

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
BACHILLERATO EN LA CARRERA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

Implementación de un prototipo electrónico para un sistema de monitoreo en cruces ferroviarios para la prevención y reducción de accidentes de tránsito, que permita la mejora del sistema vial en Costa Rica, durante el segundo semestre 2021.

Sustentante:

Kevin Valverde Ramírez

Tutor:

Ing. José Alejandro Rojas López

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
DECLARACIÓN JURADA	XIII
CARTA DEL TUTOR	XIV
CARTA DEL LECTOR	XV
AUTORIZACIÓN CENIT	XVI
ABREVIATURAS	XVIII
RESUMEN	XIX
CAPÍTULO I	21
PROBLEMA DEL PROYECTO.....	21
1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	22
1.1.1. Antecedentes.....	22
1.1.2. Justificación del problema.....	23
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	26
1.3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
1.3.1. Objetivo General.....	30
1.3.2. Objetivos Específicos.....	30

1.4.	ALCANCES Y LIMITACIONES	31
1.4.1.	Alcances	31
1.4.2.	Limitaciones	33
CAPÍTULO II		35
MARCO TEORICO.....		35
2.1.	TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR.....	36
2.1.1.	El ferrocarril.....	36
2.1.2.	Vía férrea.	36
2.1.3.	El ferrocarril en el mundo	37
2.1.4.	Mantenimiento y competencia impulsa a cambios.....	37
2.1.5.	Ley de Tránsito por vías públicas, terrestres y Seguridad Vial	38
2.1.6.	Marco Conceptual Referente al Impacto del Proyecto.....	39
2.1.7.	Antecedentes de Teorías o Proyectos o de Experiencias Semejantes	40
2.2.	CONTEXTO TEÓRICO	41
2.2.1.	Arduino	41
2.2.2.	Sensores.....	42
2.2.3.	Efecto Hall	43
2.2.4.	Sistemas Electrónicos.....	43
2.2.5.	Antena	44
2.2.6.	Módulos para Arduino.....	44
2.3.	MARCO DE LA GESTIÓN DEL PROYECTO.....	45

		IV
2.3.1.	Arduino	45
2.3.2.	Sensores para Arduino	46
2.3.3.	Motores DC.....	46
2.3.4.	Comunicaciones GFSK.....	47
CAPÍTULO III		54
MARCO METODOLÓGICO		54
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	55
3.1.1.	Enfoque de la Investigación	55
3.1.2.	Finalidad de la Investigación.....	56
3.1.3.	Dimensión Temporal.....	57
3.1.4.	Marco de la Investigación	57
3.1.5.	Naturaleza de la Investigación	58
3.1.6.	Carácter de la Investigación	58
3.2.	FUENTES DE INFORMACIÓN	59
3.2.1.	Fuentes Primarias.....	59
3.2.2.	Fuentes Secundarias	60
3.2.3.	Sujetos de Información	60
3.3.	TÉCNICAS Y HERRAMINETA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	61
3.3.1.	Observación.....	61
3.3.2.	Entrevista.....	62
3.4.	VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	63

3.4.1.	Definición de variables.....	63
3.5.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.6.	IMPLEMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	68
CAPÍTULO IV.....		69
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL		69
4.1.	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	70
4.2.	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	72
4.2.1.	Instrumento para la recolección de datos.....	72
4.2.2.	Análisis de datos.....	74
4.3.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	83
4.3.1.	Proyección del Proyecto.	83
CAPÍTULO V.....		85
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO		85
5.1.	ASPECTOS DE DISEÑO	86
5.2.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	87
5.2.1.	Etapa de sensado.....	89
5.2.2.	Control y potencia.....	99
5.2.3.	Alimentación DC.....	104
5.2.4.	Comunicación	106
5.2.5.	Monitoreo.....	107

5.3.	IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	111
5.4.	Rutinas de programación para cada proceso controlado por el arduino	118
5.4.1	Rutina de Sensor RFID.....	118
5.4.2	Rutina Sensores de sonido y Buzzer's.	120
5.4.3	Rutina de agujas de cierre.....	122
5.4.4	Comunicación inalámbrica.....	124
5.4.5	Pantalla.....	126
5.5.	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.....	128
5.6.	VALOR DE LA IMPLEMENTACIÓN.....	134
	CAPÍTULO VI.....	138
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	138
6.1.	CONCLUSIONES.....	139
6.2.	RECOMENDACIONES	144
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	147
	APÉNDICES Y ANEXOS	149
	Lista de Anexos	150
Anexo 1.	Video y foto sistema de detención manual implementado por INCOFER	150
Anexo 2.	Lista de Chequeo de Observación.....	150
Anexo 3.	Video Imprudencia.....	150
Anexo 4.	Entrevista a funcionarios del INCOFER	150

Anexo 5.	Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del ...	150
Anexo 6.	Programación.....	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Ishikawa	28
Figura 2. Arduino Mega	42
Figura 3. Sensores para Arduino	42
Figura 4. Efecto Hall	43
Figura 5. Sistema Electrónico.....	44
Figura 6. Representación de Antena	44
Figura 7. Módulos para Arduino	45
Figura 8. Arduino UNO	45
Figura 9. Sensores para Arduino	46
Figura 10. Servo Motor DC.....	47
Figura 11. Líneas del Tiempo	68
Figura 12. Cruce Protecto.....	75
Figura 13. Protecto	76
Figura 14. Cruce Numar	76
Figura 15. Ingreso Plantel de buses	77
Figura 16. Cruce Antigua Aduana	78
Figura 17. Imprudencia de conductores	78
Figura 18. Diagrama del prototipo propuesto	83

Figura 19. Prototipo propuesto	89
Figura 20.RFID USB Reader	90
Figura 21.RFID Reader ID-12LA	90
Figura 22. RFID Reader ID-20LA	91
Figura 23. RFID Reader pines de salida de ID-12LA, ID-20LA	91
Figura 24. RFID USB Reader.....	92
Figura 25. Colocación RFID	93
Figura 26. Colocación RFID	93
Figura 27. Sensor magnético KY-025.....	95
Figura 28.Compuerta NOT	97
Figura 29. Lectura de voltajes en semáforo.....	97
Figura 30.Circuito comparador	98
Figura 31. Sensor de sonido.....	99
Figura 32. Montaje de servos	100
Figura 33. Montaje de servos	100
Figura 34. Conexión de Servo	101
Figura 35. Conexión en paralelo de Servomotores	101
Figura 36. Pulsos de Servomotor	102
Figura 37. Librería Servomotor.....	102

Figura 38.Semáforo ferroviario.....	103
Figura 39. Circuito de pulsos para buzzer	104
Figura 40.Alimentación DC.....	105
Figura 41.Panel de alimentación DC	105
Figura 42.Colocacion de antena emisora	106
Figura 43.Colocación antena receptora.....	107
Figura 44.Estado inicial de pantalla.....	108
Figura 45. Sistemas activos.....	109
Figura 46.Desactivación agujas.....	109
Figura 47.Desactivación de buzzer's	110
Figura 48.Desactivación de semáforos	110
Figura 49. Cableado de sensores RFID	112
Figura 50. DB 25 hembra	114
Figura 51. DB 25 macho.....	114
Figura 52.Cableado de sensores RFID	115
Figura 53. Agujas de cierre férreo	116
Figura 54. Caja de servomotor	116
Figura 55. Instalación de servomotor	117
Figura 56.Programación ciclo de cierre de cruces.....	118

Figura 57. Diagrama de RFID.....	118
Figura 58.Sistema apagado.....	119
Figura 59. Reconocimiento de Tag's	119
Figura 60.Lectura de Tag's	120
Figura 61. Diagrama Buzzer's y Sensor de sonido.....	120
Figura 62.Estado de sensor de sonido.	121
Figura 63. Sistema de agujas	122
Figura 64. Variable Act=1	123
Figura 65.Variable Act=3	123
Figura 66.Comunicación inalámbrica.	124
Figura 67.condición de cada estado.....	125
Figura 68.Visualización de monitoreo.....	126
Figura 69.Estados de los sensores	127
Figura 70.Nombre de los estados.....	127
Figura 71.Maqueta terminada.....	130
Figura 72.Gabinete de pantalla	132
Figura 73.Diagrama general del prototipo	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de Instrumentos.....	49
Tabla 2. Variables de la Investigación	63
Tabla 3. Diseño de la Investigación.....	66
Tabla 4. Censado de semáforo activado	96
Tabla 6. Conexión de cableado RFID.....	113
Tabla 7. Costo de materiales usados	134
Tabla 8. Costo de implementación del prototipo.....	136

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Kevin Valverde Ramírez, mayor de edad, portadora de la cédula de identidad número 3-0483-0984 egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de este acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de graduación para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado Implementación de un prototipo electrónico para un sistema de monitoreo en cruces ferroviarios para la prevención y reducción de accidentes de tránsito, que permita la mejora del sistema vial en Costa Rica, durante el segundo semestre 2021, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las leyes Penales, así como la Ley de Derechos de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982, incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que estos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Así mismo quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de Cartago, a los 06 días del mes de abril del año dos mil veintidós.



Firma del estudiante

3-0483-0984

Cedula

CARTA DEL TUTOR



San José, 07 de Abril del 2022

CARTA DEL TUTOR

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante **Kevin Valverde Ramírez**, cédula de identidad número **3 0483 0984**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **"Implementación de un prototipo electrónico para un sistema de monitoreo en cruces ferroviarios para la prevención y reducción de accidentes de tránsito, que permita la mejora del sistema vial en Costa Rica, durante el segundo semestre 2021."**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	8
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	16
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	28
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	18
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	20
	Total:	100	90

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.
Atentamente,

Ing. Jose Alejandro Rojas López
Cédula de Identidad: 1 1079 0035
Carné Colegio Profesional: N° IEL-15888

CARTA DEL LECTOR



CARTA DEL LECTOR

San José, 27 de mayo, del 2022

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante **Kevin Valverde Ramírez**, cédula de identidad número **304830984**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **"IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA UN SISTEMA DE MONITOREO EN CRUCES FERROVIARIOS PARA LA PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO, QUE PERMITA LA MEJORA DEL SISTEMA VIAL EN COSTA RICA, DURANTE EL SEGUNDO SEMESTRE 2021."**, el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

Daniel
Valverde
Ramírez

Firmado digitalmente por
Daniel Valverde Ramírez
Fecha: 2022.05.27
19:56:35 -06'00'

Ing. Daniel Valverde Ramírez
Cédula de identidad: 3-03490012
Carné colegio profesional: IEL-10109

AUTORIZACIÓN CENIT

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION

San José, 31 de Mayo 2022

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) **Kevin Valverde Ramirez** con número de identificación **304830984** autor (a) del trabajo de graduación titulado: **Implementación de un prototipo electrónico para un sistema de monitoreo en cruces ferroviarios para la prevención y reducción de accidentes de tránsito, que permita la mejora del sistema vial en Costa Rica, durante el segundo semestre 2021.** presentado y aprobado en el año **2022** como requisito para optar por el título de **Bachillerato de Ingeniería Electrónica** ; **SI** autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

KEVIN JOSEPH
VALVERDE
RAMIREZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por
KEVIN JOSEPH VALVERDE
RAMIREZ (FIRMA)
Fecha: 2022.05.31 09:26:55
-06'00'

Firma y Documento de Identidad

**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.

b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana

c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.

ABREVIATURAS

ICOFER: Instituto Costarricense de Ferrocarriles.

GAM: Gran Área Metropolitana.

ERTMS: European Rail Traffic Management System

RFID: Radio Frequency Identification

GFSK: Gaussian Frequency Shift Keying

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

RESUMEN

Al pasar el tiempo la sociedad ha ido evolucionando en todos los aspectos del entorno, y, uno de ellos son los medios de transporte; se ha visto que cada vez son más efectivos, funcionales y tecnológicos, pero a pesar de que la gran demanda de estos han sido los automóviles, no todas las personas podrán contar con uno propio.

La expansión económica acelerada provoca la construcción de infraestructuras de transporte en condiciones necesarias para un crecimiento avanzado, y la extensión de redes de transporte a lo largo del territorio.

Hablar de infraestructura de transporte en el siglo XIX es hablar del ferrocarril. Frente a los medios de transporte terrestre tradicionales el ferrocarril posibilitó el movimiento masivo de todo tipo de mercancías a media y larga distancia, convirtiéndose en el instrumento básico de integración económica de buena parte del territorio latinoamericano, y en uno de los principales motores del dinamismo exportador y del crecimiento económico de la región.

El ferrocarril llega a Costa Rica en 1972 bajo la administración de José Figueres Ferrer llamándose FECOSA, luego en 1995 es cerrado mediante decreto SCD-106-95, y no fue hasta el 2005 que el presidente Abel Pacheco reactivó el transporte regular de pasajeros y año tras año abriendo nuevas vías de comunicación para un mayor servicio por todo el país.

El transporte ferroviario ha evolucionado en Costa Rica y se ha hecho de uso diario por ende lo que conllevará a solventar este proyecto es una de las grandes necesidades de

hoy en día que es la seguridad vial, la seguridad de velar por el orden vial y la salud humana.

Por lo tanto, se pretende monitorear del paso del tren y así poder detener el flujo vehicular mientras el tren esté pasando por los cruces ferroviarios, donde sea mucho más efectivo y seguro a la hora de desarrollar el prototipo, es importante recalcar que serán pruebas de campo donde su funcionamiento sea certero.

Una investigación aplicada, su dimensión temporal, lo cual hace que este proyecto sea de dimensión transversal, se trabajará bajo el enfoque cuantitativo para poder desarrollarla de la mejor manera.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1.1. Antecedentes

De acuerdo con la experiencia que ha tenido Costa Rica en cuanto a Ferrocarriles, se sabe que este país cuenta con servicio de tren urbano desde la primera mitad del siglo XX, sin embargo, para el año 1995 el expresidente José María Figueres Olsen, toma la decisión de suspender los servicios de trenes pues él consideraba que estaba generando gastos económicos muy altos, además que los trenes estaban desactualizados, así como sus vías y todo el sistema ferroviario también. Ya para el año 2005 en el gobierno del expresidente Abel Pacheco, se toma la decisión de rehabilitar el servicio de tren a consecuencia de la alza en los combustibles y las calles estaban cada día más abarrotados de carros por lo que surgía la necesidad de un medio de transporte como el tren, sin embargo a pesar de que se ha considerado que fue una buena decisión, las vías de tránsito no están con la completa condición para la circulación simultánea de automóviles y ferrocarriles, pues no existe toda la señalización ni sistemas de detención cien por ciento efectivos, lo cual provocan accidentes; se considera que esta situación es consecuencia del receso que se tuvo en el servicio de trenes, pues el país se desactualizó en materia de ferrocarriles y además las personas no están siendo correctamente educadas en cuanto a educación vial se habla (Madrigal, 2015).

En cuanto a proyectos anteriores, se tiene artículo llamado “Sistema de Semáforos en Cruces con Ferrocarril”, dicho artículo tenía como objetivo la semaforización de todas las intersecciones por las que el tren circula; de este artículo se tuvo como

conclusiones que en definitiva el tren de Costa Rica no es un Tranvía, así como también no es aconsejable que la cantidad de vagones sea mayor a cuatro más la locomotora, pues por el posicionamiento de las paradas de los trenes, pueden obstruir por bastante tiempo las vías vehiculares, también que las intersecciones con trenes y vehículos no ofrecen la seguridad necesaria, hay un irrespeto por parte de conductores hacia el tren, lo cual ocasionan accidentes, entre otras. (Roldán, 2009).

Por otra parte, de acuerdo con un comunicado de presidencia para el año 2019 se instalaron 45 dispositivos en diferentes cruces ferroviarios ubicados entre Cartago y San Rafael de Alajuela. Estos sistemas estaban compuestos por luces destellantes, timbres y barreras; con la instalación de estos dispositivos se logró una disminución de incidentes contra el tren comparado con los años 2017 y 2018 por lo que se puede decir que ha sido un sistema funcional. (Presidencia, 2019).

1.1.2. Justificación del problema

Diseñar un sistema electrónico automático para la prevención de accidentes entre vehículos y trenes en las intersecciones ferroviarias de Costa Rica es una necesidad vial que tienen las carreteras de este país pues lo que se pretende con este prototipo es lograr disminuir accidentes y mejorar el sistema vial, así como también disminuir las pérdidas humanas, materiales y económicas que generan los constantes accidentes y choques de los vehículos con los trenes.

Se puede evidenciar según muestra el Periódico la Nación, que los accidentes entre trenes y vehículos son bastante aparatosos y múltiples desde la reactivación del tren

en el área metropolitana, a continuación, se muestran algunos de los más representativos facilitados por Recio (2016):

En el 2005, el 18 de noviembre, nuevamente un autobús que no habría escuchado la pitoreta del tren a punto de ingresar a la estación del Pacífico colisionó con la máquina, dejando como saldo 27 personas heridas, entre ellas un niño que sufrió la fractura de una pierna (párr. 06).

El 1° de setiembre del 2009, el irrespeto a una señal de tránsito por parte de un chofer de bus dejó 7 personas heridas, luego de que este colisionara con el tren que se dirigía hacia Heredia en el sector de barrio Otoya, en San José (párr. 7).

El aparente descuido del chofer de un bus de Alajuelita provocó que el tren colisionara la parte trasera del autobús cerca de la Numar en barrio Cuba, San José. En el accidente registrado el 3 de enero del 2012 resultaron heridos 24 pasajeros del bus, de los cuales dos fueron trasladados como delicados (párr. 8).

Además, esta misma autora menciona los accidentes más significativos ocurridos en el 2015:

El 18 de junio el en Pirro en Heredia, cuando el tren que prestaba servicio de San José a Heredia fue colisionado por un bus de la empresa La 400, dejando como saldo al menos 10 heridos (párr. 12).

El 4 de setiembre, el cruce de La Numar fue otra vez la escena de una colisión entre un autobús y el ferrocarril. En la aparatosa colisión resultaron heridas 27

personas, de las cuales al menos 20 personas requirieron ser llevadas a centros médicos (párr. 13).

Desde la reactivación del ferrocarril en el año 2005 se han visto cientos de incidentes en los cuales se encuentran relacionados los trenes. A pesar del pasar de los años y las constantes estrategias que se han puesto en marcha, la ciudadanía no termina de asimilar el papel que cumple el tren en el medio, pues de acuerdo con el Informe de Estadísticas Operativas publicad por el INCOFER del II Semestre del 2019, hubo un total de 106 incidentes de enero a diciembre, de los cuales solo 22 no tuvo relación con terceros, de ese total hubo 77 colisiones y 7 atropellos (INCOFER, 2019).

Más recientemente Teletica menciona que en lo que va del año ya sea han reportado 24 choques contra el tren y además indica que “según las autoridades del Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER), las colisiones contra los trenes han disminuido. En el 2020 hubo 58, un año antes 75 y en el 2018 se dieron 91 choques” (Alfaro, 2021, párr.3). Esto refleja que la cantidad de accidentes en los cuales se ve involucrado un tren aún es alta y es necesario poner en marcha una estrategia que disminuya esos números y la estadística sea más favorable ya que estos incidentes también generan grandes pérdidas económicas en daños materiales, personas que resultan fallecidas y con lesiones a causa de estos accidentes, congestiónamiento vial cada vez más deplorable, así como el poco desarrollo en tecnología vial y todo esto a pesar de existir ya un sistema de detención en más de 45 cruces ferroviarios a nivel nacional.

Al implementar un sistema de monitoreo electrónico en cruces ferroviarios para la prevención y reducción de accidentes de tránsito, que permita la mejora del sistema vial en Costa Rica se podrá contrarrestar los inconvenientes viales generados por accidentes ferroviarios y de esta forma dar un aporte a la infraestructura de las carreteras, lo cual conllevará a tener un tránsito fluido y prudente con una tasa menor de accidentes entre vehículos y trenes en las intersecciones ferroviarias; y de esta forma también se logrará brindar un avance a la infraestructura férrea y vehicular, ya que en Costa Rica todavía se implementa el sistema antiguo de ferrocarriles que no se adapta a la necesidad actual de la infraestructura vial y férrea y al avance tecnológico contemporáneo como los que se pueden apreciar en otros países centroamericanos y europeos.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El tren es un medio de transporte que en la actualidad se ha convertido en uno de los más utilizados en gran parte del Área Metropolitana de Costa Rica, ya que brinda servicios a zonas como Pavas, Belén, Heredia, San Pedro, San José, Alajuela y Cartago, lo cual hace que sea una necesidad humana pues con la continua alza en los combustibles y la congestión vial que se está viviendo en las carreteras muchas personas han optado por utilizar este medio de transporte, pues el emplearlo aporta un ahorro económico y un desahogo vial, además que favorece en gran manera los tiempos de traslado.

Pero a pesar de lo favorable que es utilizar este servicio, los trenes constantemente están sufriendo choques con diferentes medios de transporte, desde bicicletas, motocicletas, automóviles, autobuses y camiones, y en los últimos años estos accidentes han causado muertes y cientos de heridos; así como también provocan caos vial, que personas lleguen retrasados a sus destinos, pérdidas en las industrias, entre otros, los cuales generan pérdidas materiales y económicas al país.

Entre las causas que presentan estas situaciones está la poca educación vial que se tiene en materia ferroviaria, pues por la ausencia del uso del tren desde el año 1995 hasta su reactivación en el 2005, el país mostró un atraso en el uso del servicio férreo lo cual causó que las instituciones encargadas de la educación vial a nivel nacional no estén actualizadas en la información y enseñanza de las precauciones que se deben de tener en las vías con el paso del ferrocarril en las intersecciones viales.

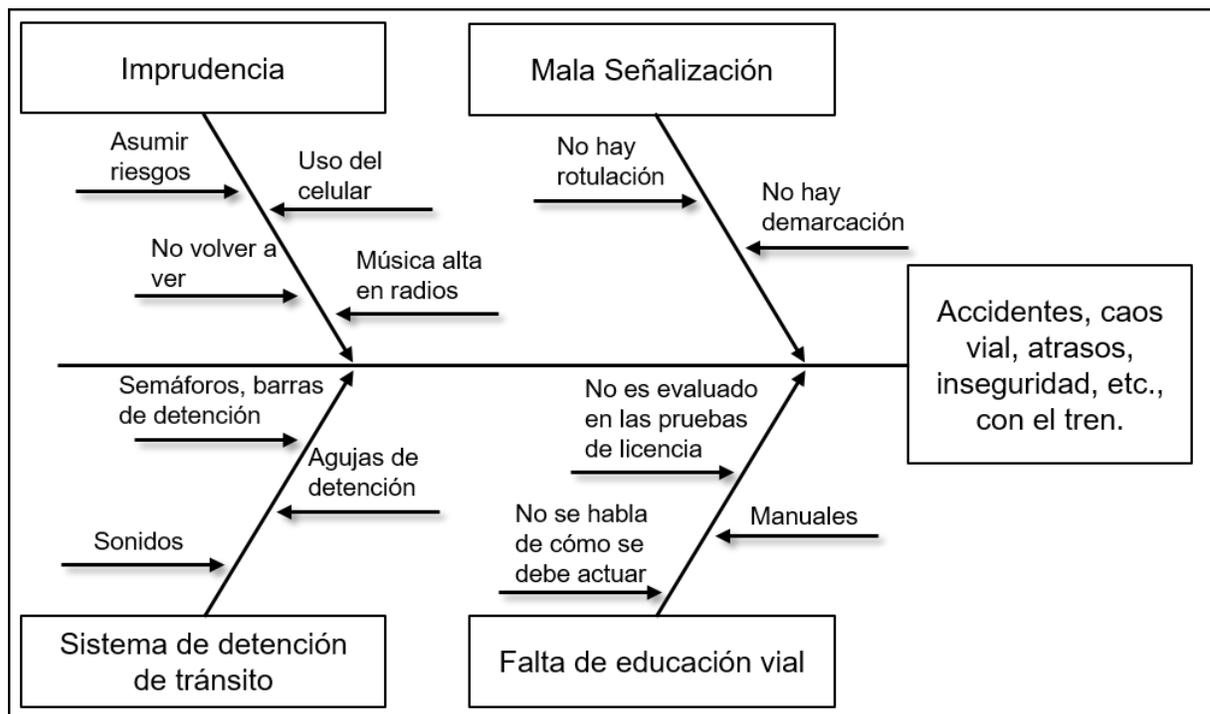
Algo que sin duda es importante rescatar y resaltar es la tecnología utilizada por parte del sistema actual para dar a conocer el estado del cruce férreo que está próximo a cruzar el tren, ya que es un semáforo implementado por dos colores uno que es verde e indica que el cruce se activó con normalidad y sin complicaciones y el otro que es naranja que indica que sucedió algo en el cruce pero sin poder determinar qué fue lo que sucedió y por ende el conductor no tiene mayor conocimiento del estado y que es lo que está sucediendo en tiempo real en el cruce.

Otra causa que influye en los choques ferroviarios es la imprudencia por parte de los conductores, pues muchos de estos asumen el riesgo de pasar por las vías del tren aun viendo que la locomotora se aproxima a pasar, y existiendo la presencia de

dispositivos de detención ya instalados, lo cual provoca constantes percances, pues no todos los vehículos se ven afortunados a pasar a tiempo; también se presenta negligencia en el uso de dispositivos electrónicos, ya que estos provocan distracción en los choferes, perdiendo la noción de lo que está sucediendo a su alrededor.

Y como ultima causa a considerar está el escaso sistema de señalización y detención de vehículos en las intersecciones por las que transita el ferrocarril, y por esto en algunos casos los conductores de vehículos pasan por desapercibido el paso del tren.

Figura 1. Diagrama de Ishikawa



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1, se muestra el diagrama de Ishikawa, en el cual se observan las diferentes causas que producen la poca eficiencia de los cruces ferroviarios en el país, así como también la necesidad de mejorar los sistemas de detención y prevención para los cruces ferroviarios ya que con esto se podría realizar mejoras al sistema vial.

- a. **Imprudencia:** Se puede considerar una persona imprudente cuando asumen riesgos mientras manejan, sin calcular la magnitud del accidente en el cual pueden verse involucrados si chocan con el tren, y todo el efecto dominó que produce por conductas como utilizar el teléfono celular, no escuchar las diferentes alarmas sonoras cuando el tren va a pasar o no voltear a ver cuándo se pasa por un cruce ferroviario.
- b. **Mala señalización:** Existen cruces ferroviarios los cuales no cuentan con la señalización correcta que informe a los conductores de la existencia de un cruce ferroviario, y en algunos casos la señalización es nula, por ende, los conductores no se percatan del paso del tren.
- c. **Sistema de detención de tránsito:** A pesar de que existen dispositivos o barras de bloqueo automáticas para la detención del tránsito en los cruces ferroviarios, estos son ineficientes y en ocasiones pasan desapercibidos, esto hace que sean irrespetados o burlados por los conductores.
- d. **Falta de educación vial:** El sistema de educación vial carece de normas o regulaciones más enfatizadas en el actuar ante la presencia de ferrocarriles. La evaluación y formación dada por las entidades correspondientes es muy básica a la hora de abordar el tema de cruces viales con el ferrocarril.

De acuerdo a todas estas causas analizadas se logra establecer la siguiente pregunta ¿Cuál es la mejor forma de desarrollar un sistema vial superior al actual por medio de un prototipo electrónico de detención de tránsito vehicular, con señalización horizontal, vertical y sonora, de forma sincronizada o simultánea con la aproximación del tren al cruce ferroviario, el cual permita controlar de mejor manera dichos cruces ferroviarios

donde también el maquinista pueda contemplar el monitoreo de la intersección ferroviaria y su entorno a partir de un sistema electrónico efectivo?

1.3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.1. Objetivo General

Construir un prototipo electrónico para prevención y reducción de accidentes de tránsito a través de un sistema de monitoreo en cruces ferroviarios que permita la mejora en el sistema ferroviario y vial en Costa Rica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar los problemas y requerimientos más comunes que se presentan en los cruces ferroviarios.
- Estudiar las diferentes características viales y de tránsito que presentan los cruces ferroviarios.
- Investigar los cruces ferroviarios con mayores incidentes en el país para determinar las causalidades.
- Elegir cuales son los cruces ferroviarios más factibles en la implementación del prototipo.
- Determinar los elementos electrónicos y materiales requeridos para el desarrollo del sistema, tomando en cuenta las mejores prácticas del mercado y las tecnologías existentes para la implementación en el prototipo.

- Diseñar un sistema automático eficiente que permita la mejorar los cruces ferroviarios a partir de una simulación en una intersección vial.
- Implementar un sistema de monitoreo simple para que el maquinista pueda tener de primera instancia lo que sucede en cruce ferroviario.
- Construir un prototipo a partir de un sistema electrónico de prevención, reducción de accidentes ferroviarios y mejora del sistema vial, en las intersecciones más problemáticas y con mayor incidencia y congestión vial en las cuales se pueda aplicar.
- Comprobar la efectividad del sistema electrónico en las intersecciones ferroviarias, a través de pruebas de laboratorio.
- Determinar el valor económico de la implementación del prototipo para demostrar su funcionalidad en un cruce vial.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1. Alcances

El prototipo de un sistema automático para la prevención de accidentes ferroviarios pretende cubrir algunas intersecciones ferroviarias ubicadas en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica, con el propósito de prevenir accidentes entre vehículos y trenes, así como también la mejora del sistema vial, y poder cumplir con los cronogramas de horarios establecidos tanto para los usuarios del tren como para conductores que transiten por estos cruces, evitar pérdidas humanas, económicas y

materiales, reducir el congestionamiento vial y atribuirle al país una actualización en el sistema férreo.

La determinación de los alcances según los elementos electrónicos y materiales requeridos para el desarrollo del sistema, eligiendo estratégicamente los componentes y materiales que sean más factibles y con una funcionalidad semejante a los que se podrían implementar de manera industrial y real, así contemplando la similitud y operatividad de cada uno de ellos para poder elegir los más ideales para su nivel de trabajo que incluyan factores ambientales, sociales, calidad y potencia, partiendo del punto que el proyecto es una demostración para una posible solución y así poder tomar en cuenta las mejores prácticas del mercado nacional e internacional .

También se realizará la construcción de un prototipo a nivel escala electrónico de prevención de accidentes trenes-vehículos partiendo de una simulación de un cruce estándar donde se consideran las estadísticas para lograr determinar la reincidencia en accidentabilidad, peligrosidad en este tipo de cruces para mejorar mejora del sistema vial en las intersecciones ferroviarias que carezcan de la necesidad de un sistema de seguridad.

Por último, la comprobación de la efectividad del sistema en las intersecciones ferroviarias a través de un método de monitoreo por parte del maquinista que se apoye de manera visual la verificación de la condición del estado del cruce unos metros antes de que el tren se aproxime al cruce.

1.4.2. Limitaciones

La poca apertura de la información por parte de las instituciones públicas encargadas de la seguridad vial, del transporte público ya que son muy herméticas en cuanto al manejo de la información para la implementación de este tipo de proyectos.

La poca accesibilidad a instituciones públicas para la obtención de información es muy complicada ya que todo lo manejan de forma muy confidencial y bajo un dominio plenamente institucional y de los altos jerarcas de cada ministerio, y así también lo hacen transmitir con sus colaboradores ya que el acceso a los conductores o personal que trabaje en ámbitos férreos y viales se hace sumamente complejo por ende obtener datos precisos y concisos como pudiera ser estadísticas, información de concursos de licitaciones, tecnologías, diagramas o contenidos de componentes utilizados en sus proyectos no es posible debido a que no tienen una apertura para lograr considerar este tipo de proyectos, y así lograr determinar que estas instituciones no están dispuestas a probar o implementar proyectos sugeridos por fuentes externas que no sean propias de las Instituciones

La obtención de información primordial para este proyecto lleva a buscar a las principales Instituciones encargadas de temas férreos y viales del país como lo son el INCOFER y COSEVI donde la poca o casi nula apertura a la información hace detectar una limitante muy sólida que conlleva el manejo de datos reales, precisos y concisos y a su vez la retención de todos estos datos por parte de estas instituciones públicas dificulta las estimaciones del alcance del proyecto para una implementación real y por

eso se opta por la simulación de un prototipo para poder demostrar que el proyecto puede ser funcional y viable .

Para la implementación real no se cuenta con el espacio físico para la realización de pruebas, pues éstas deben de realizarse directamente en las intersecciones originales y las entidades encargadas no gestionan apertura para el desarrollo de este tipo de pruebas, de allí es que se van a realizar simulaciones.

Los materiales y componentes electrónicos sé que se utilizarán serán proporcional al prototipo en escala y simulación, ya que por temas económicos y de espacio físico no se podrá incorporar motores, agujas, semáforos, pantallas, sensores, alimentaciones de voltaje de forma industrial o requerida para las intersecciones reales.

El sistema será implementado solo para algunos cruces del GAM o así bien los que se consideren adecuados y necesarios, los cuales tengan las mismas características como, tamaño, cantidad de vías, incidencia con respecto a la accidentabilidad vial, cargas de tránsito vehicular, también se debe considerar los que tienen poca o nula visibilidad por parte del conductor de tren para la monitorización del cruce para lo cual estos serán los que se puedan adecuar a los requerimientos necesarios para la implementación y comprobación de efectividad del proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR

2.1.1. El ferrocarril.

El primer prototipo de máquina locomotora fue inventado en 1804 por Richard Trevithich y era un tren minero de Gales, pero no fue incorporada al ferrocarril porque los rieles de hierro no soportaban el peso de la máquina. Años después, en 1814, George Stephenson fabricó una locomotora que utilizaba la tecnología de la máquina de vapor para moverse, la cual sí se puso en práctica.

El ferrocarril es un medio de transporte que se desplaza sobre rieles de acero colocados paralelamente y arrastrado por un vehículo denominado locomotora que a su vez permite el traslado de personas o de mercancías. Particularmente es uno de los transportes más habituales y que trasciende en la actualidad. Y con el pasar de los años el ferrocarril se ha puesto en marcha por distintas metodologías y ha podido experimentar diferentes clases de energías en su utilización.

2.1.2. Vía férrea.

Se denomina vía férrea a la parte de la infraestructura ferroviaria que la forma un conjunto de estructuras por las cuales se desplazan los trenes. Las vías férreas son parte fundamental de la infraestructura ferroviaria.

Los elementos más importantes que compone la infraestructura de una vía férrea son:

1. Balasto
2. Traviesa
3. Tirafondos

4. Pandrol
5. Carril o riel
6. Aparatos de vía
7. Catenaria
8. Circuitos de vía y bloqueo
9. Señalización.

2.1.3. El ferrocarril en el mundo

La primera línea ferroviaria del mundo entre dos ciudades fue construida en 1826, y unía Liverpool y Manchester en España, el primer ferrocarril se puso en funcionamiento el 28 de octubre de 1848, entre Barcelona y Mataró. A lo largo el tiempo los sistemas ferroviarios han ido evolucionando en una mejora de calidad y eficiencia en la construcción de ferrocarriles, a lo largo de todo el mundo ha sido un medio de transporte más efectivo, público y de bajo costo que permitía el transporte de carga y de personas a zonas en el interior de los países o regiones.

2.1.4. Mantenimiento y competencia impulsa a cambios.

El mantenimiento que requerían las locomotoras con motores de vapor resulta ser un percance ante el surgimiento de los automóviles, con el pasar del tiempo surgen otras energías alternativas para poder utilizar en los medios de transporte guiados por rieles así nacen las locomotoras movidas con motores diésel, sino fue que para la década de los 60 Francia y Japón desarrollan la construcción de los trenes eléctricos y a finales del siglo XX domina esta tecnología ya que los trenes logran alcanzar velocidades mayores y poco a poco surge la

tecnología de levitación magnética que son los que marcan el camino del desarrollo ferroviario.

2.1.5. Ley de Tránsito por vías públicas, terrestres y Seguridad Vial

De acuerdo con la Asamblea Legislativa (1993)

Esta ley regula la circulación, por las vías públicas terrestres, de los vehículos y de las personas que intervengan en el sistema de tránsito. Asimismo, regula la circulación de los vehículos en las gasolineras, en estacionamientos públicos, privados de uso público o comerciales regulados por el Estado, las playas y en las vías privadas, de conformidad con el artículo 207 de la presente Ley (p. 1).

En los siguientes artículos es que hace alusión la Ley de Tránsito por vías públicas, terrestres y Seguridad Vial en cuanto a ferrocarriles:

- El inciso “f” del artículo 108 menciona que “se prohíbe adelantar en los lugares donde el señalamiento vial lo estipule, así como intersecciones, cruces de ferrocarriles y en todas aquellas circunstancias que puedan poner en peligro la seguridad de las personas y de otros vehículos” (p. 118).
- El inciso “d” del artículo 120 menciona que “se prohíbe transitar por las vías públicas de acceso restringido o sobre las vías del ferrocarril, así como realizar actos de malabarismo, circenses, mendicidad o de cualquier otro índole, incluidas las ventas o actividades lucrativas (p. 132).
- En el artículo 143 también se menciona que quien adelante cruces del ferrocarril tendrán que enfrentar una multa de 280 000 colones.

- En el artículo 145 se menciona que la multa será de 94 000 colones a quien obstaculice las vías férreas.

2.1.6. Marco Conceptual Referente al Impacto del Proyecto

El beneficio que va a generar el presente proyecto ayudara a la corporación estatal de trenes de una forma muy buena ya que en costos económicos y en calidad de servicio será mucho mejor también beneficiará a la población tanto que viaja en el tren como a los conductores ya que al no haber accidentes el tránsito vehicular será más fluido y bien ordenado y al presentarse sistemas de prevención los conductores estarán alerta cada vez que lleguen a una intersección ferroviaria.

Otro impacto que tiene es sobre la economía y sostenibilidad del país ya que al no haber accidentes y tener una señalación clara no habrá atrasos a la hora de materias primas, al ser un medio de trasporte más seguro ya que no tendrá ningún altercado con algún vehículo las personas van a utilizar aún más este medio de trasporte y así dejar sus vehículos en casa.

También se puede ver como impacto la modernización o actualización en temas ferroviarios en Costa Rica, y así poder y mejorando cada vez más este medio de trasporte para que cada vez más las personas lo vean confiable y seguro.

El beneficio será para las provincias que cuenten con el servicio de tren y los miles de personas que utilizan a diario este medio de transporte, así que el impacto que generara será muy importante para nuestra sociedad.

2.1.7. Antecedentes de Teorías o Proyectos o de Experiencias Semejantes

De acuerdo con la experiencia que ha tenido Costa Rica en cuanto a Ferrocarriles, se sabe que este país cuenta con servicio de tren urbano desde la primera mitad del siglo XX, sin embargo para el año 1995 el expresidente José María Figueres Olsen, quien era presidente en ese momento toma la decisión de suspender los servicios de trenes pues él consideraba que estaba generando gastos económicos muy altos que podían invertirse en cosas más importantes, además de que consideraba que los trenes estaban desactualizados así como sus vías también.

Ya para el año 2005 en el gobierno del expresidente Abel Pacheco, se toma la decisión de rehabilitar el servicio de tren a consecuencia de la alza en los combustibles y las calles estaban cada día más abarrotados de carros por lo que surgía la necesidad de un medio de transporte como el tren, sin embargo a pesar de que se ha considerado que fue una buena decisión, las vías de tránsito no están con la completa condición para la circulación simultánea de automóviles y ferrocarriles, pues no existe toda la señalización ni sistemas de detención lo cual viene a provocar accidentes; se considera que esta situación es consecuencia del receso que se tuvo en el servicio de trenes, pues el país se desactualizó en materia de ferrocarriles y además las personas no están siendo correctamente educadas en cuanto a educación vial se habla (Madrigal, 2015).

En cuanto a proyectos anteriores, se tiene artículo llamado “Sistema de Semáforos en Cruces con Ferrocarril”, dicho artículo tenía como objetivo la semaforización de todas las intersecciones por las que el tren circula; de dicho artículo se tuvo como

conclusiones que en definitiva el tren de Costa Rica no es un Tranvía, así como también no es aconsejable que la cantidad de vagones sea mayor a cuatro más la locomotora, pues por el posicionamiento de las paradas de los trenes, pueden obstruir por bastante tiempo las vías vehiculares, también que las intersecciones con trenes y vehículos no ofrecen la seguridad necesaria, hay un irrespeto por parte de conductores hacia el tren, lo cual ocasionan accidentes, entre otras. (Roldán, 2009).

2.2. CONTEXTO TEÓRICO

Para el diseño del proyecto se necesitan conocimientos en ingeniería electrónica, así como conceptos en lo que es seguridad vial, y algunas leyes que pueden ayudar a respetar los cruces ferroviarios y todo lo que esto conlleva saber.

De esta forma se representará a continuación información y conceptos más importantes para ser tomados en cuenta en el proyecto.

2.2.1. Arduino

Un Arduino según Enríquez (2009) es un microcontrolador basado en código abierto que utiliza hardware y software los cuales son fáciles de utilizar, además de ser económicos. Tienen gran variedad de sensores que facilitan la interpretación de señales. Estos pueden ser autónomos los cuales son aquellos que actúan de forma independiente ya cargado su código de programación en el microcontrolador; y los de software, los cuales se pueden intervenir o modificar mediante su software de programación (Ver Figura 2).

Figura 2. Arduino Mega



Fuente: https://www.robotics.org.za/image/data/Arduino/Arduino%20Boards/arduino_mega_r3_002_hd.jpg

2.2.2. Sensores

Los sensores según Pallás (2003)

Es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida (p.3).

Sensor y transductor se emplean a veces como sinónimos, pero sensor sugiere un significado más extenso: la aplicación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos (p.3).'

Figura 3. Sensores para Arduino

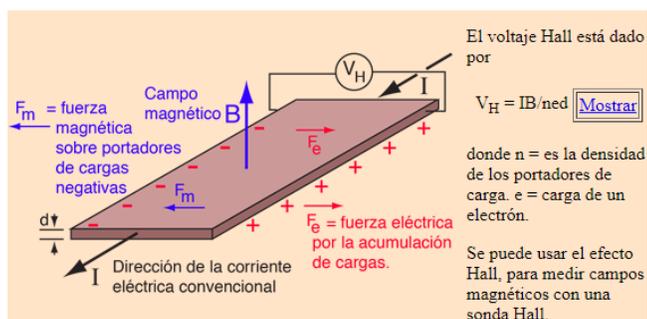


Fuente: http://computacion.com/img/SensoresArduino_kit/37-sensores-varios-para-proyectos-arduino-pic-4987-MLM4941152899_082013-F.jpg

2.2.3. Efecto Hall

El efecto Hall se ha utilizado desde su descubrimiento para investigar la conducción eléctrica en diversos materiales: conductores, semiconductores y también en las soluciones electrolíticas. El campo magnético tiende a separar las cargas positivas de las negativas en sentidos opuestos. El equilibrio se restaura cuando la fuerza que ejerce el campo eléctrico generado por la distribución de cargas se opone a la fuerza que ejerce el campo magnético.

Figura 4. Efecto Hall



Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/Hall.html>

2.2.4. Sistemas Electrónicos

Es una serie de componentes electrónicos o eléctricos conectados entre sí con el fin de generar o modificar las señales electrónicas y eléctricas. Todos los sistemas electrónicos tienen que depender de una fuente de energía que les permita su correcto funcionamiento.

La conexión de sistemas electrónicos depende de la necesidad con la que se cuenta y así solventar el problema con el que se enfrenta.

Figura 5. Sistema Electrónico



Fuente: https://static.webs.hibu.com.ar/var/m_2/26/26c/62697/927248-inyeccion-siglo-xxi-sistemas-electronicos.jpg

2.2.5. Antena

Una antena es un dispositivo utilizado para transformar una señal de radio frecuencia que viaja en un conductor en una onda electromagnética en el espacio abierto (Flickenger, 2006, p.95)

Figura 6. Representación de Antena



Fuente: https://image.freepik.com/iconos-gratis/antena-con-lineas-de-senal-simbolo_318-50259.jpg

2.2.6. Módulos para Arduino

Los módulos para Arduino “shields” “son placas de circuitos modulares que se montan unas encima de otras para dar funcionalidades extras a un Arduino. Estas Shields son apilables” (Crespo, 2015, párr.1).

Figura 7. Módulos para Arduino



Fuente: <https://webweavertech.com/ovidiu/gallery/arduino-tws/arduino-web-server2.jpg>

2.3. MARCO DE LA GESTIÓN DEL PROYECTO

2.3.1. Arduino

Como lo explica Arduino es una placa electrónica ejemplificada en el ATmega328, esta cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida, de los cuales 6 analógicas, también un resonador cerámico de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio (Arduino, s.f.).

Figura 8. Arduino UNO



Fuente: <http://www.electronicaestudio.com/i/f/ArduinoUnoR3Front.jpg>

2.3.2. Sensores para Arduino

Es un dispositivo capaz de interpretar variables y transformarlas en variables eléctricas, las digitales tienen que dar dos estados con una salida de contacto libre de tensión o una salida en bus; y las analógicas, pueden tomar cualquier valor dentro de $-V_{cc}$ y $+V_{cc}$ por ejemplo una tensión entre 0V y 5V. (Aprendiendo Arduino, 2015).

Figura 9. Sensores para Arduino



Fuente: http://computacion.com/img/SensoresArduino_kit/37-sensores-varios-para-proyectos-arduino-pic-4987-MLM4941152899_082013-F.jpg

2.3.3. Motores DC

Un motor DC servo se controla mediante el envío de impulsos eléctricos de Arduino. Estos pulsos le dicen al motor a qué posición se debe mover. El Servo que se utiliza tiene tres cables, marrón es el cable que debe conectarse a GND, el rojo es el cable de corriente y debe conectarse al puerto de 5v y el naranja es el cable de señal.

Figura 10. Servo Motor DC



Fuente: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/servomotor-con-arduino/>

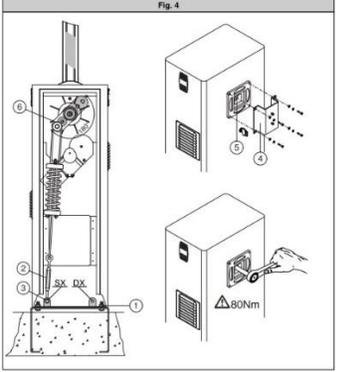
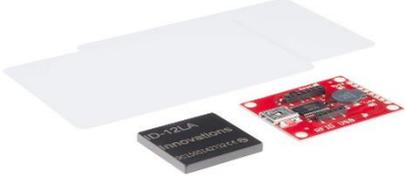
2.3.4. Comunicaciones GFSK

La modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiano (GFSK) es un tipo de modulación digital de FSK eficaz en ancho de banda. La modulación de GFSK utiliza un filtro gaussiano de conformación de pulso para reducir el ancho de banda de una portadora de transmisión modulada. En modulación de FSK, una secuencia de símbolos de datos que tiene transiciones agudas da como resultado una portadora de transmisión modulada que tiene discontinuidades en frecuencia. Las discontinuidades de frecuencia dan como resultado una portadora de transmisión de ancho de banda amplio. Suavizar las transiciones agudas de la secuencia de símbolos de datos, sin embargo, usando un filtro gaussiano de conformación de pulso, evita este problema. El filtro gaussiano de conformación de pulso elimina los componentes de frecuencia más altos en la secuencia de símbolos de datos que, a su vez, permite un espectro de transmisión más compacto.

El espectro de transmisión compacto facilitado por el esquema de modulación de GFSK ayuda a sistemas de comunicación inalámbrica que operan tanto en bandas con licencia como en las bandas industrial, científica y médica (ISM) sin licencia,

reduciendo el ancho de banda espectral y el espectro fuera de banda de la portadora de transmisión de GFSK.

Tabla 1. Comparación de Instrumentos

Instrumentos	Utilización de Prototipo a Escala	Utilización en la implementación Real
<p>Motor.</p>	<p><u>Servomotor:</u> Es un dispositivo autónomo que tiene giros con gran eficiencia y precisión.</p> 	<p><u>Barrera electromecánica:</u> trabaja bajo un de motor reductor con sistema de contra peso de resorte, para 600 aperturas diarias.</p> 
<p>Sensores</p>	<p><u>Kit RFID Starter:</u> Rango de Frecuencia 125KHz Ganancia: 2kbps Único ID 40-bit Rango de lectura:18cm Medidas:54 x 85.5mm x 0.8mm</p> 	<p><u>KIT UHF RFID con M6E Nano:</u> Rango de frecuencia 860-960MHZ Ganancia:6dBi Múltiples Lecturas ID's Rango de lectura: 4.6m Medidas:223 mm x 200 mm x 60 mm</p> 

Instrumentos	Utilización de Prototipo a Escala	Utilización en la implementación Real
<p>Semáforos</p>	<p><u>Módulo de semáforo para Arduino.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Tamaño: 2.205 x 0.827 x 0.433 pulgadas. - Color: rojo, amarillo y verde. - LED: 3x 10mm - Brillo: brillo normal (difuso). - Voltaje: 5V. - Entrada: salida de señal digital. - Interfaz: cátodo común 	<p><u>Semáforo vial.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Fabricados en Policarbonato de alta resistencia contra los rayos UV, humedad y vibraciones, que provee una máxima durabilidad. - Tamaño de housing de 30 cm. - Puerta abatible que facilita el acceso al interior de la carcasa. - Lámparas con mica transparente que facilitan la visibilidad del conductor y evitan el efecto fantasma. - Voltaje de operación entre: 80V ~ 135V. - Cada lámpara cuenta con 160 LEDs de alta intensidad. - Visera tipo túnel de fácil ensamble para su posición horizontal o vertical. 

Instrumentos	Utilización de Prototipo a Escala	Utilización en la implementación Real
<p data-bbox="224 835 430 919">Instrumentos sonoros</p>	<p data-bbox="459 365 722 401"><u>Parlante pequeño.</u></p> <p data-bbox="459 420 906 506">Voltaje de operación: 1.5V - 28V</p> <p data-bbox="459 527 824 562">Buzzer tipo piezoeléctrico</p> <p data-bbox="459 583 808 619">Frecuencia 3500±500Hz</p> <p data-bbox="459 640 657 676">Pines termina</p> <p data-bbox="459 697 906 783">Circuito controlador Drive Method incorporado</p> <p data-bbox="459 804 906 890">Nivel de presión de sonido 85/30dB</p> <p data-bbox="459 911 881 947">Tasa máx. de corriente 10mA</p> <div data-bbox="479 1024 815 1184">  </div>	<p data-bbox="935 365 1084 401"><u>Megáfono.</u></p> <p data-bbox="935 420 1365 455">Fuente de alimentación :120 V</p> <p data-bbox="935 476 1438 562">Protegido contra proyecciones de agua</p> <p data-bbox="935 583 1438 669">Carcasa de plástico resistente a la intemperie</p> <p data-bbox="935 690 1438 777">Cable de conexión con 3 niveles de potencia</p> <p data-bbox="935 798 1300 833">Soporte de montaje móvil.</p> <p data-bbox="935 854 1377 940">Banda pasante: 125-15.000 Hz potencia, 120 V: 30/15/7,5 W</p> <p data-bbox="935 961 1263 997">SPL (1 W/1 m): 101 Db</p> <p data-bbox="935 1018 1321 1054">Dimensiones: 180x200 mm</p> <div data-bbox="1003 1089 1339 1398">  </div>

Instrumentos	Utilización de Prototipo a Escala	Utilización en la implementación Real
<p>Controlador</p>	<p><u>Arduino UNO</u></p> <p>Microcontrolador: ATMega328P.</p> <p>Velocidad de reloj: 16 MHz.</p> <p>Voltaje de trabajo: 5V.</p> <p>Voltaje de entrada: 7,5 a 12 voltios.</p> <p>Pinout: 14 pines digitales (6 PWM) y 6 pines analógicos.</p> <p>1 puerto serie por hardware.</p> <p>Memoria: 32 KB Flash (0,5 para bootloader), 2KB RAM y 1KB Eeprom</p> 	<p><u>PLC</u></p> <p>Unidad de Procesamiento Central (CPU)</p> <p>Fuente de alimentación</p> <p>Unidad de programación</p> <p>Módulo de memorias</p> <p>Lectura de señales de captadores distribuidos.</p> <p>Permiten establecer comunicación con los diferentes equipos en tiempo real.</p> <p>Pueden ser conectados a un sistema supervisorio que facilita la interfaz y monitoreo del proceso.</p> <p>Reciben y ejecutan órdenes continuas por tiempos prolongados.</p> <p>Pueden controlar entradas y salidas distribuidas y ajenas al armario central del autómatas mediante un cable de red.</p> 

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 1 se realiza la comparación de los instrumentos que utilizaran a nivel de prototipo y maqueta, así como los componentes que se colocaran una vez que proyecto se ponga en marcha de una manera industrial y real implementándolo en cruces de vías férreas, por lo tanto la tabla cuenta con las características más principales y los componentes de mayor importancia que destacan a la hora de hacerlo de una manera más real, pero sin embargo la tecnología es exactamente la misma y cumple con las mismas funciones de las cuales se podrá demostrar a través de un prototipo que se construye en una maqueta.

Es importante recalcar dichas diferencias ya que a nivel de prototipo el costo económico es significativo, si se compara a una implementación real, también se puede comparar que a nivel de potencia y voltajes se tendrán que hacer cambios más considerables, así también como espacio físico y ubicación de ciertos componentes que conllevan más espacio para su correcto funcionamiento.

En una implementación real cada componente se expone a diferentes factores tanto físicos, como ambientales, y del entorno que los rodea, por ende, cada uno de ellos tienen que estar diseñados para lograr soportar las adversidades que conlleva exponerlos a un lugar público y a la intemperie y que sean equipos y componentes que cumplan con una durabilidad alta, también de un elevado uso ya que es prácticamente todos los días de la semana su funcionamiento. Los componentes a nivel de maqueta solo permitirán demostrar que la tecnología y el desarrollo del proyecto son totalmente funcional y tiene factibilidad para poder realizar la inversión a una implementación real, confiadamente sin riesgos de que la tecnología tenga fallas.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es definida como “un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010); esta puede ser clasificada desde diferentes puntos como lo es finalidad, dimensión temporal, marco, naturaleza, carácter, entre otros. A continuación, se muestra la forma en que se clasifica el presente proyecto de investigación de acuerdo a los puntos de vista mencionados anteriormente.

3.1.1. Enfoque de la Investigación

Hernández, Fernández y Baptista (2014, pag.04) mencionan lo siguiente acerca de los enfoques de investigación:

A lo largo de la historia de la ciencia han surgido diversas corrientes de pensamientos (como el empirismo, el materialismo dialectico, el positivismo, la fenomenología, el estructuralismo), pero sin embargo y debido a las diferentes premisas que las sustentan, desde el siglo pasado tales corrientes se “polarizaron” en dos aproximaciones principales de la investigación: el enfoque cuantitativo el enfoque cualitativo.

Ambos enfoques emplean procesos cuidadosos, metódicos y empíricos en su esfuerzo para generar conocimientos, por lo que la definición previa de investigación se aplica a los dos por igual. En términos generales, estos métodos utilizan cinco estrategias similares y relacionadas entre sí, las cuales de acuerdo con Grinnell (1997) son:

1. Llevan a cabo la observación y evaluación de fenómenos.

2. Establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas.
3. Demuestra el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.
4. Revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.
5. Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones e ideas o incluso para generar otras.

3.1.2. Finalidad de la Investigación

Las investigaciones tienen diferentes finalidades de acuerdo a lo que se pretenda realizar en la misma, para esta ocasión su finalidad es aplicada, ya que según lo que menciona Hernández, Fernández y Baptista (2010) esta busca darle solución a algún problema. Vargas (2009) cita a Murillo definiendo este tipo de investigación de la siguiente forma:

La investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de la investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad (p.159).

Esta misma autora señala que esta investigación tiene como propósito “resolver o mejorar una situación específica o particular, para comprobar un método o modelo mediante la aplicación innovadora y creativa de una propuesta de intervención” (p.162), en este caso lo que se pretende es darle una solución a la problemática presente en los cruces entre vías férreas y vías vehiculares, con el propósito de disminuir los accidentes producidos

por los choques entre trenes y vehículos, así como también brindar avance en el sistema ferroviario y vial del país.

3.1.3. Dimensión Temporal

La Investigación puede clasificarse también de acuerdo a su dimensión temporal, por lo tanto, este proyecto es de dimensión transversal, pues se va realizar en un momento dado, que este es durante el período 2021 y 2022.

La investigación transversal es de tipo no experimental, y es definida por Hernández, Fernández y Baptista (2010) como los diseños que:

Recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como tomar una fotografía de algo que sucede (p. 151).

Puede abarcar varios grupos o subgrupos de personas, objetos o indicadores; así como diferentes comunidades, situaciones o eventos (p.152).

Por lo que se puede decir que, para efectos de este proyecto, se recolectaron los datos necesarios para describir y analizar los cruces con más flujo entre ferrocarriles y vehículos, la forma en cómo actúan los conductores y el funcionamiento del sistema de detención actual; y cómo influyen estos entre sí.

3.1.4. Marco de la Investigación

La investigación puede presentar diferentes tipos de marcos, los cuales son marco micro, marco macro y marco meso. En este caso se realizará de forma macro, pues lo que se busca es darle una solución a una necesidad que tiene gran parte del país, y en sí de

toda la población costarricense, que al implementarse este proyecto y ponerlo en práctica se va ver favorecida gran parte de Costa Rica.

3.1.5. Naturaleza de la Investigación

En la investigación existen tres tipos de naturalezas o enfoques, los cualitativos, cuantitativos y los mixtos. En este proyecto se trabaja bajo el enfoque cuantitativo, el cual es definido por Hernández, Fernández y Baptista (2010) como

Secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica (p.5).

También estos mismos autores mencionan entre las características de este enfoque que la recolección de datos ver fundamentada en la medición de las variables, es decir, que en el caso de este proyecto las variables que se miden son el tiempo, la velocidad y la distancia del sistema de prevención propuesto para este proyecto y de esta forma poder darle una solución al problema que existe en los cruces ferroviarios.

3.1.6. Carácter de la Investigación

Existen diferentes tipos de carácter de una investigación; para efectos de esta investigación es Proyecto, ya que este lo que busca es satisfacer una necesidad que tienen los cruces de trenes y vehículos en Costa Rica en el Área Metropolitana.

Este proyecto ofrecer herramientas y una posible solución a los accidentes entre los medios de transporte anteriormente mencionados mediante un sistema de automático de prevención de accidentes trenes-vehículos.

El proyecto es definido como un “conjunto de actividades concretas, interrelacionadas y coordinadas entre sí, con el fin de producir determinados bienes y servicios capaces de satisfacer necesidades y resolver problemas” (Vargas, 2014, p.38)

3.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

Al realizar este tipo de investigaciones se debe poner en práctica la revisión de literatura que va a sustentar gran parte de la investigación. Se puede entender entonces que las fuentes de información es todo aquello que va a brindar datos relevantes que ya son conocidos y son necesarios para la investigación.

Según Muñoz (2015):

Estas fuentes pueden ser libros especializados sobre el tema que nos ocupa, publicaciones periódicas también especializadas y en general cualquier tipo de publicación impresa, base de datos, fuentes electrónicas de información, etc. Es evidente que esta búsqueda e identificación de las fuentes de información debe ser exhaustiva y le debemos dedicar tiempo suficiente. (p.122).

3.2.1. Fuentes Primarias

Según Muñoz (2015), menciona que las fuentes primarias de la información son las que “contienen información en su forma original, es decir, no abreviada. En estas fuentes de

información primarias o de primera mano se encuentran todos los conocimientos científicos, fenómenos o hechos estudiados desde diversas perspectivas y nuevos enfoques” (p.217).

3.2.2. Fuentes Secundarias

Según Muñoz (2015), define que son “aquellas que contienen información abreviada de obras o materiales científicos referidas por otros autores. Sirven solo como un auxiliar que ayuda al investigador suministrándoles información sobre documentos o fuentes primarias consultadas por autores diversos.” (p.217).

De acuerdo con las citas anteriores, esta investigación está fundamentada tanto en fuentes primarias como en las secundarias ya que estas fuentes son de donde se originan los datos y se logra obtener la información de diversos documentos los cuales dan el sustento a esta investigación.

3.2.3. Sujetos de Información

Barrantes define que “los sujetos son todas aquellas personas físicas o corporativas que brindarán la información” (1999, p.92).

Para la realización de dicha investigación los sujetos que se tomaron para brindar información son parte del personal que labora en la entidad de trenes del país (INCOFER), tanto maquinistas como personal de ingeniería que los cuales brindan información primordial para la recolección de datos y poder obtener el desarrollo del proyecto.

3.3. TÉCNICAS Y HERRAMINETA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas y herramientas son necesarias para medir las interrogantes; para la realización de la investigación se pueden utilizar uno o varios, esto va a depender del enfoque bajo el cual se realice la misma (Barrantes, 2014).

Las técnicas o herramientas deben cumplir tres requisitos esenciales que de acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista (2010) son los siguientes:

- **Confiabilidad:** “grado en que un instrumento produce resultados consistentes y coherentes” (p.200).
- **Validez:** “grado en que un instrumento en verdad mide la variable que se busca medir” (p.201).
- **Objetividad:** “grado en que el instrumento es permeable a la influencia de los sesgos y tendencias de los investigadores que lo administra, califica e interpretan” (p.207).

3.3.1. Observación

La observación es una acción cotidiana realizada por las personas que permite evidenciar o comprobar lo que se quiere, esto es un método utilizado para recolectar información en la investigación científica que de acuerdo con Monje (2011) “Se aplica con dos propósitos, manipular la variable a observar estableciendo controles y observar fenómenos sobre los cuales se ejerce control” (p.143). Este tipo de estrategias están elaboradas a partir de las variables pretendiendo identificar con claridad lo que se desea conocer; por lo tanto, lo que se pretende observar es el comportamiento de los conductores de vehículos en los

cruces de los con la línea férrea y la forma en cómo actúan estos al activarse el sistema actual de detención.

3.3.2. Entrevista

La entrevista es una herramienta de la cual el investigador puede obtener información de una forma oral y personalizada. La información que se obtiene puede ser de acuerdo en torno a los acontecimientos vividos y aspectos subjetivos de las personas tales como creencias, actitudes, opiniones, o valores en relación con la situación que se está investigando.

Según Galán (2009) para que una entrevista tenga éxito tiene que cumplir con las siguientes condiciones:

La persona que responda debe tener la información requerida para que pueda contestar la pregunta.

Las personas entrevistadas deben tener alguna motivación para responder comprende en su disposición para dar las repuestas solicitadas como para ofrecerlas de una manera verdadera.

Existen diferentes tipos de entrevistas, estructurada, semiestructurada y no estructurada para efectos de esta investigación se utiliza la entrevista de tipo semiestructurada, donde lo que se pretende es obtener datos específicos acerca del sistema de detención actual, experiencias del personal, necesidades del sistema, entre otros datos, por lo cual se da paso a que no solamente se den respuestas estrictamente específicas.

3.4. VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Definición de variables.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014) “Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse.” (p.105). Se puede entender que las variables es la parte de la investigación que va a manejarse de manera cambiante y va a tener un impacto sobre la investigación a realizar y, dependiendo de cómo se manejen las variables se determina el resultado de la investigación.

Con base a lo anterior con respecto a las variables es de manera más sencilla poder visualizarlas en esta investigación mediante la siguiente tabla (ver tabla 2) donde se pueden identificar según los objetivos específicos establecidos.

Tabla 2. Variables de la Investigación

Objetivos específicos	Variables	Definición
Identificar los problemas y requerimientos más comunes que se presentan en los cruces ferroviarios.	Necesidades y requerimientos de los cruces ferroviarios.	Elementos de implementación para la mejora del sistema actual.
Estudiar las diferentes características viales y de tránsito que presentan los cruces ferroviarios.	Sistema de detención en los cruces ferroviarios.	Comprender la necesidad de sistemas de detención en los cruces ferroviarios.
Investigar los cruces ferroviarios con mayores incidentes en el país para determinar las causalidades.	Condiciones viales.	Determinar un sistema eficaz que mejore la vialidad.

Objetivos específicos	Variables	Definición
Elegir cuales son los cruces ferroviarios más factibles en la implementación del prototipo.	Factibilidad de implementación.	Elección de acuerdo a las especificaciones para la instalación.
Determinar los elementos electrónicos y materiales requeridos para el desarrollo del sistema, tomando en cuenta las mejores prácticas del mercado y las tecnologías existentes.	Dispositivos para la detención vehicular.	Componentes que determinen las mejores prácticas del mercado.
Diseñar un sistema automático eficiente que permita la mejorar los cruces ferroviarios.	Sistema automatizado.	Sistema automático para la detención.
Implementar un sistema de monitoreo simple para que el maquinista pueda tener de primera instancia lo que sucede en el cruce ferroviario.	Sistema automatizado.	Sistema en tiempo real para el monitoreo del cruce ferroviario.
Construir un sistema electrónico de prevención y reducción de accidentes ferroviarios en las intersecciones más problemáticas y con mayor incidencia vial.	Detención y monitoreo en los cruces ferroviarios.	Elaborar prototipo que mejore el sistema actual implementado.
Comprobar la efectividad del sistema electrónico en las intersecciones ferroviarias, a través de pruebas de laboratorio.	Comportamiento del sistema de monitoreo y detención.	Generar un prototipo de sistema automático para el monitoreo y detención vehicular en los cruces.

Objetivos específicos	Variables	Definición
Determinar el valor económico de la implementación del prototipo para demostrar su funcionalidad en el cruce vial.	Viabilidad del prototipo.	Valoración de la factibilidad del prototipo.

Fuente: Elaboración propia.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) definen el diseño de la investigación como “el alcance inicial de la investigación y la formulación de las hipótesis, donde el investigador debe visualizar la manera más práctica y concreta de poder resolver las preguntas de la investigación y poder aplicarlas al contexto de su investigación”. (p.128).

Según lo entendido para lograr tener un panorama más claro acerca del diseño de la investigación se puede implementar una tabla la cual contenga los datos de cómo se implanta el proyecto y lo que debe cumplirse y lo que se obtendrá (Ver tabla 3).

Tabla 3. Diseño de la Investigación

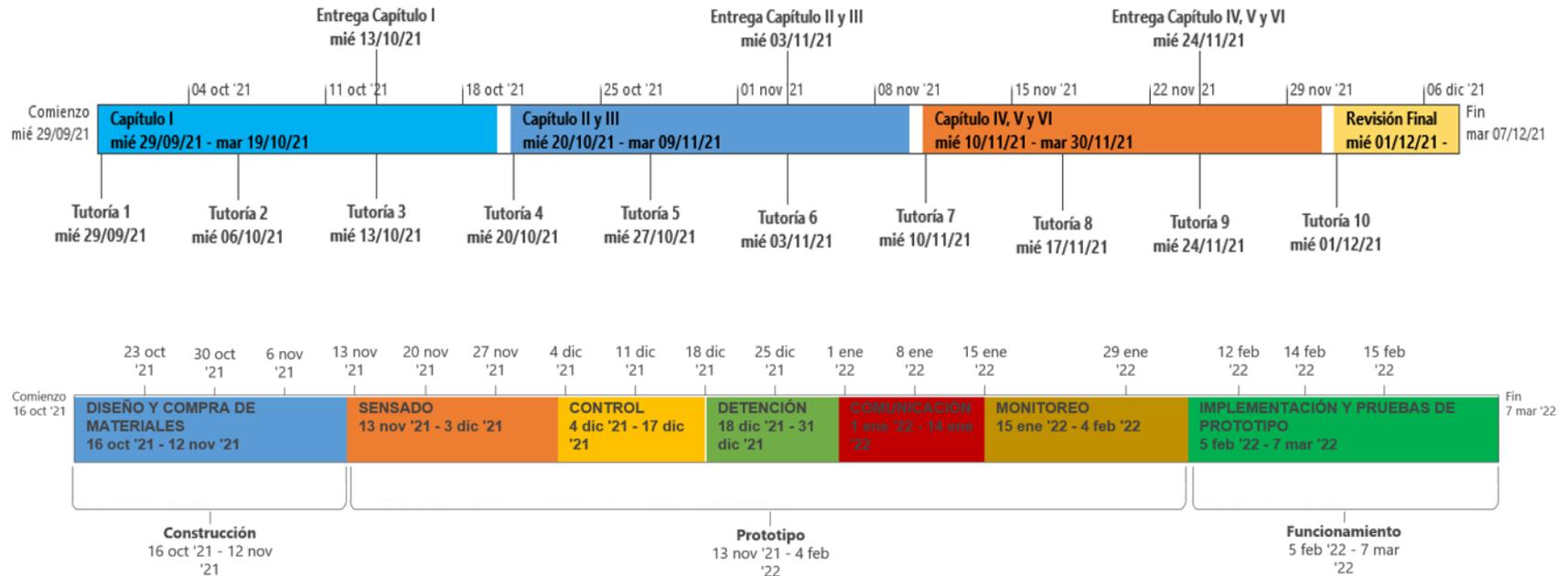
Pregunta de la investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Variables	Método de Investigación	Técnicas y Herramientas
¿Cuál es la mejor forma de desarrollar un sistema vial superior al actual por medio de un prototipo electrónico de detención de tránsito vehicular, con señalización horizontal, vertical y sonora, de forma sincronizada o simultánea con la aproximación del tren al cruce ferroviario, el cual permita controlar de mejor manera dichos cruces ferroviarios donde también el maquinista pueda contemplar el monitoreo de la intersección ferroviaria y su entorno a partir de un sistema electrónico efectivo?	Construir un prototipo electrónico para prevención y reducción de accidentes de tránsito a través de un sistema de monitoreo en cruces ferroviarios que permita la mejora en el sistema ferroviario y vial en Costa Rica.	Identificar los problemas y requerimientos más comunes que se presentan en los cruces ferroviarios.	Necesidades y requerimientos de los cruces ferroviarios	Inductivo	Observación
		Estudiar las diferentes características viales y de tránsito que presentan los cruces ferroviarios.	Sistema de detención en los cruces ferroviarios	Histórico	Análisis de contenido
		Investigar los cruces ferroviarios con mayores incidentes en el país para determinar las causalidades.	Cruces ferroviarios viales	Histórico	Análisis de contenido
		Elegir cuales son los cruces ferroviarios más factibles en la implementación del prototipo.	Factibilidad de implementación	Histórico	Análisis de contenido
		Determinar los elementos electrónicos y materiales requeridos para el desarrollo del sistema, tomando en cuenta las mejores prácticas del mercado y las tecnologías existentes.	Dispositivos para la detención vehicular.	Inductivo	Tecnológico

Pregunta de la investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Variables	Método de Investigación	Técnicas y Herramientas
		Diseñar un sistema automático eficiente que permita la mejorar los cruces ferroviarios.	Sistema automatizado	Sintético	Experimentación
		Implementar un sistema de monitoreo simple para que el maquinista pueda tener de primera instancia lo que sucede en el cruce ferroviario.	Dispositivo para la monitorización del cruce.	Inductivo	Tecnológico
		Construir un sistema electrónico de prevención y reducción de accidentes ferroviarios en las intersecciones más problemáticas y con mayor incidencia vial.	Detención y monitoreo en los cruces ferroviarios	Modulación	Experimentación
		Comprobar la efectividad del sistema electrónico en las intersecciones ferroviarias, a través de pruebas de campo y de laboratorio.	Comportamiento del sistema de monitoreo y detención	Modulación	Experimentación
		Determinar el valor económico de la implementación del prototipo para demostrar su funcionabilidad en un cruce vial.	Viabilidad de proyecto	Aplicado	Sintético

3.6. IMPLEMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se destalla en la Figura 11 las líneas de tiempo, mediante las cuales se establecen las etapas y el desarrollo que conlleva la elaboración del proyecto, también se logra observar las secciones más significativas y su ubicación en el tiempo.

Figura 11. Líneas del Tiempo



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente el país cuenta con cruces ferroviarios donde no hay ninguna instalación de sistemas de detención vehicular lo que ha provocado que con el pasar del tiempo se incrementa la problemática vial en temas de accidentes, atrasos, congestionamiento lo cual no ayuda a la mejora y desarrollo en temas de infraestructura ferroviaria y desarrollo vial.

Otra problemática se da con el maquinista del tren ya que este no tiene control ni monitorización alguna de cuando el tren intersecta los cruces ferroviarios, ya que el único indicador para el chofer del tren es que unos metros antes existe un semáforo sobre las vías del tren a la altura de la cabina que tiene dos colores donde el amarillo significa que el sistema apenas se está cerrando o no se ha cerrado y un color verde donde indica que el cruce se cerró y el sistema se activó.

Las personas por naturaleza están acostumbradas a que cuando se utiliza algún medio de transporte ya sea propio, privado o público, puedan tener en su mayor parte el control de la situación actual de por dónde se transita o como mínimo la observación del entorno para un mayor control de los actos y maniobras.

En el caso de los trenes de Costa Rica, donde sus choferes cuando comienzan el desplazamiento sobre las vías férreas se dirigen de forma lineal con regulaciones de velocidad pero sin la percepción de un control total de su locomotora donde a comparación un automóvil, las maniobras y la actuación resulta ser mucho más lenta, por ende al maquinista esto le genera mucha incertidumbre y poca seguridad de lo que pueda

suceder cuando realice el paso por una intersección ferroviaria, ya que podría provocar algún tipo de incidente y esto incurrir en múltiples acontecimientos colaterales.

Actualmente la entidad encargada de temas férreos en el país (INCOFER) implementó un sistema de detención vehicular donde el paso del tren tiene un cierre parcial de las vías por medio de agujas, pero este sistema es muy poco interactivo con el maquinista, ya que existen dos metodologías de cierre, una es por medio de la activación manual donde el ayudante del maquinista se baja de la locomotora con una llave y se dirige a una caja que se encuentra a pocos metros del cruce inserta la llave para poder presionar un botón que es el que activara el cierre el cruce y luego tiene que proceder de la misma forma con la desactivación y continuar su recorrido(ver Anexo 1).

Posteriormente otra de las formas de activación es por medio de un sensor que la rueda del tren maja y manda la señal para que la activación se vaya dando y el monitoreo del mismo se da por medio de un semáforo de dos colores, el color naranja para informar del pronto cierre y la activación y el color verde del correcto cierre del cruce.

Sin embargo este sistema actual ha generado varios percances donde se ha comportado de forma incorrecta y no hay forma de poder monitorear que sucede antes y después del paso del tren, tampoco de interactuar de una manera remota con dicho sistema, sencillamente el tren solo transita linealmente de un lugar a otro con la certeza de que su paso durante todo el recorrido será el más adecuado para no alterar el orden público vial donde la monitorización es muy simple o inclusive la activación es de una forma muy manual o rudimentaria.

4.2. RECOLECCIÓN DE DATOS

Las herramientas de información que se utilizan en el proyecto lo que buscan obtener es la suficiente información que sea útil para el investigador y este procure obtener lo necesario para poder desarrollar el enfoque de la investigación.

El proyecto está enfocado en la mejora de un sistema actual por lo tanto se decidió trabajar con dos herramientas diferentes para la obtención de información una de ellas es la observación, en donde se fue al campo para poder observar y determinar los constantes problemas y los requerimientos de mejora que se le pueden hacer al sistema actual.

También se implementó una entrevista a la entidad encargada del transporte férreo en Costa Rica (INCOFER) ya que es la única responsable de este medio de transporte en el país y así conocer del sistema actual más a fondo y la tecnología que utilizan, a su vez determinar las carencias que el sistema actual tiene y poder tomarlas en cuenta para implementarlas en el proyecto.

4.2.1. Instrumento para la recolección de datos.

Como primera herramienta de recolección de datos se utilizó la observación con varias visitas a diferentes cruces ferroviarios tales como:

- Los cruces de la antigua aduana ubicados en San José calle.23, avenida.3, San José, y calle.25, avenida.3.
- Cruce Curridabat, ubicado en calle.11 a la altura de Forestales Latinoamericanos.

- Cruce de RECOPE ubicado en Cartago, Ochomogo, a la altura de RECOPE sobre la autopista. Florencio del Castillo, avenida 71.
- Cruce de Quircot, ubicado en Cartago, calle 28, avenida 55.
- Cruce del Carmen ubicado en Cartago, transversal 6, calle 10
- Cruces que comprenden desde Calle 4 hasta calle.11 de la avenida.3 de Cartago centro.
- Cruce de la Numar y cruce plantel de buses Puntarenas ubicados en San José, diagonal 24, avenida 20A.
- Cruces Barrio cuba, ubicados en San José, avenida 20A, calle 18, calle 16, calle 12.

Se analizan todos los requerimientos que pueden mejorar el sistema actual, así como las carencias que tiene y la completa inexistencia de algún tipo de control de detención vehicular. Se contempla y se observa cuáles son los acontecimientos más repetitivos de los conductores de vehículos en los cruces ferroviarios que llevan a provocar accidentes, congestión vial y problemas con los atrasos tanto vehiculares como con el tren, además la inseguridad de parte del maquinista al transitar por las líneas férreas y no poder observar ni conocer lo que está más allá de su cabina.

Para el análisis y la obtención de datos se formuló una lista de chequeo, la misma se encuentra en el Anexo 2 (Lista de chequeo de observación.pdf), la cual será detallada en el análisis de datos.

4.2.2. Análisis de datos.

4.2.2.1. Observación.

De las observaciones que se realizaron en diferentes espacios físicos donde hay existencia de un cruce ferroviario, para esto se utilizó el instrumento de lista de chequeo el cual se puede observar en el Anexo 2 .Se puede determinar que a pesar que existe un sistema ya establecido, no está implementado en todos los cruces ferroviarios que se ven involucrados a lo largo de la trayectoria del tren de una estación a otra, es importante recalcar que la observación determina la carencia y la necesidad de obtener una solución o mejora para poder solucionar la situación actual.

Se realizó la observación en los siguientes cruces:

- Los cruces de la antigua aduana
- Cruce Curridabat
- Cruce de Ochozogo a la altura de RECOPE
- Cruce de Quircot
- Cruce del Carmen
- Cruce Cartago entre calle 8. Trasversal 6
- Los cruces que comprenden desde calle 4 hasta calle 11 de la avenida 3, Cartago Centro.
- Cruce la Numar y cruce plantel de buses Puntarenas.
- Cruces Barrio cuba (sobre Avenida 20A, calle.18, calle.16, calle 12)
- Cruce San José estación del tren al pacifico Avenida 20A, calle 10.

Se determinó por medio de esta herramienta que no solo hay carencia de un sistema de prevención y detención a nivel de vía pública, sino también a nivel privado ya que existen cruces ferroviarios donde se ve involucrado la vía pública y la entrada a una empresa privada, como por ejemplo entrada a la empresa Protecto en Cartago, Costa Rica donde la compañía coloca un rotulo 100 metros antes de que el tren pase por el frente de sus instalaciones (ver figura 12 y figura 13), donde le solicitan al conductor del tren: “ALERTA. Estimado conductor a partir de este punto dar aviso a su paso. Gracias.”

Según comenta oficiales de seguridad de dicha compañía el paso del tren muchas veces se da por desapercibido y se ha visto en peligro la entrada y salida de los camiones de carga que en muchas ocasiones quedan atravesados en plena línea férrea, también fila de proveedores a la hora de llegar o salir de la compañía y hacer su debido reporte con los oficiales de seguridad y quedan atravesados o bloqueando la línea férrea sin saber en qué momento puede pasar el tren ya que también deben esperar para salir sobre una vía muy transitada como es la autopista Florencio del Castillo.

Figura 12. Cruce Protecto



Fuete: Elaboración propia

Figura 13. Protecto



Fuente: Elaboración propia

Una situación muy parecida a la anterior sucede en Barrio Cuba, San José donde la línea férrea atraviesa una gran compañía como lo es NUMAR (ver figura 14) y se observa que se ve involucrado el ingreso a bodegas de dicha compañía, a su vez también se ve involucrado el plantel de buses de Puntarenas (ver figura 15) donde comenta el oficial de seguridad de dicha compañía que en ocasiones a la salida o en el ingreso de la flotilla de buses estos deben quedarse haciendo fila para poder tener la aprobación de salida o ingreso y los autobuses quedan atravesados sobre las líneas férreas y que no conocen en qué momento pueda pasar el tren.

Figura 14. Cruce Numar



Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Ingreso Plantel de buses



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en la figura 16 se determinó por medio de la observación todos los comportamientos que tienen los conductores al pasar por un cruce ferroviario y se lograron recolectar los siguientes datos:

- Conductores que no le dan importancia al cruce, no se detienen, no se percatan si hay paso del tren.
- Evasión de las agujas de detención vehiculares por los espacios que quedan al descubierto en la parte central de la vía. Principalmente por motociclistas y vehículos livianos.
- La mayor cantidad de conductores al percatarse que el tren se aproxima y que el cruce se activa para la detención vehicular, tienden a tener la reacción a acelerar la pasada del vehículo en lugar de detenerse y esperar todo el proceso que conlleva el paso del tren (ver video Imprudencia.MP4 en Anexo 3).

Figura 16. Cruce Antigua Aduana



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Imprudencia de conductores



Fuente: Elaboración propia

También se logró recolectar que en los cruces ferroviarios donde existe un sistema de detención vehicular el tren tiene que reducir su velocidad promedio para una correcta activación del sistema y para que los conductores tengan la percepción del paso del tren

ya que la gran cantidad de kilometraje férreo está colocado sobre carreteras principales del GAM.

4.2.2.2. La entrevista.

Una de las herramientas que ayuda a sustentar la problemática del proyecto es la entrevista, mediante la cual se permitió conocer muchos aspectos importantes de la carencia de tecnología más autónoma y de la necesidad de sistema propuesto por el proyecto.

Al realizar una entrevista semiestructurada al jefe del departamento de transportes el Ingeniero Isaac Gonzales Gamboa y al maquinista de las locomotoras Alberto Astuan quienes laboran actualmente para el INCOFER, la cual se puede encontrar completa en el Anexo 4 (Entrevista a Funcionarios del INCOFER.doc) se analizan los aspectos más importantes y relevantes de los datos que se obtuvieron de la entrevista.

Queriendo conocer que sistemas de control vehicular que se utilizan actualmente en los cruces ferroviarios se logra determinar que el sistema de control de tráfico férreo para los cruces de Costa Rica está basado en el sistema europeo de gestión del tráfico ferroviario (ERTMS) y dicho sistema esta categorizado en tres niveles distribuidos de la siguiente manera:

Nivel 1: Son aquellas intersecciones constituidas por el cruce de una carretera con la vía férrea con uno o dos sentidos y con muy bajo flujo vehicular donde solo basta instalar un sistema de semáforos intermitentes con campana para que den aviso a la cercanía del tren.

Nivel 2: Son aquellas intersecciones constituidas por el cruce de una carretera con la vía férrea con uno o dos sentidos, pero con un flujo vehicular considerable en el que se tendrá que instalar semáforos, campana y barreras para que se accionen con la cercanía del tren.

Nivel 3: Son aquellas intersecciones constituidas por el cruce de una carretera con la vía férrea con uno o dos sentidos y además viajan en forma paralela y donde el flujo vehicular es muy alto en el que se tendrá que instalar semáforos, campana y barreras para que se accionen con la cercanía del tren.

Se logra determinar que el sistema se implementó considerando que en cada cruce el flujo vehicular es de bajo a alto y así poder colocar lo necesario para sustentar el cruce a algún indicador de prevención.

Por otra parte al buscar los inconvenientes que han generado los sistemas actuales de control vehicular para el paso del tren se determinó que los sistemas instalados o las tecnologías utilizadas han funcionado correctamente y son de gran utilidad para los distintos cruces a lo largo de la vía férrea los factores más influyentes a causar fallas son propiciadas por condiciones sociales, inclemencias climáticas y las fallas generadas en su gran mayoría son por conductores que irrespetan la señalización o por el vandalismo.

Al buscar con qué tipo de monitoreo se cuenta o que control tiene el maquinista en el interior de la cabina de la locomotora para poder visualizar los cruces, se puede dar cuenta que el personal de conducción no cuenta ni dispone de ningún monitoreo a bordo, ya que por la seguridad integral de los sistemas instalados el mismo dispone a lo largo

de la vía férrea dispositivos que detectan el tren y a su vez activan y desactivan los ciclos programados. El principal monitoreo que logran observar los maquinistas es un semáforo a la altura de la cabina que consta de dos colores amarillo que indica anomalía en el cruce y verde le da vista buena al paso y que todo fue activado correctamente.

La seguridad de un maquinista al pasar por un cruce ferroviario puede ser considerada subjetiva, pero a su vez se logra determinar que la mayoría se siente mucho más seguro contando con barreras que les proteja a la hora de pasar por un cruce con vehículos sabiendo que probabilidad de colisión se ha reducido prácticamente un 60% aproximadamente.

Se puede tomar en cuenta que se recopilan bases de datos con estadísticas de accidentes y reparaciones en los cruces más propensos a tener accidentes contra el tren, estos son los que tienen la condición de un alto volumen vehicular por ende es necesario utilizar el nivel 3 de señalización anteriormente ya mencionados para el menor impacto de accidentabilidad vial, al ser aproximadamente 8 cruces con mayor índice de accidentes es necesario tener estos sistemas de control férreo para permitir de la manera más eficiente el paso del tren y así la reducción de las colisiones de vehículos con el tren pero la mayor reducción de pérdidas de vidas humanas.

Es importante tomar en cuenta que una de las mejoras para el sistema actual es poder centralizarse y tener un mejor control y respuesta en caso de daños en el sistema y a su vez poder completar la colocación de señalización y detención en los cruces que aún no cuentan con ningún tipo de dispositivos.

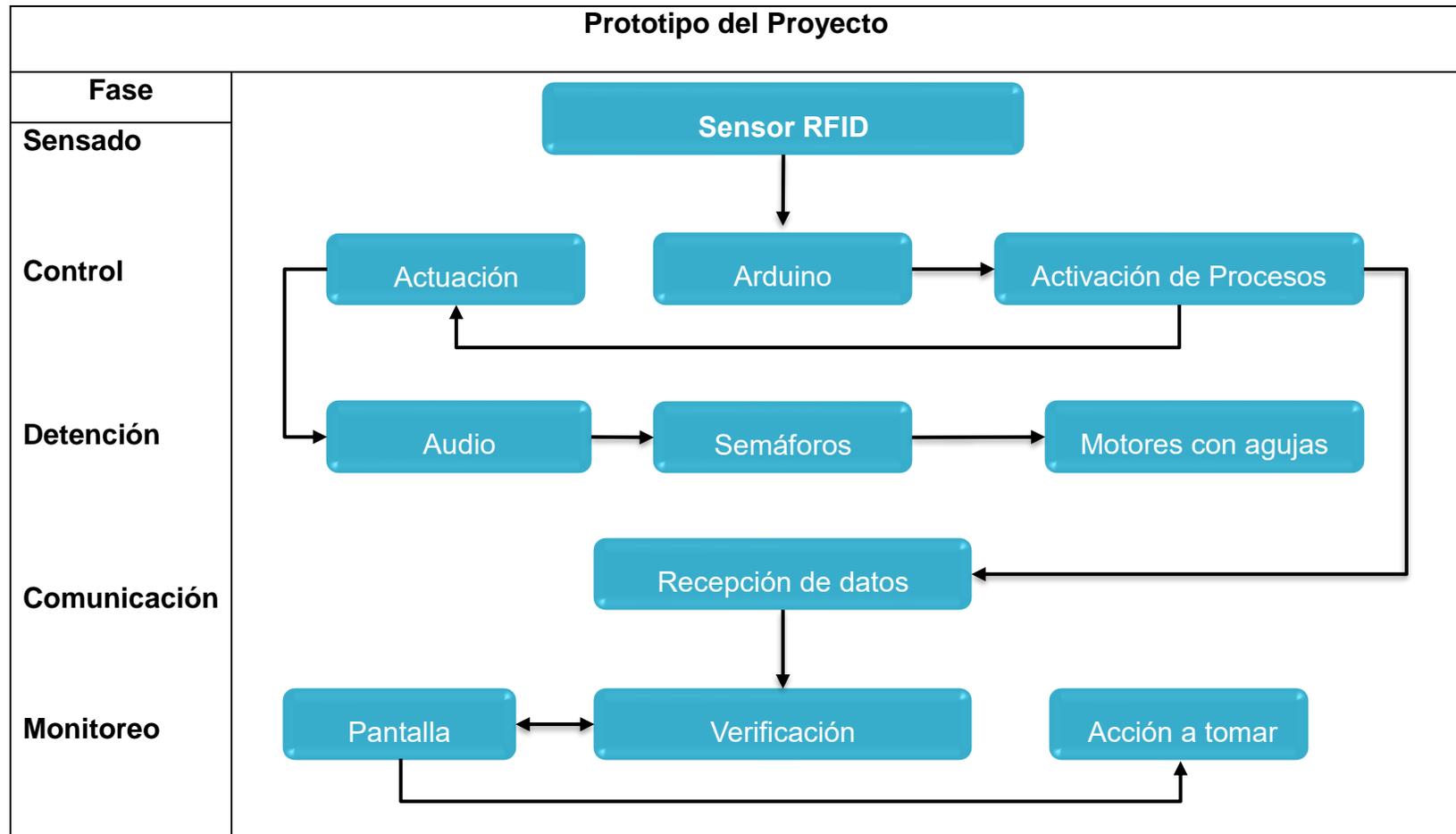
Por otra parte, a nivel de implementación de estos sistemas el costo no se ha considerado elevado ya que es mucho menor si se compara con la cantidad de vidas humanas salvadas a la actualidad. Además, que el costo invertido en reparaciones a las unidades ferroviarias ha ido disminuyendo conforme los usuarios de los vehículos se acostumbran al sistema ferroviario. Pero sin embargo la implementación total de todos los cruces ferroviarios no se ha logrado por temas presupuestarios y que se trató de cubrir los cruces con mayor volumen o tráfico de vehicular así tratar de intervenir en los más problemáticos.

Por último, la manera en que la institución (INCOFER) se da cuenta que el sistema está funcionando bien o mal es por medio de semáforos que le indican al maquinista si el paso se encuentra protegido o no, si el maquinista identifica una señal diferente a la correcta este informa a la persona designada. Ahora como se menciona anteriormente por tema de vandalismo cuando este se presenta es usual que el sistema se proteja. Esto significa que el sistema se “defiende” protegiendo el paso del tren bajando las agujas interrumpiendo el paso del tren o sonando las campanas y al no pasar ningún equipo ferroviario los ciudadanos identifican el mal funcionamiento y proceden a reportarlo al 800-SEMAFORO.

4.3. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.3.1. Proyección del Proyecto.

Figura 18. Diagrama del prototipo propuesto



Fuente: Elaboración propia.

El diseño del prototipo del proyecto a implementar, se encuentra fundamentado en el diagrama anteriormente presentado. En el cual se pueden apreciar las etapas y fases que permitieron el desarrollo del proyecto, además colaboraron con la correcta implementación del mismo. Dicho diagrama será descrito a continuación para un mayor entendimiento.

Basado en el diagrama de bloques en la figura 18, se logra mostrar que como primera etapa está el sensado donde lo que se utilizara es un sensor RFID, el cual va a generar un pulso que tendrá como objetivo la generación de una señal la cual será recibida por el micro controlador.

Posteriormente se continúa con la etapa de control donde el micro controlador desencadena una serie de acciones y mandatos para que se vaya ejecutado todo el protocolo de detención que a su vez va de la mano de la etapa de detención donde las actuaciones del sistema de activación se van cumpliendo por un orden de ejecución que va desde lo más preventivo hasta lo más drástico.

Al estar todo el sistema de detención activado se realiza él envío de datos que inmediatamente el sistema realizará una verificación de parámetros donde se podrán observar en una pantalla la aceptación o el rechazo de todas las acciones realizadas por el sistema de cierre por el cual permitirá la determinación de una acción que se podrían llegar a tomar para una buena reacción y prevención por parte del maquinista del tren.

CAPÍTULO V

DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1. ASPECTOS DE DISEÑO

La propuesta del proyecto consiste en la mejora del sistema actual, así como también implementar el monitoreo por parte del maquinista del tren en los cruces ferroviarios, esto se logra mediante la unión de diferentes dispositivos electrónicos que buscan el control de cierre y el monitoreo de las acciones aplicadas por el sistema. Hoy en día lo que se requiere es implementar un sistema automático de cierre en los cruces con la mayor eficacia posible y menor cantidad de fallas, pero sin embargo dar la posibilidad de una reacción manual por parte del chofer del tren donde sienta seguridad y control al tener el paso por los cruces y así se logre obtener una seguridad vial más comprometida con la disminución en la cantidad de accidentes.

La etapa del proyecto de mayor ayuda es la monitorización por parte del maquinista del tren dentro de la cabina de la locomotora, la cual consiste en que cuando el tren active el cierre de las vías por medio del sensor RFID, el chofer de la locomotora logre visualizar en dispositivo con pantalla el cierre de las agujas por medio de un sensor magnético que verifique la correcta puesta en marcha de la activación de motores de agujas así como la lectura de voltaje a la hora de activar el semáforo y las señales auditivas, todo esto por medio un sistema de transmisión de datos en tiempo real para la visualización remota por parte del maquinista.

Para buscar la forma más adecuada de implementar y hacer funcional el proyecto se ha tenido que salir al campo a observar diferentes cruces ferroviarios, comportamientos de conductores al ver el paso del tren, actuaciones por medio de los maquinistas, ventajas y desventajas del sistema actual, así como obtener información entrevistando a un chofer

de locomotora, también al ingeniero de transportes férreos que el cual es funcionario de la entidad del transporte férreo en Costa Rica (INCOFER) el cual brindó información sumamente esencial para ver la necesidad del sistema que pretende este proyecto.

Una vez analizado y comprendido el alcance del proyecto se limita a que el prototipo será funcional únicamente a los cruces ferroviarios donde la vía sea de ambos sentidos, pero a un solo carril y la línea férrea la atraviesa perpendicularmente y una vez contemplado las variables se da inicio a la parte de investigación y elaboración del prototipo para mostrarlo al mercado y poder comprobar su efectividad.

5.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

El diseño y la construcción del prototipo se llevaron a cabo con el propósito de mejorar el sistema de cierre de cruces férreos que se tiene actualmente en el país. Para esto se realizó un análisis de la implementación del sistema actual de cierre de vías y la observación de las variables de estos sistemas, y de esta forma poder descubrir las necesidades y carencias de dicho sistema para implementar uno con mayor eficacia y competitividad.

La construcción del prototipo se determinó mediante varias fases de diseño las cuales son sensado, control, detención, comunicación y monitoreo.

La ejecución del prototipo se empezó por la creación de una maqueta a escala donde se implementó a través de un sensor de RFID que da el punto de inicio a la activación de una serie de protocolos que conllevan al cierre de un cruce férreo donde se contara con

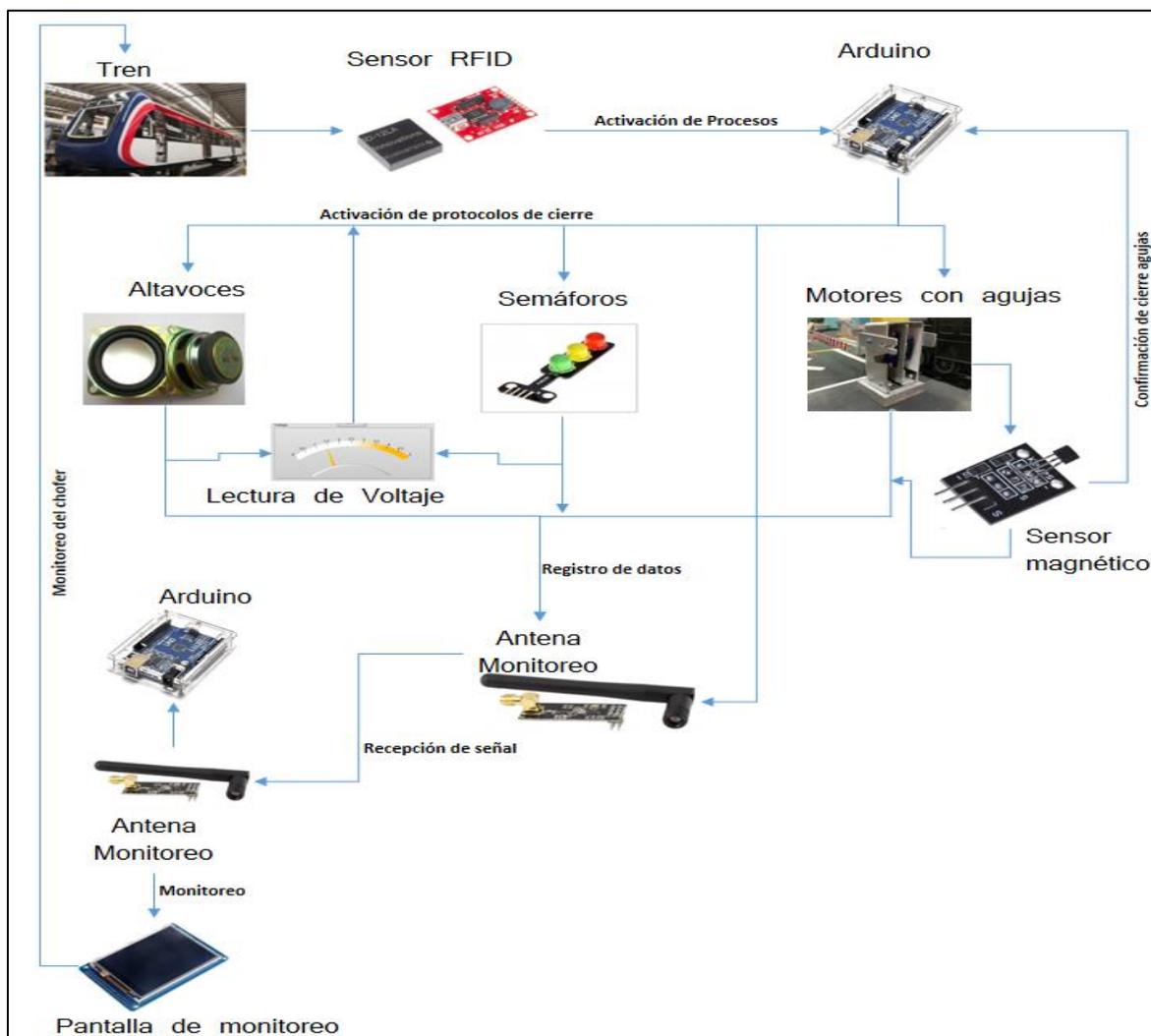
cierre de agujas viales, activación de un semáforo para la detención vehicular, y alarmas sonoras que indican la activación de cierre para así por determinarlo como un cierre de cruce seguro.

Primeramente, se detecta el paso del tren por las vías, seguido manda una señal al microcontrolador lo cual provoca que primero se active las señales auditivas que una vez que inicien no pararan hasta que se cierre todo el proceso, después se activa los semáforos viales para que los conductores se detengan y por último se activan las cuatro agujas del cruce imposibilitando total y completamente el paso de algún vehículo.

Una vez todo este proceso concluido el microcontrolador envía cada uno de los protocolos ya establecidos a el monitor que se encuentra en la locomotora esto por medio de un protocolo de comunicación por la modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiano (GFSK) es un tipo de modulación digital de FSK eficaz en ancho de banda que le indica en tiempo real al maquinista que por el cruce que va pasar es seguro o hay alguna anomalía y lo puede interpretar como inseguro o de prevención para lograr tomar una decisión que no desencadene algún accidente o caos vial.

Ya que el tren ha pasado sin ningún problema por el cruce existe otro sensor de RFID el cual permite la desactivación por completo del protocolo de cierre y de igual manera el maquinista puede monitorear y verificar la desactivación.

Figura 19. Prototipo propuesto



Fuente: Elaboración Propia.

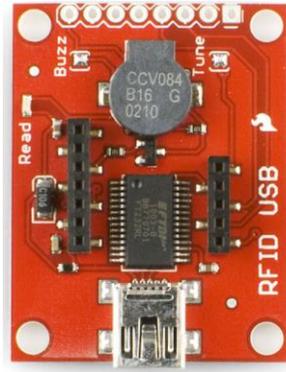
5.2.1. Etapa de sensado

5.2.1.1. RFID

Este dispositivo consta de dos componentes el lector RFID reader (lectura) y el módulo RFID ID-12LA el cual tiene en conjunto recibir una frecuencia nominal de 125kHz. Donde el módulo reader en el pin 8 a un VCC de 5v, luego el pin 7 y 1 a GND a la tierra del circuito, y por último se conecta el pin 6 que es TX por el cual se envía la frecuencia leída por el módulo y enviada hasta el pin 2 de la entrada digital del arduino UNO que se

encarga de iniciar las subrutinas programadas para la activación de los diferentes protocolos de cierre.

Figura 20. RFID USB Reader



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. RFID Reader ID-12LA



Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/11828>

Sin embargo, para este proyecto se implementa la utilización de un segundo módulo RFID ID-20LA que funciona solo como un módulo lector y este a su vez se conecta de en paralelo con el ID-12LA y van a los pines del RFID USB Reader como una sola señal.

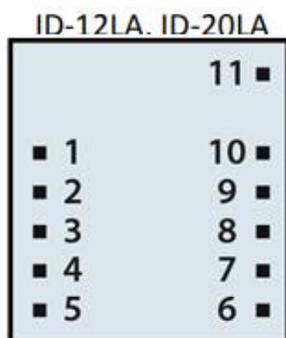
Figura 22. RFID Reader ID-20LA



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 23 se muestra la función de cada uno de los pines de los módulos ID-12LA, ID-20LA.

Figura 23. RFID Reader pines de salida de ID-12LA, ID-20LA



Bottom View

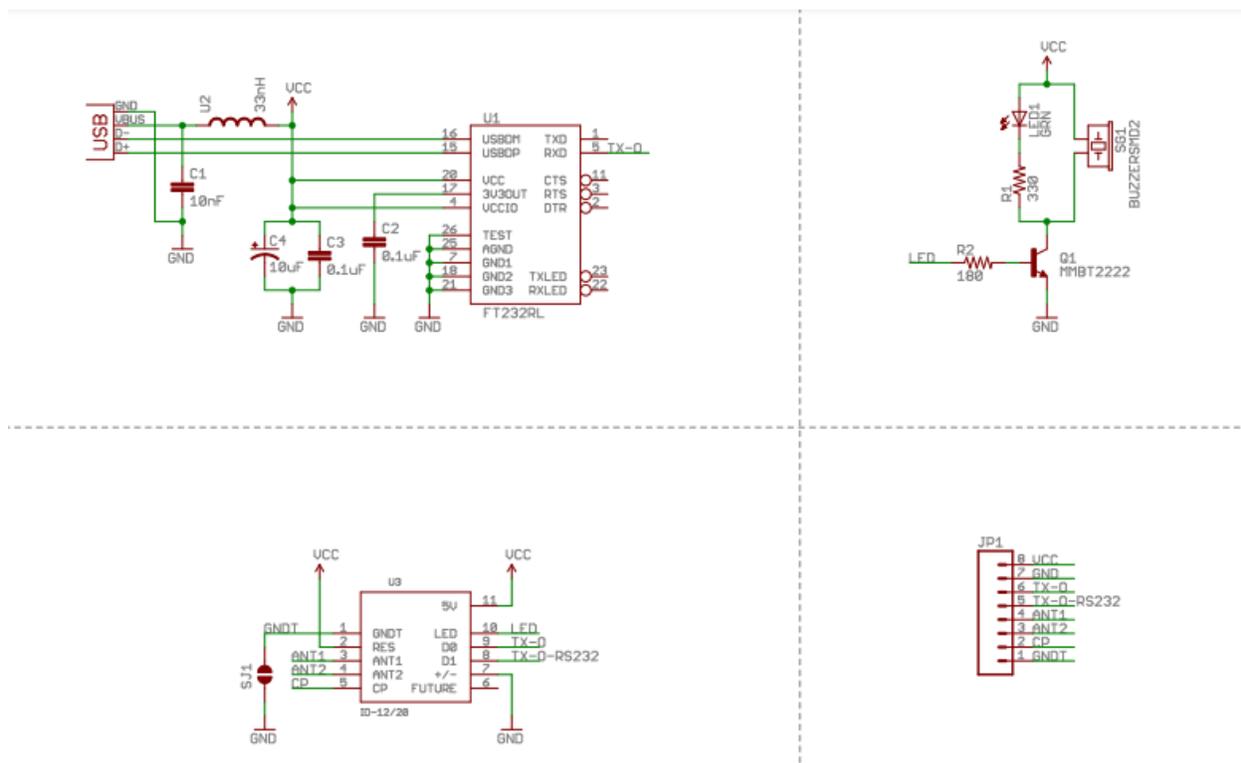
1. GND
2. RES (Reset Bar)
3. NC
4. NC
5. CP
6. Tag in Range
7. Format Selector
8. D1 (Data Pin 1)
9. D0 (Data Pin 0)
10. Read (LED / Beeper)
11. +2.8V thru +5.0V



Fuente: www.distrelec.biz/Web/Downloads/_m/an/KIT-13198_eng_man.pdf

En la figura 23 se puede observar el circuito electrónico que viene en la placa del RFID USB Reader en el cual se colocan los módulos reader.

Figura 24. RFID USB Reader



Fuente: https://www.distrelec.biz/Web/Downloads/_t/ds/KIT-13198_eng_tds.pdf

Este sensor consta de dos componentes un receptor y otro emisor por lo tanto en esta etapa se logra identificar la maquina (tren) y el momento necesario y justo para la activación del protocolo de cierre del cruce vial, ya que cada identificador tiene la autorización para poder iniciar el sistema, estos sensores reciben toda la información y ejecuta dos instrucciones, una es mandar la señal de activación para el sistema de cierre y la otra es mandar información a la pantalla de monitoreo que lleva el conductor del tren.

Para la colocación de este sensor se realiza la consideración de la velocidad del tren y una distancia anticipada que resulte prudente, en la cual se calcule el tiempo lo más exacto posible que permita la correcta activación de todo el protocolo de cierre en las vías y a su vez le permita el monitoreo correcto al chofer del tren en caso de alguna anomalía.

Figura 25. Colocación RFID



Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Colocación RFID



Fuente: Elaboración propia

Según el diseño propuesto dichos sensores tienen que tener dos etapas: La inicial la cual indica que el ese sistema se activará por primera vez por parte de la identificación ya conocida y única para esa tarjeta que da apertura a todos los sistemas previamente programados que tendrán un orden cronológico de secuencia con grado de importancia:

como numero 1: Señales auditivas, numero 2 Señales visuales, y como numero 3 cierre total con agujas.

Es importante para cada protocolo tener consideración del tiempo y distancia, por lo cual el lector se colocó aproximadamente 1 metro antes del cruce ferroviario donde le da un margen de 5 segundos para la activación de los 3 protocolos de cierre. Como segunda etapa se coloca después del cruce otro sensor que restaurará cada uno de los 3 protocolos donde los volverá a poner en un estado inicial para la siguiente activación por parte de otro identificador.

Independientemente del sentido del tren cada lector sabe si es cierre de cruce o si es apertura del cruce.

5.2.1.2. Sensor Magnético

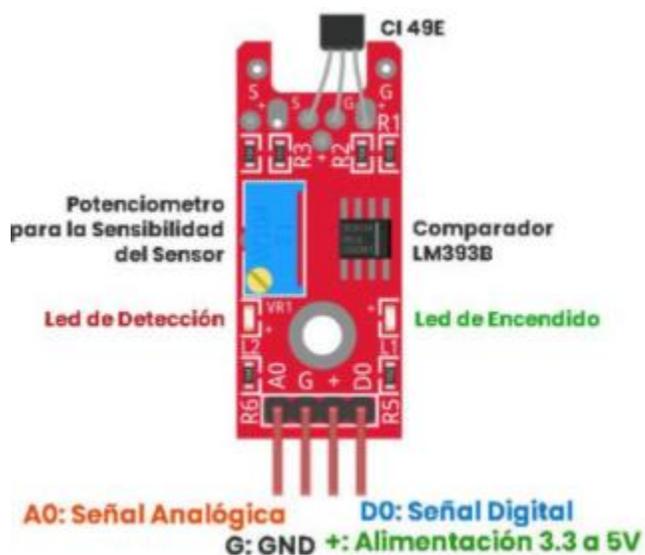
Este dispositivo de censado permite determinar una condición en la barrera de cierre, las cuales son el elemento más importante de cierre de un cruce ferroviario ya que las mismas son las que imposibilitan por completo el paso de los vehículos, por ende, al monitorear el cruce se tiene que demostrar de la forma más eficiente que efectivamente las barreras o bajaron o subieron y así tener el dato para poder observar en la pantalla de monitoreo.

Para la colocación de dicho sensor se instala el emisor sobre un poste vertical que se encuentra encima de los motores de las agujas a una altura considerable para evitar que se vea afectado por el vandalismo o condiciones ambientales, y por otro lado el receptor colocado sobre la barrera de detención vehicular; así mismo cuando la barrera se encuentre en una posición vertical mandara la señal constante de que las mismas no se

encuentran en modo de cierre (abiertas), pero sin embargo en el momento que se deje de percibir la señal el sensor logra enviar el dato de que la barrera se colocó en posición horizontal que a su vez sería el modo de cierre.

Dicho sensor se conecta de la siguiente forma: la salida analógica (A0) de la placa al pin A0 del Arduino y la salida digital (D0) al pin 3; se coloca la alimentación (+) y tierra (G) a 5V y GND respectivamente en la fuente de VCC.

Figura 27. Sensor magnético KY-025



Fuente: Fuente: <https://uelectronics.com/producto/modulo-ky-024-sensor-de-campo-magnetico/>

5.2.1.3. Control del Semáforo

Para este nivel de censado se realiza por medio de una programación en el Arduino donde lo que realice sea una medición de voltajes en las terminales de salida de cada color del semáforo y así poder monitorear de una forma más precisa si se están activando este dispositivo ya que por conveniencia del sistema lo más eficiente es poder tener un rango de voltajes de -1VDC a 1VDC donde la lectura continua de los voltajes por color

donde el voltaje esté dentro de este rango y signifique que el semáforo se encuentra apagado pero por el contrario cuando se encuentre en un rango de 3VDC a 5VDC indique que se encuentra en una condición de detención o activado, para mayor claridad se puede observar el comportamiento en las tablas 4 y 5:

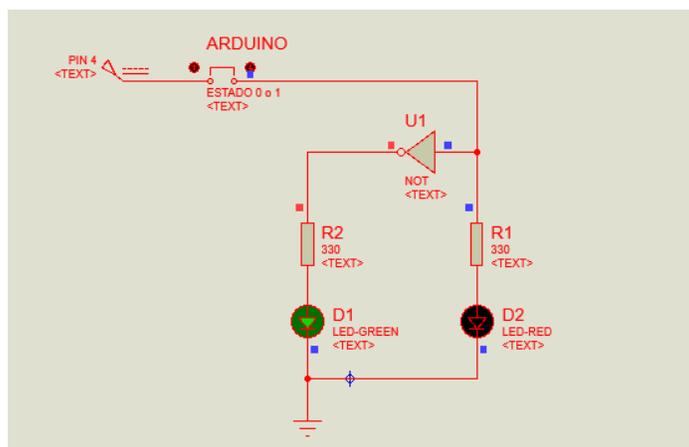
Tabla 4. Censado de semáforo activado

Medición	Verde	Rojo	Lectura	Condición
Voltaje	HIGH	LOW	3v a 5v	Desactivado
Voltaje	LOW	HIGH	3v a 5v	Activado

Fuente: Elaboración propia.

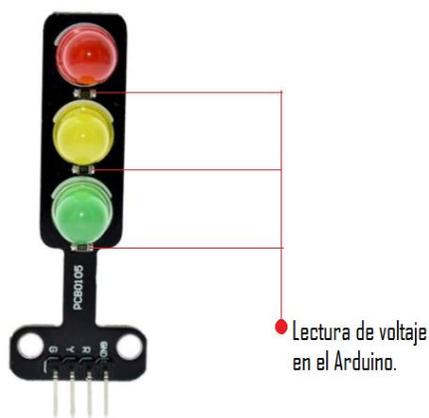
Para controlar el estado del semáforo para un funcionamiento más controlado e eficiente es importante que la condición de cierre empiece en conjunto con la activación del sonido intermitente de sonido para lo cual en paralelo una vez que se active los buzzer's el estado del semáforo en verde pasara a color rojo que significa detención vehicular, para lo cual y aprovechado el circuito controlador de sonido agregaremos una compuerta lógica NOT que cumple con la función de poner el semáforo en rojo una vez el sistema de sonido este activado mientras no lo este se mantendrá en color verde para comprender mejor esta situación podemos verlo en la Figura 28.

Figura 28. Compuerta NOT



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Lectura de voltajes en semáforo



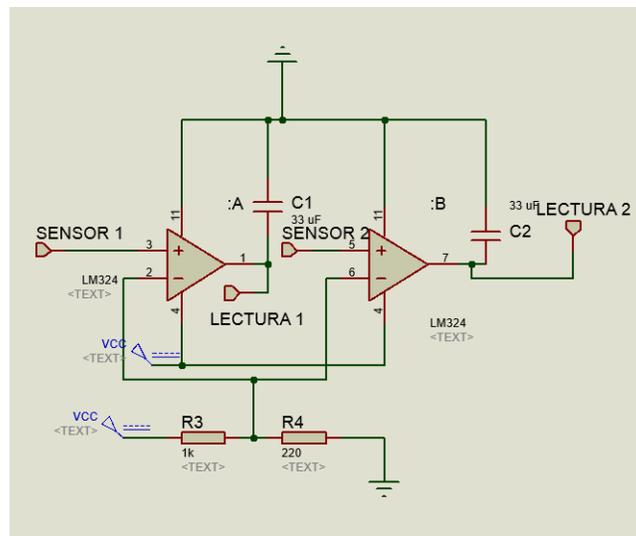
Fuente: Elaboración propia

5.2.1.4. Sensado de sonido

Para poder darse cuenta que las campanas de sonido informativas que indican no solamente el paso pronto del tren, sino que un sistema de detención esta pronto a activarse, se coloca un sensor de sonido en cada buzzer el cual cuando comience a sonar y cuando sobrepase el lumbral establecido manda la señal a un circuito comparador (ver figura 30)ya que el sonido emite mucho ruido y genera lecturas erróneas este a su vez envía el estado de voltaje al micro controlador y por lo tanto establece el mensaje de

altavoces sonando donde se ponen en modo activados correctamente, de igual manera cuando se encuentre por debajo del lumbral seteado manda la señal de altavoces silenciados que significa que se desactivaron de forma correcta.

Figura 30. Circuito comparador

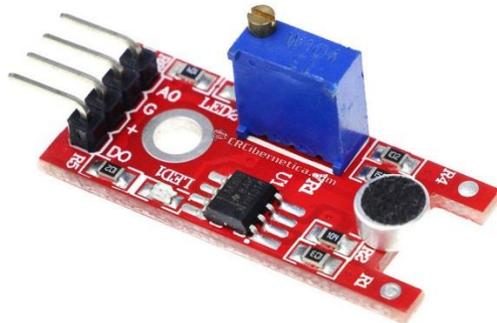


Fuente: Elaboración propia.

El sensor de sonido funciona de la siguiente manera:

- Sensibilidad del micrófono: 52Db
- Rango de frecuencia: 50Hz ~ 20KHz
- Alimentación: 3.3V ~ 5.3V
- DOUT: Salida de datos Digital (Digital data output).
- AOUT: salida de datos Analógica (Analog data output).
- GND: Ground (tierra).
- VCC: Voltaje de entrada.

Figura 31. Sensor de sonido



Fuente: <https://www.crcibernetica.com/sound-sensor-module/>

5.2.2. Control y potencia

5.2.2.1. Sistema de control

La activación de los sistemas se realiza mediante un micro controlador que es el encargado de dos de los procesos fundamentales en toda la activación del sistema, uno es la etapa de activación de los 3 protocolos de cierre de cruce que va de la mano con el sensor de RFID donde dicho sensor logra mandar una primera señal para que la reciba el controlador y la programación ya establecida comience hacer las diferentes rutinas donde las cuales se llamarán rutinas de cierre de cruce o rutina de apertura de cruce las cuales se encargan de tomar la información para poder poner en marcha todos los elementos importantes que conlleva el cierre del cruce férreo.

Para el proceso de cierre del cruce ferroviario el inicio del sistema aparece cuando el lector de RFID colocado a una distancia prudente del cierre recibe la información del TAG o la tarjeta única para cada locomotora que da inicio y manda la señal al arduino donde inicia la secuencia de cierre.

Para la secuencia de procesos se empieza primeramente por las alarmas sonoras donde los buzzer sonaran intermitentemente dando aviso a la aproximación del tren, pero a su vez al cierre del cruce.

5.2.2.2. Servomotores

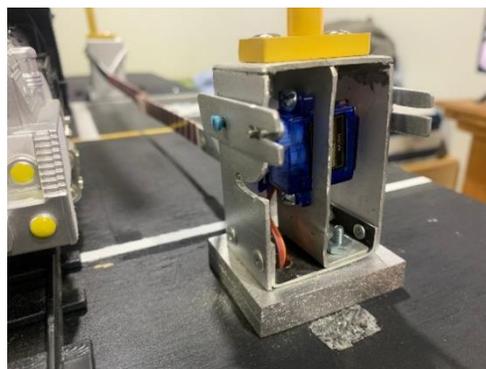
Para la colocación de los motores se crear un sistema mecánico el cual permite levantar las agujas que impiden el paso de los vehículos por el cruce férreo, por lo cual se colocan de forma donde se ejerza una fuerza de apalancamiento sobre agujas a tamaño escala.

Figura 32. Montaje de servos



Fuente: Elaboración propia

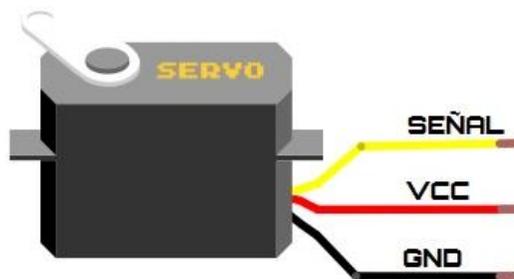
Figura 33. Montaje de servos



Fuente: elaboración propia

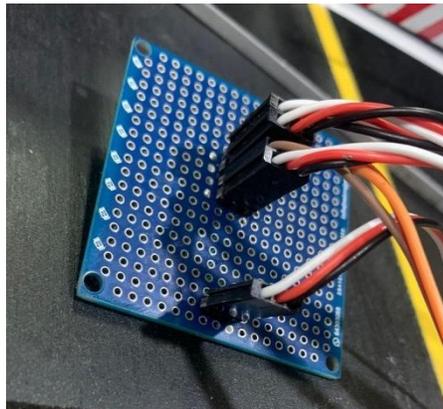
Los motores servo funcionan o se controlan mediante el envío de pulsos por lo cual se realiza la conexión de los 4 servomotores a una placa, se conectan todos en paralelo, y se controlen por igual, cada servo cuenta con tres cables donde sus colores son marrones (GND), rojo (voltaje positivo), naranja (señal del pulso), dichos motores trabajan con un umbral de voltaje directo que va de 4v a 6v.

Figura 34. Conexión de Servo



Fuente: <https://creatividadcodificada.com/arduino/controlar-servomotor-con-arduino/>

Figura 35. Conexión en paralelo de Servomotores

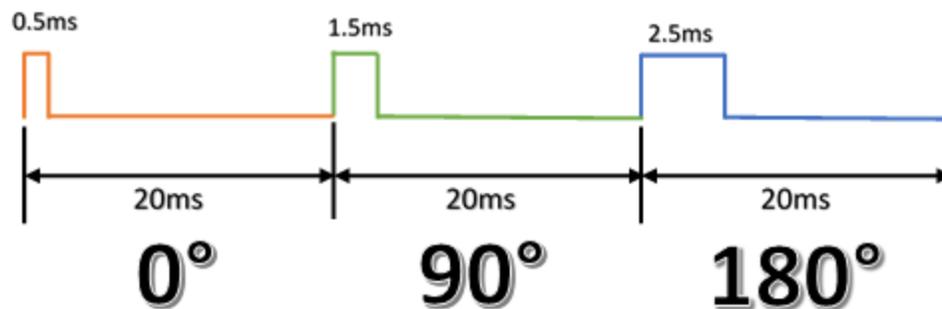


Fuente: elaboración propia.

El ciclo de funcionamiento de estos servomotores es de 0.5ms a 2.5ms, si se configura el servomotor a 0.5ms, se posiciona en 0 grados, y en 2.5ms se posiciona en 180 grados,

y la división de la diferencia entre estos números, podrá representar el resto de los valores.

Figura 36. Pulsos de Servomotor



Fuente: <https://creatividadcodificada.com/arduino/controlar-servomotor-con-arduino/>

El pulso que reciben los servos proviene de los pines de salida del arduino una vez que se activó la señal del RFID. Se puede mencionar que la librería que controla cualquier tipo de movimiento en el servomotor es la que se puede observar en la figura 37.

Figura 37. Librería Servomotor

```
#include <Servo.h>
```

Fuente: elaboración propia.

5.2.2.3. Semáforos

Para la detención vehicular se instalaron 2 semáforos que son únicamente controlados con el sistema de paso del tren por ende no afecta en el tránsito vehicular diario a menos que se haga presente el paso del tren.

Para diferenciar dichos semáforos de un sistema vehicular normal y un sistema férreo se utilizarán solo dos colores que serán el verde de paso libre y el rojo de detención total.

Estos semáforos funcionan cuando en la programación del sistema se activa el paso del tren, es el primer protocolo de detección activado, se inician con la secuencia de colores estándar:

- Verde: paso regular de vehículos.
- Rojo: detención por completo del flujo vehicular.

El semáforo esta simulado por dos leds de colores que trabajan con un voltaje de 5v. Según Duran (2000) menciona en el Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito que un semáforo de detención de paso del ferrocarril tiene que contener dos luces rojas oscilantes, el manual completo se puede encontrar en el Anexo 5, pero al ser este un proyecto de mejora se colocara una luz verde y otra roja por lo cual la activación de cada color es enviado desde el arduino por medio del pin 4 del arduino que trabaja en conjunto con el sistema de sonido

Figura 38.Semáforo ferroviario.

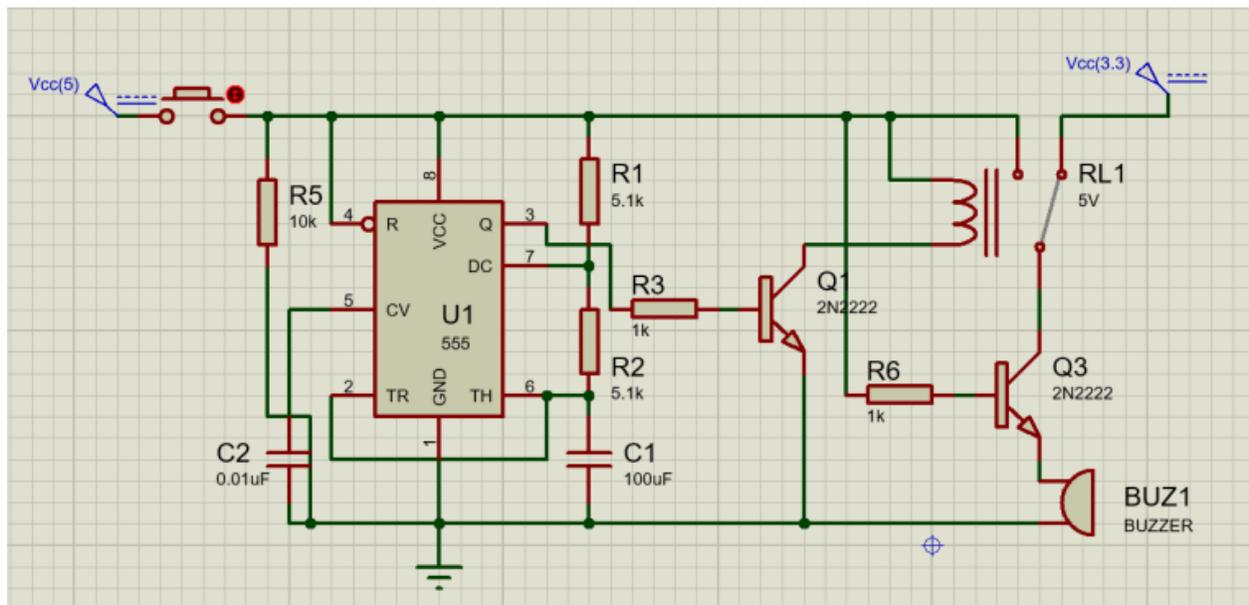


Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.4. Buzzer's

Los buzzer's están ubicados en cada sentido de la vía por encima de la caja de los motores esto para una mayor dispersión del sonido, estos buzzer's tienen un patrón de sonido controlados por un integrado de pulsos (555) el cual permite tener un sonido intermitente de precaución conocido por los conductores.

Figura 39. Circuito de pulsos para buzzer



Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Alimentación DC

Es importante contemplar que la alimentación para todo el prototipo no puede ser alimentada por un microcontrolador ya que todos los circuitos y componentes utilizados requieren de diferentes consumos y tienen que ser suplidos según sus requerimientos por ende se decide utilizar una fuente de alimentación obteniendo muy buenos resultados a la hora de alimentar todos los circuitos y componentes.

5.2.4. Comunicación

En cuanto a la comunicación del sistema es importante recalcar que tiene que ser constante y en tiempo real, ya que no se puede dar ningún atraso para la visualización por parte del chofer del tren. Para lo cual se tienen que utilizar dos arduino, uno que emite la señal desde el cruce y otro que recibe la señal desde el tren.

Utilizando dos antenas de trasmisión NRF24L01P, se utiliza la antena NRF24L01P + PA + LNA en el tren como receptor de señal por parte de la antena NRF24L01P + PA + LNA que estará colocada en el cruce del tren, emitiendo la señales que se podrán visualizar en la pantalla de monitoreo, dicha antenas tiene un alcance máximo de 1000 metros por lo cual será suficiente para que el chofer del tren tenga suficiente tiempo para visualizar el panorama del cruce antes de interceptarlo.

Figura 42. Colocacion de antena emisora



Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Colocación antena receptora



Fuente: Elaboración propia.

Las señales enviadas y recibidas que se mostrarán en la pantalla serán:

- **Activación o desactivación** de Buzzer's 1 y 2.
- **Activación o desactivación** de semáforos.
- **Activación o desactivación** de agujas 1 y 2 de cierre vehicular.

5.2.5. Monitoreo

Para lograr obtener una visualización y un mejor conocimiento de lo que sucede en el cruce ferroviario y así poder determinar una acción a manifestar por parte del chofer del tren es de vital importancia que el conductor del tren pueda observar en qué estado se encuentra cada uno de los elementos que componen el cruce del tren.

A continuación se muestra en una pantalla los de 3.5 pulgadas los datos iniciales para el monitoreo del cruce esta a su vez se encuentra enlazada con una antena receptora de

datos que mostrara en pantalla las diferentes condiciones pero muy importante resaltar que se tiene que considerar 32 condiciones que son todas la posibles combinaciones donde pueda fallar el sistema por lo tanto se podrán observar en la programación ver Anexo 6 (Programación.txt), inicialmente antes de que el sistema de cruce se active la pantalla se encuentra en modo de espera por lo cual muestra en pantalla el mensaje “estado” tal y como se muestra en la figura 44.

Figura 44.Estado inicial de pantalla



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente una vez que inicie el sistema de cierre en general y los sensores empiecen a funcionar se podrá ir mostrando en tiempo real el estado de los elementos que conforman el cierre de cruce férreo.

Considerando que todo el sistema está trabajando de una forma adecuada y cada sensor leyó el estado correcto que demuestra que el cruce es seguro se podrá observar en la pantalla de monitoreo como todos los sistemas se activaron. Se puede ver en la figura 45 todos los elementos en un estado de “Activo”.

Figura 45. Sistemas activos



Fuente: Elaboración propia.

Podemos demostrar mediante fallas previamente controladas la funcionabilidad del sistema como por ejemplo podemos ver en la figura 46, como se desactivaron las agujas y así el sistema lo detecto y mostro en pantalla el mensaje de “Desactivado”.

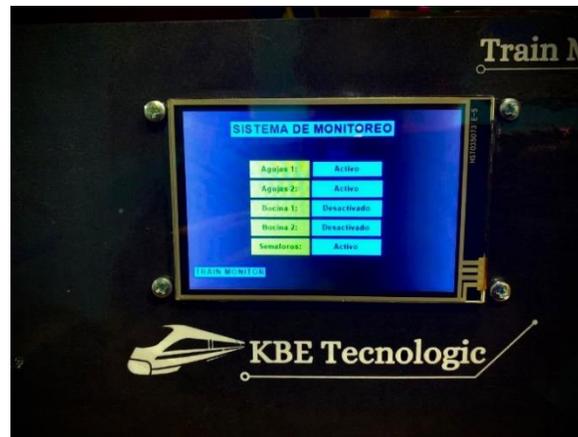
Figura 46. Desactivación agujas



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se puede observar en la figura 47 como desactivando los buzzer's que estos a su vez no están emitiendo ningún sonido y como el sensor hace la lectura y logra mandar el dato para que se pueda mostrar en la pantalla de monitoreo que los dos buzzer's están "Desactivados".

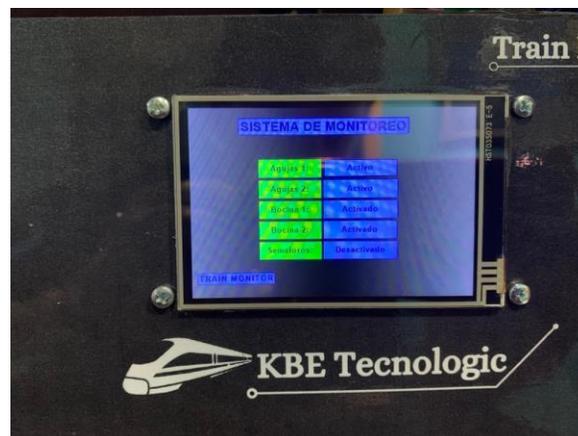
Figura 47.Desactivación de buzzer's



Fuente: Elaboración propia.

También se puede ver en la figura 48 como al provocar que el semáforo no funcione en este caso provocando que la luz roja no encienda como debe ser el estado de este pasara a ponerse en "Desactivado".

Figura 48.Desactivación de semáforos



Fuente: Elaboración propia.

5.3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

En el proceso de la construcción y puesta en marcha del prototipo realizado, se logró el desarrollo de forma gráfica en la figura 18, en la cual se expusieron las diferentes etapas que se llevaron a cabo para la realización del proyecto, sensado, control, comunicación, visualización, monitorización, de esta manera se puede juntar todo y se logró la realización del sistema de control y monitorización.

Utilizando las tarjetas “tag’s” y sensor el cual se encarga de recibir una señal de “frecuencia, se logra enviar una señal la cual dará inicio a los protocolos de armado y desarmado de cierre de vías, la cual el arduino se encarga de procesar todos los protocolos implementados para las diferentes operaciones actuales del sistema.

Una vez enviado la señal al arduino el sistema de control y todas las operaciones indistintamente si es apertura o cierre puestas en marcha será enviadas a la pantalla de monitoreo la cual determinará el estado de la situación actual por el cruce y así poder tener conocimiento y datos de referencia por si el conductor del tren tiene que tomar medidas de prevención.

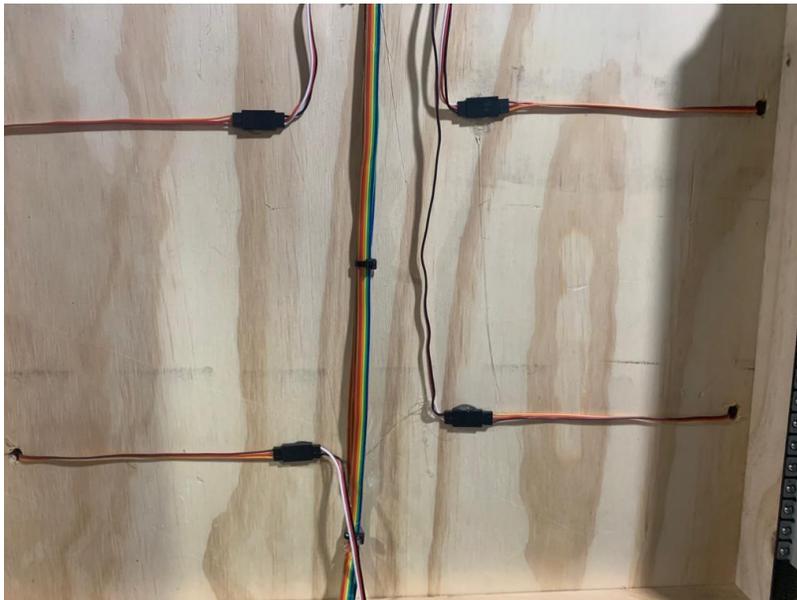
Los datos enviados por medio de la comunicación serán tomados en cuenta mediante se encuentre el estado de los sensores que determinan el correcto funcionamiento de todas las operaciones que llevan a cabo el armado y desarmado del cierre completo, así como la transmisión de datos en vivo para la monitorización.

Cada vez que se inició el armado del cierre, salen los aspectos más importantes que el chofer del tren puede observar para la seguridad del conductor vehicular, así como del

mismo y del tren. Se logra observar de manera detallada el estado en el que se encuentren cada protocolo de cierre de cruce, por ende, se determina su correcto funcionamiento.

Para la integración de todos los elementos utilizados (sensores, motores, agujas, semáforos, buzzer, arduino, antenas, pantallas), se utilizó una lámina de plywood 95cm por 1.20m de 9mm de grosor, donde se colocara una maqueta a tamaño escala con todos los componentes y materiales utilizados para llevar a cabo la demostración del sistema planteado, para la colocación de sensores de RFID se tuvo que crear cableado para poder llevarlos a una bandeja en la parte posterior donde iría todas las conexiones a su vez poder ordenar y cablear todo donde el montaje sea de forma segura y eficiente.

Figura 49. Cableado de sensores RFID



Fuente: Elaboración propia

La conexión de los sensores RFID se cableó y fueron colocados de forma en paralelo por lo cual se utilizó un conector DB 25 pines tanto macho como hembra el cual fue instalado de la siguiente manera y con un color definido tal como muestra la Tabla 6.

Para el cableado se utilizó cable 6 pines ribbon hasta el conector DB 25 macho donde fueron soldados en paralelo y de la misma forma se soldó en el conector DB 25 hembra y luego se instalaron las terminales que van al reader de RFID.

Algo importante es que en uno de los lectores de RFID se tiene que desconectar GND para el correcto funcionamiento de los lectores en paralelo ya que si se conectan ambas existe un conflicto de lectura.

Tabla 5. Conexión de cableado RFID

Salida RFID	Pin DB 25, Macho y hembra	Descripción de color
VCC	5	Azul
READ	6	Verde
D0	7	Amarillo
D1	8	Naranja
FORM	9	Rojo
TIR	10	Café
GND	22	Café
RES	21	Rojo
ANT	20	Naranja
ANT	19	Amarillo
CP	18	Verde

Fuente: Elaboración propia.

Figura 50. DB 25 hembra



Fuente: Elaboración Propia

Figura 51. DB 25 macho



Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Cableado de sensores RFID



Fuente: Elaboración propia

Para la colocación de las agujas o barreras de cierre se utilizaron 4 láminas de aluminio las cuales se le dieron forma para hacerlas lo más parecido a una ajuga de cierre de cruce férreo también se crearon 4 cajas de metal de 6cm por 4cm donde se lograron instalar los servomotores y colocar de forma que levantaran las agujas.

Al igual que los sensores RFID los servomotores se decidió colocarlos de forma paralela para que todos funcionaran al mismo tiempo, pero a su vez se tuvo que contemplar una alimentación por aparte para su buen funcionamiento.

Figura 53. Agujas de cierre férreo



Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Caja de servomotor



Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Instalación de servomotor



Fuente: Elaboración propia

El cierre del cruce fue programado de la siguiente forma para que la señal enviada por el RFID funcione adecuadamente se declara una variable como “Act” esta va a tener tres condiciones, la primera será cuando es igual a 1 ahí se activa el “tag” por primera vez y da inicio al protocolo de cierre.

Cuando la variable “Act” es igual a dos se enviará constante mente la información suministrada por el controlador de todos los procesos previamente ejecutados y así se podrá ver la monitorización del sistema.

También cuando la variable “Act” vale tres el sistema mandara una señal donde el “tag” se activó por segunda vez dando la señal de desactivación del cruce y cierre de todos los protocolos, se puede ver un segmento de la programación en la figura 56.

Figura 56. Programación ciclo de cierre de cruces

```

if(Act == 1){ //Se activa el tag por primera vez
digitalWrite(sistemasonido,HIGH);

delay(3000);
servvo.write(130);
delay(100);
Act++;
}

if(Act == 2){
|
digitalWrite(led,HIGH);
delay(500);
}

if(Act == 3){ //Se activa el tag por segunda vez
digitalWrite(sistemasonido,LOW);
digitalWrite(led,LOW);
servvo.write(0);
Act = 0 ;
}

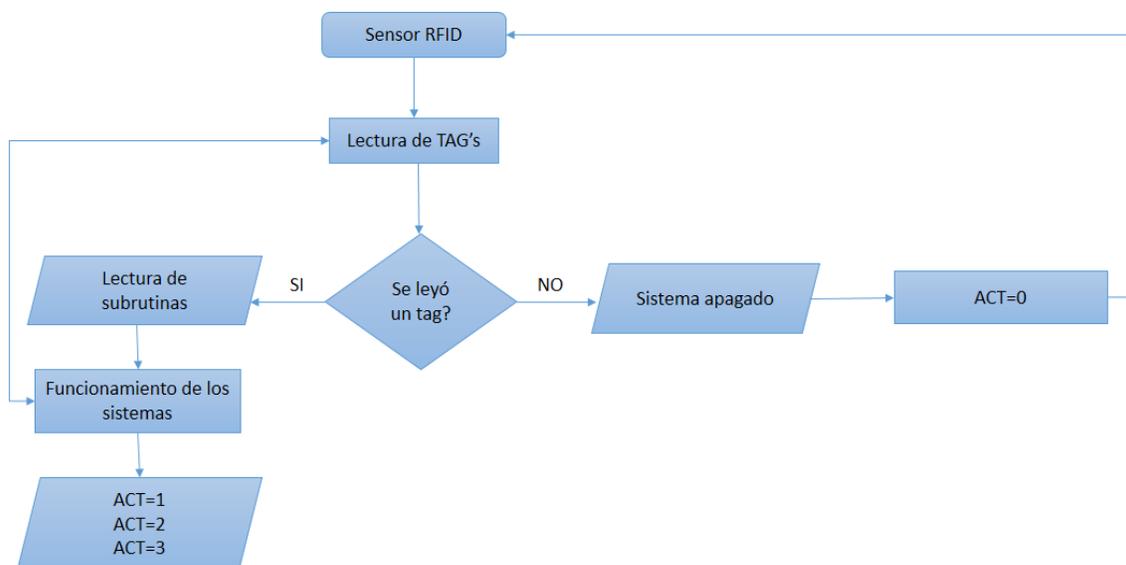
```

Fuente: Elaboración propia

5.4. Rutinas de programación para cada proceso controlado por el arduino

5.4.1 Rutina de Sensor RFID

Figura 57. Diagrama de RFID



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 57 se puede determinar cómo funciona el sensor RFID ya que este se encuentra en una lectura constante de tag's y mientras no reciba ningún dato de frecuencia se mantendrá en un estado apagado se puede ver la condición en la figura 58.

Figura 58.Sistema apagado

```
if(strlen(nuevoTag)== 0){ /*No hacer nada si el nuevo tag esta lleno de ceros*/
```

Fuente: elaboración propia

Pero al recibir algún tag's comenzara a leer las subrutinas previamente programadas para dar paso a los sistemas establecidos para el cierre del cruce y así como la transmisión de datos para la monitorización. Con relación a los tag's de Sparkfuns, recibiremos 16 bytes en cada tag leído, pero desecha 4. El decimotercer espacio siempre será 0, ya que las cadenas adecuadas en arduino terminan en 0.

Estas constantes contienen la longitud total del tag (Ltag), y la longitud de la parte que se desea mantener (Lid), además del número total de tag's que queremos comprobar (Ttags) tal y como lo muestra la figura 59 y figura 60.

Figura 59. Reconocimiento de tag's

```
const int Ltag = 16; /*tagLen*/
const int Lid = 13; /*idLen*/
const int Ttags = 4; /*kTags*/

char tagsconocidos[Ttags][Lid] = { /*knownTags[kTags][idLen], aqui van los tags que conozco*/
    "670099FF6E6F", /*Tag aceptado y reconocido*/
    "67009BA03864", /*Tag aceptado y reconocido*/
```

Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. Lectura de tag's

```

if(tag == true){
  while(rSerial.available()){
    Byteleido = rSerial.read(); /*Retira cada byte afuera del buffer serial, uno a la vez*/

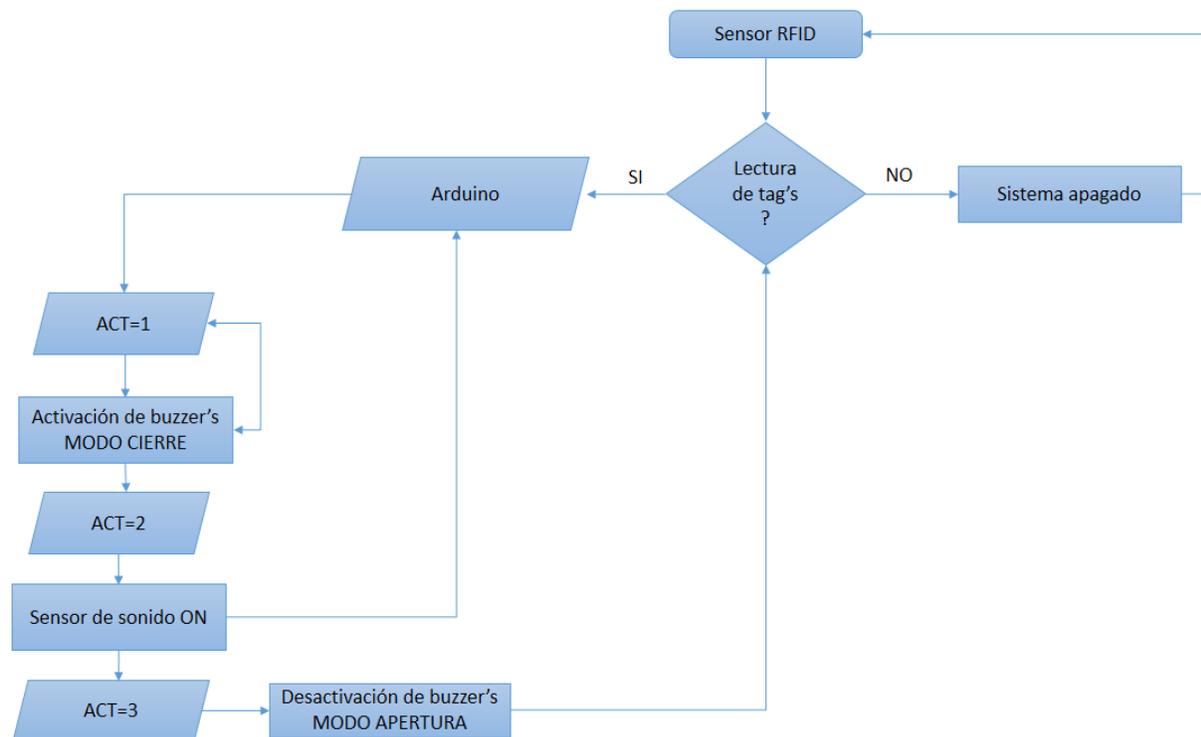
    if(Byteleido!= 2 && Byteleido!= 13 && Byteleido!= 10 && Byteleido!= 3){
      nuevoTag[i] = Byteleido;
      i++;
      /*Esto omitirá el primer byte:
      STX(2)=(Start of text) y los últimos tres:
      ASCII(13)= CR (Carriage Return)
      ASCII(10)= LF (Line feed)
      ASCII(3)= ETX (End of text), dejando solo la parte única de la cadena del tag. Pone el byte en
      el primer espacio en la matriz, luego avanza un lugar*/
    }
  }
  if(Byteleido == 3){ /*Si vemos el byte ETX, el tag ha terminado*/
    tag = false;
  }
}

```

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Rutina Sensores de sonido y Buzzer's.

Figura 61. Diagrama Buzzer's y Sensor de sonido



Fuente: Elaboración propia

Para la subrutina del sistema de sonido como se observa en la figura 61 una vez que el Tag es leído por primera vez manda la señal al arduino, este a su vez convierte la variable Act en un estado de “Act=1” para que envíe la señal al circuito que controla los buzzer’s y así comiencen a sonar en forma de alerta o intermitente, cuando estos buzzer’s están sonando pasan a la variable “Act=2” donde activan el lumbral configurado para la activación de los sensores de sonido y así mande el valor de voltaje tomado de circuito comparador para me indique en qué estado se encuentra el sensor, ya que por sí solo el sensor de sonido emite lecturas erróneas de voltaje en este caso se tienen que considerar 16 condicionales para ver en cual estado se encuentra el sensor, la verificación de dicho sensor se realiza como se muestra en la figura 62.

Figura 62.Estado de sensor de sonido.

```

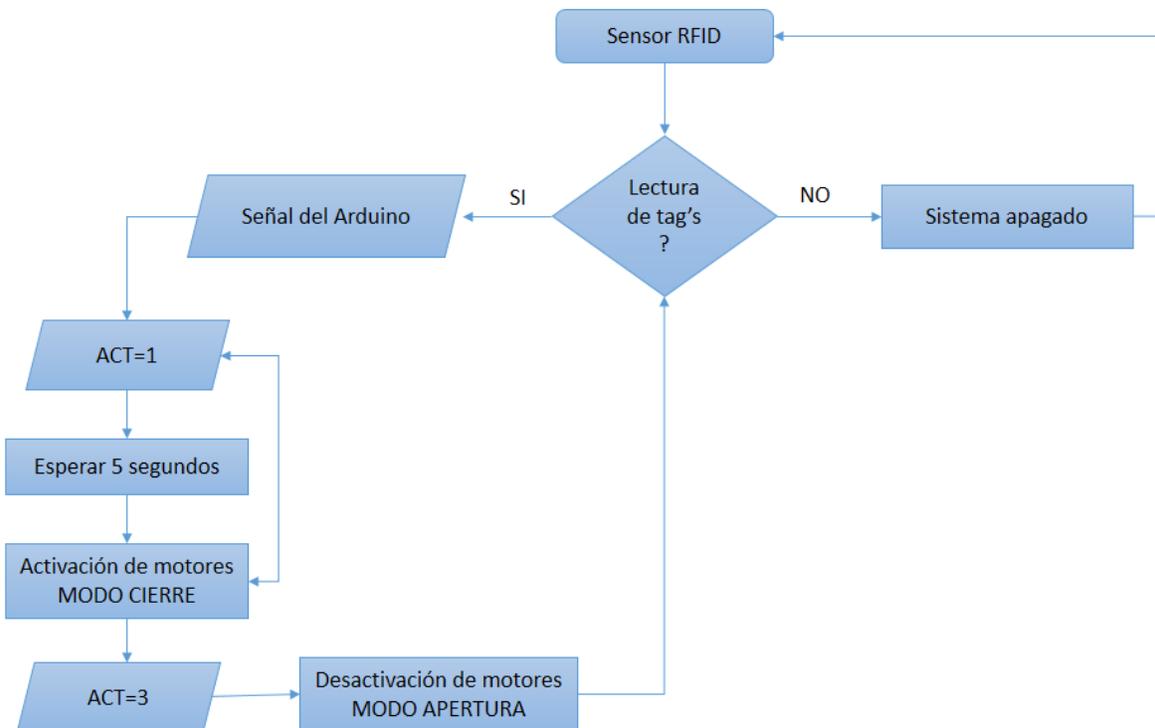
if(Act == 1){ //Se activa el tag por primera vez
digitalWrite(sistemasonido,HIGH);
delay(250);
for(int z= 0; z<3; z++){
  sensorson1= analogRead(0);
  delay(10);
  sensorson2= analogRead(1);
  delay(10);
  if(sensorson1 >= 100 && sensorson2 >= 100){
    Mensaje[0]= 'Q'; // Bien
  }else{
    Mensaje[0]= 'R'; // Mal
  }
}

```

Fuente: Elaboración propia.

5.4.3 Rutina de agujas de cierre.

Figura 63. Sistema de agujas



Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la figura 63 la rutina que controla los motores se desarrolló de una forma donde el sensor de RFID reconoce un tag leído y este da inicio a la variable llamada "Act" a colocarse en un estado de igual a 1 lo cual permite que entre en esa subrutina donde tendrá un delay de 5 segundos para la activación de los sistemas previos y así este sea el último en ponerse en funcionamiento, lo cual tendrá la activación de los 4 servomotores los cuales se moverán los grados suficientes para colocarse en modo de cierre.

Para entender el proceso se mostrará un segmento de la programación del arduino donde la variable Act deja de valer 0 y se coloca en 1 para ejecutar una subrutina. Ver figura 64.

Figura 64. Variable Act=1

```
if(Act == 1){ //Se activa el tag por primera vez
digitalWrite(sistemasonido,HIGH);
delay(100);
for(int z= 0; z<3; z++){
  delay(1000);
}
servvo.write(130);
delay(250);
Act++;
}
```

Fuente: Elaboración propia.

Una vez ejecutada la subrutina de la variable “Act=1” y cuando se lea nuevamente un Tag este segundo Tag indicara al arduino que debe entrar en la subrutina donde la variable “Act=3” y de la nueva señal a los motores para que realicen la apertura de las agujas y esta variable vuelva a quedar en un valor de “Act=0”, y así se repite el ciclo. Se puede ver en la figura 65.

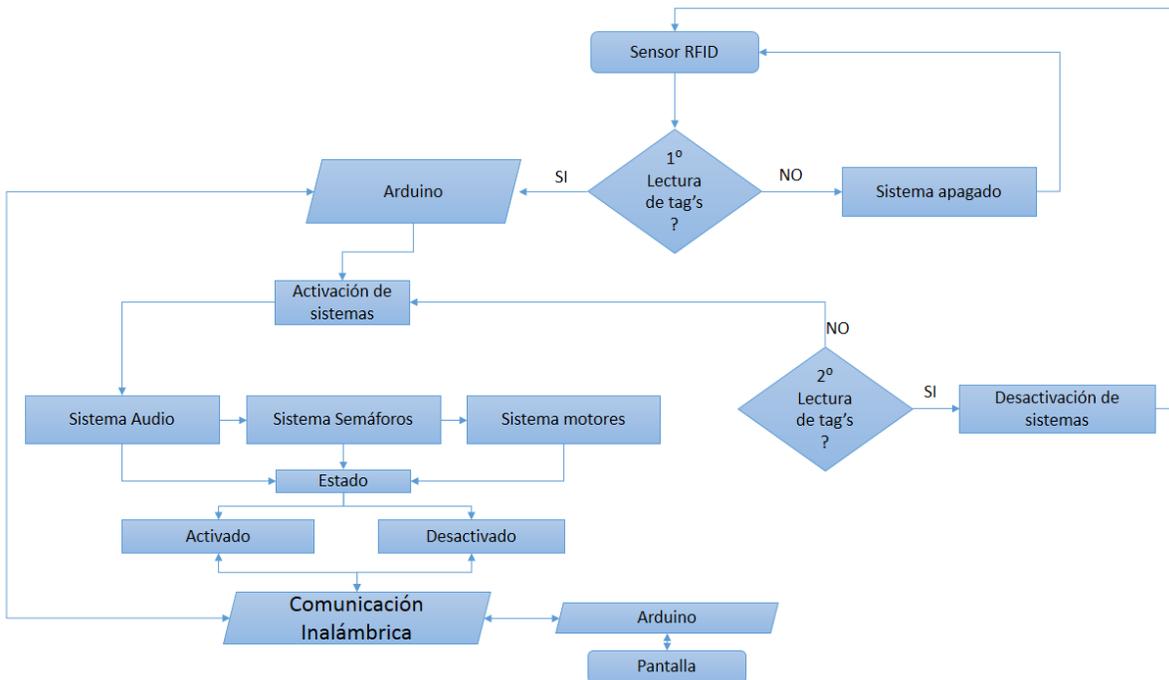
Figura 65.Variable Act=3

```
if(Act == 3){ //Se activa el tag por segunda vez
digitalWrite(sistemasonido,LOW);
servvo.write(0);
Act = 0 ;
}
```

Fuente: Elaboración propia.

5.4.4 Comunicación inalámbrica.

Figura 66. Comunicación inalámbrica.



Fuente: elaboración propia.

La incorporación de la comunicación inalámbrica se realiza mediante dos arduinos donde uno trabaja como el principal y el otro solo sirve como esclavo, también, así como dos antenas de comunicación de alto alcance para una mejor emisión y recepción de datos.

Como lo muestra la figura 66 una vez leído el tag que da inicio a la activación de todos los sistemas y estos a su vez cuentan con un sensor el cual me determinara el estado de cada uno de los sistemas, por ende esta lectura será lo que se lograra enviar a través de la señal inalámbrica así como todo el proceso de activación y desactivación de los sistemas esto en tiempo real y así poder ver en la pantalla la información necesaria correspondiente a cada estado proporcionado por los sensores para la visualización del cruce próximo a pasar el tren.

La transmisión de datos por medio del arduino principal donde este emitirá una letra asignada para cada condición según la lectura que tiene por parte de los sensores ya que tienen que ser consideradas 16 condiciones, por lo tanto, el arduino receptor, al recibir esa letra como un carácter específico y lo traducirá para mostrarlo en la pantalla según la condición asignada para cada letra, podemos ver en la figura 67 como se asigna cada letra a cada condición, así como su proceso de lectura.

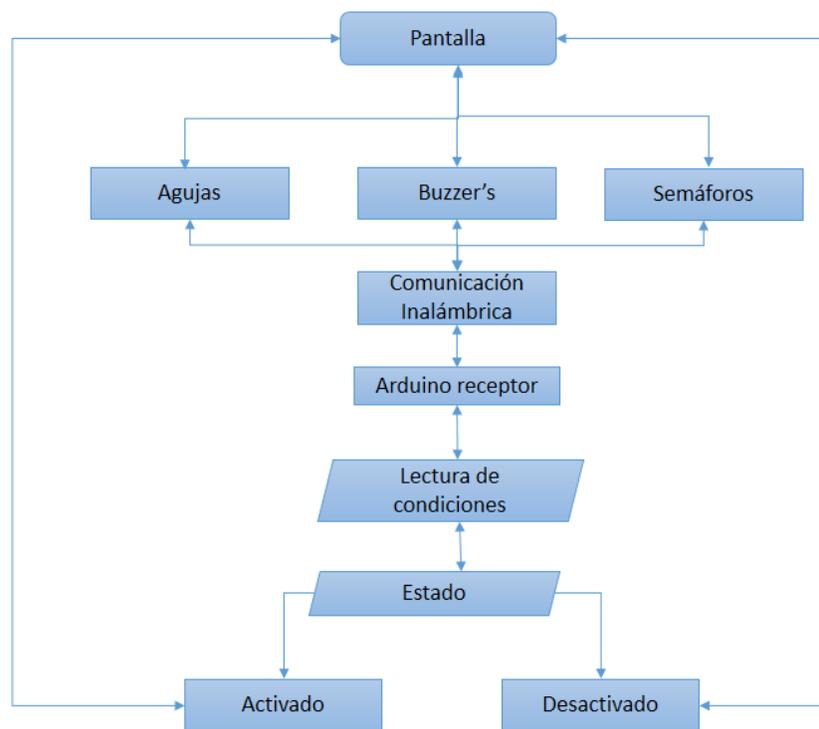
Figura 67.condición de cada estado

```
void loop() {  
  
  if(radio.available()){  
  
    radio.read(&Mensaje, sizeof(Mensaje));  
    Serial.println(Mensaje);  
    switch(Mensaje){  
      case'A':  
        digitalWrite(2,HIGH);  
        digitalWrite(3,LOW);  
        digitalWrite(4,LOW);  
        break;  
      case'B':  
        digitalWrite(2,HIGH);  
        digitalWrite(3,LOW);  
        digitalWrite(4,LOW);  
        break;  
      case'C':  
        digitalWrite(2,HIGH);  
        digitalWrite(3,LOW);  
        digitalWrite(4,LOW);  
        break;  
    }  
  }  
}
```

Fuente: Elaboración propia

5.4.5 Pantalla

Figura 68. Visualización de monitoreo



Fuente: Elaboración propia

Para la visualización de los estados en los que se encuentran los elementos que componen el cierre del cruce se implementó que los datos transmitidos en tiempo real fueran reflejados en una pantalla de monitoreo la cual indica en que condición se encuentra los elementos del cruce.

Cuando se inicia el sistema la comunicación inicial entre la pantalla y el arduino se encuentra es espera hasta que inicie el sistema de comunicación inalámbrica por lo tanto los elementos se encontraran en una condición de “Estado”, una vez que el sistema inicie y todos los elementos estén trabajando esta cadena de datos será transmitida al arduino transmisor y a su vez este se encuentra conectado con la pantalla que puede modificar el estado en “Activado o Desactivado” según la condición previamente evaluada en la rutina.

A continuación se muestra un segmento de la rutina de programación cuando todos los sensores se encuentran correctamente conectados y todo el sistema está activado correctamente figura 68 y también en la figura 69 como se definen los estados para que la pantalla sepa interpretarlos.

Figura 69.Estados de los sensores

```
case'P':
  Serial.print("t5.txt=\"); // Aguja 1, funcionando bien
  Serial.print(estado1);
  Serial.print("\");
  espacios();
  Serial.print("t6.txt=\"); // Aguja 2, funcionando bien
  Serial.print(estado1);
  Serial.print("\");
  espacios();
  Serial.print("t7.txt=\"); // Bocina 1, funcionando bien
  Serial.print(estado1);
  Serial.print("\");
  espacios();
  Serial.print("t8.txt=\"); // Bocina 2, funcionando bien
  Serial.print(estado1);
  Serial.print("\");
  espacios();
  digitalWrite(2,LOW); // Led Rojo y Buzzer
  digitalWrite(3,HIGH); // Led Verde
  break;
```

Fuente: Elaboración propia.

Figura 70.Nombre de los estados.

```
const uint64_t pipeIn = 0xE8E8F0F0E1LL;
char Mensaje= "";
String estado1 = "Activado";
String estado2 = "Desactivado";
String neutro = "Estado";
```

Fuente: Elaboración propia.

5.5. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

El prototipo que se construyó para la simulación de un cruce ferroviario para lograr la demostración de la mejora del sistema actual debido a que no se puede implementar de forma física y real por las circunstancias ya conocidas podemos apreciar en una maqueta el funcionamiento y los resultados que se podría obtener a la hora de implementar el proyecto de forma real y más robusta.

La maqueta cuenta con una línea férrea de un sentido tal como las que tenemos en Costa Rica así como dos sensores RFID colocados estratégicamente para lograr determinar la poca visibilidad que perciben muchos conductores de tren a la hora de interceptar un cruce férreo, también se instaló un cruce de los más comunes que existen a nivel vial en nuestro país que consta de dos vías de un sentido cada una las cuales contarán con 4 agujas de cierre esto para imposibilitar cualquier mínima apertura de paso para cualquier tipo de vehículo.

Por otra parte se instalaron sensores que podrán determinar el estado del objetivo que queremos lograr con cada sistema, ya que se instalaron 2 buzzer's uno por vía dentro de una caja que llevara a su vez un sensor de sonido por caja que permitirá medir que a la hora de iniciar el protocolo de cierre se activó el audio y este fue percibido en un perímetro a la redonda donde se encuentra el cruce, también se instaló 2 sensores magnéticos en las agujas lo cual fueron colocados estratégicamente y con la finalidad de que en ambiente físico de su entorno no altere la condición del estado de las agujas ya que es poco probable que exista algo que genere un campo magnético como lo haría un imán a su vez se colocaron en la parte superior de la aguja para saber si estas son

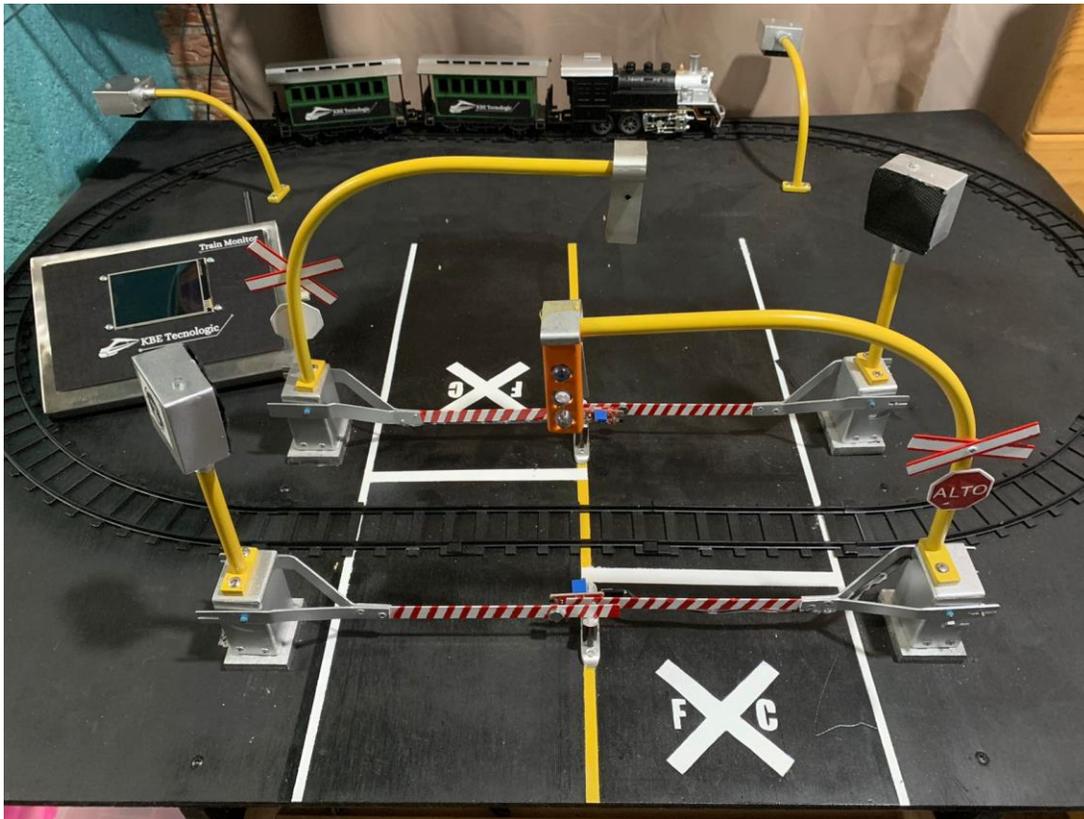
quebradas, si alguna de las dos no se cerró o si están trabajando de mala forma ya que en un extremo de la aguja se encuentra el sensor y en la otra aguja que se encuentra de forma paralela se colocó el imán que genera el campo magnético para que el sensor se active.

Se colocaron 2 semáforos tradicionales, pero de los cuales serán utilizados para la interpretación de la apertura o cierre del cruce férreo por ende se utilizarán solo dos colores, el color verde significa que no ha iniciado ningún proceso de cierre y no existe presencia del ferrocarril, pero el color rojo significa que el protocolo de cierre se inició así que el flujo vehicular tiene que detenerse por completo.

La maqueta refleja con la mayor exactitud el cruce férreo, así como las vías por ende se encuentra demarcación vertical y horizontal, colores reglamentarios, señalización estipulada.

Por otra parte, se incorpora una pantalla LCD en un gabinete que se pensó en ser colocado en el tren el cual es el que recibe la transmisión de datos en tiempo real cada vez que el tren activa el sistema de cierre vial para los cruces férreos este dispositivo es inalámbrico y maneja una batería que dura aproximadamente 8 horas de carga para evitar cualquier contratiempo.

Una vez explicado el prototipo de la condición de funcionamiento final se puede observar en la figura 71 donde se aprecia con mayor claridad cada uno de los elementos implementados.

Figura 71. Maqueta terminada

Fuente: elaboración propia.

Para las rutinas de programación que se utilizaron para implementación de cada sistema podemos identificar con facilidad que todo el sistema arranca desde el sensor RFID el cual es el encargado de las lecturas de los tag's únicos asignados para cada locomotora, cuando existe una lectura de tag envía la señal de frecuencia al arduino que detecta la identificación previamente configurada para dar inicio a la activación de los sistemas principales del cierre del cruce, de lo contrario el sistema se mantendrá desactivado.

Posteriormente a esto con la lectura del tag y el inicio de los sistemas tendrán un orden paulatino y coherente para un mejor resultado, una vez activado el tag por primera vez sea activara el sistema de audio y comenzaran a sonar los buzzer's en modo intermitente

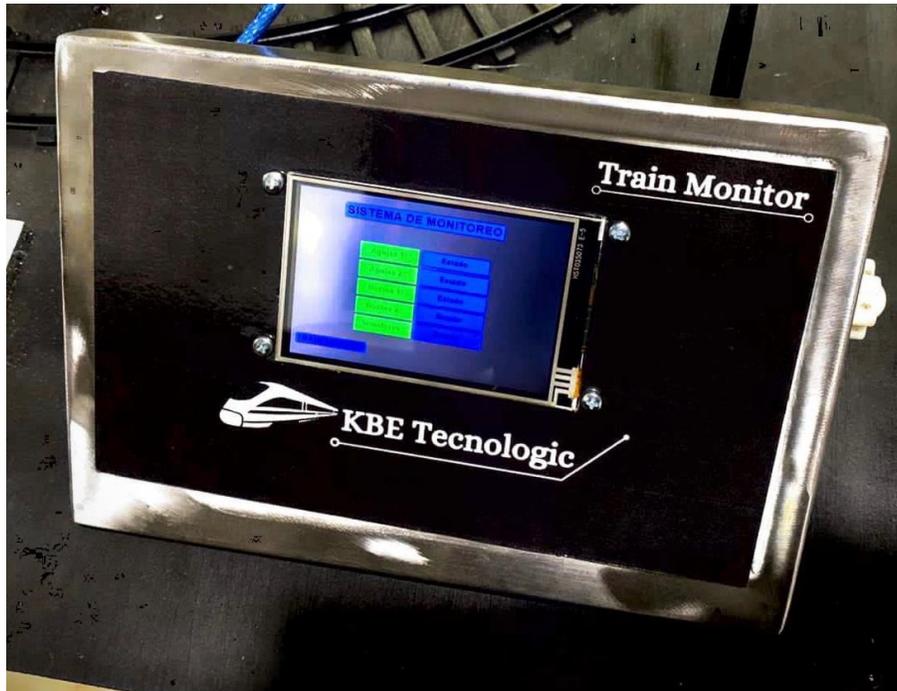
y el sensor de sonido comenzara a captar la señal de audio que es leída como una lectura de voltaje y enviada al arduino y a su vez enviada a la comunicación inalámbrica.

Casi que inmediatamente comenzara a funcionar el semáforo el cual pasara de estar en luz verde a luz roja y a su vez estos estados de on y off se verán reflejados como una lectura de voltaje que recibe el arduino y me genera una condición para ser enviada a la comunicación inalámbrica.

Calculando estos dos sistemas anteriores con orden de prioridad después de 3 segundos se comenzarán a activar las agujas de cierre de vías que contienen los sensores magnéticos y cuando las agujas estén en posición de cierre el sensor captara si se generó o no el campo magnético para que esta lectura de voltaje sea leída a través del arduino y posteriormente enviada a la comunicación inalámbrica.

Cada sistema está directamente conectado de forma que envíe los datos en tiempo real al sistema de comunicación inalámbrica, ya que un sistema está conectado al arduino principal que será el emisor y el otro sistema de comunicación conectado a un segundo arduino que trabajara como receptor donde todo lo que recibe lo va a mostrar en mensajes de los estados de cada uno de los sistemas y así se logra observar en la pantalla que tiene conectada el gabinete portátil, ver figura 72.

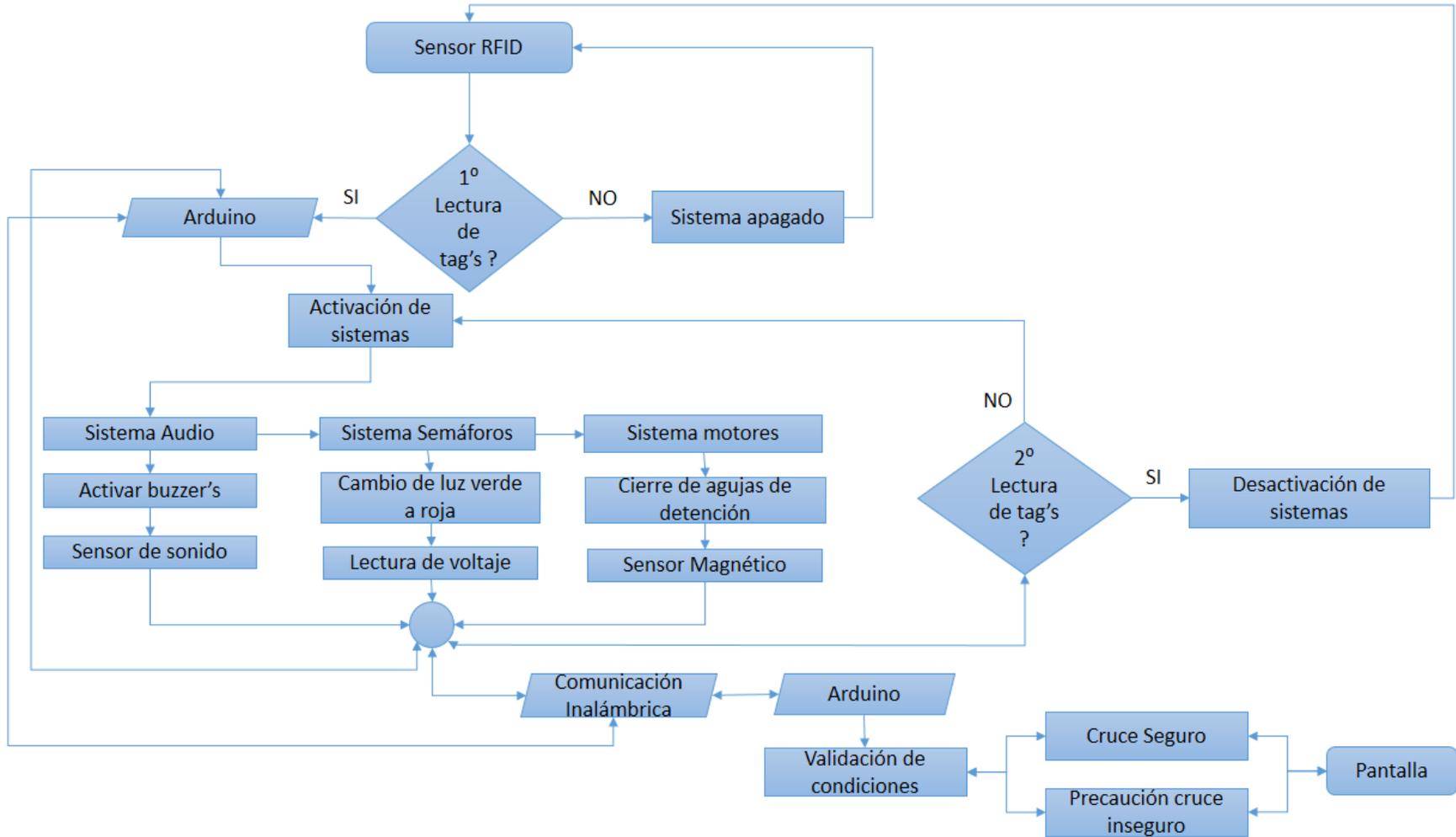
Figura 72. Gabinete de pantalla



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, a lo descrito anteriormente se puede observar en la figura 73 el diagrama general de la rutina de programación, así mismo podrá obtener toda la programación completa del prototipo en el Anexo 6 (Programación.txt) donde están tanto la programación-general como la programación- receptor.

Figura 73. Diagrama general del prototipo



Fuente: Elaboración propia.

5.6. VALOR DE LA IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación del prototipo se hace un desglose de diferentes materiales utilizados para el diseño, implementación y construcción de todo el sistema de control y monitoreo para los cruces ferroviarios esto se muestra en la Tabla 7, también se muestra las cantidades utilizadas y el costo de cada material que se utilizó.

Tabla 6. Costo de materiales usados

Artículos	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Adaptador de voltaje 12V, 3.3A	₡ 25 757.36	1	₡ 25757.36
Antena NRF24L01	₡ 2 838.34	2	₡5676.68
Arduino UNO	₡ 23 150	2	₡46 300
Buzzer 12mm	₡ 1 118.13	2	₡2 236.26
Cable ribbon 6 wire	₡ 3 411.81	2	₡6 823.62
Cajas metálicas	₡ 1500	8	₡12 000
Conector DC hembra	₡ 451.31	1	₡451.31
Conector DC macho	₡ 322.37	1	₡322.37
Conectores hembra	₡ 223.39	3	₡670.17
Espaciadores con tuerca	₡ 97.47	24	₡2 339.28
Header hembra 2mm	₡ 275.24	2	₡550.48
Header macho	₡ 258.03	2	₡516.06
Interruptor ON/OFF	₡ 1030.40	1	₡1 030.40
Jumper macho-Hembra	₡ 56.99	40	₡2 279.60
Kit RFID	₡ 36 336.85	1	₡36 336.85
Lamina Pywood 9mm	₡ 21 950	1	₡21 950
Placa de cobre perforada	₡ 688.08	5	₡3 440.40
Pantalla LCD	₡ 32204.76	1	₡32 204.76
Reader RFID	₡ 25047.91	1	₡25 047.91
Regulador de voltaje 7805	₡ 401.38	2	₡802.76
RFID Breakout reader	₡ 2 494.41	3	₡7 483.23

Servomotores	€ 2 769.34	4	€11 077.36
Soldadura 0.8mm	€ 430.06	5	€2 150.3
Spray colores	€ 1325.43	6	€7 952.58
Tren con vías	€ 35 000	1	€35 000
Tubo de aluminio ½'	€ 2 175	1	€2 175
TOTAL			€284 622.16

Fuente: Elaboración propia

A pesar de la gran cantidad de materiales requeridos para la creación de la maqueta todos se lograron encontrar en el mercado nacional. Sin embargo, a pesar de tener todos los materiales disponibles y tiene que tomar en cuenta los gastos que conlleva el diseño, programación, construcción de maqueta, utilización de componentes electrónico y circuitos integrados, además de la creación de instrumentos o partes para ensamblar diferentes hardware.

Para contemplar lo invertido se debe considerar los costos por mano de obra donde se da inicio por la realización de un diseño con conocimientos técnicos y diferentes análisis para lograr seleccionar lo componentes que realmente se necesitan para cada etapa del prototipo.

La colocación de diferentes componentes en el prototipo se tiene que considerar donde ensamblarlos y probar que el diseño sea correcto para su correcto funcionamiento

Al tener identificado todo lo necesario para la construcción se procede con la compra de todos los componentes para poder realizar las pruebas y luego ensamblarlos y así indican su buen funcionamiento.

Todos los gastos son calculados tomando en cuenta las tarifas establecidas por el ministerio de trabajo y seguridad social de Costa Rica en su más reciente versión.

Lo mencionado anteriormente se logra detallar en la tabla 8, donde se muestra la cantidad de horas invertidas en la creación del prototipo.

Tabla 7. Costo de implementación del prototipo

Creador	Descripción de Trabajo	Costo por hora	Cantidad total de horas	Total
TÉCNICO EN ELECTRÓNICA	Compra de materiales	₡2 875	6	₡17250
	Diseño del sistema	₡2 875	30	₡86 250
	Instalación del sistema	₡2 875	18	₡51 750
	Programación	₡2 875	60	₡172 500
	Pruebas de funcionamiento	₡2 875	55	₡ 158 125
TOTAL			169	₡485 875

Fuente: Elaboración propia

La ejecución de este proyecto presenta varios beneficios primeramente la implementación de una tecnología diferente en la cual se podrá utilizar sin ningún inconveniente. También la eficacia del sistema ya que es mejor que el utilizado actualmente en el país ya que permite conocer y actuar mucho más rápido en una eventual emergencia, y no solo eso, sino que permite una mayor autonomía de cada cruce, y trata de no involucrar al conductor del tren a la hora de la activación de algún

cruce manual, también indica el estado de los cruces, así como también la eventuales averías que puedan ser causadas por el entorno que las rodean.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Con la finalización de la implementación de un prototipo electrónico para un sistema de monitoreo en cruces ferroviarios para la prevención y reducción de accidentes de tránsito, que permita la mejora del sistema vial en Costa Rica, durante el segundo semestre 2021 se concluye que:

El desarrollo del prototipo mostro que en Costa Rica es importante que la infraestructura férrea deje de estar tan limitada y tenga nuevos avances que conlleven a la mejora de este servicio que es de gran utilidad para el traslado de personas y movilización de mercaderías que le generan desarrollo económico al país.

Al recolectar información para analizar el sistema actual utilizado por la entidad de transporte férreo para los cierres de cruces se logró determinar las carencias y fallas que posee este sistema actual, así como la ejecución manual de algunos cruces férreos que generan un retroceso en avances tecnológicos y también infraestructura no solo vial sino férrea, por lo tanto permite determinar de qué manera se puede automatizar y ejecutar de manera más autónoma y sencilla la cual funcional para que el sistema trabaje de forma adecuada y eficiente.

En la recolección de información se determina cuáles son las causalidades más comunes y reincidentes de incidentes viales que demuestra los comportamientos más comunes en los cruces férreos a nivel vehicular y así también se logra categorizar los cruces para darles un valor de peligrosidad.

En el país existen en su gran mayoría cruces férreos donde se ven interrumpidas por dos vías de un sentido vial cada una por lo cual dicho proyecto lleva a determinar que la

implementación más común sería implementada en cruces donde se encuentren dos vías de ambos sentidos y así poder sustentar casi la gran mayoría de cruces férreos.

Mediante la investigación y estudios se llevó a cabo la selección de los componentes y equipos adecuados para un proceso confiable y estable, ya que es de vital importancia que cada componente cumpla con los requisitos que generen lo que se quiera obtener a nivel de prototipo y así también que permita poder replicar y escalar la tecnología a un proyecto de implementación real y que sea de interés público.

Mediante el desarrollo del sistema podemos determinar de una forma satisfactoria que la tecnología utilizada es mucho más productiva y beneficiosa que la que se encuentra actualmente utilizada ya que de primera instancia en muchos cruces automatiza por completo los cierres y también así logra generar un monitoreo para el chofer del tren que lograra obtener un estado del cruce férreo.

Se logró identificar que procesos de cierre de cruces se realizan de forma manual así también se determinó el poco o nulo monitoreo de parte del conductor del tren con respecto a los cruces férreo a la hora de ir atravesando cada uno de ellos en algún sentido de la ruta lo cual un proyecto como estos le da un valor agregado de seguridad y controla el chofer.

Ante la situación actual que tiene los choferes de trenes donde el indicativo de un cruce seguro lo determina un semáforo de dos colores colocados a metros antes del cruce ferroviario y sobre la línea férrea se logra concluir que la ambigüedad o poca interactividad directa con el chofer es una condición que no permite un mayor avance tecnológico ni tampoco una seguridad a la hora de la determinación de un cruce seguro o no, así que el chofer con este tipo de tecnología se siente poco confiado ya que el

principio de funcionamiento da poca claridad de la situación actual en el cruce, por ende la implementación de un monitoreo en tiempo real colocado en la cabina de la locomotora genera una solides de datos confiables que demuestran la utilidad del monitoreo para el chofer del tren ya que así su perspectiva e interacción con el cruce le da mucho más conocimiento de en qué condición se encuentra el cruce y así poder tomar acciones preventivas o bien sentir la confianza de transitar sin ninguna preocupación.

Partiendo de que el la tecnología actual del sistema implementado tiene muchas limitaciones y una gran cantidad de desventajas, podemos determinar que el sistema del prototipo permite demostrar que se puede mejorar en muchos aspectos como por ejemplo, al ser un sistema de radio frecuencia podemos elegir de una forma manual mostrando o no al sensor la lectura del tag, esto permite que cuando el tren este en una parada el sistema no se active hasta que el chofer del tren así lo determine por ende el congestionamiento vial se reduce al no estar activado todo el tiempo que el tren hace la parada para subir pasajeros.

La incorporación de más elementos de precaución y detención permite optimizar que los cruces sean mucho más seguros y se logre reducir la accidentabilidad o mortalidad por parte de las imprudencias de los ciudadanos que transitan en sus vehículos por los diferentes cruces.

La obligatoriedad de detenerse y percibir sistemas de alerta por parte de los conductores vehiculares genera que se reduzca las probabilidades de que exista algún vehículo que choque con el tren y genera un incidente y así se logra reducir y evitar que existan daños fatales que generen pérdidas humanas o materiales y a su vez se mejora la circulación y congestionamiento vial.

Poca eficiencia de las entidades públicas para la solución de problemas sencillos, ya que podemos identificar que los problemas e inconvenientes pueden ser solucionados de forma inmediata con soluciones que se encuentran al alcance y con métodos fáciles de incorporación y también donde el costo de implementación no es elevado, pero sin embargo y debido a la alta burocracia de las instituciones públicas, cualquier tipo de implementación por más simple que sea tiene que ser sometida a una cantidad de estudios preliminares para poder ser considerada como un proyecto viable y razonable, posteriormente la generación de los concursos para un cartel de licitación en los cuales se tiene que ser sumamente minuciosos y comenzar a considerar la gran cantidad de solicitudes y requerimientos para optar para una posible preselección.

Por otra parte la poca anuencia de parte de las instituciones públicas a escuchar y considerar nuevas tecnologías por parte de una empresa o persona no gubernamental o no posicionado en la industria y que se dé a la tarea de identificar un proceso en el que se puede incrementar la productividad u optimizar un sistema, pero para lograr lo que desea tiene involucrar a terceros que se subcontratan y serán los encargados de llevar a cabo la tarea o actividad, por lo cual está poca apertura causa que muchos proyectos y avances queden sin implementar y así poder ir mejorando y ser un país con un desarrollo más apresurado y con mucha más tecnología funcional.

Al tener la limitante de no poder contar con la apertura de las entidades públicas relacionadas con temas férreos y viales tal como son INCOFER y COSEVI, la implementación de forma real no se lograra realizar y así mismo será imposible definir costos de componentes, materiales, implementación y lo necesario para poder llevarlo a cabo ya que esto conlleva a considerar muchas cosas que van dentro de un cartel de

licitación si este tipo de proyectos saliera a concursos externos, por eso se realiza a nivel prototipo y pruebas de laboratorio una consideración de todos los costos que genere poder demostrar todo un sistema y un prototipo en una maqueta a pequeña escala.

6.2. RECOMENDACIONES

El alcance concretado para este proyecto en la etapa de monitorización se recomienda desarrollar e implementar por medio de antenas de radio frecuencia la actuación de control del cruce donde el conductor del tren pueda terminar el momento exacto donde realiza el cierre o la activación de cada proceso sin necesidad de ocultar el tag ante el sensor y que por medio de la pantalla pueda decidir que controla en tiempo real.

Se recomiendo agregarle al sistema un enlace a una central de monitoreo por medio de un sistema satelital con GPS donde se logre observar todos los cruces a su vez y obtener la información en tiempo real y que tampoco sea solo el chofer el que tenga la decisión o visualización del sistema sino que el personal a cargo de la central de monitoreo puede dirigir comandos u órdenes de lo que sucede mientras el tren realiza toda su ruta ya que se podría monitorear todo el recorrido en tiempo real.

Para obtener una visualización del cruce se recomienda implementar un sistema de video vigilancia web el cual pueda colaborar a su vez con la monitorización por parte del conductor del tren y a su vez el chofer dentro de la cabina no solo pueda navegar en una pantalla que comparta el estado de los sistemas del tren en un cruce férreo, sino que también tenga la opción de poder mostrar una o dos cámaras web que trasmitan en tiempo real si se propició de primera instancia alguna anomalía con los componentes que tiene el sistema de detención para los cruces con el tren o bien que está sucediendo minutos antes de pasar por el cruce y así tener un panorama completo de manera visual de los cruces férreos.

Se recomienda establecer una verificación de potencia y correcto funcionamiento de cada sensor por lo menos una vez al mes y así determinar en una base de datos su deterioro y prevenir el cambio antes de que se dañe y no cumpla con la función asignada ya que al ser sensores que se encuentren expuestos a condiciones ambientales y de entornos no controlados es necesario la verificación de cada uno de los sensores para que siempre exista seguridad y confianza a la hora de la monitorización.

Se recomienda implementar una campaña informática para los conductores de vehículo y así que se familiaricen con el sistema implementado así se lograra el continuo avance para la educación vial de Costa Rica en temas férreos y poder adquirir la cultura vial que lleve a uno de los principales objetivos en temas viales que es el respeto y la importancia de cumplir y acatar todas las normas impuestas para que la circulación vial sea lo más manejable posible por ende así como se trata de mejorar en infraestructura vial e innovación de tecnologías se ponga en juego la concientización humana para una mejora que va tomada de la mano con los ciudadanos y conductores vehiculares.

Como parte de llevar una estadística y un historial de acontecimientos se recomiendo agregar un módulo que logre subir datos a una nube web por medio de internet inalámbrico y así asegurarse que los datos obtenidos durante el recorrido del tren hasta la llegada de la estación de trenes puedan ser guardados, capturados y estén protegidos en una base de datos que pueden servir de testigo o evidenciar los estados de los cruces en caso de algún proceso judicial o administrativo que indique que los sistemas no se activaron correctamente o que existió alguna omisión por parte del chofer del tren.

Con la finalidad de mejorar las condiciones de visualización se contemplara agregar una pantalla mucho más grande e interactiva que sea suspendida en la cabina del tren y poder observar con mayor claridad el estado en el cual se encuentra los cruces acompañado con la comunicación directa por medio de las antenas de radiofrecuencia, es de suma importancia que el conductor del tren este lo más informado posible y puede observar con claridad lo que acontece en el cruce férreo segundo antes de que lo atraviese por ende una pantalla más grande le podrá ayudar más con el enfoque visual.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Baptista, M., Fernández, C. y Hernández, R. (2010). *Metodología de la Investigación (5ª Ed)*. México: McGraw-Hill.

Baptista, M., Fernández, C. y Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación (6ª Ed)*. México: McGraw-Hill

Barrantes, R. (2014). *Investigación: un camino al conocimiento (1ª Ed.)*. San José: EUNED

Distrelec (2009) *RFID_USB_Reader-v14* Recuperado de:
https://www.distrelec.biz/Web/Downloads/_t/ds/KIT-13198_eng_tds.pdf

Duran, M. (2000). Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control de transito. recuperado de
<https://www.csv.go.cr/documents/20126/117370/Manual+Centroamericano+de+Dispositivos+Uniformes+para+el+Control+de+Tr%C3%A1nsito.pdf/c8ad7423-31fd-9140-ed24-54f82878c8a2?t=1559256915707>

ID-Innovations Advanced RFID desing (2013). *ID-2/12/20 LA Series Datasheet X1*
 Recuperado de: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ID/ID-2LA,%20ID-12LA,%20ID-20LA2013-4-10.pdf>

Madrigal, L. (2015). *Hace 20 años José María Figueres cerró el INCOFER y el País sufre hoy las Consecuencias*. Recuperado de <http://www.elmundo.cr/hace-20-años-josé-maría-figueres-cerró-el-incofer-y-el-país-sufre-hoy-las-consecuencias>

Monje, C. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. Recuperado de <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>

Muñoz, C. (2015). *Metodología de la investigación*. México D.F: Editorial Progreso S.A.

Presidencia. (2019). *Inicia la ampliación de sistema de semáforos y agujas en 45 cruces ferroviarios* [Comunicado]. Recuperado de <https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2019/12/inicia-ampliacion-de-sistema-de-semaforos-y-agujas-en-45-cruces-ferroviarios/>

Rencio, P. (08 de abril de 2016). Los accidentes de trenes más aparatosos ocurridos en Costa Rica. *La Nación*. Recuperado de www.nacion.com/sucesos/accidentes/Accidentes-aparatosos-trenes-Costa-Rica_0_1553444689.html

Roldán, J. (2009). Sistema de Semáforos en cruces con ferrocarril. *Tecnología MOPT*, (15-17), 1-9. Recuperado de <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/252>

APÉNDICES Y ANEXOS

Lista de Anexos

En el CD se encuentra una carpeta llamada “Anexos” en la cual pueden ser localizados los documentos de apoyo utilizados para el desarrollo de esta investigación.

Anexo 1. Video y foto sistema de detención manual implementado por INCOFER

Anexo 2. Lista de Chequeo de Observación

Anexo 3. Video Imprudencia.

Anexo 4. Entrevista a funcionarios del INCOFER

Anexo 5. Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito

Anexo 6. Programación

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 31 de Mayo 2022

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) **Kevin Valverde Ramírez** con número de identificación **304830984** autor (a) del trabajo de graduación titulado: **Implementación de un prototipo electrónico para un sistema de monitoreo en cruces ferroviarios para la prevención y reducción de accidentes de tránsito, que permita la mejora del sistema vial en Costa Rica, durante el segundo semestre 2021.** presentado y aprobado en el año **2022** como requisito para optar por el título de **Bachillerato de Ingeniería Electrónica** ; **SI** autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

KEVIN JOSEPH
VALVERDE
RAMIREZ (FIRMA)



Firmado digitalmente por
KEVIN JOSEPH VALVERDE
RAMIREZ (FIRMA)
Fecha: 2022.05.31 09:26:55
-06'00'

Firma y Documento de Identidad

ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y
PERMITIR LA CONSULTA Y USO

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las “Condiciones de uso de estricto cumplimiento” de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.