

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**Diseño de un controlador descentralizado adaptable al sistema de
semaforización de Lima Metropolitana para la optimización de
tiempos de los ciclos semafóricos en tiempo real**

Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR:

Andrée Yordan Montoya Calderón

ASESOR:

Elizabeth Roxana Villota Cerna, PhD

Lima, octubre de 2021

RESUMEN

Actualmente, un problema que afecta a toda la población de la ciudad de Lima Metropolitana es la congestión vehicular, en donde una de las causas principales es el sistema de semaforización. A la fecha, el 67% de semáforos de la ciudad no están interconectados y son del tipo presincronizado, es decir, cambian el color de luz de acuerdo a un tiempo preestablecido; mientras que en el 33% de semáforos restantes, que se encuentran interconectados formando una red, el control se encuentra a cargo de cierto personal que actúa, únicamente, en momentos críticos. Si bien se puede decir que Lima cuenta con un sistema de semaforización, este no llega a ser el adecuado debido a que no puede adaptar su comportamiento en tiempo real para reducir la congestión vehicular. Aún más, algunas acciones tomadas, tales como el apoyo policial y la implementación de las denominadas “olas verdes”, pueden no presentar buenos resultados e incluso generar mayores problemas de tráfico debido a que no son acciones óptimas, puesto que son tomadas bajo criterio de agentes policiales u operarios, quienes cuentan con conocimiento limitado del entorno en tiempo real.

De esta manera, se propone una solución para las intersecciones semafóricas que actualmente no se encuentran interconectadas a fin de optimizar los tiempos de los ciclos semafóricos según el estado de tráfico en tiempo real, con el objetivo de minimizar el volumen vehicular, bajo un modelo *edge computing*. Así, el presente trabajo desarrolla el diseño de un controlador descentralizado, como base de la solución propuesta, buscando aprovechar algunos recursos y componentes propios de las intersecciones, tales como los semáforos y las conexiones bajo tierra entre estos y el controlador. Cabe mencionar, que la solución también podría ser adaptada para usarse en las intersecciones interconectadas.

El diseño del controlador incluye el diseño del algoritmo de control, el cual estará basado en una política de asignación proporcional generalizada que no requiere de información de otras intersecciones para el cálculo de tiempos de una intersección. El impacto del algoritmo de control se evaluará comparando sus resultados con los del sistema de semaforización actual en un ambiente de simulación, en donde se implementará el sistema de tráfico vehicular correspondiente a un caso de estudio. El diseño físico del controlador, el cual contempla el diseño electrónico y mecánico, e incluye los cálculos para la selección de componentes, así como las conexiones entre estos y protocolos de comunicación, también forma parte del trabajo.



*A mi familia,
por haberme dado todo
y permitirme dar este pequeño paso.*

*A mis profesores y amigos,
de quienes he aprendido de la vida.*

ÍNDICE

RESUMEN	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Situación problemática: Congestión vehicular.....	1
1.2 Problema técnico: Sistema de semaforización en Lima.....	5
1.3 Definición de la solución.....	8
1.4 Justificación.....	10
1.5 Alcance y caso de estudio	10
1.6 Objetivos	14
1.6.1 Objetivo general	14
1.6.2 Objetivos específicos.....	14
Capítulo 2: Estado de la tecnología	15
2.1 Sistemas de control de tráfico vehicular existentes.....	15
2.1.1 <i>Split cycle and offset optimization technique: SCOOT</i>	16
2.1.2 <i>The Sydney coordinated adaptive traffic system: SCATS</i>	18
2.1.3 <i>Scalable Urban Traffic Control: Surtrac</i>	19
2.2 Patentes sobre gestión de tránsito.....	21
2.2.1 <i>Generalized adaptive signal control method and system</i>	21
2.2.2 <i>Method and system for controlling and adjusting traffic light timing patterns</i>	22
2.2.3 <i>Traffic Control Systems and Methods</i>	23
2.3 Controladores de tránsito comerciales	24
2.3.1 Controlador electrónico de tránsito SBC 247/8 - Ethernet.....	25
2.3.2 Controlador electrónico de tránsito Autotrol CT-800d	25
2.3.3 Controlador electrónico de tránsito 2070L.....	27
2.3.4 Controlador electrónico de tránsito SBC 2400.....	28

2.4 Algoritmos de control.....	29
Capítulo 3: Diseño conceptual.....	31
3.1 Lista de requerimientos	31
3.2 Estructura de funciones	33
3.3 Matriz morfológica.....	36
3.4 Conceptos de solución.....	39
3.5 Evaluación técnico - económica de las soluciones.....	45
Capítulo 4: Diseño del controlador.....	47
4.1 Diseño de control	47
4.1.1 Diagrama de bloques	47
4.1.2 Control de volumen vehicular	48
4.1.2.1 Notación.....	48
4.1.2.2 Problema de control	51
4.1.2.3 Algoritmo genético	52
4.1.2.4 Algoritmo proporcional	53
4.1.3 Simulaciones.....	54
4.1.3.1 Modelo de tráfico	55
4.1.3.2 Algoritmo genético	59
4.1.3.3 Algoritmo proporcional	66
4.2. Diseño electrónico y eléctrico.....	67
4.2.1 Diagrama de bloques	67
4.2.2 Selección de componentes electrónicos	68
4.2.2.1 Unidad de Procesamiento	68
4.2.2.2 Unidad de comunicaciones	71
4.2.2.3 Unidad de energía y potencia.....	73
4.2.3 Diagrama de conexiones y esquemático.....	82
4.2.4 Diagramas de flujo.....	87

4.2.4.1 General.....	88
4.2.4.2 Configuración inicial	89
4.2.4.3 Energizar luces de semáforos.....	90
4.2.4.4 Adquirir datos de SEPT	90
4.2.4.5 Recibir información de <i>data center</i>	92
4.2.4.6 Asignar tiempos recibidos.....	92
4.2.4.7 Calcular tiempos de cada fase.....	93
4.2.4.8 Enviar datos a <i>data center</i>	94
4.3 Diseño mecánico	94
4.3.1 Selección de componentes mecánicos	95
4.3.1.1 Gabinete de control.....	95
4.3.1.2 Estructura soporte de perfil cuadrado	96
4.3.1.3 Sujeción de gabinete de control	97
4.3.1.4 Base de estructura	98
4.3.2 Principales cálculos	98
4.3.2.1 Análisis de pandeo	100
4.3.2.2 Análisis de unión por soldadura.....	101
4.4 Integración del sistema.....	103
Capítulo 5: Estimación de costos.....	105
5.1 Costo de componentes electrónicos y eléctricos.....	105
5.2 Costo de componentes mecánicos.....	106
5.3 Costo de integración y diseño	106
5.4 Costo total del sistema.....	106
CONCLUSIONES	107
TRABAJOS FUTUROS	108
REFERENCIAS.....	109
ANEXOS	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Cantidad de vehículos en el parque automotor nacional desde el año 2000 hasta 2018	2
Figura 1.2 Cantidad de vehículos en el parque automotor nacional por departamento en el año 2018.....	3
Figura 1.3 Personal de PROTRÁNSITO a cargo del Centro de control y gestión de tránsito ..	7
Figura 1.4 Esquema conceptual de conexiones de la solución propuesta.....	9
Figura 1.5 Esquema de conexiones del controlador	11
Figura 1.6 Zona seleccionada para la simulación del algoritmo de control.....	12
Figura 1.7 Disposición del controlador instalado en una intersección semafórica.....	13
Figura 2.1 Flujo de información en un Sistema SCOOT.....	17
Figura 2.2 Componentes del sistema Surtrac.....	20
Figura 2.3 Controladores electrónicos de tránsito comerciales	24
Figura 3.1 Estructura de funciones del sistema	34
Figura 3.2 Representación gráfica del concepto de solución 1.....	40
Figura 3.3 Representación gráfica del concepto de solución 2.....	42
Figura 3.4 Representación gráfica del concepto de solución 3.....	44
Figura 3.5 Evaluación técnico - económica	46
Figura 4.1 Diagrama de bloques de control teórico y real para una intersección semafórica .	47
Figura 4.2 Configuración de 4 intersecciones semafóricas	48
Figura 4.3 Configuración de fases y cambios-de-fase en una intersección semafórica.....	50
Figura 4.4 Flujo de algoritmo genético.....	53
Figura 4.5 Esquema de comunicación entre TraCI y SUMO	55
Figura 4.6 Zona seleccionada de distrito de Miraflores.....	56
Figura 4.7 Implementación de la zona seleccionada en SUMO	56
Figura 4.8 Intersecciones semafórica implementadas en SUMO	57
Figura 4.9 Zona de estudio con 4 niveles de tráfico	58
Figura 4.10 Convergencia del algoritmo genético	60
Figura 4.11 Duración total de ciclos semafóricos bajo un nivel de tráfico medio alto.....	62
Figura 4.12 Cantidad de vehículos detenidos bajo un nivel de tráfico medio alto	63
Figura 4.13 Tiempo de espera total de vehículos bajo un nivel de tráfico medio alto	64
Figura 4.14 Duración total de ciclos semafóricos bajo un nivel de tráfico alto.....	64
Figura 4.15 Cantidad de vehículos detenidos bajo un nivel de tráfico alto	65

Figura 4.16 Tiempo de espera total de vehículos bajo un nivel de tráfico alto	66
Figura 4.17 Diagrama de bloques electrónico	68
Figura 4.18 Sistema embebido Raspberry Pi 3 B+	70
Figura 4.19 Módulo PCA9685.....	70
Figura 4.20 Módulo Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter	72
Figura 4.21 Router 4G modelo TP-Link TL-MR3420	73
Figura 4.22 Módulo de relé de estado sólido SSR 5V de 8 canales	74
Figura 4.23 Fuente de alimentación conmutada 100W 12VDC 8.5 A	76
Figura 4.24 Batería Ritar RT1270	77
Figura 4.25 Cargador de baterías ATEK 4000 - 6/12V 4A	78
Figura 4.26 Circuito de transistores para seleccionar energía	79
Figura 4.27 Módulo Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596.....	81
Figura 4.28 Llave termomagnética Easy 9 MCB 2x16A.....	82
Figura 4.29 Diagrama de conexiones del controlador	83
Figura 4.30 Diagrama esquemático del selector de alimentación y el sistema de regulación de voltaje.....	85
Figura 4.31 Diseño de tarjeta de circuito impreso	85
Figura 4.32 Bornera de conexión de 2.5 mm ²	86
Figura 4.33 Ensamble de componentes en riel DIN	87
Figura 4.34 Diagrama de flujo general	88
Figura 4.35 Diagrama de flujo de configuración inicial	89
Figura 4.36 Diagrama de flujo de función de energización de luces de semáforos.....	90
Figura 4.37 Diagrama de flujo de función de adquisición de datos de SEPT	91
Figura 4.38 Diagrama de flujo de función de recepción de información de data center	92
Figura 4.39 Diagrama de flujo de función de asignación de tiempos recibidos	93
Figura 4.40 Diagrama de flujo de función de cálculo de tiempos	93
Figura 4.41 Diagrama de flujo de envío de datos a data center	94
Figura 4.42 Caja eléctrica PCJ181610L	96
Figura 4.43 Tubo cuadrado LAC - 100 mm x 2.50 mm x 6 m	97
Figura 4.44 Base de sujeción de gabinete de control.....	98
Figura 4.45 Base de sujeción de estructura.....	98
Figura 4.46 Diagrama de cuerpo libre del sistema	99
Figura 4.47 Diagrama de cuerpo libre de estructura soporte	100
Figura 4.48 Vista superior de estructura soporte y junta de soldadura	102

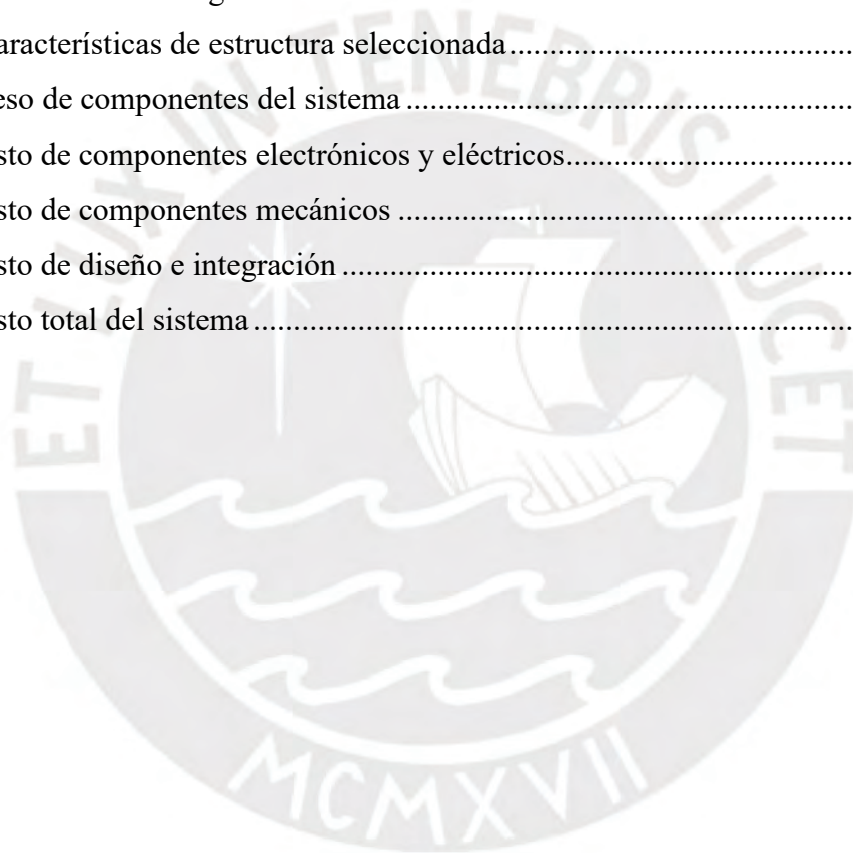
Figura 4.49 Controlador instalado	104
Figura 4.50 Gabinete de control.....	104
Figura 4.51 Base de sujeción de gabinete de control.....	104
Figura 4.52 Base de sujeción de estructura.....	104



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Lista de 25 ciudades con mayor congestión vehicular mundial hasta 2019	1
Tabla 1.2 Soluciones al problema de congestión vehicular en algunas ciudades	4
Tabla 2.1 Principales características de los sistemas de control de tráfico vehicular existentes	15
Tabla 2.2 Características de controlador electrónico de tránsito SBC 247/8 - Ethernet.....	25
Tabla 2.3 Características de controlador electrónico de tránsito Autotrol CT-800d	26
Tabla 2.4 Características de controlador electrónico de tránsito 2070L.....	27
Tabla 2.5 Características de controlador electrónico de tránsito SBC 2400.....	28
Tabla 3.1 Lista de requerimientos del sistema.....	31
Tabla 3.2 Matriz morfológica	36
Tabla 3.3 Evaluación según criterios técnicos	45
Tabla 3.4 Evaluación según criterios económicos	46
Tabla 4.1 Nivel de tráfico según la hora del día	58
Tabla 4.2 Resultado final de simulaciones	61
Tabla 4.3 Requerimientos para la selección de microprocesador.....	69
Tabla 4.4 Alternativas para la selección de microprocesador.....	69
Tabla 4.5 Características de Módulo PCA9685.....	70
Tabla 4.6 Requerimientos para el módulo conversor	71
Tabla 4.7 Alternativas para la selección de módulo conversor	71
Tabla 4.8 Requerimientos para router 4G.....	72
Tabla 4.9 Alternativas para la selección de router 4G.....	72
Tabla 4.10 Requerimientos para un relé de estado sólido	73
Tabla 4.11 Características de módulo de relé de estado sólido SSR 5V de 8 canales.....	74
Tabla 4.12 Resumen de potencia requerida para la fuente switching.....	75
Tabla 4.13 Requerimientos para la fuente switching.....	75
Tabla 4.14 Características de fuente switching seleccionada	76
Tabla 4.15 Requerimientos para sistema de alimentación alternativo.....	77
Tabla 4.16 Alternativas para la selección de batería de plomo y ácido	77
Tabla 4.17 Características de cargador de batería seleccionado.....	78
Tabla 4.18 Características de Mosfet IRF9630.....	79
Tabla 4.19 Características de diodo 6A10	79
Tabla 4.20 Resumen de corriente requerida en el sistema de regulación de voltaje	80

Tabla 4.21 Requerimientos para sistema de regulación de voltaje	80
Tabla 4.22 Características de módulo Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down 3A LM259681	
Tabla 4.23 Resumen de corriente requerida en el sistema.....	81
Tabla 4.24 Características de llave termomagnética Easy 9 MCB 2x16A	82
Tabla 4.25 Asignación de pines de la Raspberry Pi 3 B+.....	84
Tabla 4.26 Asignación de pines del Módulo PCA9685.....	84
Tabla 4.27 Conexiones de la red eléctrica	86
Tabla 4.28 Trama de red de datos recibidos de sistema de sensores	91
Tabla 4.29 Dimensiones de componentes dentro de gabinete de control	95
Tabla 4.30 Características de gabinete de control seleccionado.....	96
Tabla 4.31 Características de estructura seleccionada.....	97
Tabla 4.32 Peso de componentes del sistema	98
Tabla 5.1 Costo de componentes electrónicos y eléctricos.....	105
Tabla 5.2 Costo de componentes mecánicos	106
Tabla 5.3 Costo de diseño e integración	106
Tabla 5.4 Costo total del sistema	106



Capítulo 1: Introducción

En el primer capítulo, inicialmente se describe la problemática y el problema técnico asociado al presente trabajo; posteriormente, se define la solución del problema y su justificación; finalmente, se establece el alcance del presente trabajo y los objetivos.

1.1 Situación problemática: Congestión vehicular

Uno de los problemas originados directamente por el aumento de la población es la congestión vehicular, el cual se presenta en muchas ciudades del mundo; y a su vez, afecta a todos sus ciudadanos. En la lista de las 25 ciudades con mayor congestión vehicular a nivel mundial, las 2 primeras posiciones son ocupadas por ciudades sudamericanas: Bogotá y Río de Janeiro; sin embargo, también se observan otras 4 en la lista: Sao Paulo, Belo Horizonte, Quito y Guayaquil (ver Tabla 1.1). También se puede apreciar que, por ejemplo, en la ciudad de Bogotá, las personas pierden en promedio 191 horas al año en las horas pico de congestión vehicular.

Tabla 1.1 Lista de 25 ciudades con mayor congestión vehicular mundial hasta 2019

2019 IMPACT RANK (2018 IMPACT)	URBAN AREA	COUNTRY	REGION	HOURS LOST IN CONGESTION (RANK 2019)	2018-2019 CHANGE	2017-2018 CHANGE	LAST MILE SPEED (MPH)	BIKE	TRANSIT
1 (2)	Bogota	Colombia	South America	191 (1)	3%	1%	9		
2 (1)	Rio de Janeiro	Brazil	South America	190 (2)	-5%	-1%	11		
3 (5)	Mexico City	Mexico	North America	158 (6)	2%	1%	12		
4 (9)	Istanbul	Turkey	Asia	153 (8)	6%	3%	11		
5 (10)	São Paulo	Brazil	South America	152 (9)	5%	1%	13		
6 (7)	Rome	Italy	Europe	166 (3)	1%	2%	11		
7 (4)	Paris	France	Europe	165 (4)	-4%	-5%	10		
8 (3)	London	United Kingdom	Europe	149 (12)	-9%	-4%	10		
9 (6)	Boston, MA	United States	North America	149 (12)	-5%	9%	12		
10 (13)	Chicago, IL	United States	North America	145 (14)	4%	4%	11		
11 (12)	Saint Petersburg	Russia	Europe	151 (10)	3%	12%	14		
12 (8)	Philadelphia, PA	United States	North America	142 (16)	4%	11%	10		
13 (14)	Belo Horizonte	Brazil	South America	160 (5)	3%	-6%	12		
14 (16)	New York City, NY	United States	North America	140 (17)	-4%	0%	11		
15 (11)	Dublin	Ireland	Europe	154 (7)	-4%	4%	10		
16 (21)	Jakarta	Indonesia	Oceania	150 (11)	5%	8%	18		
17 (18)	Moscow	Russia	Europe	128 (23)	-2%	10%	15		
18 (20)	Quito	Ecuador	South America	144 (15)	0%	-6%	10		
19 (17)	Toronto ON	Canada	North America	135 (21)	-6%	12%	11		
20 (19)	Brussels	Belgium	Europe	140 (17)	-7%	-4%	9		
21 (15)	Washington DC	United States	North America	124 (24)	-11%	-6%	10		
22 (23)	Guayaquil	Ecuador	South America	130 (22)	4%	-4%	13		
23 (24)	Sydney	Australia	Oceania	119 (27)	3%	-9%	15		
24 (25)	Palermo	Italy	Europe	137 (19)	5%	8%	8		
25 (22)	Lisboa	Portugal	Europe	136 (20)	-9%	11%	10		

Fuente: INRIX [1]

En el Perú, debido al gran aumento de población durante los últimos años, la cantidad de vehículos en circulación se ha incrementado. Para el año 2008 se contaba con 1 640 970 vehículos en el parque automotor nacional, mientras que para el año 2018 ya se contaba con 2 894 327 vehículos, es decir, el número de vehículos casi se duplicó en una década, como se puede observar en la Figura 1.1. Sin embargo, estas cifras representan en su mayoría a la ciudad de Lima, ya que más del 60 % de vehículos se encuentran en esta ciudad (ver Figura 1.2). Por esta razón, la congestión vehicular en la ciudad de Lima se ha convertido en problema de prioridad a resolver debido a las consecuencias que trae consigo y a las exiguas medidas de solución que se han llevado a cabo hasta ahora.

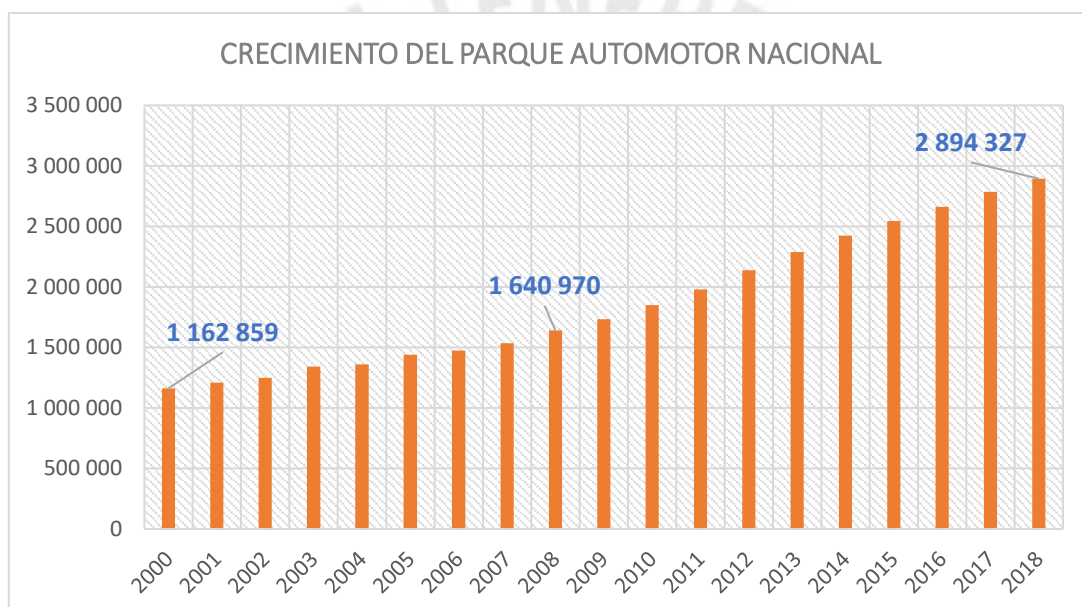


Figura 1.1 Cantidad de vehículos en el parque automotor nacional desde el año 2000 hasta 2018

Fuente: INEI [2]

Comúnmente, las consecuencias de la congestión vehicular se miden en función de pérdida de tiempo e incremento de estrés para las personas que se movilizan por la ciudad, lo cual se refleja en pérdidas económicas y problemas de salud para la sociedad [3]. Para ilustrar el efecto económico, solo en Estados Unidos, la congestión vehicular significó una pérdida de 88 billones de dólares en el año 2019 [1], mientras que, en Perú la pérdida alcanzó los 27 000 millones de soles en el año 2017 [4]. Estas alarmantes cifras se deben principalmente a la pérdida de productividad de los trabajadores que pasan tiempo en el tráfico, al consumo adicional de combustible y al incremento de costo de transporte de bienes a través de áreas

congestionadas. Por otro lado, la congestión vehicular agrava también el problema de contaminación ambiental al aumentar la tasa de consumo de combustible debido al incremento de paradas y reinicios de los vehículos [5]; y a su vez, se vuelve a reflejar en problemas de salud.

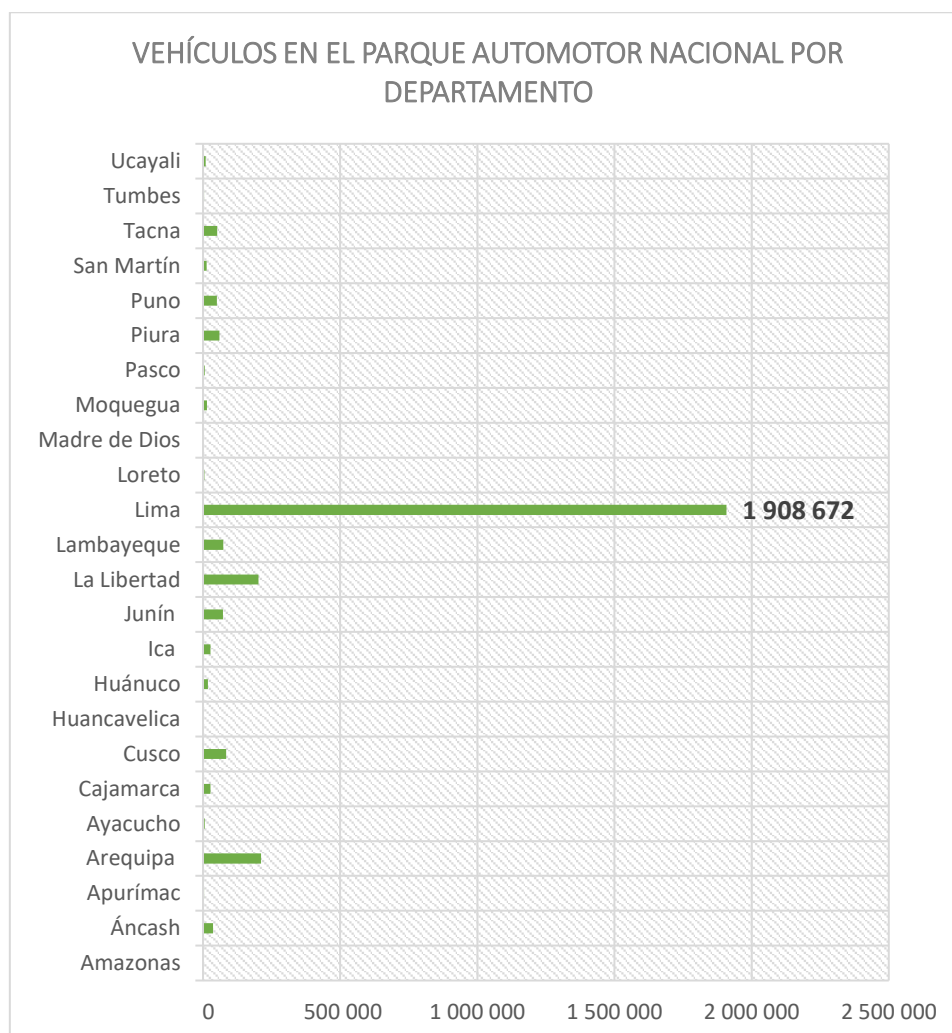


Figura 1.2 Cantidad de vehículos en el parque automotor nacional por departamento en el año 2018

Fuente: INEI [2]

Hacer frente al problema de congestión vehicular no se puede reducir a una única solución válida para todas las ciudades, dado que este es un problema complejo y cada ciudad presenta diferentes características y particularidades en la estructura vial, sistemas de transporte, flujo vehicular, señalización, medios de comunicación, ente otros. De esta manera, las soluciones que se desarrollan varían en cada ciudad de acuerdo a sus características y limitaciones, algunos ejemplos se pueden observar en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Soluciones al problema de congestión vehicular en algunas ciudades

Ciudad	Soluciones
Buenos Aires, Argentina	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de carriles exclusivos. • Expansión de la red subterránea. • Sistema único de Boleto electrónico en el Sistema de transporte.
Medellín, Colombia	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo del tránsito a través de cámaras y sensores de velocidad. • Se impulsó el uso de bicicletas.
Bogotá, Colombia	<ul style="list-style-type: none"> • Se implementó una vía troncal de buses que conectan el centro de la ciudad. • Se establecieron 25 puntos de semaforización inteligente.
Campinas, Brasil	<ul style="list-style-type: none"> • Se implementó una red de transporte público de alta capacidad. • Proyecto de semaforización inteligente vía satélite.
Cambridge, Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> • Restricciones al tráfico de paso por el centro. • Incremento del coste por aparcamiento. • Cambios en el sistema de semáforos.
Santander, España	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de paneles informativos en los paraderos. • Se implementó un servicio de bicicletas. • Creación de aparcamientos inteligentes.
Copenhague, Dinamarca	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de vías seguras para ciclistas. • Señalización orientada a ciclistas.

Fuente: Autores [6]

Actualmente, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través de la Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU), como parte del Plan de movilidad urbana para el área metropolitana de Lima y Callao al 2040, está en proceso de selección de servicios de consultoría, a fin de formular un instrumento técnico normativo que integre y establezca las estrategias de todas las modalidades de desplazamiento, y que sirva de marco para el desarrollo de los planes derivados a largo plazo, tales como transporte masivo, de desarrollo logístico, de rutas, entre otros [7]. Asimismo, como proyecto de mediano plazo, se encuentra en proceso de implementación la Línea 2 del Metro de Lima y Callao, el cual consiste en un metro subterráneo con capacidad de 1200 pasajeros, que atravesará 10 distritos de la ciudad. Al respecto, se espera que se culmine para el año 2024, y posteriormente se inicien los proyectos de las Líneas 3 y 4 del Metro de Lima y Callao, los cuales aún se encuentran en proceso de viabilidad [8]. Sin embargo, a corto plazo, las propuestas de solución inmediatas, tales como la implementación de corredores en el Sistema de Transportes o la gestión de tráfico a través del sistema de semaforización, con la ejecución de las denominadas “olas verdes” en algunas intersecciones semaforizadas, no han sido del todo efectivas.

1.2 Problema técnico: Sistema de semaforización en Lima

A pesar de que el problema complejo de congestión vehicular se ha afrontado en muchas ciudades del mundo, tales como Pittsburgh [9], Corea del Sur [10], Ámsterdam [11], entre otras, a través de diversos sistemas de semaforización (SCOOT, SCATS, Surtrac), estos muchas veces no han sido del todo efectivos debido a la ausencia de conceptos de estabilidad y optimalidad en los algoritmos de control empleados, así como las particularidades que presenta cada ciudad. Por lo tanto, no necesariamente resultaría favorable utilizar un sistema de semaforización convencional de otras grandes ciudades en Lima.

En los últimos años, se han llevado a cabo algunos proyectos respecto al sistema de semaforización como medida de solución a la congestión vehicular en Lima Metropolitana. Si bien es cierto que se han obtenido algunos resultados favorables, tales como la reducción del tiempo promedio de viaje en un 10 % en algunas avenidas [12], estos resultados podrían ser amplificados con el desarrollo de propuestas que potencien las soluciones ya implementadas con un análisis más detallado y así, conseguir un mayor impacto frente al problema de congestión vehicular, abordado desde el sistema de semaforización.

Hasta finales del año 2014, la ciudad de Lima contaba con 1189 intersecciones semaforizadas, donde solo el 27 % de estas se encontraban centralizadas, es decir, interconectadas al centro de control y gestión de tráfico de Lima [13]. Para el año 2016, en Lima Metropolitana existían 1200 intersecciones debidamente semaforizadas con dispositivos vehiculares y peatonales, de las cuales alrededor de 400 se encontraban centralizadas [14], es decir, solamente el 33 %. La mencionada centralización de semáforos fue implementada por la Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas S.A. (SICE) a partir del año 2014 y se llevó a cabo en algunas avenidas principales como parte de un sistema de control de tráfico [15]. Este sistema hace uso de cámaras para la detección de tráfico en tiempo real, las cuales están conectadas a una Central de monitoreo de tránsito, desde la cual se pueden modificar los tiempos de ciclos de los semáforos de algunas intersecciones. La gran limitante de este sistema es que el control de tiempos en los semáforos que se realiza desde la Central de monitoreo se realiza de manera manual por un personal capacitado sin intervención de sistemas inteligentes [16].

A finales del año 2016 se inició el proyecto PROTRÁNSITO, el cual se encuentra en actividad y busca centralizar 291 intersecciones semafóricas, a través de un tendido de 120 km de fibra

óptica [17], con lo cual las intersecciones semafóricas centralizadas ascenderían a aproximadamente 700. Actualmente se cuenta con alrededor de 1500 intersecciones semafóricas en Lima Metropolitana [18], por ende, se habrían centralizado menos del 50 % de las intersecciones en la capital.

Asimismo, con este proyecto se busca implementar 935 cámaras de tráfico para medir el volumen vehicular [17]. Sin embargo, la limitante de este proyecto, nuevamente recae en el control manual de tiempos en los semáforos, que lo realiza un personal capacitado desde el Centro de control y gestión del tránsito. Este personal se apoya en una plataforma de gestión de tránsito que le permite visualizar en un mapa virtual de la ciudad la situación de tráfico en tiempo real y, según la situación actual, elegir entre 8 planes semafóricos ya definidos para la reducción de congestión vehicular en las vías más concurridas.

Entre sus planes semafóricos se incluyen las denominadas “olas verdes” en algunas avenidas importantes, es decir, se modifica la secuencia de tiempos en los semáforos centralizados para generar un tránsito vehicular fluido en ciertas vías y evitar interrupciones innecesarias. Sin embargo, la aplicación de “olas verdes” en algunas avenidas también puede generar mayores problemas de congestión vehicular debido a que no se toma en cuenta el efecto que generará en las vías cercanas. De esta manera, las intersecciones semafóricas de las vías colindantes preservarán la misma configuración de tiempos que tenían antes de que se lleve a cabo la “ola verde”; o en el mejor de los casos, el personal encargado modificará su secuencia de tiempos desde el Centro de control y gestión de tráfico según el volumen de vehículos que observe en un momento dado. Este problema se agrava debido a que el personal no tiene control sobre todos los semáforos existentes en la ciudad, pues como ya se mencionó, la red de semáforos interconectados, por ahora, solo consiste en el 33 % del total de semáforos.

Más aún, las modificaciones que realiza el personal, solo se llevan a cabo en las horas pico de congestión vehicular o cuando se generan incidentes en alguna vía. Para ilustrar, si ocurriese un incidente en la Av. Javier Prado, el personal podría detectarlo desde el Centro de control mediante las cámaras implementadas y así, mediante la plataforma de gestión, podría elegir una opción que otorgue más tiempo de verde para la Av. Javier Prado con el propósito de atenuar la congestión vehicular causada por el incidente hipotético. En la Figura 1.3 se puede observar al personal a cargo del Centro de control y gestión de tránsito en operación.



Figura 1.3 Personal de PROTRÁNSITO a cargo del Centro de control y gestión de tránsito

Fuente: Municipalidad de Lima [19]

Asimismo, otra de las acciones tomadas para la reducción de la congestión vehicular que no ha presentado buenos resultados es el caso del apoyo que brinda el personal policial para el ordenamiento del tránsito en coordinación con la Gerencia de Transporte Urbano (GTU) específicamente en “horas punta”, el cual puede llegar a entorpecer el tránsito debido a que el personal policial tampoco toma en consideración la repercusión en el flujo vehicular por las vías colindantes.

Por lo tanto, se puede identificar que uno de los problemas del sistema de semaforización actual es la inexistencia de sistemas inteligentes para el control de volumen vehicular en tiempo real. Por un lado, el 67 % de semáforos en la ciudad de Lima no están interconectados y son del tipo presincronizado, es decir, cambian el color de luz de acuerdo a un tiempo preestablecido; mientras que en el 33 % de semáforos restantes, los cuales ya se encuentran interconectados formando una red, el control se encuentra a cargo de cierto personal que actúa solamente en momentos críticos, es decir, en las horas pico de congestión vehicular o cuando se generan incidentes en alguna vía. Por consiguiente, el sistema de semaforización actual en Lima no puede mejorar su comportamiento en tiempo real de manera óptima para reducir la congestión vehicular.

Otro de los problemas principales del sistema de semaforización actual es la carencia de una sola entidad que lidere el tránsito y que vea la red de semáforos como un sistema vial completo. Hasta el año 2017, de las 1200 intersecciones semaforizadas, 901 eran administradas por la

Municipalidad de Lima (GTU), 227 estaban a cargo de los concejos distritales, mientras que los 72 restantes se encontraban bajo el control de Protransporte, entidad que opera el Metropolitano [20]. Por esta razón, las soluciones actuales sobre la interconexión de semáforos para formar una red solo pasan por las intersecciones semaforicas administradas por la Municipalidad de Lima. Por lo tanto, resulta idóneo un sistema descentralizado en cada intersección que permita regular en tiempo real los tiempos de ciclos semaforicos de acuerdo al tráfico vehicular. De esta manera, se podría implementar dicho sistema en cualquier intersección semaforica, sin importar la administración a la que pertenezca.

1.3 Definición de la solución

En base a la situación actual de gestión de tránsito en Lima Metropolitana, para las intersecciones semaforicas que actualmente no se encuentran interconectadas se propone una solución para la optimización de tiempos de los ciclos semaforicos en tiempo real, a fin de minimizar el volumen vehicular, bajo un modelo *edge computing*, es decir, que se realizará un análisis y procesamiento local en cada intersección antes de enviar la información a un *data center*. Esta solución consta de un *data center* y, por cada intersección semaforica, de un controlador para ajustar los tiempos del ciclo semaforico de acuerdo al volumen vehicular de dicha intersección, y de un sistema de estimación de parámetros de tránsito (SEPT) para medir el volumen vehicular.

El controlador recibirá del SEPT los parámetros de tránsito y procesará estos datos de manera local para determinar los tiempos óptimos de cada fase de ciclo semaforico y establecerlos en los respectivos semáforos; asimismo, enviará dicha información al *data center*. De esta manera, cada intersección semaforica representará un sistema inteligente descentralizado. Finalmente, en el *data center* se almacenarán y procesarán los datos de cada intersección semaforica para mostrar la información de volumen vehicular en tiempo real a nivel macro a través de una interfaz visual o una aplicación móvil o web.

Esta solución está enfocada en las intersecciones semaforicas que actualmente no se encuentran interconectadas, ya que para el cálculo de tiempos en una intersección no se requiere de información de otras intersecciones; asimismo, se aprovecharán algunos recursos y componentes que ya se tienen implementados en dichas intersecciones, tales como los

semáforos y las conexiones bajo tierra entre estos y el controlador. Sin embargo, esta solución también podría ser adaptada a las intersecciones que ya se encuentran interconectadas.

De manera general, en la Figura 1.4 se puede observar el esquema conceptual de conexiones de la solución propuesta para una configuración de “n” intersecciones semaforizadas, donde cada intersección cuenta con un controlador y un SEPT. Asimismo, se puede identificar que la intersección “i” presenta “ m_i ” semáforos vehiculares (uno para cada vía ingresante de vehículos) y “ h_i ” semáforos peatonales ($i = 1, 2, \dots, n$).

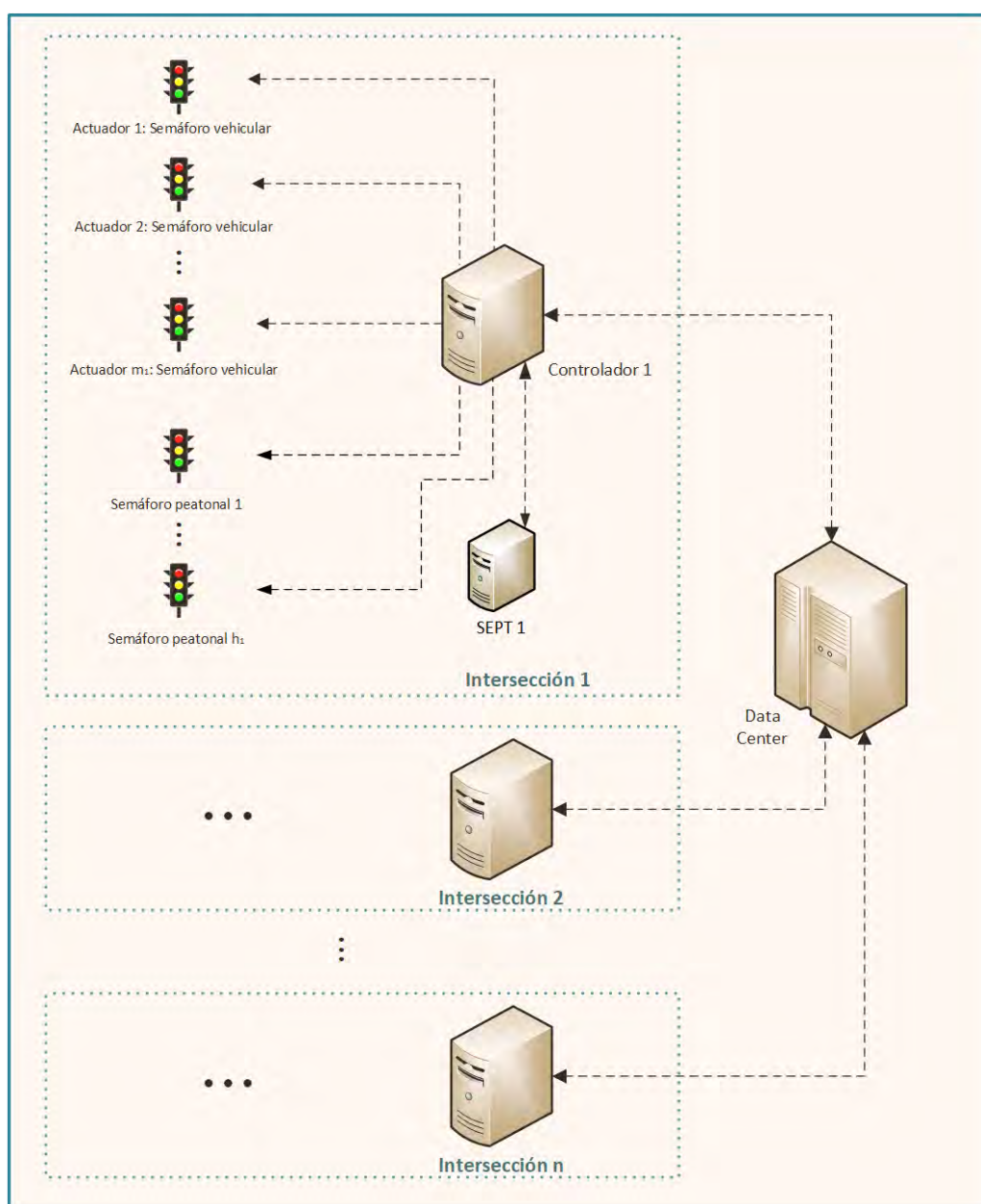


Figura 1.4 Esquema conceptual de conexiones de la solución propuesta

Fuente: Elaboración propia

1.4 Justificación

La importancia de la presente investigación reside en la urgencia de contar con medios para resolver con eficacia los problemas económicos, de bienestar y ambientales que derivan del incremento de congestión vehicular en la ciudad de Lima.

Si bien se cuenta con un sistema de semaforización, este no es el adecuado para una ciudad con flujo vehicular caótico como Lima. Según lo expuesto previamente, se puede observar que uno de los problemas del sistema de semaforización actual es la inexistencia de sistemas inteligentes para el control del volumen vehicular en tiempo real.

Por lo tanto, se propone una solución adaptable al sistema de semaforización de Lima Metropolitana, en donde cada intersección semafórica representará un sistema inteligente descentralizado que sea capaz de determinar los tiempos óptimos del ciclo semafórico, en tiempo real, de acuerdo al volumen vehicular de dicha intersección.

1.5 Alcance y caso de estudio

Debido a la importancia que requiere el problema de gestión de tránsito y a la extensión de la solución propuesta, el presente trabajo se limitará al diseño del controlador y las conexiones con los demás componentes (ver Figura 1.5).

Por un lado, el controlador recibirá los parámetros de tránsito del SEPT, el cual contará con un procesador dedicado para realizar el procesamiento de información y estimar los parámetros de tránsito. El SEPT, que no forma parte del presente trabajo, es un sistema que puede ser diseñado y desarrollado en su totalidad o que puede seleccionarse como un producto integrado comercial. De esta manera, en el diseño del controlador se asumirá como entrada los parámetros de tránsito de la intersección semafórica a controlar. Por otro lado, el controlador envía información al *data center* cada determinado tiempo; este *data center* podría estar instalado *on-premise* u *on-demand* y su diseño queda para futuros trabajos. Finalmente, el controlador enciende las luces de los semáforos vehiculares y peatonales según los tiempos calculados. Estos semáforos, así como las conexiones bajo tierra entre los mismos y el controlador, ya se encuentran implementados en cada intersección semafórica.

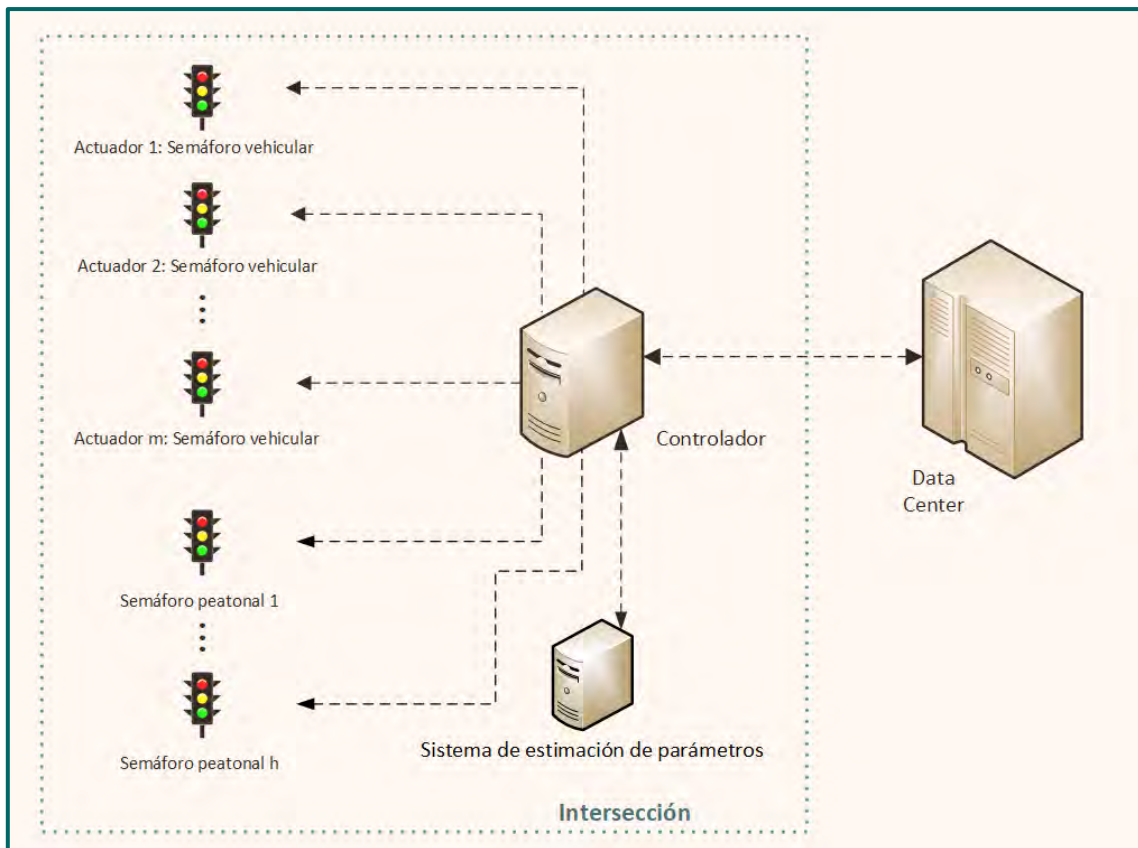


Figura 1.5 Esquema de conexiones del controlador

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar, que las intersecciones semafóricas centralizadas cuentan con un SEPT instalado que permite identificar el volumen vehicular de cada vía ingresante, a partir de la información adquirida por las cámaras de tráfico; asimismo, estas intersecciones están interconectadas a un centro de control y gestión de tráfico, a través de una red de fibra óptica. Por lo tanto, en caso se busque adaptar dichas intersecciones a esta solución, habría más componentes que se podrían aprovechar.

Por lo antes mencionado, en el presente trabajo se buscará profundizar en:

- i. El diseño del algoritmo de control para la optimización de tiempos del ciclo semafórico en tiempo real, así como su implementación en un ambiente de simulación.
- ii. El diseño físico del controlador, el cual incluye los componentes electrónicos, de comunicaciones y control que permiten el cálculo de tiempos del ciclo semafórico, así como un sistema mecánico que permita su sujeción al suelo.
- iii. La conexión entre los componentes y sus protocolos de comunicación.

Por un lado, el algoritmo de control a diseñar estará basado en una política de asignación proporcional generalizada, el cual será ejecutado una vez cada ciclo semafórico en el procesador del controlador. Asimismo, el algoritmo recibirá como entrada los parámetros de tránsito de la intersección semafórica a controlar; al respecto, para el presente trabajo no se tomará en cuenta el comportamiento de los peatones.

Así, para el análisis del algoritmo de control se ha identificado una zona de estudio representativa, con la finalidad de simular su aplicación y comparar su comportamiento con la lógica del sistema de semaforización actual. De esta manera, se podrá generalizar el desempeño del controlador y hacer extensiva su aplicación a toda la ciudad. La zona seleccionada pertenece al distrito de Miraflores y presenta problemas de movilidad por la alta concentración de viajes debido a la ubicación céntrica del distrito en el contexto metropolitano. Asimismo, en el distrito de Miraflores se generan 76 000 viajes diarios y se reciben más de 290 000 viajes diarios provenientes de otros distritos [21].

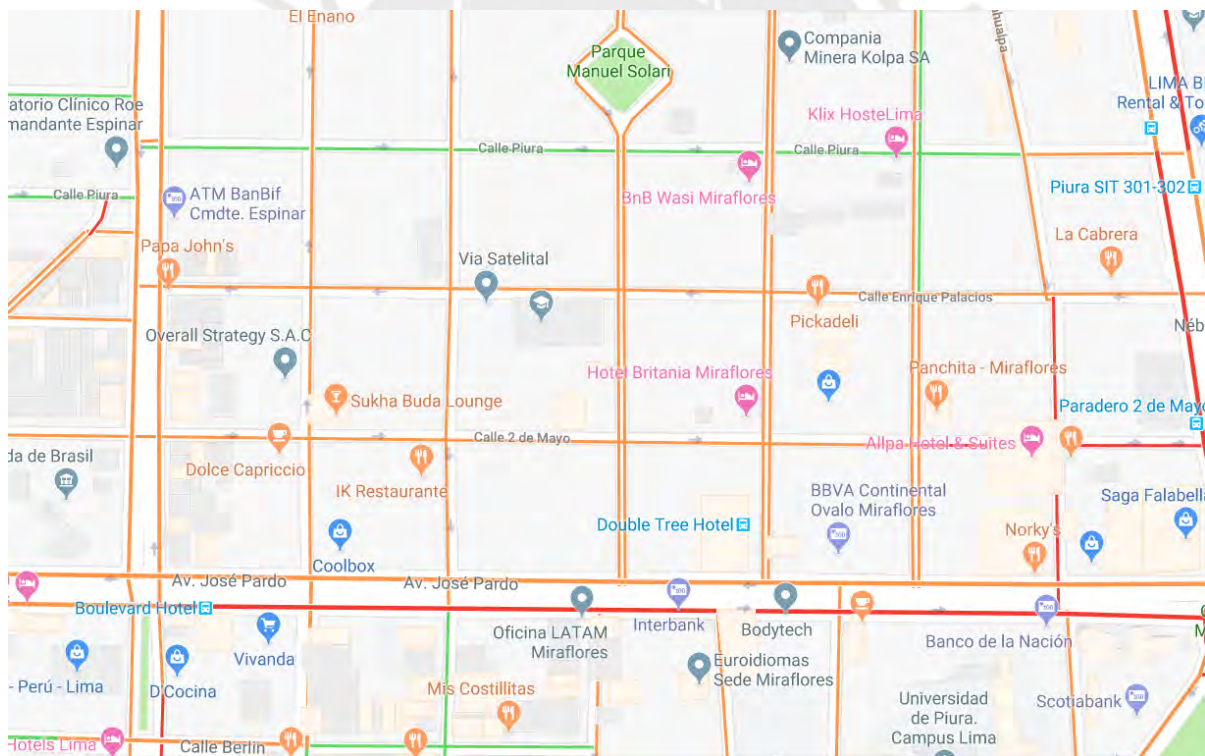


Figura 1.6 Zona seleccionada para la simulación del algoritmo de control

Fuente: Google Maps

La zona seleccionada contiene 10 intersecciones semafóricas, así como 2 avenidas concurridas: Av. Comandante Espinar y Av. José Pardo, y vías por donde circulan microbuses de transporte

público, vehículos particulares y taxis. Asimismo, el flujo vehicular se incrementa por la mañana entre las 9:00 y 12:00 horas y durante la tarde-noche desde las 17:00 y 20:00 horas. En la Figura 1.6 se puede observar el mapa de la zona seleccionada según el tráfico típico a las 18:00 horas, en donde las líneas de color verde representan un flujo vehicular rápido, las de color naranja un flujo vehicular lento y las de color rojo un flujo vehicular muy lento con atascamiento de vehículos.

Por otro lado, el controlador está compuesto principalmente por el gabinete de control, en donde se encuentran instalados todos los componentes electrónicos, de comunicaciones y control, y una estructura que soporta al gabinete de control, la cual estará fija al suelo. A continuación, en la Figura 1.7 se muestra la disposición del controlador instalado en una intersección semafórica.

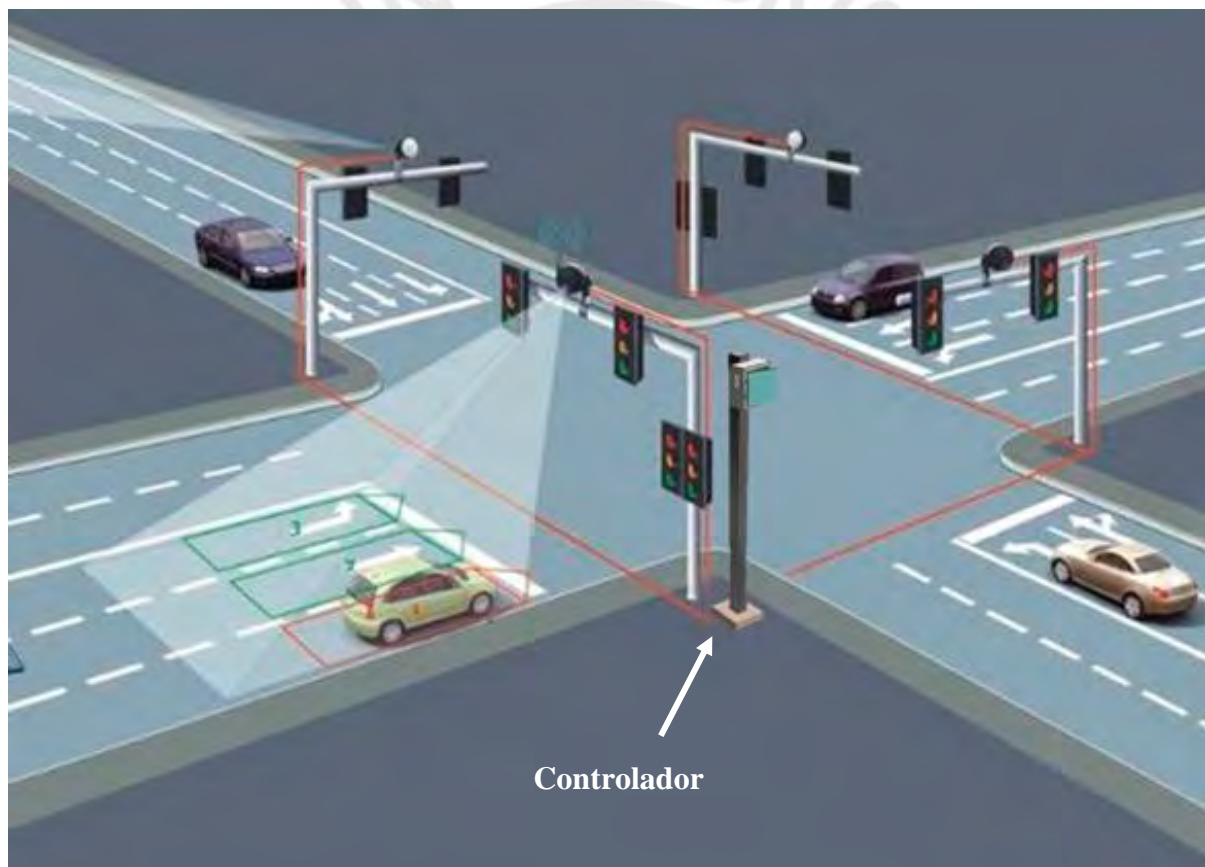


Figura 1.7 Disposición del controlador instalado en una intersección semafórica

Fuente: Adaptado de [22]

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseñar un controlador que se pueda adaptar al sistema de semaforización de Lima Metropolitana para la optimización de tiempos de los ciclos semafóricos en tiempo real, con el propósito de apoyar en la gestión de tránsito vehicular urbano.

1.6.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis acerca de la problemática de congestión vehicular, así como levantar información de la situación actual en Lima con el objetivo de justificar el presente trabajo.
- Revisar el estado del arte para identificar soluciones propuestas en diferentes ciudades del mundo y algunos algoritmos en investigación para sistemas de semaforización.
- Definir los requerimientos del controlador en base a lo revisado previamente. Se debe tener en cuenta las consideraciones mecánicas, electrónicas, de comunicaciones y control, entre otros aspectos económicos y de seguridad.
- Proponer el concepto de solución en base a los requerimientos definidos, a las limitantes que se presentan en la ciudad de Lima y a las normas correspondientes, siguiendo la norma VDI 2221.
- Diseñar el algoritmo de control descentralizado para optimizar los tiempos de los ciclos semafóricos y analizar el comportamiento del tránsito con dicho algoritmo, y con la lógica de semaforización actual, a través de un ambiente de simulación y empleando un caso de estudio.
- Realizar el diseño electrónico y eléctrico, incluyendo los cálculos para la selección de componentes electrónicos y eléctricos, las conexiones de los mismos, así como los protocolos de comunicación.
- Realizar el diseño mecánico, incluyendo los cálculos para la selección y/o diseño de componentes mecánicos, así como las uniones y el ensamble del conjunto.
- Estimar los costos totales del sistema teniendo en cuenta los componentes seleccionados, los procesos de fabricación y las actividades de integración, así como también los costos de diseño.

Capítulo 2: Estado de la tecnología

En el presente capítulo se describen los sistemas de control de tráfico vehiculares más usados en diversas ciudades del mundo, algunas patentes sobre gestión de tránsito, los controladores de tránsito más comerciales e investigaciones recientes sobre algoritmos para optimizar tiempos de los ciclos semafóricos para reducir la congestión vehicular.

2.1 Sistemas de control de tráfico vehicular existentes

A continuación, la Tabla 2.1 muestra un cuadro resumen con las principales características de los 3 sistemas de control de tráfico vehicular más usados en el mundo y, posteriormente, se describirá cada uno de ellos.

Tabla 2.1 Principales características de los sistemas de control de tráfico vehicular existentes

	SCOOT	SCATS	Surtrac
Año de creación	1980	1975	2012
Desarrolladores	Laboratorio de Investigación del Transporte y la Industria de sistemas de tráfico de Reino Unido	Government of New South Wales de Sydney, Australia	Investigadores del Instituto de Robótica de la Universidad Carnegie Mellon
Sensores que utilizan	Sensores de bucle de inducción (Intrusivos)	Sensores de bucle de inducción (Intrusivos)	Cámaras y radares
¿Es descentralizado?	No	No	Parcialmente
Resultados de su implementación	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el tiempo promedio de viajes entre un 6 y un 15 %. • Reduce el tiempo de espera en las intersecciones entre un 17 y 29 %. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el tiempo promedio de viajes en un 28 %. • Reduce las emisiones producidas por vehículos en un 15 %. • Reduce el consumo de combustible en un 12 %. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce el tiempo promedio de viajes en un 25 %. • Reduce las emisiones producidas por vehículos en un 20 %. • Reduce el tiempo de espera en las intersecciones en un 40 %.
Aplicación	Se ha implementado en más de 200 localidades a nivel mundial.	Se ha implementado en 187 ciudades a nivel mundial.	Se ha implementado en algunas ciudades de Estados Unidos.

Fuente: [23], [24], [25]

2.1.1 Split cycle and offset optimization technique: SCOOT

El sistema de control de tráfico urbano SCOOT fue desarrollado por el Laboratorio de Investigación del Transporte (TRL) en colaboración con la industria de sistemas de tráfico del Reino Unido. SCOOT es un sistema adaptativo que responde automáticamente a las fluctuaciones del tráfico. Elimina la necesidad de planes semafóricos que son costosos de preparar y mantener actualizados. SCOOT ha demostrado ser una herramienta eficaz para gestionar el tráfico en redes de vías señalizadas y actualmente se utiliza en más de 200 localidades en diversas ciudades en el mundo, entre las que más resaltan: Beijing, Londres, Toronto y Southampton [23].

Una instalación típica basada en SCOOT incluye 3 componentes principales: la unidad informática central (UTC), en donde se realiza el procesamiento de la información; el equipo en campo, que incluye los controladores locales, detectores de vehículos y luces de semáforos; y, la interfaz de transmisión, que provee una red de transmisión bidireccional para transferir información entre la UTC y el equipo en campo [23]. En la Figura 2.1 se puede observar el flujo de información en un sistema SCOOT.

SCOOT obtiene información sobre el flujo de tráfico a través de detectores de vehículos. Comúnmente, se utilizan sensores de bucle de inducción, los cuales son intrusivos. Como sistema adaptativo, SCOOT depende de buenos datos de tráfico para que pueda responder a los cambios en el flujo. Normalmente se requieren detectores en cada intersección. Su ubicación es importante y, por lo general, se ubican en el extremo inicial de la vía que pertenece a la intersección semafórica.

Asimismo, para la determinación de tiempos en cada intersección, SCOOT tiene tres procedimientos de optimización: el optimizador de división (*Split Optimiser*), el optimizador de compensación (*Offset Optimiser*) y el optimizador de tiempo de ciclo (*Cycle Time Optimiser*). Estos le dan a SCOOT su nombre: *Split cycle and offset optimization technique*. Cada optimizador estima el efecto de un pequeño cambio incremental en los tiempos de la señal en el rendimiento general de la red de señales de tráfico de la región. Se utiliza un índice de rendimiento, basado en las predicciones de retrasos y paradas del vehículo en cada intersección.

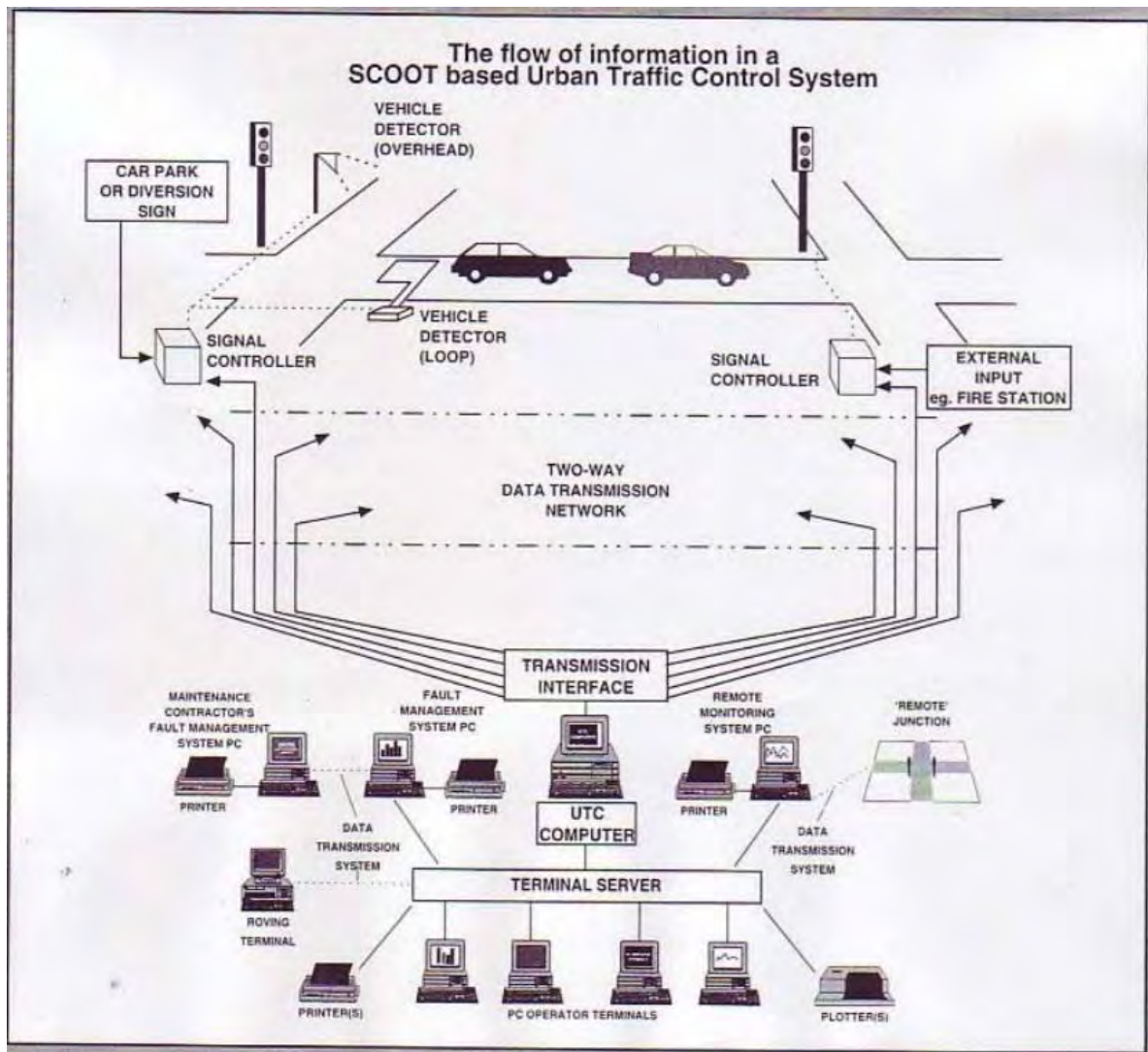


Figura 2.1 Flujo de información en un Sistema SCOOT
Fuente: Department for Transport of United Kingdom [26]

El optimizador dividido funciona en cada cambio de fase de semáforo al analizar los tiempos de rojo y verde actuales para determinar si el tiempo de cambio de fase debe avanzar, retrasarse o permanecer igual. El optimizador dividido funciona en incrementos de 1 a 4 segundos.

El optimizador de compensación funciona una vez por ciclo para cada intersección. Funciona mediante el análisis de la situación actual en cada intersección utilizando los perfiles de flujo cíclicos previstos para cada una de las intersecciones cercanas. A continuación, evalúa si el tiempo de acción existente debe adelantarse, retrasarse o permanecer igual en incrementos de 4 segundos.

El optimizador de tiempo de ciclo opera en una región de intersecciones semafóricas una vez cada cinco minutos, o cada dos minutos y medio cuando los tiempos de ciclo aumentan rápidamente. Identifica la "intersección crítica" dentro de la región e intentará ajustar el tiempo del ciclo para mantener esta intersección con baja saturación en cada etapa. Si calcula que se requiere un cambio en el tiempo del ciclo, puede aumentar o disminuir el tiempo del ciclo en incrementos de 4, 8 o 16 segundos.

Los resultados de SCOOT comparados con planes de semaforización con tiempos fijos, muestran una reducción del tiempo de espera de vehículos en las intersecciones del 12 % en Glasgow, 27 % en Coventry, 27 % en Beijing, 19 % en Londres y 17 % en Toronto [26], [23]. Asimismo, se presenta una reducción del tiempo promedio de viajes del 7 % en Beijing, 6% en Coventry, 7 % en Londres y 8 % en Toronto [23].

2.1.2 *The Sydney coordinated adaptive traffic system: SCATS*

SCATS es un sistema de control de tráfico urbano adaptable que optimiza el flujo de tráfico. Su software de auto calibración minimiza la intervención manual, lo que puede resultar en ahorros sustanciales de costos operativos. Este sistema se ha desarrollado continuamente durante más de 40 años y se ha probado en diversas ciudades, por lo que ofrece reducciones reales y cuantificables en los tiempos y retrasos de los viajes por carretera [24].

Respecto a su implementación, se observa que un sistema SCATS necesita componentes similares a los de un sistema SCOOT:

- Controladores de señales de tráfico compatible.
- Un sistema informático centralizado para gestionar todos los controladores de señales de tráfico.
- Una red de comunicaciones confiable para el sistema informático centralizado para intercambiar datos con todos los controladores de señales de tráfico en la ciudad.
- Detectores de vehículos en cada intersección, generalmente en forma de sensores de bucle de inducción en el pavimento de la carretera.

Utilizando datos de los detectores de vehículos, SCATS puede implementar estrategias de retraso mínimo o paradas mínimas. Asimismo, SCATS es un sistema ciclo-a-ciclo que optimiza la duración del ciclo, divide y compensa todos los ciclos de tiempos en semáforos.

En respuesta a las demandas de la red de tráfico, SCATS puede:

- Alterar el tiempo de ciclo de las intersecciones individualmente o en grupos.
- Determinar divisiones de fase en las intersecciones.
- Introducir opciones de ciclo dependientes del plan.

Actualmente, este sistema se ha implementado en más de 187 ciudades de todo el mundo, incluidas la mayoría de las ciudades capitales de Australia, Singapur, Kuala Lumpur, Yakarta, Manila, Shanghai, Hong Kong, Teherán, Qatar, Ciudad de México, Detroit, Minneapolis, Dublín y Auckland.

Como resultado de su implementación, se observó que, en promedio, SCATS ha reducido las paradas de vehículos en un 25 %, los tiempos promedio de viaje en un 28 %, las emisiones producidas por vehículos en un 15 % y el consumo de combustible en un 12 % [24].

2.1.3 Scalable Urban Traffic Control: Surtrac

Surtrac presenta un enfoque innovador para el control de señales de tráfico en tiempo real, que combina la investigación de la inteligencia artificial y la teoría del tráfico. Surtrac optimiza el rendimiento de las señales para el tráfico que está actualmente en la carretera, mejorando el flujo de tráfico tanto en las redes urbanas como en carreteras conduciendo a tiempos de espera más cortos, menos congestión, tiempos de viaje más cortos, y menos contaminación. A diferencia de otros sistemas inteligentes de administración de tráfico, como el que se usa en Los Ángeles, éste es descentralizado, así que cada intersección semafórica toma sus propias decisiones de tiempo [25].

Lo primero que hace Surtrac es sensor lo que hay o lo que está sucediendo alrededor de la intersección, en tiempo real. Obtiene esta información de una integración de software / API con la infraestructura de detección que puede incluir cámaras, radares o incluso sensores de bucle de inducción. Surtrac procesa esta información y luego, a cada segundo, a través de su software de programación patentado, crea un plan de optimización sobre cómo mover el tráfico multimodal a través de la intersección de la manera más eficiente posible. A continuación, a través de una segunda integración de software / API, Surtrac actúa en este plan enviando comandos al controlador para coordinar las señales en apoyo de su plan de optimización. Finalmente, Surtrac comunica información sobre su plan y el tráfico que fluirá desde la intersección a las intersecciones vecinas para que puedan incorporar esta información en sus

respectivos planes, lo que permite que la autonomía y el control coordinado se realicen de forma natural en toda la red a medida que las condiciones del tráfico lo requieran, así como a los vehículos, pasajeros, peatones o cualquier otro dispositivo o sistema conectado que pueda tener uso para esta información. En la Figura 2.2 se pueden observar los principales componentes del sistema mencionados previamente.

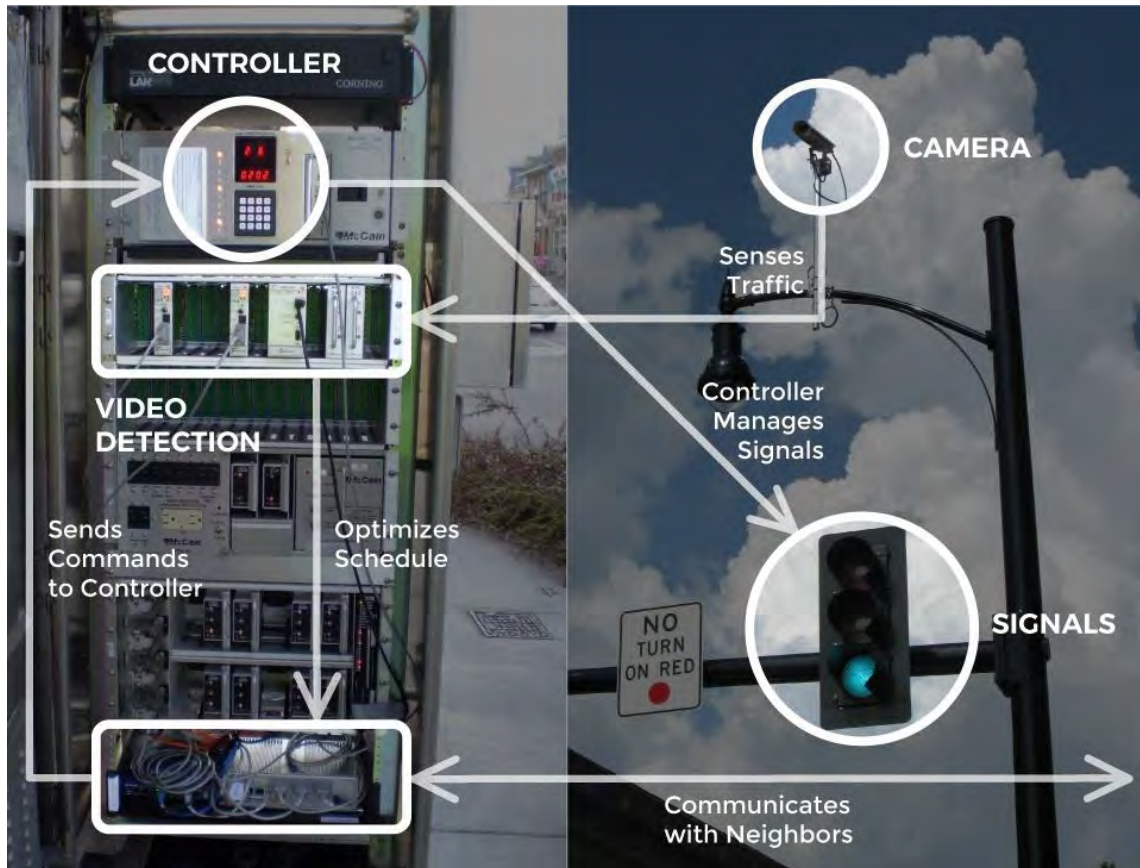


Figura 2.2 Componentes del sistema Surtrac

Fuente: Rapid Flow Technologies [25]

Actualmente, se ha probado este sistema en la ciudad de Pittsburgh, en donde se redujo el tiempo promedio de viajes en alrededor de 25 %, las emisiones producidas por vehículos en un 20 %, y el tiempo de espera en las intersecciones en un 40 % [25].

2.2 Patentes sobre gestión de tránsito

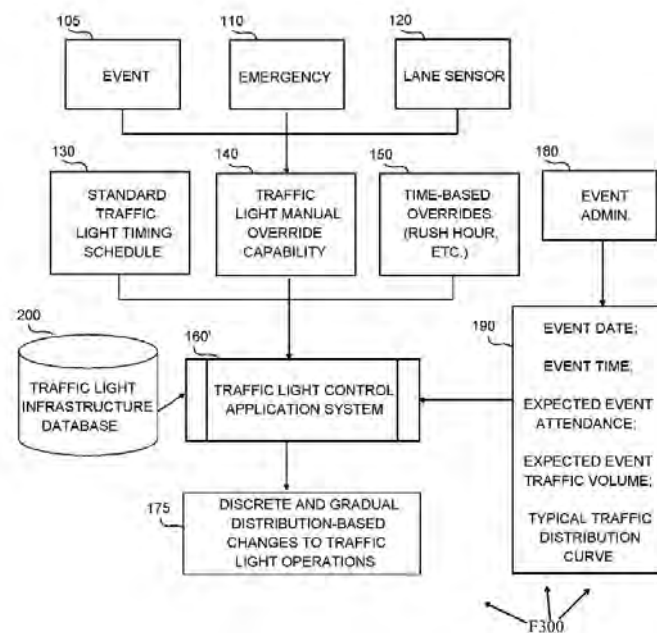
2.2.1 Generalized adaptive signal control method and system

Número de publicación: US 2002/0116118 A1	Desarrolladores: Charlie Monroe Stallard Larry Evans Owen	Fecha de publicación: 22/08/2002
<p>Esta patente trata de un método basado en reglas para un eficaz control de señales adaptativas distribuidas de redes de tráfico, así como el equipamiento que se emplea. Las estimaciones de cola y los conjuntos de reglas se utilizan para determinar el estado de la señal en cada intersección semafórica de la red. La estimación de la cola usa datos en tiempo real de detectores en vías previas a una intersección para estimar el número de vehículos que se aproximan a la intersección y los vehículos en cola. Cada vehículo detectado es tratado como un grupo de vehículos "parciales" que corresponden a movimientos aprobados que el vehículo podría hacer. La lógica de control y de estimación de la cola que determina el estado de la señal puede implementarse como un sistema distribuido. La lógica de control de señales consta de un conjunto de reglas para un control no codificado y un proceso que crea un plan de tiempos fijos para el control congestionado [27].</p>		

2.2.2 Method and system for controlling and adjusting traffic light timing patterns

Número de publicación: US 2010/0171640 A1	Desarrolladores: David J. Delia Wayne M. Delia	Fecha de publicación: 08/07/2010
---	--	--

La presente invención se refiere a métodos y sistemas para el control y ajuste de patrones para la temporización de semáforos, basados en variables de entrada relacionadas con eventos conocidos o esperados, tales como futuros volúmenes de tráfico, para cambiar gradualmente el tráfico en intervalos de tiempo. En otras palabras, el objetivo es proporcionar un sistema que no requiere de ningún tipo de detectores de volumen de tráfico, equipos o dispositivos sensores de tráfico, dispositivos de navegación GPS, cámaras, y/o cualquier otro sensor o detector en tiempo real, o cualquier protocolo de comunicación entre un sistema de aplicación central y vehículos o dispositivos de visualización de mensajes de tráfico que interactúan en proximidad. Esto se debe a que la información relativa a un evento planificado con volúmenes esperados de tráfico puede introducirse en el sistema de la presente invención antes de que suceda el evento planificado por personal de control de tráfico de sucesos, administradores o asistentes siguiendo una distribución estadística típica del tráfico en un tiempo determinado [28].



2.2.3 Traffic Control Systems and Methods

<p>Número de publicación: US 2018/0096595 A1</p>	<p>Desarrolladores: Andrew William Janzen Ryan McKay Monroe</p>	<p>Fecha de publicación: 05/04/2018</p>
<p>Se describen sistemas y métodos de control de señales de tráfico de acuerdo con diversas representaciones propuestas. Cada representación incluye al menos: un sensor de imagen montado con una vista de pájaro por cada intersección; memoria que contiene una aplicación de optimización de tráfico y parámetros de clasificador, donde cada clasificador está configurado para detectar una clase diferente de objeto; y un sistema de procesamiento. Además, la aplicación de optimización del tráfico dirige el sistema de procesamiento para: capturar datos de imagen usando el sensor de imagen; buscar peatones y vehículos visibles dentro de los datos de imagen capturados, ejecutando una pluralidad de procesos de clasificación basados en los parámetros del clasificador; determinar modificaciones de las fases de señal de tráfico basándose en la detección de al menos un peatón o un vehículo; y enviar las instrucciones de fases de señal de tráfico a un controlador de tráfico que dirija la modificación de fases de señal de tráfico [29].</p>		
<pre> graph TD 300[300] --- 302[Traffic Controller] 302 -- "Light states (310)" --> 300 304[Sensor(s) 304] --> 306[Sensor Processing Unit 306] 306 --> 302 306 --> 308[Traffic Optimization Processing Unit 308] 308 --> 302 308 <--> 312[Advanced Feature Unit 312] 308 <--> 314[Statistical Processing Unit 314] subgraph 312_314 [Traffic Control Server System] 312 314 end </pre>		

2.3 Controladores de tránsito comerciales

Los controladores más usados actualmente en Perú, incluyendo los empleados para la gestión de olas verdes mencionadas anteriormente, son comercializados por la empresa TEC Corporation. El inconveniente de estos controladores es que su funcionamiento está limitado a un control centralizado. Asimismo, algunos de estos controladores están diseñados específicamente para los sistemas de control de tráfico vehicular más conocidos como SCOOT y SCATS. A continuación, se muestran algunos de estos controladores en las Figura 2.3, y posteriormente se describen sus principales características.



SBC 247/8 - Ethernet



Autotrol CT-800d



2070L



SBC 2400

Figura 2.3 Controladores electrónicos de tránsito comerciales

Fuente: TEC Corporation [30], [31], [32], [33]

2.3.1 Controlador electrónico de tránsito SBC 247/8 - Ethernet

El modelo SBC 247/8 – Ethernet es un módulo lógico programable capaz de controlar de 2 a 8 grupos de señales independientes, que cuenta con algunos programas preconfigurados para las intersecciones semaforicas. Sus principales características se encuentran en la Tabla 2.2:

Tabla 2.2 Características de controlador electrónico de tránsito SBC 247/8 - Ethernet

Modular	<ul style="list-style-type: none"> - Modulo lógico programable - Circuito para el encendido de lámparas incandescentes o leds. - Fuente de poder, conexiones de salida y fusibles.
Programación	<ul style="list-style-type: none"> - Incluye programas pre almacenados. - 12 programas al día de lunes a viernes totalmente configurables. - 5 programas para el día sábado, totalmente configurable. - 3 programas para el día domingo, totalmente configurable. - Más de 68 programas en la memoria. - Reloj digital incorporado, con batería de respaldo de 5 años.
Grupos de señal	De 2 a 8 grupos de señal independientes programables.
Modo de operación	<ul style="list-style-type: none"> - Local aislado. - Sincronizado simple. - Sincronizado bidireccional. - Actuado por el tránsito - Detectores de lazo inductivo - Video detectores. - Interconectado a un Centro de Control Computarizado
Potencia	<ul style="list-style-type: none"> - Fuente de poder con Voltaje de 100-240 V - Frecuencia 60 Hz +/- 15 % - Potencia 1000 W por cada salida - Salidas independientes 12.
Sistema de protección	<ul style="list-style-type: none"> - Contra falsas escrituras - Contra verdes conflictivos
Protocolos de Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> - Comunicación preparada para soportar NTCIP (Opcional) - Conexión RS-232 - Conexión RS-485 - Conexión Ethernet

Fuente: TEC Corporation [30]

2.3.2 Controlador electrónico de tránsito Autotrol CT-800d

El modelo Autotrol CT-800d cuenta con un microprocesador central de 16 bits, microcontroladores independientes de 8 bits, una red de comunicación interna que permite el monitoreo de la potencia de salida de lámparas. Asimismo, es capaz de controlar de 4 a 8 grupos de señales independientes, permite la coordinación en tiempo real por equipamiento maestro

y/o desde un centro de control, y presenta compatibilidad total con protocolo SCOOT. Sus principales características se encuentran en la Tabla 2.3:

Tabla 2.3 Características de controlador electrónico de tránsito Autotrol CT-800d

Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Control para intersecciones aisladas y coordinadas. - Facilidades para control adecuado por el tránsito. - Configuración de redes tipo maestro-esclavo. - Sistemas centralizados de tiempos fijos. - Sistemas centralizados adaptativos en tiempo real (SCOOT) - Proyectos especiales.
Grupos de señal	<ul style="list-style-type: none"> - 4 a 8 grupos de señal totalmente programables. - Salidas aptas para lámparas incandescentes, halógenas y Leds. - La conmutación de lámparas se realiza en el cruce por cero. - La carga máxima de salida es de 1000W.
Tecnología	Totalmente electrónico, tecnología digital HCMOS, con muy bajo consumo de energía.
Controles e indicadores	<ul style="list-style-type: none"> - Teclado y display alfanumérico de cristal líquido. - Llaves de comando para apagado de lámparas y modo intermitente. - Indicadores de Leds para cada grupo de señal, estado del controlados, y comunicaciones. - Hasta 16 entradas y 9 salidas optoaisladas. - Programación a través de interfaz gráfica para plataforma de PC.
Sistema de protección	<ul style="list-style-type: none"> - Selección de todos los posibles pares de verdes conflictivos (circuitos redundantes). - Detección de ausencia de lámparas rojas (circuitos redundantes). - Protección contra descargas atmosféricas e interferencia electromagnética.
Modos de coordinación	<ul style="list-style-type: none"> - Coordinación de señal de sincronismo por vía: Computadora Central. Coordinador Maestro. Compatibilidad con sistema SCOOT - Sincronismo sin interconexión por vía: Reloj de tiempo real. Frecuencia de red. Sistema de posicionamiento global (GPS)
Alimentación	110/220 VAC
Frecuencia	50 o 60 Hz
Consumo	20 W
Temperatura de Operación	-20°C a + 70°C
Dimensiones	750 mm x 550 mm x 240 mm
Gabinete de Protección	IP 66
Peso	25 kg

Fuente: TEC Corporation [31]

2.3.3 Controlador electrónico de tránsito 2070L

El controlador de modelo 2070L es una avanzada versión de los controladores de tipo Caltrans, ya que ha sido diseñado en total cumplimiento con las especificaciones de equipamiento eléctrico para el transporte de Caltrans (TEES). Asimismo, este modelo es intercambiable con los controladores estándar con software 170, lo cual permite a los usuarios finales actualizar las intersecciones existentes con una plataforma moderna de alto rendimiento sin cambiar el hardware del gabinete. El 2070L es un avanzado, reforzado, procesador de campo multitareas y sistema de comunicaciones que puede fácilmente configurarse para una gran variedad de aplicaciones de gestión de tránsito, y es capaz de controlar hasta 18 grupos de señales independientes. Sus principales características se encuentran en la Tabla 2.4:

Tabla 2.4 Características de controlador electrónico de tránsito 2070L

Microprocesadores	- Módulo CPU: Procesador Freescale MC68EN360, 32 Bit, 24.576 MHz - Módulo I/O: Microprocesador Freescale MC68LC302, corriendo a 20 MHz
Memoria	- 8MB Memoria Flash (expandible a 16MB) - 8MB PSRAM - 2MB memoria no-volatil SRAM - Reloj de tiempo real de Backup (RTC)
Grupos de señal	18 grupos de señal
Interfaces de comunicaciones	- (2) puertos SDLC - (5) puertos ACIA - Puerto Ethernet 10 Base-T
Salidas	54 salidas individuales.
Sistema operativo	Microware OS-9 sistema operativo en tiempo real (RTOS)
Protocolo de comunicación	NTCIP y AB3418
Alimentación	95/135 VAC
Tensión de entrada	+12 VDC serial 0.1A a 10A
Tensión lógica	+5 VDC serial 0.1A a10A
Frecuencia	60 Hz
Temperatura de Operación	-37°C a + 74°C
Dimensiones	480 mm x 170 mm x 330 mm

Fuente: TEC Corporation [32]

2.3.4 Controlador electrónico de tránsito SBC 2400

El modelo SBC 2400 de TEC es un sistema de tráfico de bajo costo, basado en un controlador de placa única corriendo sobre el software 170, capaz de controlar hasta 8 grupos de señales independientes. Sus principales características se encuentran en la Tabla 2.5:

Tabla 2.5 Características de controlador electrónico de tránsito SBC 2400

Procesador	Motorola MC68HC11F1CFNE3 (12 MHz)
Memoria	- Eprom (32Kbytes) - RAM no volátil
Grupos de señal	Permite la programación individual de los 8 grupos de señal, en vehicular, peatonal o grupos de señal especiales, y las superposiciones.
Entradas	- 8 Entradas para Video / Lazo Detectores vehiculares (5V) - 5 Control de Insumos (5V) - 1 Monitor de la Unidad de Conflictos (CMU) - 2 Monitor de Fusibles (de conductor a bordo de energía) - 3 Actuado Manualmente para Peatones. - 4 Control Manual para Policía - 5 Coordinación de Sincronización por: Modem alámbrico o inalámbrico, fibra óptica, GPS, GSM o GPRS.
Salidas	24 (tierra verdadera, fregadero 50 mA)
Terminal de interfaz	Niveles RS232. RX, TX, RTS, CTS, y una lógica entrada de 5V
Protocolo de comunicación	NTCIP 1201 y 1202
Alimentación	110/220 VAC
Tensión de entrada	9 a 30 VDC
Tensión de lógica	+5 VDC
Frecuencia	50 o 60 Hz
Consumo	10 W
Temperatura de Operación	-20°C a + 75°C
Dimensiones	300 mm x 300 mm x 300 mm
Gabinete de Protección	IP 66
Peso	13 kg

Fuente: TEC Corporation [33]

2.4 Algoritmos de control

Debido a la importancia de resolver el problema de congestión vehicular, en los últimos años se han desarrollado investigaciones acerca de novedosos algoritmos para el control de luces de semáforos, bajo diversos abordajes de control e inteligencia artificial. El presente trabajo tomará como punto de referencia algunas de estas investigaciones para diseñar un algoritmo descentralizado para la optimización de los tiempos de cada fase de ciclo semafórico. A continuación, se describirá una secuencia de investigaciones en las que se demuestra la estabilidad de un sistema de tráfico en el que se aplica una política de asignación proporcional generalizada, la cual es completamente descentralizada; asimismo, en algunas de estas investigaciones se llega a implementar dicha política en un ambiente de simulación y compararlo con otros algoritmos no descentralizados.

En la investigación “*On maximally stabilizing adaptive traffic signal control*” publicada en el año 2013, se analizó la estabilidad de un sistema de tráfico urbano bajo una política sencilla de control descentralizada de fase única, es decir, que a las intersecciones semafóricas se otorga fase de luz verde como máximo a una vía ingresante a la vez. En esta investigación, se demostró matemáticamente que la política de control diseñada admite un equilibrio global asintóticamente estable, pero solo para redes de tráfico acíclicas [34].

Más adelante, en la investigación “*Entropy-like Lyapunov functions for the stability analysis of adaptive traffic signal controls*” publicada en el año 2015, se modeló un sistema de tráfico urbano como una red de grafos dirigidos, cuyos nodos representan las intersecciones semafóricas y cuyas aristas representan las vías que unen intersecciones. En este modelo se implementó una política de control descentralizada de fase única que solo depende de la densidad de vehículos en las vías ingresantes a una intersección semafórica. Lo resaltante de esta investigación es que se estudió el análisis de estabilidad del sistema de tráfico usando una función de Lyapunov basada en entropía con redes de tráfico cíclicas; con lo cual se logró demostrar que el sistema de tráfico bajo la política de control descentralizada admite un equilibrio global asintóticamente estable en redes de tráfico cíclicas [35].

Demostrado ello, en la investigación “*On Generalized Proportional Allocation Policies for Traffic Signal Control*” publicada en el año 2017, basado en el modelo del sistema de tráfico urbano de la investigación previa [35], se diseñó un algoritmo de control descentralizado multifase, es decir, que más de una vía ingresante a una intersección semafórica puede recibir luz verde. Para el análisis de estabilidad del sistema de tráfico se incorporaron ecuaciones de

conservación de masa, restricciones de no-negatividad, así como un argumento basado en el principio de LaSalle. Nuevamente, se demostró que el sistema de tráfico es máximamente estable [36].

En la investigación “*Evaluation of Decentralized Feedback Traffic Light Control with Dynamic Cycle Length*” publicada en el año 2018 se estudió un algoritmo de control proporcional generalizado con duración de ciclo semafórico variable. Este algoritmo, al final de cada ciclo semafórico determina los tiempos de las fases de los semáforos y la duración total del ciclo semafórico, basado únicamente en el tamaño de la cola de vehículos detenidos en cada vía ingresante a la intersección semafórica. Con los resultados obtenidos se demostró que una duración de ciclo semafórico dinámica mejora el comportamiento del algoritmo de control [37].

Posteriormente, en la investigación “*A Micro-Simulation Study of the Generalized Proportional Allocation Traffic Signal Control*” publicada a inicios de 2020 se implementó el algoritmo de control diseñado en [37] en un ambiente de simulación de tráfico con el objetivo de comparar sus resultados con el algoritmo de control MaxPressure, el cual es un algoritmo no descentralizado que requiere de mayor información como por ejemplo, conocer hacia dónde se dirigen los vehículos que pasan por una intersección semafórica. Los resultados obtenidos de la comparación son bastante alentadores: el algoritmo de control proporcional generalizado descentralizado obtiene mejores resultados cuando el volumen vehicular es bajo; mientras que, los resultados son muy cercanos cuando el volumen vehicular aumenta [38].

Capítulo 3: Diseño conceptual

En el presente capítulo se define el diseño conceptual del sistema teniendo en cuenta las consideraciones mecánicas, electrónicas, de comunicaciones y control, y siguiendo la norma VDI 2221. Para ello, primero se especifican los requerimientos, luego se elabora la estructura de funciones, la cual se usa para establecer la matriz morfológica que permite formular distintos conceptos de solución; y finalmente, se define el concepto de solución final luego de realizar una evaluación técnica-económica a los distintos conceptos de solución.

3.1 Lista de requerimientos

A partir de la revisión bibliográfica previa, se definen los requerimientos del sistema (ver Tabla 3.1), los cuales están divididos en rubros como: función principal, geometría, cinemática, fuerzas, energía, materia, seguridad, comunicaciones, señales, control, operación, ergonomía, fabricación, montaje, transporte, mantenimiento, costo y plazo.

Tabla 3.1 Lista de requerimientos del sistema

LISTA DE REQUERIMIENTOS DE SISTEMA		Edición: Rev6 (06/09/2021)
PROYECTO		Diseño de un controlador descentralizado adaptable al sistema de semaforización de Lima Metropolitana para la optimización de tiempos de los ciclos semafóricos en tiempo real
CLIENTES		Municipalidad de Lima y Municipalidades distritales
Fecha de modificación	D/E	Descripción
05/04/20	E E E	FUNCIÓN PRINCIPAL - Optimizar los tiempos del ciclo semafórico en una intersección en tiempo real (ciclo-a-ciclo), en base a la información recibida de volumen vehicular en cada vía. - Encender las luces de semáforos vehiculares y peatonales según los tiempos calculados. - Enviar la información recibida de volumen vehicular (parámetro de tránsito), los tiempos calculados del ciclo semafórico y el estado del SEPT hacia el <i>data center</i> .

LISTA DE REQUERIMIENTOS DE SISTEMA		Edición: Rev6 (06/09/2021)
05/04/20	E E	GEOMETRÍA Gabinete de control: - Altura < 1 m - Ancho < 0.4 m - Largo < 0.6 m Estructura soporte de gabinete: - Altura < 6 m - Ancho < 1 m - Largo < 1 m
05/04/20	E	CINEMÁTICA La estructura soporte debe permanecer fija al suelo.
05/04/20	E	FUERZAS Peso máximo del gabinete de control: 200 N.
05/04/20	E D E	ENERGÍA - Alimentación desde red eléctrica de 220 VAC - 60 Hz. - Reserva de energía para asegurar el funcionamiento en todo momento. - Consumo máximo de potencia: 40 W.
05/04/20	E	MATERIA No habrá flujo de materia en el sistema.
05/04/20	E E E	SEGURIDAD - Se debe diseñar el sistema de tal manera que no se vea comprometida la integridad física de ningún transeúnte, según normas del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. - Aislamiento eléctrico de la estructura, según el Código Nacional de Electricidad (MINEM). - Cubierta hermética para evitar la manipulación de componentes por parte de transeúntes y proteger contra polvo, salpicaduras y agua proyectada (NEMA 4).
05/04/20	E E E	COMUNICACIONES - Debe recibir datos del SEPT. - Debe enviar señales eléctricas a las luces de semáforos. - Debe recibir y enviar datos al <i>data center</i> .
05/04/20	E E E E E E	SEÑALES <u>De entrada</u> - Parámetros de tránsito desde el SEPT - Señal de modo de operación desde el <i>data center</i> (manual o autónomo) - Tiempos de cada fase desde el <i>data center</i> (en caso sea modo manual) <u>De salida</u> - Señales eléctricas a las luces de semáforos. - Parámetros de tránsito hacia el <i>data center</i> - Tiempos de cada fase hacia el <i>data center</i> - Estado del SEPT hacia el <i>data center</i>
05/04/20	E E	CONTROL DE TRÁFICO - Los parámetros que se deben modificar para el control de flujo vehicular son: los tiempos de cada fase y el tiempo de duración total del ciclo semafórico. - El cálculo de estos parámetros de control se debe realizar en base a la cantidad de vehículos esperando en cada vía de una intersección, dando prioridad de tiempos a las vías con mayor volumen vehicular.

LISTA DE REQUERIMIENTOS DE SISTEMA		Edición: Rev6 (06/09/2021)
	E	- El sistema debe ser independiente en cada intersección semafórica para el cálculo de los parámetros mencionados.
05/04/20	E E E E	OPERACIÓN - Tener un funcionamiento continuo. - Tener la opción de cambiar a modo manual desde el <i>data center</i> , en caso se requiera. - Detectar el mal funcionamiento del SEPT. - Debe operar en un ambiente bajo las siguientes condiciones: Temperatura: 0 a 40 °C Humedad: 20 a 70 %
05/04/20	D	ERGONOMÍA No habrá contacto directo con usuarios u operarios.
05/04/20	D	FABRICACIÓN El sistema debe ser diseñado de manera que se realice con materiales del medio local, de modo que sean de fácil adquisición.
05/04/20	D	MONTAJE El sistema debe ser modular para poder ser ensamblado de manera rápida, fijado al suelo.
05/04/20	E	TRANSPORTE El sistema debe ser compacto para permitir la facilidad de transporte de sus componentes.
05/04/20	E E	MANTENIMIENTO - Preventivo y calibraciones, de manera bimestral. - Limpieza de la cubierta exterior para evitar la acumulación de polvo o la aparición de moho, de manera trimestral.
05/04/20	E	COSTO El diseño y la fabricación del sistema no debe exceder los S/. 5 000.
05/04/20	E	PLAZO El sistema será diseñado en un plazo de 5 meses.

3.2 Estructura de funciones

En base a los requerimientos definidos previamente, se elabora la estructura de funciones del sistema a diseñar en el presente trabajo, la cual está dividida en dominios como: energía, comunicaciones, control, y mecánica. En la Figura 3.1 se muestra la estructura de funciones del sistema, así como su relación con el data center de la solución propuesta en la sección 1.3. Finalmente, se describen las funciones por dominios del sistema.

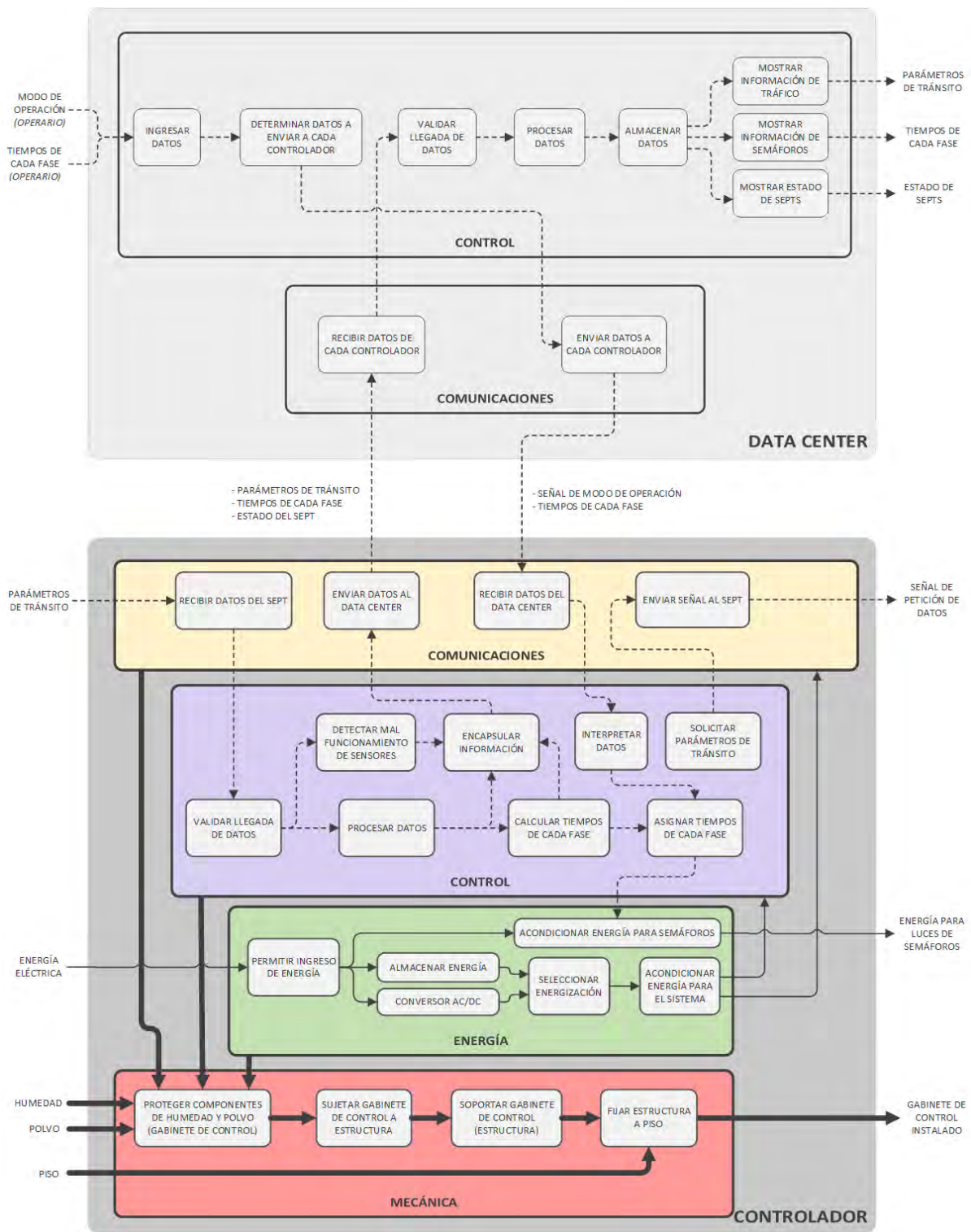


Figura 3.1 Estructura de funciones del sistema

Fuente: Elaboración propia

- **Dominio de comunicaciones**

El sistema presenta un módulo a través del cual se envía la petición de parámetros de tránsito y se reciben estos del SEPT con el protocolo de comunicación que se requiera. Por otro lado, se utiliza un dispositivo para el envío y recepción de datos del *data center*.

- **Dominio de control**

El sistema presenta una unidad de procesamiento, la cual al final de cada ciclo semafórico solicita los parámetros de tránsito al SEPT. A continuación, se valida la llegada de datos del SEPT para inicialmente detectar el mal funcionamiento de este; en caso los datos recibidos sean válidos, se procesan. Asimismo, se deben interpretar los datos recibidos del *data center* para primero determinar el modo de operación; en caso sea manual, se asignarán los tiempos recibidos a los tiempos de cada fase del ciclo semafórico; en caso sea autónomo, se calcularán los tiempos de cada fase del ciclo semafórico con un algoritmo de control. Posteriormente, la unidad de procesamiento envía señales digitales según estos tiempos a un bloque de potencia para energizar las luces de los semáforos. Finalmente, se encapsula la información de parámetros de tránsito, tiempos del ciclo semafórico y estado del SEPT para enviarla al *data center* cada 5 minutos.

- **Dominio de energía**

El sistema debe permitir el ingreso de energía de la red eléctrica convencional (220 VAC ~ 60 Hz), la cual se dirigirá a 3 puntos. En el primer punto se convierte la energía AC de alimentación del sistema en DC a través de un dispositivo; en el segundo punto se almacena energía en un sistema de alimentación alternativo con salida DC, el cual entrará en funcionamiento cuando no haya suministro de energía eléctrica haciendo uso de un elemento selector de energía; posteriormente, la energía seleccionada será acondicionada para la energización de los componentes del sistema. Por otro lado, en el tercer punto la energía directa de la red eléctrica llega a un bloque de potencia para energizar las luces de semáforos, según las señales provenientes de la unidad de procesamiento del sistema.




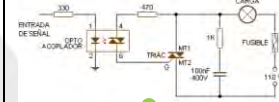

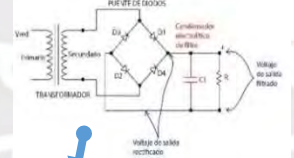




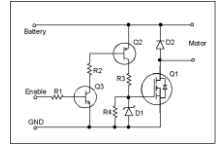



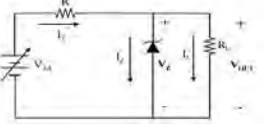
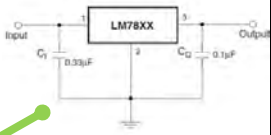
- **Dominio mecánico**

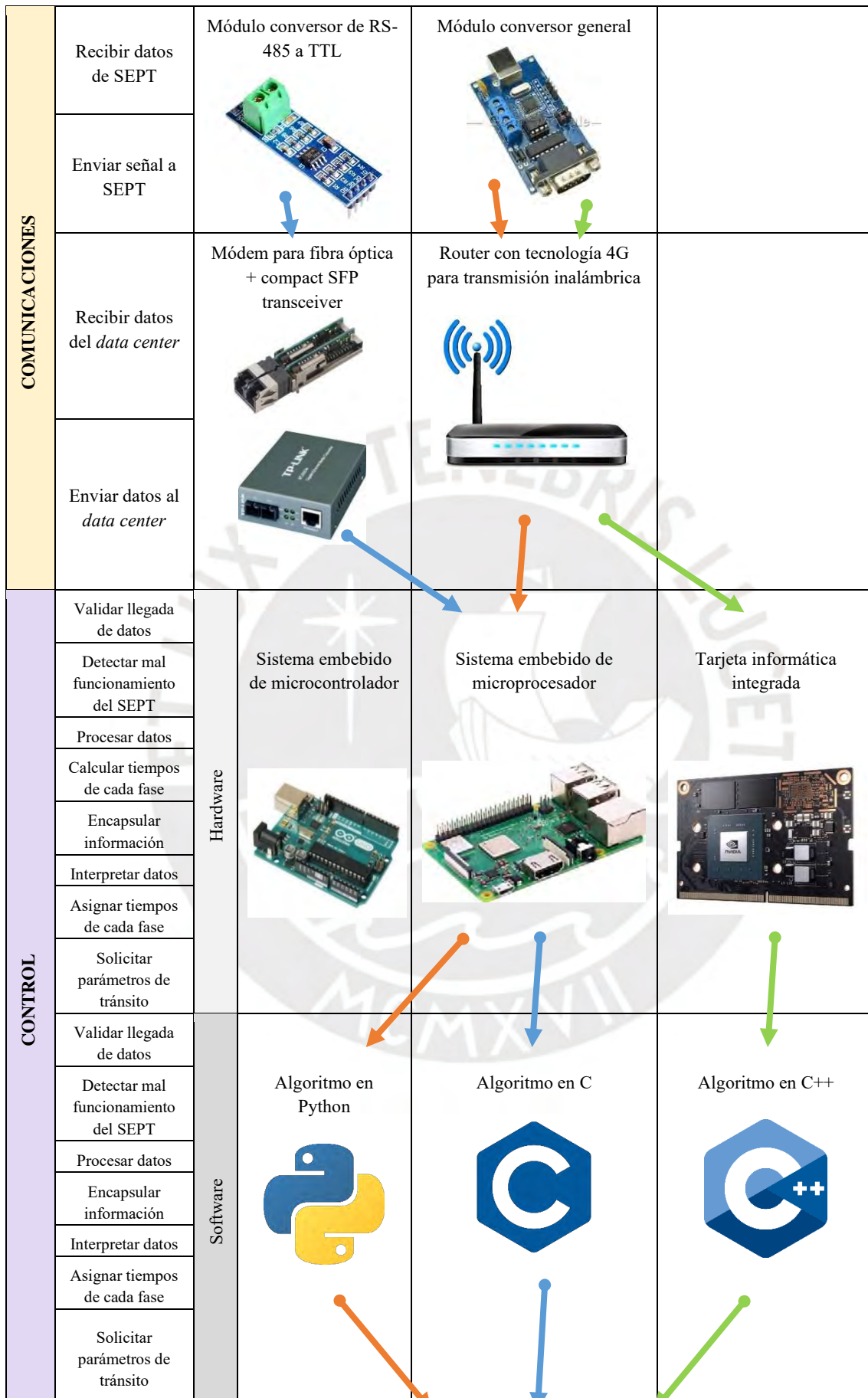
Todos los componentes se encuentran protegidos de la humedad y polvo en un gabinete de control, el cual debe permitir fácil acceso a los componentes. Asimismo, este gabinete se sujeta a una estructura sencilla, la cual se encuentra fija al piso.

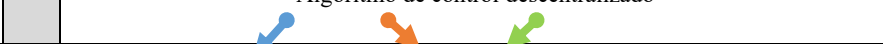


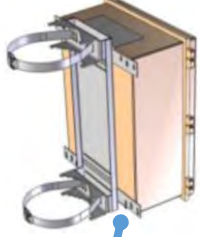
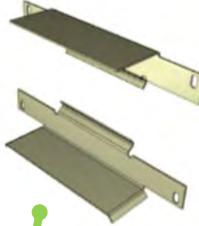
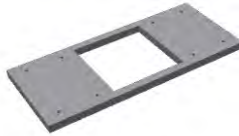



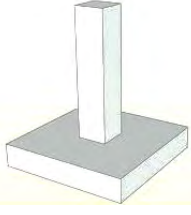
3.3 Matriz morfológica

A partir de la estructura de funciones del controlador, en esta sección se presentan, a través de una matriz morfológica, diferentes componentes que podrían llevar a cabo cada función. La matriz morfológica estará agrupada por los dominios de la estructura de funciones y se muestra a continuación en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Matriz morfológica

	FUNCIÓN	ALTERNATIVAS		
ENERGÍA	Permitir ingreso de energía	Llave termomagnética 		
	Acondicionar energía para semáforos	Relés electromecánicos 	Relés de estado sólido 	Circuito de optoacopladores + Triacs 
	Convertor AC/DC	Fuente switching 	Circuito de Transformador + rectificador + filtro 	Fuente lineal 
	Almacenar energía	Batería de plomo y ácido 	Batería de Polímero de litio 	Batería de níquel cadmio 
	Seleccionar energización del sistema	Circuito con transistores 	Relé de estado sólido 	Relé electromecánico 
	Acondicionar energía para el sistema	Módulo regulador de voltaje 	Circuito regulador con diodo zener 	Circuito regulador con componente integrado 



	Calcular tiempos de cada fase	Algoritmo de control descentralizado 		
MECÁNICA	Proteger componentes de humedad y polvo (gabinete de control)	Gabinete de polímero con tapa atornillada 	Gabinete con puerta y bisagra 	
	Sujetar gabinete de control a estructura	Base con abrazaderas para perfil circular 	Soporte con abrazaderas para perfil cuadrado 	Base como soporte para perfil cuadrado 
	Soportar gabinete de control (estructura)	Soporte con perfil circular 	Soporte con perfil cuadrado 	
	Fijar estructura a piso	Base con pernos de anclaje 	Zapata de concreto 	

3.4 Conceptos de solución

En base a la matriz morfológica, se proponen 3 alternativas de solución para el sistema:

● Solución 1

● Solución 2

● Solución 3

Solución 1

Esta solución debe permitir el ingreso de energía de la red eléctrica convencional (220 VAC ~ 60 Hz), la cual se dirigirá a 3 puntos, a través de una llave termomagnética. En el primer punto se convierte la energía AC de alimentación del sistema en DC a través de una fuente lineal; en el segundo punto se almacena energía en una batería de Níquel Cadmio con salida DC, la cual entrará en funcionamiento cuando no haya suministro de energía eléctrica haciendo uso de un relé electromecánico; posteriormente, la energía seleccionada será acondicionada para la energización de los componentes del sistema, a través de un circuito regulador con un componente integrado de código LM78XX. Por otro lado, en el tercer punto la energía directa de la red eléctrica llega a un circuito compuesto por optoacopladores y Triacs para energizar las luces de semáforos, según las señales provenientes de la unidad de procesamiento del sistema.

Respecto al dominio de comunicaciones, el sistema tendrá un módulo de conversión general para recibir los parámetros de tránsito del SEPT según el protocolo de comunicación que se requiera (RS-232, RS-485, TTL) y así llegue de manera serial al procesador; por lo tanto, esa solución tendrá la capacidad de utilizar cualquier protocolo para la comunicación con el SEPT. Por otro lado, se utilizará un router con tecnología 4G para el envío y la recepción de datos al/del *data center*.

En relación al dominio de control, se utilizará una tarjeta informática integrada, en donde se desarrollarán algoritmos en lenguaje C++ para validar la llegada de datos del SEPT, detectar el mal funcionamiento de estos y procesar los datos recibidos para posteriormente, encapsular la información que se enviará al *data center* cada 5 minutos. Asimismo, se deben interpretar los datos recibidos del *data center* para luego, a través de la aplicación de un algoritmo de control descentralizado, en cada ciclo semafórico de una intersección se determinen los tiempos óptimos de cada fase para reducir el flujo vehicular, los cuales se enviarán como señales al circuito compuesto por optoacopladores y Triacs para energizar las luces de semáforos.

Todos los componentes mencionados previamente se encontrarán protegidos de la humedad y polvo en un gabinete de control. Este gabinete presenta una puerta para facilitar el acceso a los componentes. Asimismo, se sujetará a una estructura soporte hueca de perfil cuadrado a través de un soporte con abrazaderas de perfil cuadrado. Esta estructura se encontrará fija al piso a través de una zapata de concreto.

La representación gráfica de la solución descrita se muestra a continuación en la Figura 3.2.

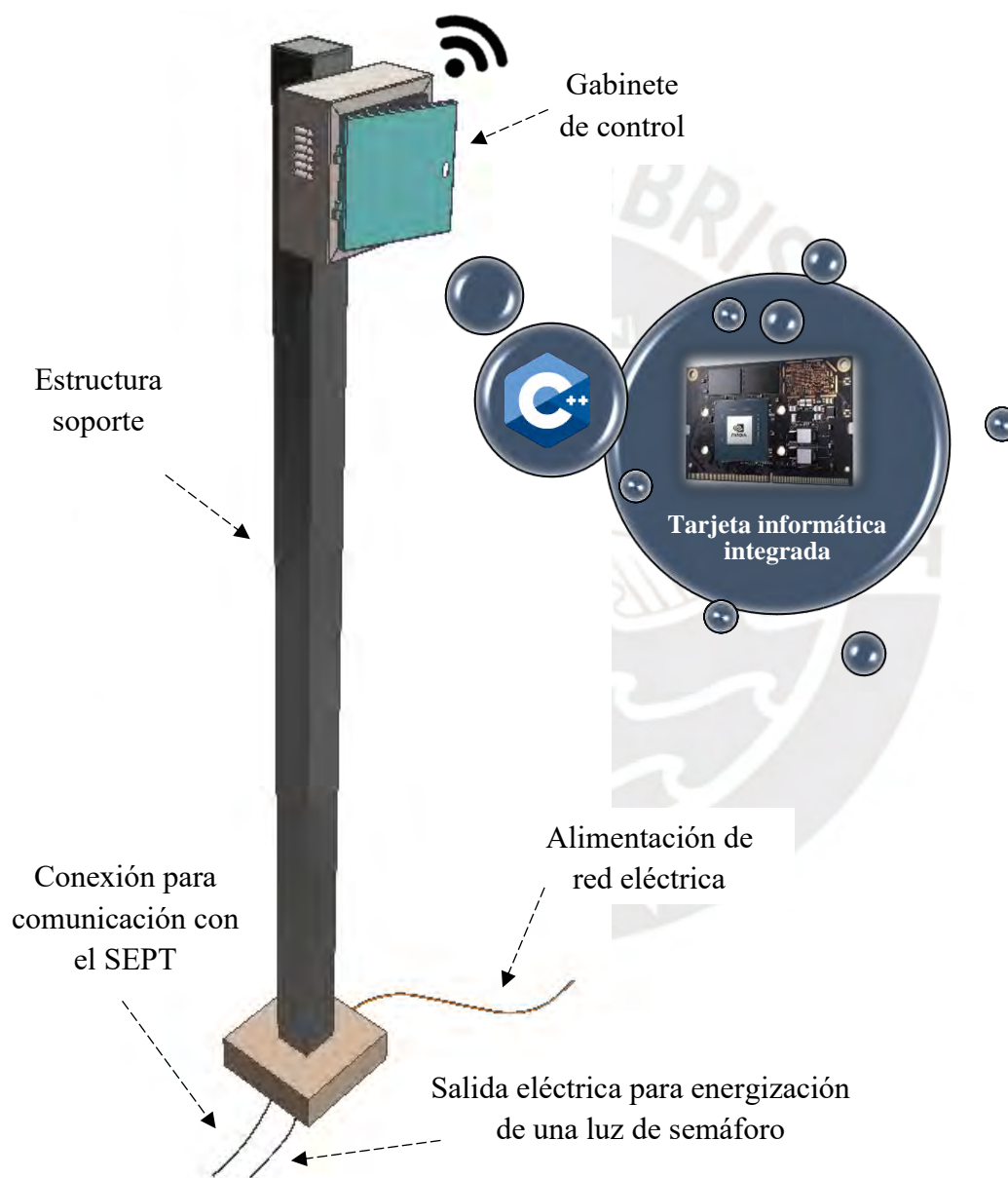


Figura 3.2 Representación gráfica del concepto de solución 1

Fuente: Elaboración propia

Solución 2

Esta solución debe permitir el ingreso de energía de la red eléctrica convencional (220 VAC ~ 60 Hz), la cual se dirigirá a 3 puntos, a través de una llave termomagnética. En el primer punto se convierte la energía AC de alimentación del sistema en DC a través de un circuito, el cual consiste en un transformador, rectificador y filtro; en el segundo punto se almacena energía en una batería de polímero de litio con salida DC, la cual entrará en funcionamiento cuando no haya suministro de energía eléctrica haciendo uso de un relé de estado sólido; posteriormente, la energía seleccionada será acondicionada para la energización de los componentes del sistema, a través de un módulo regulador de voltaje. Por otro lado, en el tercer punto la energía directa de la red eléctrica llega a un sistema de relés de estado sólido para energizar las luces de semáforos, según las señales provenientes de la unidad de procesamiento del sistema.

Respecto al dominio de comunicaciones, el sistema tendrá un módulo de conversión de RS-485 a TTL para recibir los parámetros de tránsito del SEPT y así llegue de manera serial al procesador; por lo tanto, esa solución se ve limitada a utilizar el protocolo RS-485 para la comunicación con el SEPT. Por otro lado, se utilizará un módem para fibra óptica con 2 puertos, uno para el envío de datos al *data center* y el otro para la recepción de datos haciendo uso de dos cables con terminal compact SFP transceiver para reducir el consumo de energía en el *data center* y tener mayor capacidad que el convencional terminal SFP transceiver.

En relación al dominio de control, se utilizará un sistema embebido con microprocesador, en donde se desarrollarán algoritmos en lenguaje C para validar la llegada de datos del SEPT, detectar el mal funcionamiento de estos y procesar los datos recibidos para posteriormente, encapsular la información que se enviará al *data center* cada 5 minutos. Asimismo, se deben interpretar los datos recibidos del *data center* para luego, a través de la aplicación de un algoritmo de control descentralizado, en cada ciclo semafórico de una intersección se determinen los tiempos óptimos de cada fase para reducir el flujo vehicular, los cuales se enviarán como señales al sistema de relés de estado sólido para energizar las luces de semáforos.

Todos los componentes mencionados previamente se encontrarán protegidos de la humedad y polvo en un gabinete de control. Este gabinete estará cerrado usando una tapa con uniones atornilladas. Asimismo, se encontrará sujeto a una estructura soporte hueca de perfil circular a través de una base con abrazaderas para perfil circular. Esta estructura se encontrará fija al piso a través de una base con pernos de anclaje.

La representación gráfica de la solución descrita se muestra a continuación en la Figura 3.3.

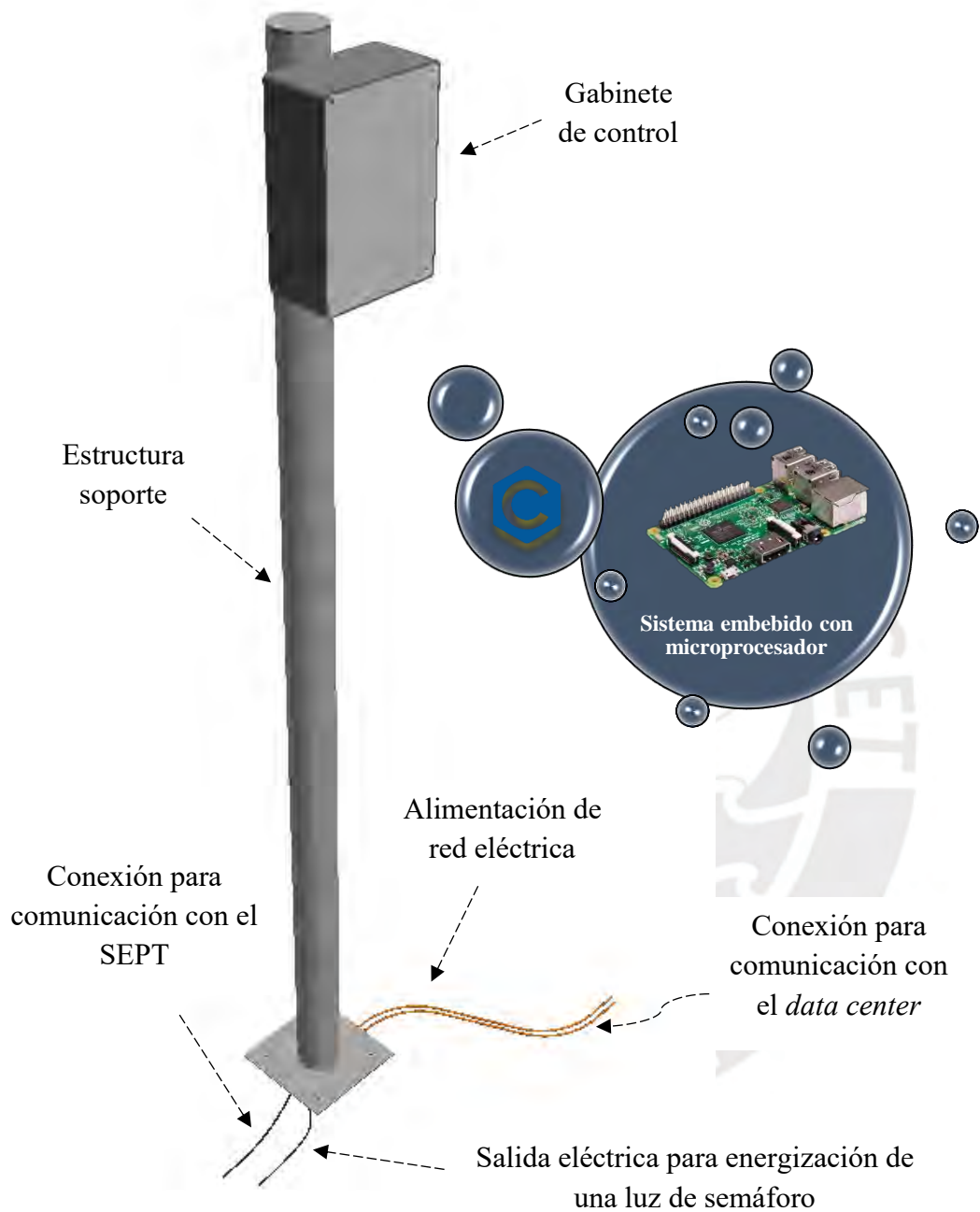


Figura 3.3 Representación gráfica del concepto de solución 2

Fuente: Elaboración propia

Solución 3

Esta solución debe permitir el ingreso de energía de la red eléctrica convencional (220 VAC ~ 60 Hz), la cual se dirigirá a 3 puntos, a través de una llave termomagnética. En el primer punto se convierte la energía AC de alimentación del sistema en DC a través de una fuente conmutable; en el segundo punto se almacena energía en una batería de plomo y ácido con salida DC, la cual entrará en funcionamiento cuando no haya suministro de energía eléctrica haciendo uso de un circuito de transistores; posteriormente, la energía seleccionada será acondicionada para la energización de los componentes del sistema, a través de un módulo regulador de voltaje. Por otro lado, en el tercer punto la energía directa de la red eléctrica llega a un sistema de relés de estado sólido para energizar las luces de semáforos, según las señales provenientes de la unidad de procesamiento del sistema.

Respecto al dominio de comunicaciones, el sistema tendrá un módulo de conversión general para recibir los parámetros de tránsito del SEPT según el protocolo de comunicación que se requiera (RS-232, RS-485, TTL) y así llegue de manera serial al procesador; por lo tanto, esta solución también tendrá la capacidad de utilizar cualquier protocolo para la comunicación con el SEPT. Por otro lado, se utilizará un router con tecnología 4G para el envío y la recepción de datos al/del data center.

En relación al dominio de control, se utilizará un sistema embebido con microprocesador, en donde se desarrollarán algoritmos en lenguaje *Python* para validar la llegada de datos del SEPT, detectar el mal funcionamiento de estos y procesar los datos recibidos para posteriormente, encapsular la información que se enviará al *data center* cada 5 minutos. Asimismo, se deben interpretar los datos recibidos del *data center* para luego, a través de la aplicación de un algoritmo de control descentralizado, en cada ciclo semafórico de una intersección se determinen los tiempos óptimos de cada fase para reducir el flujo vehicular, los cuales se enviarán como señales al sistema de relés de estado sólido para energizar las luces de semáforos.

Todos los componentes mencionados previamente se encontrarán protegidos de la humedad y polvo en un gabinete de control. Este gabinete presenta una puerta para facilitar el acceso a los componentes. Asimismo, se sujetará a una estructura soporte hueca de perfil cuadrado a través de la base del gabinete de control. Esta estructura se encontrará fija al piso a través de una base con pernos de anclaje.

La representación gráfica del sistema descrito se muestra a continuación en la Figura 3.4.

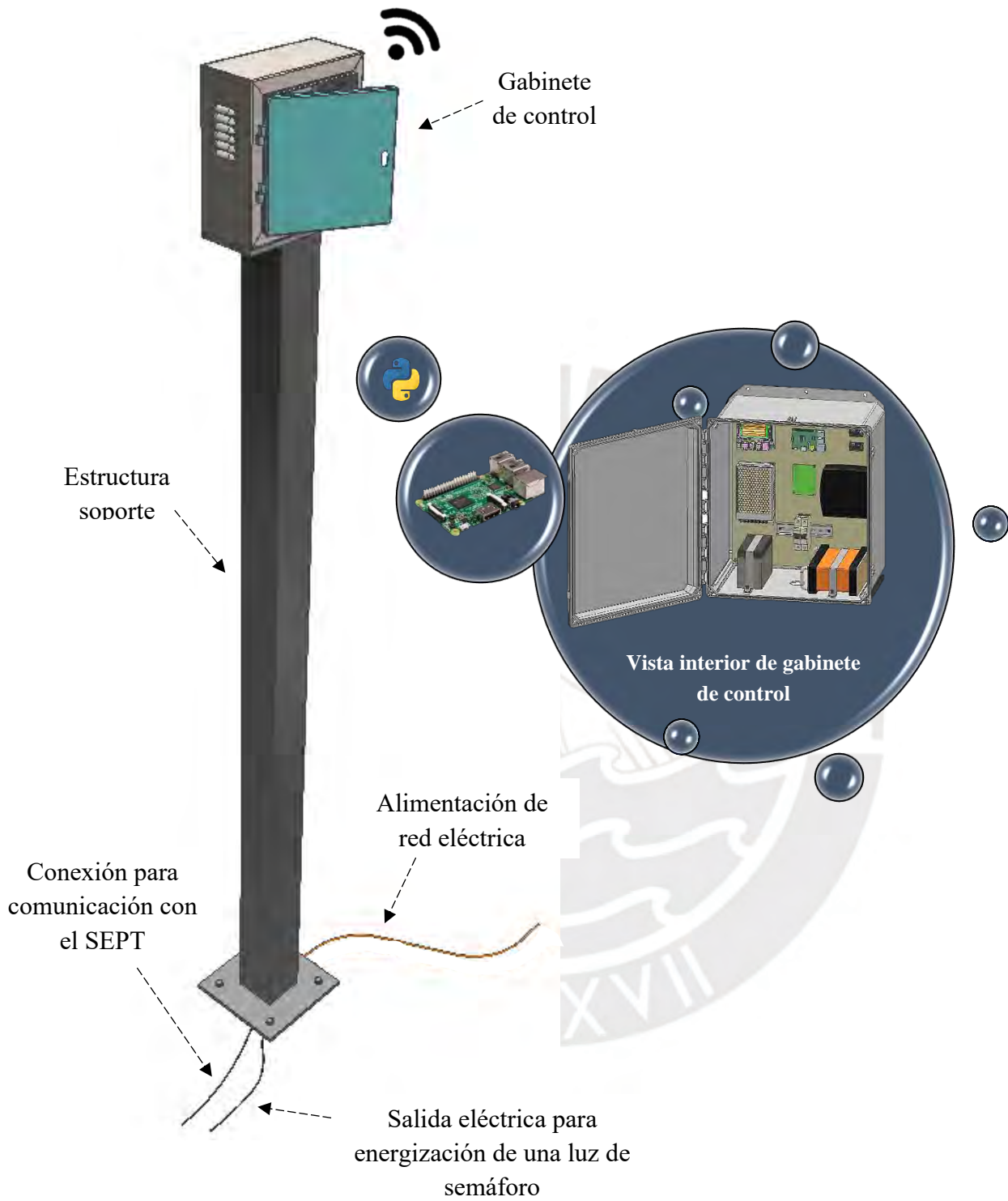


Figura 3.4 Representación gráfica del concepto de solución 3

Fuente: Elaboración propia

3.5 Evaluación técnico - económica de las soluciones

De acuerdo a la metodología VDI 2225 [39], referida al diseño de ingeniería a un coste óptimo, se establecen distintos criterios de diseño en fase de conceptos, evaluando el tema técnico y económico de cada solución planteada. De esta manera, se establecen la siguiente notación, que será empleada en las evaluaciones mencionadas.

Leyenda

P: puntaje de 0 a 4

0= no satisface, 1= satisface, 2= suficiente, 3= bien, 4=muy bien (ideal)

G: importancia de los criterios de evaluación

4= muy importante; 3= importante; 2= poco importante

Los criterios técnicos establecidos corresponden a los requerimientos más relevantes de la sección 3.1. La evaluación de las soluciones según los criterios técnicos se muestra a continuación en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Evaluación según criterios técnicos

Soluciones	Solución 1			Solución 2			Solución 3			Solución ideal	
	G	P	G*P	P	G*P	P	G*P	P	G*P		
Función principal	4	3	12	3	12	3	12	4	16		
Seguridad	4	3	12	3	12	3	12	4	16		
Fuerzas: Peso	3	2	6	2	6	2	6	4	12		
Comunicaciones: Latencia	4	3	12	3	12	3	12	4	16		
Mantenimiento	3	2	6	3	9	3	9	4	12		
Operación: Velocidad de operación	4	3	12	3	12	3	12	4	16		
Fabricación	3	2	6	2	6	3	9	4	12		
Suma total			66		69		72		100		
Ponderado técnico			0.660		0.690		0.720		1		

Fuente: Elaboración propia

Los criterios económicos establecidos están asociados a los componentes de la matriz morfológica de la sección 3.3. La evaluación de las soluciones según los criterios económicos se muestra a continuación en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Evaluación según criterios económicos

Soluciones	Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
Criterio Económico	G	P	G*P	P	G*P	P	G*P	P	G*P
Componentes electrónicos	4	2	8	3	12	3	12	4	16
Componentes mecánicos	4	3	12	3	12	3	12	4	16
Consumo energético	4	2	8	2	8	3	12	4	16
Ensamblaje	3	3	9	2	6	3	9	4	12
Reparación	3	3	9	2	6	3	9	4	12
Suma total			46		44		54		72
Ponderado técnico			0.639		0.611		0.750		1

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados de las tablas anteriores se realiza el análisis técnico - económico que determinará el concepto solución óptimo. La Figura 3.5 muestra el diagrama de evaluación de las tres soluciones planteadas, comparadas con la solución ideal, en donde se observa que el concepto de solución 3 es el que se acerca más a la solución ideal. Por lo tanto, este concepto de solución será desarrollado en los siguientes capítulos.

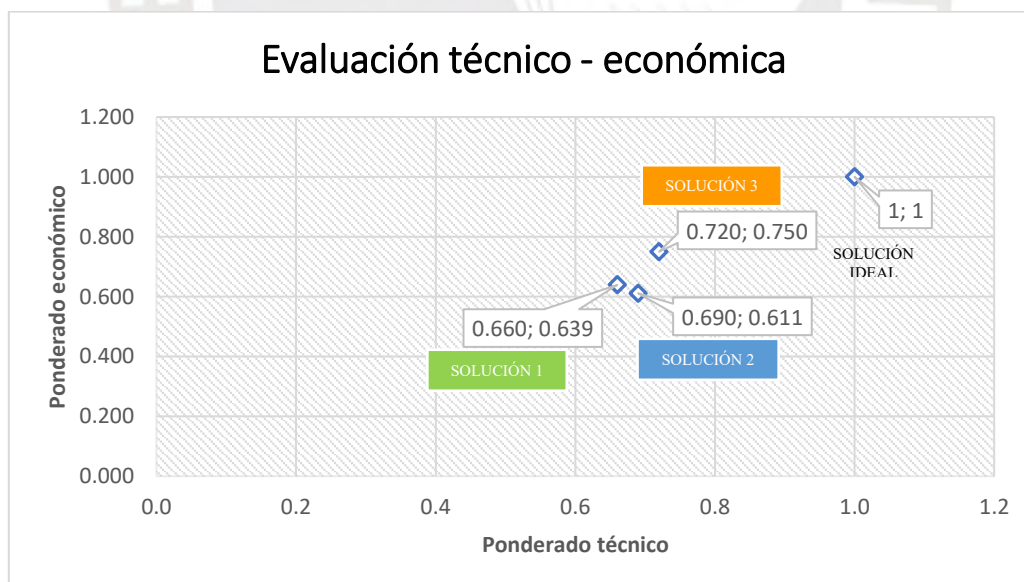


Figura 3.5 Evaluación técnico - económica

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4: Diseño del controlador

En el presente capítulo se diseña el controlador en base al diseño conceptual definido en el capítulo anterior. Para ello, primero se realiza el diseño de control, el cual incluye el algoritmo de control descentralizado para optimizar los tiempos de los ciclos semafóricos, y el análisis del comportamiento de tránsito bajo dicho algoritmo y la lógica de semaforización actual a través de un ambiente de simulación para el caso de estudio; posteriormente, se realiza el diseño electrónico y eléctrico, incluyendo los cálculos para la selección de componentes electrónicos y eléctricos, las conexiones de los mismos, así como los protocolos de comunicación; luego, se realiza el diseño mecánico, incluyendo los cálculos para la selección y/o diseño de componentes mecánicos, así como las uniones y el ensamble del conjunto; y finalmente, se presenta la integración del sistema, así como algunas consideraciones respecto a la instalación y montaje del mismo.

4.1 Diseño de control

4.1.1 Diagrama de bloques

En la Figura 4.1 se muestra el diagrama de bloques de control teórico y real, correspondiente a una intersección semafórica.

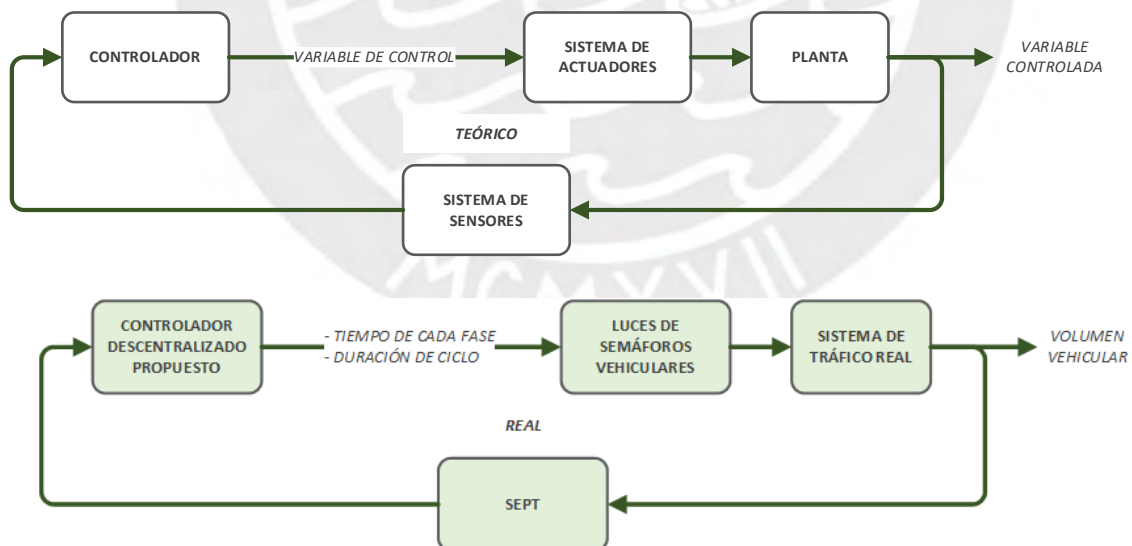


Figura 4.1 Diagrama de bloques de control teórico y real para una intersección semafórica

Fuente: Elaboración propia

Por un lado, el SEPT recoge la información de la cantidad de vehículos detenidos en cada vía ingresante de la intersección al final de cada ciclo; mientras que, las luces de semáforos vehiculares reciben señales eléctricas del controlador como variable de control para energizar las luces de semáforos de acuerdo a los tiempos de cada fase y la duración total del ciclo semafórico, y así actuar sobre el sistema de tráfico. Cabe mencionar, que el sistema de actuadores corresponde solo a las luces de semáforos vehiculares, más no los peatonales, debido a que lo que se busca disminuir es el volumen vehicular. Por lo tanto, en la sección 4.1, referida a diseño de control, cuando se mencionen fases o luces están referidas a semáforos vehiculares.

4.1.2 Control de volumen vehicular

La planta del diagrama de bloques de control representa el sistema de tráfico real, el cual es un ambiente dinámico, no determinístico, secuencial y parcialmente observable. De esta manera, se observa que obtener directamente un modelo matemático de la planta es complejo; por lo tanto, el algoritmo de control del sistema propuesto está basado en las investigaciones [34], [35], [36], [37] y [38], las cuales se desarrollan a partir de un modelo de tráfico discreto y estocástico descrito detalladamente en la sección 2 del artículo [35].

4.1.2.1 Notación

A continuación, se muestran una configuración de intersecciones semafóricas para la definición de algunos términos que serán usados en el diseño de control.

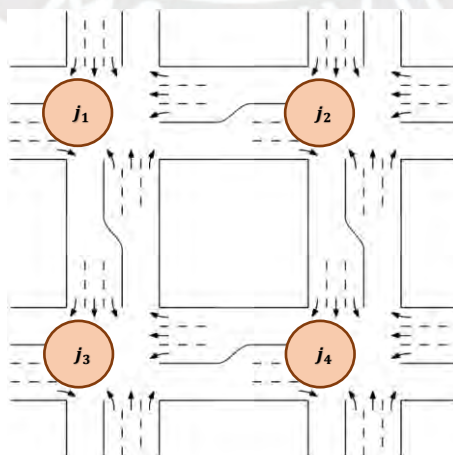


Figura 4.2 Configuración de 4 intersecciones semafóricas

Fuente: Adaptado de [35]

En la Figura 4.2 se observan 4 intersecciones semaforicas, en donde se define \mathcal{J} como el conjunto de intersecciones semaforicas; por ejemplo, en la configuraci3n mostrada: $\mathcal{J} = \{j_1, j_2, j_3, j_4\}$. Adem3s, para cada $j \in \mathcal{J}$ le corresponde un conjunto de v3as ingresantes $\mathcal{L}^{(j)}$ de tama1o $n_l^{(j)}$, en donde las v3as $l_k \in \mathcal{L}^{(j)}$ se encuentran indexadas por $k = 1, \dots, n_l^{(j)}$, y representan las v3as por donde los veh3culos llegan a cada intersecci3n semaforica; por ejemplo, en la configuraci3n mostrada se observa que cada intersecci3n semaforica presenta 12 v3as ingresantes. As3, el conjunto de v3as ingresantes para j_1 ser3a $\mathcal{L}^{(j_1)} = \{l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}, l_{11}, l_{12}\}$.

Asimismo, dado que no hay una medida establecida para medir o cuantificar el nivel de tr3fico vehicular, en el presente trabajo se usa como medida el volumen vehicular, el cual se traduce a la cantidad de veh3culos detenidos al final de cada ciclo semaforico. De esta manera, para una v3a $l \in \mathcal{L}^{(j)}$, la cantidad de veh3culos detenidos en el tiempo t es denotado por $x_l(t)$.

Por otro lado, cada intersecci3n semaforica tiene un vector de fases definido $\mathcal{P}^{(j)}$ de tama1o $n_p^{(j)}$, en donde las fases $p_i \in \mathcal{P}^{(j)}$ se encuentran indexadas por $i = 1, \dots, n_p^{(j)}$ y representan la duraci3n de esa fase en segundos. Asimismo, una fase $p \in \mathcal{P}^{(j)}$ puede representar luz verde de manera simult3nea en varias v3as ingresantes de la intersecci3n semaforica j . Las fases deben estar definidas para que los veh3culos que pasan una intersecci3n semaforica no se crucen unos con otros con el objetivo de evitar colisiones y estancamientos en una intersecci3n. Cabe mencionar, que el presente trabajo no contempla el cambio de la secuencia de fases, sino la duraci3n de las fases en la secuencia ya establecida para cada intersecci3n semaforica.

Adem3s, para una intersecci3n semaforica $j \in \mathcal{J}$ el conjunto de fases puede ser descrito a trav3s de una matriz binaria de fases $P^{(j)}$ de tama1o $n_p^{(j)} \times n_l^{(j)}$, en donde cada fila corresponde a una fase p_i de la intersecci3n y cada columna corresponde a una v3a ingresante l_k de la intersecci3n. Asimismo, cada elemento de dicha matriz tiene el valor de 1 en caso la fase a la que corresponde permite el paso de veh3culos en la v3a ingresante que le corresponde:

$$P_{ik} = \begin{cases} 1 & , \text{si la fase } i - \acute{e}\text{sima permite el paso vehicular en la v3a } k - \acute{e}\text{sima} \\ 0 & , \text{otros casos} \end{cases}$$

Cabe mencionar, que en este trabajo no se calcula la duraci3n de los cambios-de-fase (luz 3mbar), dado que son tiempos que no deben ser modificados. De esta manera, en las

simulaciones posteriores se usará un tiempo de 3 segundos para cada cambio-de-fase. Asimismo, la cantidad de cambios-de-fase debe ser igual a la cantidad de fases.

Finalmente, se define la duración del ciclo semafórico como T_{cyc} , el vector de proporciones de la duración de cada fase en el ciclo semafórico como $\mathcal{V}^{(j)}$, en donde las proporciones $v_i \in \mathcal{V}^{(j)}$ se encuentran indexadas por $i = 1, \dots, n_p^{(j)}$, la duración total de los cambios-de-fase como T_w , y la proporción de la duración total de los cambios-de-fase como w . En donde, debe cumplirse:

$$\sum_{1 \leq i \leq n_p^{(j)}} v_i + w = 1 \quad , \quad T_{cyc} = \sum_{1 \leq i \leq n_p^{(j)}} p_i + T_w \quad ,$$

$$\mathcal{V}^{(j)} = \frac{\mathcal{P}^{(j)}}{T_{cyc}} \quad , \quad w = \frac{T_w}{T_{cyc}} \quad ,$$

$$T_w = n_p^{(j)} * 3 \quad .$$

En la Figura 4.3 se muestra la configuración de fases en una intersección semafórica, la cual tiene 4 vías ingresantes $\mathcal{L} = \{l_1, l_2, l_3, l_4\}$, 2 fases p_1, p_2 y 2 cambios-de-fase p'_1, p'_2 .

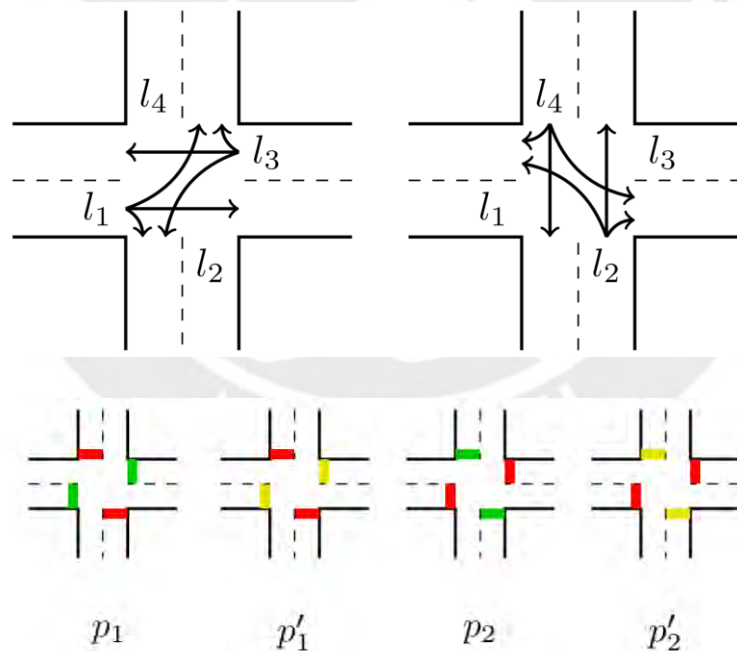


Figura 4.3 Configuración de fases y cambios-de-fase en una intersección semafórica

Fuente: Adaptado de [38]

Por ejemplo, en la configuración de fases para la intersección semafórica de la Figura 4.3, la fase p_1 permite el paso de vehículos (luz verde) en las vías ingresantes $\{l_1, l_3\}$, y la fase p_2 en las vías ingresantes $\{l_2, l_4\}$. Por lo tanto, la matriz de fases es:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} .$$

La matriz de fases P tiene 2 filas porque la cantidad de fases es 2: p_1, p_2 . De igual manera, la cantidad de columnas es 4 porque la cantidad de vías ingresantes es 4: $\mathcal{L} = \{l_1, l_2, l_3, l_4\}$. Además, se puede observar que los cambios-de-fase: p'_1, p'_2 no aparecen en la matriz de fases; por otro lado, como se mencionó previamente, se usa $p'_1 = p'_2 = 3s$. Además, para la configuración de fases dada debe cumplirse:

$$T_w = 6s \quad , \quad T_{cyc} = p_1 + p_2 + 6 \quad , \quad w = \frac{6}{T_{cyc}} \quad ,$$

$$v_1 = \frac{p_1}{T_{cyc}} \quad , \quad v_2 = \frac{p_2}{T_{cyc}} .$$

4.1.2.2 Problema de control

En el artículo [35] se modela un sistema de tráfico urbano como una red cíclica de grafos dirigidos (modelo discreto y estocástico), cuyos nodos representan las intersecciones semafóricas y cuyas aristas representan las vías que unen intersecciones; así también, se utilizan la ley física de la conservación de masa. En este modelo se probó una política de control descentralizada de fase única, es decir, que solo una vía ingresante a una intersección semafórica puede recibir luz verde simultáneamente, la cual solo depende de la densidad de vehículos en las vías ingresantes a una intersección semafórica para determinar los tiempos de las fases de dicha intersección. Asimismo, se estudia el análisis de estabilidad del sistema de tráfico usando funciones de Lyapunov basadas en entropía; con lo cual se logró demostrar que el sistema de tráfico bajo la política de control descentralizada admite un equilibrio global asintóticamente estable.

Posteriormente, en el artículo [36] basado en el modelo del sistema de tráfico urbano de la investigación previa [35], se propone una política de control descentralizada multifase, es decir, que más de una vía ingresante a una intersección semafórica puede recibir luz verde. De igual manera, se prueba la estabilidad del sistema de tráfico interpretando la política de control descentralizada, como función de Lyapunov. Así también, demuestran que la política que

proponen es máximamente estable, es decir, cuando cualquier controlador puede estabilizar la red, el propuesto también puede hacerlo.

A continuación, se presenta la política de control propuesta en [36], según la notación previamente definida, como un problema de control para la estabilización del sistema de tráfico urbano, y así reducir el volumen vehicular. Al respecto, en cada intersección semafórica se busca maximizar la siguiente expresión para obtener el vector de proporciones de la duración de cada fase en el ciclo semafórico \mathcal{V} y la proporción de la duración total de los cambios-de-fase w :

$$\text{maximizar } \sum_{l \in \mathcal{L}(j)} x_l(t) \log((P^T \mathcal{V})_l) + k \log(w) \quad (1)$$

Asimismo, se sigue cumpliendo lo definido previamente:

$$\sum_{1 \leq i \leq n_p^{(j)}} v_i + w = 1, \quad T_{cyc} = \frac{T_w}{w}.$$

Cabe mencionar, que para cada intersección semafórica se debe haber definido la matriz binaria de fases P , así como el parámetro de afinación del controlador k . De esta manera, para maximizar la expresión solo se requiere de la cantidad de vehículos detenidos por cada vía ingresante $x_l(t)$.

4.1.2.3 Algoritmo genético

Dado que el problema de optimización puede ser resuelto bajo diferentes algoritmos de control, en el presente trabajo se diseña un algoritmo genético como solución general al problema de control definido en la subsubsección anterior.

Al respecto, los algoritmos genéticos son técnicas de optimización estocástica inspirados en la evolución biológica, los cuales fueron formalizados en [40]. Dichos algoritmos buscan evolucionar una población de acuerdo a los principios de reproducción, alteración y supervivencia del más apto, en donde cada individuo de la población será evaluado de acuerdo a una función matemática conocida como función *fitness*. En la Figura 4.4 se muestra el flujo a usar para el algoritmo genético a diseñar.

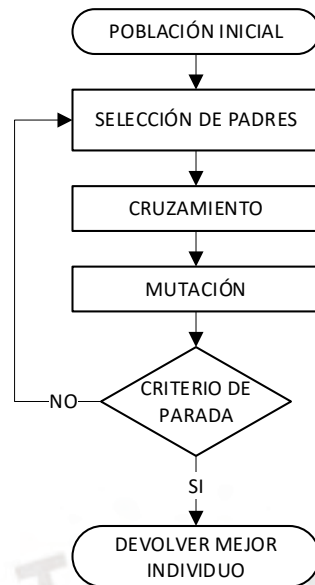


Figura 4.4 Flujo de algoritmo genético

Fuente: Elaboración propia

Previo a la implementación del flujo mostrado, se definen los elementos básicos del algoritmo. Cada individuo de la población corresponde a una tupla, cuyos valores son los tiempos de cada fase del ciclo semafórico; asimismo, la función *fitness* corresponde directamente al problema de control (1), dado que es la función que se busca maximizar. A continuación, se definen los posibles métodos a emplear en cada etapa del flujo, los cuales serán probados en la posterior subsección, referida a simulaciones, a fin de elegir los que presentan mejores resultados.

Como población inicial, para cada individuo se eligen valores aleatorios de números enteros entre 15 y 90 segundos, dado que el tiempo mínimo posible de cada fase será 15 segundos y el máximo 90 segundos. Los posibles métodos de selección a usar son el método de la ruleta, selección por torneo y muestreo estocástico universal; asimismo, para el cruzamiento se probará el método uniforme, de un-punto, cruce aritmético único y cruce aritmético completo; por otro lado, para realizar la exploración se escoge, debido a la representación de los individuos, el método de mutación no uniforme, en donde se deberá definir la tasa de mutación; finalmente, como criterio de parada se deberá definir el número máximo de generaciones.

4.1.2.4 Algoritmo proporcional

Para el caso particular en que a cada vía ingresante a una intersección semafórica le corresponde únicamente una fase con luz verde por ciclo semafórico, se puede obtener una

solución analítica, la cual se presenta a continuación como algoritmo de control proporcional y también puede revisarse en el artículo [37].

$$v_i(x(t)) = \frac{\sum_{l \in \mathcal{L}(i)} x_l(t) P_{il}}{k + \sum_{l \in \mathcal{L}(i)} x_l(t)} \quad , \quad (2)$$

$$w(x(t)) = \frac{k}{k + \sum_{l \in \mathcal{L}(i)} x_l(t)} \quad , \quad (3)$$

$$T_{cyc} = \frac{T_w}{w} \quad . \quad (4)$$

Cabe resaltar, que el problema de control para la estabilización del sistema de tráfico urbano queda resuelto por un algoritmo de control basado en operaciones aritméticas; y nuevamente se observa que, para la determinación de tiempos de cada fase en una intersección semafórica solo se necesita la cantidad de vehículos detenidos (volumen vehicular) al final de cada ciclo semafórico, lo cual representa una enorme ventaja respecto a otros algoritmos para el control de volumen vehicular, debido a la mínima complejidad de tiempo y espacio de memoria que requiere el algoritmo.

Más aún, se sabe que la mayoría de intersecciones semafóricas en Lima Metropolitana presentan la particularidad mencionada; por lo tanto, el controlador usará, cuando sea posible, el algoritmo de control proporcional para determinar los tiempos de cada fase en una intersección semafórica.

4.1.3 Simulaciones

El análisis de los algoritmos de control se realiza en una zona de estudio representativa, con la finalidad de simular su aplicación y comparar su comportamiento con la lógica del sistema de semaforización actual bajo tiempos fijos y la aplicación de una ola verde. De esta manera, se podrá generalizar el desempeño del controlador y hacer extensiva su aplicación a toda la ciudad.

Para la simulación se usa el ambiente de simulación SUMO [41], el cual es un software gratuito que permite implementar la configuración de vías vehiculares y sus intersecciones, así como la simulación de flujo vehicular. Por otro lado, se cuenta con la herramienta TraCI (Traffic Control Interface) [42], la cual usa una arquitectura cliente/servidor basada en TCP para conectarse al ambiente de simulación. De esta manera, permite obtener y modificar valores de

objetos simulados (vías, semáforos o vehículos) “on-line”, tales como cantidad de vehículos detenidos en cada vía y la duración de las fases en cada intersección semafórica. En la Figura 4.5 se muestra el esquema de comunicación entre TraCI y SUMO.

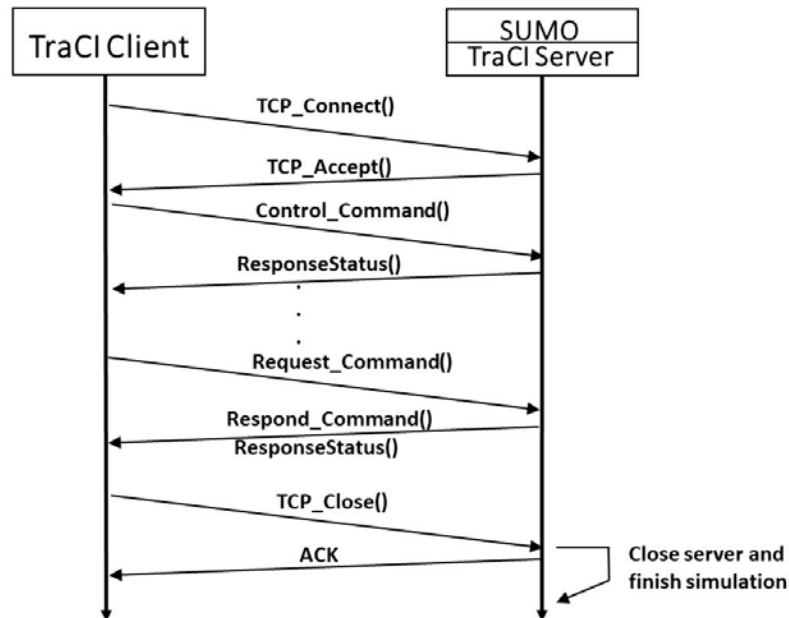


Figura 4.5 Esquema de comunicación entre TraCI y SUMO

Fuente: Autores [43]

Por lo tanto, en esta sección se presenta la implementación del modelo de tráfico vehicular para la zona de caso de estudio seleccionada en el ambiente de simulación SUMO, así como los resultados de la implementación de los algoritmos de control haciendo uso de la herramienta TraCI.

4.1.3.1 Modelo de tráfico

La zona seleccionada del distrito de Miraflores contiene 10 intersecciones semafóricas, así como 2 avenidas concurridas: Av. Comandante Espinar y Av. José Pardo, y vías por donde circulan microbuses de transporte público, vehículos particulares y taxis. En la Figura 4.6 se puede observar dicha zona según Google Maps, en donde se han identificado las 10 intersecciones semafóricas en la zona seleccionada; mientras que, en la Figura 4.7 se muestra su implementación en el ambiente de simulación SUMO.



Figura 4.6 Zona seleccionada de distrito de Miraflores

Fuente: Google Maps



Figura 4.7 Implementación de la zona seleccionada en SUMO

Fuente: Captura de pantalla de interfaz gráfica de SUMO

La implementación de la zona seleccionada en SUMO incluye la configuración de vías vehiculares (nombres, dimensiones y sentidos de circulación) y la configuración de las 10 intersecciones semafóricas (secuencia y duración de fases). Al respecto, se realizó un trabajo de campo el día 21 de noviembre de 2020 entre las 13:00 y 16:00 horas, en donde se realizaron registros manuales de la información requerida. En el Anexo B se presenta la secuencia de

fases establecida en cada intersección semafórica, como una representación de 4 fases; asimismo, en el Anexo C se muestran los tiempos medidos, según dichas fases. En la Figura 4.8 se muestran las 10 intersecciones semafóricas implementada en SUMO, en donde se puede observar el sentido de las vías ingresantes.

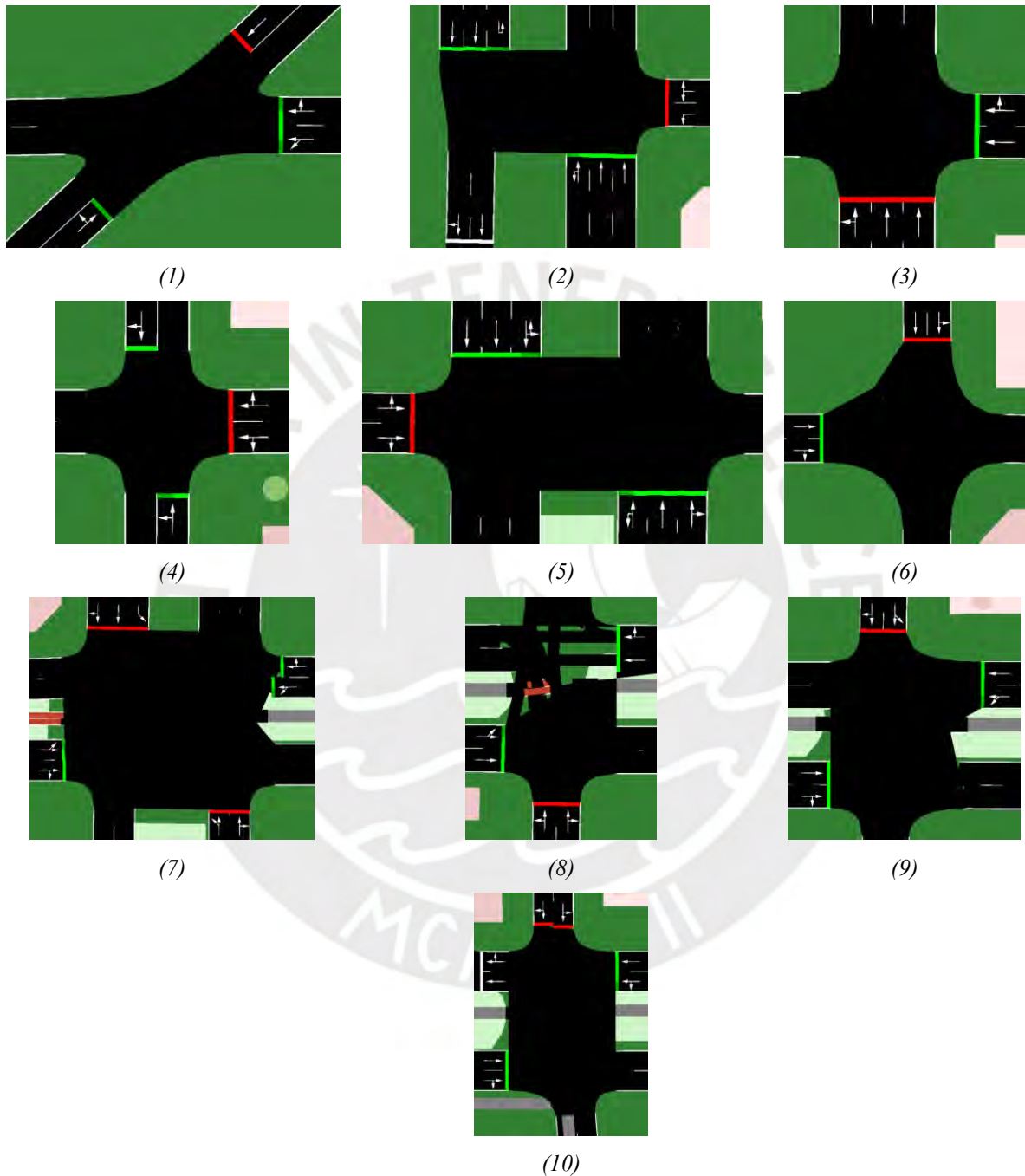


Figura 4.8 Intersecciones semafórica implementadas en SUMO

Fuente: Capturas de pantalla de interfaz gráfica de SUMO

Por otro lado, se sabe que el volumen vehicular varía según la hora del día. Así, para efectos de la implementación en SUMO, se definen 4 niveles de tráfico vehicular: bajo, medio bajo, medio alto y alto. En la Figura 4.9 se puede observar la zona seleccionada según Google Maps, bajo los 4 niveles de tráfico definidos, en donde las vías de color verde representan volumen vehicular bajo, las de color naranja volumen vehicular alto y las de color rojo un volumen vehicular muy alto con atascamiento de vehículos.

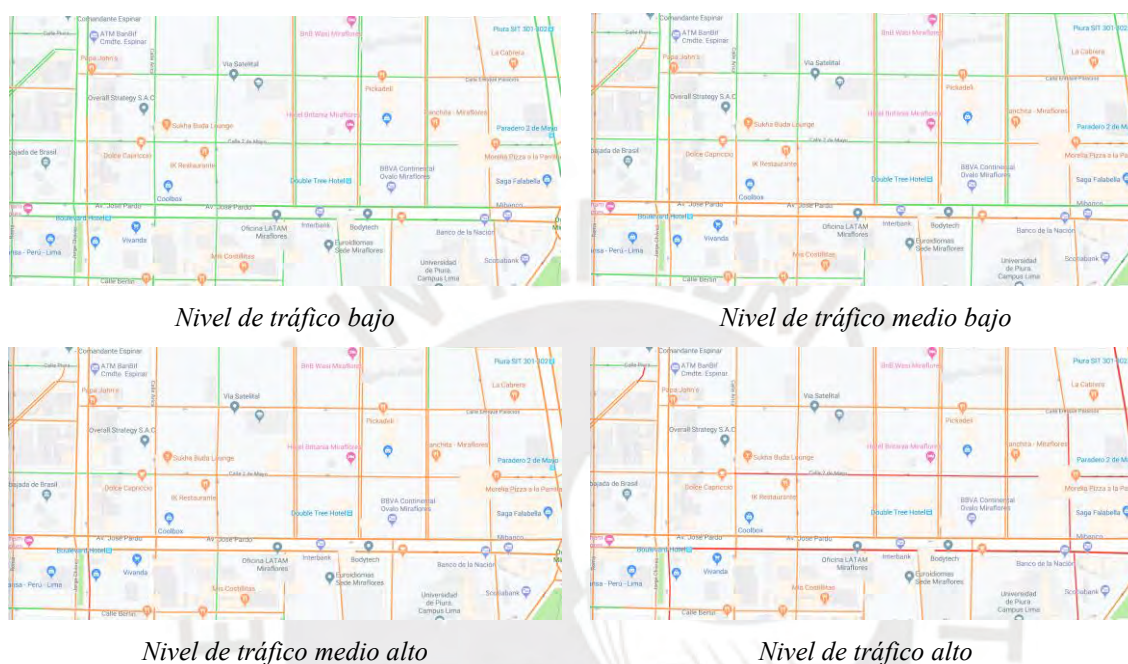


Figura 4.9 Zona de estudio con 4 niveles de tráfico

Fuente: Google Maps

En base a la información de Google Maps sobre tráfico típico en la zona de estudio, se puede asociar un nivel de tráfico a cada hora del día, según la clasificación definida. A continuación, en la Tabla 4.1 se muestra el nivel de tráfico en la zona seleccionada según la hora del día, en donde se observa que, el volumen vehicular alcanza su valor máximo en la mañana entre las 9:00 y 12:00 horas y durante la noche entre las 17:00 y 20:00 horas.

Tabla 4.1 Nivel de tráfico según la hora del día

Hora	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Nivel de tráfico	Bajo	Medio alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio alto	Medio alto	Medio bajo	Medio alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio alto	Medio bajo

Fuente: Elaboración propia basada en información de Google Maps

La generación de vehículos en el ambiente de simulación se realiza bajo una distribución uniforme con determinado factor de probabilidad para generar un nuevo vehículo. Al respecto, dicho factor de probabilidad está basado en las mediciones realizadas en el trabajo de campo mencionado previamente, en donde se realizó un conteo de la cantidad de vehículos detenidos al final del ciclo semafórico de las intersecciones 5, 7 y 8 (ver Figura 4.6) durante 20 minutos en cada intersección. De esta manera, se realizaron simulaciones de prueba en la configuración ya implementada en SUMO, a fin de relacionar de manera aproximada el factor de probabilidad de la distribución con la cantidad de vehículos detenidos al final del ciclo semafórico en las intersecciones medidas.

Cabe mencionar, que el factor de probabilidad obtenido corresponde a un nivel de tráfico medio alto, ya que está relacionado a las mediciones tomadas en el trabajo de campo a las 14:00 horas. De esta manera, para determinar los factores de probabilidad de nivel de tráfico bajo, medio bajo y alto, se realizaron simulaciones de prueba con diversos factores de probabilidad para obtener de manera aproximada una diferencia de tráfico vehicular como la mostrada en la Figura 4.9. Finalmente, para poder realizar la generación de vehículos a diferentes horas del día en el ambiente de simulación, se usan los valores de nivel de tráfico según la hora del día (ver Tabla 4.1).

En la generación de vehículos en el ambiente de simulación se incluyen 2 tipos de vehículos: autos y microbuses, en donde a los microbuses se le asignan rutas a lo largo de la Av. José Pardo y Av. Comandante Espinar, mientras que a los autos se le asignan rutas aleatorias por toda la zona. Asimismo, la velocidad asignada a los vehículos es de 40 km/h, ya que tiene que ser menor al límite máximo de velocidad en avenidas, calles y jirones, establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones [44].

4.1.3.2 Algoritmo genético

Luego de haber implementado el modelo de tráfico vehicular para la zona de caso de estudio seleccionada en el ambiente de simulación SUMO, se realizaron pruebas de simulación de los posibles métodos a emplear en cada etapa del flujo del algoritmo genético, según la Figura 4.4, así como los parámetros asociados a ellos, a fin de determinar cuáles presentan mejores resultados. De esta manera, para la selección de padres, se establece el método de la ruleta

debido a que permite analizar de una manera más directa la aleatoriedad de los elementos de la población inicial; para el cruzamiento se utiliza el método uniforme debido a que es el más adecuado para la representación de la población; por otro lado, para la exploración, se escoge una tasa de mutación de 0.0% debido a que los resultados obtenidos son similares a los que se obtuvieron con tasas de mutación diferente de 0.0%; finalmente, como criterio de parada se define un máximo de 100 generaciones debido a que en las simulaciones se observó que la convergencia se realizaba antes de 300 generaciones. En la Figura 4.10 se puede observar el comportamiento de convergencia del algoritmo con los métodos y parámetros definidos.

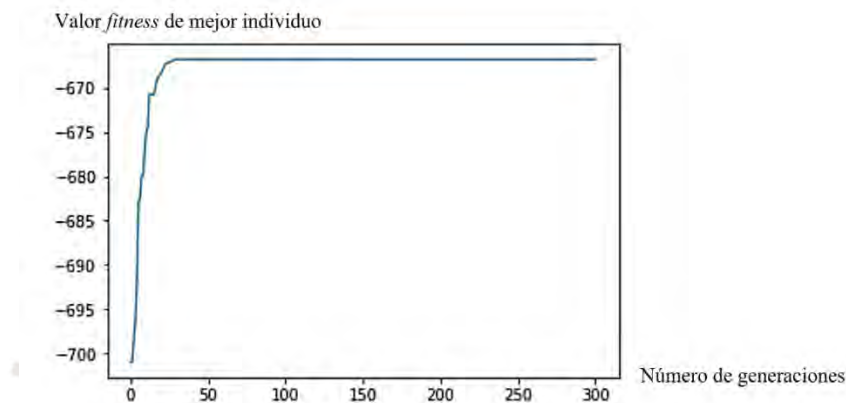


Figura 4.10 Convergencia del algoritmo genético

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar, que los valores que se obtienen de la función *fitness* son negativos porque están basados en la suma de logaritmos de fracciones, según (1); por consiguiente, dado que se busca maximizar la función *fitness*, el mejor valor *fitness* será el que tenga un valor más cercano al cero.

El algoritmo genético fue desarrollado en un archivo de extensión .py como una función que puede ser invocada desde el archivo principal, en el cual se utiliza la herramienta TraCI para conectarse al ambiente de simulación de tráfico. Al respecto, dicha función recibe como entrada la cantidad de vehículos detenidos en una intersección semafórica y, luego de seguir el flujo del algoritmo genético (ver Figura 4.4), devuelve los tiempos de cada fase del ciclo semafórico que maximizan el problema de control (1), los cuales corresponden al individuo con el valor de función *fitness* más alto. Cabe señalar, que dicha función es invocada, desde el archivo principal, al final del ciclo semafórico de cada intersección, a fin de obtener los tiempos óptimos para el siguiente ciclo semafórico. En el Anexo A, se incluye el código del archivo de extensión .py correspondiente al algoritmo genético.

A continuación, se simula la implementación del algoritmo genético, con los métodos y parámetros definidos, en el ambiente de simulación SUMO para la zona de caso de estudio seleccionada, en cuatro (04) horarios diferentes: de 07:00 a 08:00, de 15:00 a 16:00, de 16:00 a 17:00, y de 17:00 a 18:00 horas, en donde los niveles de tráfico son bajo, medio bajo, medio alto y alto, respectivamente (ver Tabla 4.1). En el Anexo D se muestran los tiempos calculados para la duración de las fases en cada ciclo semafórico de las 10 intersecciones, según los cuatro niveles de tráfico mencionados.

Finalmente, se compara el comportamiento del algoritmo genético diseñado con 2 lógicas del sistema de semaforización actual: bajo tiempos fijos en toda la zona y bajo tiempos fijos con la aplicación de una ola verde por la Av. José Pardo, a través de simulaciones realizadas en los cuatro (04) horarios definidos en el párrafo anterior. Al respecto, la lógica de tiempos fijos está basada en las mediciones realizadas en el trabajo de campo mencionado en la subsección anterior (Ver Anexo C); mientras que, para la lógica de tiempos fijos con la aplicación de una ola verde por la Av. José Pardo, se adecuaron las intersecciones semafóricas 7, 8, 9 y 10 (ver Figura 4.6), a fin de permitir un flujo de tráfico continuo por la Av. José Pardo. Para ello, se incrementó la duración de las fases que permiten el flujo a través de dicha avenida, en un 30 %, manteniendo la duración del ciclo semafórico en cada intersección; asimismo, se efectuaron desfases al inicio de dichos ciclos semafóricos para coordinar las intersecciones y permitir que los vehículos que transiten por la Av. José Pardo encuentren luz verde en las 4 intersecciones semafóricas asociadas. Cabe señalar, que se decidió aplicar una ola verde por la Av. José Pardo, dado que es la avenida con mayor congestión vehicular, según el modelo de tráfico definido.

Las métricas a usar para la comparación son: cantidad total de vehículos detenidos y tiempo de espera de vehículos en la zona del caso de estudio. Así, la comparación de resultados obtenidos al final de las simulaciones, según los cuatro niveles de tráfico, se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Métricas obtenidas al final de las simulaciones

Nivel de tráfico	Bajo			Medio bajo			Medio alto			Alto		
	Tiempos fijos	Ola verde	Algoritmo g.	Tiempos fijos	Ola verde	Algoritmo g.	Tiempos fijos	Ola verde	Algoritmo g.	Tiempos fijos	Ola verde	Algoritmo g.
Algoritmo												
Vehículos detenidos	67	26	25	118	96	55	187	144	67	354	262	188
Tiempo de espera (s)	2522	711	288	4196	2351	557	7268	4393	642	28969	20790	4440

El detalle de las comparaciones de resultados bajo los niveles de tráfico más críticos (medio alto y alto) se presentan a continuación; mientras que, los resultados bajo los 2 niveles de tráfico restantes (bajo y medio bajo) se muestran en el Anexo E. Cabe mencionar que, para fines de visualización de los resultados, en las simulaciones se registran cada 4 minutos las métricas mencionadas. Asimismo, los resultados de las simulaciones que se presentan a continuación corresponden a la suma de métricas obtenidas de cada intersección semafórica para representar toda la zona del caso de estudio.

- ***Nivel de tráfico medio alto***

En la Figura 4.11 se muestra la suma de la duración del ciclo semafórico de cada intersección semafórica en la zona de estudio, en donde se observa que el sistema bajo tiempos fijos y ola verde presenta un valor constante de 1240 segundos (Ver duración de ciclo semafórico de cada intersección en Anexo C); mientras que, con el algoritmo genético, la duración varía entre 400 y 500 segundos, según los tiempos que se calculan en cada intersección semafórica. También se puede notar que, con el algoritmo genético, la duración total de ciclos semafóricos se mantiene constante, lo cual significa que la cantidad de vehículos detenidos también se ha mantenido constante durante este periodo, dado que, si hubiera una mayor cantidad de vehículos detenidos, para maximizar el problema de control (1) se debería incrementar la duración de ciclo semafórico, a fin de estabilizar el sistema de tráfico.

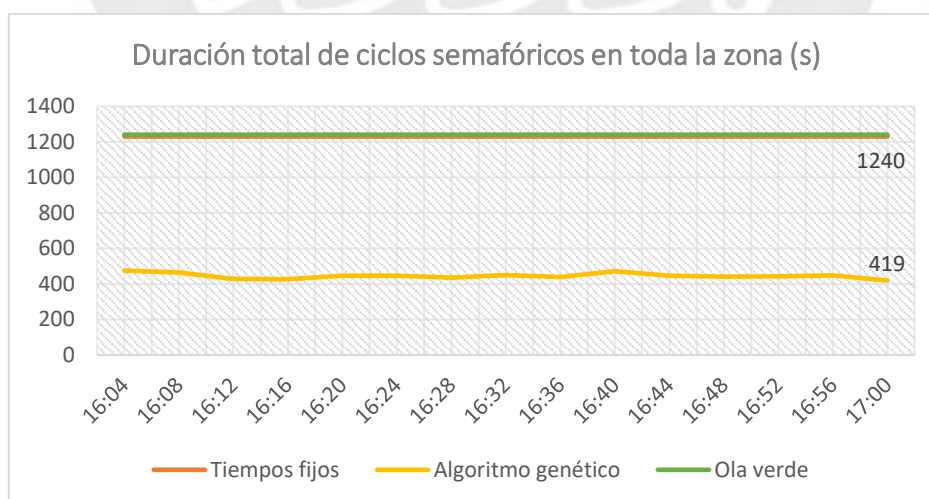


Figura 4.11 Duración total de ciclos semafóricos bajo un nivel de tráfico medio alto

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.12 se muestra la cantidad de vehículos detenidos en toda la zona de estudio, en donde se puede ver el efecto del algoritmo genético. Por un lado, la cantidad de vehículos detenidos para el sistema bajo tiempos fijos y ola verde aumentó hasta un valor de 256 y 187 vehículos, respectivamente; sin embargo, no sobrepasan dichos valores y se mantienen relativamente constantes. Por otro lado, con el algoritmo genético se llegó a un valor de 102 al inicio del periodo, y luego se mantienen valores inferiores a este. De esta manera, se observa que los 3 algoritmos son capaces de controlar el sistema de tráfico, pero luego de 1 hora de simulación, la cantidad de vehículos detenidos con el algoritmo genético es casi 2 veces menor a ambas lógicas del sistema de semaforización actual.

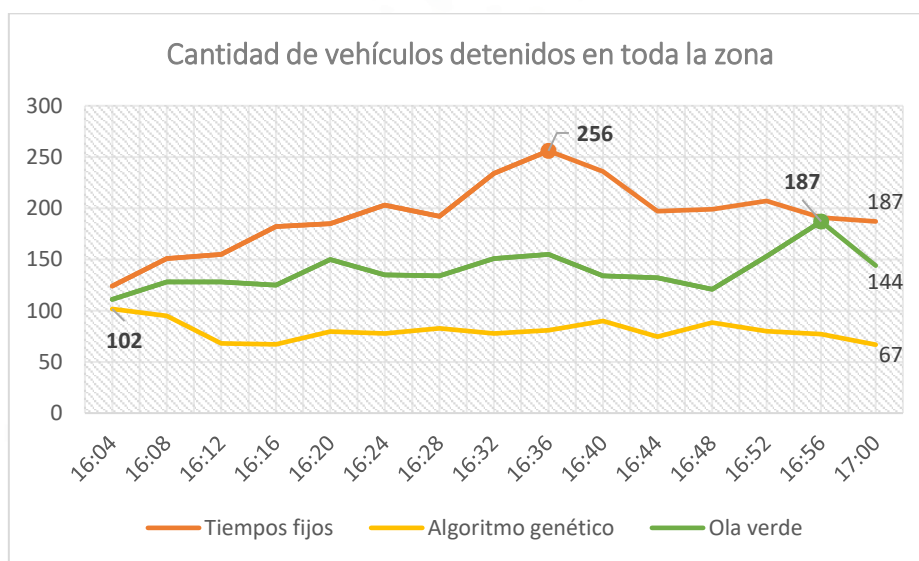


Figura 4.12 Cantidad de vehículos detenidos bajo un nivel de tráfico medio alto

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.13 se muestra la suma del tiempo de espera de cada vehículo detenido en la zona de estudio, en donde se observa un comportamiento similar al mencionado previamente. En el caso del sistema bajo tiempos fijos y ola verde, el tiempo de espera aumentó hasta un valor de 10 668 y 5 255 segundos, respectivamente; sin embargo, no sobrepasan dichos valores y se mantienen relativamente constantes. Por otro lado, con el algoritmo genético se llegó a un valor de 1 628 al inicio del periodo, y luego se mantienen valores inferiores a este. De esta manera, se observa que los 3 algoritmos son capaces de controlar el sistema de tráfico, pero luego de 1 hora de simulación, el tiempo de espera total con el algoritmo genético es más de 6 veces menor a ambas lógicas del sistema de semaforización actual. Cabe mencionar, que el sistema de semaforización bajo ola verde presenta mejores resultados que bajo tiempos fijos.

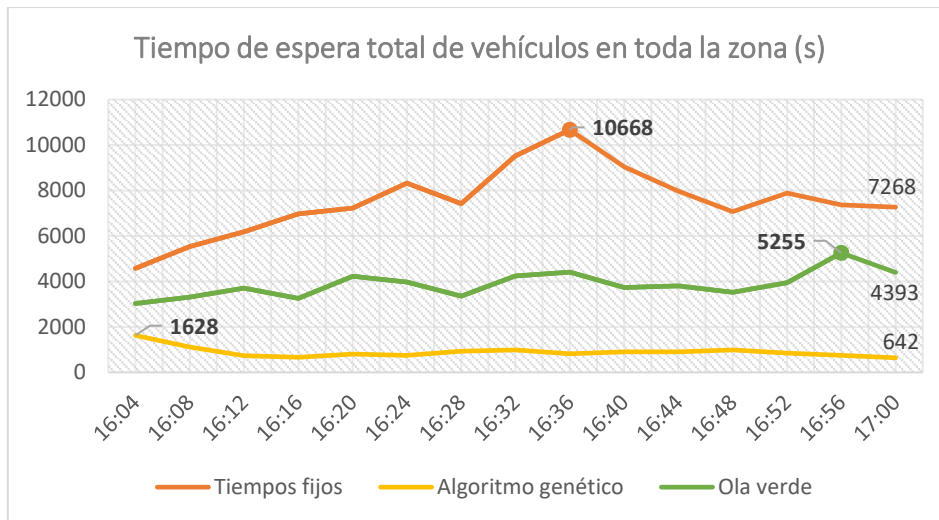


Figura 4.13 Tiempo de espera total de vehículos bajo un nivel de tráfico medio alto

Fuente: Elaboración propia

- **Nivel de tráfico alto**

En la Figura 4.14 se muestra la suma de la duración del ciclo semafórico de cada intersección semafórica en la zona de estudio, en donde se observa que el sistema bajo tiempos fijos y ola verde presenta, al igual que el caso anterior, un valor constante de 1240 segundos; mientras que, con el algoritmo genético, la duración varía entre 500 y 600 segundos, según los tiempos que se calculan en cada intersección semafórica. También se puede notar que, con el algoritmo genético, la duración total de ciclos semafóricos se mantiene relativamente constante con una tendencia ligeramente creciente, lo cual significa que la cantidad de vehículos también ha ido aumentando en ese periodo.

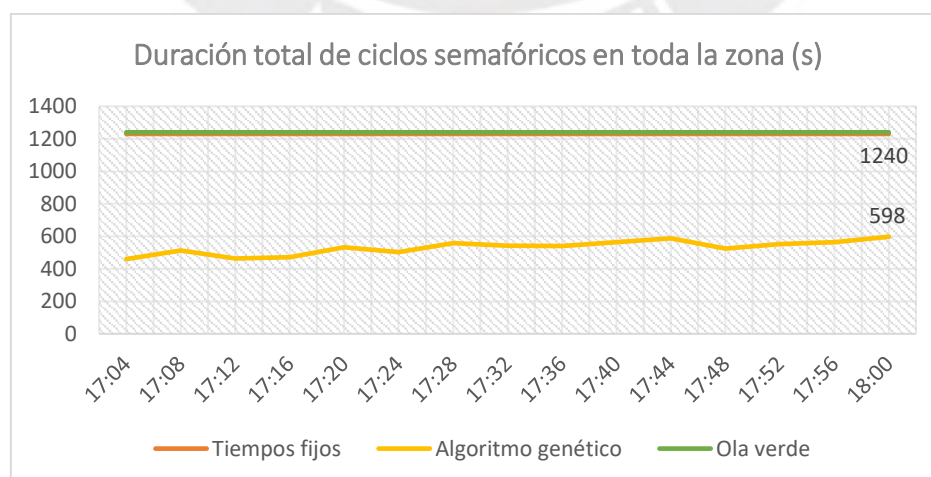


Figura 4.14 Duración total de ciclos semafóricos bajo un nivel de tráfico alto

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.15 se muestra la cantidad de vehículos detenidos en toda la zona de estudio, en donde se observa que el sistema bajo tiempos fijos y ola verde llega a un valor de 354 y 262, respectivamente; mientras que, con el algoritmo genético, la cantidad de vehículos detenidos llega a 188. De esta manera, se aprecia que la cantidad de vehículos ha aumentado en el sistema, bajo los 3 algoritmos; sin embargo, la tasa de crecimiento es más alta para el sistema bajo tiempos fijos y ola verde. Cabe señalar, que el efecto de aumento de vehículos detenidos se debe a que se empiezan a generar atascos, lo cual conlleva al aumento de congestión vehicular y esto con un efecto de “bola de nieve” genera más atascos.

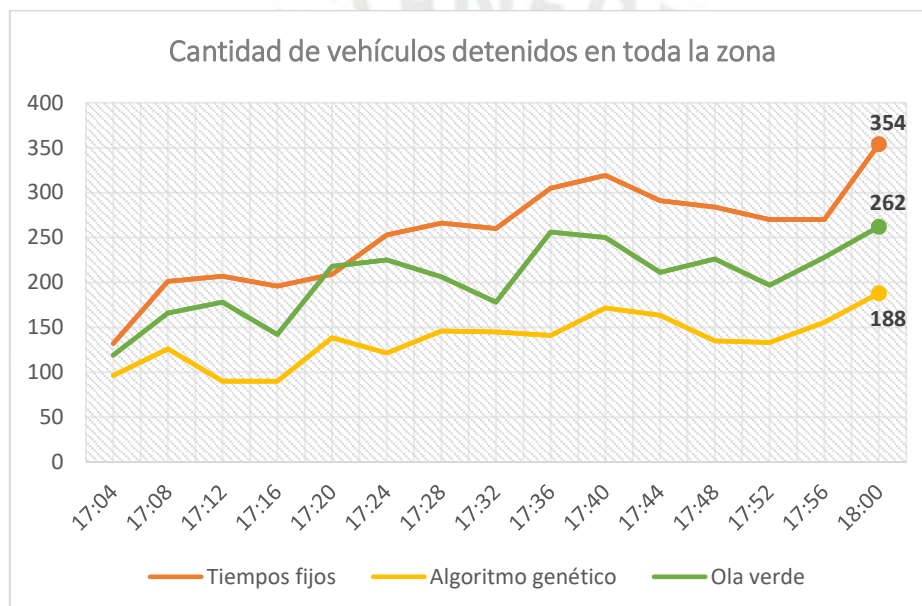


Figura 4.15 Cantidad de vehículos detenidos bajo un nivel de tráfico alto

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.16 se muestra la suma del tiempo de espera de cada vehículo detenido en la zona de estudio, en donde se puede apreciar en mayor magnitud la bondad del algoritmo de control. En el caso del sistema bajo tiempos fijos y ola verde, el tiempo de espera total aumentó hasta un valor de 28 969 y 20 790 segundos, respectivamente; asimismo, la tasa de crecimiento aumenta drásticamente a partir del minuto 17:56 y 17:52, respectivamente, lo cual se debe a que empiezan a generarse atascos de vehículos en el sistema (ver Figura 4.15). Por otro lado, con el algoritmo genético se llegó a un valor de 8 140 en el minuto 17:44, y luego se mantienen valores inferiores a este. De esta manera, se observa que luego de 1 hora de simulación bajo un

nivel de tráfico alto, el tiempo de espera total con el algoritmo de control es más de 4 veces menor a la lógica de ola verde, y 6 veces menor a la de tiempos fijos; asimismo, el algoritmo de control es el único capaz de mantener el tiempo de espera total en valores bajos, a pesar del incremento de vehículos detenidos.

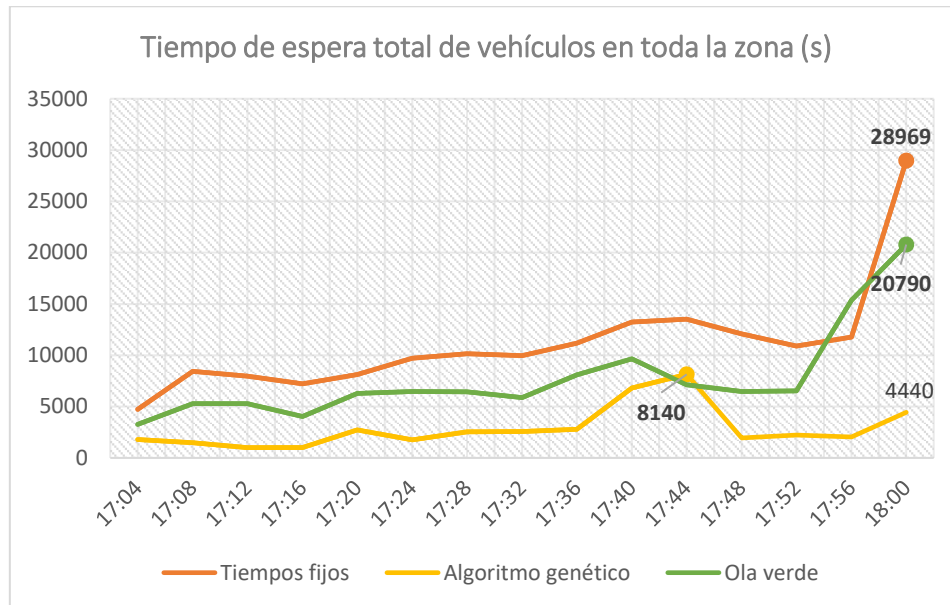


Figura 4.16 Tiempo de espera total de vehículos bajo un nivel de tráfico alto

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.3 Algoritmo proporcional

La implementación del algoritmo de control proporcional se realiza usando las ecuaciones (2), (3) y (4), que fueron desarrolladas previamente en la subsubsección 4.1.2.4. De manera análoga, el algoritmo proporcional fue desarrollado en un archivo de extensión .py como una función que puede ser invocada desde el archivo principal. Al respecto, dicha función recibe como entrada la cantidad de vehículos detenidos en una intersección semafórica y, luego de seguir realizar el cálculo, devuelve los tiempos de cada fase del ciclo semafórico, que cumplen las ecuaciones mencionadas. Cabe señalar, que dicha función es invocada desde el archivo principal, al final del ciclo semafórico de cada intersección. En el Anexo F, se incluye el código del archivo de extensión .py correspondiente al algoritmo proporcional.

La simulación del algoritmo proporcional implementado en el ambiente de simulación SUMO para la zona de caso de estudio seleccionada, bajo los cuatro (04) horarios definidos en la subsubsección anterior fue también realizada. En el Anexo G se muestran los tiempos calculados para la duración de las fases en cada ciclo semafórico de las 10 intersecciones, según

los cuatro niveles de tráfico. Al respecto, se observa que, como se esperaba, los tiempos calculados con el algoritmo proporcional son exactamente iguales a los calculados con el algoritmo genético, debido a que el algoritmo proporcional es la solución analítica del problema de control (1) para el caso particular en que a cada vía ingresante a una intersección semafórica le corresponde únicamente una fase con luz verde por ciclo semafórico. Cabe señalar, que se puede aplicar el algoritmo proporcional en la zona de caso de estudio, dado que todas las intersecciones semafóricas cumplen con dicha particularidad, según las fases establecidas en el Anexo B.

4.2. Diseño electrónico y eléctrico

En el diseño electrónico y eléctrico, se define un diagrama de bloques para identificar los elementos electrónicos y eléctricos que se requieren en el sistema y agruparlos en unidades. A continuación, se seleccionan los componentes de cada unidad de acuerdo a los requerimientos y su funcionalidad con el resto de componentes. Posteriormente, se diseña el diagrama de conexiones completo de acuerdo a los componentes seleccionados, así como el diagrama esquemático de los componentes que lo requieran. Finalmente, se presenta el diagrama de flujo del programa que se implementará en el microprocesador.

4.2.1 Diagrama de bloques

En base a la estructura de funciones, respecto a los componentes electrónicos y eléctricos se define: la unidad de procesamiento, la cual comprende principalmente el microprocesador; la unidad de energía y potencia, la cual está compuesta por la llave termomagnética, el sistema de relés de estado sólido, la fuente switching, el sistema de alimentación alternativo, el circuito selector de alimentación DC y su respectivo sistema de regulación de voltaje DC; y, la unidad de comunicaciones, la cual comprende el módulo conversor de protocolo de comunicación, así como el router con tecnología 4G para la transmisión inalámbrica. A continuación, se muestra el diagrama de bloques en la Figura 4.17.

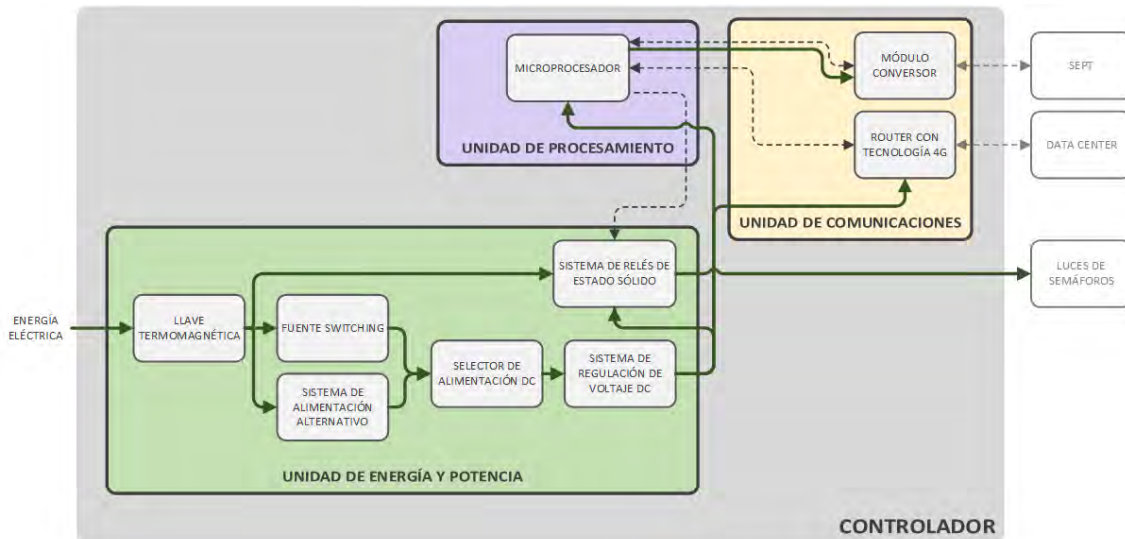


Figura 4.17 Diagrama de bloques electrónico

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Selección de componentes electrónicos

En esta subsección se describirá brevemente cada componente para poder definir los requerimientos más relevantes de cada uno y así, seleccionar el más adecuado. Las especificaciones de los componentes seleccionados se encuentran en el Anexo H; mientras que, la cotización de los mismos en el Anexo J.

4.2.2.1 Unidad de Procesamiento

- **Microprocesador**

En el microprocesador se implementará un programa desarrollado en lenguaje *python* para validar la llegada de datos del SEPT a través del puerto USB, detectar el mal funcionamiento de este y procesar los datos recibidos para, posteriormente, encapsular la información que se enviará al *data center* por transmisión inalámbrica, por lo que se requiere de puerto Ethernet para la conexión con el router. Asimismo, se deben interpretar los datos recibidos del *data center* por transmisión inalámbrica para luego, a través de la aplicación del algoritmo diseñado, al final de cada ciclo semafórico se determinen los tiempos de cada fase, los cuales se enviarán como señales al sistema de relés de estado sólido para energizar las luces de semáforos.

De esta manera, se determinará la cantidad de pines de salida requeridos en el microprocesador para controlar semáforos vehiculares de 3 luces (rojo, verde y ámbar) y semáforos peatonales

de 2 luces (rojo y verde) para la intersección semafórica más general (4 vías ingresantes). Cabe mencionar, que según el Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras [45] se requiere de 2 semáforos vehiculares como mínimo por vía ingresante; asimismo, es de conocimiento que en las intersecciones semafóricas se utilizan 2 semáforos peatonales por vía. Así:

$$pines_{vehiculares} = 3 \frac{\text{luces}}{\text{semáforo}} \times 2 \frac{\text{semáforos}}{\text{vía ingresante}} \times 4 \text{ vías ingresantes} = 24 \quad ,$$

$$pines_{peatonales} = 2 \frac{\text{luces}}{\text{semáforo}} \times 2 \frac{\text{semáforos}}{\text{vía ingresante}} \times 4 \text{ vías ingresantes} = 16 \quad .$$

Por lo tanto, la cantidad de pines requeridos es 40. Así, la Tabla 4.3 muestra los requerimientos necesarios.

Tabla 4.3 Requerimientos para la selección de microprocesador

Requerimiento	Valor
Puertos Ethernet	1
Puertos USB	1
Cantidad de pines	40
Velocidad de procesamiento	Mayor a 1 GHz

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran las principales características de algunas alternativas del mercado en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Alternativas para la selección de microprocesador

Sistema embebido	BeagleBone Black	Tinker Board	Raspberry Pi 3 B+
Velocidad de procesamiento	1 GHz	1.8 GHz	1.4 GHz
Puertos Ethernet	1	1	1
Puertos USB	1	4	4
Cantidad de pines	92	40	40
Alimentación	5V @ 2A	5V @ 3A	5V @ 2.5A
Costo	S/. 314	S/. 399	S/. 178.06

Fuente: Mecatronica Uno [46], Mecatronica Uno [47], Mouser Electronics [48]

Por lo tanto, se escoge como sistema embebido con microprocesador a la Raspberry Pi 3 B+, debido a que es una alternativa que cumple con los requerimientos definidos y presenta un

costo bajo. Cabe mencionar, que el producto viene con disipadores de calor para el CPU, chip Ethernet y Bluetooth. Finalmente, se muestra dicho componente en la Figura 4.18.



Figura 4.18 Sistema embebido Raspberry Pi 3 B+

Fuente: Mouser Electronics [48]

Sin embargo, es de conocimiento que de los 40 pines de la Raspberry Pi 3 B+ solo se pueden usar 28 como pines de entrada/salida; por lo tanto, se usará un componente para disponer de pines adicionales. El componente seleccionado es el módulo PCA9685, el cual cuenta con 16 pines controlables, y se comunicará con la Raspberry por I²C. A continuación, se muestra el componente seleccionado en la Figura 4.19, y las principales características del mismo en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Características de Módulo PCA9685

Característica	Valor
Voltaje de operación	2.3 V a 5.5 V @ 10 mA
Pines controlables	16
Protocolo de comunicación	I ² C
Temperatura de operación	-40 °C a +85 °C
Costo	S/. 45

Fuente: Naylamp Mechatronics [49]

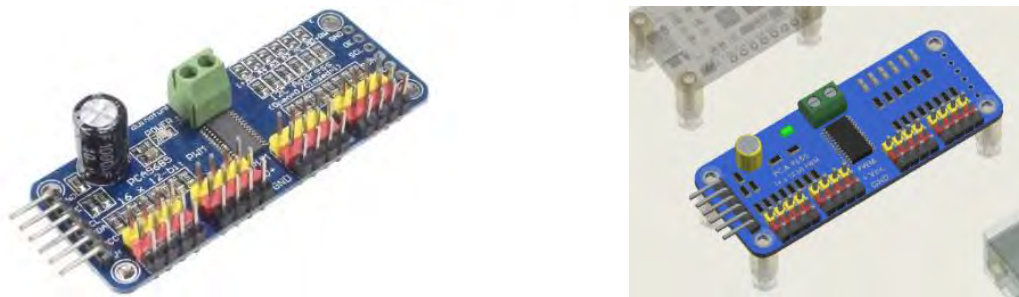


Figura 4.19 Módulo PCA9685

Fuente: Naylamp Mechatronics [49]

4.2.2.2 Unidad de comunicaciones

- **Módulo conversor**

Se encarga de la comunicación entre el microprocesador y el SEPT para recibir la información según el protocolo de comunicación que se requiera (RS-232, RS-485, TTL) y así llegue por conexión USB al procesador. Asimismo, la alimentación del componente será por la conexión USB. De esta manera, la Tabla 4.6 muestra los requerimientos necesarios.

Tabla 4.6 Requerimientos para el módulo conversor

Requerimiento	Valor
Protocolo de comunicación de sistema de sensores	RS-232, RS-485, TTL
Protocolo de comunicación de microprocesador	USB
Alimentación	Menor o igual a 5 V por USB

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran las principales características de algunas alternativas en el mercado en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Alternativas para la selección de módulo conversor

Módulo conversor	Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter	Módulo Adaptador Convertidor DB9 FT232BM/BL	SparkFun FTDI Basic Breakout - 5V
Alimentación	3.3 V a 5 V	5 V	3.3 V a 5 V
Conexión RS-232	Sí	Sí	No
Conexión RS-485	Sí	Sí	No
Conexión TTL	Sí	Sí	Sí
Conexión USB	Sí	No	Sí
Costo	\$1.79.37	\$6.52	\$14.95

Fuente: Mouser Electronics [50], AliExpress [51], SparkFun Electronics [52]

Por lo tanto, se escoge como módulo conversor el Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter, debido a que es la única alternativa que cumple con los requerimientos definidos. Finalmente, se muestra dicho componente en la Figura 4.20.



Figura 4.20 Módulo Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter

Fuente: Mouser Electronics [50]

- **Router con tecnología 4G**

Se encarga de permitir la comunicación entre el microprocesador y el *data center* para enviar y recibir datos al final de cada ciclo semafórico. Al respecto, la conexión del router y el microprocesador se realiza de manera directa mediante protocolo de comunicación Ethernet/IP; mientras que, el router cuenta con tecnología 4G. De esta manera, la Tabla 4.8 muestra los requerimientos necesarios.

Tabla 4.8 Requerimientos para router 4G

Requerimiento	Valor
Entrada para conexión a 4G	1
Protocolo de comunicación con microprocesador	Ethernet/IP
Alimentación	Menor o igual a 12 V

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran las principales características de algunas alternativas en el mercado en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9 Alternativas para la selección de router 4G

Router 4G	TL-MR3020	TL-MR3420	Archer MR400
Conexión a 4G	1 puerto USB	1 puerto USB	1 slot Micro SIM Card
Puertos WAN	1 (10/100 Mbps)	1 (10/100 Mbps)	1 (10/100 Mbps)
Puertos LAN	-	4 (10/100 Mbps)	4 (10/100 Mbps)
Alimentación	5V @ 1A	12V @ 1A	9V @ 0.85A
Temperatura de operación	0°C a 40°C	0°C a 40°C	0°C a 40°C
Dimensiones	74×67×22 mm	204×138×44 mm	202×141×33.6 mm
Costo	S/. 87.1	S/. 105	\$168

Fuente: Grupo C&C [53], Grupo Deltron [54], DS3 Comunicaciones [55]

Por lo tanto, se escoge como router con tecnología 4G el modelo TP-Link TL-MR3420, debido a que esta alternativa cumple con los requerimientos definidos, pero además presenta 1 puerto WAN para conexión Ethernet con cable directo en caso se requiera cambiar de tecnología de comunicación posteriormente; así como, 4 puertos LAN para poder conectar otros dispositivos. Cabe mencionar, que el costo de este componente es muy cercano al más bajo de las 3 alternativas. Finalmente, se muestra dicho componente en la Figura 4.21.



Figura 4.21 Router 4G modelo TP-Link TL-MR3420

Fuente: Grupo Deltron [54]

4.2.2.3 Unidad de energía y potencia

- **Sistema de relés de estado sólido**

Se encarga de permitir el paso de la energía eléctrica hacia las luces de los semáforos, según las señales recibidas de la Raspberry Pi 3 B+; por lo tanto, el voltaje de control del que se dispone es de 3.3 V. Asimismo, es de conocimiento que las luces de semáforos más empleadas son las luces LED, las cuales consumen una potencia baja entre 5 y 10 W. De esta manera, la Tabla 4.10 muestra los requerimientos necesarios para un relé de estado sólido.

Tabla 4.10 Requerimientos para un relé de estado sólido

Requerimiento	Valor
Voltaje de control	0 a 3.3 V
Voltaje de carga	220 VAC
Corriente de carga	Mayor a 100 mA
Alimentación DC	5 V

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, dado que a cada luz de semáforo a controlar le corresponde un relé de estado sólido, se requiere de 40 relés. De esta manera, a fin de reducir la cantidad de componentes a usar, se escoge un módulo que cuenta con 8 canales de relé de estado sólido modelo SSR: OMRON G3MB-202P-DC5, el cual cumple los requerimientos y puede ser adquirido fácilmente en el mercado local; por lo tanto, solo se requieren 5 de estos componentes. A continuación, se muestra el componente seleccionado en la Figura 4.22, y las principales características del mismo en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Características de módulo de relé de estado sólido SSR 5V de 8 canales

Característica	Valor
Cantidad de relés	8
Voltaje de carga	220 VAC
Corriente de carga	2 A por relé
Alimentación DC	5 V
Corriente de trabajo	12.5 mA por relé
Voltaje de control	ON: 0V - 1.5V OFF: 2.5V - 5V
Tiempo de acción	1 ms
Costo	S/. 75

Fuente: Mechatronics Laboratory [56]

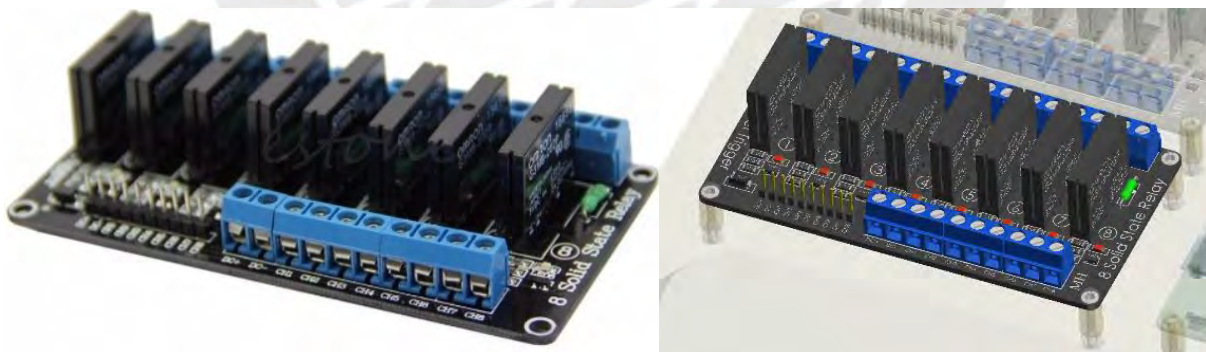


Figura 4.22 Módulo de relé de estado sólido SSR 5V de 8 canales

Fuente: Mechatronics Laboratory [56]

- **Fuente switching**

El sistema convierte la energía AC de alimentación en DC a través de la fuente switching. Posteriormente, la energía DC convertida tiene que ser regulada para que energice la Raspberry

Pi 3 B+, el módulo PCA9685, el sistema de relés de estado sólido y el router 4G TP-Link modelo TL-MR3420. A continuación, se analiza la potencia requerida del sistema considerando que, en el peor de los casos, todos los componentes seleccionados consumen la máxima corriente. En la Tabla 4.12 se muestra el resumen de potencia requerida en el sistema.

Tabla 4.12 Resumen de potencia requerida para la fuente switching

Componente	Voltaje requerido	Corriente x unidad	Cantidad	Corriente requerida	Potencia requerida
Raspberry Pi 3 B+	5 V	2.5 A	1	2.5 A	12.5 W
Módulo PCA9685	5V	10 mA	1	10 mA	0.05 W
Relé de estado Solido SSR 5V	5V	12.5 mA	40	0.5 A	2.5 W
Router 4G TP-Link modelo TL-MR3420	12 V	1 A	1	1 A	12 W
				4 A	27 W

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, se obtiene la potencia máxima requerida por el sistema: 27 W. Luego de aplicar un factor de seguridad de 1.5, la potencia máxima requerida por el sistema es de 40.5 W.

Asimismo, se observa que se requieren de 12 V para el router 4G y 5 V para la Raspberry Pi 3 B+, el módulo PCA9685 y el sistema de relés de estado Solido SSR. Por lo tanto, se usa una fuente switching de 12 V de voltaje de salida para que luego se puedan regular los 12 V a 5 V, a través de otro componente.

Por otro lado, se observa que la corriente máxima requerida por el sistema es de 4 A. Luego de aplicar un factor de seguridad de 1.5, la corriente máxima requerida por el sistema es de 6 A. De esta manera, la Tabla 4.13 muestra los requerimientos necesarios para la fuente switching.

Tabla 4.13 Requerimientos para la fuente switching

Requerimiento	Valor
Potencia de salida	Mayor a 40.5 W
Voltaje de salida	12 V
Corriente de salida	Mayor a 6 A
Alimentación	220 VAC

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se escoge como fuente switching la fuente de alimentación conmutada 100W 12VDC 8.5 A, la cual cumple los requerimientos y puede ser adquirida fácilmente en el

mercado local. A continuación, se muestra el componente seleccionado en la Figura 4.23, y las principales características del mismo en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Características de fuente switching seleccionada

Característica	Valor
Potencia de salida	100 W
Voltaje de salida	12 V
Corriente de salida	8.5 A
Alimentación	220 VAC
Costo	S/. 70

Fuente: Naylamp Mechatronics [57]

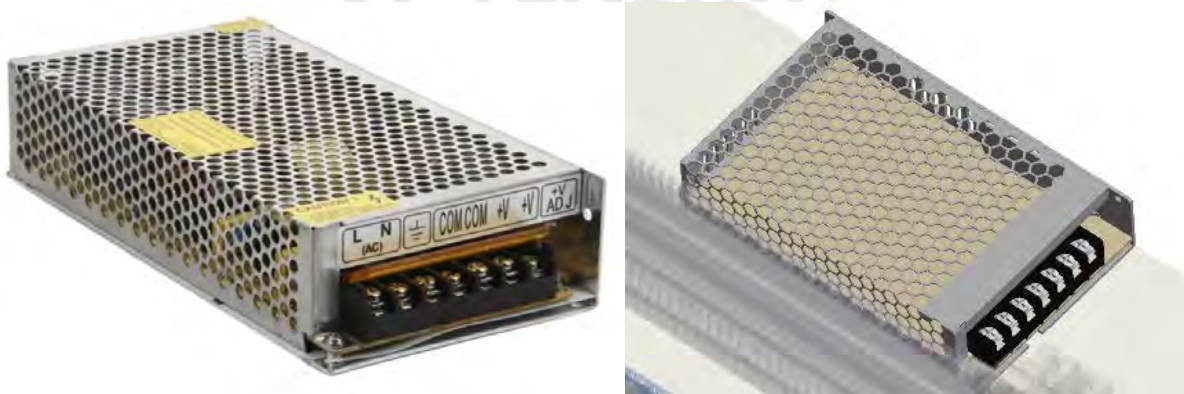


Figura 4.23 Fuente de alimentación conmutada 100W 12VDC 8.5 A

Fuente: Naylamp Mechatronics [57]

- **Sistema de alimentación alternativo**

El sistema cuenta con un sistema de alimentación alternativo, el cual almacena energía en una batería de plomo y ácido, y entra en funcionamiento cuando se deja de suministrar energía eléctrica al sistema, con el objetivo de asegurar el funcionamiento continuo del sistema durante al menos 1 hora. De igual manera, el sistema de alimentación alternativo debe energizar la Raspberry Pi 3 B+, el sistema de relés de estado sólido y el router 4G TP-Link modelo TL-MR3420. Por lo tanto, en base a la potencia requerida del sistema (ver Tabla 4.12), se definen los requerimientos necesarios para el sistema de alimentación alternativo, los cuales se muestran a continuación, en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15 Requerimientos para sistema de alimentación alternativo

Requerimiento	Valor
Voltaje de salida	12 V
Corriente de salida	Mayor a 6 A
Capacidad de corriente/hora	Mayor a 6 Ah
Alimentación	220 VAC

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, se seleccionará una batería de plomo y ácido, así como un cargador apropiado para esta. En la Tabla 4.16 se muestran las principales características de algunas alternativas de baterías de plomo y ácido en el mercado.

Tabla 4.16 Alternativas para la selección de batería de plomo y ácido

Batería de plomo y ácido	Yuasa NP7-12	Opalux DH-1270 Batería 12V, 7AH	Batería Ritar RT1270
Voltaje de salida	12 V	12 V	12 V
Capacidad de corriente/hora	7 Ah	7 Ah	7 Ah
Dimensiones	151 largo 65 ancho 97.5 alto	150 largo 65 ancho 93 alto	151 largo 65 ancho 100 alto
Corriente de carga máxima	1.75 A	2.1 A	2.1 A
Costo	S/. 80	S/. 65	S/. 60

Fuente: I.R. Electronics [58], I.R. Electronics [59], I.R. Electronics [60]

Por lo tanto, se escoge como batería de plomo y ácido a la Batería Ritar RT1270, debido a que esta alternativa cumple con los requerimientos definidos y presenta el costo menor. Finalmente, se muestra dicho componente en la Figura 4.24.



Figura 4.24 Batería Ritar RT1270

Fuente: I.R. Electronics [60]

Por otro lado, se requiere un cargador para la batería seleccionada que permita cargar la batería solo cuando esta lo requiera, con el objetivo de alargar la vida de la batería. De esta manera, se selecciona el cargador de baterías ATEK 4000 - 6/12V 4A, el cual cuenta con un microprocesador interno para controlar la carga de la batería, cumple los requerimientos y puede ser adquirido fácilmente en el mercado local. A continuación, se muestra el componente seleccionado en la Figura 4.25, así como las principales características del mismo en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17 Características de cargador de batería seleccionado

Característica	Valor
Alimentación	220 VAC
Máxima corriente de carga	4 A
Capacidad de corriente/hora	5 – 120 Ah
Voltaje de batería	6V / 12V
Costo	S/. 177.77

Fuente: AutoSolar [61]



Figura 4.25 Cargador de baterías ATEK 4000 - 6/12V 4A

Fuente: AutoSolar [61]

- **Selector de alimentación**

La selección de tipo energía que será acondicionada para todos los componentes se realizará a través de un circuito de transistores. En condiciones normales, es decir, cuando haya suministro de energía eléctrica, los 12 V que llegan a la salida del circuito deben ser provenientes de la fuente switching; mientras que, en caso de que se corte el suministro de energía eléctrica, deben ser provenientes de la batería de plomo y ácido. De esta manera, se diseña el circuito mostrado en la Figura 4.26.

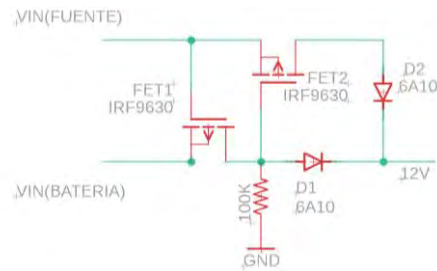


Figura 4.26 Circuito de transistores para seleccionar energía

Fuente: Elaboración propia

En el circuito, se utilizan 2 transistores Mosfet de enriquecimiento Canal P, los cuales operarán en corte o saturación para que se pueda conmutar la alimentación según lo descrito anteriormente. Asimismo, los Mosfet deben permitir una corriente por el *drain* de al menos 6 A y un voltaje entre el *gate* y *source* de al menos ± 12 V. Asimismo, se usan 2 diodos simples para permitir el paso de corriente en un solo sentido, los cuales deben permitir una corriente de al menos 6 A. Por último, se utiliza una resistencia de $100\text{ k}\Omega$ para conectar a tierra un punto intermedio. De esta manera, se elige el Mosfet Canal P IRF9630 y el diodo 6A10, los cuales pueden ser fácilmente adquiridos en el mercado. A continuación, se muestran las principales características de los componentes elegidos en la Tabla 4.18 y Tabla 4.19.

Tabla 4.18 Características de Mosfet IRF9630

Característica	Valor
Máxima corriente por drain	- 6.5 A
Máximo voltaje gate source	± 20 V
Umbral de voltaje gate source	- 2 a - 4 V
Temperatura de operación	- 55 a 150 °C
Costo	S/. 5.50

Fuente: *Electrónica Hi-Fi* [62]

Tabla 4.19 Características de diodo 6A10

Característica	Valor
Corriente permitida	6 A
Temperatura de operación	- 50 a 150 °C
Costo	S/. 0.60

Fuente: *Electrónica Hi-Fi* [63]

- **Sistema de regulación de voltaje**

En la unidad de energía y potencia se debe acondicionar los 12 V que se obtienen de la salida del circuito selector de alimentación para energizar todos los componentes seleccionados. De esta manera, se requieren 12 V para energizar el router 4G TP-Link modelo TL-MR3420 y 5 V para la Raspberry Pi 3 B+, el módulo PCA9685 y el sistema de relés de estado sólido; mientras que, el módulo conversor de comunicación no necesitan alimentación externa, ya que es alimentado por la Raspberry Pi 3 B+, a través de la conexión USB. En consecuencia, solo se necesita un regulador de voltaje de 12 V a 5 V para energizar a Raspberry Pi 3 B+, el módulo PCA9685 y los 40 relés de estado sólido (ver Tabla 4.20).

Tabla 4.20 Resumen de corriente requerida en el sistema de regulación de voltaje

Componente	Voltaje requerido	Corriente x unidad	Cantidad	Corriente requerida
Raspberry Pi 3 B+	5 V	2.5 A	1	2.5 A
Módulo PCA9685	5V	10 mA	1	10 mA
Relé de estado Solido SSR 5V	5V	12.5 mA	40	0.5 A
				3 A

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar, que la corriente considerada en la Tabla 4.20 corresponde a la corriente máxima que podrían requerir los componentes, ya que la Raspberry Pi 3 B+ en funcionamiento normal no llega a consumir 2.5 A; por otro lado, de los 40 relés de estado sólido, solo 16 estarán consumiendo los 12.5 mA al mismo tiempo, ya que cada relé corresponde a una luz de semáforo y cada semáforo solo puede encender una luz a la vez. De esta manera, la Tabla 4.21 muestra los requerimientos necesarios para el sistema de regulación de voltaje.

Tabla 4.21 Requerimientos para sistema de regulación de voltaje

Requerimiento	Valor
Voltaje de entrada	12 V
Voltaje de salida	5 V
Corriente de salida	Mayor o igual 3 A

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se escoge como sistema de regulación de voltaje a un módulo convertidor de voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596, debido a que cumple con los requerimientos definidos, presenta una eficiencia de conversión elevada de 92% y se puede adquirir fácilmente

en el mercado local. A continuación, se muestra el componente seleccionado en la Figura 4.27, así como las principales características del mismo en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22 Características de módulo convertidor de voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596

Característica	Valor
Voltaje de entrada	4.5 V a 40 V DC
Voltaje de salida	1.23 V a 37 V DC
Corriente de salida máxima	3 A
Eficiencia de conversión	92%
Costo	S/. 12.00

Fuente: Naylamp Mechatronics [64]



Figura 4.27 Módulo Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596

Fuente: Naylamp Mechatronics [64]

- **Llave termomagnética**

Finalmente, el sistema debe permitir el paso de la corriente eléctrica 220 VAC a través de una llave termomagnética, la cual también debe proteger al sistema de sobrecargas ante posibles fallas de componentes. Según los componentes seleccionados previamente, se determina la corriente requerida en todo el sistema (ver Tabla 4.23).

Tabla 4.23 Resumen de corriente requerida en el sistema

Componente	Voltaje requerido	Corriente x unidad	Cantidad	Corriente requerida
Raspberry Pi 3 B+	5 V	2.5 A	1	2.5 A
Módulo PCA9685	5V	10 mA	1	10 mA
Relé de estado Solido SSR 5V	5V	12.5 mA	40	0.5 A
Relé de estado Solido SSR 5V	220 VAC	100 mA	40	4 A
Router 4G TP-Link modelo TL-MR3420	12 V	1 A	1	1 A
				8 A

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se escoge como llave termomagnética el modelo Easy 9 MCB 2x16A de Schneider Electric, debido a que cumple con los requerimientos definidos y se puede adquirir fácilmente en el mercado local. A continuación, se muestra el componente seleccionado en la Figura 4.28, así como las principales características del mismo en la Tabla 4.24.

Tabla 4.24 Características de llave termomagnética Easy 9 MCB 2x16A

Característica	Valor
Voltaje	220 VCA ~ 50/60 Hz
Corriente máxima	16 A
Dimensiones	81 x 36 x 66.5 mm
Costo	S/. 33.40

Fuente: Promart [65]



Figura 4.28 Llave termomagnética Easy 9 MCB 2x16A

Fuente: Promart [65]

4.2.3 Diagrama de conexiones y esquemático

Finalmente, en base a todos los componentes seleccionados se define el diagrama de conexiones completo para el controlador, el cual se muestra en la Figura 4.29.

Tabla 4.25 Asignación de pines de la Raspberry Pi 3 B+

Pin de Raspberry Pi 3 B+	Pin de componente	Referencia
GPIO 8	SDA Módulo PCA9685	I ² C
GPIO 9	SCL Módulo PCA9685	I ² C
GPIO 7	CH1 Módulo de relés 1	Luz vehicular verde 1
GPIO 0	CH2 Módulo de relés 1	Luz vehicular roja 1
GPIO 2	CH3 Módulo de relés 1	Luz vehicular ámbar 1
GPIO 3	CH4 Módulo de relés 1	Luz vehicular verde 2
GPIO 12	CH5 Módulo de relés 1	Luz vehicular roja 2
GPIO 13	CH6 Módulo de relés 1	Luz vehicular ámbar 2
GPIO 14	CH7 Módulo de relés 1	Luz vehicular verde 3
GPIO 21	CH8 Módulo de relés 1	Luz vehicular roja 3
GPIO 22	CH1 Módulo de relés 2	Luz vehicular ámbar 3
GPIO 23	CH2 Módulo de relés 2	Luz vehicular verde 4
GPIO 24	CH3 Módulo de relés 2	Luz vehicular roja 4
GPIO 25	CH4 Módulo de relés 2	Luz vehicular ámbar 4
GPIO 15	CH5 Módulo de relés 2	Luz vehicular verde 5
GPIO 16	CH6 Módulo de relés 2	Luz vehicular roja 5
GPIO 1	CH7 Módulo de relés 2	Luz vehicular ámbar 5
GPIO 4	CH8 Módulo de relés 2	Luz vehicular verde 6
GPIO 5	CH1 Módulo de relés 3	Luz vehicular roja 6
GPIO 6	CH2 Módulo de relés 3	Luz vehicular ámbar 6
GPIO 10	CH3 Módulo de relés 3	Luz vehicular verde 7
GPIO 11	CH4 Módulo de relés 3	Luz vehicular roja 7
GPIO 26	CH5 Módulo de relés 3	Luz vehicular ámbar 7
GPIO 27	CH6 Módulo de relés 3	Luz vehicular verde 8
GPIO 28	CH7 Módulo de relés 3	Luz vehicular roja 8
GPIO 29	CH8 Módulo de relés 3	Luz vehicular ámbar 8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.26 Asignación de pines del Módulo PCA9685

Pin de Módulo PCA9685	Pin de componente	Referencia
SDA	GPIO 8 Raspberry Pi 3 B+	I ² C
SCL	GPIO 9 Raspberry Pi 3 B+	I ² C
PWM0	CH1 Módulo de relés 4	Luz peatonal verde 1
PWM1	CH2 Módulo de relés 4	Luz peatonal roja 1
PWM2	CH3 Módulo de relés 4	Luz peatonal verde 2
PWM3	CH4 Módulo de relés 4	Luz peatonal roja 2
PWM4	CH5 Módulo de relés 4	Luz peatonal verde 3
PWM5	CH6 Módulo de relés 4	Luz peatonal roja 3
PWM6	CH7 Módulo de relés 4	Luz peatonal verde 4
PWM7	CH8 Módulo de relés 4	Luz peatonal roja 4
PWM8	CH1 Módulo de relés 5	Luz peatonal verde 5
PWM9	CH2 Módulo de relés 5	Luz peatonal roja 5
PWM10	CH3 Módulo de relés 5	Luz peatonal verde 6
PWM11	CH4 Módulo de relés 5	Luz peatonal roja 6
PWM12	CH5 Módulo de relés 5	Luz peatonal verde 7
PWM13	CH6 Módulo de relés 5	Luz peatonal roja 7
PWM14	CH7 Módulo de relés 5	Luz peatonal verde 8
PWM15	CH8 Módulo de relés 5	Luz peatonal roja 8

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la unidad de energía y potencia, el selector de alimentación recibe 12 V de entrada de la fuente switching y de la batería de plomo y ácido, y presenta como salida 12 V; asimismo, el sistema de regulación de voltaje regula los 12 V a 5 V para energizar la Raspberry Pi 3 B+, el Módulo PCA9685 y los 5 módulos de relé de estado sólido SSR 5V de 8 canales. En la Figura 4.30 se muestra el diagrama esquemático de los componentes mencionados.

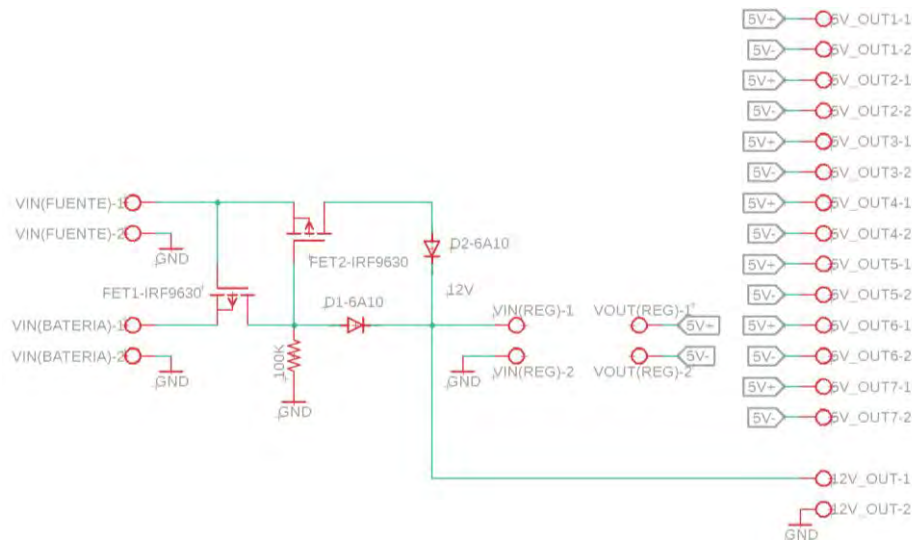


Figura 4.30 Diagrama esquemático del selector de alimentación y el sistema de regulación de voltaje

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se diseña una tarjeta de circuito impreso para colocar de manera ordenada y compacta los componentes del circuito selector de alimentación y el sistema de regulación de voltaje. En la Figura 4.31 se muestra la tarjeta realizada con el software Autodesk EAGLE, la cual cuenta con 1 sola capa por la baja cantidad de pistas, y deberá ser impresa para su montaje. La cotización de la impresión de dicha tarjeta se muestra en el Anexo J.

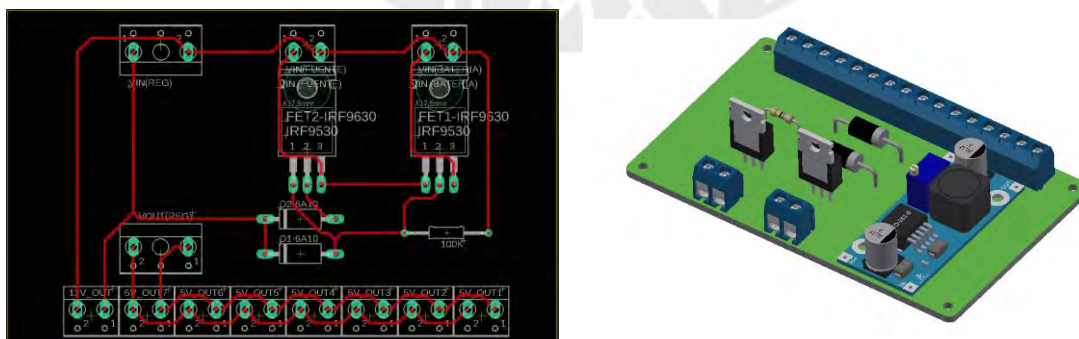


Figura 4.31 Diseño de tarjeta de circuito impreso

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la red eléctrica, luego de pasar por el interruptor termomagnético, debe conectarse a la fuente switching, el cargador de la batería de plomo y ácido, los 5 módulos de relé de estado sólido y las 40 luces de semáforo. En la Tabla 4.27, se muestran las conexiones de la red eléctrica.

Tabla 4.27 Conexiones de la red eléctrica

Neutro	Fase
5 módulos de relé de estado sólido	40 luces de semáforo
Fuente switching	Fuente switching
Cargador de la batería de plomo y ácido	Cargador de la batería de plomo y ácido

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se utilizarán 49 borneras eléctricas para efectuar dichas conexiones de manera ordenada y segura, las cuales deben permitir la sección de cables de las luces de semáforos y la red eléctrica. En la Figura 4.32 se muestra la bornera seleccionada [68], la cual permite secciones de cables entre 0.2 y 2.5 mm².



Figura 4.32 Bornera de conexión de 2.5 mm²

Fuente: ISA INDUSTRIAL [68]

Adicionalmente, se emplearán peines [69] para permitir la conexión de las 42 borneras de fase y las 7 borneras neutro, así como 1 separador [70] entre ellas, 2 tapas [71] para los extremos del ensamble, y 1 riel DIN [72] para el montaje de los componentes. Cabe señalar, que todas las conexiones intermedias se realizan con cable 14 AWG [73]. En la Figura 4.33 se muestra el ensamble de los componentes mencionados en el riel Din.

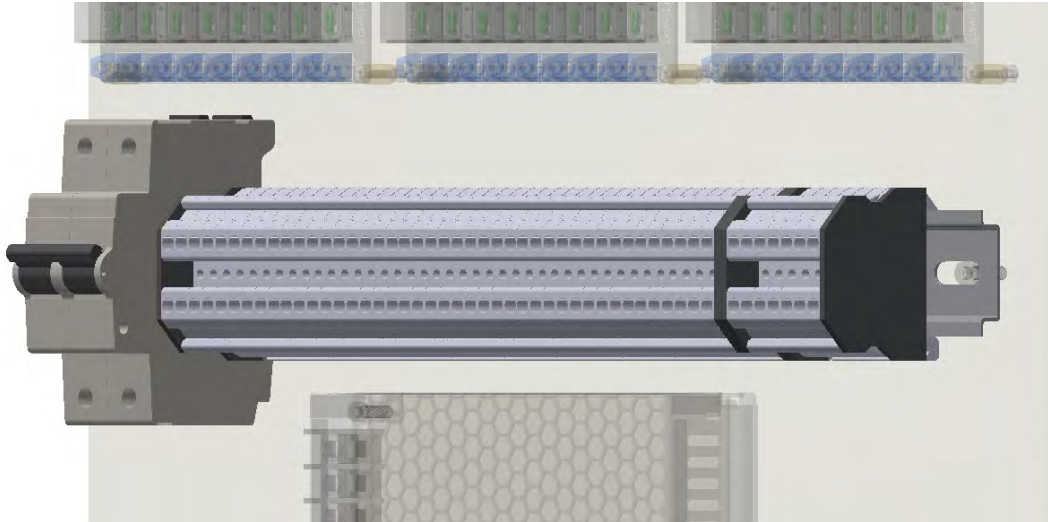


Figura 4.33 Ensamble de componentes en riel DIN

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Diagramas de flujo

Todas las funciones que realiza el controlador se encuentran implementadas en el microprocesador del sistema embebido Raspberry Pi 3 B+, a través de un programa desarrollado en lenguaje *python*. Al respecto, la Raspberry Pi 3 B+ cuenta con una tarjeta micro SD en donde se encuentra instalado el sistema operativo *Raspbian*, el cual es el más ligero y rápido a la fecha, lo que permite realizar un procesamiento más veloz y disminuir el riesgo de que se presenten retrasos durante largos periodos de funcionamiento.

El microprocesador del sistema embebido Raspberry Pi 3 B+ enviará señales al sistema de relés de estado sólido para energizar las luces de semáforos según los tiempos que corresponda. Asimismo, al iniciar la última fase de cada ciclo semafórico, se comunica con el SEPT para recibir los parámetros de tránsito, y con el *data center* para recibir el modo de operación (manual o autónomo) y los tiempos de cada fase, en caso el modo de operación sea manual. Cabe mencionar, que los ciclos semafóricos terminan en un cambio-de-fase (ver Anexo B como referencia). Por otro lado, cada 5 minutos enviará toda la información encapsulada (cantidad promedio de vehículos detenidos, tiempo promedio de cada fase y estado del SEPT) al *data center*.

4.2.4.1 General

El microprocesador de la Raspberry Pi 3 B+ se configura para que ejecute el programa principal apenas se energice, sin requerir una interacción mediante su escritorio virtual. A continuación, en la Figura 4.34 se presenta el diagrama de flujo general del programa, en el cual se observan las funciones principales del controlador como subprocesos que serán detallados posteriormente. Cabe mencionar, que estas funciones se ejecutan de manera continua en cada ciclo semafórico, y que el ciclo semafórico inicia con el subproceso *Energizar luces de semáforos*.

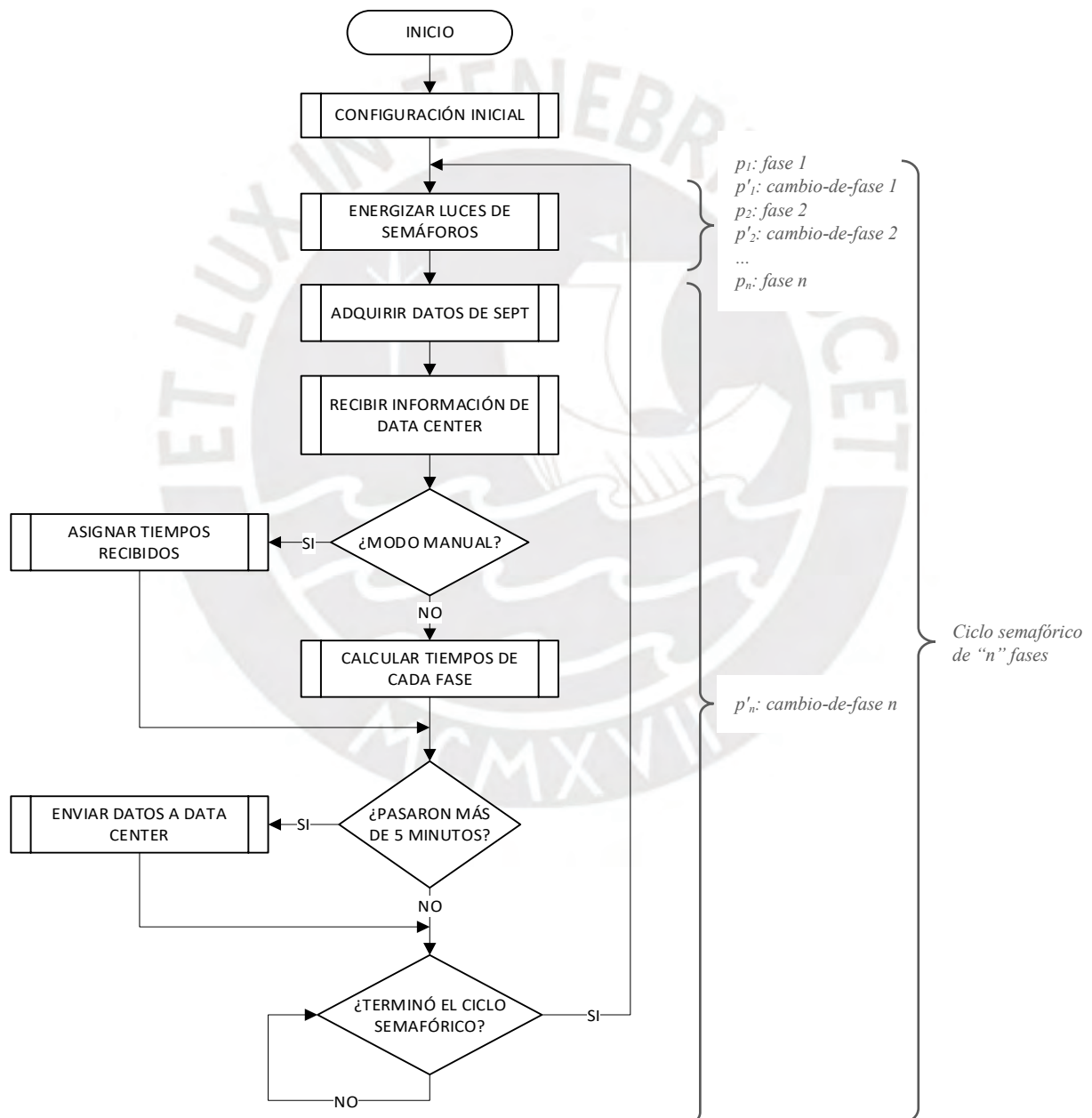


Figura 4.34 Diagrama de flujo general

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.2 Configuración inicial

Este subproceso se realiza cada vez que se inicia el programa principal. Permite cargar las librerías que se usan, configurar las interfaces para permitir la comunicación con los demás componentes, definir la estructura de petición al SEPT, inicializar todas las variables, definir la correspondencia de fases con vías ingresantes para la intersección semafórica a controlar, liberar la memoria de la Raspberry Pi 3 B+, así como asignar los tiempos predeterminados a cada fase para el primer ciclo semafórico. A continuación, se observa el diagrama de flujo en la Figura 4.35.

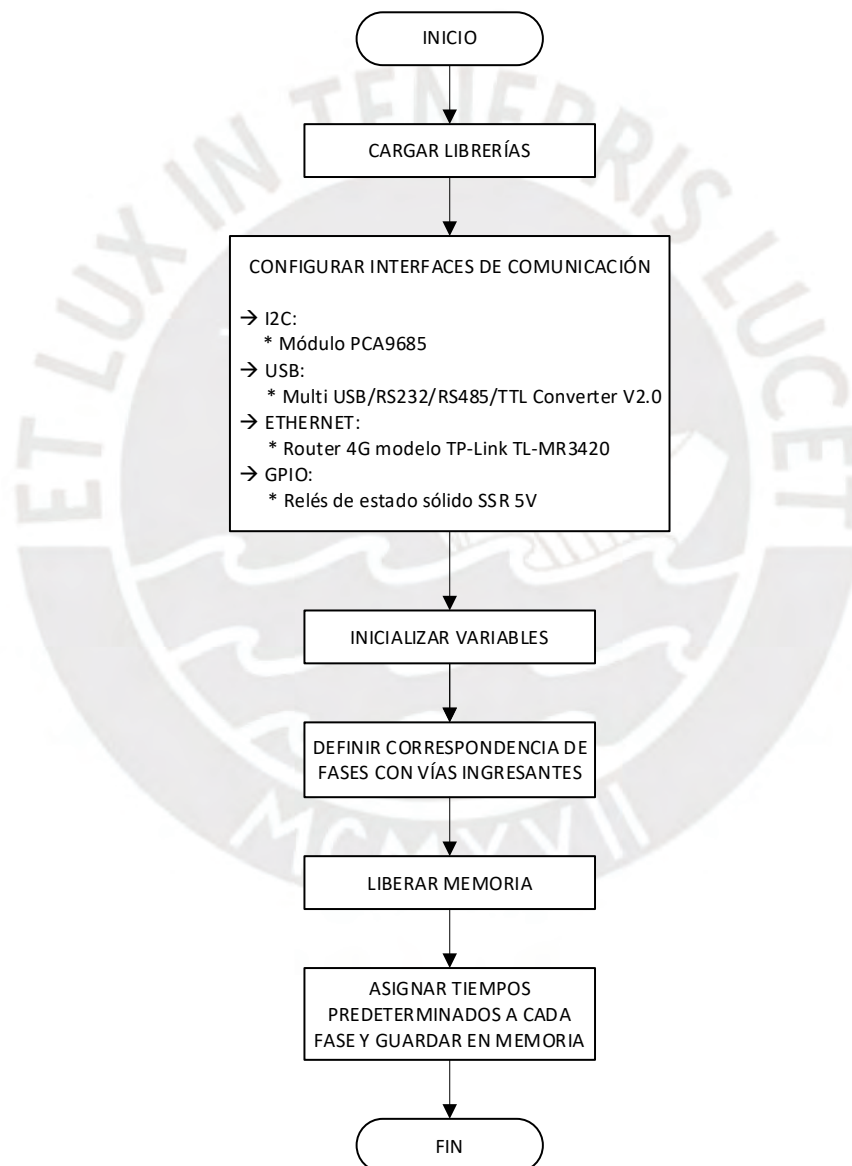


Figura 4.35 Diagrama de flujo de configuración inicial

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.3 Energizar luces de semáforos

Posteriormente, al inicio de cada ciclo semafórico, se deben leer los tiempos asignados a cada fase. De esta manera, al final de cada fase se envían señales de control para cambiar de fase, según los tiempos asignados. Cabe mencionar, que este es el subproceso en el que el sistema pasará la mayor parte de tiempo del ciclo semafórico (todas las fases, excepto el último cambio-de-fase); solo luego de enviar las señales de control que energicen las luces correspondientes a la última fase, se pasará a los siguientes subprocesos para realizar el cálculo de tiempos para el próximo ciclo semafórico. A continuación, se muestra el diagrama de flujo de esta tarea en la Figura 4.36.

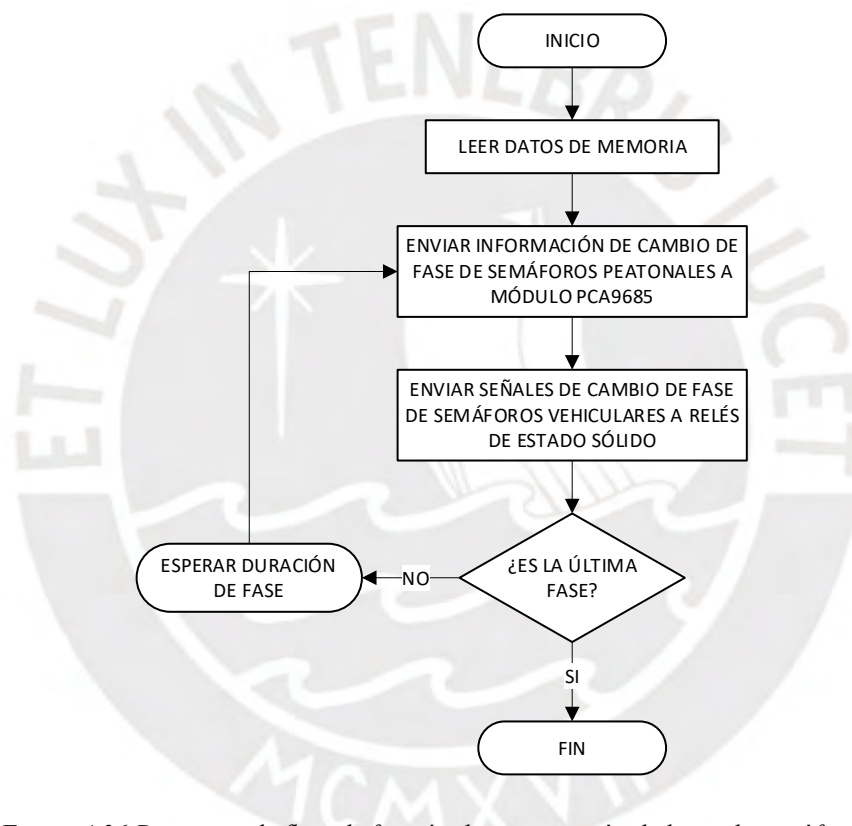


Figura 4.36 Diagrama de flujo de función de energización de luces de semáforos

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.4 Adquirir datos de SEPT

Al inicio de la última fase de cada ciclo semafórico (ver Anexo B como referencia) se envía una petición al SEPT para poder recibir la información de cantidad de vehículos detenidos por vía ingresante, y guardarlos en memoria. Dicha información llega con la trama de red que se muestra en la Tabla 4.28, en donde la cabecera representa un identificador de 3 *bytes* para validar los datos, seguido de 1 *byte* de la longitud del paquete de datos, la cual corresponde al

número de vías ingresantes a la intersección semafórica (N); posteriormente, sigue el paquete de datos, con 1 *byte* de la cantidad de vehículos detenidos por cada vía ingresante y, finalmente, 1 *byte* de chequeo de errores.

Tabla 4.28 Trama de red de datos recibidos de sistema de sensores

	Cabecera	Longitud	Paquete de datos				Checksum
Tamaño	3 bytes	1 byte	N bytes				1 byte
Ejemplo	ABC	4	22	18	40	20	100

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en caso no se reciba información adecuada, se desactivará el *flag* `buen_func`. A continuación, se muestra el diagrama de flujo de esta tarea en la Figura 4.37.

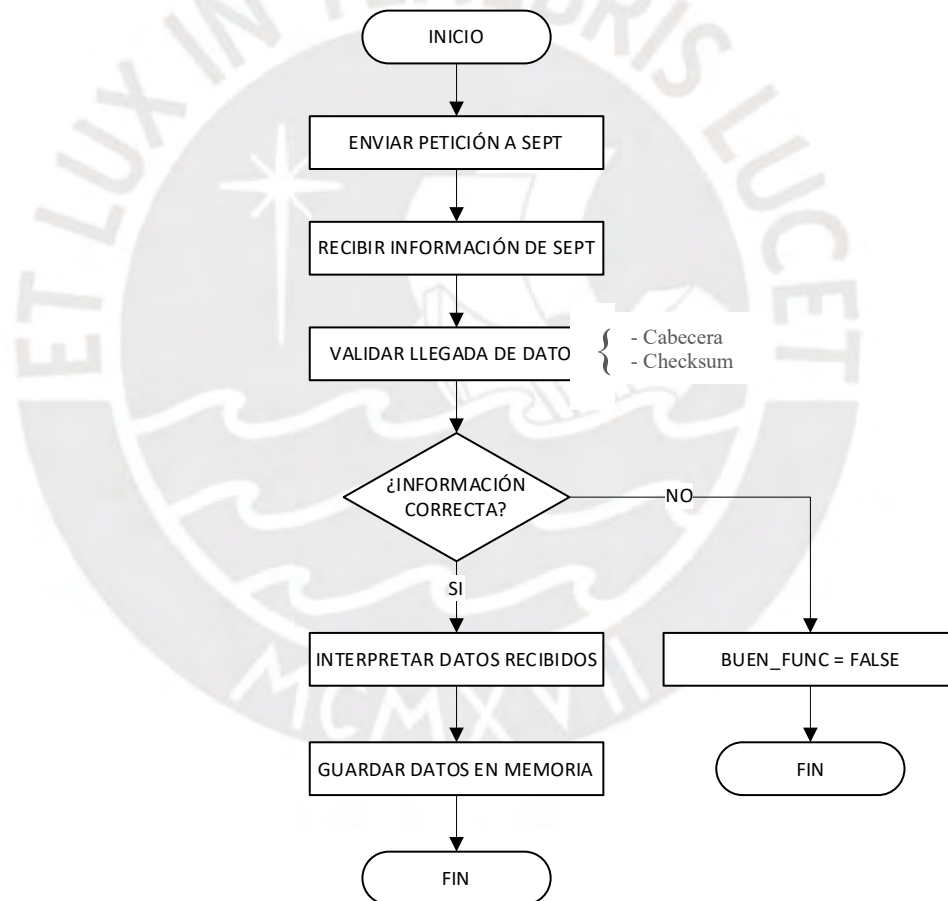


Figura 4.37 Diagrama de flujo de función de adquisición de datos de SEPT

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.5 Recibir información de *data center*

Luego de adquirir datos del SEPT, se debe capturar la información recibida del *data center* para verificar si llegó información del modo de operación. En caso, la información corresponda al modo de operación manual, también se guardarán en memoria los tiempos recibidos, correspondientes a la duración de cada fase. A continuación, se muestra el diagrama de flujo de esta tarea en la Figura 4.38.

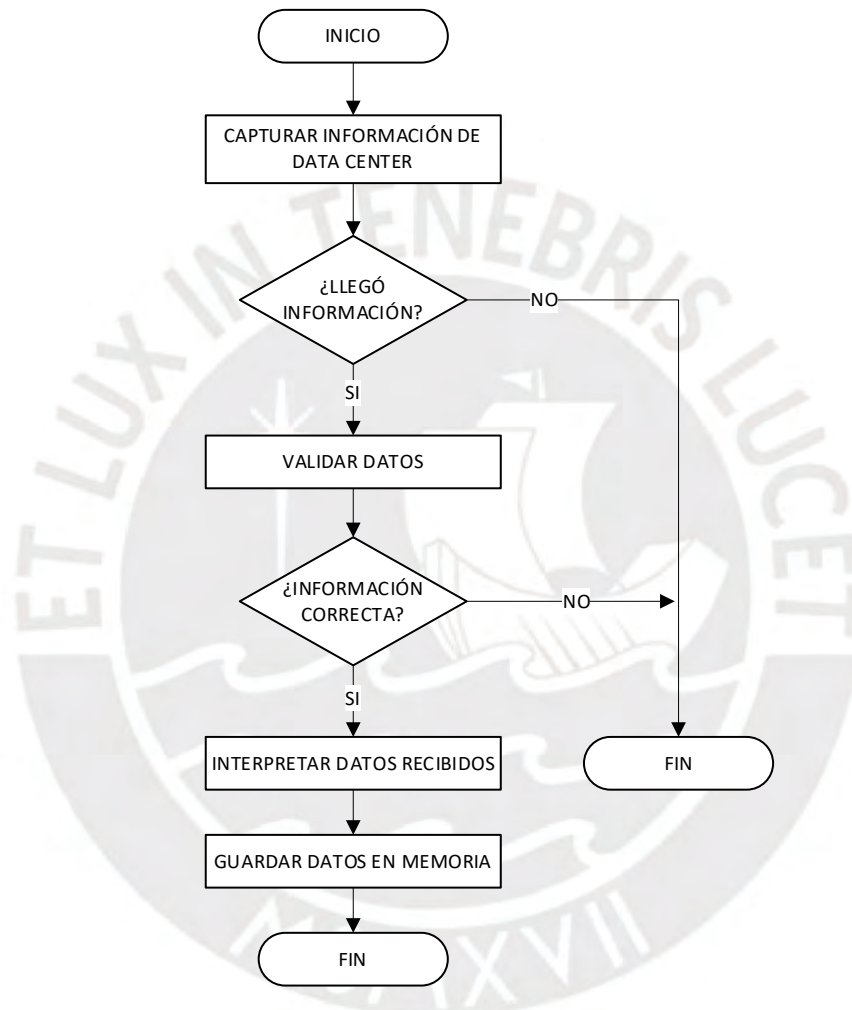


Figura 4.38 Diagrama de flujo de función de recepción de información de *data center*

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.6 Asignar tiempos recibidos

En caso se haya recibido el modo de operación manual, se debe leer los tiempos recibidos del *data center* para asignarlos a cada fase del ciclo semafórico, y guardar estos tiempos en memoria. En la Figura 4.39, se muestra el diagrama de flujo de esta tarea.

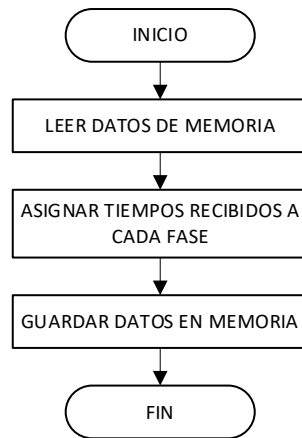


Figura 4.39 Diagrama de flujo de función de asignación de tiempos recibidos

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.7 Calcular tiempos de cada fase

En caso contrario, se analiza si la información recibida por parte del SEPT es correcta. De ser así, se realizará el cálculo de tiempos; de otra manera, se asignarán los tiempos predeterminados de la intersección semafórica. El cálculo de tiempos de cada fase se realiza según el algoritmo de control diseñado, luego de leer la cantidad de vehículos detenidos en cada vía ingresante. Finalmente, se guardan estos tiempos en memoria. A continuación, se muestra el diagrama de flujo de esta tarea en la Figura 4.40.

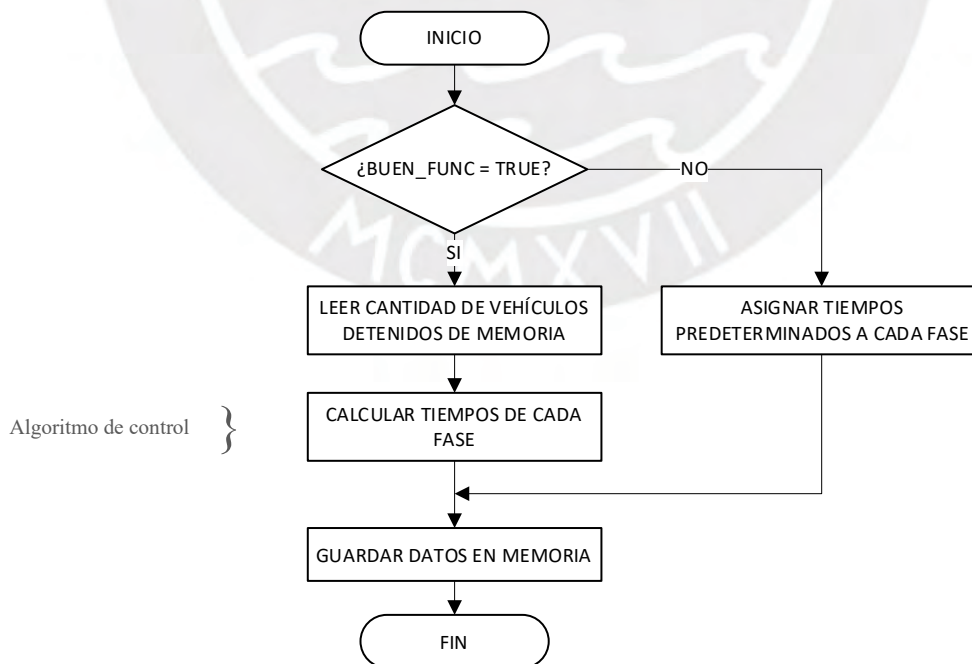


Figura 4.40 Diagrama de flujo de función de cálculo de tiempos

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.8 Enviar datos a *data center*

Finalmente, se debe enviar cada 5 minutos la información encapsulada: cantidad promedio de vehículos detenidos, tiempos promedio de cada fase y estado de SEPT, al *data center*; posteriormente, se libera la memoria. A continuación, se muestra el diagrama de flujo de esta tarea en la Figura 4.41.

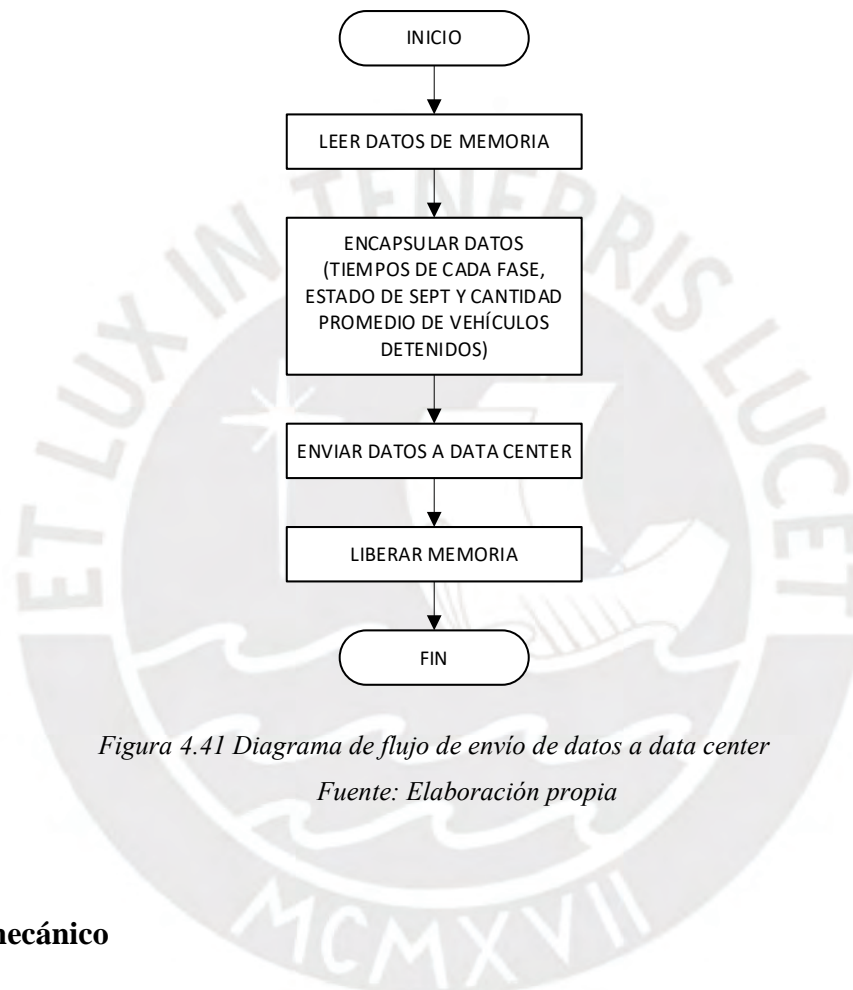


Figura 4.41 Diagrama de flujo de envío de datos a *data center*

Fuente: Elaboración propia

4.3 Diseño mecánico

En esta sección se describe brevemente cada elemento mecánico, los cuales pueden ser diseñados según las dimensiones y materiales que se requieran o simplemente seleccionados, tomando en cuenta los requerimientos y las normas respectivas, así como la funcionalidad del resto de componentes. Las especificaciones de los elementos seleccionados se encuentran en el Anexo I; mientras que, la cotización de los mismos, así como la fabricación de los componentes diseñados, incluyendo el costo de materiales requeridos, y los servicios de manufactura y soldadura en caso de las uniones, se encuentran en el Anexo J. Finalmente, se

presentan los principales cálculos realizados para los elementos seleccionados, a fin de asegurar que dichos componentes y las uniones no presenten fallas.

4.3.1 Selección de componentes mecánicos

4.3.1.1 Gabinete de control

Todos los componentes electrónicos y eléctricos seleccionados previamente se encuentran instalados dentro de un gabinete de control, en donde deben encontrarse protegidos de la humedad y polvo, según el grado de protección NEMA 4 definida en la lista de requerimientos. A continuación, se muestran las dimensiones de los elementos que se encontrarán dentro del gabinete en la Tabla 4.29.

Tabla 4.29 Dimensiones de componentes dentro de gabinete de control

Componente	Dimensiones en mm (largo x ancho x alto)	Peso (kg)	Cantidad
Sistema embebido Raspberry Pi 3 B+	85 x 56 x 20	0.042	1
Módulo conversor Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter	52 x 37 x 1	0.040	1
Router 4G modelo TP-Link TL-MR3420	204×138×44	2.000	1
Módulo de relé de estado sólido SSR 5V de 8 canales	105 x 55 x 30	0.050	5
Fuente de alimentación conmutada 100W 12VDC 8.5 A	199 x 98 x 38	0.400	1
Batería Ritar RT1270	151 x 65 x 100	2.050	1
Cargador de baterías ATEK 4000 - 6/12V 4A	195 x 115 x 62	1.050	1
Placa de circuito impreso	100 x 50 x 20	0.100	1
Llave termomagnética Easy 9 MCB 2x16A	81 x 36 x 66.5	0.210	1
Bornera 2.5 mm ² PC2.5	40.8 x 42.5 x 6.2	0.080	49
Riel DIN	35 x 15 x 350	1.000	1

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se selecciona un gabinete de control que cumpla los requerimientos, pueda contener los componentes mostrados y sea adquirido fácilmente en el mercado local: Caja eléctrica PCJ181610L. A continuación, se muestra el componente seleccionado en la Figura 4.42, así como las principales características del mismo en la Tabla 4.30.

Tabla 4.30 Características de gabinete de control seleccionado

Característica	Valor
Material	Policarbonato moldeado por inyección
Altura	458 mm
Ancho	407 mm
Profundidad	254 mm
Peso	4.54 kg
Costo	S/. 637.20

Fuente: Mouser Electronics [74]

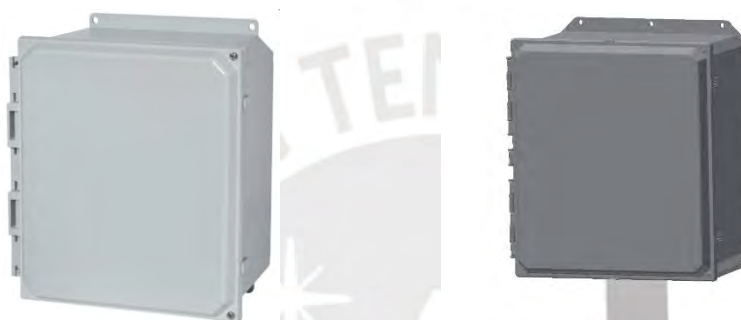


Figura 4.42 Caja eléctrica PCJ181610L

Fuente: Mouser Electronics [74]

4.3.1.2 Estructura soporte de perfil cuadrado

El gabinete de control se encuentra sujeto a una estructura soporte hueca de perfil cuadrado, la cual estará fija al piso. A través de la estructura pasan como máximo 42 conexiones: 1 para la alimentación de suministro eléctrico de 220 VAC, 1 para la recepción y envío de datos del SEPT y hasta 40 conexiones para la energización de las luces de semáforos para la intersección semaforica más general (4 vías ingresantes). De esta manera, se satisface la regla 070-1014 del Código Nacional de Electricidad [75], la cual indica que el número máximo de conductores en un conducto metálico no debe ser mayor de 200.

Asimismo, según la regla mencionada, no deben usarse conductos con diámetros internos menores que los tamaños comerciales de 15 mm de diámetro nominal. De igual modo, si hay componentes eléctricos como transformadores montados en postes, la base de estos debe estar como mínimo a 5 metros sobre los lugares accesibles a personas no autorizadas, según la regla 170-1016 del Código Nacional de Electricidad [75].

Por lo tanto, se selecciona una estructura soporte que cumpla los requerimientos y las normas descritas, y pueda ser adquirido fácilmente en el mercado local: tubo cuadrado laminado en caliente ASTM A500 - 100 mm x 2.50 mm x 6 m. A continuación, se muestra la estructura seleccionada en la Figura 4.43, así como las principales características de la misma en la Tabla 4.31.

Tabla 4.31 Características de estructura seleccionada

Característica	Valor
Material	ASTM A500
Altura	6000 mm
Ancho	100 mm
Profundidad	100 mm
Espesor	2.5 mm
Peso	7.7 kg/m
Límite de Fluencia	269 MPa

Fuente: Tupemesa [76]



Figura 4.43 Tubo cuadrado LAC - 100 mm x 2.50 mm x 6 m

Fuente: Tupemesa [76]

4.3.1.3 Sujeción de gabinete de control

El gabinete de control se encuentra sujeto a la estructura soporte hueca de perfil cuadrado a través de una base de acero AISI A36 diseñada con las dimensiones adecuadas para el montaje. Esta base se encuentra unida al gabinete de control a través de tornillos M8 x 30, y a la estructura soporte a través de unión por soldadura con un espesor de garganta de 2.5 mm. Los detalles de la pieza se pueden apreciar en su plano de fabricación (ver Anexo K). A continuación, se presenta la pieza en la Figura 4.44.

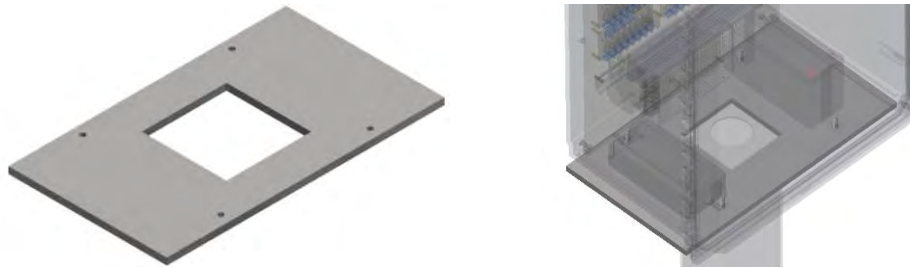


Figura 4.44 Base de sujeción de gabinete de control

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.4 Base de estructura

La estructura soporte se encuentra sujeta al piso a través de una base de acero AISI A36 y un pedestal de concreto. Esta base se encuentra unida a la estructura soporte a través de una unión por soldadura con un espesor de garganta de 2.5 mm y al pedestal de concreto a través de una unión atornillada con tornillos M16x50. Los detalles de la pieza se pueden apreciar en su plano de fabricación (ver Anexo K). A continuación, se presenta la pieza en la Figura 4.45.

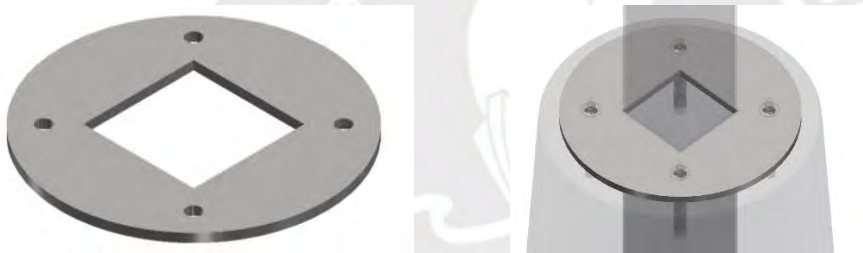


Figura 4.45 Base de sujeción de estructura

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Principales cálculos

Según la configuración del sistema, se observa que las únicas fuerzas externas presentes corresponden a los pesos de los componentes. A continuación, se presenta el resumen de los pesos en la Tabla 4.32.

Tabla 4.32 Peso de componentes del sistema

Componente	Subcomponente	Cálculos	Peso final
Gabinete de control	Componentes dentro del gabinete de control	$12 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$	162.26 N
	Caja eléctrica	$4.54 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$	
Estructura soporte	Estructura soporte	$7.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 6 \text{ m} \times 9.81 \text{ m/s}^2$	453.22 N

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.46, se presenta el diagrama de cuerpo libre del sistema con la fuerza de los pesos calculados y la reacción del suelo. Adicionalmente, se podría considerar las cargas debido al viento. Sin embargo, estas se pueden despreciar debido a las dimensiones del área de los componentes.

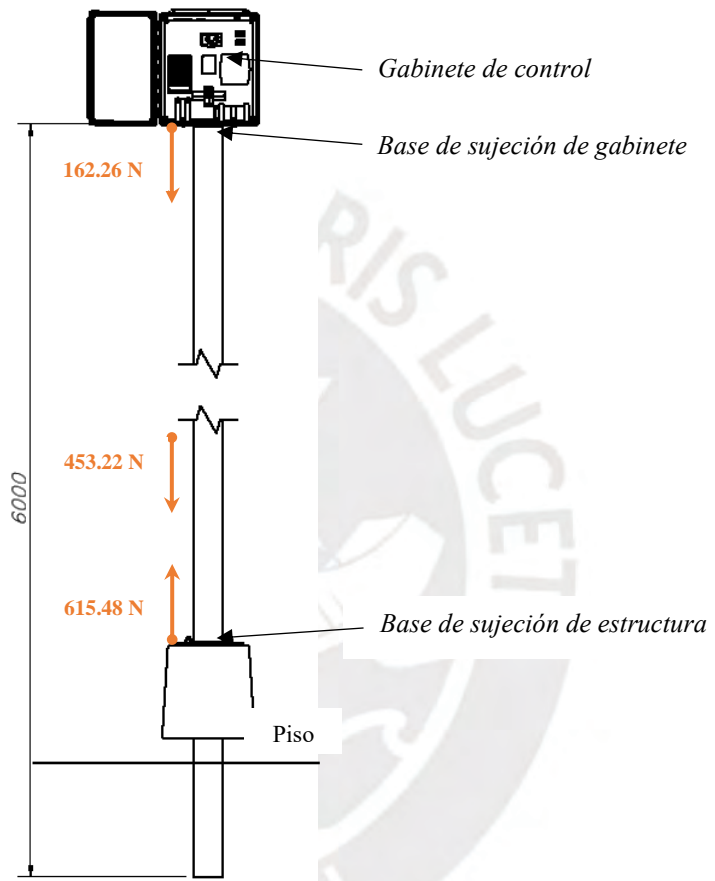


Figura 4.46 Diagrama de cuerpo libre del sistema

Fuente: Elaboración propia

Por un lado, se observa que la estructura soporte se encuentra sometida a cargas de compresión (615.48 N). Al respecto, se conoce que, por la magnitud de las cargas, el material resistirá la compresión. No obstante, debido a la esbeltez de la estructura soporte, se realizará el análisis de falla por pandeo.

Respecto a las uniones del sistema, se observa que las uniones atornilladas y por soldadura de la base de sujeción de gabinete de control solo estarán sometidas a la carga del peso del gabinete

(162.26 N), por lo que no se precisa mayor análisis. Por otro lado, las uniones atornilladas de la base de sujeción de estructura se encuentran bajo tracción-compresión con una carga de 615.48 N; así, cada unión atornillada estará sometida a una carga de 153.87 N, por lo que se conoce que dichas uniones resistirán la tracción-compresión. No obstante, se realizará el análisis de la unión por soldadura de la base de sujeción de estructura, dado que esta unión sí presenta un componente de esfuerzo cortante.

4.3.2.1 Análisis de pandeo

La estructura soporte de 6 metros de longitud se encuentra empotrada 1 metro en uno de sus extremos, mientras que, en el otro extremo soporta la carga del gabinete de control (ver Figura 4.47). Cabe mencionar, que la estructura soporte seleccionada tiene 100 mm de lado y 4.5 mm de espesor.

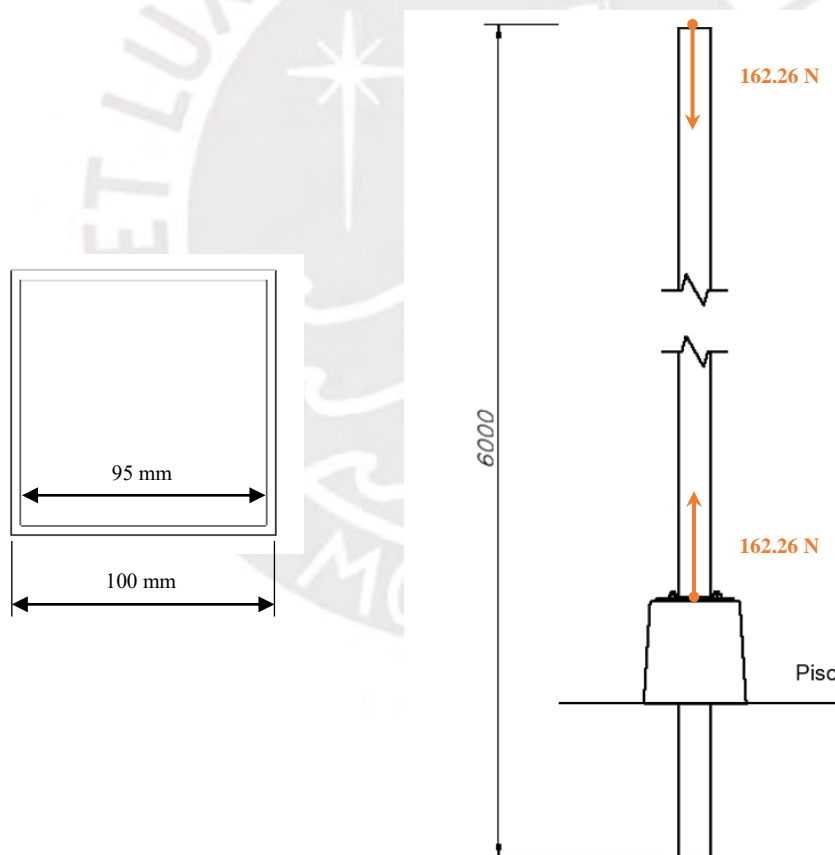


Figura 4.47 Diagrama de cuerpo libre de estructura soporte

Fuente: Elaboración propia

Primero, se calcula el esfuerzo equivalente que soporta la estructura. Dado que solo hay una fuerza axial, el esfuerzo equivalente será solo de compresión:

$$\begin{aligned}\sigma_{eq} &= \frac{F}{A} \quad , \\ \sigma_{eq} &= \frac{162.26 \text{ N}}{100^2 - 95^2 \text{ mm}^2} \quad , \\ \sigma_{eq} &= 0.166 \text{ MPa} \quad .\end{aligned}$$

Luego, se calcula el esfuerzo crítico de pandeo:

$$\begin{aligned}\sigma_{crit} &= \frac{F_{crit}}{A} \quad , \\ \sigma_{crit} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_p^2 \cdot A} \quad , \\ \sigma_{crit} &= \frac{\pi^2 \cdot \left(2.1 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) \cdot \left(\frac{1}{12} \times (100^4 - 95^4) \text{ mm}^4\right)}{(2 \times 5000 \text{ mm})^2 \cdot (100^2 - 95^2 \text{ mm}^2)} \quad , \\ \sigma_{crit} &= 32.860 \text{ MPa} \quad .\end{aligned}$$

Finalmente, se halla el factor de seguridad al pandeo:

$$\begin{aligned}\sigma_{eq} &= \frac{\sigma_{crit}}{FS} \quad , \\ FS &= 197.95 \quad .\end{aligned}$$

Por lo tanto, se comprueba que la estructura soporte no fallará por pandeo.

4.3.2.2 Análisis de unión por soldadura

La estructura soporte presenta unión por soldadura con la base de sujeción de la estructura, con un espesor de 2.5 mm, la cual soporta una carga de 615.48 N, correspondiente al peso del sistema calculado previamente. En la Figura 4.48, se muestra una vista superior de la estructura soporte, así como el diagrama de cuerpo libre de la junta de soldadura con una garganta de

$$\frac{2.5}{\sqrt{2}} \text{ mm}.$$

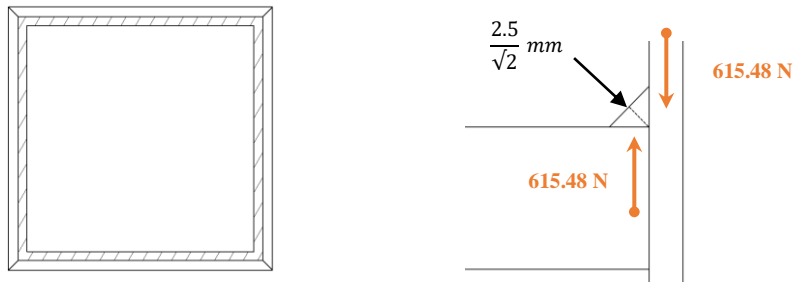


Figura 4.48 Vista superior de estructura soporte y junta de soldadura

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar, que la garganta es la mínima área por donde fallaría la soldadura. En dicha zona ocurre un esfuerzo cortante y un esfuerzo normal perpendicular a este. Al respecto, en el diseño se acostumbra a basar el esfuerzo equivalente en el esfuerzo cortante con la carga completa en el área de la garganta y desprenderse del esfuerzo normal. De esta manera, se calcula el esfuerzo equivalente:

$$\sigma_{eq} = \frac{F_{corte}}{A} \quad ,$$

$$\sigma_{eq} = \frac{615.48 \text{ N}}{(100 \times \frac{2.5}{\sqrt{2}} \times 4) \text{ mm}^2} \quad ,$$

$$\sigma_{eq} = 0.87 \text{ MPa} \quad .$$

Por otro lado, para una unión en acero con cordón en ángulo y empalme, se puede usar $\sigma_{adm} = 90 \text{ MPa}$. Luego, se calcula el esfuerzo admisible real usando el factor dinámico (v_1) de una costura angular de un solo lado y el coeficiente por clase de calidad de soldadura (v_2) de una calidad II de soldadura.

$$\sigma_{adm-real} = \sigma_{adm} \cdot v_1 \cdot v_2 \quad ,$$

$$\sigma_{adm-real} = 90 \times 0.2 \times 0.8 \quad ,$$

$$\sigma_{adm-real} = 14.4 \text{ MPa} \quad .$$

Finalmente, se halla el factor de seguridad de la unión por soldadura. Por lo tanto, se comprueba que la unión por soldadura no fallará.

$$\sigma_{eq} = \frac{\sigma_{adm-real}}{FS} \quad ,$$

$$FS = 16.54 \quad .$$

4.4 Integración del sistema

Finalmente, se muestra la integración de todos los componentes del sistema, así como algunas consideraciones respecto a la instalación y montaje. Respecto al gabinete de control, este debe estar cerrado y protegido contra polvo, salpicaduras y agua proyectada, según la norma NEMA 4.

Todos los componentes electrónicos se encuentran montados en el panel interior de la caja eléctrica, excepto la batería y su cargador que se encuentran fijados en la base de la caja. La batería de ácido y plomo seleccionada cuenta con una cubierta sellada en recipiente de material no conductor y resistente al calor. Por lo tanto, no requiere soportes aislantes adicionales, en cumplimiento de la regla 150-550 del Código Nacional de Electricidad [75]. Los detalles del ensamble de gabinete de control se pueden apreciar en su plano de ensamble (ver Anexo L). Asimismo, a fin de observar los componentes internos del gabinete de control, en la Figura 4.49 y Figura 4.50 se muestra el sistema integrado con la puerta del gabinete abierto.

El gabinete de control se encuentra sujeto a la estructura soporte hueca de perfil cuadrado a través de una base de acero, la cual se encuentra unida al gabinete de control a través de tornillos M8 x 30 y a la estructura soporte a través de unión por soldadura. Asimismo, la estructura soporte se encuentra sujeta al piso a través de una base de acero, la cual se encuentra unida a través de una unión por soldadura, y un pedestal de concreto. En la Figura 4.51 y Figura 4.52 se muestran las sujeciones de gabinete a la estructura y de la estructura al piso, respectivamente. Los detalles del montaje de todo el sistema se pueden apreciar en el plano de ensamble del sistema (ver Anexo L).

Respecto a la instalación del sistema, según la Norma Técnica EC.040 de Redes e Instalaciones de comunicaciones [77], el sistema debe ser instalado en un pedestal de concreto, quedando la base del mismo a 40 cm como mínimo del nivel del piso; dicho pedestal sirve a su vez como protección de los ductos. Asimismo, la décima parte de la estructura soporte de 6 metros debe estar empotrada bajo el suelo.

Por otro lado, se sabe que la instalación del sistema en zonas residenciales debe ser en áreas de uso público o con acceso público sin perjudicar el libre tránsito (vehicular y peatonal) ni la seguridad de las personas, según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [77].

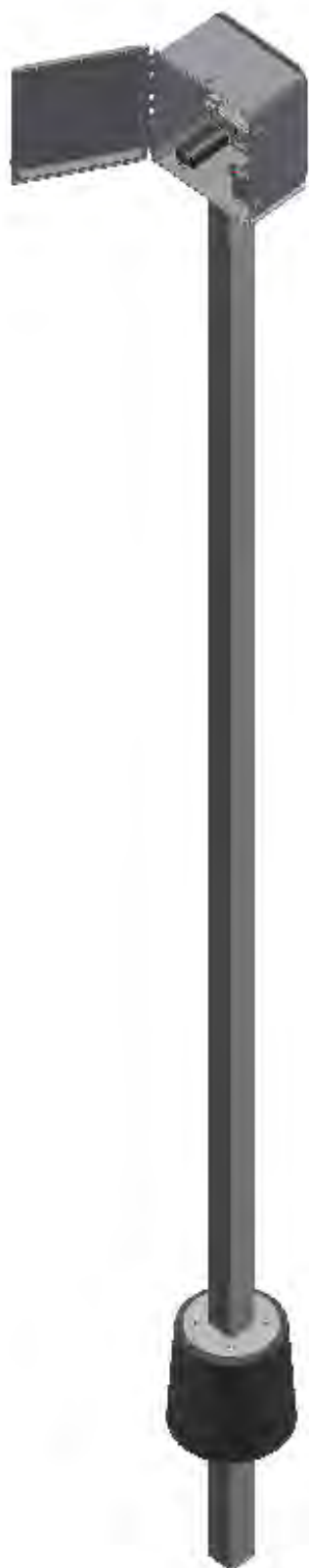


Figura 4.49 Controlador instalado

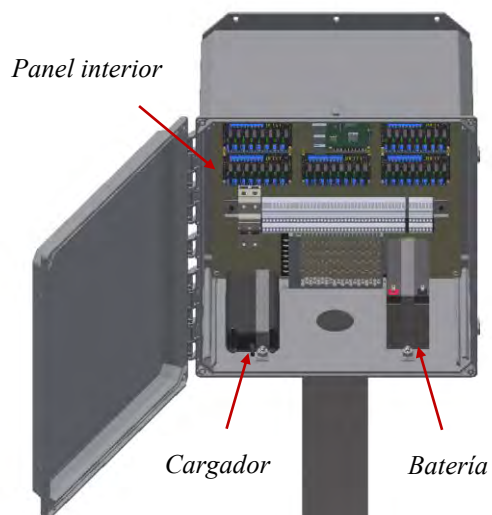


Figura 4.50 Gabinete de control

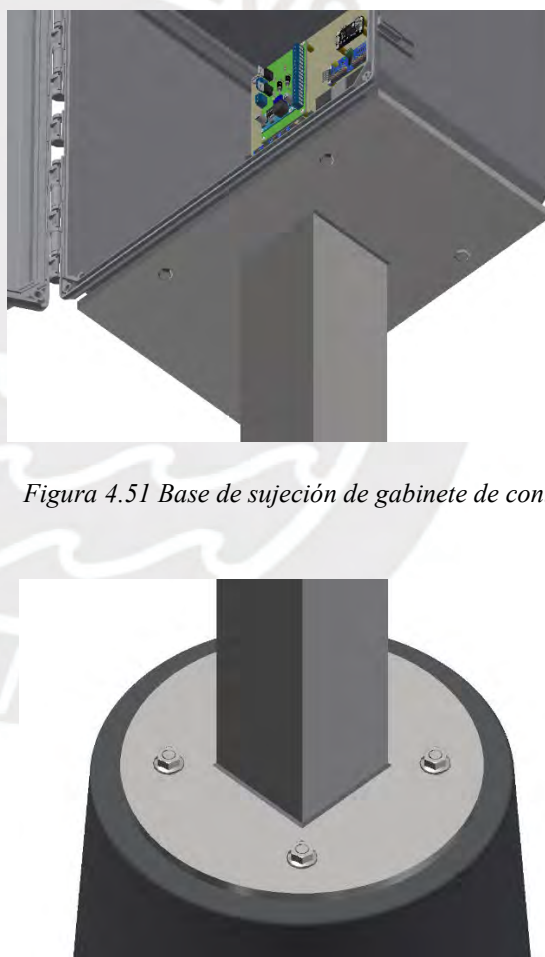


Figura 4.51 Base de sujeción de gabinete de control

Figura 4.52 Base de sujeción de estructura

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 5: Estimación de costos

En el presente capítulo se presenta la estimación de costos del sistema teniendo en cuenta los costos de los componentes mecánicos, electrónicos y eléctricos y las actividades de integración, así como el costo de diseño.

5.1 Costo de componentes electrónicos y eléctricos

En la Tabla 5.1 se muestran los costos de los componentes electrónicos y eléctricos seleccionados en la sección 4.2, lo que incluye la impresión de la tarjeta del circuito.

Tabla 5.1 Costo de componentes electrónicos y eléctricos

Componente	Proveedor	Costo unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
Raspberry Pi 3 B+	Mouser Electronics	178.06	1	178.06
Módulo PCA9685	Naylamp Mechatronics	45	1	45
Módulo conversor: Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter	Mouser Electronics	79.37	1	79.37
Router 4G TP-Link modelo TL-MR3420	Grupo Deltron	105	1	105
Módulo de relé de estado sólido SSR 5V de 8 canales	Mechatronics Laboratory	75	5	375
Fuente de alimentación conmutada 100W 12VDC 8.5 A	Naylamp Mechatronics	70	1	70
Batería Ritar RT1270	I.R. Electronics	60	1	60
Cargador baterías ATEK 4000- 6/12V 4A	AutoSolar	177.77	1	177.77
Mosfet Canal P IRF9630	Electrónica Hi-Fi	5.5	2	11
Diodo Standard 1000V 6A	Electrónica Hi-Fi	0.6	2	1.2
Resistencia 100 k Ω	Electrónica Hi-Fi	1.5	1	1.5
Módulo convertidor de voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596	Naylamp Mechatronics	12	1	12
Llave termomagnética Easy 9 MCB 2x16A	Promart	33.4	1	33.4
Impresión de tarjeta	Jobareci EIRL	30	1	30
Riel Din ranurado 60 cm	Sodimac	13.4	1	13.4
Placa separadora de borneras ATP-PC	ISA Industrial	1.1	1	1.1
Bornera de 2.5 mm ²	ISA Industrial	1.1	49	53.9
Tapa final para borneras D-PC2.5/4/6/10	ISA Industrial	0.6	2	1.2
Peine puenteador, 10 polos para bornera PC2.5	ISA Industrial	3.71	5	18.55
Cable dupont hembra a macho 20 cm / 20 unidades	Naylamp Mechatronics	5	2	10
Cable dupont hembra a hembra 10 cm / 20 unidades	Naylamp Mechatronics	3	1	3
Cable THW 14AWG negro x metro	Promart	1.8	20	36
				1316.45

5.2 Costo de componentes mecánicos

Asimismo, en la Tabla 5.2, se muestran los costos de los componentes mecánicos seleccionados en la sección 4.3, lo que incluye los costos y servicios de fabricación.

Tabla 5.2 Costo de componentes mecánicos

Componente	Proveedor	Precio unitario (S/.)	Cantidad	Precio total (S/.)
Plancha de acero AISI A36 (600 x 600 x 10)	SteinTrices	400	1	400
Servicio de mecanizado	SteinTrices	200	1	200
Tubo cuadrado LAC - 100 mm x 2.50 mm x 6 m	Tupemesa	255.06	1	255.06
Servicio de soldadura	SteinTrices	200	1	200
Caja eléctrica PCJ181610L	Mouser Electronics	637.2	1	637.2
Tornillería (Pernos, arandelas y tuercas)	Torniper Import	200	1	200
				1892.26

5.3 Costo de integración y diseño

Finalmente, en la Tabla 5.3 se muestran los costos de integración y diseño, en donde se considera la cantidad de horas destinadas al diseño en el presente trabajo, así como un estimado del tiempo que se invertiría en el ensamble del sistema y las pruebas funcionales luego de la implementación.

Tabla 5.3 Costo de diseño e integración

Concepto	Detalle	Horas	Costo/hora (S/.)	Precio parcial (S/.)	Precio total (S/.)
Integración	Ensamble del controlador	20	20	400	1300
	Pruebas funcionales	30	30	900	
Diseño	Diseño del controlador	200	30	6000	6000

5.4 Costo total del sistema

Por lo tanto, se determina que el presupuesto estimado del sistema es de 10 508 soles (ver Tabla 5.4), en donde 4 508 soles corresponden al costo del sistema y 6 000 soles al diseño.

Tabla 5.4 Costo total del sistema

Concepto	Precio (S/.)	Precio total (S/.)
Costo de componentes electrónicos y eléctricos	1316.5	4508.8
Costo de componentes mecánicos	1892.3	
Costo de integración	1300.0	
Costo de diseño	6000.0	6000.0
		10 508.8

CONCLUSIONES

Se logró diseñar un controlador descentralizado para la optimización de los tiempos de cada fase del ciclo semafórico recibiendo como información de entrada únicamente la cantidad de vehículos detenidos al final de cada ciclo semafórico. Por lo tanto, presenta una ventaja enorme frente a sistemas de semaforización coordinados debido a que, por un lado, no se incurre en los costos de interconexión de cada intersección semafórica y no se expone a posibles fallas inherentes al manejo de gran cantidad de componentes; y, por otro lado, solo se necesita un parámetro de tránsito (cantidad de vehículos detenidos) en un instante de cada ciclo semafórico (al final de cada ciclo). Dicho controlador está orientado a las intersecciones que no se encuentran interconectadas de Lima Metropolitana, las cuales representan más del 50 %; sin embargo, también podría adaptarse a las intersecciones ya interconectadas.

Bajo la aplicación del algoritmo de control usado en el controlador, cada intersección semafórica estaría aplicando los mejores tiempos para su ciclo semafórico según lo que observa; asimismo, dicho algoritmo no desestabiliza el sistema de tráfico a nivel macro. Al respecto, se validó la aplicación del algoritmo de control en una zona de estudio, bajo un ambiente de simulación, en donde se comparó su comportamiento con la lógica del sistema de semaforización actual de tiempos fijos y la aplicación de una ola verde. Los resultados de las simulaciones mostraron que las lógicas de tiempos fijos y aplicación de ola verde no son capaces de controlar el sistema de tráfico ante un nivel de tráfico alto; mientras que, el algoritmo de control usado sí lo consigue. Asimismo, este último reduce, al menos, el 50 % del tiempo de espera de los vehículos, bajo las otras lógicas.

Respecto al diseño electrónico, eléctrico y mecánico, se cumplieron con los requerimientos del sistema establecidos, tales como las dimensiones, consideraciones de fabricación y montaje, el consumo máximo de energía, la existencia de una reserva de energía; y, se siguieron los lineamientos del Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras, así como los lineamientos del marco normativo relacionado a seguridad en las conexiones eléctricas e instalación de infraestructura de redes y comunicaciones.

Finalmente, se determinó que el costo estimado del sistema asciende a 4 508 soles, teniendo en cuenta los costos de los componentes mecánicos, electrónicos y eléctricos y las actividades de integración; mientras que el costo de diseño asciende a 6 000 soles.

TRABAJOS FUTUROS

- A pesar de que el controlador es descentralizado para determinar los tiempos del ciclo semafórico, también envía y recibe datos de un *data center*, bajo un enfoque de monitoreo. Al respecto, en el presente trabajo se contempla la existencia del *data center*, más no se desarrolla. Por lo tanto, queda pendiente el desarrollo de dicho *data center* para futuros trabajos.
- Se deben aún definir más casos de estudio para realizar las validaciones del algoritmo de control en el ambiente de simulación y así, verificar los resultados obtenidos en el presente trabajo.
- El algoritmo de control usado determina los tiempos de cada fase de ciclo semafórico, siendo capaz de aumentar o disminuir la duración del ciclo semafórico. Sin embargo, no modifica la secuencia de las fases en el ciclo semafórico. Por lo tanto, queda para trabajos futuros la exploración de esta opción.
- Se debe buscar implementar un sistema de tráfico más real en el ambiente de simulación, incluyendo contemplar otros parámetros del sistema de tráfico como el tipo de conducción de los vehículos y realizar mediciones de los mismos.
- El algoritmo de control usado solo considera la cantidad de vehículos detenidos para el cálculo de los tiempos de cada fase, es decir, un parámetro vehicular; sin embargo, queda pendiente para futuros trabajos evaluar el comportamiento de los peatones para el cálculo de tiempos.

REFERENCIAS

- [1] Inrix, «Global Traffic Scorecard,» Inrix.com, 2020. [En línea]. Available: <https://inrix.com/scorecard/>. [Último acceso: 22 12 2020].
- [2] INEI, «Parque automotor en circulación a nivel nacional, según departamento,» M.inei.gob.pe, 2020. [En línea]. Available: http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/indices_tematicos/cap20025_2.xlsx.. [Último acceso: 23 07 2020].
- [3] D. Stokols, R. W. Novaco, J. Stokols y J. Campbell, «Traffic congestion, Type A behavior, and stress,» *Journal of Applied Psychology*, vol. 63, n° 4, pp. 467-480, 1978.
- [4] Fundación Transitemos, «Aspectos Negativos de la Congestión Vehicular Impacto social y económico,» 2017. [En línea]. Available: <https://transitemos.org/download/aspectos-negativos-de-la-congestion-vehicular/?wpdmdl=4090&masterkey=5bd09b0bd969b>. [Último acceso: 05 07 2020].
- [5] N. Fonseca, J. Casanova y M. Valdés, «Influence of the stop/start system on CO2 emissions of a diesel vehicle in urban traffic,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 16, n° 2, pp. 194-200, 2011.
- [6] L. Carpio, A. Oviedo, S. Reynozo y A. Tejada, «SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE COMO ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA DEL TRANSITO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA,» *Maestría, Universidad ESAN*, pp. 21-30, 2017.
- [7] ATU, «Plan de movilidad urbana para el área metropolitana de Lima y Callao al 2040,» Atu.gob.pe, 2020. [En línea]. Available: https://www.atu.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/ResumenConsultoria_PMU_ATU.pdf. [Último acceso: 2021 03 09].
- [8] ATU, «Metro de Lima y Callao,» Atu.gob.pe, 2020. [En línea]. Available: <https://www.atu.gob.pe/metro-de-lima-y-callao/>. [Último acceso: 14 03 2021].
- [9] P. Patel, «Pittsburgh's AI Traffic Signals Will Make Driving Less Boring,» *IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News*, 2018. [En línea]. Available:

<https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/robotics/artificial-intelligence/pittsburgh-smart-traffic-signals-will-make-driving-less-boring>. [Último acceso: 22 08 2020].

- [10] S. Lee, «Transport System Management (TSM),» 서울아카이브 Seoul Solution, 2020. [En línea]. Available: <https://www.seoulsolution.kr/en/content/transport-system-management-tsm>. [Último acceso: 23 08 2020].
- [11] Arval Mobility Observatory, «Amsterdam : The Lead to Smart Mobility,» CVO, 2017. [En línea]. Available: <https://www.corporate-vehicle-observatory.com/news/amsterdam-lead-smart-mobility>. [Último acceso: 2020 08 25].
- [12] El Comercio, «Más semáforos, menos policías: Lima apunta a extender sistema de ola verde,» elcomercio.pe, 2019. [En línea]. Available: <https://elcomercio.pe/lima/transporte/semaforos-policias-municipalidad-lima-apunta-extender-sistema-ola-verde-ecpm-noticia-670681-noticia/>. [Último acceso: 05 03 2020].
- [13] La República, «73% de intersecciones con semáforos no usa el sistema inteligente,» larepublica.pe, 2014. [En línea]. Available: <https://larepublica.pe/sociedad/836774-73-de-intersecciones-con-semaforos-no-usa-el-sistema-inteligente>. [Último acceso: 23 03 2019].
- [14] Perú 21, «Identifican 242 puntos críticos de congestión vehicular en Lima,» peru21.pe, 2016. [En línea]. Available: <https://peru21.pe/lima/identifican-242-puntos-criticos-congestion-vehicular-lima-228867>. [Último acceso: 23 03 2019].
- [15] SICE, «Sistema de Control de Tráfico de Lima Metropolitana (Gerencia de Transporte Urbano – Municipalidad Metropolitana de Lima),» [sice.com](http://www.sice.com), 2016. [En línea]. Available: <http://www.sice.com/proyectos-relevantes/sistema-de-control-de-traffic-de-lima-metropolitana>. [Último acceso: 25 03 2019].
- [16] D. Arce, «SISTEMA AUTÓNOMO DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR PARA INTERSECCIONES DE AVENIDAS,» *Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú*, p. 15, 2017.

- [17] Municipalidad de Lima, «Adquisición e implementación de centralización y puesta en marcha de los proyectos de semaforización de Lima,» protransito.munlima.gob.pe, 2020. [En línea]. Available: <http://protransito.munlima.gob.pe/index.php/es-es/proyecto/proyectos-en-ejecucion>. [Último acceso: 22 12 2020].
- [18] Municipalidad de Lima, «Intersecciones semaforicas de Lima,» protransito.munlima.gob.pe, 2020. [En línea]. Available: <http://protransito.munlima.gob.pe/index.php/es-es/monitoreo/lima-metropolitana>. [Último acceso: 22 12 2020].
- [19] Municipalidad de Lima, «Centro de control y gestión de tránsito,» protransito.munlima.gob.pe, 2020. [En línea]. Available: http://protransito.munlima.gob.pe/index.php/es-es/?option=com_sppagebuilder&view=page&id=101. [Último acceso: 22 12 2020].
- [20] Municipalidad de Lima, «MML: Protránsito integrará semáforos de la capital para mejorar calidad de vida de los limeños,» [munlima.gob.pe](http://www.munlima.gob.pe), 2017. [En línea]. Available: <http://www.munlima.gob.pe/noticias/item/35496-municipalidad-de-lima-interconectar%C3%A1-red-semaf%C3%B3rica-de-toda-la-ciudad>. [Último acceso: 25 03 2019].
- [21] Municipalidad de Miraflores, «Plan de Movilidad Urbana de Miraflores 2017-2020,» [miraflores.gob.pe](http://www.miraflores.gob.pe), 2017. [En línea]. Available: http://www.miraflores.gob.pe/Gestorw3b/files/pdf/10773-29116-plan_de_movilidad_web.pdf. [Último acceso: 26 02 2021].
- [22] Alcaldía de Montería, «Montería tendrá nueva central semaforica,» [monteriaamable.gov.co](http://www.monteriaamable.gov.co), 2018. [En línea]. Available: http://www.monteriaamable.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=271:monteria-tendra-nueva-central-semaforica&catid=12&Itemid=118&lang=es. [Último acceso: 03 12 2020].
- [23] W. Ming, Y. Qin y J. Xu, «The Application of SCOOT in Modern Traffic Network,» *Management & Engineering*, n° 18, 2015.

- [24] NSW Government, «SCATS and Intelligent Transport Systems,» [scats.nsw.gov.au](https://www.scats.nsw.gov.au), 2021. [En línea]. Available: <https://www.scats.com.au/>. [Último acceso: 31 03 2021].
- [25] Rapid Flow Technologies, «Surtrac: Intelligent Traffic Signal Control,» [rapidflowtech.com](https://www.rapidflowtech.com), 2021. [En línea]. Available: <https://www.rapidflowtech.com/surtrac>. [Último acceso: 20 02 2021].
- [26] Department for Transport of United Kingdom, «The "SCOOT" Urban Traffic Control System,» [ukroads.org](http://www.ukroads.org), 1995. [En línea]. Available: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100408220551/http://www.dft.gov.uk/pgr/roads/tpm/tal/signsandsignals/thescooturbantrafficcontrols4107>. [Último acceso: 31 03 2021].
- [27] C. Monroe y L. Evans, «Generalized adaptive signal control method and system,» US20020116118A1, 22 08 2002. [En línea]. Available: <https://patents.google.com/patent/US20020116118?oq=Generalized+adaptive+signal+control+method+and+system>. [Último acceso: 30 03 2021].
- [28] D. Delia y W. Delia, «Method and System for Controlling and Adjusting Traffic Light Timing Patterns,» US20100171640A1, 08 07 2010. [En línea]. Available: <https://patents.google.com/patent/US20100171640A1/en>. [Último acceso: 30 03 2021].
- [29] A. Janzen y R. Monroe, «Traffic Control Systems and Methods,» US20180096595A1, 05 04 2018. [En línea]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/9c/06/1b/8323338b62bff7/US20180096595A1.pdf>. [Último acceso: 30 03 2021].
- [30] TEC Corporation, «SBC 247/8 - Ethernet,» [tec-corp](https://www.tec-corp.com), 2021. [En línea]. Available: <https://www.tec-corp.com.pe/equipo/sbc-247-8-ethernet/>. [Último acceso: 30 03 2021].
- [31] TEC Corporation, «Autotrol CT-800d,» [tec-corp](https://www.tec-corp.com), 2021. [En línea]. Available: <https://www.tec-corp.com.pe/equipo/autotrol-ct-800d/>. [Último acceso: 30 03 2021].
- [32] TEC Corporation, «2070,» [tec-corp](https://www.tec-corp.com), 2021. [En línea]. Available: <https://www.tec-corp.com.pe/equipo/2070/>. [Último acceso: 30 03 2021].

- [33] TEC Corporation, «SBC2400,» tec-corp, 2021. [En línea]. Available: <https://www.tec-corp.com.pe/equipo/sbc2400/>. [Último acceso: 30 03 2021].
- [34] K. Savla, E. Lovisari y G. Como, «On maximally stabilizing adaptive traffic signal control,» *2013 51st Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing (Allerton), Monticello, IL*, pp. 464-471, 2013.
- [35] G. Nilsson, P. Hosseini, G. Como y K. Savla, «Entropy-like Lyapunov functions for the stability analysis of adaptive traffic signal controls,» *2015 54th IEEE Conference on Decision and Control (CDC), Osaka*, pp. 2193-2198, 2015.
- [36] G. Nilsson y G. Como, «On Generalized Proportional Allocation Policies for Traffic Signal Control,» *20th IFAC World Congress, Berlín*, vol. 50, pp. 9643-9648, 2017.
- [37] G. Nilsson y G. Como, «Evaluation of Decentralized Feedback Traffic Light Control with Dynamic Cycle Length,» *15th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems CTS 2018, Genova*, vol. 51, pp. 464-469, 2018.
- [38] G. Nilsson y G. Como, «A Micro-Simulation Study of the Generalized Proportional Allocation Traffic Signal Control,» *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, n° 4, pp. 1705-1715, 2020.
- [39] VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik, «Design engineering methodics - Engineering design at optimum cost - Valuation of costs,» 1997.
- [40] J. Holland, «Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence,» *U Michigan Press*, 1975.
- [41] D. Krajzewicz, J. Erdmann, M. Behrisch y L. Bieker, «Recent development and applications of SUMO - Simulation of Urban MObility,» *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, vol. 5, p. 128-138, 2012.
- [42] German Aerospace Center, «TraCI,» Sumo.dlr.de, 2021. [En línea]. Available: <https://sumo.dlr.de/wiki/TraCI>. [Último acceso: 20 04 2021].
- [43] C. Olaverri-Monreal, J. Errea-Moreno, A. Díaz-Álvarez, C. Biurrun-Quel, L. Serrano-Arriezu y M. Kuba, «Connection of the SUMO Microscopic Traffic Simulator and the

Unity 3D Game Engine to Evaluate V2X Communication-Based Systems,» *Sensors*, vol. 18, n° 12, p. 4399, 2018.

- [44] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «DECRETO SUPREMO N° 016-2009-MTC,» [Sutran.gob.pe](http://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2015/08/ds_016-2009-mtc.pdf), 2015. [En línea]. Available: http://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2015/08/ds_016-2009-mtc.pdf. [Último acceso: 20 04 2021].
- [45] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «MANUAL DE DISPOSITIVOS DE CONTROL DEL TRANSITO AUTOMOTOR PARA CALLES Y CARRETERAS,» portal.mtc.gob.pe, 2016. [En línea]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20de%20Dispositivos%20de%20Control%20del%20Transito%20FINALIZADO_24%20Mayo_2016.pdf. [Último acceso: 12 06 2021].
- [46] Mecatronica Uno, «Beaglebone Black Rev. C 1GHz,» 2021. [En línea]. Available: <https://mecatronicauno.com/comprar/beaglebone-black-rev-c-1ghz/>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [47] Mecatronica Uno, «ASUS Tinker Board 1.8 GHz 2GB RAM,» 2021. [En línea]. Available: <https://mecatronicauno.com/comprar/asus-tinker-board-1-8-ghz-2gb-ram/>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [48] Mouser Electronics, «Single Board Computers Raspberry Pi 3 Model B,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.mouser.pe/ProductDetail/Adafruit/3055?qs=E8JTJTKghZWvvW7Sr020A%3D%3D>. [Último acceso: 16 09 2021].
- [49] Naylamp Mechatronics, «MÓDULO CONTROLADOR DE SERVOS PCA9685,» 2021. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/drivers/142-modulo-controlador-de-servos-pca9685.html>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [50] Mouser Electronics, «426-TEL0070,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.mouser.pe/ProductDetail/DFRobot/TEL0070?qs=lqAf%2FiVYw9iNN4wt43o3RA%3D%3D>. [Último acceso: 16 09 2021].

- [51] AliExpress, «FT232BM/BL FTDI estándar USB a serie RS232 UART TTL RS485 convertidor,» 2021. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/i/32971854045.html>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [52] SparkFun Electronics, «SparkFun FTDI Basic Breakout - 5V,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/9716>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [53] Grupo C&C, «ROUTER PORTABLE TP-LINK TL-MR3020 POCKET N 3G/4GB WIRELESS,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.grupocyc.pe/router-mobile/9476-router-portable-tp-link-tl-mr3020-pocket-n-3g4gb-wireless.html>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [54] Grupo Deltron, «Router Ethernet Wireless TP-Link TL-MR3420, 3G/4G LTE, 1 WAN, 4 LAN, 5dBi,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.loginstore.com/router-ethernet-wireless-tp-link-tl-mr3420-3g-4g-lte-1-wan-4-lan-5dbi>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [55] DS3 Comunicaciones, «Lista de Precios Router 4G TP-Link,» 2021. [En línea]. Available: http://www.ds3comunicaciones.com/tplink/Router_4G.html. [Último acceso: 16 02 2021].
- [56] Mechatronics Laboratory, «Rele de estado Solido SSR 5V y 8 canales hasta 2A en alterna,» 2021. [En línea]. Available: <https://mtlab.pe/store/rele-de-estado-solido-ssr-5v-y-8-canales-hasta-2a-en-alterna/>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [57] Naylamp Mechatronics, «FUENTE DE ALIMENTACIÓN CONMUTADA AC/DC 100W 12V 8.5A WODE,» 2021. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/fuentes-switching/625-fuente-de-alimentacion-conmutada-acdc-100w-12v-8a-wode.html>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [58] I.R. Electronics, «BATERIA 12v 7AH YUASA NP7-12,» 2020. [En línea]. Available: <https://irelectronics.pe/producto/bateria-12v-7ah-yuasa-np7-12/>. [Último acceso: 16 02 2021].

- [59] I.R. Electronics, «BATERIA SECA 12v 7AH OPALUX DH-1270,» 2020. [En línea]. Available: <https://irelectronics.pe/producto/bateria-seca-12v-7ah-opalux-dh-1270/>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [60] I.R. Electronics, «BATERIA 12V 7AH RITAR RT-1270,» 2020. [En línea]. Available: <https://irelectronics.pe/producto/bateria-12v-7ah-ritar-rt-1270/>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [61] Autosolar, «Cargador baterías 6V 12V IP65 Absaar,» 2021. [En línea]. Available: <https://autosolar.pe/cargador-de-baterias-12v/cargador-baterias-6v-12v-ip65-absaar>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [62] Electrónica Hi-Fi, «Transistor Mosfet Canal P -200V - 6.5A encapsulado TO-220AB,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.hifisac.com/shop/product/irf9630-transistor-mosfet-canal-p-200v-6-5a-encapsulado-to-220ab-5854#attr=>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [63] Electrónica Hi-Fi, «Diodo Standard 1000V 6A Through Hole R-6,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.hifisac.com/shop/product/6a10-diodo-standard-1000v-6a-through-hole-r-6-2410?search=diodo#attr=>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [64] Naylamp Mechatronics, «CONVERTIDOR VOLTAJE DC-DC STEP-DOWN 3A LM2596,» 2021. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/196-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-3a-lm2596.html>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [65] Promart, «Interruptor Termomagnético Easy 9 MCB 2x16A,» SCHNEIDER ELECTRIC, 2021. [En línea]. Available: <https://www.promart.pe/interruptor-termomagnetico-easy-9-mcb-2x16a/p>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [66] Naylamp Mechatronics, «CABLE DUPONT HEMBRA A HEMBRA 10CM / 20UND,» 2021. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/accesorios-y-prototipado/448-cable-dupont-hembra-a-hembra-10cm-20und.html>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [67] Naylamp Mechatronics, «CABLE DUPONT HEMBRA A MACHO 20CM / 20UND,» 2021. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/accesorios-y->

- prototipado/81-cable-dupont-hembra-a-macho-20cm-x-20und.html. [Último acceso: 16 02 2021].
- [68] ISA INDUSTRIAL, «DC2.5 – BORNERA DE CONEXIÓN DE 2.5 mm²,» 2021. [En línea]. Available: <https://isaindustrial.com/product/deg-dc2-5/>. [Último acceso: 16 09 2021].
- [69] ISA INDUSTRIAL, «PEINE PUENTEADOR, 10 POLOS PARA BORNERA PC2.5,» 2021. [En línea]. Available: <http://isaindustrial.com/product/deg-eb10-5/>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [70] ISA INDUSTRIAL, «PLACA SEPARADORA DE BORNERAS ATP-PC,» 2021. [En línea]. Available: <https://isaindustrial.com/product/deg-atp-pc/>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [71] ISA INDUSTRIAL, «TAPA FINAL PARA BORNERAS D-PC2.5/4/6/10,» 2021. [En línea]. Available: <https://isaindustrial.com/product/deg-d-pc2-5/>. [Último acceso: 16 09 2021].
- [72] Sodimac, «Riel Din Ranurado 60 cm,» 2021. [En línea]. Available: https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/329177?kid=bnext132977&gclid=Cj0KCQjw5auGBhDEARIsAFyNm9HjxUkDCafhHMfp1COY0gCOg4vbwhCOAzrRLh3pyoy17BxY5_OeLDkaAuhFEALw_wcB. [Último acceso: 16 02 2021].
- [73] Promart, «Cable THW 14AWG Negro x metro,» Centelsa, 2021. [En línea]. Available: https://www.promart.pe/cable-thw-14-awg-negro-carrete-x-100-m/p?gclid=Cj0KCQjw5auGBhDEARIsAFyNm9HLl6Fm0XhM1Nos024VqrcktwcdPt75BMISBgi1r6qYN996b6Qm1R8aAtQ9EALw_wcB. [Último acceso: 16 02 2021].
- [74] Mouser Electronics, «Hammond Manufacturing PCJ181610L,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.mouser.pe/ProductDetail/Hammond-Manufacturing/PCJ181610L?qs=y6ZabgHbY%252BwUSiXV3SD9zg%3D%3D>. [Último acceso: 16 09 2021].
- [75] Ministerio de Energía y Minas, «CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD,» 2006. [En línea]. Available:

<http://www.pqsperu.com/Descargas/NORMAS%20LEGALES/CNE.PDF>. [Último acceso: 16 02 2021].

- [76] Tupemesa, «TUBO CUADRADO 100 MM X 2.50 MM X 6 M,» 2021. [En línea]. Available: <https://tienda.tupemesa.com.pe/tubocuadrado100-250-6mlac>. [Último acceso: 16 02 2021].
- [77] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Norma Técnica EC-040, Redes e Instalaciones de Comunicaciones,» 2006. [En línea]. Available: http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMA_EC.040_REDES_E_INSTALACIONES_DE_COMUNICACIONES.pdf. [Último acceso: 16 02 2021].



ANEXOS

Anexo A. Código del archivo de extensión .py correspondiente al algoritmo genético	120
Anexo B. Secuencia de fases de las intersecciones semafóricas	125
Anexo C. Duración de las fases de ciclo semafórico.....	127
Anexo D. Duración de las fases de cada ciclo semafórico con algoritmo genético	128
Anexo E. Resultados de algoritmos bajo los niveles de tráfico bajo y medio bajo	137
Anexo F Código del archivo de extensión .py correspondiente al algoritmo proporcional	140
Anexo G Duración de las fases de cada ciclo semafórico con algoritmo proporcional	141
Anexo H. Especificaciones de componentes electrónicos seleccionados.....	150
Anexo I. Especificaciones de componentes mecánicos seleccionados.....	170
Anexo J. Cotizaciones.....	173
Anexo K. Planos de fabricación.....	186
Anexo L. Planos de ensamble.....	186



Anexo A. Código del archivo de extensión .py correspondiente al algoritmo genético

```
#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8

# ### libraries and functions

# In[120]:

import sys
import time
import numpy as np
from random import shuffle, random, sample, randint, randrange, uniform
from copy import deepcopy
import matplotlib.pyplot as plt
import math

# ### structure of the individual

# In[177]:

class Individual:
    """ Clase que implementa el individuo y sus operadores. El cromosoma de un individuo es una lista de caracteres, cada elemento de la lista es un gen cuyos alelos (caracteres) posibles se indican en allele_pool """

    def __init__(self, chromosome, allele_pool): # el constructor recibe el cromosoma y el pool de alelos posibles

        self.chromosome = chromosome[:]
        self.allele_pool = allele_pool
        self.fitness = -1 # -1 indica que el individuo no ha sido evaluado

    def print_chromosome(self):
        print('chromosome {}'.format(self.chromosome))
        print('fitness {}'.format(self.fitness))

    def crossover_onepoint(self, other):
        "Retorna dos nuevos individuos del cruzamiento de un punto entre individuos self y other "
        c = randrange(len(self.chromosome))
        ind1 = Individual(self.chromosome[:c] + other.chromosome[c:], self.allele_pool)
        ind2 = Individual(other.chromosome[:c] + self.chromosome[c:], self.allele_pool)
        return [ind1, ind2]

    def crossover_uniform(self, other):
        chromosome1 = []
        chromosome2 = []
        "Retorna dos nuevos individuos del cruzamiento uniforme entre self y other "
        for i in range(len(self.chromosome)):
            if uniform(0, 1) < 0.5:
                chromosome1.append(self.chromosome[i])
                chromosome2.append(other.chromosome[i])
            else:
                chromosome1.append(other.chromosome[i])
                chromosome2.append(self.chromosome[i])
        ind1 = Individual(chromosome1, self.allele_pool)
        ind2 = Individual(chromosome2, self.allele_pool)
        return [ind1, ind2]

    def mutate_position(self):
```

```

"Cambia aleatoriamente el alelo de un gen."
mutated_chromosome = deepcopy(self.chromosome)
mutGene = randrange(0,len(mutated_chromosome))
newAllele1 = self.allele_pool[randrange(0,len(self.allele_pool))]
newAllele2 = self.allele_pool[randrange(0,len(self.allele_pool))]
mutated_chromosome[mutGene] = tuple([newAllele1, newAllele2])
return Individual(mutated_chromosome, self.allele_pool)

def mutate_swap(self):
    "Escoge dos genes e intercambia sus alelos"
    mutated_chromosome = deepcopy(self.chromosome)
    mutGen1 = randrange(0,len(mutated_chromosome))
    mutGen2 = randrange(0,len(mutated_chromosome))
    temp = mutated_chromosome[mutGen1]
    mutated_chromosome[mutGen1] = mutated_chromosome[mutGen2]
    mutated_chromosome[mutGen2] = temp
    return Individual(mutated_chromosome, self.allele_pool)

##### fitness function to evaluate one individual

# In[91]:

def matching_characters(chromosome, target_string):
    """Retorna el fitness de un cromosoma como el numero de caracteres coincidentes con la frase objetivo"""
    fitness = 0 # initialize fitness to 0
    for i in range(len(chromosome)):
        # increment fitness by 1 for every matching character
        if chromosome[i] == target_string[i]:
            fitness += 1
    return fitness

##### fitness evaluation for gpa maximization

# In[150]:

def gpa_maximization(chromosome, queued_vehicles):
    """Retorna el fitness de un cromosoma la maximization de la funcion convexa"""
    fitness = 0 # initialize fitness to 0
    #print("NUEVO CROMOSOMA")
    for i in range(len(chromosome)):
        # increment fitness by 1 for every matching character
        #print("Interseccion:",i," ",chromosome[i])
        fitness += gpa_one_intersection(chromosome[i], queued_vehicles[i])
    return fitness

# In[149]:

def gpa_one_intersection(time_inter, queued_inter, k=2):

    fitness = 0
    total_time = sum(time_inter) + 6

    fitness += gpa_one_lane(time_inter[0],queued_inter[0], total_time)
    fitness += gpa_one_lane(time_inter[0],queued_inter[1], total_time)
    fitness += gpa_one_lane(time_inter[1],queued_inter[2], total_time)

```

```

fitness += gpa_one_lane(time_inter[1],queued_inter[3], total_time)

return fitness

```

In[148]:

```

def gpa_one_lane(time_lane, queued_lane, total_time, k=2):
    v = time_lane/total_time
    w = 6/total_time

    fitness = queued_lane*math.log(v) + k*math.log(w)

    return fitness

```

```

##### fitness function to evaluate one population
#

```

In[180]:

```

def evaluate_population(population, fitness_fn, queued_vehicles):
    """ Evalua una poblacion de individuos con la funcion de fitness pasada """
    popsize = len(population)
    for i in range(popsize):
        if population[i].fitness == -1: # evalua solo si el individuo no esta evaluado
            population[i].fitness = fitness_fn(population[i].chromosome, queued_vehicles)

```

```

##### fitness function to initialize one population

```

In[87]:

```

def init_population(pop_number, chromosome_size, allele_pool):
    """Initializes population for genetic algorithm
    pop_number : Number of individuals in population
    chromosome_size: The number of genes in each individual chromosome.
    allele_pool : List of possible values for the genes. This list is valid for all genes """
    num_alleles = len(allele_pool)
    population = []
    for i in range(pop_number):
        new_chromosome = [allele_pool[randrange(0, num_alleles)] for j in range(chromosome_size)]
        chromosome1 = new_chromosome[:10]
        chromosome2 = new_chromosome[10:]
        new_chromosome = list(zip(chromosome1, chromosome2))
        population.append( Individual(new_chromosome, allele_pool) )
    return population

```

```

##### selection parents function with the roulette method

```

In[198]:

```

def select_parents_roulette(population):
    popsize = len(population)

    # Escoje el primer padre
    sumfitness = sum([indiv.fitness for indiv in population]) # suma total del fitness de la poblacion

```

```

pickfitness = uniform(0, sumfitness) # escoge un numero aleatorio entre 0 y sumfitness
cumfitness = 0 # fitness acumulado

for i in range(popsize):
    cumfitness += population[i].fitness
    if cumfitness < pickfitness:
        iParent1 = i
        break

# Escoje el segundo padre, desconsiderando el primer padre
sumfitness = sumfitness - population[iParent1].fitness # retira el fitness del padre ya escogido
pickfitness = uniform(0, sumfitness) # escoge un numero aleatorio entre 0 y sumfitness
cumfitness = 0 # fitness acumulado
for i in range(popsize):
    if i == iParent1: continue # si es el primer padre
    cumfitness += population[i].fitness
    if cumfitness < pickfitness:
        iParent2 = i
        break

return (population[iParent1], population[iParent2])

##### function that selects survivors for the next generation

# In[13]:

def select_survivors(population, offspring_population, numsurvivors):
    next_population = []
    population.extend(offspring_population) # une las dos poblaciones
    isurvivors = sorted(range(len(population)), key=lambda i: population[i].fitness, reverse=True)[:numsurvivors]
    for i in range(numsurvivors): next_population.append(population[isurvivors[i]])
    return next_population

#### Genetic Algorithm

# In[199]:

def genetic_algorithm(population, fitness_fn, queued_vehicles, ngen=100, pmut=0.0, crossover="uniform",
mutation="position", selection_method="roulette"):

    popsize = len(population)
    evaluate_population(population, fitness_fn, queued_vehicles) # evalua la poblacion inicial
    ibest = sorted(range(len(population)), key=lambda i: population[i].fitness, reverse=True)[:1] # mejor individuo
    bestfitness = [population[ibest[0]].fitness] # mejor fitness

    #print("Poblacion inicial, best_fitness = {}".format(population[ibest[0]].fitness))

    for g in range(ngen): # Por cada generacion

        ## Selecciona las parejas de padres para cruzamiento
        mating_pool = []
        if selection_method == 'tournament':
            for i in range(int(popsize/2)):
                mating_pool.append(select_parents_tournament(population))

        if selection_method == 'roulette':
            for i in range(int(popsize/2)):

```

```

    mating_pool.append(select_parents_roulette(population))

## Crea la poblacion descendencia cruzando las parejas del mating pool
offspring_population = []
for i in range(len(mating_pool)):

    if crossover == "onepoint":
        offspring_population.extend( mating_pool[i][0].crossover_onepoint(mating_pool[i][1]) ) # cruzamiento 1 punto
    elif crossover == "uniform":
        offspring_population.extend( mating_pool[i][0].crossover_uniform(mating_pool[i][1]) ) # cruzamiento uniforme

## Aplica el operador de mutacion con probabilidad pmut en cada hijo generado
for i in range(len(offspring_population)):
    if uniform(0, 1) < pmut:
        if mutation == "position":
            offspring_population[i] = offspring_population[i].mutate_position() # mutacion de una posicion
        elif mutation == "swap":
            offspring_population[i] = offspring_population[i].mutate_swap() # mutacion swap

## Evalua la poblacion descendencia creada
evaluate_population(offspring_population, fitness_fn, queued_vehicles) # evalua la poblacion descendencia

## Selecciona popsize individuos para la sgte. generacion de la union de la pob. actual y pob. descendencia
population = select_survivors(population, offspring_population, popsize)

## Almacena la historia del fitness del mejor individuo
ibest = sorted(range(len(population)), key=lambda i: population[i].fitness, reverse=True)[1]
bestfitness.append(population[ibest[0]].fitness)

if (g % 10 == 0):
    best_string = population[ibest[0]].chromosome # convert the chromosome to a string for printing
    #print("generacion {}, Mejor individuo = {} (fitness = {})".format(g, best_string, population[ibest[0]].fitness))

best_string = population[ibest[0]].chromosome
#print("Mejor individuo en la ultima generacion ({} = {} (fitness = {})".format(g, best_string,
population[ibest[0]].fitness))
return population[ibest[0]], bestfitness # devuelve el mejor individuo y la evolucion del mejor fitness x gen

##### testing genetic algorithm for the Generalized Proportional Allocation for traffic signals

```

Anexo B. Secuencia de fases de las intersecciones semafóricas

Leyenda

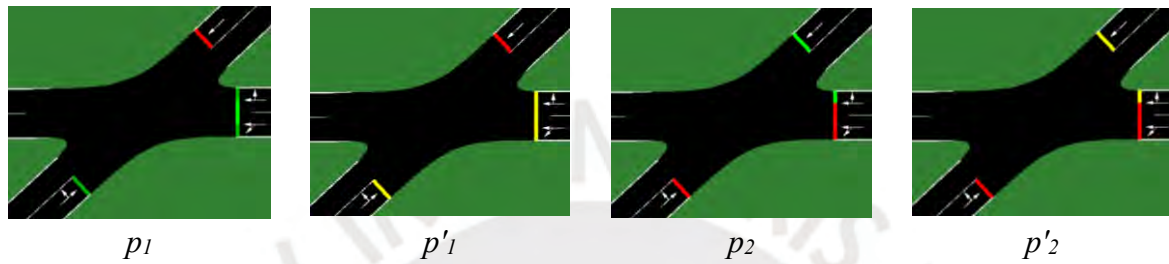
p_1 : fase 1

p'_1 : cambio-de-fase 1

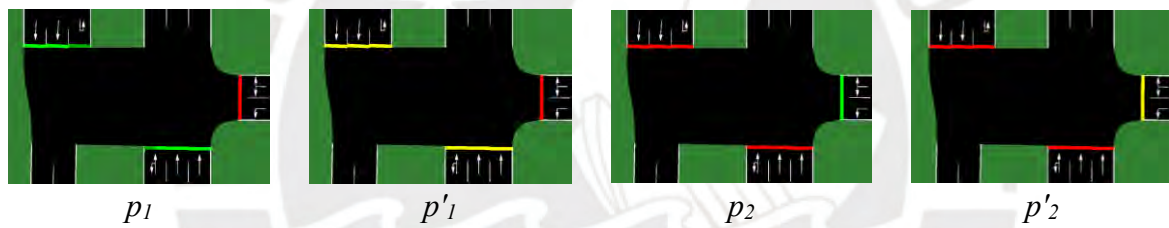
p_2 : fase 2

p'_2 : cambio-de-fase 2

Intersección 1



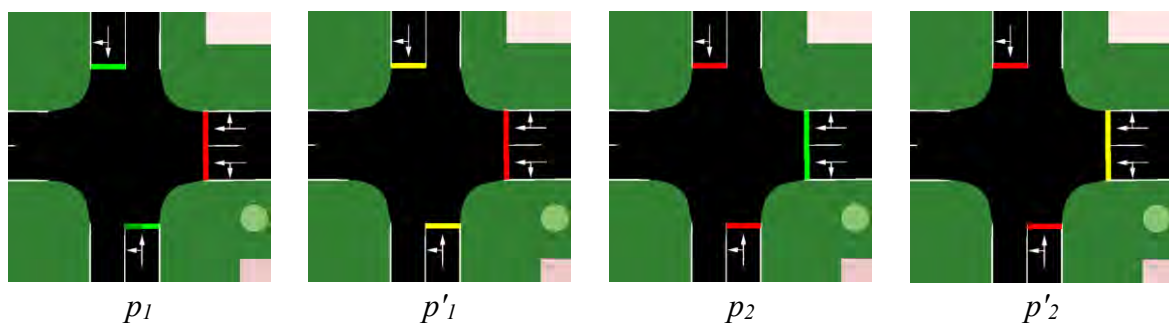
Intersección 2



Intersección 3



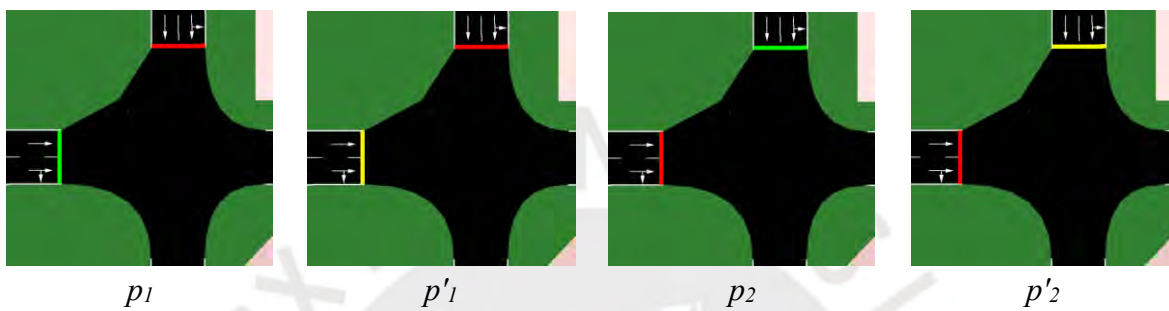
Intersección 4



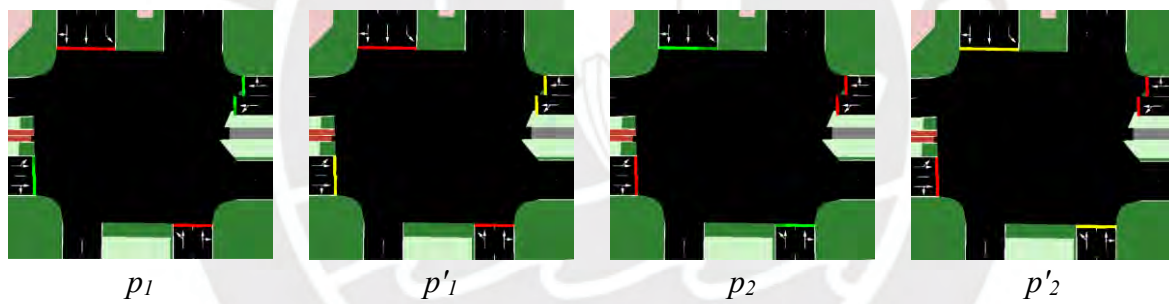
Intersección 5



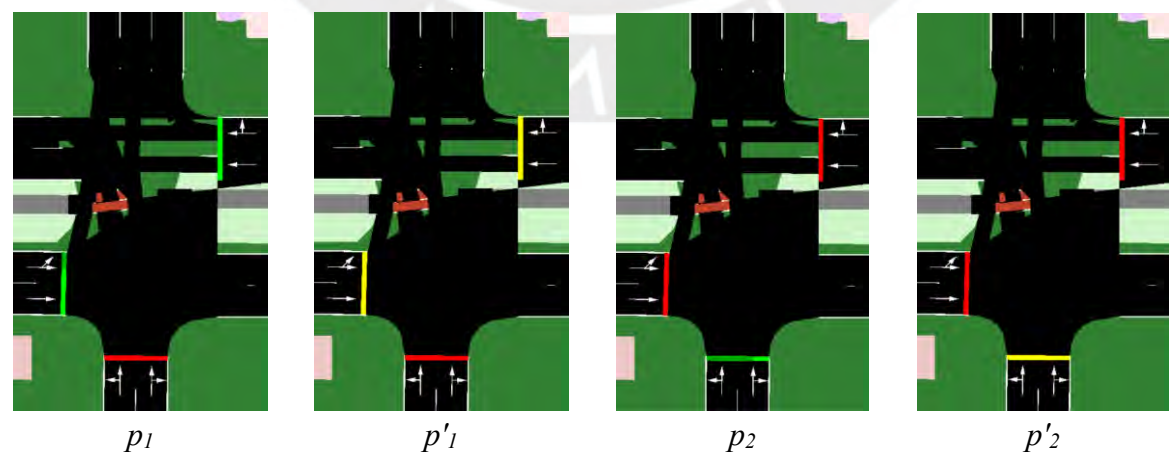
Intersección 6



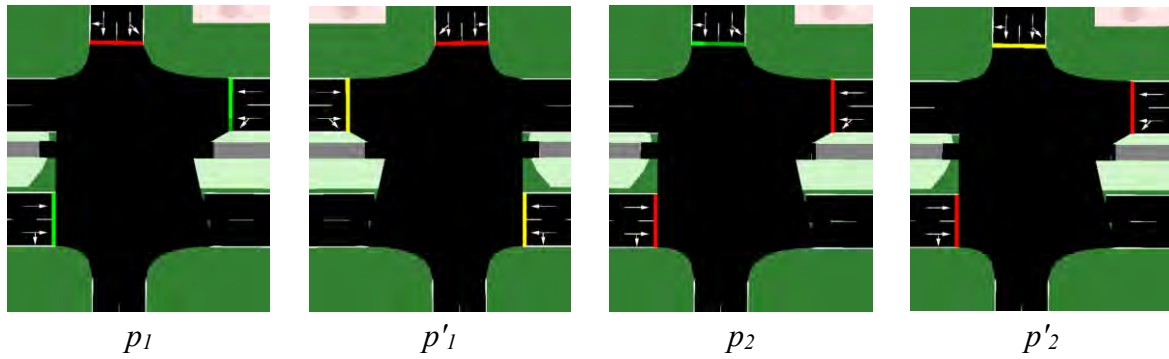
Intersección 7



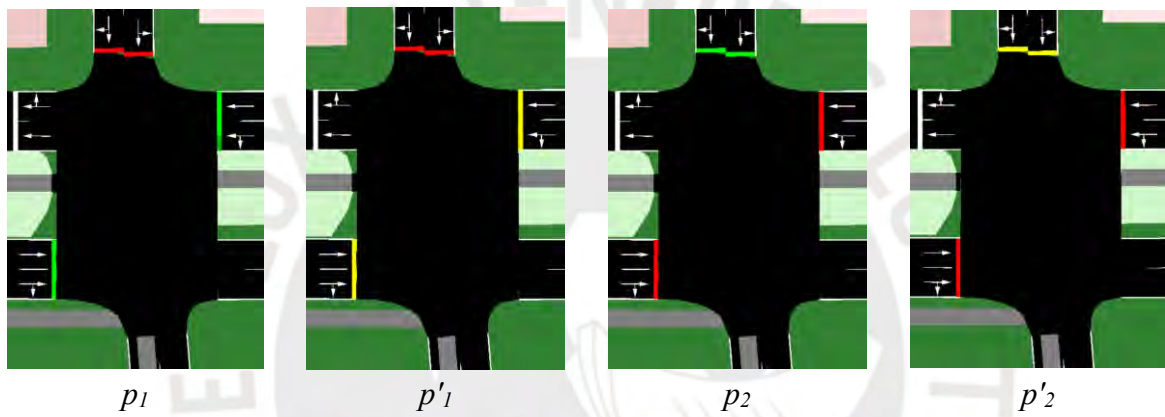
Intersección 8



Intersección 9



Intersección 10



Anexo C. Duración de las fases de ciclo semafórico

Intersección	p_1	p'_1	p_2	p'_2	T_{cyc}
I ₁	84	3	30	3	120
I ₂	68	3	46	3	120
I ₃	60	3	54	3	120
I ₄	50	3	64	3	120
I ₅	68	3	46	3	120
I ₆	70	3	44	3	120
I ₇	68	3	56	3	130
I ₈	74	3	40	3	120
I ₉	74	3	40	3	120
I ₁₀	112	3	32	3	150
					1240

Anexo D. Duración de las fases de cada ciclo semafórico con algoritmo genético

Nivel de tráfico bajo

Ciclo	I ₁		I ₂		I ₃		I ₄		I ₅		I ₆		I ₇		I ₈		I ₉		I ₁₀	
	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
2	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	33	15	15	15	18	15
3	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	15	15	33	15	15	15
4	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15
6	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	18	15	18	15
7	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	21	15	15	15	18	15
8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	18	15	18	15	21	15
9	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	15	15	15	15
11	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	15	15	15	15	15	15
13	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15
14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	18	15	15	15	15	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15
16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	27	15
18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	24	15
19	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
20	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15
21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	18	15
22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	21	15	18	15
24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	18	15
25	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
26	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
27	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15
28	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15
29	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	15	15	24	15
30	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15
31	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
32	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	18	15	15	15	15	15
33	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15
34	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
35	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
36	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	18	15	15	15
37	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15
38	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15
39	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	18	15
40	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	18	15	15	15

87	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15
88	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	18	15
89	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15	15
90	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15	15
91	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15	15
92	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15	15
93	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15	15
94	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15	15
95	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	-	-	-
96	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	-	-	-	-	-
97	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
98	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nivel de tráfico medio bajo

Ciclo	I ₁		I ₂		I ₃		I ₄		I ₅		I ₆		I ₇		I ₈		I ₉		I ₁₀	
	<i>p</i> ₁	<i>p</i> ₂	<i>p</i> ₁	<i>p</i> ₂	<i>p</i> ₁	<i>p</i> ₂	<i>p</i> ₁	<i>p</i> ₂	<i>p</i> ₁	<i>p</i> ₂	<i>p</i> ₁	<i>p</i> ₂	<i>p</i> ₁	<i>p</i> ₂	<i>p</i> ₁	<i>p</i> ₂	<i>p</i> ₁	<i>p</i> ₂	<i>p</i> ₁	<i>p</i> ₂
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	15	15	21	15	27	15
2	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	18	57	15	27	15	27	15
3	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	48	15	33	15	48	15	39	15
4	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	18	15	24	15	30	15
5	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	33	15	15	15	27	15	30	15
6	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	39	15	21	15	21	15	45	15
7	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	36	15	15	15	21	15
8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	27	15	21	15	21	15
9	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	24	30	15	33	15	18	15
10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	18	15	24	15	24	15
11	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	18	15	21	15	24	15
12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	24	15	30	15	24	15
13	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	27	15	18	15	27	15
14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	18	15	30	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	21	21	15	24	15	24	15
16	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	45	21	15	15	27	15	27	15
17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	24	15	15	15	21	15
18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	48	15	24	15	15	15	21	15
19	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	24	15	24	15	33	15
20	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	21	15	24	15	33	15
21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	15	15	27	15	27	15
22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	36	15	15	15	18	15
23	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	42	15	27	15	33	15	24	15
24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	21	15	24	15	36	15
25	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	18	15	15	18	15	21	15
26	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	51	15	21	15	18	15	24	15
27	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	27	15	24	15	39	15	30	15
28	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	15	15	18	15	27	15

29	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	21	15	21	15	36	15
30	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	36	15	24	15	24	15
31	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	18	15	21	15	36	15
32	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	24	15	27	15	21	15
33	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	24	15	15	15	18	15
34	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	24	15	21	15	45	15
35	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	18	15	30	15	33	15
36	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	18	15	15	15	30	15
37	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	42	15	18	15	24	15	18	15
38	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	24	15	15	21	15	18	15
39	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	30	15	18	15	33	15
40	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	21	15	15	15	36	15
41	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	21	15	27	15	33	15
42	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	18	15	27	15	36	15
43	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	27	15	21	15	15	15	27	15
44	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	27	15	33	15
45	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	42	15	42	15	18	15
46	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	24	15	33	15	27	15
47	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	33	15	42	15	21	15
48	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	39	15	21	15	33	15
49	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	39	15	27	15	33	15	39	15
50	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	30	15	36	15	27	15
51	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	33	15	33	15	30	15
52	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	18	15	30	15	33	15
53	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	21	15	33	15
54	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	21	15	18	15
55	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	18	15	30	15
56	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	15	15	18	15	27	15
57	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	33	15	21	15	24	15
58	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	21	30	15	18	15	27	15
59	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	24	15	21	15
60	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	24	15	30	15	24	15
61	15	15	15	15	15	15	18	15	18	15	15	15	15	45	21	33	15	24	15	18	15
62	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	21	15	24	15	36	15
63	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	30	15
64	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	30	15	30	15	33	15
65	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	30	15	36	15	33	15
66	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	33	15	27	15
67	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	21	15	27	15	30	15
68	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	33	15
69	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	18	15	15	15	24	15
70	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	18	15	21	15
71	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	18	15	30	15
72	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	27	15	33	15
73	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	-	-
74	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	21	15	-	-

75	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	24	15	-	-
76	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	24	15	-	-
77	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	15	21	15	-	-
78	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	15	21	15	-	-
79	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	-	-	-	-
80	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
81	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
82	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
83	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
84	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
85	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
86	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
87	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
88	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
89	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
90	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
91	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
92	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
93	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
94	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
95	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
96	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
97	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-

Nivel de tráfico medio alto

Ciclo	I ₁		I ₂		I ₃		I ₄		I ₅		I ₆		I ₇		I ₈		I ₉		I ₁₀	
	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	15	15	18	15	36	15
2	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	51	30	60	15	36	15	21	15
3	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	66	24	63	15	66	15	33	15
4	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	15	15	66	15	42	15	33	15	30	15
5	15	15	15	15	21	15	15	15	27	15	15	15	42	15	39	15	36	15	30	15
6	15	15	15	15	27	15	15	15	18	15	15	15	36	15	24	15	24	15	36	15
7	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	48	15	24	15	18	15	24	15
8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	36	24	15	15	15	39	15
9	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	48	21	15	15	33	15	18	15
10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	27	15	15	15	27	15
11	15	15	15	24	18	15	15	15	15	15	15	15	30	21	24	15	24	15	33	15
12	15	15	18	24	15	15	15	15	15	15	15	15	36	24	15	15	33	15	33	15
13	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	36	15	15	15	21	15
14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	24	15	15	15	15	27	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	42	21	21	15	18	15	42	15
16	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	15	15	42	27	24	15	36	15	33	15
17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	48	15	18	15	27	15	36	15

18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	27	15	36	15	33	15
19	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	63	18	36	15	33	15	27	15
20	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	48	27	39	15	51	15	33	15
21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	51	15	18	15	27	15	21	15
22	27	15	15	15	18	15	15	15	18	15	15	15	15	42	21	45	15	15	15	24	15
23	15	15	15	15	33	15	15	15	33	15	15	15	15	63	15	30	15	30	15	18	15
24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	48	39	15	30	15	33	15
25	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	69	18	42	15	33	15	33	15
26	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	57	21	15	15	15	15	27	15
27	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	39	18	27	15	21	15	24	15
28	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	15	15	30	15	24	15
29	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	39	15	36	15	33	15	21	15
30	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	60	15	33	15	27	15	27	15
31	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	30	39	15	15	18	15	33	15
32	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	60	39	45	15	33	15	21	15
33	15	15	21	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	57	15	30	15	18	15	30	15
34	15	15	18	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	39	24	15	18	15	15	21	15
35	27	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	27	15	27	15	30	15
36	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	15	15	21	15	24	15
37	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	18	15	15	33	36	36	15	33	15	33	15
38	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	60	15	21	15	18	15	18	15
39	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	21	24	15	48	15	39	15
40	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	21	15	15	30	15	24	15
41	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	48	15	36	15	30	15	24	15
42	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	21	30	15	33	15	21	15
43	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	51	15	45	18	42	15	33	15
44	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	60	15	39	15	36	15	39	15
45	15	15	21	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	39	15	24	15	36	15	36	15
46	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	45	21	33	15	33	15	36	15
47	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	18	51	15	33	15	45	15
48	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	18	15	15	36	15	18	15
49	15	15	15	15	21	15	15	15	18	15	15	15	15	33	24	45	15	15	15	45	15
50	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	15	15	15	18	15
51	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	15	21	42	15	27	15
52	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	57	15	30	15	27	15
53	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	-	-	33	15	15	15	21	15
54	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	45	15	30	15
55	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	42	15	24	15	36	15
56	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	15	15	36	15
57	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	30	15
58	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	33	15	39	15	39	15
59	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	-	-	18	15	21	15	33	15
60	15	15	15	15	18	15	33	15	15	15	15	15	15	-	-	18	15	24	15	33	15
61	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	39	15	24	15	21	15
62	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	42	15	57	15	21	15
63	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	21	15	57	15	33	15

64	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	-	-	15	15	15	15	42	15
65	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	15	30	15	30	15
66	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	24	15
67	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	33	15	36	15
68	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	18	15	15	15	27	15
69	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	36	15
70	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	15	15	15	-	-
71	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	21	18	15	-	-
72	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	27	15	-	-
73	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
74	21	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
75	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
76	15	15	21	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
77	15	15	15	24	15	15	15	15	21	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
78	15	15	18	24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
79	15	15	15	15	15	15	36	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
80	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
81	15	15	15	18	15	15	27	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
82	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
83	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
84	15	15	24	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
85	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
86	15	15	15	15	33	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
87	15	15	15	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
88	15	15	15	15	18	15	15	15	18	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
89	21	15	15	15	21	15	15	15	21	15	21	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
90	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
91	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
92	15	15	27	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
93	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
94	15	15	15	15	-	-	15	15	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
95	18	15	-	-	-	-	15	15	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
96	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-

Nivel de tráfico alto

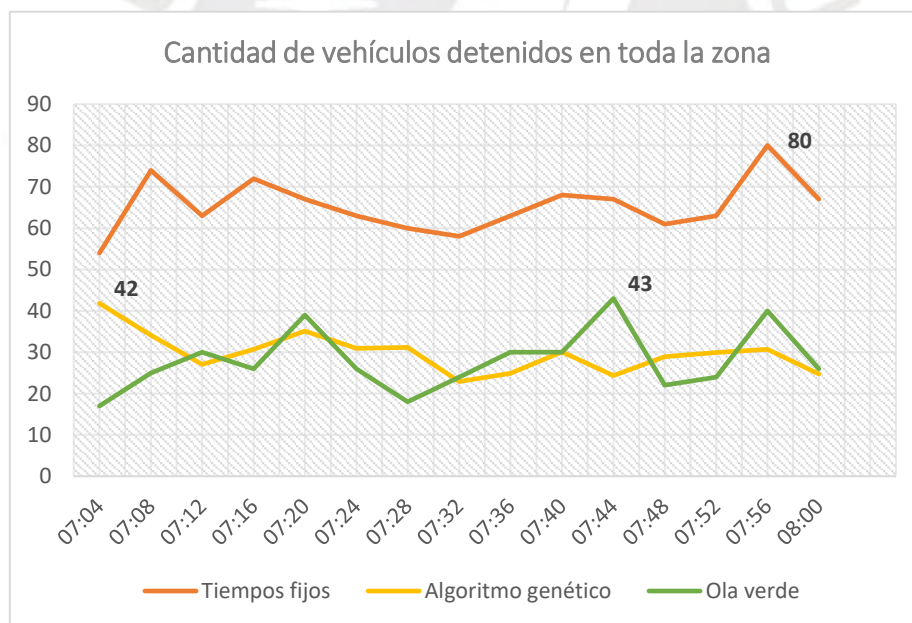
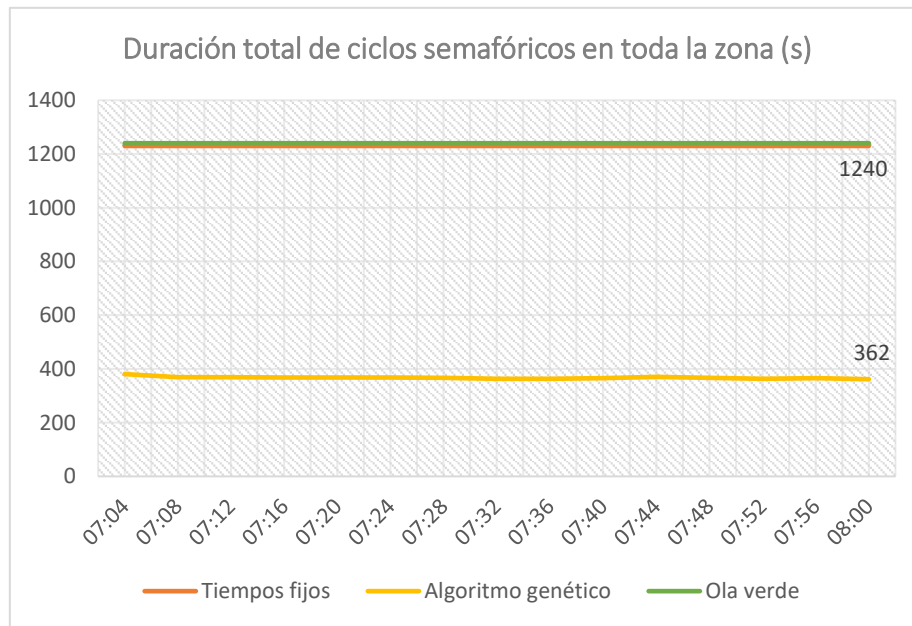
Ciclo	I ₁		I ₂		I ₃		I ₄		I ₅		I ₆		I ₇		I ₈		I ₉		I ₁₀	
	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂
1	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	39	15	18	15	18	15	36	15
2	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	24	63	15	39	15	30	15
3	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	57	39	54	15	51	15	36	15
4	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	72	15	45	15	69	15	27	15
5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	63	21	57	15	30	15	33	15
6	15	15	15	15	39	15	15	15	15	15	15	15	69	15	30	15	45	15	30	15

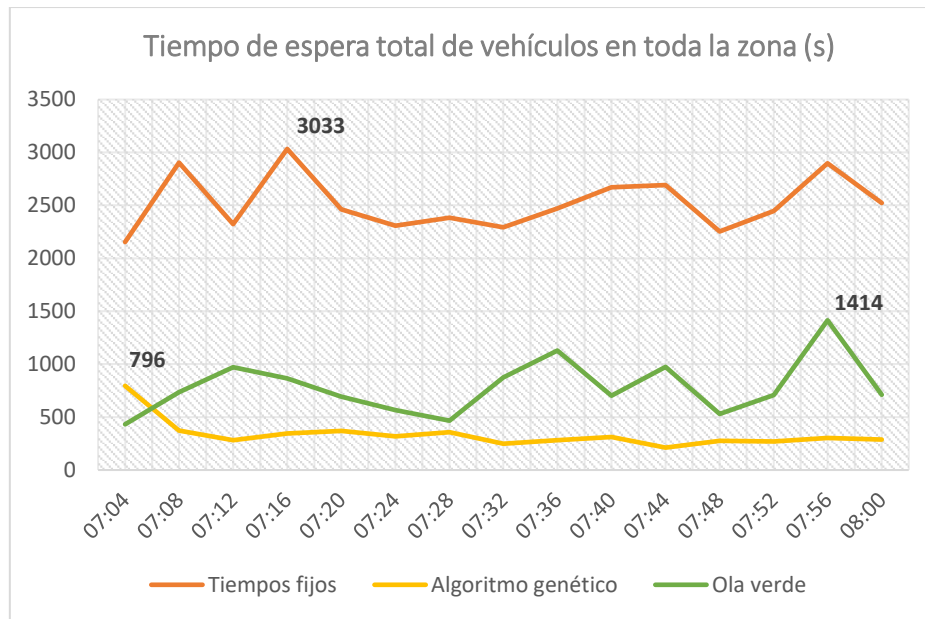
7	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	48	27	21	15	33	15	30	15
8	15	15	18	15	30	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	15	15	21	24	42	15
9	15	15	18	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	48	27	33	15	33	15	30	15
10	15	15	15	15	18	15	18	15	15	15	15	15	15	45	18	30	15	42	15	30	15
11	15	15	18	24	21	15	15	15	15	15	15	15	15	33	36	27	18	21	15	36	15
12	15	15	15	27	15	15	15	15	15	15	15	15	15	69	45	42	21	30	15	36	15
13	15	15	18	30	15	15	15	15	15	15	15	15	15	87	36	27	15	36	15	24	15
14	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	78	33	21	15	42	15	42	15
15	15	15	18	24	27	15	15	15	15	15	15	15	15	78	27	30	15	42	15	39	15
16	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	75	36	39	15	57	15	27	15
17	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	75	39	60	15	42	15	33	15
18	18	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	69	42	24	15	21	15	21	15
19	30	15	21	15	15	15	15	15	24	15	18	15	15	75	42	54	15	63	15	30	15
20	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	78	36	42	15	15	15	36	15
21	18	15	15	15	18	15	18	15	15	15	24	15	15	75	42	54	15	27	15	18	15
22	21	15	15	15	27	15	15	15	15	15	15	15	15	78	51	15	15	30	15	42	15
23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	90	63	36	15	33	15	27	15
24	33	15	15	15	27	15	15	15	15	15	15	15	15	90	51	51	24	30	15	45	15
25	21	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	90	18	66	24	51	15	27	15
26	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	90	42	60	15	57	15	36	15
27	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	90	18	30	21	69	15	27	15
28	15	15	15	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	60	36	57	21	36	30	30	15
29	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	78	39	54	18	45	15	36	15
30	15	15	18	15	15	15	27	15	15	15	15	15	15	72	18	36	21	36	15	45	15
31	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	75	39	57	15	21	15	39	15
32	15	15	15	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	72	15	39	21	18	15	45	15
33	15	15	21	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	69	54	51	21	63	15	27	15
34	27	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	39	30	30	15	36	15
35	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	18	15	15	-	-	36	15	57	18	27	15
36	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	15	15	15	-	-	33	15	27	21	33	15
37	21	15	15	15	15	15	21	15	18	15	30	15	15	-	-	33	15	33	15	36	15
38	18	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	33	15	36	15	15	15
39	15	15	21	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	45	15	33	15	36	15
40	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	54	15	21	15	45	15
41	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	33	15	33	15	24	15
42	15	15	18	15	27	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	48	15	69	15	27	15
43	15	15	18	15	21	15	15	15	15	15	21	15	15	-	-	15	24	42	15	36	15
44	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	66	15	42	15	21	15
45	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	42	15	27	15
46	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	42	15	48	15	18	15
47	30	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	21	15	24	15	27	15
48	18	15	15	15	24	15	15	15	30	15	15	15	15	-	-	24	15	27	15	36	15
49	30	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	51	15	42	15
50	24	15	15	15	21	15	15	15	18	15	15	15	15	-	-	69	15	33	15	30	15
51	18	15	15	18	15	15	36	15	18	15	15	15	15	-	-	39	15	36	15	33	15
52	18	15	21	15	18	15	30	15	15	15	15	15	15	-	-	66	15	69	15	24	15

53	18	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	-	-	45	15	45	15	33	15
54	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	30	15	78	15	24	15
55	15	15	15	15	21	15	18	15	15	15	21	15	15	-	-	63	15	54	15	24	15
56	15	15	15	18	15	15	15	15	18	15	15	15	15	-	-	45	21	51	15	42	15
57	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	42	15	48	15
58	21	15	18	21	24	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	24	15
59	15	15	15	21	15	15	48	15	21	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	27	15
60	15	15	15	15	30	15	18	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	45	15
61	15	15	15	15	24	15	27	15	24	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	24	15
62	15	15	18	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	27	15
63	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	45	15
64	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	33	15
65	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	24	15
66	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	-	-	-	-	-	-	42	15
67	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
68	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
69	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
70	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
71	15	15	15	24	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
72	33	15	15	18	27	15	33	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
73	21	15	30	21	39	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
74	24	15	15	30	39	15	15	15	18	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
75	15	21	15	33	30	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
76	21	18	15	27	39	15	33	15	24	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
77	15	15	15	21	42	15	36	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
78	15	15	27	27	27	15	39	15	15	24	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
79	15	15	15	33	15	15	15	15	15	24	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
80	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
81	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	18	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
82	15	15	15	27	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
83	15	15	15	21	27	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
84	15	15	15	33	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
85	15	15	15	24	21	15	15	15	15	15	15	21	15	-	-	-	-	-	-	-	-
86	21	15	15	27	21	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
87	21	15	18	33	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
88	15	18	-	-	-	-	24	15	15	15	33	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
89	15	15	-	-	-	-	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
90	18	15	-	-	-	-	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
91	15	15	-	-	-	-	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
92	15	15	-	-	-	-	-	-	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
93	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-

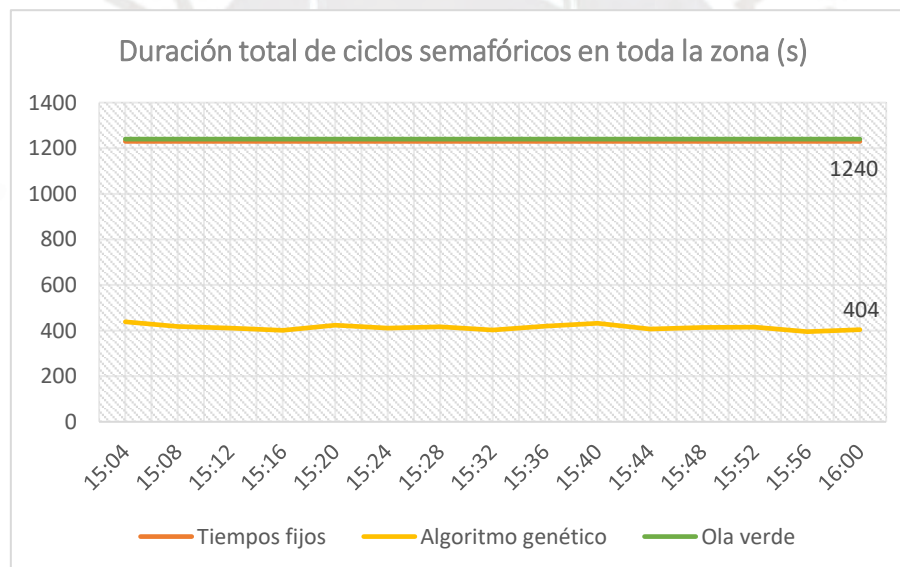
Anexo E. Resultados de algoritmos bajo los niveles de tráfico bajo y medio bajo

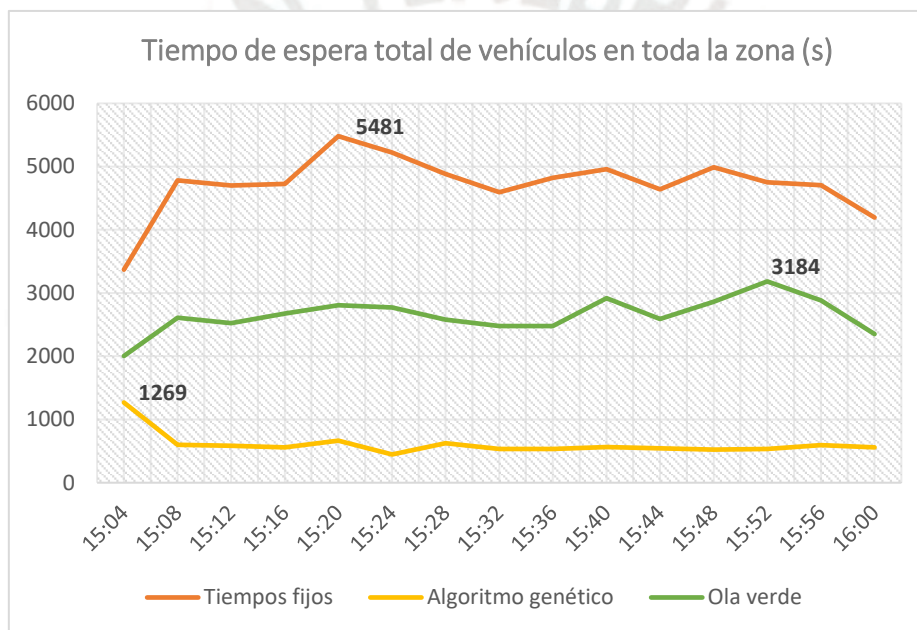
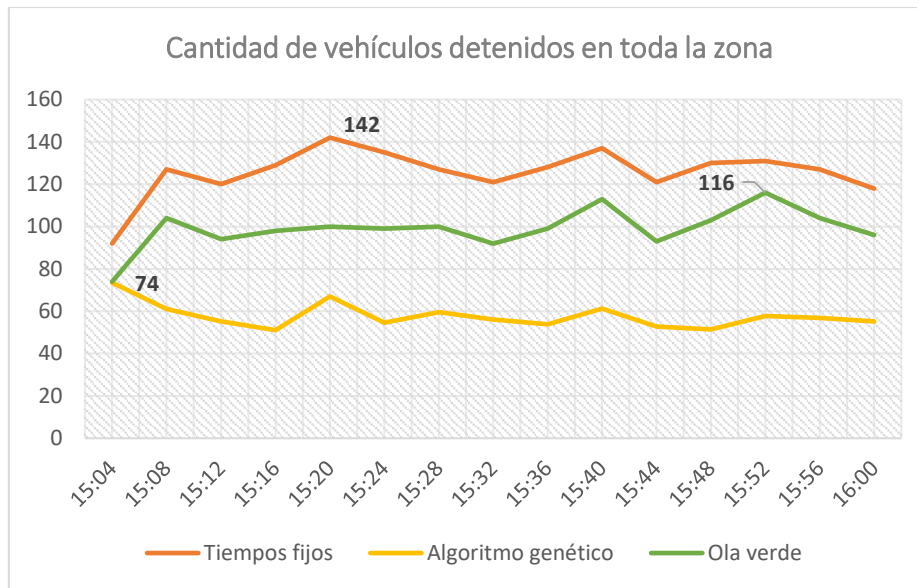
- *Nivel de tráfico bajo*





- **Nivel de tráfico medio bajo**





Anexo F Código del archivo de extensión .py correspondiente al algoritmo proporcional

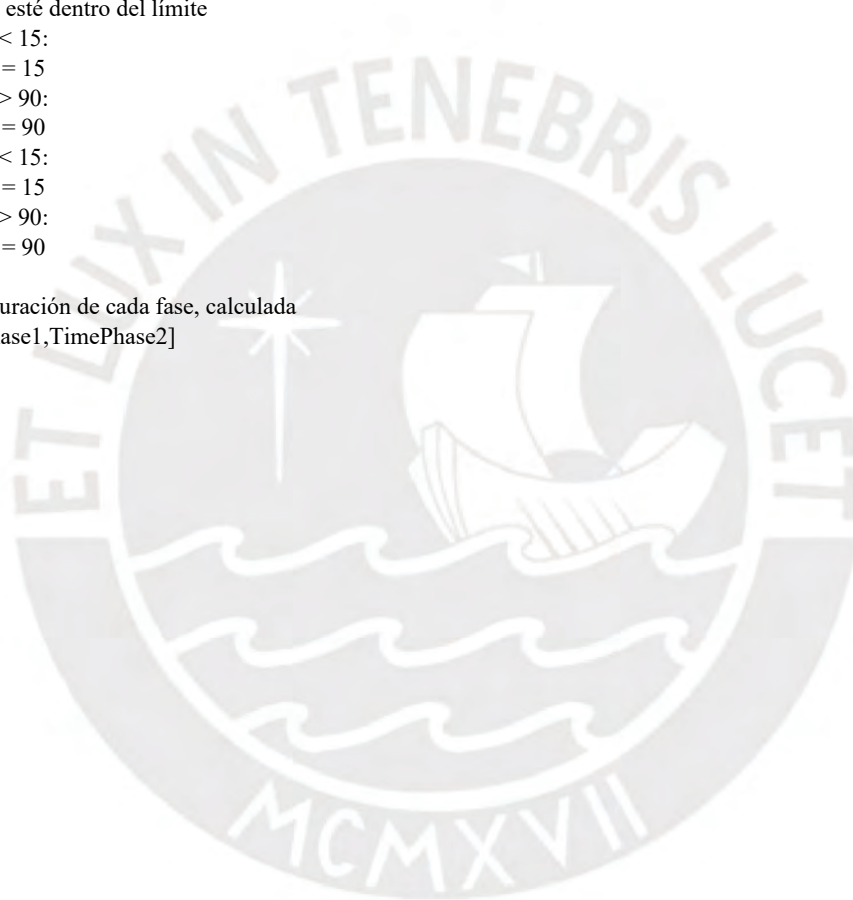
```
import sys
import time
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import math

def proportional_algorithm(queued_vehicles, Tw, k=2):

    #Calcula la duración de las fases
    NewCycleTime = round(((sum(queued_vehicles)/k)+1)*Tw)
    TimePhase1 = round(((queued_vehicles[0] + queued_vehicles[1])/(k+sum(queued_vehicles)))*NewCycleTime)
    TimePhase2 = NewCycleTime - TimePhase1 - Tw

    # Asegurar que esté dentro del límite
    if TimePhase1 < 15:
        TimePhase1 = 15
    if TimePhase1 > 90:
        TimePhase1 = 90
    if TimePhase2 < 15:
        TimePhase2 = 15
    if TimePhase2 > 90:
        TimePhase2 = 90

    # devuelve la duración de cada fase, calculada
    return [TimePhase1,TimePhase2]
```



Anexo G Duración de las fases de cada ciclo semafórico con algoritmo proporcional

Nivel de tráfico bajo

Ciclo	I ₁		I ₂		I ₃		I ₄		I ₅		I ₆		I ₇		I ₈		I ₉		I ₁₀	
	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
2	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	33	15	15	15	18	15
3	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	15	15	33	15	15	15
4	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15
6	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	18	15	18	15
7	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	21	15	15	15	18	15
8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	18	15	18	15	21	15
9	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	15	15	15	15
11	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	15	15	15	15	15	15
13	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15
14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	18	15	15	15	15	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15
16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	27	15
18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	24	15
19	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
20	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15
21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	18	15
22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	21	15	18	15
24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	18	15
25	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
26	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
27	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15
28	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15
29	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	15	15	24	15
30	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15
31	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15
32	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	18	15	15	15	15	15
33	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15
34	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
35	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
36	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	18	15	15	15
37	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15
38	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15
39	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	18	15
40	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	18	15	15	15

87	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15
88	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	18	15
89	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15
90	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15
91	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15
92	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15
93	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15
94	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	15	15
95	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	-	-
96	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	-	-	-	-
97	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
98	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-

Nivel de tráfico medio bajo

Ciclo	I ₁		I ₂		I ₃		I ₄		I ₅		I ₆		I ₇		I ₈		I ₉		I ₁₀	
	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	15	15	21	15	27	15
2	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	18	57	15	27	15	27	15
3	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	48	15	33	15	48	15	39	15
4	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	18	15	24	15	30	15
5	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	33	15	15	15	27	15	30	15
6	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	39	15	21	15	21	15	45	15
7	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	36	15	15	15	21	15
8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	27	15	21	15	21	15
9	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	24	30	15	33	15	18	15
10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	18	15	24	15	24	15
11	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	18	15	21	15	24	15
12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	24	15	30	15	24	15
13	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	27	15	18	15	27	15
14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	18	15	30	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	21	21	15	24	15	24	15
16	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	45	21	15	15	27	15	27	15
17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	24	15	15	15	21	15
18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	48	15	24	15	15	15	21	15
19	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	24	15	24	15	33	15
20	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	21	15	24	15	33	15
21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	15	15	27	15	27	15
22	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	36	15	15	15	18	15
23	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	42	15	27	15	33	15	24	15
24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	21	15	24	15	36	15
25	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	18	15	15	18	15	21	15
26	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	51	15	21	15	18	15	24	15
27	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	27	15	24	15	39	15	30	15
28	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	15	15	18	15	27	15

29	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	21	15	21	15	36	15
30	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	36	15	24	15	24	15
31	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	18	15	21	15	36	15
32	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	24	15	27	15	21	15
33	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	24	15	15	15	18	15
34	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	24	15	21	15	45	15
35	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	18	15	30	15	33	15
36	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	18	15	15	15	30	15
37	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	42	15	18	15	24	15	18	15
38	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	24	15	15	21	15	18	15
39	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	30	15	18	15	33	15
40	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	21	15	15	15	36	15
41	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	21	15	27	15	33	15
42	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	18	15	27	15	36	15
43	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	27	15	21	15	15	15	27	15
44	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	27	15	33	15
45	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	42	15	42	15	18	15
46	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	24	15	33	15	27	15
47	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	33	15	42	15	21	15
48	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	39	15	21	15	33	15
49	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	39	15	27	15	33	15	39	15
50	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	30	15	36	15	27	15
51	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	33	15	33	15	30	15
52	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	18	15	30	15	33	15
53	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	21	15	33	15
54	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	21	15	18	15
55	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	18	15	30	15
56	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	15	15	18	15	27	15
57	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	15	33	15	21	15	24	15
58	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	21	30	15	18	15	27	15
59	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	24	15	21	15
60	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	24	15	30	15	24	15
61	15	15	15	15	15	15	18	15	18	15	15	15	15	45	21	33	15	24	15	18	15
62	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	21	15	24	15	36	15
63	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	30	15
64	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	30	15	30	15	33	15
65	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	30	15	36	15	33	15
66	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	33	15	27	15
67	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	21	15	27	15	30	15
68	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	33	15
69	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	18	15	15	15	24	15
70	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	18	15	21	15
71	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	18	15	30	15
72	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	27	15	33	15
73	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	-	-
74	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	21	15	-	-

75	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	24	15	-	-
76	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	24	15	-	-
77	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	15	21	15	-	-
78	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	15	21	15	-	-
79	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	-	-	-	-
80	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
81	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
82	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
83	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
84	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
85	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
86	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
87	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
88	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
89	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
90	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
91	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
92	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
93	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
94	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
95	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
96	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
97	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-

Nivel de tráfico medio alto

Ciclo	I ₁		I ₂		I ₃		I ₄		I ₅		I ₆		I ₇		I ₈		I ₉		I ₁₀	
	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	15	15	18	15	36	15
2	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	51	30	60	15	36	15	21	15
3	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	66	24	63	15	66	15	33	15
4	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	15	15	66	15	42	15	33	15	30	15
5	15	15	15	15	21	15	15	15	27	15	15	15	42	15	39	15	36	15	30	15
6	15	15	15	15	27	15	15	15	18	15	15	15	36	15	24	15	24	15	36	15
7	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	48	15	24	15	18	15	24	15
8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	36	24	15	15	15	39	15
9	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	48	21	15	15	33	15	18	15
10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	27	15	15	15	27	15
11	15	15	15	24	18	15	15	15	15	15	15	15	30	21	24	15	24	15	33	15
12	15	15	18	24	15	15	15	15	15	15	15	15	36	24	15	15	33	15	33	15
13	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	36	15	15	15	21	15
14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	24	15	15	15	15	27	15
15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	42	21	21	15	18	15	42	15
16	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	15	15	42	27	24	15	36	15	33	15
17	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	48	15	18	15	27	15	36	15

18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	45	15	27	15	36	15	33	15
19	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	63	18	36	15	33	15	27	15
20	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	48	27	39	15	51	15	33	15
21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	51	15	18	15	27	15	21	15
22	27	15	15	15	18	15	15	15	18	15	15	15	42	21	45	15	15	15	24	15
23	15	15	15	15	33	15	15	15	33	15	15	15	63	15	30	15	30	15	18	15
24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	48	39	15	30	15	33	15
25	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	69	18	42	15	33	15	33	15
26	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	57	21	15	15	15	15	27	15
27	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	39	18	27	15	21	15	24	15
28	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	15	15	15	30	15	24	15
29	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	39	15	36	15	33	15	21	15
30	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	60	15	33	15	27	15	27	15
31	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	30	39	15	15	18	15	33	15
32	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	60	39	45	15	33	15	21	15
33	15	15	21	15	15	15	15	18	15	15	15	15	57	15	30	15	18	15	30	15
34	15	15	18	15	15	15	15	24	15	15	15	15	39	24	15	18	15	15	21	15
35	27	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	33	15	27	15	27	15	30	15
36	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	15	15	21	15	24	15
37	15	15	15	15	15	18	15	15	15	18	15	15	33	36	36	15	33	15	33	15
38	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	60	15	21	15	18	15	18	15
39	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	21	24	15	48	15	39	15
40	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	36	21	15	15	30	15	24	15
41	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	48	15	36	15	30	15	24	15
42	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	21	30	15	33	15	21	15
43	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	51	15	45	18	42	15	33	15
44	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	60	15	39	15	36	15	39	15
45	15	15	21	15	15	15	15	24	15	15	15	15	39	15	24	15	36	15	36	15
46	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	45	21	33	15	33	15	36	15
47	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	24	18	51	15	33	15	45	15
48	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	39	18	15	15	36	15	18	15
49	15	15	15	15	21	15	15	18	15	15	15	15	33	24	45	15	15	15	45	15
50	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	15	15	15	18	15
51	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	15	21	42	15	27	15
52	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	57	15	30	15	27	15
53	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	-	-	33	15	15	15	21	15
54	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	45	15	30	15
55	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	42	15	24	15	36	15
56	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	15	15	36	15
57	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	30	15
58	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	33	15	39	15	39	15
59	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	-	-	18	15	21	15	33	15
60	15	15	15	15	18	15	33	15	15	15	15	15	-	-	18	15	24	15	33	15
61	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	39	15	24	15	21	15
62	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	42	15	57	15	21	15
63	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	-	-	21	15	57	15	33	15

64	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	-	-	15	15	15	15	42	15
65	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	15	30	15	30	15
66	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	24	15
67	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	33	15	36	15
68	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	18	15	15	15	27	15
69	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	15	15	15	15	36	15
70	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	15	15	15	-	-
71	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	27	21	18	15	-	-
72	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	27	15	-	-
73	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
74	21	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
75	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
76	15	15	21	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
77	15	15	15	24	15	15	15	15	21	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
78	15	15	18	24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
79	15	15	15	15	15	15	36	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
80	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
81	15	15	15	18	15	15	27	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
82	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
83	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
84	15	15	24	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
85	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
86	15	15	15	15	33	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
87	15	15	15	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
88	15	15	15	15	18	15	15	15	18	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
89	21	15	15	15	21	15	15	15	21	15	21	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
90	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
91	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
92	15	15	27	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
93	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
94	15	15	15	15	-	-	15	15	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
95	18	15	-	-	-	-	15	15	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
96	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-

Nivel de tráfico alto

Ciclo	I ₁		I ₂		I ₃		I ₄		I ₅		I ₆		I ₇		I ₈		I ₉		I ₁₀	
	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂	p ₁	p ₂
1	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	39	15	18	15	18	15	36	15
2	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	42	24	63	15	39	15	30	15
3	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	15	57	39	54	15	51	15	36	15
4	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	15	72	15	45	15	69	15	27	15
5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	63	21	57	15	30	15	33	15
6	15	15	15	15	39	15	15	15	15	15	15	15	69	15	30	15	45	15	30	15

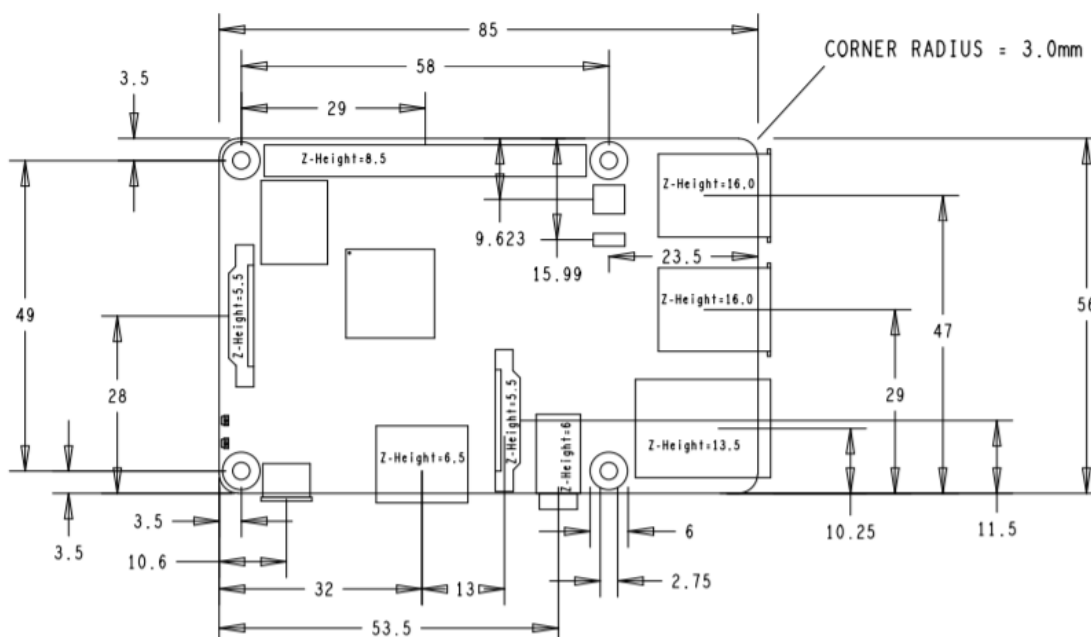
7	15	15	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	48	27	21	15	33	15	30	15
8	15	15	18	15	30	15	15	15	15	15	15	15	15	39	15	15	15	21	24	42	15
9	15	15	18	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	48	27	33	15	33	15	30	15
10	15	15	15	15	18	15	18	15	15	15	15	15	15	45	18	30	15	42	15	30	15
11	15	15	18	24	21	15	15	15	15	15	15	15	15	33	36	27	18	21	15	36	15
12	15	15	15	27	15	15	15	15	15	15	15	15	15	69	45	42	21	30	15	36	15
13	15	15	18	30	15	15	15	15	15	15	15	15	15	87	36	27	15	36	15	24	15
14	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	78	33	21	15	42	15	42	15
15	15	15	18	24	27	15	15	15	15	15	15	15	15	78	27	30	15	42	15	39	15
16	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	75	36	39	15	57	15	27	15
17	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	75	39	60	15	42	15	33	15
18	18	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	69	42	24	15	21	15	21	15
19	30	15	21	15	15	15	15	15	24	15	18	15	15	75	42	54	15	63	15	30	15
20	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	78	36	42	15	15	15	36	15
21	18	15	15	15	18	15	18	15	15	15	24	15	15	75	42	54	15	27	15	18	15
22	21	15	15	15	27	15	15	15	15	15	15	15	15	78	51	15	15	30	15	42	15
23	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	90	63	36	15	33	15	27	15
24	33	15	15	15	27	15	15	15	15	15	15	15	15	90	51	51	24	30	15	45	15
25	21	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	90	18	66	24	51	15	27	15
26	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	90	42	60	15	57	15	36	15
27	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	90	18	30	21	69	15	27	15
28	15	15	15	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	60	36	57	21	36	30	30	15
29	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	78	39	54	18	45	15	36	15
30	15	15	18	15	15	15	27	15	15	15	15	15	15	72	18	36	21	36	15	45	15
31	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	75	39	57	15	21	15	39	15
32	15	15	15	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	72	15	39	21	18	15	45	15
33	15	15	21	15	15	15	15	15	21	15	15	15	15	69	54	51	21	63	15	27	15
34	27	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	39	30	30	15	36	15
35	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	18	15	15	-	-	36	15	57	18	27	15
36	15	15	15	15	15	15	15	15	27	15	15	15	15	-	-	33	15	27	21	33	15
37	21	15	15	15	15	15	21	15	18	15	30	15	15	-	-	33	15	33	15	36	15
38	18	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	33	15	36	15	15	15
39	15	15	21	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	45	15	33	15	36	15
40	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	54	15	21	15	45	15
41	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	33	15	33	15	24	15
42	15	15	18	15	27	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	48	15	69	15	27	15
43	15	15	18	15	21	15	15	15	15	15	21	15	15	-	-	15	24	42	15	36	15
44	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	66	15	42	15	21	15
45	15	15	15	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	42	15	27	15
46	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	42	15	48	15	18	15
47	30	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	21	15	24	15	27	15
48	18	15	15	15	24	15	15	15	30	15	15	15	15	-	-	24	15	27	15	36	15
49	30	15	21	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	24	15	51	15	42	15
50	24	15	15	15	21	15	15	15	18	15	15	15	15	-	-	69	15	33	15	30	15
51	18	15	15	18	15	15	36	15	18	15	15	15	15	-	-	39	15	36	15	33	15
52	18	15	21	15	18	15	30	15	15	15	15	15	15	-	-	66	15	69	15	24	15

53	18	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	-	-	45	15	45	15	33	15
54	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	30	15	78	15	24	15
55	15	15	15	15	21	15	18	15	15	15	21	15	15	-	-	63	15	54	15	24	15
56	15	15	15	18	15	15	15	15	15	18	15	15	15	-	-	45	21	51	15	42	15
57	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	42	15	48	15
58	21	15	18	21	24	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	24	15
59	15	15	15	21	15	15	48	15	21	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	27	15
60	15	15	15	15	30	15	18	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	45	15
61	15	15	15	15	24	15	27	15	24	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	24	15
62	15	15	18	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	27	15
63	15	15	15	15	15	15	15	15	24	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	45	15
64	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	33	15
65	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	24	15
66	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	15	15	-	-	-	-	-	-	42	15
67	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
68	15	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
69	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
70	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
71	15	15	15	24	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
72	33	15	15	18	27	15	33	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
73	21	15	30	21	39	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
74	24	15	15	30	39	15	15	15	18	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
75	15	21	15	33	30	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
76	21	18	15	27	39	15	33	15	24	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
77	15	15	15	21	42	15	36	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
78	15	15	27	27	27	15	39	15	15	24	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
79	15	15	15	33	15	15	15	15	15	24	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
80	15	15	24	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
81	15	15	15	24	15	15	15	15	15	15	18	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
82	15	15	15	27	15	15	24	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
83	15	15	15	21	27	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
84	15	15	15	33	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
85	15	15	15	24	21	15	15	15	15	15	15	21	15	-	-	-	-	-	-	-	-
86	21	15	15	27	21	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
87	21	15	18	33	15	15	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
88	15	18	-	-	-	-	24	15	15	15	33	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
89	15	15	-	-	-	-	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
90	18	15	-	-	-	-	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
91	15	15	-	-	-	-	15	15	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
92	15	15	-	-	-	-	-	-	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
93	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-
95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo H. Especificaciones de componentes electrónicos seleccionados

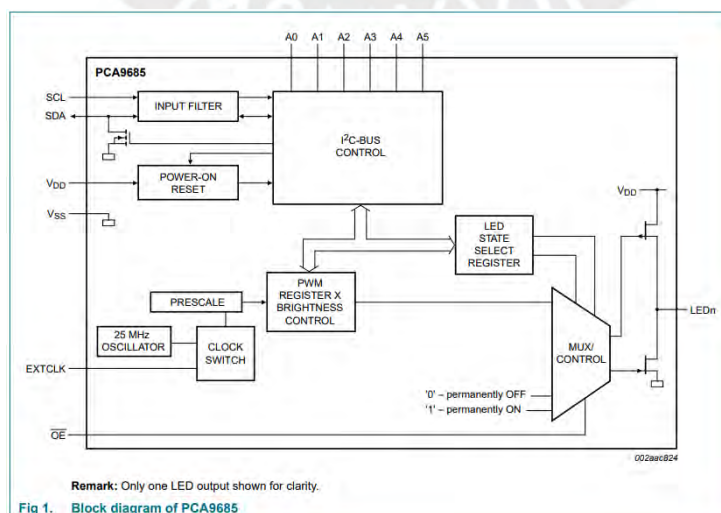
• Especificaciones de Raspberry Pi 3 B+

Processor:	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
Memory:	1GB LPDDR2 SDRAM
Connectivity:	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE ■ Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300Mbps) ■ 4 × USB 2.0 ports
Access:	Extended 40-pin GPIO header
Video & sound:	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1 × full size HDMI ■ MIPI DSI display port ■ MIPI CSI camera port ■ 4 pole stereo output and composite video port
Multimedia:	H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics
SD card support:	Micro SD format for loading operating system and data storage
Input power:	<ul style="list-style-type: none"> ■ 5V/2.5A DC via micro USB connector ■ 5V DC via GPIO header ■ Power over Ethernet (PoE)–enabled (requires separate PoE HAT)
Environment:	Operating temperature, 0–50°C
Compliance:	For a full list of local and regional product approvals, please visit www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b+
Production lifetime:	The Raspberry Pi 3 Model B+ will remain in production until at least January 2023.



- **Especificaciones de módulo PCA9685**

- 16 LED drivers. Each output programmable at:
 - ◆ Off
 - ◆ On
 - ◆ Programmable LED brightness
 - ◆ Programmable LED turn-on time to help reduce EMI
- 1 MHz Fast-mode Plus compatible I²C-bus interface with 30 mA high drive capability on SDA output for driving high capacitive buses
- 4096-step (12-bit) linear programmable brightness per LED output varying from fully off (default) to maximum brightness
- LED output frequency (all LEDs) typically varies from 24 Hz to 1526 Hz (Default of 1Eh in PRE_SCALE register results in a 200 Hz refresh rate with oscillator clock of 25 MHz.)
- Sixteen totem pole outputs (sink 25 mA and source 10 mA at 5 V) with software programmable open-drain LED outputs selection (default at totem pole). No input function.
- Output state change programmable on the Acknowledge or the STOP Command to update outputs byte-by-byte or all at the same time (default to 'Change on STOP').
- Active LOW Output Enable (\overline{OE}) input pin. LEDn outputs programmable to logic 1, logic 0 (default at power-up) or 'high-impedance' when \overline{OE} is HIGH.
- 6 hardware address pins allow 62 PCA9685 devices to be connected to the same I²C-bus
- Toggling \overline{OE} allows for hardware LED blinking
- 4 software programmable I²C-bus addresses (one LED All Call address and three LED Sub Call addresses) allow groups of devices to be addressed at the same time in any combination (for example, one register used for 'All Call' so that all the PCA9685s on the I²C-bus can be addressed at the same time and the second register used for three different addresses so that $\frac{1}{3}$ of all devices on the bus can be addressed at the same time in a group). Software enable and disable for these I²C-bus address.
- Software Reset feature (SWRST General Call) allows the device to be reset through the I²C-bus
- 25 MHz typical internal oscillator requires no external components
- External 50 MHz (max.) clock input
- Internal power-on reset
- Noise filter on SDA/SCL inputs
- Edge rate control on outputs
- No output glitches on power-up
- Supports hot insertion
- Low standby current
- Operating power supply voltage range of 2.3 V to 5.5 V
- 5.5 V tolerant inputs
- -40 °C to +85 °C operation
- ESD protection exceeds 2000 V HBM per JESD22-A114, 200 V MM per JESD22-A115 and 1000 V CDM per JESD22-C101
- Latch-up testing is done to JEDEC Standard JESD78 which exceeds 100 mA
- Packages offered: TSSOP28, HVQFN28



- **Especificaciones de módulo Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter**

Power Supply

Supply Voltage is 5V , and is divided into two way.

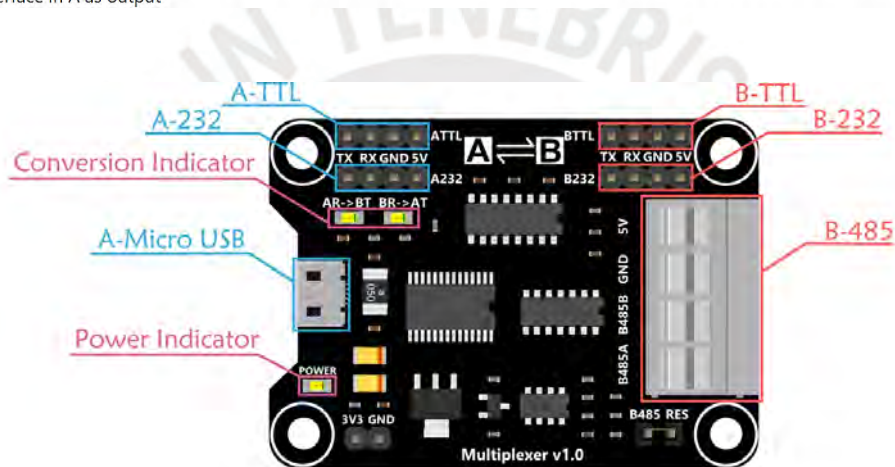
- 1.via Micro USB data wire.
- 2.Any pin 5V .
- *Note**: please do not plug two or more 5V to avoid to burn the chip. And, do not connect 5V if already connected from Micro USB.

PIN Function Description

Points to note:

- Multiplexer board is divided into Area A and Area B. Area A includes Micro USB, ATTL and A232 interfaces. Area B includes BTTL, B232, B485 interfaces. The signal can be converted between A and B.
- The signal in the same area can't be converted. For example, ATTL can't be converted to A232, but it can be converted to B232.
- Only one input in the same area, but it allows to have multiple outputs. For example, if micro USB interface in A is input, multiplexer can be allowed to have 232, 485 and TTL as outputs.

Indicator: **POWER**:power indicator **AR->BT**: The interface in A as input, the interface in B as output **BR->AT**: The interface in B as input, the interface in A as output



• *Especificaciones de router 4G modelo TP-Link TL-MR3420*



3G/4G Wireless N Router

3G/4G and WAN
for Ensured Access



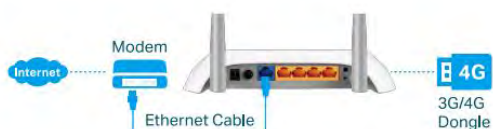
TL-MR3420



Highlights

Ensure Internet Access

With both 3G/4G and WAN connectivity, the TL-MR3420 always keeps you online. Take advantage of flexibility when choosing and setting up your network, and share a 3G/4G mobile broadband connection through wired or wireless connections.



Quick and Reliable Wi-Fi

Strong Wi-Fi speeds of up to 300Mbps are perfect for daily internet access needs to devices throughout your home.

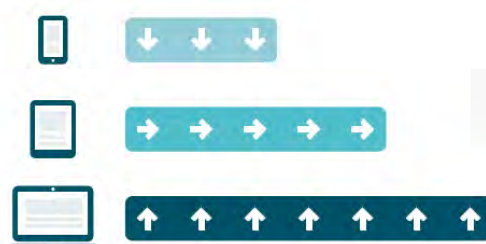


Parental Controls

Easily manage when and how connected devices can access the internet to ensure safe, responsible surfing for your whole family.

Bandwidth Control

Assign your preferred devices with more bandwidth to give them priority for bufferless streaming and lag-free gaming.



Features



Reliability

- **Wireless N Speed** – 300Mbps Wi-Fi speed meets your daily internet needs
- **802.11n** – Backward compatible with 802.11b/g products
- **Easy Bandwidth Management** – Bandwidth Control allocates necessary speed of each connected device to ensure quality of multimedia streaming

Ease of Use

- **Intuitive Web UI** – Ensures quick and simple installation without hassle
- **Fast Encryption** – One-touch WPA wireless security encryption with the WPS button
- **Hassle-free Management with Tether App** – Network management is made easy with the TP-Link Tether App, available on any Android and iOS device

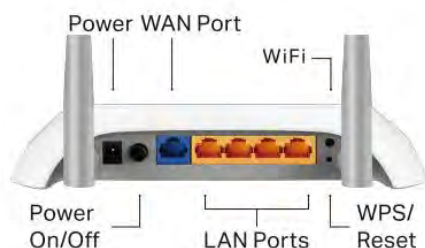
Security

- **Guest Network** – Keeps your main network secure by creating a separate network for friends and visitors
- **Access Control** – Establishes a whitelist or blacklist to allow or restrict certain devices to access the internet
- **Parental Controls** – Restricts internet access time and contents for children devices
- **Encryptions for Secure Network** – WPA-PSK and WPA2-PSK encryptions provide active protection against security threats

Specifications

Hardware

- **Ethernet Ports:** 4 10/100Mbps LAN Ports, 1 10/100Mbps WAN Port
- **Buttons:** Power On/Off Button, Wi-Fi On/Off Button, WPS/Reset Button
- **Antennas:** Two Fixed Omni-Directional Antennas
- **External Power Supply:** 12V/1A
- **Dimensions (W x D x H):** 8.0 x 5.4 x 1.7 in. (204 x 138 x 44mm)



Wireless

- **Wireless Standards:** IEEE 802.11b/g/n
- **Frequency:** 2.4GHz
- **Signal Rate:** 300Mbps
- **Transmit Power:** < 20dBm
- **Reception Sensitivity:** 2.4GHz:
 - 270M: -70dBm@10% PER
 - 130M: -73dBm@10% PER
 - 108M: -74dBm@10% PER
 - 54M: -75dBm@10% PER
 - 11M: -86dBm@10% PER
 - 6M: -92dBm@10% PER
 - 1M: -95dBm@10% PER
- **Wireless Function:** Enable/Disable Wireless Radio, WDS Bridge, WMM, Wireless Statistics
- **Wireless Security:** 64/128-bit WEP, WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA2-PSK encryptions

Software

- **Quality of Service:** WMM, Bandwidth Control
- **WAN Type:** Dynamic IP/Static IP/PPPoE/PPTP(Dual Access)/L2TP(Dual Access)
- **Management:** Access Control, Local Management, Remote Management
- **DHCP:** Server, DHCP Client List, Address Reservation
- **Port Forwarding:** Virtual Server, Port Triggering, UPnP, DMZ
- **Dynamic DNS:** DynDns, NO-IP
- **Access Control:** Parental Controls, Local Management Control, Host List, White List, Black List
- **Firewall Security:** DoS, SPI Firewall, IP and MAC Address Binding
- **Protocols:** IPv4, IPv6
- **Guest Network:** 2.4GHz guest network

Others

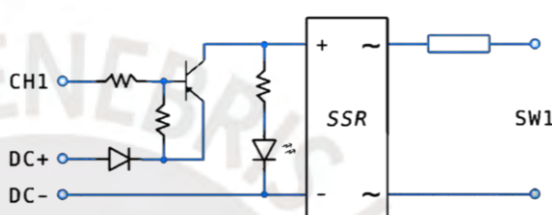
- **Certification:** CE, RoHS
- **System Requirements:** Microsoft Windows 98SE/NT/2000/XP/Vista™/7/8/10, MAC OS, NetWare, UNIX or Linux
Internet Explorer 11, Firefox 12.0, Chrome 20.0, Safari 4.0, or other Java-enabled browser
- **Environment:**
 - Operating Temperature: 0°C~40°C (32°F ~104°F)
 - Storage Temperature: -40°C~70°C (-40°F ~158°F)
 - Operating Humidity: 10%~90% non-condensing
 - Storage Humidity: 5%~90% non-condensing
- **Package Contents**
 - 3G/4G Wireless N Router TL-MR3420
 - Power Supply Unit
 - Ethernet Cable
 - Quick Installation Guide

- **Especificaciones de módulo de relé de estado sólido SSR 5V de 8 canales hasta 2A en alterna - Modelo SSR: OMRON G3MB-202P-DC5**

CARACTERÍSTICA

Modelo SSR: OMRON G3MB-202P-DC5

- ☒ Voltaje de Alimentación: 5V DC
- ☒ Corriente de trabajo: 12.5 mA
- ☒ Voltaje de control: ON (0V-1.5V) OFF (2.5V-5V)
- ☒ Voltaje de la Carga: 240VAC máx.
- ☒ Corriente de la carga: 2A máx, por relé
- ☒ N° de Relays: 1
- ☒ Salida Normalmente Abierto (NO)
- ☒ Tiempo de acción: 1 ms
- ☒ Cruce por Cero



OMRON®

Solid State Relay

G3MB

- Switches 2-A loads at 25°C
- DC input with AC output
- Space-saving design, ideal for high-density PCB applications
- Bottom is approximately three times smaller than Omron's G3M relay
- UL 508 recognized, CSA certified



Ordering Information

To Order: Select the part number and add the desired coil voltage rating, (e.g., G3MB-202P-DC12).

Isolation	Rated load voltage	Zero cross function	Rated input voltage	Part number
				Snubber circuit/No indicator
Phototriac	2 A at 100 to 120 VAC	No	5 VDC	G3MB-102PL-DC5
			12 VDC	G3MB-102PL-DC12
			24 VDC	G3MB-102PL-DC24
	2 A at 100 to 240 VAC	Yes	5VDC	G3MB-202P-DC5
			12 VDC	G3MB-202P-DC12
			24 VDC	G3MB-202P-DC24
		No	5 VDC	G3MB-202PL-DC5
			12 VDC	G3MB-202PL-DC12
			24 VDC	G3MB-202PL-DC24

Specifications

■ INPUT RATINGS

Ambient temperature 25° (77°F)

Type	Rated voltage	Operating voltage range	Impedence	Voltage Level	
				Must operate voltage	Must release voltage
G3MB-102PL	5 VDC	4 to 6 VDC	440 Ω, ±20%	4 VDC max.	1 VDC min.
G3MB-202P	12 VDC	9.60 to 14.40 VDC	1 kΩ, ±20%	9.60 VDC max.	1 VDC min.
G3MB-202PL	24 VDC	19.20 to 28.80 VDC	2.20 kΩ, ±20%	19.20 VDC max.	1 VDC min.

Note: Each model has 5 VDC, 12 VDC, and 24 VDC input versions.

■ OUTPUT RATINGS

Type	Applicable load			
	Rated load voltage	Load voltage range	Load current	Surge current
G3MB-102PL	100 to 120 VAC, 50/60 Hz	75 to 132 VAC, 50/60 Hz	0.10 to 2 A	30 A (60 Hz, 1 cycle)
G3MB-202P	120 to 240 VAC, 50/60 Hz	75 to 264 VAC, 50/60 Hz	0.10 to 2 A	30 A (60 Hz, 1 cycle)
G3MB-202PL	100 to 240 VAC, 50/60 Hz	75 to 264 VAC, 50/60 Hz	0.10 to 2 A	30 A (60 Hz, 1 cycle)

■ CHARACTERISTICS

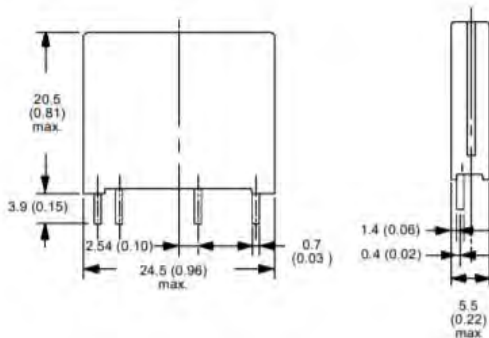
Type	G3MB-102PL	G3MB-202P	G3MB-202PL
Operate time	1 ms max.	1/2 of load power source cycle + 1 ms max.	1 ms max.
Release time	1/2 of load power source cycle + 1 ms max.		
Output ON voltage drop	1.60 V (RMS) max.		
Leakage current	1 mA max. at 100 VAC	1 mA max. at 100 VAC, 1.50 mA at 200 VAC	
Non-repetitive peak surge	30 A		
Output	PIV (V _{DRM})	600 V	
	di/dt	40 A/μs	
	dv/dt	100 V/μs	
	I ² t	4 A ² s	
Junction temperature (T _j)	125°C (257°F) max.		
Insulation resistance	1,000 MΩ min. at 500 VDC		
Dielectric strength	2500 VAC, 50/60 Hz for 1 minute; 3750 VAC max., 1 second		
Vibration	Malfunction	10 to 55 Hz, 0.75 mm (0.03 in) double amplitude, approx. 5 G	
Shock	Malfunction	Approx. 100 G	
Ambient temperature	Operating	-30° to 80°C (-22° to 176°F) with no icing	
	Storage	-30° to 100°C (-22° to 212°F) with no icing	
Humidity	Operating	45% to 85% RH	
Weight	Approx. 5 g (0.18 oz)		

Note: Data shown are of initial value.

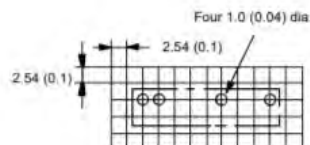
Dimensions

Unit: mm (inch)

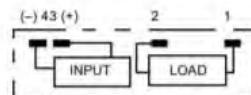
■ RELAYS



PCB Dimensions (Bottom view)



Terminal Arrangement/ Internal Connections (Bottom view)



• **Especificaciones de fuente de alimentación conmutada 100W 12VDC 8.5 A**

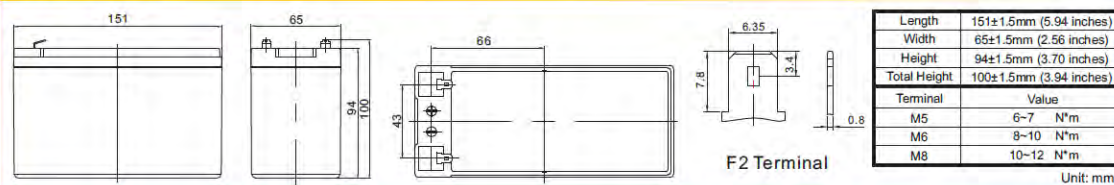
MODEL		S-100-5	S-100-12	S-100-24	S-100-48
OUTPUT	DC voltage	5V	12V	24V	48V
	Rated current	20A	8.5A	4.5A	2.2A
	Current range	0 ~ 20A	0 ~ 8.5A	0 ~ 4.5A	0 ~ 2.2A
	Rated power	100W	102W	108W	105.8W
	Ripple & noise	100mVp-p	120mVp-p	150mVp-p	200mVp-p
	Voltage ADJ. range	±10%	±10%	±10%	±10%
	Setup,rise,hold time	1000ms, 30ms,20ms/230VAC			
INPUT	Voltage range	85~132VAC / 176~264VAC selected by switch			230~370VDC
	Frequency range	47 ~ 63Hz			
	Efficiency	79%	82%	82%	83%
	Ac current	2.4A/115VAC 1.2A/230VAC			
	Inrush current	Cold start 45A			
	Leakage current	<2mA/240VAC			
PROTECTION	Overload	115 ~ 150% rated output power			
		Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed			
	Over voltage	5.8~6.8V	14~16.5V	28~32V	55~64V
		Protection type :Shut off			
ENVIRONMENT	Working temp,humidity	-10°C ~ +60°C,20% ~ 90% RH non-condensing			
	Storage temp,humidity	-20°C ~ +80°C,10% ~ 95% RH non-condensing			
	Withstand vibration	10 ~ 500Hz, 2G 10min/1cycle,period for 60min. each axes			
SAFETY & EMC	Safety standard	Design refer to UL1012,EN60950-1,EN61347-1,EN-61347-2 approved			
	Withstand voltage	I/P-O/P:1.5KVAC I/P-FG:1.5KVAC O/P-FG:0.5KVAC			
	Isolation resistance	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms/500VDC			
	EMC standard	EN55015,EN55022,EN55024,EN61000-3-2,EN61000-3-3,EN61547 approved			
OTHERS	MTBF	400K hrs			
	Dimension	199*98*38mm (L*W*H)			
NOTE	1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature.				
	2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor.				
	3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.				

- *Especificaciones de batería Ritar RT1270*

Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Nominal Capacity	7Ah@20hour-rate to 1.75V per cell @25°C
Weight	Approx. 1.95 Kg (Tolerance ±5.0%)
Internal Resistance	Approx. 32 mΩ
Terminal	F1/F2
Max. Discharge Current	70A (5 sec)
Short Circuit Current	350A
Design Life	6~8 years (Float charging)
Max. Charging Current	2.1 A
Reference Capacity	C3 5.42AH C5 6.11AH C10 6.54AH C20 7.00AH
Standby Use Voltage	13.7 V~13.9 V @ 25°C Temperature Compensation: -3mV/°C/Cell
Cycle Use Voltage	14.6 V~14.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -4mV/°C/Cell
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C ± 5°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for up to 6 months at 25°C and then recharging is recommended. Monthly Self-discharge ratio is less than 3% at 25°C. Please charge batteries before using.
Container Material	A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.

Dimensions



- *Especificaciones de cargador de baterías ATEK 4000 - 6/12V 4A*

Specification :

Operation Voltage	220V – 240V
Operation AC Frequency	50 Hz
Max Charging Current	4Amp
Charging stages	4 Stages
Battery Voltage	6V / 12V
Battery Capacity	5Ah - 120Ah
Charging stage memory time	12 Hours
Operation Temperature	0 – 40 °C
IP rating	IP65

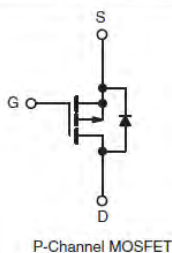
ATEK 4000 is a smart charger based on the PWM high frequency switching power supply (AC-DC) technology and MCU (with 12bit ADC) control, featuring high efficiency, low loss, small size, light weight, LCD display interface, and complete protection function. It is the best choice for car, home and industrial battery charging and has the following features:

- Identify 6V/12V batteries automatically.
- Adopt 4-stage smart charging principle: pre-charge → constant current → constant voltage → float charge;
- Four charging modes are available: 6V/1A (slow), 12V/1A (slow), 12V/4A (fast), 12V/4A (low temperature)
- LCD display: analog graph, figure & character display, ensuring more intuitive, clear and simplified operation;
- Wrong battery prompt, reverse polarity prompt and protection, over temperature protection, power-down memory, short circuit protection,
- Separate button is available to select charging mode.

• *Especificaciones de Mosfet IRF9630*

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY	
V_{DS} (V)	- 200
$R_{DS(on)}$ (Max.) (Ω)	$V_{GS} = -10$ V 0.80
Q_g (Max.) (nC)	29
Q_{gs} (nC)	5.4
Q_{gd} (nC)	15
Configuration	Single



P-Channel MOSFET

FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- P-Channel
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC



DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.



ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF9630PbF SiHF9630-E3
SnPb	IRF9630 SiHF9630

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25$ °C, unless otherwise noted)					
PARAMETER		SYMBOL	LIMIT	UNIT	
Drain-Source Voltage		V_{DS}	- 200	V	
Gate-Source Voltage		V_{GS}	± 20		
Continuous Drain Current	V_{GS} at - 10 V	I_D	$T_C = 25$ °C	- 6.5	A
			$T_C = 100$ °C	- 4.0	
Pulsed Drain Current ^a		I_{DM}	- 26		
Linear Derating Factor			0.59	W/°C	
Single Pulse Avalanche Energy ^b		E_{AS}	500	mJ	
Repetitive Avalanche Current ^a		I_{AR}	- 6.4	A	
Repetitive Avalanche Energy ^a		E_{AR}	7.4	mJ	
Maximum Power Dissipation	$T_C = 25$ °C	P_D	74	W	
Peak Diode Recovery dV/dt ^c		dV/dt	- 5.0	V/ns	
Operating Junction and Storage Temperature Range		T_J, T_{stg}	- 55 to + 150	°C	
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s		300 ^d		
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10	lbf · in	
			1.1	N · m	

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = -50$ V, starting $T_J = 25$ °C, $L = 17$ mH, $R_g = 25$ Ω , $I_{AS} = -6.5$ A (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq -6.5$ A, $dI/dt \leq 120$ A/ μ s, $V_{DD} \leq V_{DS}$, $T_J \leq 150$ °C.
- 1.6 mm from case.

THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	R_{thJA}	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	R_{thCS}	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	R_{thJC}	-	1.7	

SPECIFICATIONS ($T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static						
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = -250\text{ }\mu\text{A}$	-200	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_D = -1\text{ mA}$	-	-0.24	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = -250\text{ }\mu\text{A}$	-2.0	-	-4.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$	-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = -200\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	-100	μA
		$V_{DS} = -160\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 125\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	-500	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = -10\text{ V}, I_D = -3.9\text{ A}^b$	-	-	0.80	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{DS} = -50\text{ V}, I_D = -3.9\text{ A}^b$	2.8	-	-	S
Dynamic						
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V},$ $V_{DS} = -25\text{ V},$ $f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5	-	700	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}		-	200	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	40	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = -10\text{ V}$ $I_D = -6.5\text{ A},$ $V_{DS} = -160\text{ V},$ see fig. 6 and 13 ^b	-	-	29	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	-	5.4	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}		-	-	15	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = -100\text{ V}, I_D = -6.5\text{ A},$ $R_g = 12\text{ }\Omega, R_D = 15\text{ }\Omega$, see fig. 10 ^b	-	12	-	ns
Rise Time	t_r		-	27	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	28	-	
Fall Time	t_f		-	24	-	
Internal Drain Inductance	L_D	Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S		-	7.5	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p - n junction diode 	-	-	-6.5	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}		-	-	-26	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_S = -6.5\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}^b$	-	-	-6.5	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}, I_F = -6.5\text{ A}, di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	200	300	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		-	1.9	2.9	μC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)				

Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
b. Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.

TYPICAL CHARACTERISTICS (25 °C, unless otherwise noted)

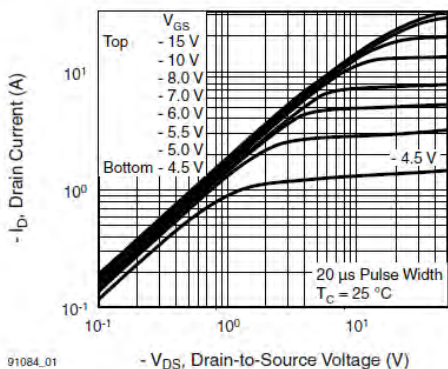


Fig. 1 - Typical Output Characteristics, $T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$

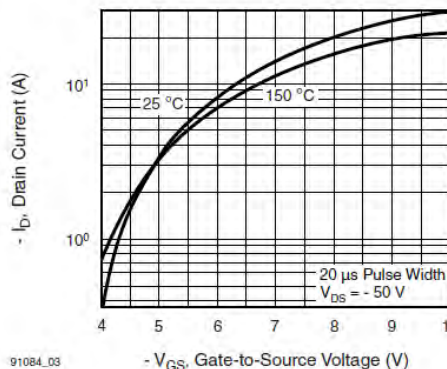


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

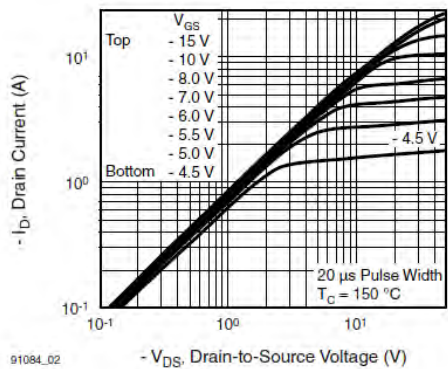


Fig. 2 - Typical Output Characteristics, $T_C = 150\text{ }^\circ\text{C}$

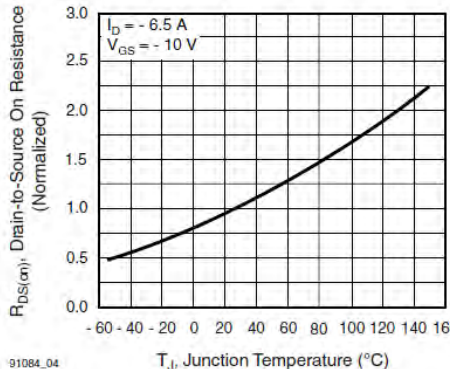


Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature



- *Especificaciones de Diodo Standard 1000V 6A*

6A05 - 6A10

PRV : 50 - 1000 Volts

Io : 6.0 Amperes

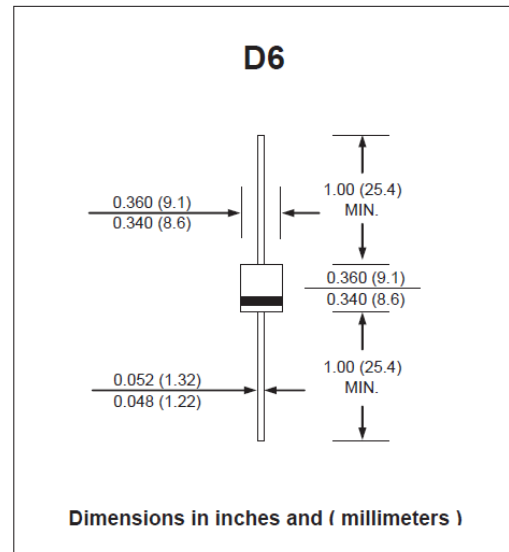
FEATURES :

- * High current capability
- * High surge current capability
- * High reliability
- * Low reverse current
- * Low forward voltage drop
- * Pb / RoHS Free

MECHANICAL DATA :

- * Case : Void-free molded plastic body
- * Epoxy : UL94V-O rate flame retardant
- * Lead : Axial lead solderable per MIL-STD-202, Method 208 guaranteed
- * Polarity : Color band denotes cathode end
- * Mounting position : Any
- * Weight : 2.1 grams

SILICON RECTIFIER DIODES



MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specific.

RATING	SYMBOL	6A05	6A1	6A2	6A4	6A6	6A8	6A10	UNIT
Maximum Repetitive Peak Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V _{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Current 0.375"(9.5mm) Lead Length Ta = 60 °C	I _{F(AV)}	6.0							A
Peak Forward Surge Current 8.3ms Single half sine wave Superimposed on rated load (JEDEC Method)	I _{FSM}	300							A
Maximum Instantaneous Forward Voltage at I _F = 6 A	V _F	0.95						1.0	V
Maximum DC Reverse Current at rated DC Blocking Voltage Ta = 25 °C Ta = 100 °C	I _R	5.0							μA
	I _{R(H)}	1.0							mA
Typical junction capacitance at 4.0V, 1MHz	C _J	150							pF
Typical Thermal Resistance (1)	R _{θJA}	20							°C/W
Junction Temperature Range	T _J	- 50 to + 150							°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	- 50 to + 150							°C

Note :

- (1) Thermal resistance from junction to ambient and from junction to lead at 0.375" (9.5mm) lead length, P.C.B. mounted with 1.1" x 1.1" (30 x 30mm) copper pads

RATING AND CHARACTERISTIC CURVES (6A05 - 6A10)

FIG. 1 - MAXIMUM FORWARD CURRENT DERATING CURRENT

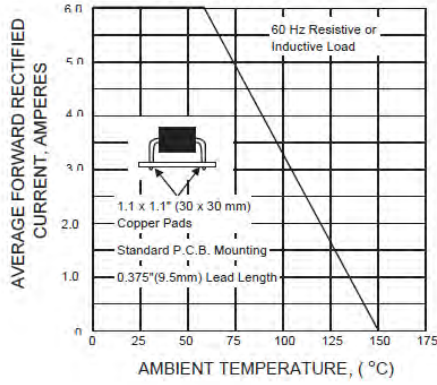


FIG. 2 - TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS

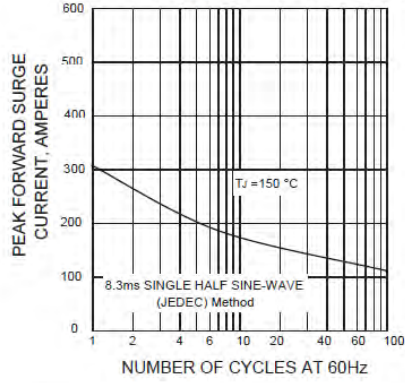


FIG. 3 - TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS

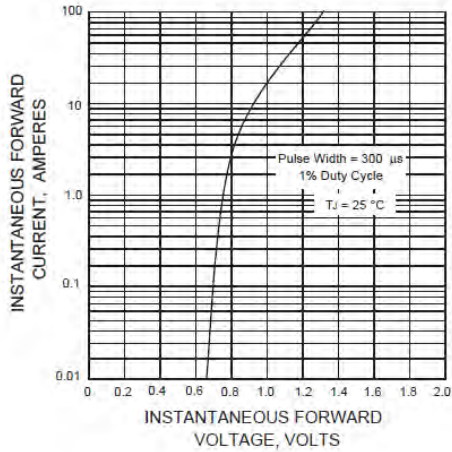
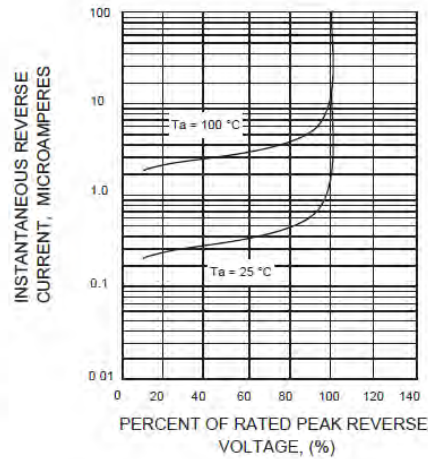


FIG. 4 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS



- *Especificaciones de módulo convertidor de voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596*

LM2596

3.0 A, Step-Down Switching Regulator

The LM2596 regulator is monolithic integrated circuit ideally suited for easy and convenient design of a step-down switching regulator (buck converter). It is capable of driving a 3.0 A load with excellent line and load regulation. This device is available in adjustable output version and it is internally compensated to minimize the number of external components to simplify the power supply design.

Since LM2596 converter is a switch-mode power supply, its efficiency is significantly higher in comparison with popular three-terminal linear regulators, especially with higher input voltages.

The LM2596 operates at a switching frequency of 150 kHz thus allowing smaller sized filter components than what would be needed with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-lead TO-220 package with several different lead bend options, and D²PAK surface mount package.

The other features include a guaranteed $\pm 4\%$ tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and $\pm 15\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 80 μA (typical) standby current. Self protection features include switch cycle-by-cycle current limit for the output switch, as well as thermal shutdown for complete protection under fault conditions.

Features

- Adjustable Output Voltage Range 1.23 V – 37 V
- Guaranteed 3.0 A Output Load Current
- Wide Input Voltage Range up to 40 V
- 150 kHz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability
- Low Power Standby Mode, typ 80 μA
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection
- Internal Loop Compensation
- Moisture Sensitivity Level (MSL) Equals 1
- Pb-Free Packages are Available

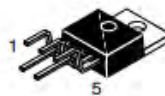
Applications

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter (Buck-Boost)
- Negative Step-Up Converters
- Power Supply for Battery Chargers



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



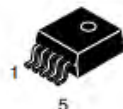
TO-220
TV SUFFIX
CASE 314B

Heatsink surface connected to Pin 3



TO-220
T SUFFIX
CASE 314D

Pin 1. V_{in}
2. Output
3. Ground
4. Feedback
5. ON/OFF



D²PAK
D2T SUFFIX
CASE 936A

Heatsink surface (shown as terminal 6 in case outline drawing) is connected to Pin 3

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 23 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 23 of this data sheet.

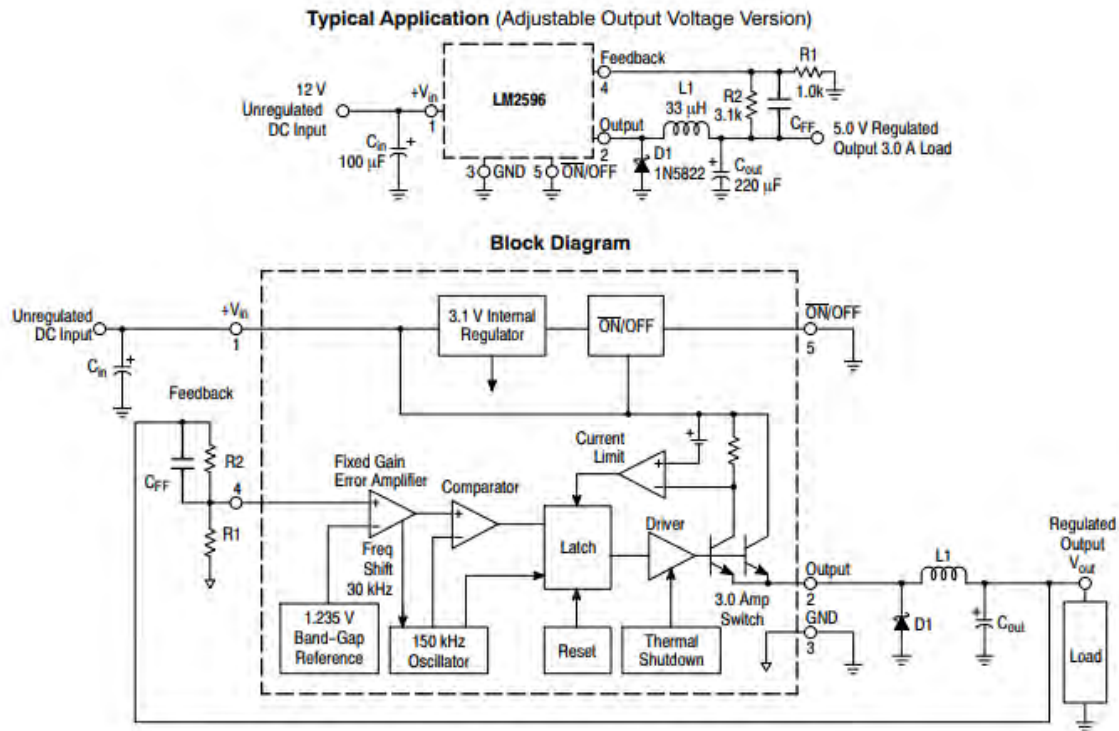


Figure 1. Typical Application and Internal Block Diagram

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Supply Voltage	V_{in}	45	V
ON/OFF Pin Input Voltage	-	$-0.3\text{ V} \leq V \leq +V_{in}$	V
Output Voltage to Ground (Steady-State)	-	-1.0	V
Power Dissipation			
Case 314B and 314D (TO-220, 5-Lead)	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	5.0	$^{\circ}\text{C/W}$
Case 936A (D ² PAK)	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	70	$^{\circ}\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	5.0	$^{\circ}\text{C/W}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$
Minimum ESD Rating (Human Body Model: C = 100 pF, R = 1.5 k Ω)	-	2.0	kV
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	-	260	$^{\circ}\text{C}$
Maximum Junction Temperature	T_J	150	$^{\circ}\text{C}$

PIN FUNCTION DESCRIPTION

Pin	Symbol	Description (Refer to Figure 1)
1	V_{in}	This pin is the positive input supply for the LM2596 step-down switching regulator. In order to minimize voltage transients and to supply the switching currents needed by the regulator, a suitable input bypass capacitor must be present (C_{in} in Figure 1).
2	Output	This is the emitter of the internal switch. The saturation voltage V_{sat} of this output switch is typically 1.5 V. It should be kept in mind that the PCB area connected to this pin should be kept to a minimum in order to minimize coupling to sensitive circuitry.
3	GND	Circuit ground pin. See the information about the printed circuit board layout.
4	Feedback	This pin is the direct input of the error amplifier and the resistor network R2, R1 is connected externally to allow programming of the output voltage.
5	ON/OFF	It allows the switching regulator circuit to be shut down using logic level signals, thus dropping the total input supply current to approximately 80 μ A. The threshold voltage is typically 1.6 V. Applying a voltage above this value (up to $+V_{in}$) shuts the regulator off. If the voltage applied to this pin is lower than 1.6 V or if this pin is left open, the regulator will be in the "on" condition.

OPERATING RATINGS (Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Operating Junction Temperature Range	T_J	-40 to +125	$^{\circ}$ C
Supply Voltage	V_{in}	4.5 to 40	V

SYSTEM PARAMETERS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS Specifications with standard type face are for $T_J = 25^{\circ}$ C, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range -40° C to $+125^{\circ}$ C

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
LM2596 (Note 1, Test Circuit Figure 15)					
Feedback Voltage ($V_{in} = 12$ V, $I_{Load} = 0.5$ A, $V_{out} = 5.0$ V,)	V_{FB_nom}		1.23		V
Feedback Voltage (8.5 V $\leq V_{in} \leq 40$ V, 0.5 A $\leq I_{Load} \leq 3.0$ A, $V_{out} = 5.0$ V)	V_{FB}	1.193 1.18		1.267 1.28	V
Efficiency ($V_{in} = 12$ V, $I_{Load} = 3.0$ A, $V_{out} = 5.0$ V)	η	-	73	-	%
Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Feedback Bias Current ($V_{out} = 5.0$ V)	I_b		25	100 200	nA
Oscillator Frequency (Note 2)	f_{osc}	135 120	150	165 180	kHz
Saturation Voltage ($I_{out} = 3.0$ A, Notes 3 and 4)	V_{sat}		1.5	1.8 2.0	V
Max Duty Cycle "ON" (Note 4)	DC		95		%
Current Limit (Peak Current, Notes 2 and 3)	I_{CL}	4.2 3.5	5.6	6.9 7.5	A
Output Leakage Current (Notes 5 and 6) Output = 0 V Output = -1.0 V	I_L		0.5 6.0	2.0 20	mA
Quiescent Current (Note 5)	I_Q		5.0	10	mA
Standby Quiescent Current (ON/OFF Pin = 5.0 V ("OFF")) (Note 6)	I_{stby}		80	200 250	μ A

ON/OFF PIN LOGIC INPUT

Threshold Voltage			1.6		V
$V_{out} = 0$ V (Regulator OFF)	V_{IH}	2.2 2.4			V
$V_{out} =$ Nominal Output Voltage (Regulator ON)	V_{IL}			1.0 0.8	V

ON/OFF Pin Input Current

ON/OFF Pin = 5.0 V (Regulator OFF)	I_{IH}	-	15	30	μ A
ON/OFF Pin = 0 V (regulator ON)	I_{IL}	-	0.01	5.0	μ A

- External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the Figure 15 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section.
- The oscillator frequency reduces to approximately 30 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output voltage to drop approximately 40% from the nominal output voltage. This self protection feature lowers the average dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.
- No diode, inductor or capacitor connected to output (Pin 2) sourcing the current.
- Feedback (Pin 4) removed from output and connected to 0 V.
- Feedback (Pin 4) removed from output and connected to +12 V to force the output transistor "off".
- $V_{in} = 40$ V.

- **Especificaciones de llave termomagnética Easy 9 MCB 2x16A**

Ficha técnica del producto

Características

EZ9F56216

Interruptor termomagnético Riel
Easy9-2P-16A-10kA-Curva C



Principal

Gama	Easy9
Aplicación del dispositivo	Distribución
Tipo de producto o componente	Interruptor automático en miniatura
Nombre corto del dispositivo	Easy9 MCB
Poles	2P
Número de polos protegidos	2
Corriente nominal (In)	16 A
Tipo de red	CA
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	C
Poder de corte	10000 A Icn en 220 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1 6000 A Icn at 400 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60898-1
Apto para seccionamiento	Yes conforming to IEC 60898-1

Complementario

Frecuencia de red	50/60 Hz
[Ue] tensión asignada de empleo	220 V CA 50/60 Hz 400 V AC 50/60 Hz
Límite de enlace magnético	5...10 x In
[Ics] poder de corte en servicio	6 kA 100 % x Icn en 230 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1
[Ui] tensión asignada de aislamiento	500 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	4 kV conforming to IEC 60898-1
Indicador de posición del contacto	Si
Tipo de control	Maneta
Señalizaciones en local	Sin
Tipo de montaje	Ajustable en clip

Tipo de montaje	Carril DIN
Pasos de 9 mm	4
Altura	81 mm
Anchura	36 mm
Profundidad	66.5 mm
Color	Grey (RAL 7035)
Endurancia mecánica	10000 ciclos
Durabilidad eléctrica	4000 cycles
Conexiones - terminales	Tunnel type terminal (top or bottom) 1...25 mm ² rigid Tunnel type terminal (top or bottom) 1...16 mm ² flexible
Par de apriete	2 N.m top or bottom
Protección contra fugas a tierra	Sin

Entorno

Normas	IEC 60898-1
Certificaciones de producto	CE
Grado de protección IP	IP20 conforming to IEC 60529
Grado de contaminación	2
Tropicalización	2
Humedad relativa	95 % en -5...60 °C
Temperatura ambiente de funcionamiento	-5...60 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...85 °C

Unidades de embalaje

Tipo de Unidad de Paquete 1	PCE
Número de Unidades en el Paquete 1	1
Paquete 1 Peso	210 g
Paquete 1 Altura	7.6 cm
Paquete 1 ancho	3.6 cm
Paquete 1 Largo	8.5 cm
Paquete 2 Peso	1.32 kg
Paquete 3 Peso	15.12 kg

Sostenibilidad de la oferta

Estado de oferta sostenible	Producto Green Premium
Reglamento REACH	Declaración de REACH
Directiva RoHS UE	Conforme Declaración RoHS UE
Sin mercurio	Sí
Información sobre exenciones de RoHS	Sí
Normativa de RoHS China	Declaración RoHS China Producto fuera del ámbito de RoHS China. Declaración informativa de sustancias
Comunicación ambiental	Perfil ambiental del producto
RAEE	En el mercado de la Unión Europea, el producto debe desecharse de acuerdo con un sistema de recolección de residuos específico y nunca terminar en un contenedor de basura.

Garantía contractual

Periodo de garantía	18 meses
---------------------	----------

Anexo I. Especificaciones de componentes mecánicos seleccionados

- *Especificaciones de caja eléctrica PCJ181610L*

Application

- Designed to insulate and protect controls and componets in both indoor and outdoor conditions
- Ideal for industrial pump controls, waste water, irrigation control along with solar/wind and chemical plants

Standards

- UL 508A Type 1, 2, 3, 4, 4X, 12 and 13
- CSA Type 1, 2, 3, 4, 4X, 12 and 13
- **Complies with**
 - NEMA Type 1, 2, 3, 4, 4X, 12 and 13
 - IEC 60529, IP66
 - Flamability V-O per UL 94
 - UV rating (f1) per UL746C - UV stabilized for outdoor use
 - Compliant with RoHS directive

Construction

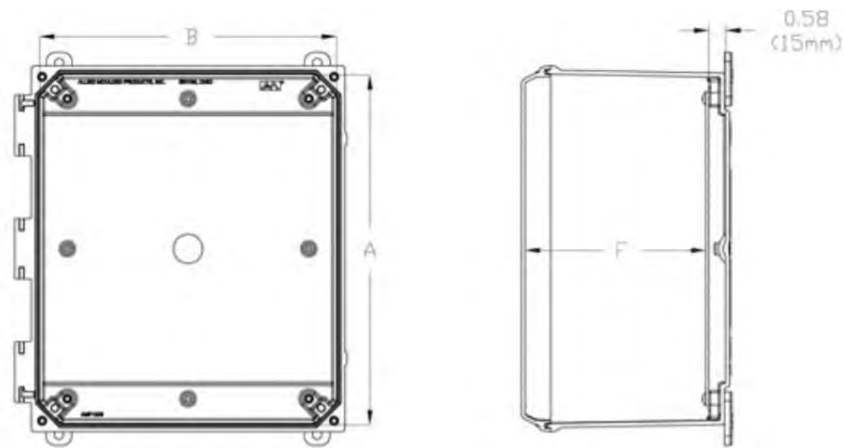
- Injection moulded polycarbonate thermoplastic enclosure with matching cover is easily punched, cut, or drilled
- Enhanced UV inhibitors protect against outdoor weathering
- Threaded brass inserts are provided for optional inner panel or terminal kit mounting. Mounting hardware is included
- Stainless steel 316 screw fasteners
- Door fasteners include a provision for padlocking on Snap Latches
- Enclosure available with clear Polycarbonate cover
- Molded hinge with 316 stainless steel pin
- Captive oil resistant gasket provides a positive seal
- Available with Polycarbonate flange or foot mount brackets for multi-directional mounting
- Operating temperatures between 130°C and - 35 °C (266°F to - 31 °F)
- Impact index of 16 J (12 ft/lb)
- For corrosion resistance information, please refer to table in the Technical Information section

Finish

- Polycarbonate material has a Light gray finish
- Optional inner panels are available in white powder coated finished steel or unfinished aluminum, or Fiberglass

Accessories

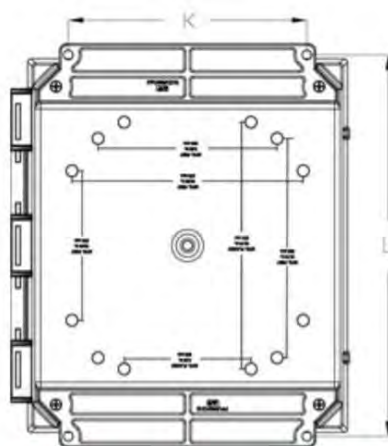
- Additional Inner Panels
- Pole Mounting Kit
- Moulded Replacement Polycarbonate Flange
- Swing Panel
- PJ/PJU/PCJ Replacement Hardware Kits
- Moulded Replacement Polycarbonate Feet



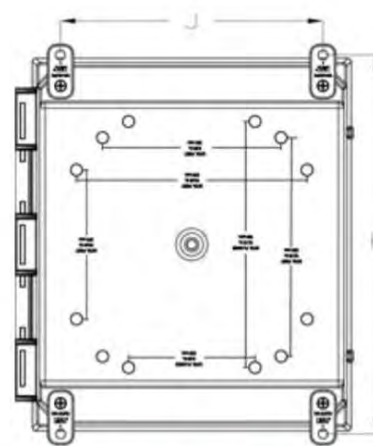
NOTE: COVER REMOVED FOR CLARITY

Front View

Side View



Rear View - Flanged Mount



Rear View - Foot Mount

Mounting Feet

Solid Cover Mounting Feet Part No.	Clear Cover Mounting Feet Part No.	Overall Dimensions			Panel Dimensions		Mounting Centers		Optional Steel Inner Panel Part No.
		A	B	C	D	E	J	H	
PCJ664H	PCJ664CCH	5.93	6.16	3.98	4.81	4.81	4.91	6.75	PCJR0505
PCJ864H	PCJ864CCH	7.94	6.16	3.98	6.75	4.88	4.91	8.75	PCJR0705
PCJ884H	PCJ884CCH	7.94	8.15	3.98	6.75	6.88	6.91	8.75	PCJR0808
PCJ1082H	PCJ1082CCH	9.93	8.15	2.70	8.75	6.88	6.91	10.75	PCJR0907
PCJ1084H	PCJ1084CCH	9.93	8.15	3.98	8.75	6.88	6.91	10.75	PCJR0907
PCJ1086H	PCJ1086CCH	9.93	8.15	5.98	8.75	6.88	6.91	10.75	PCJR0907
PCJ12104H	PCJ12104CCH	11.92	10.15	3.98	10.75	8.88	8.82	12.70	PCJR1109
PCJ12106H	PCJ12106CCH	11.92	10.15	5.98	10.75	8.88	8.82	12.70	PCJR1109
PCJ14126H	PCJ14126CCH	13.94	12.16	5.98	12.75	10.88	10.82	14.70	PCJR1311
PCJ16148H	PCJ16148CCH	15.98	13.98	7.81	14.75	12.88	11.47	17.91	14R1513
PCJ181610H	PCJ181610CCH	18.04	16.04	9.81	16.88	14.88	13.72	19.91	P1868

- *Especificaciones de tubo cuadrado LAC - 100 mm x 2.50 mm x 6 m*

Descripción

Tubos electrosoldados fabricados con acero al carbono, laminado en caliente, utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica de alta frecuencia.

Propiedades mecánicas

Propiedad	Valor
Límite de Fluencia mínimo	269 MPa
Resistencia a la Tracción mínimo	310 MPa
Elongación Probeta 8"	25.0 % mínimo

Dimensiones

TUBO CUADRADO A500			
Dimensiones		Espesor	Peso Teórico
mm	pulg	mm	Kg/m
25 x 25	1" x 1"	1.5	1.061
		2	1.460
30 x 30	1 1/4" x 1 1/4"	1.5	1.300
		2	1.700
40 x 40	1 1/2" x 1 1/2"	1.5	1.770
		2	2.244
		3	3.320
50 x 50	2" x 2"	1.5	2.250
		2	3.122
		2.5	3.872
		3	4.316
75 x 75	3" x 3"	2	4.500
		2.5	5.560
		3	6.810
100 x 100	4" x 4"	2	6.165
		2.5	7.675
		3	9.174
		4	12.133
		4.5	13.594
		6	16.980
125 x 125	5" x 5"	3	11.310
		4	14.870
		4.5	16.620
		6	21.690
150 x 150	6" x 6"	3	13.670
		4.5	20.8
		6	27.386

* Equivalencias de conversión son aproximadas.

Anexo J. Cotizaciones

• Cotización de Raspberry Pi 3 B+

The screenshot shows the Mouser Electronics website's shopping cart page. The browser address bar shows 'mouser.pe/Cart/'. The page header includes navigation links for 'Productos', 'Fabricantes', 'Servicios y herramientas', 'Recursos técnicos', and 'Ayuda'. The main content area is titled 'CARRITO DE COMPRAS' and contains a table with one item:

Clasificar	Detalle de los productos	Descripción	Cantidad	Disponibilidad	Precio unitario (PEN)	Precio ext. (PEN)
	Mouser N.º: 485-3055 Fabricante N.º: 3055 Fabricante: Adafruit Ref. Cliente: Ref. Cliente	Raspberry Pi 3 Model B En conformidad con la RoHS QuickView	1	0 Se envía ahora 1 Pedido pendiente	S/178.06	S/178.06

Below the table, there is a 'Finalización de compra' button and a 'Mercadería: S/178.06' label. The page also includes a search bar and various utility icons like 'Imprimir esta página', 'Compartir', and 'Exportar'.

• Cotización de módulo PCA9685

The screenshot shows the Naylamp Mechatronics website's shopping cart page. The browser address bar shows 'naylampmechatronics.com/carro-de-la-compra?action=show'. The page header includes navigation links for 'PRODUCTOS', 'IMPRESIÓN 3D', 'TUTORIALES', and 'NOTICIAS'. The main content area is titled 'Carrito' and contains a table with one item:

Módulo Controlador de servos PCA9685	S/ 45,00	X
--------------------------------------	----------	---

Below the table, there is a 'Continuar Comprando' button. To the right, there is a summary section showing '1 artículo' for S/ 45,00 and 'Transporte' for S/ 0,00. The total (IGV incl.) is S/ 45,00. There is a 'Confirmar Pedido' button. The page also includes a search bar and a 'BOLETIN' section for newsletter registration.

- **Cotización de módulo Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter**

MI CARRITO DE COMPRAS - Mouser

CONTACTAR A MOUSER (USA) +52 53 3612 7301 | Comentarios

Cambiar ubicación: España | SPEN

Todos N.º de artículo / palabra clave

En existencias ReHS

Productos Fabricantes Servicios y herramientas Recursos técnicos Ayuda Cuenta y pedidos

Seguir comprando

CARRITO DE COMPRAS

Imprimir esta página Compartir Exportar Nuevo carrito Programación

VER Y GESTIONAR SUS CARRITOS GUARDADOS

Usted tiene 1 carrito(s) de compras dentro de su cuenta

Ver todos

AGREGAR A UN PROYECTO NUEVO O GUARDADO

Elja uno

Ver todos

Núm. de Mouser/	Núm. de Fca.	Ref. Cliente	Cantidad		
				<input type="button" value="Agregar"/>	

1 - 1 de 1 Finalización de compra

Clasificar	Detalle de los productos	Descripción	Cantidad	Disponibilidad	Precio unitario (PEN)	Precio ext. (PEN)
1	<p>Mouser N.º: 426-TEL0070 Fabricante N.º: TEL0070 Fabricante: DFRobot Ref. Cliente: <input type="text"/></p>	Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter. En conformidad con la RoHS QuickView	1	1 Se envía ahora	S/79.37	S/79.37

- **Cotización de router 4G modelo TP-Link TL-MR3420**

MI CARRITO | loginstore.com

loginstore.com/checkout/cart/

WHATSAPP VENTAS 977 314 252

TEL LLEVAMOS A CASA

LOGIN STORE

Buscar por palabras clave...

Mis pedidos Iniciar Sesión S/ 105,00

Computación Arma tu PC Televisores y Audio Celulares Videojuegos y Gaming Smart Home Monitores Samsung OFERTAS Kaspersky Antivirus

TV Televisores Audio Streaming

Audífonos

Router Ethernet Wireless TP-Link TL-MR3420, 3G/4G LTE, 1 WAN, 4 LAN, 5dBI. fue añadido a su carrito de compras.

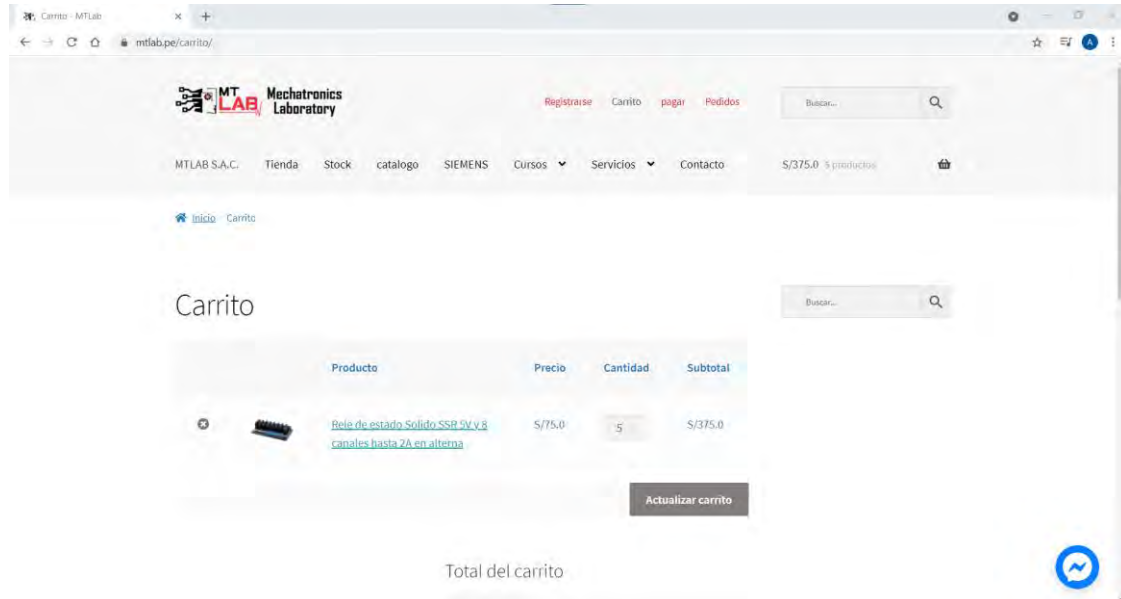
Nombre del producto	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
ROUTER ETHERNET WIRELESS TP-LINK TL-MR3420, 3G/4G LTE, 1 WAN, 4 LAN, 5DBI.	S/ 105,00	1	S/ 105,00

AGREGAR MÁS PRODUCTOS


ACTUALIZAR EL CARRITO DE COMPRAS

Dejar un mensaje

- **Cotización de módulo de relé de estado sólido SSR 5V de 8 canales hasta 2A en alterna - Modelo SSR: OMRON G3MB-202P-DC5**

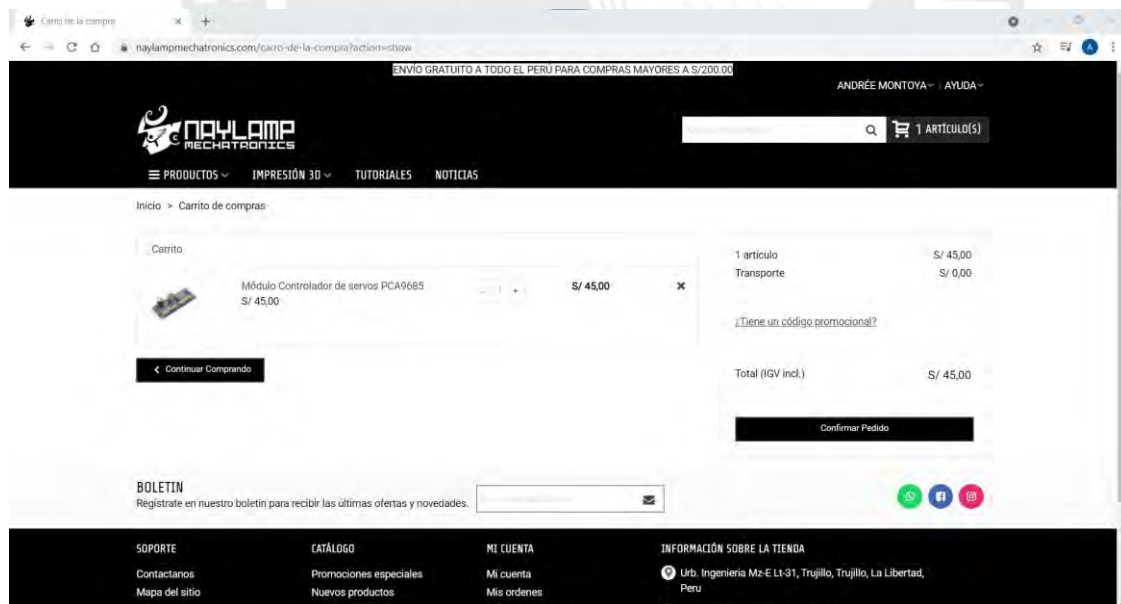


The screenshot shows the 'Carrito' (Cart) page of the MTLab website. The cart contains one item: 'Relé de estado Sólido SSR 5V y 8 canales hasta 2A en alterna'. The price is S/75.0 and the quantity is 5, resulting in a subtotal of S/375.0. The page includes a search bar, navigation menu, and a 'Actualizar carrito' button.


Producto	Precio	Cantidad	Subtotal
 Relé de estado Sólido SSR 5V y 8 canales hasta 2A en alterna	S/75.0	5	S/375.0

Total del carrito

- **Cotización de fuente de alimentación conmutada 100W 12VDC 8.5 A**



The screenshot shows the 'Carrito de la compra' (Shopping Cart) page of the Naylamp website. The cart contains one item: 'Módulo Controlador de servos PCA9685'. The price is S/ 45,00. The page includes a search bar, navigation menu, and a 'Confirmar Pedido' button.

Producto	Precio	Cantidad	Subtotal
 Módulo Controlador de servos PCA9685	S/ 45,00	1	S/ 45,00

1 artículo S/ 45,00
Transporte S/ 0,00

Total (IGV incl.) S/ 45,00

- **Cotización de batería Ritar RT1270**

The screenshot shows the iRELECTRONIC'S website's shopping cart page. The cart contains one item: BATERIA 12V 7AH RITAR RT-1270, priced at S/60.00. The total amount is S/60.00. The page includes a navigation menu with categories like CATEGORÍAS, MARCAS, AUDIO, CABLES, ILUMINACIÓN, INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN, REDES, and TIENDA. A search bar and a 'Cotizar' button are also visible.

Producto	Precio	Cantidad	Total
BATERIA 12V 7AH RITAR RT-1270	S/60.00	1	S/60.00

Total Del Carrito

Subtotal	S/60.00
Total	S/60.00

Finalizar Compra

- **Cotización de cargador de baterías ATEK 4000 - 6/12V 4A**

The screenshot shows the AutoSolar website's checkout page. The cart contains one item: Cargador baterías 6V 12V IP65 Absaer, priced at S/1,177.77. The total amount is S/1,177.77. The page includes a navigation menu with categories like ENERGÍA SOLAR, BOMBAS DE AGUA, Kits Solares Fotovoltaicos, Paneles Solares, Baterías Solares, Inversores Solares, Controladores de Carga, and Iluminación. A search bar and a 'Carro de la compra' button are also visible.

Nombre del producto	Precio	Cantidad	Subtotal
Cargador baterías 6V 12V IP65 Absaer	S/1,177.77	1	S/1,177.77

Total: S/1,177.77

1 Información de Facturación

E-mail * Empresa

Nombre * Apellidos *

Dirección * Código postal *

DNI / RUC * Ciudad *

País * Teléfono fijo *

Perú

Teléfono celular

3 Método de pago

Transferencia Bancaria

Tarjeta de Crédito

Paypal

4 Detalles del pedido

Crear cuenta

Contraseña * Confirmar la contraseña *

Utilizamos cookies propias y de terceros para mejorar nuestros servicios y mostrarle publicidad relacionada con sus preferencias mediante el análisis de sus hábitos de navegación. Si continúa navegando, consideramos que acepta su uso. Puede cambiar la configuración u obtener más información.

ACEPTAR

DEJAR MENSAJE

- **Cotización de Mosfet IRF9630**

Transistor Mosfet Canal P -200V - 6.5A encapsulado TO-220AB

SKU: IRF9630

S/ 5.50

Producto disponible

1

Agregar al carrito

Comprar ahora

Agregar a mi lista

¿Tiene dudas? escribanos al WhatsApp 964104648

Descargas del producto

- **Cotización de diodo Standard 1000V 6A**

Diodo Standard 1000V 6A Through Hole R-6 encapsulado D6

SKU: 6A10

S/ 0.60

Agregar al carrito

Comprar ahora

Agregar a mi lista

¿Tiene dudas? escribanos al WhatsApp 964104648

Descargas del producto

D6

Dimensions in inches and (millimeters)

Dimension	Inches	Millimeters
Top Lead Width	0.360 (9.1)	0.340 (8.6)
Lead Spacing	1.00 (25.4)	MIN.
Body Width	0.360 (9.1)	0.340 (8.6)
Body Height	1.00 (25.4)	MIN.
Bottom Lead Width	0.052 (1.32)	0.048 (1.22)

- **Cotización de resistencia 100 kΩ**

Resistencia 1/4W de carbon CFR250 Pack x 100pzs

SKU:

Resistencia

100 Kohm

S/ 1.50

Producto disponible

1

Agregar al carrito

Comprar ahora

Agregar a mi lista

¿Tiene dudas? escribanos al WhatsApp 964104648

Productos vistos recientemente

- **Cotización de módulo convertidor de voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596**

ENVÍO GRATUITO A TODO EL PERU PARA COMPRAS MAYORES A S/200,00

ANDRÉE MONTOYA - AYUDA

1 ARTICULO(S)

PRODUCTOS IMPRESIÓN 3D TUTORIALES NOTICIAS

Inicio > Carrito de compras

Carrito

Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596 S/ 12,00

1 articulo S/ 12,00

Transporte S/ 0,00

¿Tiene un código promocional?

Total (IGV incl.) S/ 12,00

Confirmar Pedido

BOLETIN

Regístrate en nuestro boletín para recibir las últimas ofertas y novedades.

SOPORTE: Contactarnos, Mapa del sitio

CATÁLOGO: Promociones especiales, Nuevos productos

MI CUENTA: Mi cuenta, Mis ordenes

INFORMACIÓN SOBRE LA TIENDA: Urb. Ingenieria Mz-E Lt-31, Trujillo, La Libertad, Peru

- **Cotización de riel Din ranurado 60 cm**

Carro de compras - Sodimac.com

sodimac.com.pe/sodimac-pe/car/

Venta Telefónica (01) 615 6002 | Servicio al Cliente (01) 419 2000 | Tiendas | Seguimiento de tu compra | Venta Empresa | FALABELLA | BANCO | CMR PUNTOS | VIAJES | SEGUROS | TOTTUS | LINIO | FAZIL

SODIMAC

BANIO, COCINA Y LIMPIEZA | AIRE LIBRE, JARDIN Y MASCOTAS | AUTOMÓVIL | CONSTRUCCIÓN Y FERRETERIA | DECORACIÓN, MENAJE E ILUMINACIÓN | ELECTROHOGAR, TECNOLOGÍA Y CLIMATIZACIÓN | HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS | MUEBLES Y ORGANIZACIÓN | PISOS, PINTURAS Y TERMINACIONES | DESTACADOS | SERVICIOS HOGAR | CATÁLOGOS E INSPIRACIÓN

Carro | Entrega | Pago

Carro de compras 1

¡Solicita aquí tu Tarjeta de Crédito CMR Banco Falabella y obtén un descuento de S/80 en tu primera compra!
[SOLICÍTALA AQUÍ](#) | [Ver términos & condiciones](#)

Jormen
Riel Din Ranurado 60 cm
 Código 32917.7

1 x S/ 13.40 C/U

✓ Despacho a domicilio
 ✓ Retiro en tienda

Eliminar
 Guardar para después

Total producto: S/ 13.40

Resumen de tu compra

Sub total S/ 13.40

Total a pagar S/ 13.40
 Conoce si hay costo de despacho en el siguiente paso.

[Ir a Comprar](#)

Compra segura
 Tus datos personales se mantienen bajo estricta confidencialidad y están protegidos.

Satisfacción garantizada
 Si un producto no cumple con tus expectativas tienes 10 días desde su recepción para devolverlo.

- **Cotización de placa separadora de borneras ATP-PC**

Cart - ISA INDUSTRIAL

isaindustrial.com/car/


Escríbenos: ventas@isaindustrial.com | Llámanos al: +51-1-469-9926 | ENVIOS NACIONALES E INTERNACIONALES

ISA INDUSTRIAL

INICIO | NOSOTROS | PRODUCTOS | SERVICIOS | BLOG | CONTACTO | TIENDA

Shopping Cart

Ya que estás aquí: [Home](#) | [Car](#)

PRODUCT	PRICE	QUANTITY	SUBTOTAL
 PLACA SEPARADORA DE BORNERAS ATP-PC	S/1.10	1	S/1.10

TP-PC

Código de cupón [APLICAR CUPÓN](#) [UPDATE CART](#)

Cart Total

SUBTOTAL [Desconectado](#)

- *Cotización de bornera de conexión de 2.5 mm²*

Cart - ISA INDUSTRIAL


ventas@isaindustrial.com | +51-1-469-9926 | ENVIOS NACIONALES E INTERNACIONALES

ISA INDUSTRIAL

INICIO NOSOTROS PRODUCTOS SERVICIOS BLOG CONTACTO TIENDA

Shopping Cart

Carrito actualizado.

PRODUCT	PRICE	QUANTITY	SUBTOTAL
 DC2.5 - BORNERA DE CONEXIÓN DE 2.5 mm ²	S/1,10	49	S/53,90

Código de cupón

Desconectado

- *Cotización de tapa final para borneras D-PC2.5/4/6/10*

Cart - ISA INDUSTRIAL


ventas@isaindustrial.com | +51-1-469-9926 | ENVIOS NACIONALES E INTERNACIONALES

ISA INDUSTRIAL

INICIO NOSOTROS PRODUCTOS SERVICIOS BLOG CONTACTO TIENDA

Shopping Cart

Carrito actualizado.

PRODUCT	PRICE	QUANTITY	SUBTOTAL
 TAPA FINAL PARA BORNERAS D-PC2.5/4/6/10	S/0,60	2	S/1,20


Código de cupón

Desconectado

- **Cotización de peine puenteador, 10 polos para bornera PC2.5**

Shopping Cart

Carrito actualizado.

PRODUCT	PRICE	QUANTITY	SUBTOTAL
 PEINE PUENTEADOR, 10 POLOS PARA BORNERA PC2.5	S/3.71	5	S/18.55

Código de cupón

Desconectado

- **Cotización de cable dupont hembra a macho 20 cm / 20 unidades**

ENVÍO GRATUITO A TODO EL PERU PARA COMPRAS MAYORES A S/200.00


ANDRÉE MONTOYA | AYUDA

2 ARTICULO(S)

PRODUCTOS IMPRESIÓN 3D TUTORIALES NOTICIAS

Inicio > Carrito de compras

Carrito

 Cable Dupont hembra a macho 20cm / 20Und S/ 5,00	S/ 10,00
2 artículos	S/ 10,00
Transporte	S/ 0,00
¿Tiene un código promocional?	
Total (IGV incl.)	S/ 10,00

BOLETIN
Regístrate en nuestro boletín para recibir las últimas ofertas y novedades.

SOPORTE: Contactarnos, Mapa del sitio
CATÁLOGO: Promociones especiales, Nuevos productos, ¿Cómo funciona?
MI CUENTA: Mi cuenta, Mis ordenes, Mis direcciones
INFORMACIÓN SOBRE LA TIENDA: Urb. Ingeniería Mz-E Lt-31, Trujillo, La Libertad, Peru

- **Cotización de cable dupont hembra a hembra 10 cm / 20 unidades**

Carrito de la compra

ENVÍO GRATUITO A TODO EL PERU PARA COMPRAS MAYORES A S/200.00

ANDRÉE MONTOYA | AYUDA

NAYLAMP
MECHATRONICS

PRODUCTOS IMPRESIÓN 3D TUTORIALES NOTICIAS

Inicio > Carrito de compras

Carrito

	Cable Dupont hembra a hembra 10cm / 20Und S/ 3,00	S/ 3,00	x
--	--	---------	---

1 artículo S/ 3,00
Transporte S/ 0,00

¿Tiene un código promocional?

Total (IGV incl.) S/ 3,00

Continuar Comprando

Confirmar Pedido

BOLETIN
Regístrate en nuestro boletín para recibir las últimas ofertas y novedades.

SOPORTE: Contactanos, Mapa del sitio
CATÁLOGO: Promociones especiales, Nuevos productos, ¿Cómo funciona?, ¿Cómo usarlo?
MI CUENTA: Mi cuenta, Mis ordenes, Mis direcciones
INFORMACIÓN SOBRE LA TIENDA: Urb. Ingeniería Mz-E Lt-31, Trujillo, La Libertad, Peru

- **Cotización de cable THW 14AWG negro x metro**

Cable THW 14AWG Negro x metro

CENTELSA | SKU: 35979

Regular S/ 1,80

Calcula tus cuotas con Tarjeta oti

1

Agregar

Vendido y despachado por Promart

Métodos de entrega

Consultar stock

• **Cotización de fabricación de los componentes diseñados**



STEINTRICES
INGENIERÍA, CNC, AUTOMATIZACIÓN Y HERRAMIENTAS

<p>Cliente: ING.ANDRÉE YORDAN MONTOYA CALDERÓN Empresa: Dirección: RUC: Teléfono: Correo: andree.montoya@pucp.pe</p>	<p>COTIZACIÓN ST2021-SMC-001 Fecha: 27 de septiembre de 2021 Validez: 17 de octubre de 2021 Moneda: SOL</p>
---	---

Estimados señores:
Mediante la presente y de acuerdo a su solicitud de la referencia, ponemos a su consideración nuestras siguientes ofertas:

#	Material	Descripción	Cantidad	Precio Uni.	Total
1	A36	Plancha de acero AISI A36 (600 x 600 x 10)	1	338.98	338.98
2	A36	Base de sujeción de gabinete	1	84.75	84.75
3	A36	Base de sujeción de estructura	1	84.75	84.75
4	A36	Base de sujeción de gabinete	1	84.75	84.75
5	A36	Base de sujeción de estructura	1	84.75	84.75
				SUBTOTAL	S/ 677.98
				IGV 18%	S/ 122.04
				TOTAL	S/ 800.02

Condiciones:

- Para cotas sin indicaciones de tolerancia, se aplicara la Norma DIN 7168 - Clase media. Cualquier cambio luego de aceptado el diseño, generara cargos adicionales que serán comunicados al cliente.
- Si existe criterios técnicos que no se especifique directamente en los planos/muestras enviados por el cliente Steintrices EIRL coordinará con el cliente, en caso de no recibir respuesta quedamos exentos de la responsabilidad de los retrasos en la entrega de su producto/servicio.
- Respecto a la máquina y/o parte, repuesto, componente o proyecto Steintrices EIRL, queda exento de toda responsabilidad ante reclamaciones de terceros y/o perjuicio de los mismos o ajenos, los fines y/o usos que se le brinden no serán responsabilidad de Steintrices EIRL, así como tampoco las consecuencias que puedan generarse por cualquier tipo de uso anexo o conexo.
- Precio en soles, incluye transporte.

Entrega: • En Instalaciones del cliente en Lima, 25 días luego de colocada la OC y/o depósito del adelanto

Forma de pago: • Depósito Bancario del 50% con la OC, saldo a 15 días después de entrega. STEINTRICES E.I.R.L. Cuenta BBVA en soles 0011-0120-0200218194 - (CCI) 011-120-000200218194-35 // Cuenta de detracciones 00-024-043525

Saludos,
 Jethro Pinasco M.
 Jefe de ventas
 STEINTRICES E.I.R.L. - 20546506470
 Calle Andrés Costello 190 - San Luis - Lima
 jpinasco@steintrices.com // www.steintrices.com



 +51 924853117
 ventas@stintrices.com


 @Steintrices
 www.steintrices.com


 @Steintrices
 Página 1

- **Cotización de tubo cuadrado LAC - 100 mm x 2.50 mm x 6 m**

The screenshot shows the 'CARRO DE COMPRAS' (Shopping Cart) page on the Tupemesa website. The cart contains one item: 'TUBO CUADRADO 100 MM X 2.50 MM X 6 M'. The unit price is S/ 255.06 and the total is S/ 255.06. The page includes navigation links for 'TUBOS METÁLICOS', 'PERFILES PARA DRYWALL', 'PERFILES LAMINADOS', 'AGRO', and 'ALCANTARILLAS'. There are buttons for 'REGRESAR A TIENDA', 'VACIAR CARRO', 'ACTUALIZAR CARRO', and 'REALIZAR PEDIDO'.

PRODUCTO	CANTIDAD	UMB	PRECIO UNITARIO	TOTAL
 TUBO CUADRADO 100 MM X 2.50 MM X 6 M	1		S/ 255.06	S/ 255.06

SUBTOTAL S/ 255.06

TOTAL SOLES (INC. IGV) S/ 255.06

- **Cotización de Caja eléctrica PCJ181610L**

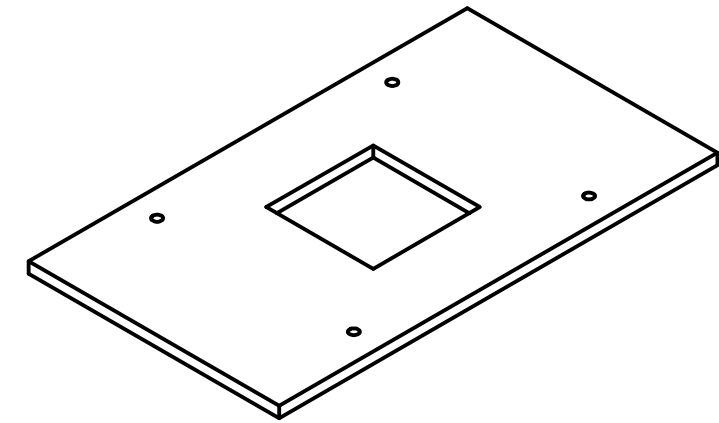
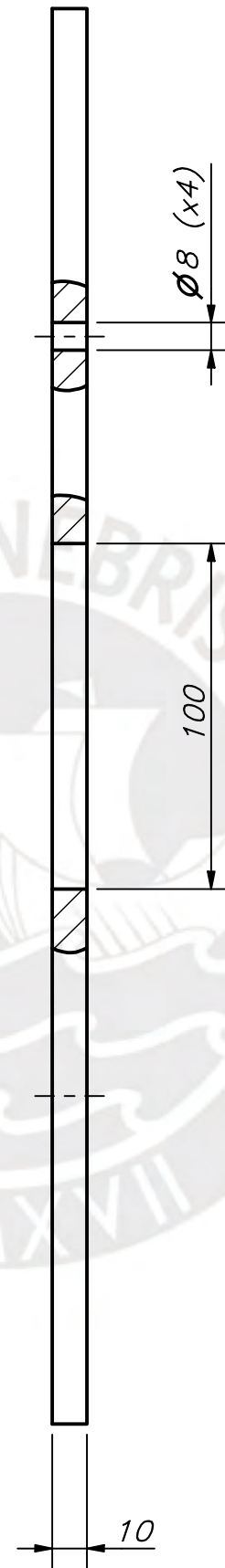
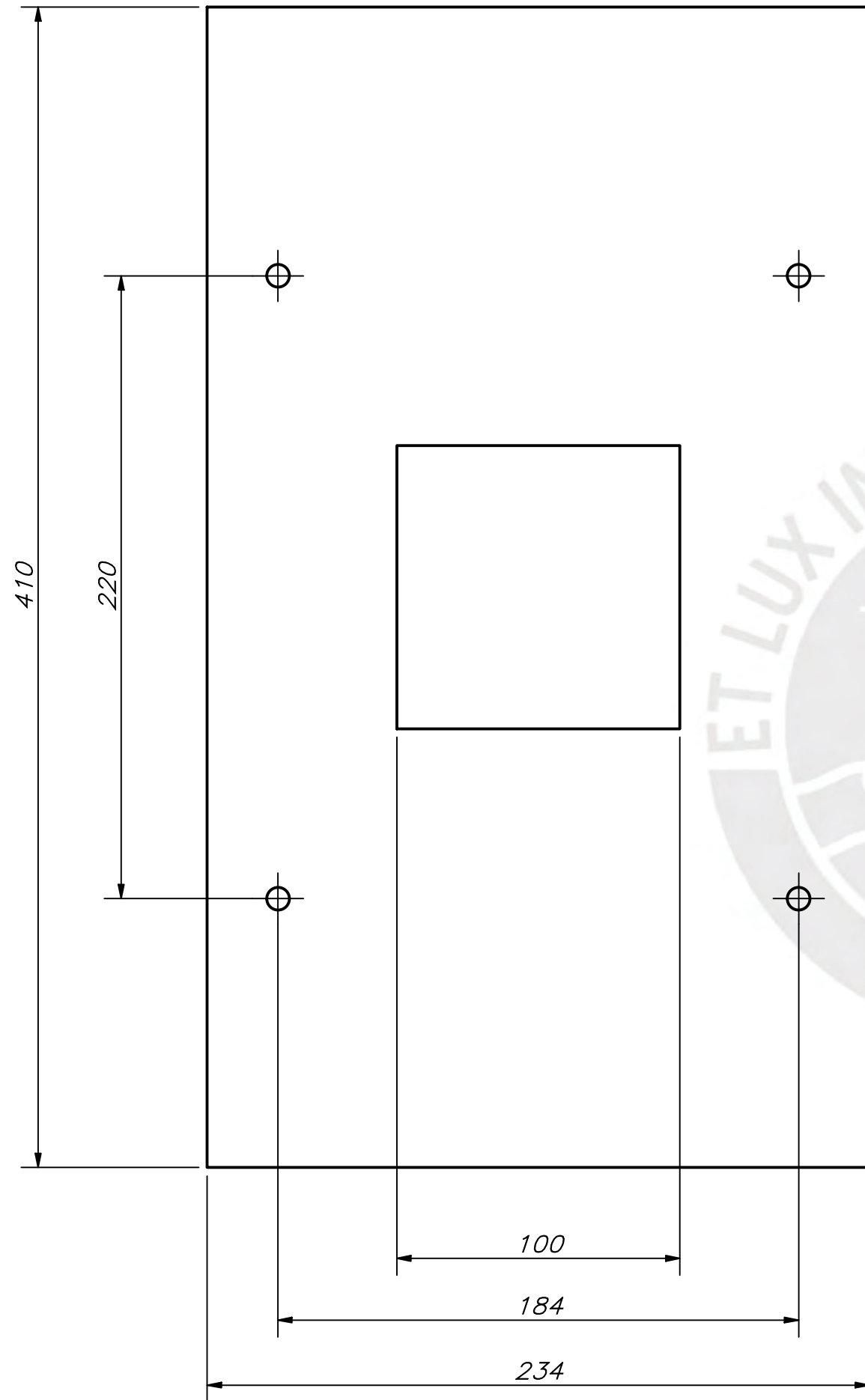
The screenshot shows the 'CARRITO DE COMPRAS' (Shopping Cart) page on the Mouser Electronics website. The cart contains one item: '548-PCJ181610L Polycarb 18X16X10 Latch w/Feet'. The unit price is S/637.20 and the total is S/637.20. The page includes navigation links for 'Productos', 'Fabricantes', 'Servicios y herramientas', 'Recursos técnicos', 'Ayuda', and 'Cuenta y pedidos'. There are buttons for 'Agregar' and 'Finalización de compra'.

Clasificar	Detalle de los productos	Descripción	Cantidad	Disponibilidad	Precio unitario (PEN)	Precio ext. (PEN)
1	Mouser N.º: 548-PCJ181610L Fabricante N.º: PCJ181610L Fabricante: Hammond Ref. Cliente: Ref. Cliente	Polycarb 18X16X10 Latch w/Feet En conformidad con la RoHS QuickView	1	0 Se envía ahora 1. Pedido pendiente	S/637.20	S/637.20

Anexo K. Planos de fabricación

Anexo L. Planos de ensamble

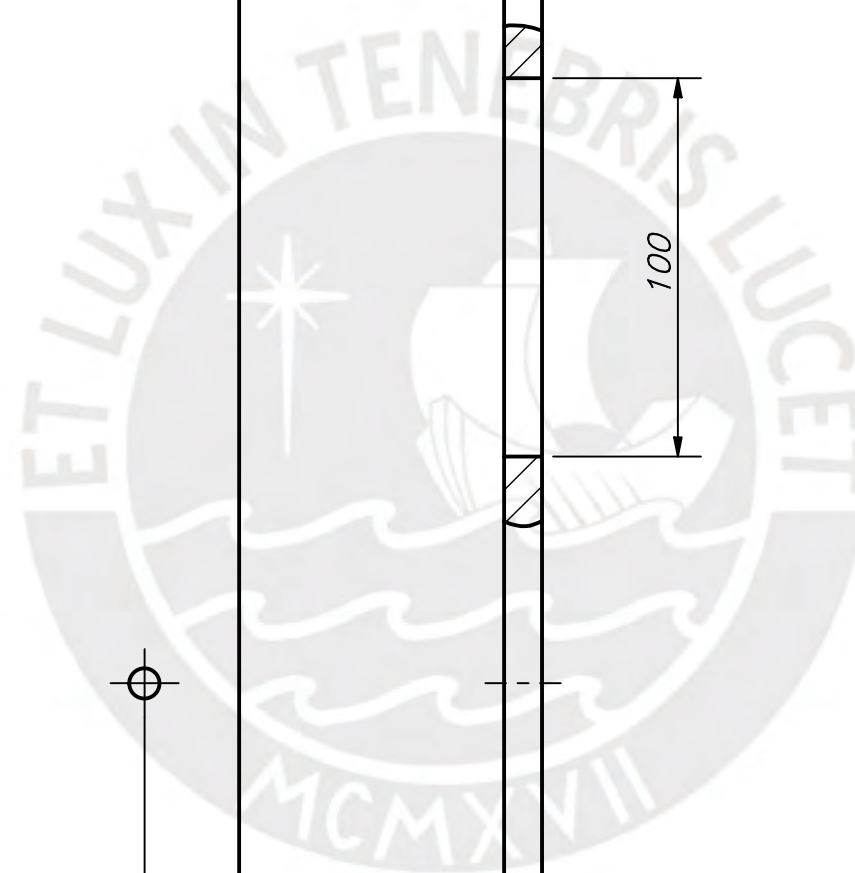


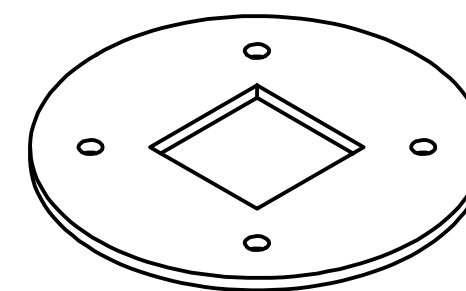
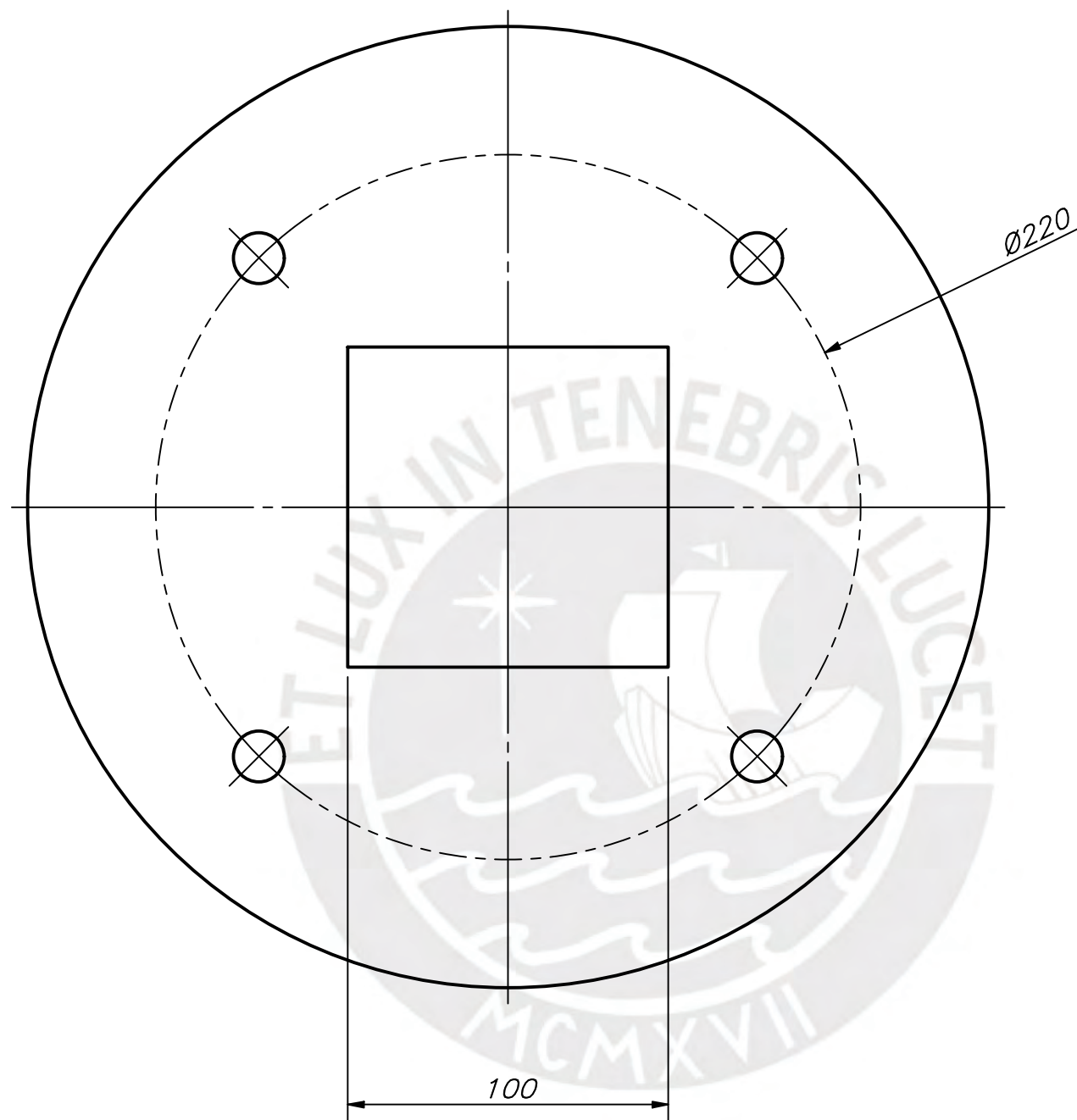
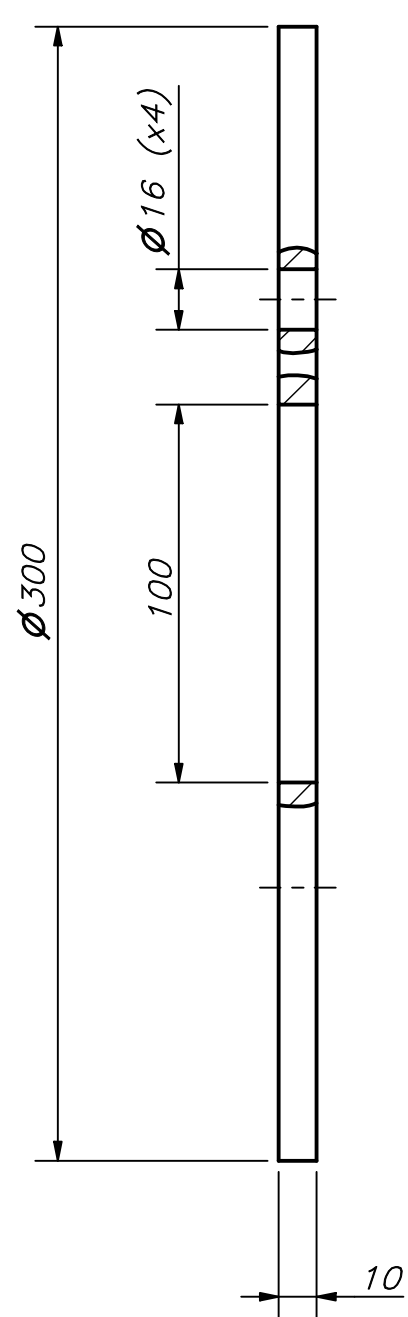


ESCALA 1:5

ACABADO SUPERFICIAL N9/ ▽	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768 ±0.2	MATERIAL AISI A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ▽	TRABAJO DE TESIS BASE DE SUJECIÓN DE GABINETE	ESCALA 1:2
20140154	MONTOYA CALDERÓN, ANDRÉE YORDAN	FECHA: 2021.07.08
Controlador descentralizado adaptable al sistema de semaforización de Lima Metropolitana para la optimización de tiempos de los ciclos semafóricos		LÁMINA: 01-A3-D01

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

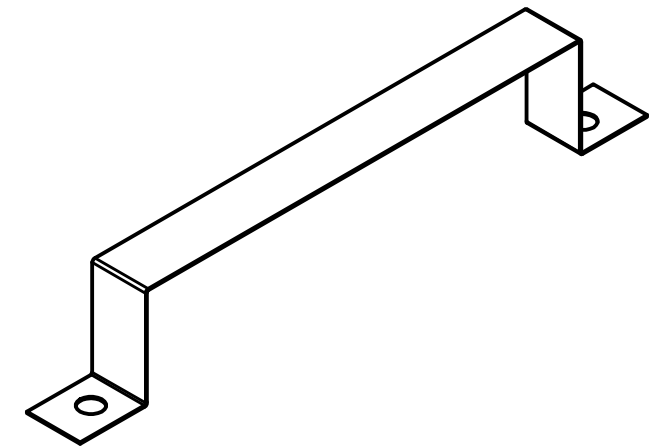
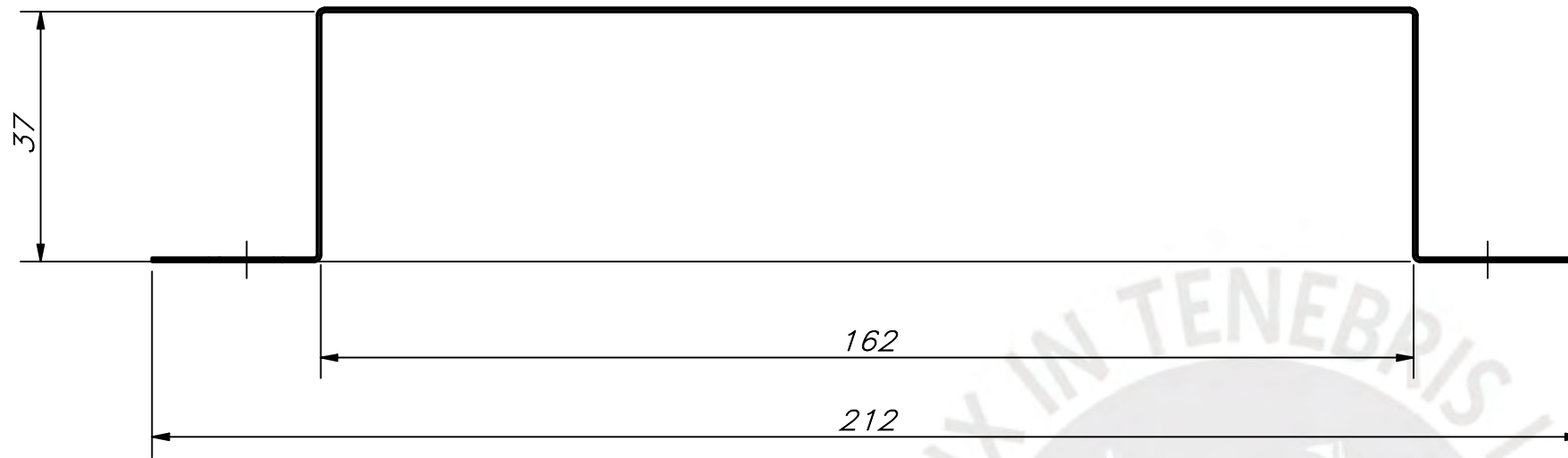




ESCALA 1:5

ACABADO SUPERFICIAL N9	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768 ±0.2	MATERIAL AISI A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – INGENIERIA MECATRONICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TRABAJO DE TESIS BASE DE SUJECION DE ESTRUCTURA	ESCALA 1:2
20140154	MONTOYA CALDERÓN, ANDRÉE YORDAN	FECHA: 2021.07.08
Controlador descentralizado adaptable al sistema de semaforización de Lima Metropolitana para la optimización de tiempos de los ciclos semafóricos		LÁMINA: 02-A3-D02

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------



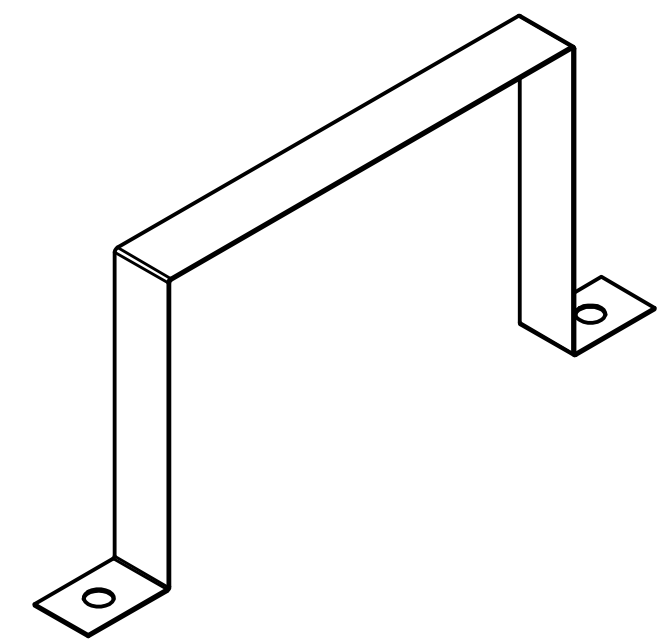
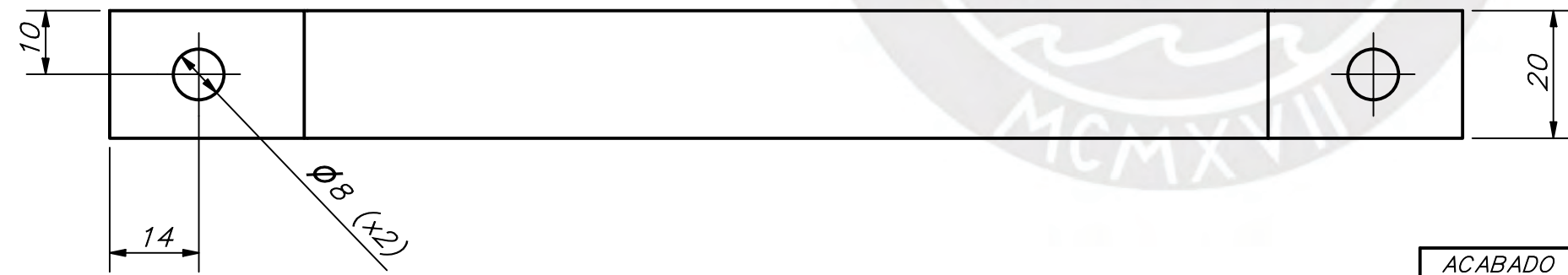
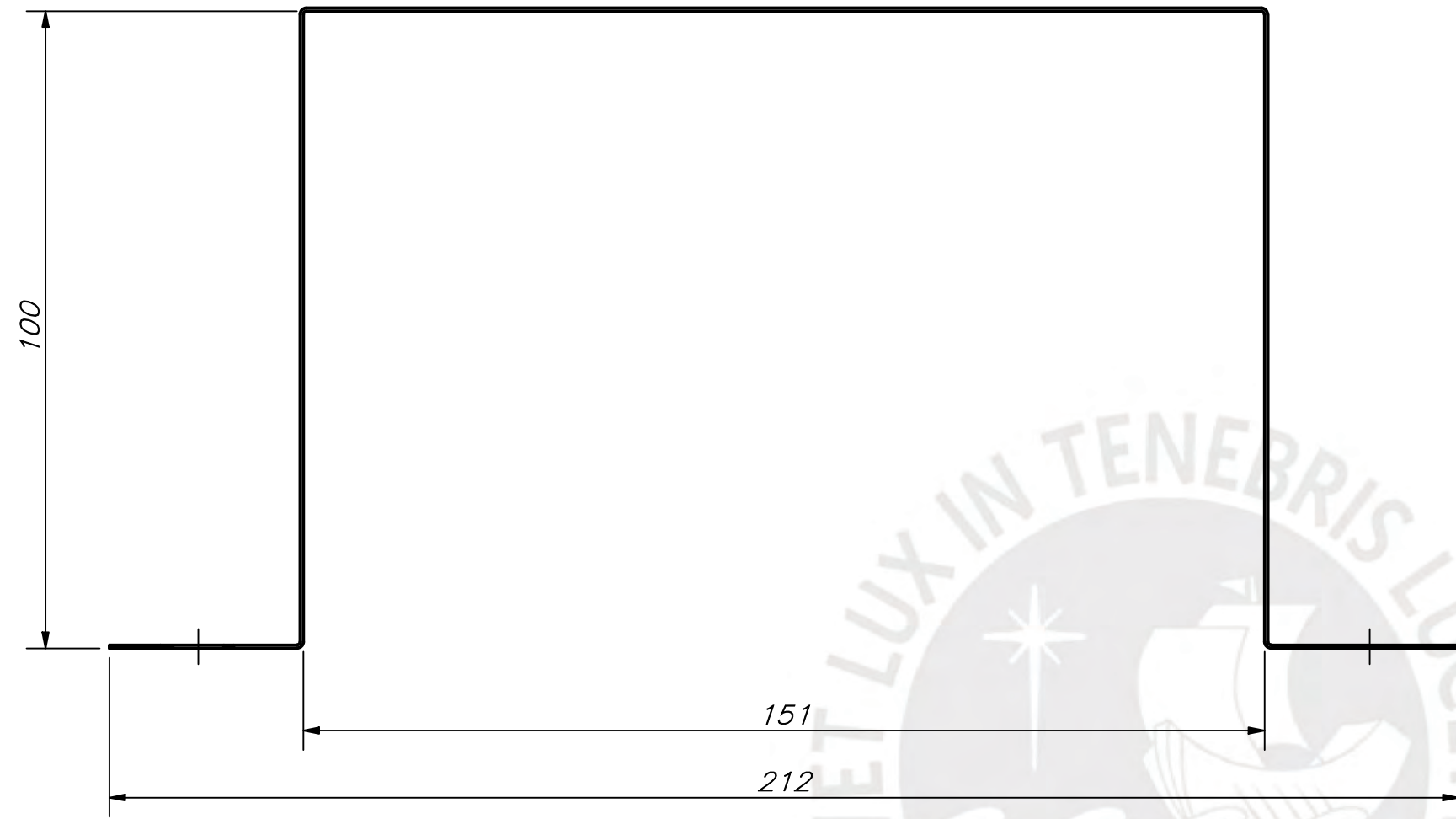
ESCALA 1:2



ESPESOR 1MM

ACABADO SUPERFICIAL N9/ ▽	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768 ±0.2	MATERIAL AISI A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊔	TESIS DE PREGRADO ABRAZADERA DE CARGADOR	ESCALA 1:1
20140154	MONTOYA CALDERÓN, ANDRÉE YORDAN	FECHA: 2021.07.08
Controlador descentralizado adaptable al sistema de semaforización de Lima Metropolitana para la optimización de tiempos de los ciclos semafóricos		LÁMINA: 03-A3-D03

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

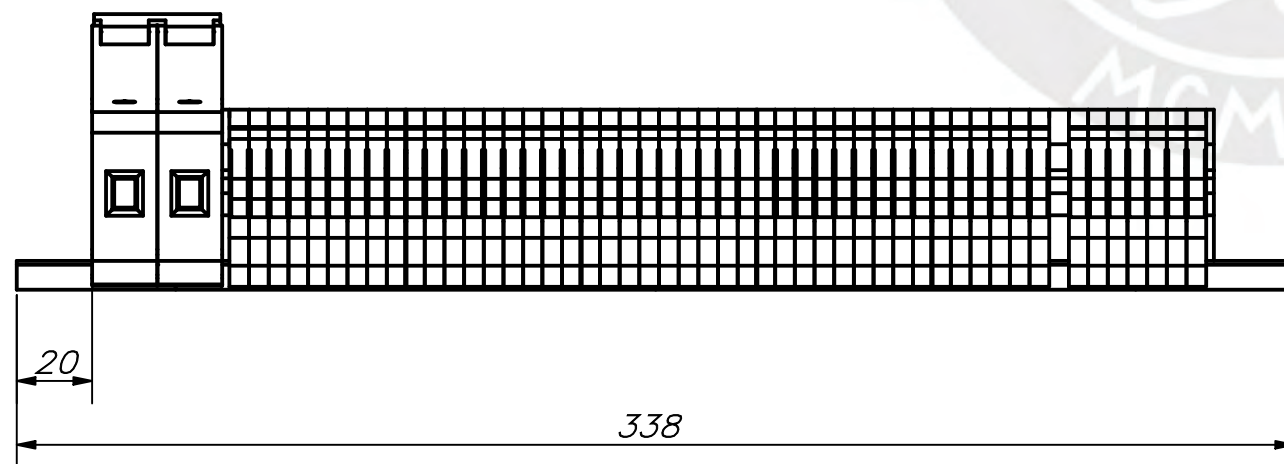
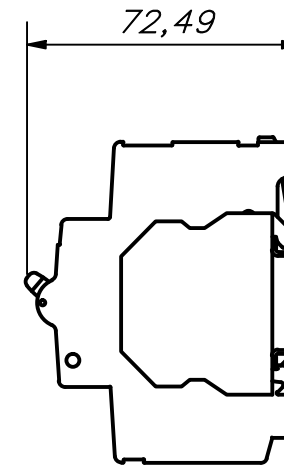
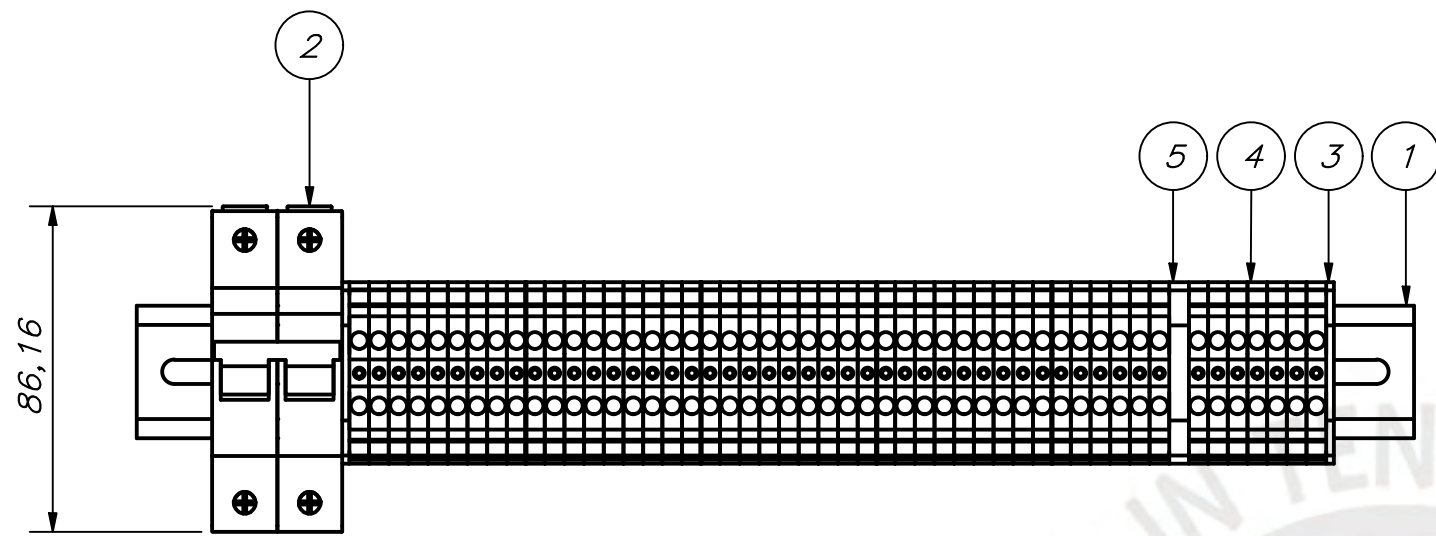


ESCALA 1:2

ESPESOR 1MM

ACABADO SUPERFICIAL N9/	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768 ±0.2	MATERIAL AISI A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TESIS DE PREGRADO ABRAZADERA DE BATERÍA	ESCALA 1:1
20140154	MONTOYA CALDERÓN, ANDRÉE YORDAN	FECHA: 2021.07.08
Controlador descentralizado adaptable al sistema de semaforización de Lima Metropolitana para la optimización de tiempos de los ciclos semafóricos		LÁMINA: 04-A3-D04

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

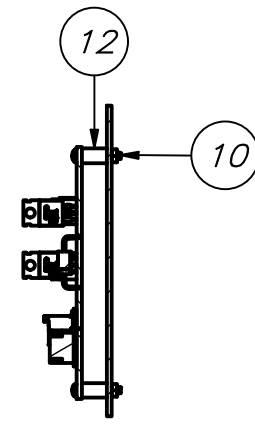
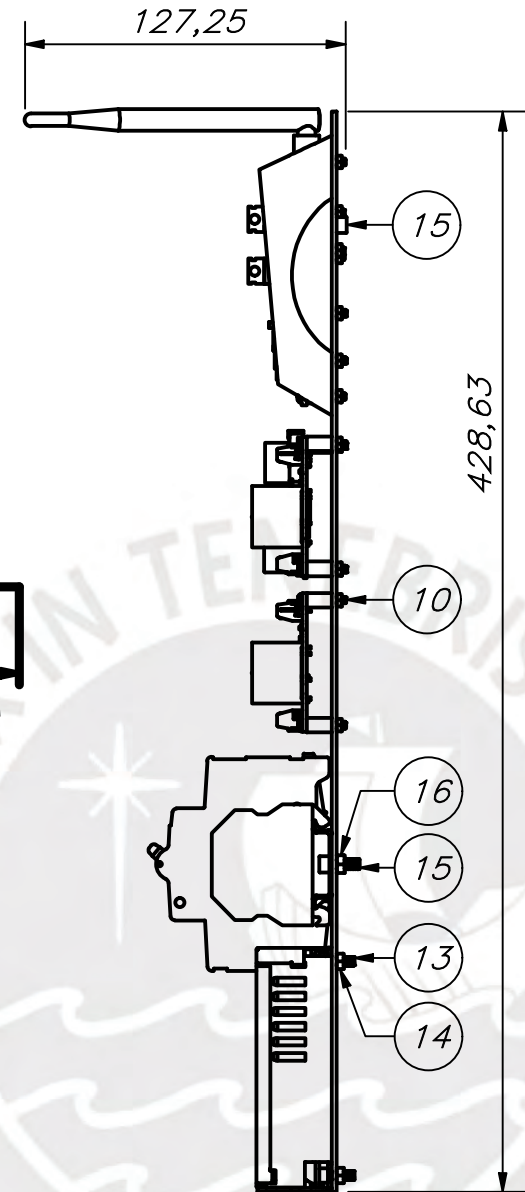
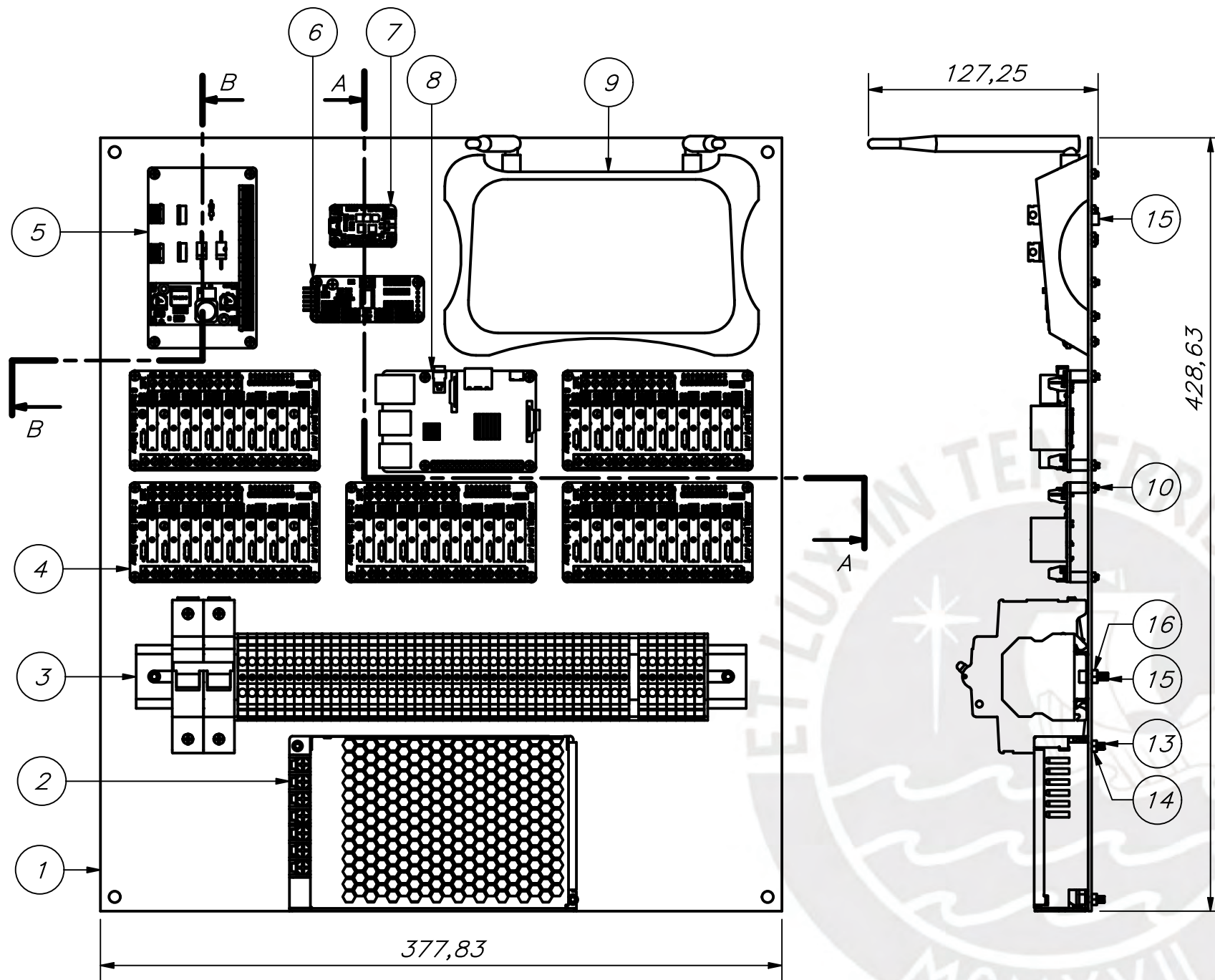


PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
5	1	Separador de borneras	DIN	PVC	Comercial
4	49	Bornera 2.5 mm ² PC2.5	DIN		Comercial
3	2	Tapa de borneras	DIN	PVC	Comercial
2	1	Llave termomagnética Easy 9 MCB 2x16A	DIN		Comercial
1	1	Riel DIN 380 mm	DIN	Acero	Comercial

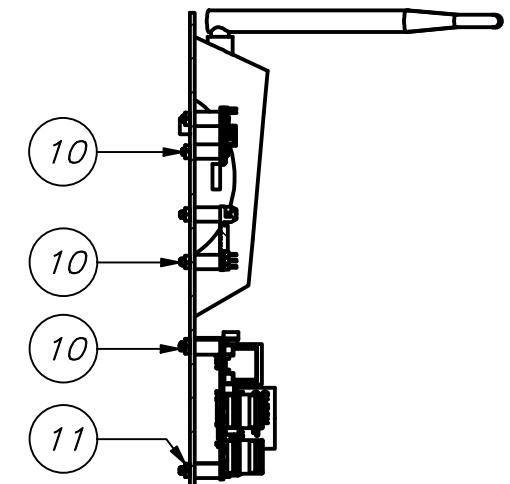
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TESIS DE PREGRADO	ESCALA
	SISTEMA RIEL DIN	1:2
20140154	MONTOYA CALDERÓN, ANDRÉE YORDAN	FECHA: 2021.07.08
Controlador descentralizado adaptable al sistema de semaforización de Lima Metropolitana para la optimización de tiempos de los ciclos semafóricos		LÁMINA: 05-A3-E01

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

PARTS LIST

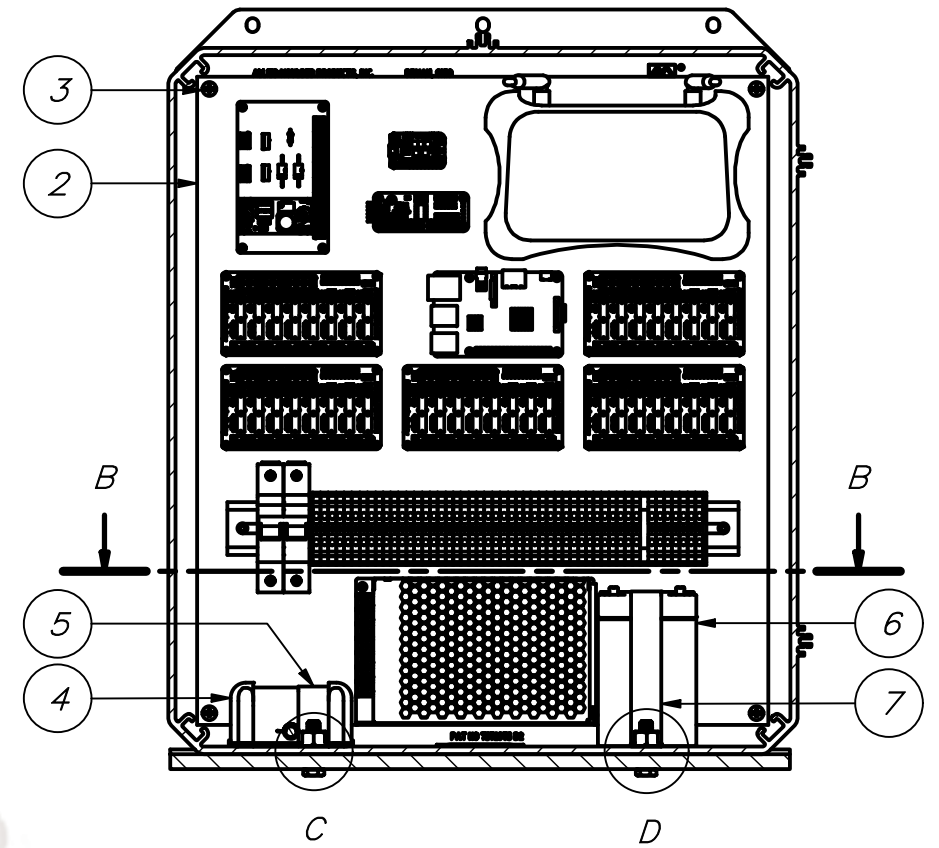
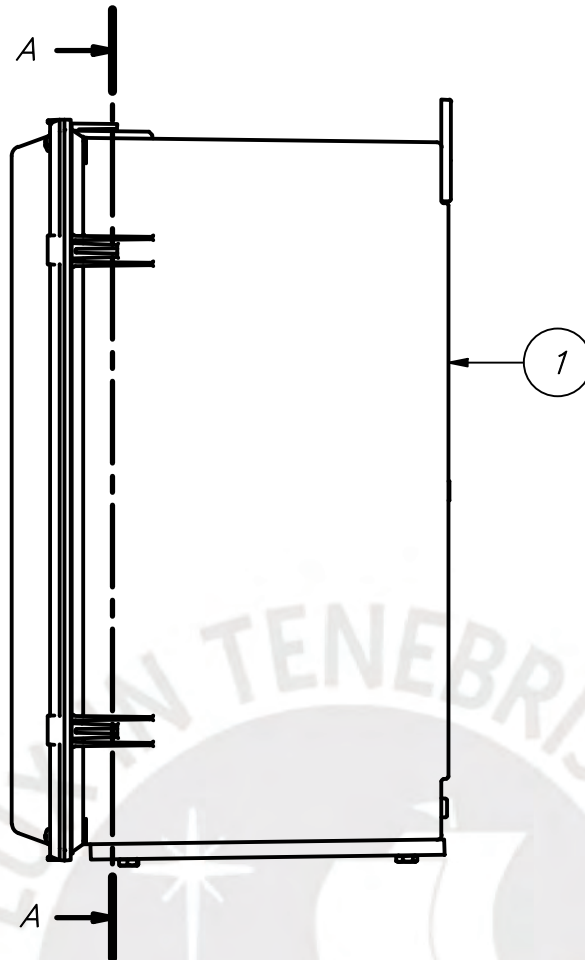
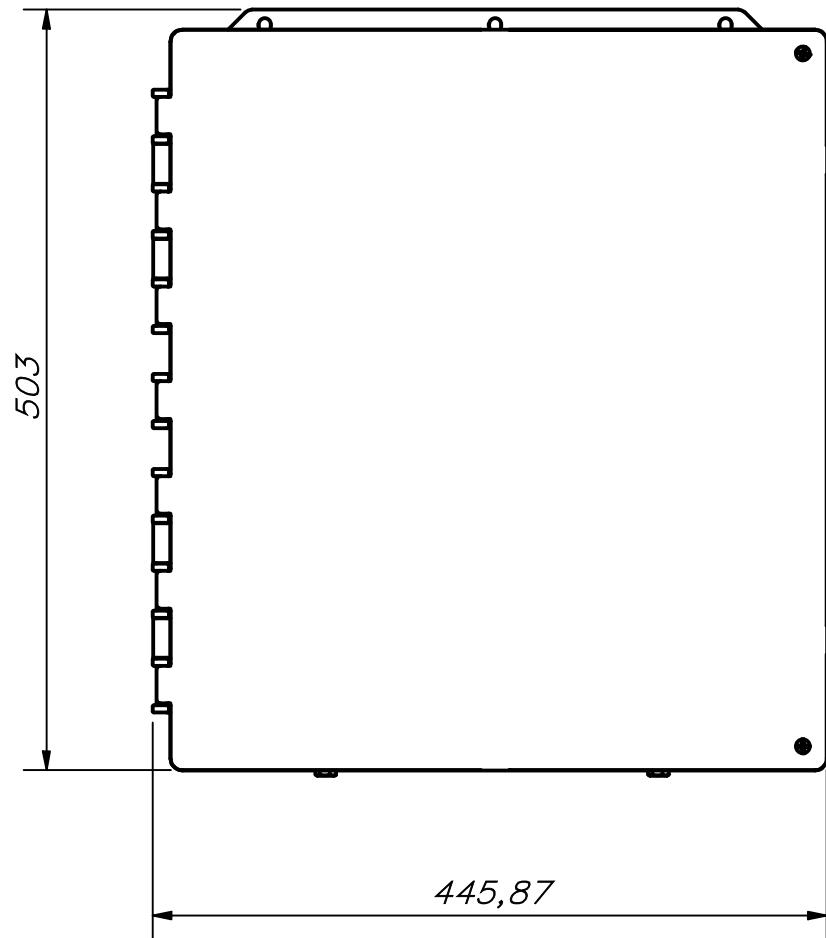
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
16	2	Tuerca M4	ISO 4032	Acero	Comercial
15	4	Tornillo M4 x 12	ISO 4762	Acero	Comercial
14	2	Tuerca M3.5	ISO 4032	Acero	Comercial
13	2	Tornillo M3.5 x 10	ISO 4762	Acero	Comercial
12	36	Separador hexagonal M2.5		Acero	Comercial
11	36	Tuerca M2.5	ISO 4032	Acero	Comercial
10	36	Tornillo M2.5 x 20	ISO 7045	Acero	Comercial
9	1	Router 4G			Comercial
8	1	Raspberry Pi 3 B+			Comercial
7	1	Módulo Multi USB/RS232/RS485/TTL Converter V2.0			Comercial
6	1	Módulo PCA9685			Comercial
5	1	Tarjeta de circuito impreso			Fabricado
4	5	Módulo de relé de estado sólido SSR 5V de 8 canales			Comercial
3	1	Sistema riel DIN			Ver 03-A3-E01
2	1	Fuente de alimentación conmutada 100W 12VDC 8.5A			Comercial
1	1	Panel		Polipropileno	Comercial

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

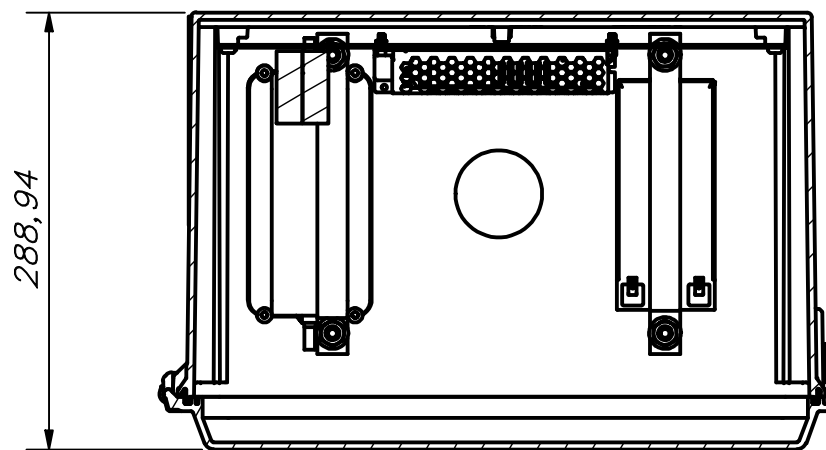
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TESIS DE PREGRADO	ESCALA
	PANEL INTERIOR DE GABINETE	1:3

20140154	MONTOYA CALDERÓN, ANDRÉE YORDAN	FECHA: 2021.07.08
----------	---------------------------------	----------------------

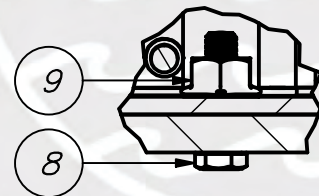
Controlador descentralizado adaptable al sistema de semaforización de Lima Metropolitana para la optimización de tiempos de los ciclos semafóricos
LÁMINA:
06-A3-E02



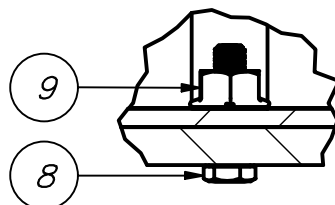
SECCIÓN A-A



SECCIÓN B-B



DETALLE C
ESCALA 1:2



DETALLE D
ESCALA 1:2

PARTS LIST

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
9	4	Tuerca M8	ISO 4032	Acero	Comercial
8	4	Tornillo M8 x 30	ISO 4016	Acero	Comercial
7	1	Abrazadera de batería		AISI A36	Ver 04-A3-D04
6	1	Batería Ritar RT1270			Comercial
5	1	Abrazadera de cargador		AISI A36	Ver 03-A3-D03
4	1	Cargador de baterías ATEK 4000			Comercial
3	4	Tornillo M5 x 10	ISO 7045	Acero	Comercial
2	1	Panel interior de gabinete			Ver 06-A3-E02
1	1	Caja eléctrica PCJ181610HF		Polycarbonato	Comercial

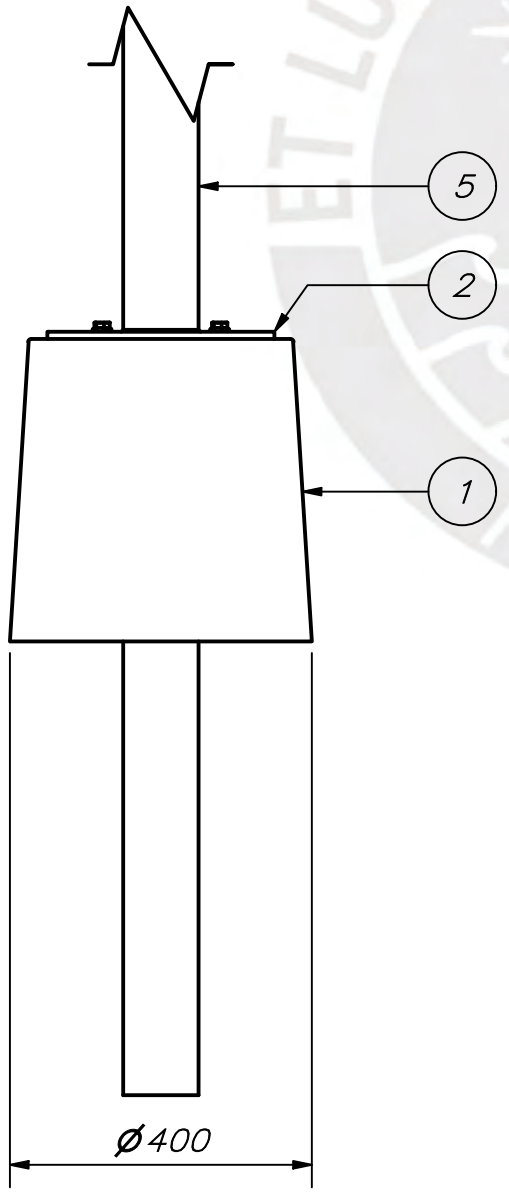
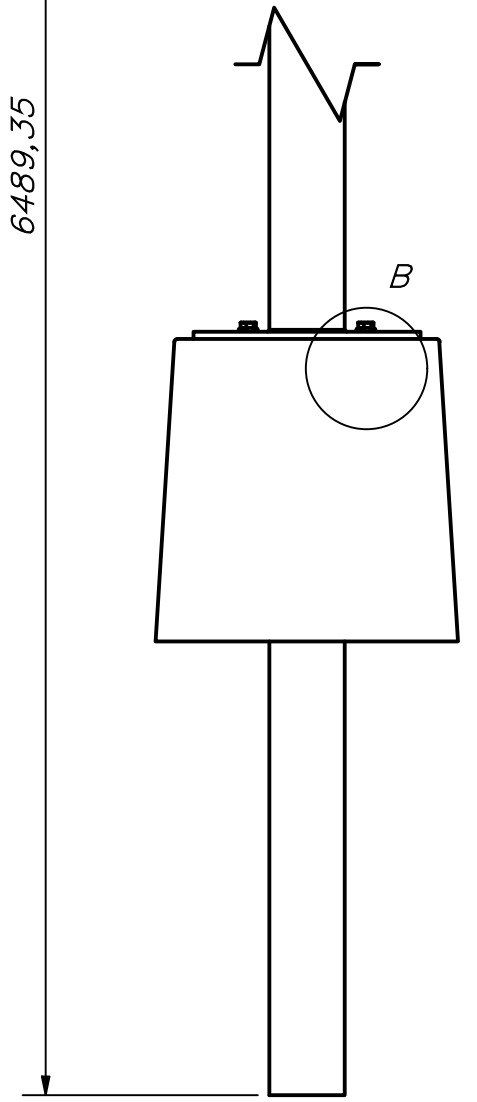
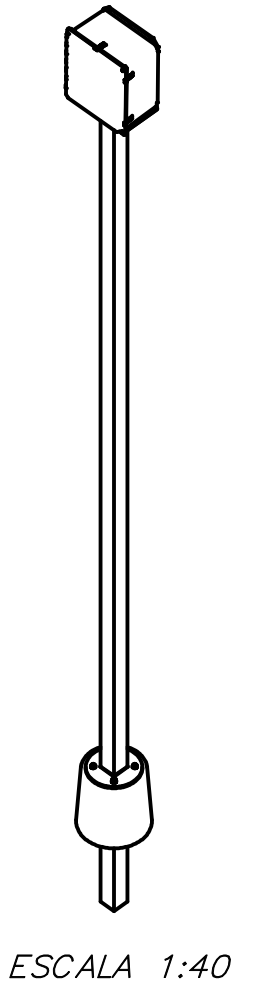
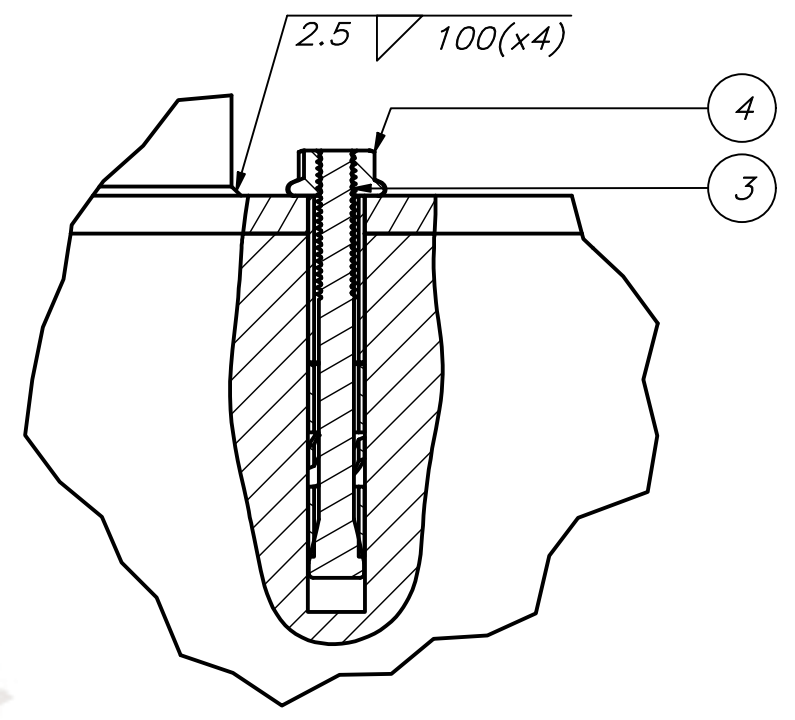
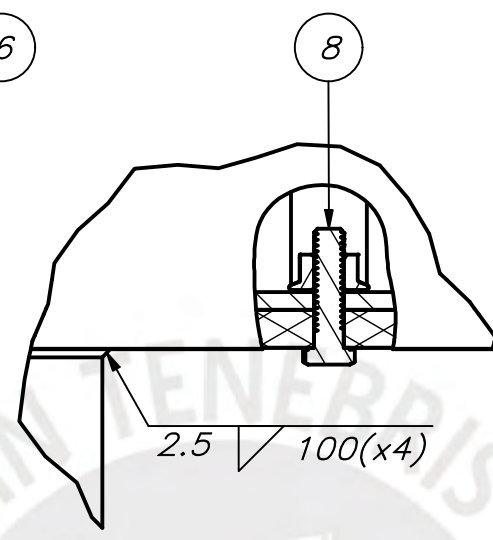
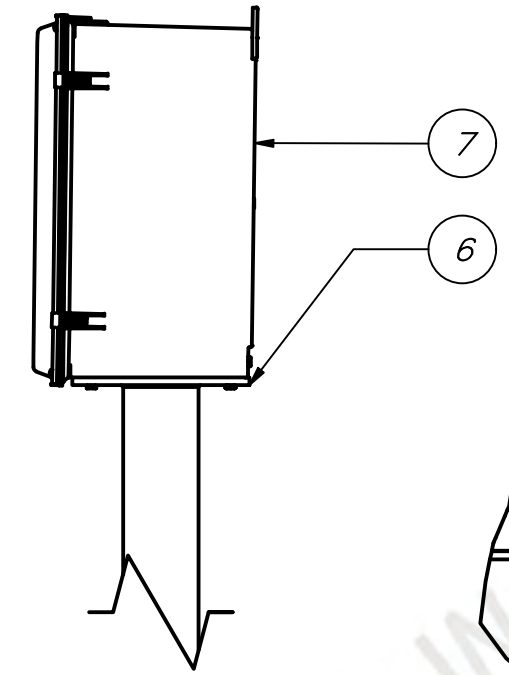
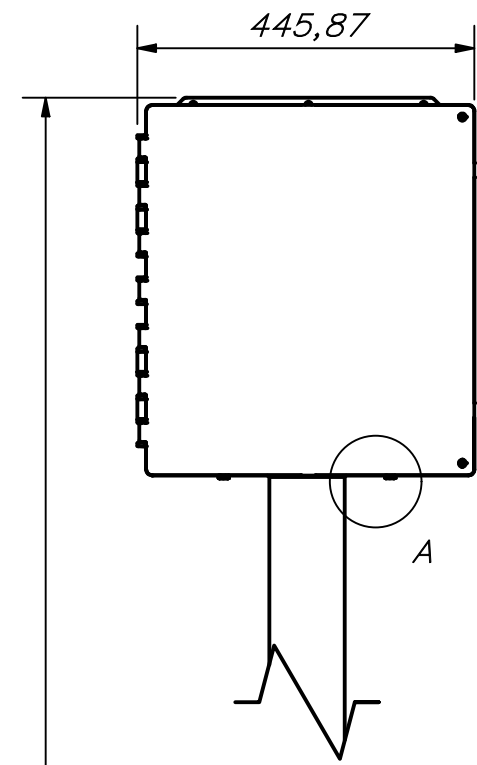
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TESIS DE PREGRADO	ESCALA
	GABINETE DE CONTROL	1:5
20140154	MONTOYA CALDERÓN, ANDRÉE YORDAN	FECHA: 2021.07.08

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

Controlador descentralizado adaptable al sistema de semaforización de Lima Metropolitana para la optimización de tiempos de los ciclos semafóricos

LÁMINA:
07-A3-E03



COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
8	4	Tornillo M8 x 30	ISO 4016	Acero	Comercial
7	1	Gabinete de control			Ver 07-A3-E03
6	1	Base de sujeción de gabinete		AISI A36	Ver 01-A3-D01
5	1	Tubo cuadrado LAC		ASTM A500	Comercial
4	4	Tuerca M12	ISO 4032	Acero	Comercial
3	4	Anclaje espárrago M12 x 110	Dynabolt	Acero	Comercial
2	1	Base de sujeción de estructura		AISI A36	Ver 02-A3-D02
1	1	Base de concreto		Concreto	Contexto

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TESIS DE PREGRADO ENSAMBLE TOTAL DEL CONTROLADOR	ESCALA 1:20
20140154	MONTOYA CALDERÓN, ANDRÉE YORDAN	FECHA: 2021.07.08
Controlador descentralizado adaptable al sistema de semaforización de Lima Metropolitana para la optimización de tiempos de los ciclos semafóricos		LÁMINA: 08-A3-E04