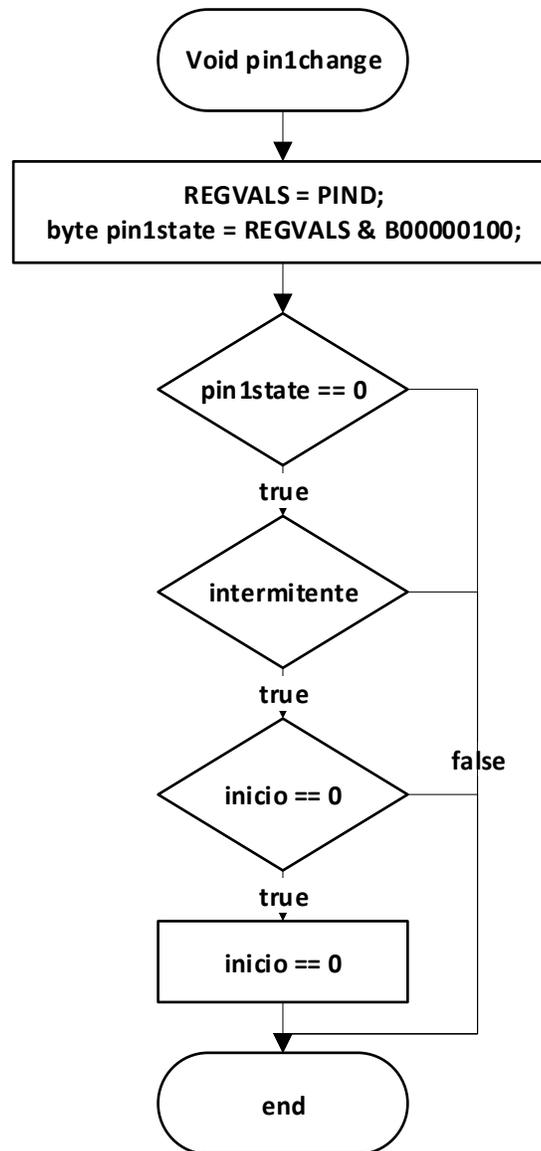
Yépez, K. (2014). *Semáforo avanzado con conexión a red inalámbrica WSN para el mejoramiento del tráfico vehicular en la ciudad de Ibarra*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Recuperado a partir de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3777/1/04%20RED%20032%20TESIS.pdf>

ANEXO 1. Diagramas de flujo Arduino









ANEXO 2. Código Arduino

```

/*Reloj en tiempo real*/
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
RTC_DS1307 rtc;

/*Manejo de la memoria EEPROM*/
#include <EEPROM.h>

/*Variables*/
boolean intermitente_aux = 0;
boolean intermitente_m = 0;
boolean intermitente = 0;
boolean habilitar = 0;
boolean envio = 0;
boolean flag = 0;
boolean stringComplete = false;

byte dato = 0;
byte fecha[7];
int v[21];
int v1[21];
char buff[5];
char c;

/*Interrupción*/
void pin1Change();
volatile char REGVALS;

/*Tiempos de cambios del semáforo en segundos*/
byte tiempos[7] = {2, 2, 2, 2, 2, 2, 2};
byte ciclo[7] = {34, 36, 12, 20, 36, 33, 34};
byte ciclo2[2] = {34, 0};
byte cont = 0;

unsigned long t1, t2;

void setup()
{
  intermitente_m = 1;
  modo = 0;

  /*Comunicación serial*/
  Serial.begin(9600);

```

```

/*Configuración de puerto digitales*/
DDRB = 0xFF;
PORTB = 0;
pinMode(2, INPUT_PULLUP);
pinMode(3, INPUT_PULLUP);
pinMode(4, INPUT_PULLUP);

attachInterrupt(0, pin1Change, CHANGE);
attachInterrupt(1, tiempo, RISING);

/*Reloj en tiempo real*/
Wire1.begin();
rtc.writeSqwPinMode(SquareWave1HZ);
t1 = millis();
t2 = t1;
}

void loop()
{
  if (flag)
  {
    DateTime now = rtc.now();
    byte h = now.hour();
    //h = now.second();

    sprintf(buff, "g%02u", PORTB);
    if (habilitar)
      Serial.print(buff);

    sprintf(buff, "i%02u", contador);
    if (habilitar)
      Serial.print(buff);

    sprintf(buff, "j%02u", inicio);
    if (habilitar)
      Serial.print(buff);

    switch (modo)
    {
      case 0:
        intermitente = ((h >= 18 && h <= 23) || intermitente_m);
        if (intermitente_aux != intermitente)
        {
          intermitente_aux = intermitente;
          if (intermitente_aux == 0)
          {
            pausa = 0;
          }
        }
      }
    }
}

```

```

        cont_t = 0;
        cont_i = 0;
        inicio = 0;
        PORTB = 33;
    }
}
break;
case 1:
    pausa = 0;
    cont_t = 0;
    cont_i = 0;
    inicio = 0;
    intermitente = 0;
    PORTB = 33;
    break;
case 2:
    pausa = 0;
    cont_t = 0;
    cont_i = 0;
    inicio = 0;
    intermitente = 0;
    PORTB = 12;
    break;
case 3:
    pausa = 0;
    cont_t = 0;
    cont_i = 0;
    inicio = 0;
    intermitente = 0;
    PORTB = 36;
    break;
}
/*****/
flag = 0;
}
}

/*Tiempo medido cada segundo*/
void tiempo()
{
    t1 = millis();
    if (t1 - t2 > 800)
    {
        if (c_estado != 6)
            c_estado++;
        if (c_estado == 5)
        {

```

```

c_estado = 6;

intermitente_m = 0;
modo = 0;
modo_aux = 1;
}
t2 = t1;
flag = 1;
if (inicio && inicio != 7 && modo == 0)
{
envio = 1;
PORTB = ciclo[inicio - 1];
cont_t++;
if (cont_t == tiempos[inicio - 1])
{
cont_t = 0;
inicio++;
}
if (inicio == 7)
{
pausa = 1;
}
}
if (pausa)
{
pausa++;
if (pausa == tiempos[6])
{
pausa = 0;
inicio = 0;
if (contador)
{
contador = 0;
pausa = 0;
cont_t = 0;
cont_i = 0;
inicio = 1;
PORTB = 33;
}
}
}
if (intermitente)
{
envio = 1;
PORTB = ciclo2[cont_i];
cont_i++;
if (cont_i == 2)

```

```

    cont_i = 0;
  }
}

/*Detección del sensor LOOP*/
void pin1Change()
{
  REGVALS = PIND;
  byte pin1state = REGVALS & B00000100;
  if (pin1state == 0)
  {
    if (inicio >= 0 && inicio != 3 && inicio != 4 && inicio != 5)
      contador = 1;
    if (!intermitente)
      if (inicio == 0)
      {
        inicio = 1;
        //contador = 0;
      }
  }
}

void serialEvent()
{
  while (Serial.available())
  {
    v[ii] = (char)Serial.read();

    ii++;
    if (ii == 21)
    {
      for (byte k = 0; k < 21; k += 3)
      {
        for (byte j = 1; j < 3; j++)
          dato = dato * 10 + v[j + k] - 48;
        if (v[0] == 'a')
          fecha[v[k] - 97] = dato;
        else if (v[0] == 'o')
          tiempos[v[k] - 111] = dato;
        dato = 0;
      }
      if (v[0] == 'a')
        rtc.adjust(DateTime(fecha[2] + 2000, fecha[1], fecha[0], fecha[3], fecha[4],
          fecha[5]));
      switch (v[18])
      {

```

```
case 'g':
  intermitente_m = 1;
  modo = 0;
  modo_aux = 0;
  EEPROM.write(0, modo_aux);
  break;
case 'h':
  intermitente_m = 0;
  modo = 0;
  modo_aux = 1;
  EEPROM.write(0, modo_aux);
  break;
case 'i':
  modo = 1;
  modo_aux = 2;
  EEPROM.write(0, modo_aux);
  break;
case 'j':
  modo = 2;
  modo_aux = 3;
  EEPROM.write(0, modo_aux);
  break;
case 'k':
  modo = 3;
  modo_aux = 4;
  EEPROM.write(0, modo_aux);
  break;
case 'l':
  sprintf(buff, "h%02u", modo_aux);
  Serial.print(buff);
  habilitar = 1;
  break;
case 'm':
  habilitar = 0;
  break;
}
ii = 0;
}
}
}
```

ANEXO 3. Código Labview

