

	<b>GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS</b>		<b>CÓDIGO</b>	FO-GS-15
			<b>VERSIÓN</b>	02
	<b>ESQUEMA HOJA DE RESUMEN</b>			
			<b>FECHA</b>	03/04/2017
		<b>PÁGINA</b>	1 de 1	
<b>ELABORÓ</b>		<b>REVISÓ</b>		<b>APROBÓ</b>
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

**AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS**

**NOMBRE(S): ESTEBAN FELIPE**                      **APELLIDOS: CÁCERES GELVEZ**

**FACULTAD: INGENIERÍA**

**PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**DIRECTOR:**

**NOMBRE(S): ÓSCAR**                                      **APELLIDOS: MAYORGA TORRES**

**TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE CICLOS SEMAFÓRICOS PARA LA DISMINUCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN LA CIUDAD DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA EMPLEANDO MODELAMIENTO MATEMÁTICO.**

**RESUMEN:**

La congestión vehicular impacta negativamente a las ciudades en distintos ámbitos: aumenta los niveles de estrés, genera pérdidas monetarias por costo de oportunidad y aumenta el calentamiento global, por las emisiones adicionales de CO<sub>2</sub> y CO. El presente trabajo ataca una de sus causas, es decir, la baja optimización de la red semafórica, y propone los ciclos de la misma, en el centro de la ciudad de Cúcuta -el sistema-, utilizando modelamiento matemático e inteligencia artificial. Para esto, se estudió el flujo vehicular de la ciudad a través de las cámaras de seguridad de la Policía Nacional, usando redes neuronales profundas y visión computacional. Con esta información se simuló el sistema a través del simulador de tráfico urbano SUMO para luego, con un algoritmo genético, modificar las fases semafóricas en aras de minimizar los tiempos de espera de todos los vehículos. La precisión de las redes neuronales en la de detección y seguimiento de los vehículos fue superior al 95%. La propuesta de fases semafóricas disminuyó los tiempos de espera de la red, en la simulación, en 16.421 minutos. Este 24,6% de mejora es tanto similar como superior a lo reportado por la literatura para el problema en cuestión.

**PALABRAS CLAVES:** Inteligencia artificial, congestión vehicular, optimización, semáforos.

**CARACTERÍSTICAS:**

**PÁGINAS:** 82    **PLANOS:** 0    **ILUSTRACIONES:** 34    **CD ROOM:** 0

\*\*Copia No Controlada\*\*

PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE CICLOS SEMAFÓRICOS PARA LA  
DISMINUCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN LA CIUDAD DE SAN JOSÉ  
DE CÚCUTA EMPLEANDO MODELAMIENTO MATEMÁTICO

ESTEBAN FELIPE CÁCERES GELVEZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA INDUSTRIAL

2020

PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE CICLOS SEMAFÓRICOS PARA LA  
DISMINUCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN LA CIUDAD DE SAN JOSÉ  
DE CÚCUTA EMPLEANDO MODELAMIENTO MATEMÁTICO

ESTEBAN FELIPE CÁCERES GELVEZ

Director  
ÓSCAR MAYORGA TORRES  
Ingeniero Industrial  
Magister en Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA INDUSTRIAL

2020

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

**FECHA:** 23 de Septiembre, 2020

**HORA:** 8:00 a.m.

**LUGAR:** GOOGLE MEET – CORREO INSTITUCIONAL UFPS

**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERIA INDUSTRIAL

**TÍTULO DE LA TESIS:** “PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE CICLOS SEMAFÓRICOS PARA LA DISMINUCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN LA CIUDAD DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA EMPLEANDO MODELAMIENTO MATEMÁTICO”

**JURADOS:** PEDRO ANTONIO GARZÓN AGUDELO  
ANA MILENA GÓMEZ SOTO  
LUIS ENRIQUE SANTAFE CHAUSTRE

**DIRECTOR:** OSCAR MAYORGA TORRES

<b>NOMBRE DEL ESTUDIANTE</b>	<b>CÓDIGO LETRA</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>NÚMERO</b>
ESTEBAN FELIPE CACERES GELVEZ	1191922	Cinco, cero	5,0

### LAUREADO



PEDRO ANTONIO GARZÓN AGUDELO



ANA MILENA GÓMEZ SOTO



LUIS ENRIQUE SANTAFE CHAUSTRE



Vo.Bo GAUDY CAROLINA PRADA BOTÍA

Director Plan de Estudios

Ingeniería Industrial

Magda M.

## Contenido

Introducción	11
1. Problema	12
1.1. Título	12
1.2. Planteamiento del problema	12
1.3. Formulación del problema	14
1.4. Justificación	14
1.5. Objetivos	16
1.5.1. Objetivo general.	16
1.5.2. Objetivos específicos.	16
1.6. Alcances y limitaciones	16
1.6.1. Alcances.	16
1.6.2. Limitaciones.	17
2. Marco Referencial	19
2.1. Antecedentes	19
2.2. Marco teórico	23
2.2.1. Modelamiento matemático.	23
2.2.2. Control de tráfico.	24
2.2.3. Estrategia de control de tiempo fijo.	25
2.2.4. Capacidad de servicio.	25
2.2.5. Niveles de servicio.	26
2.2.6. Simulación.	27
2.2.7. Algoritmos evolutivos.	28

2.2.8. Visión por computador.	30
2.3. Marco conceptual	31
2.3.1. Ciclo.	31
2.3.2. Fase.	31
2.3.3. Intervalo.	32
2.3.4. Flujo.	32
2.3.5. Desfase.	32
2.3.6. Densidad.	33
2.4. Marco contextual	35
2.5. Marco legal	37
3. Diseño Metodológico	38
3.1. Tipo de investigación	38
3.2. Población y muestra	38
3.2.1. Población.	38
3.2.2. Muestra.	38
3.3. Instrumentos o técnicas para la recolección de información	39
3.3.1. Fuentes primarias.	39
3.3.2. Fuentes secundarias.	39
4. Introducción a los resultados	40
5. Caracterización de los videos y de su metadata	41
6. Preprocesamiento de videos	44
6.1. Reducción de calidad y de cuadros por segundo	44
6.2. Selección de modelo para detección de objetos	44

7. Detección y seguimiento de objetos	45
7.1. Implementación de algoritmo de detección de objetos	46
7.1.1. Creación de dataset con carros, buses y motocicletas	46
7.1.2. Entrenamiento de red neuronal profunda para la detección de vehículos	47
7.1.3. Evaluación de modelo de detección	47
7.2. Implementación de algoritmo de seguimiento de objetos	49
7.3. Transformación de píxeles y <i>frames</i> a calles y minutos	50
8. Análisis exploratorio del tráfico vehicular	52
9. Diseño de la red de tráfico en el software de simulación	56
10. Simulación y optimización	62
10.1. Formulación del modelo matemático	62
10.2. Simulación del estado actual	63
10.3. Optimización de la red de tráfico con algoritmo genético	66
10.4. Comparación del estado actual y del estado propuesto	68
Conclusiones	76
Recomendaciones	78
Referencias bibliográficas	79