



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Vías Terrestres y Movilidad

Predicción de tráfico vehicular empleando Series de Tiempo  
y Redes Neuronales, aplicándolos a la optimización  
semafórica en un microsimulador

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Maestro en Vías Terrestres y Movilidad

Presenta

Julio Cesar Carrasco Morales

Dirigido por:

Dr. Ricardo Montoya Zamora

Dr. Ricardo Montoya Zamora  
Presidente

Dra. Teresa López Lara  
Secretario

Mtra. Silvia Patricia Salas Aguilar  
Vocal

Mtra. Luisa Ramírez Granados  
Suplente

Dr. Eduardo Betanzo Quezada  
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.  
Fecha de Aprobación por el Consejo Universitario noviembre, 2024  
México

La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

## Dedicatorias

*A toda mi familia, amigos, a Dios y a todas aquellas personas que siempre me apoyaron y estuvieron a mi lado durante este proceso. Sin su apoyo, esta investigación nunca se hubiera llevado a cabo.*

## **Agradecimientos**

*Primero que nada, agradecer a Dios por todas las bendiciones hacia mi persona y permitirme llegar a culminar esta etapa tan importante para mí.*

*A mi familia, quienes nunca dejaron de apoyarme, de brindarme ánimos y palabras de aliento para nunca rendirme durante todo el tiempo que duro esta etapa.*

*A la Universidad Autónoma de Querétaro por abrirme las puertas y dejarme formar parte de esta gran institución.*

*A mi Director de Tesis, el Dr. Ricardo Montoya Zamora por brindarme su apoyo y conocimiento en cada etapa de esta investigación.*

*A la Dra. Teresa López, a la Maestra Silvia Patricia Salas, al Dr. Eduardo Betanzo y a la Mtra. Luisa Ramírez Granados, por formar parte del comité de la presente tesis.*

*A cada uno de mis catedráticos de la maestría, quienes siempre me brindaron su ayuda y conocimiento, haciéndome n mejor profesionista.*

*A mis compañeros de posgrado por brindarme su apoyo y amistad durante mi estancia en el mismo.*

*A Conahcyt por brindarme la confianza y el apoyo económico para llevar a cabo esta investigación y mis estudios de posgrado.*

*A la Secretaria de Movilidad del Municipio de Querétaro por brindarme la información necesaria para hacer esta investigación.*

## Índice

Dedicatorias.....	2
Agradecimientos.....	3
Resumen.....	11
Palabras Clave:.....	11
Abstract.....	12
Keywords.....	12
I. Introducción.....	12
Planteamiento del Problema.....	16
Justificación.....	19
II. Antecedentes.....	21
Fundamentación Teórica.....	39
III. Hipótesis.....	45
IV. Objetivos.....	45
Objetivo General.....	45
Objetivos Específicos.....	45
V. Metodología.....	47
5.1 Obtener la Información.....	48
5.1.1 Aforos de conteo de giros.....	50
5.1.2 Aforos de velocidad.....	50
5.2 Análisis de Datos.....	51
5.2.1. Depurar información.....	51
5.2.2. Cálculo de datos faltantes.....	51
5.3 Pronostico del tráfico vehicular.....	52
5.3.1. Instalación de librerías.....	52
5.3.2. Generación de códigos.....	53
5.3.3. Corridas.....	54
5.4. Importación de mapa a microsimulador.....	54
5.4.1. Descarga del software de micosimulación.....	55
5.4.2. Edición de mapas.....	55
5.5 Pronostico del ciclo semafórico.....	56
5.5.1. Propuesta de tiempos para ciclos semafóricos.....	56
5.6 Microsimulación.....	56
VI. Resultados.....	58

6.1. Aforos vehiculares.....	58
6.2. Cálculo de datos faltantes .....	60
6.3. Predicciones de tránsito vehicular .....	60
6.4. Pérdidas durante el entrenamiento.....	68
6.5. Correlogramas .....	69
6.6. Colas vehiculares.....	73
6.7. Tiempos de recorrido .....	86
VII. Conclusiones .....	88
VIII. Discusión .....	91
IX. Bibliografía .....	93
X. Anexos .....	101
Anexo I. Código utilizado para la predicción de datos faltantes .....	101
Anexo II. Código utilizado para la predicción por el método autorregresivo.....	104
Anexo III. Código utilizado para la predicción por el método del Filtro de Kalman .....	106
Anexo IV. Código utilizado para la predicción por el método de Redes Neuronales...	108
Anexo V. Resultados de Predicción para 1 día, intersección Av. Pie de la Cuesta-Rio Tuxpan.....	111
Anexo VI. Resultados de predicción para 1 semana, Intersección Av. Pie de la Cuesta-Playa Roqueta.....	112
Anexo VII. Resultados de predicción para 1 mes, Intersección Av. Constituyentes-Av. Tecnológico.....	116
Anexo VIII. Correlogramas Av. Pie de la Cuesta-Av. Tlaloc.....	131
Anexo IX. Correlogramas Av. Pie de la Cuesta-Lago de Guadalupe .....	134
Anexo X. Correlogramas Av. Pie de la Cuesta-Playa Mocambo.....	137
Anexo XI. Correlogramas Av. Pie de la Cuesta-Playa Rincón .....	140
Anexo XII. Correlogramas Av. Pie de la Cuesta-Playa Roqueta.....	143
Anexo XIII. Correlograma Av. Pie de la Cuesta-Rio Tuxpan.....	146
Anexo XIV. Correlogramas Av. ConstituyentesIgnacio Pérez.....	149
Anexo XV. Correlogramas Av. Constituyentes-Av. Tecnológico .....	152

## Índice de Tablas

<b>Tabla 5.1.</b> Nombre de Intersecciones a analizar. -----	47
<b>Tabla 5.2.</b> Formato cvs dado a los aforos vehiculares. -----	50
<b>Tabla 5.3.</b> Datos de entrada y de salida para predicción de tráfico vehicular. -----	53
<b>Tabla 6.1.</b> Resultados de predicción del Método Autorregresivo para el sentido Norte. ---	60
<b>Tabla 6.2.</b> Resultados de predicción del Filtro de Kalman para el sentido Norte. -----	60
<b>Tabla 6.1.</b> Resultados de predicción de las RNN para el sentido Norte. -----	61
<b>Tabla 6.4.</b> Resultados de predicción del Método Autorregresivo para el sentido Este. ----	61
<b>Tabla 6.5.</b> Resultados de predicción del Filtro de Kalman para el sentido Este. -----	61
<b>Tabla 6.6.</b> Resultados de predicción de las RNN para el sentido Este. -----	62
<b>Tabla 6.7.</b> Resultados de predicción del Método Autorregresivo para el sentido Sur. ----	62
<b>Tabla 6.8.</b> Resultados de predicción del Filtro de Kalman para el sentido Sur. -----	62
<b>Tabla 6.9.</b> Resultados de predicción de las RNN para el sentido Sur. -----	63
<b>Tabla 6.10.</b> Resultados de predicción del Método Autorregresivo para el sentido Oeste -	63
<b>Tabla 6.11.</b> Resultados de predicción del Filtro de Kalman para el sentido Oeste. -----	63
<b>Tabla 6.12.</b> Resultados de predicción de las RNN para el sentido Oeste. -----	64
<b>Tabla 6.13.</b> Perdida de las RNN para la predicción de una semana con datos históricos de una semana para la intersección Pie de la Cuesta-Rio Tuxpan. -----	64
<b>Tabla 6.14.</b> Comparación de resultados de predicción en cantidad de vehículos para 1 hora en av. Pie de la Cuesta - Av. Tlaloc. -----	64
<b>Tabla 6.15.</b> Resultados de medición de colas vehiculares en av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana, sentido norte a sur. -----	74
<b>Tabla 6.16.</b> Resultados medición de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta–Rio Tuxpan, de norte a sur. -----	75
<b>Tabla 6.17.</b> Resultados medición de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta–Rio Tuxpan, de sur a norte. -----	75
<b>Tabla 6.18.</b> Resultados medición de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta–Rio Tuxpan, de este a oeste. -----	76
<b>Tabla 6.19.</b> Resultados medición de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta–Rio Tuxpan, de este a oeste. -----	76
<b>Tabla 6.20.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta–Lago de Guadalupe, de norte a sur. -----	77

<b>Tabla 6.21.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta–Lago de Guadalupe, de sur a norte. -----	78
<b>Tabla 6.22.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta–Lago de Guadalupe, de este a oeste. -----	78
<b>Tabla 6.23.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Roqueta, de norte a sur. -----	79
<b>Tabla 6.24.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Roqueta, de sur a norte. -----	80
<b>Tabla 6.25.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Roqueta, de este a oeste. -----	80
<b>Tabla 6.26.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Roqueta, de oeste a este. -----	81
<b>Tabla 6.27.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Mocambo, de norte a sur. -----	82
<b>Tabla 6.28.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Mocambo, de sur a norte. -----	82
<b>Tabla 6.29.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Mocambo, de oeste a este. -----	83
<b>Tabla 6.30.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Rincón, de norte a sur. -----	84
<b>Tabla 6.31.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Rincón, de sur a norte. -----	84
<b>Tabla 6.32.</b> Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Rincón, de oeste a este. -----	85
<b>Tabla 6.33.</b> Resultados de medición de tiempos de recorrido en Av. Pie de la Cuesta, de norte a sur. -----	86
<b>Tabla 6.34.</b> Resultados de medición de tiempos de recorrido en Av. Pie de la Cuesta, de sur a norte. -----	86

## Índice de Figuras

<b>Figura 2.1.</b> Estructura de una red neuronal recurrente. -----	43
<b>Figura 5.1.</b> Metodología a empleada en la investigación. -----	46
<b>Figura 5.1.1.</b> Croquis Av. Constituyentes, Centro, Santiago de Querétaro, Qro. -----	48
<b>Figura 5.1.2</b> Croquis Av. Pie de la Cuesta, Desarrollo San Pablo, Santiago de Querétaro, Qro. -----	48
<b>Figura 5.2.</b> Parte del código de interpolación para relleno de datos faltantes. -----	51
<b>Figura 5.3.</b> Parte del código para utilizado para la predicción de datos. -----	53
<b>Figura 6.1.</b> Conteo de movimiento, intersección Av. Constituyentes-Ignacio Pérez del mes de agosto. -----	57
<b>Figura 6.2.</b> Formato de clasificación vehicular, intersección Av. Constituyentes-Ignacio Pérez del día 01/08/2022. -----	58
<b>Figura 6.3.</b> Formato de velocidad, intersección Av. Constituyentes-Ignacio Pérez del día 01/08/2022, para el sentido norte-sur. -----	58
<b>Figura 6.4.</b> Vacío de información en aforo intersección Av. Pie de la Cuesta-Lago de Guadalupe. -----	59
<b>Figura 6.5.</b> Relleno de información en aforo intersección Av. Pie de la Cuesta-Lago de Guadalupe. -----	59
<b>Figura 6.6.</b> Comparación de resultados para 1 hora en la intersección Pie de la Cuesta - Av. Tlaloc.-----	65
<b>Figura 6.7.</b> Comparación de resultados para 1 día en la intersección Pie de la Cuesta – Rio Tuxpan.-----	66
<b>Figura 6.8.</b> Comparación de resultados para 1 semana en la intersección Pie de la Cuesta – Playa Roqueta. -----	66
<b>Figura 6.9.</b> Comparación de resultados para 1 mes en la intersección Av. Constituyentes – Av. Tecnológico. -----	67
<b>Figura 6.10.</b> Perdida de las RNN para la predicción de un mes con datos históricos de un mes para la intersección Pie de la Cuesta-Rio Tuxpan. -----	68
<b>Figura 6.11.</b> Perdida de las RNN para la predicción de una semana con datos históricos de una semana para la intersección Pie de la Cuesta-Rio Tuxpan. -----	68
<b>Figura 6.12.</b> Grafica de Correlograma para 2 días en Av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana. Fuente: Propia. -----	69

<b>Figura 6.13.</b> Grafica de Correlograma para 3 días en Av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana. -----	69
<b>Figura 6.14.</b> Grafica de Correlograma para 4 días en Av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana.-----	70
<b>Figura 6.15.</b> Grafica de Correlograma para 5 días en Av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana. -----	70
<b>Figura 6.16.</b> Grafica de Correlograma para 6 días en Av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana. -----	71
<b>Figura 6.17.</b> Grafica de Correlograma para 1 semana en Av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana. -----	71
<b>Figura 6.18.</b> Mapa de la Av. Pie de la Cuesta dentro del simulador. -----	73

## Índice de Formulas

<b>Ecuación 1.</b> Modelo general ARX. -----	41
<b>Ecuación 2.</b> Error Cuadrático Medio (MSE). -----	41
<b>Ecuación 3.</b> Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE). -----	42
<b>Ecuación 4.</b> Error Absoluto Medio (MAE). -----	42
<b>Ecuación 5.</b> Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE). -----	42
<b>Ecuación 6.</b> Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ). -----	42

## **Resumen**

Se diseñó un sistema de semáforo automatizado para optimizar los ciclos de los semáforos en el corredor de la Av. Pie de la Cuesta en el municipio de Santiago de Querétaro, Querétaro, México. Esto se logró mediante la predicción del tráfico vehicular mediante modelos autorregresivos, filtros de Kalman y redes neuronales recurrentes (RNN) e implementando estos métodos en un simulador microscópico. Se utilizaron datos históricos de siete intersecciones recopilados entre agosto y septiembre de 2022 para realizar predicciones de tráfico para diferentes escenarios (1 hora, 1 día, 1 semana y 1 mes) con cada uno de los tres métodos. Luego de las predicciones, cada método presentó ventajas y desventajas. El modelo autorregresivo no pudo realizar estimaciones de corto plazo, arrojando coeficientes de determinación por debajo de 0,1. En contraste, los filtros de Kalman lograron resultados de hasta 0,95 para predicciones de un día, con resultados similares para predicciones de una semana y un mes. Por último, las Redes Neuronales Recurrentes lograron sus mejores resultados con coeficientes alrededor de 0,95 para predicciones de un día y una semana, aunque no fueron tan buenos como los métodos tradicionales. Los resultados sugieren que las estimaciones a corto plazo se manejan mejor con redes neuronales, ya que este método es el más estudiado y completo. Por lo tanto, los resultados de una semana se aplicaron en un microsimulador para encontrar el ciclo de semáforo óptimo, lo que permitió una reducción de hasta un 36,34% en los tiempos de viaje dentro del corredor. Al aplicar tres métodos diferentes para la optimización de los semáforos, esta investigación tiene como objetivo abrir nuevas posibilidades en el campo.

### **Palabras Clave:**

Algoritmos genéticos, Microsimulación, Modelos Autorregresivos Optimización, Tránsito.

## **Abstract**

An automated traffic light system was designed to optimize traffic light cycles on the Av. Pie de la Cuesta corridor in the municipality of Santiago de Querétaro, Querétaro, Mexico. This was achieved by predicting vehicle traffic using autoregressive models, Kalman filters, and Recurrent Neural Networks (RNNs) and implementing these methods in a microscopic simulator. Historical data from seven intersections collected between August and September 2022 was used to make traffic predictions for different scenarios (1 hour, 1 day, 1 week, and 1 month) with each of the three

After the predictions, each method presented advantages and disadvantages. The autoregressive model could not make short-term estimates, yielding determination coefficients below 0.1. In contrast, the Kalman filters achieved results up to 0.95 for one-day predictions, with similar results for one-week and one-month forecasts. Lastly, Recurrent Neural Networks achieved their best results with coefficients around 0.95 for one-day and one-week predictions, although they were not as

The results suggest that short-term estimates are best handled by neural networks, as this method is the most studied and comprehensive. Therefore, the one-week results were applied in a microsimulator to find the optimal traffic light cycle, allowing for a reduction of up to 36.34% in travel times within the corridor. By applying three different methods to optimize traffic lights, this research aims to open new possibilities in the field.

## **Keywords**

Genetic algorithms, Microsimulation, Autorregresive Models, Optimization, Time Series Model.

## **I. Introducción**

El presente trabajo de investigación se realiza visualizando una problemática común hoy en día, la cual tiene que ver con el crecimiento exponencial del tránsito vehicular, el cual ha sobrepasado la infraestructura en las grandes ciudades del mundo, lo que ha causado grandes problemas de congestión, incrementando los tiempos de viaje y generando más contaminación. Por lo que es necesario desarrollar estrategias para controlar o al menos reducir los problemas asociados al tráfico vehicular en estas ciudades ya que día a día grandes ciudades del mundo registran mayores cantidades de vehículos de motor y por consecuencia, mayores volúmenes de tráfico (García-Nieto et al., 2012, Galván-Correa et al., 2020 y Aldape Cantú., 1997).

Algunos investigadores han propuesto que la solución al problema del congestionamiento vehicular se puede obtener mediante una óptima programación de los semáforos que llevaría a mejorar el flujo vehicular (Cai et al., 2009). Se ha comprobado que una mejora en la programación semafórica es capaz de reducir no solamente el congestionamiento vehicular (García-Nieto et al., 2013), sino también los tiempos de viaje y los niveles de emisiones contaminantes emitidos. El problema del tránsito vehicular es una preocupación creciente en las áreas metropolitanas, ya que tiene implicaciones negativas para la salud, el medio ambiente y la economía. (Cai et al., 2009; García-Nieto et al., 2013; AbuShawish et al., 2020; Nakamura et al., 2018; Wang et al., 2014; Olaverri-Monreal et al., 2018; y Villagra, 2020).

En México, la problemática del congestionamiento vehicular se presenta de manera evidente en las principales ciudades del país. La ciudad de México ocupa el lugar número 1 de las ciudades con mayor congestión vehicular en América Latina y el lugar número 28 a nivel mundial, además, otras ciudades importantes como Guadalajara y Monterrey también enfrentan problemas similares. En las ciudades mexicanas de tamaño mediano, como Querétaro, que es la séptima ciudad a nivel nacional con más tráfico vehicular, de acuerdo con la plataforma Waze, quien

reportó en el año 2022 niveles de movilidad mayores a los registrados en años prepandemia (TomTom, 2023). Los estudios de investigación han encontrado que el tráfico en estas y otras ciudades, ha incrementado, lo que ha llevado a problemas de congestión en las carreteras principales y en las vías de acceso (Mohanty et al., 2019).

Otros estudios han encontrado que el congestionamiento vehicular tiene un impacto significativo en la economía del país, ya que reduce la eficiencia en la entrega de bienes y servicios (Ranjan et al., 2020). El problema del congestionamiento vehicular se extiende más allá, lo cual es respaldado por investigaciones que muestran cómo el congestionamiento vehicular afecta el desempeño de servicios de emergencia, como los camiones de bomberos, lo que provoca un incremento en los daños monetarios promedios causados por incendios (Brent & Beland, 2020). Uno de los desafíos que enfrentan los sistemas de transporte urbano en América Latina y el Caribe es el congestionamiento vehicular, lo que lleva a altos flujos vehiculares, accidentes de tránsito y contaminación (Yañez-Pagans et al., 2019).

En un estudio realizado en China, examinaron el impacto de la implementación de un programa piloto de ciudad inteligente en el congestionamiento vehicular. El estudio encontró que la innovación de ciudades inteligentes puede potencialmente mejorar el congestionamiento vehicular, lo que sugiere que se combinen diversas estrategias, incluidas las iniciativas de ciudades inteligentes, para disminuir el congestionamiento vehicular (Guo et al., 2020).

Los investigadores en transporte, han propuesto varias soluciones para resolver el problema del congestionamiento vehicular: la promoción del transporte público, el desarrollo de infraestructura de transporte sostenible, la implementación de sistemas de peaje y la promoción de programas de vehículos compartidos (carpooling) (Guo et al., 2020). Sin embargo, estas soluciones no son una solución

única y deben ser implementadas de manera combinada para obtener resultados efectivos.

La integración de modelos matemáticos, datos de flujo vehicular y el análisis de redes puede ayudar a analizar y planificar sistemas de transporte público, lo que puede disminuir el congestionamiento vial (Droj et al., 2021). Por ello, en este estudio, se propone como primera etapa el uso de modelos de series de tiempo y redes neuronales para predecir el flujo de tráfico en un corredor, en la ciudad de Querétaro. Las intersecciones por analizar serán intersecciones semaforizadas y con flujo mixto. Como segunda etapa se utilizará un microsimulador para obtener el ciclo semafórico óptimo y disminuir las colas vehiculares y los tiempos de viaje.

## **Planteamiento del Problema**

Uno de los grandes problemas de las ciudades es la óptima configuración de los semáforos, estos juegan un papel importante en la gestión del tráfico, pero, el sistema de semáforos existente en la mayor parte de zonas semaforizadas no logra hacer frente al aumento de los requerimientos de tránsito vehicular debido a la programación horaria fija o manual (Al-qutwani y Wang,2019). Por diseño, los semáforos restringen el flujo libre del tráfico al programar la intersección para diferentes direcciones en diferentes momentos y, en consecuencia, agregan demoras al tráfico. Las señales de tiempo fijo utilizan datos históricos para determinar el tiempo de ciclo general, así como la división entre diferentes arterias, el problema fundamental es que las condiciones del tráfico siempre están cambiando y las señales de sincronización fija normalmente permanecerían por debajo del nivel óptimo para las condiciones predominantes (Li et al., 2014).

Los datos del Imco (2019), revelan que: “en promedio a nivel nacional, una persona que viaja en transporte público pasa 432 horas al año en el tráfico en sus traslados entre el trabajo y casa; quienes utilizan automóvil invierten hasta 264 horas al año”, lo que ocurre más en la zona metropolitana del Valle de México, Monterrey, Guadalajara, Puebla y Tlaxcala, ciudades con mayor congestión vehicular. La zona metropolitana del Valle de México es la más congestionada de todo el país: “Un trabajador invierte hasta 480 horas al año en traslados en transporte público, el equivalente a 20 días, y hasta 384 horas, o 16 días al año, si lo hace en automóvil” (Centro de Investigación en Política Pública, 2019).

En el municipio de Querétaro la configuración semafórica tiene algunas deficiencias. El funcionamiento del sistema semafórico consiste en el monitoreo de las intersecciones, el cual se ve reflejado en un mapa de la ciudad, en este mapa cuando hay una vialidad con congestión vehicular se encienden puntos rojos y la optimización del tiempo semafórico se da de forma manual, en donde se aumenta o disminuye el tiempo de las fases semafóricas según sea el caso. Otro ejemplo es

que es muy común ver los semáforos en ámbar y un oficial de movilidad es quien hace el control de paso vehicular en la intersección para de esta manera optimizar el flujo vehicular y dar preferencia a las vías congestionadas. Por lo que se pretende otorgar una herramienta para complementar el sistema semafórico actual y solucionar la problemática antes mencionada.

Por otra parte, unos de los principales objetivos de Municipio de Querétaro planteados en su Plan Municipal de Desarrollo del Municipio de Querétaro 2021-2024, es mejorar la movilidad y ayudar al medio ambiente. En una encuesta realizada a la ciudadanía presentada en este documento, en cuanto a importancia para dar prioridad de solución a las problemáticas del municipio, el 34.7% de las personas votaron en solucionar los temas de movilidad y un 21.1% en temas relacionados con el medio ambiente sobre el 100%, por lo que, el presente trabajo busca otorgar una herramienta al Municipio para que pueda dar frente a estas problemáticas presentadas (H. Ayuntamiento de Querétaro, 2022).

La alta congestión vehicular hace que alrededor del 40% de la población mundial pase al menos una hora en la carretera todos los días, el control de semáforos es un problema importante y desafiante del mundo real, cuyo objetivo es minimizar el tiempo de viaje de los vehículos mediante la coordinación de sus movimientos en las intersecciones de carreteras (Hurtado et al., 2021).

El uso de modelos de series de tiempo permitirá la predicción de tráfico a diferentes horas del día, estimada con base en información histórica de la variación del tránsito vehicular, se cree pueda ser una solución óptima para mejorar el flujo de los vehículos, trayendo consigo múltiples beneficios como el reducir la congestión de tráfico, demoras y por consecuencia las emisiones contaminantes.

La ciudad de Querétaro tiene importantes avenidas, las cuales enlazan diferentes puntos de la ciudad, que permite a la gente trasladarse, ya sea por motivos de

trabajo, estudio o algún otro. Los corredores de Constituyentes y Pie de la Cuesta tienen gran importancia en los traslados antes mencionados, por lo cual sufren alta demanda de usuarios, llegando a límites de congestión vial. La importancia de estos corredores da una razón importante para elegirlos y así poder solucionar los problemas que se presentan en cuestión de tráfico vehicular.

## **Justificación**

El interés de este estudio se centra en buscar una mejora en los tiempos del ciclo semafórico en el corredor de análisis de Av. Pie de la Cuesta. Actualmente, el cambio en el ciclo semafórico del corredor varía en función de la demanda mediante los cambios que se realizan desde el centro de control ubicado en la Secretaría de Movilidad del Municipio de Querétaro (SEMOV) y surge la pregunta ¿Es esta la configuración óptima para el corredor de Pie de la Cuesta? ¿Se puede incrementar la velocidad de marcha en el corredor? ¿Hay afectación a las avenidas que cruzan el corredor? Sin duda, el problema del congestionamiento vial tiene varias causas: la capacidad vial insuficiente, la demanda sin restricciones y la programación inadecuada de las fases de los semáforos (Hurtado-Gómez et al., 2021).

Una segunda motivación, que impulsa el desarrollo de esta tesis, se basa en la búsqueda de la implementación de la metodología y modelos propuestos para la mejora del control del tránsito y que se pueda aplicar, en mediano plazo, en otros corredores de Querétaro o incluso en otras ciudades del país.

Una tercera motivación para el desarrollo de esta investigación, radica en analizar el uso de técnicas como son: el uso de los algoritmos autorregresivos y los filtros de Kalman que pueden sentar las bases de una aplicación práctica a bajo costo y la introducción de modelos de series de tiempo en los análisis del tránsito en Querétaro. El encontrar un modelo de predicción del tránsito vehicular es crucial para hacer las estimaciones correspondientes una vez que se hagan cambios en el ciclo semafórico dentro del simulador.

Es importante evaluar el desempeño de estos dos modelos en comparación con las redes neuronales (y variantes de las redes neuronales) ya que éstas, según reportan las investigaciones (Joo, H et al., 2020; Rasheed, F. et al., 2020; Casas, N., 2017; Navarro-Espinoza et al., 2022; Liang et al., 2019; Pang y Gao, 2019; Genders y Razavi, 2018), son las que han obtenido los mejores resultados. El

incremento de la carga vehicular, los problemas del tránsito y la conectividad; debido a las obras temporales de Av. 5 de febrero (Diario de Querétaro, 2022), ha presentado incrementos en los flujos vehiculares de distintas avenidas; tal es el caso, del corredor de Av. Pie de la Cuesta, el cuál será evaluado en las condiciones de sobrecarga y se espera que los modelos encontrados hagan una mejor predicción en condiciones usuales.

El desahogo del congestionamiento vehicular de las áreas urbanas es de vital importancia. Para un correcto funcionamiento semafórico en el corredor vial, es necesario enfocarse más en la coordinación entre los semáforos de las diferentes intersecciones antes que la duración de ellos, el aplicar un simulador ayudara a observar y proponer los tiempos correctos que permitan agilizar el paso de los vehículos y reducir las colas vehiculares (Aldape Cantú, 1997).

## **II. Antecedentes**

- Control semafórico

No se tiene con exactitud la fecha en donde se empezó a aplicar el semáforo para solucionar problemas de tránsito en el mundo. En México, se instalaron los primeros semáforos en la intersección Av. Juárez con San Juan de Letrán, en el año 1924. Consistía en un tubo que tenía dos letreros, uno que decía “Adelante Adelante” y otro que decía “Alto Alto”, el cual lo manejaba un oficial de policía quien hacía girar el tubo y cambiaba el letrero (Aldape Cantú, 1997).

Como consecuencia de los problemas de tránsito se desarrolló el dispositivo llamado semáforo de tiempo fijo, donde William Potts fue el desarrollador. En este tipo de semáforos la duración de verde, ámbar y posteriormente rojo no varía, este arreglo aun es utilizado en estos días, siendo la primera instalación en la ciudad de Detroit, en los Estados Unidos de América en el año 1920.

Los primeros intentos para coordinar el sistema semafórico se hicieron con un sistema simultaneo en el cual todas las luces a lo largo de la calle indican “siga” simultáneamente y en las transversales se indica “alto”. Posteriormente aparecieron los semáforos accionados por el tránsito, este se hizo posible mediante un interruptor automático, sin embargo, no fue lo suficientemente eficiente, ya que, por los requisitos del sistema era a menudo que se tuviera luz roja en una calle donde se necesitaba luz verde y viceversa, los tiempos no podían ajustarse a volúmenes fuertes a ciertas horas. Se decía que este control era ciego ya que no se tenía ningún conocimiento de la demanda.

El siguiente elemento significativo fue la incorporación de las computadoras para el control semafórico en el año 1950, estas permitieron el procesamiento de datos de demanda de tráfico, haciendo posible el reparto en el ciclo del semáforo. (Aldape Cantú, 1997).

En los últimos años, diversos investigadores han implementado técnicas y algoritmos para optimizar el control de semáforos con el objetivo de mejorar el flujo vehicular, reducir retrasos, reducir emisiones contaminantes y aumentar la eficiencia. En otros estudios han hecho uso de inteligencia artificial (en sus distintas modalidades como son las redes neuronales artificiales, aprendizaje profundo y aprendizaje por refuerzo), de heurísticas o de metaheurísticas y simuladores para optimizar el ciclo semafórico. A continuación, se presentan las investigaciones y estudios donde aplican estos y otro tipo de modelos o herramientas para la optimización semafórica.

En cuestión de optimización de ciclos semafóricos y microsimuladores hay diferentes investigaciones realizadas a lo largo del tiempo. Por ejemplo, en la ciudad de Rouen en Francia, se utilizó un microsimulador llamado "*Simulation of Urban Mobility*" (*SUMO*) junto con un algoritmo genético (*Genetic Algorithm* – GA, por sus siglas en inglés) para optimizar la duración de los tiempos en verde en los semáforos y mejorar varios criterios, como la capacidad de la red para manejar flujos vehiculares importantes o emisiones de contaminantes. El sistema desarrollado con un algoritmo genético multiobjetivo desarrollado en el microsimulador (denominado MOGA) lo aplicaron en una red de tamaño mediano (11 intersecciones, 168 semáforos y 40 movimientos de giro), mostrando que el sistema MOGA optimiza el control semafórico en un tiempo razonable (Damay, 2015).

Otra investigación, donde también hacen uso de un software no propio, pero centran su investigación en el uso de la infraestructura existente (semáforos) para abordar el problema del tráfico vehicular en áreas metropolitanas con el objetivo de reducir el congestionamiento vehicular, emisiones, pérdidas económicas, etc. Para lograr esto, proponen dos versiones de un Algoritmo Genético Celular (*Cellular Genetic Algorithm* – *cGA*, por sus siglas en inglés) a los que denominan como síncrono y asíncrono para mejorar el flujo vehicular utilizando el microsimulador SUMO y

aplicándolo en las ciudades de Málaga y París (Villagra et al., 2020).

Otero, (2023) centró su investigación en optimizar la gestión semafórica de una intersección en Salamanca, España; utilizando técnicas de optimización como algoritmos genéticos, enjambre de partículas, aprendizaje de refuerzo, lógica difusa y agentes inteligentes, aplicándolas en el simulador SUMO. El resultado fue una distribución más equitativa del flujo vehicular, evidenciando la importancia de la simulación de tráfico y las técnicas de optimización para la eficiencia vial.

Caminos, (2010) simuló la sincronización de semáforos de una zona del centro de la Ciudad de Buenos Aires, Argentina; en una avenida principal de varios carriles y un conjunto de calles transversales que actúan como intersecciones. Se implementó el uso de Simul8 como herramienta de simulación para construir el modelo de semáforos y la misma herramienta para modelar el tráfico vehicular sobre la red. Este modelo se utilizó para reproducir el actual comportamiento del tráfico y determinar las mejoras convenientes para optimizar el sistema. Se determinó mediante observación que la duración de los tiempos semafóricos es la principal causa del congestionamiento, por lo que se propusieron mejoras y se decidió su factibilidad en la implementación.

Rodríguez (2021) en su trabajo para obtención de grado, nos dice que para lograr el aumento de velocidad de recorrido y minimizar los tiempos de demora era necesario un sistema de semáforos sucesivos correctamente sincronizado. Aplicando un modelo de lógica difusa basado en velocidad, densidad y flujo vehicular y mediante un vehículo flotante se recolectó información con la ayuda de un GPS, dando varios recorridos en una avenida de la Ciudad de Querétaro, México. Una vez que se recolectó la información necesaria se realizó la coordinación de los tiempos de semáforo con ayuda de el simulador VISSIM, obteniendo mejoras de hasta 54% en la velocidad global y 36% en los tiempos de recorrido.

Abanto y Espinoza (2023) en su proyecto se enfocaron en la intersección Av. Panamericana Norte Km 32 con la Av. San Juan en el distrito de Puente Piedra en Lima, Perú; con el propósito de mejorar los niveles de servicios actuales. Para llevar a cabo esta evaluación, utilizó el software Vissim, el cual tiene como una de sus funciones microsimular el tráfico de la intersección mediante el flujo vehicular, peatonal, ciclo semafórico y la geometría. Se realizó la calibración que consiste en ajustar parámetros de Wiedemann. Los principales parámetros que se evaluaron son los tiempos de viaje y los niveles de servicios. Luego se realizó la validación y se planteó 2 alternativas, la primera consiste en una optimización semafórica y la segunda en un rediseño de la intersección. Ambas alternativas lograron la reducción de la congestión hasta en 2 niveles de servicio en algunos tramos de la intersección.

Otros autores se centraron solamente en utilizar microsimulación para analizar el control semafórico, como por ejemplo el uso de simuladores como SUMO y VISSIM, con un esquema de coordinación de señales de tráfico enfocado en la reducción de emisiones vehiculares y la disminución de la demora de los vehículos en la ciudad de Changzhou (China). Los autores proponen un algoritmo que usa curvas de llegada y salida para aplicarlo en una simulación microscópica en el software VISSIM usando también el modelo integral de emisiones modales (*Comprehensive modal emission model – CMEM*, por sus siglas en inglés) (Ji et al., 2016).

Otro caso similar, se presentó en la ciudad de Barranquilla, Colombia donde para mejorar la movilidad en intersecciones con alto flujo vehicular utilizaron una técnica de simulación y optimización para encontrar el ciclo ideal del semáforo que pueda disminuir el tiempo de la cola vehicular en una de las vías principales y más congestionadas de esa ciudad. Los resultados demostraron que se logró reducir significativamente el tiempo en tránsito de los vehículos y aseguran que se puede replicar en cualquier escenario que maneje condiciones similares de flujo vehicular (Ramirez-Polo, et al., 2022).

Dejando de lado los simuladores, Singh, L., et al. (2017) proporciona una estrategia para el control semafórico en tiempo real utilizando algoritmos genéticos desarrollados en Matlab para mejorar el rendimiento en intersecciones. Este sistema denominado como "inteligente", toma decisiones en tiempo real basado en un emulador de tráfico (desarrollado en JAVA) que emula tránsito dinámico y optimiza los tiempos del verde en tiempo real.

Otra aplicación relacionada, es la de redes neuronales de aprendizaje automático reforzado en intersecciones semaforizadas. Para lograr esto proponen un método basado en el gradiente político determinístico profundo (DDPG), ajustando el tiempo de duración de las fases y minimizando el tiempo promedio de demora del vehículo y el desempeño de éste lo compararon con una red neuronal Q profunda (DQN) y el control de tiempo fijo, encontrando que el DDPG ofrece mejores resultados (Pang y Gao., 2019).

En más investigaciones relacionadas con este método, Sabar, et al., (2017) presentan un algoritmo memético adaptativo (*Memetic Algorithm – MA*, por sus siglas en inglés) es propuesto para optimizar los tiempos de las señales en las redes viales urbanas utilizando datos de tráfico; este algoritmo se probó en dos estudios de caso y los resultados demuestran que es mejor que los algoritmos genéticos y que las configuraciones tradicionales de semáforos de tiempo fijo.

Otra investigación, se centró en resolver el problema de programación de semáforos urbanos a gran escala (*Large-scale Urban Traffic Light Scheduling Problem – LUTLSP*, por sus siglas en inglés) mediante un modelo centralizado que minimiza el tiempo de demora total de la red de todos los vehículos en una ventana de tiempo. Para lograrlo, implementaron tres algoritmos de optimización metaheurística: el algoritmo Jaya, la búsqueda de armonía (Harmony Search – HS, por sus siglas en inglés) y el algoritmo del ciclo del agua (*Water Cycle Algorithm – WCA*, por sus siglas en inglés). Los experimentos se realizan con datos de tráfico en Singapur y

los resultados muestran que estos métodos de optimización son efectivos para resolver el problema y superar las estrategias de control de semáforos existentes (Gao, K. et al., 2017).

También, se han aplicado solamente técnicas de optimización, sin utilizar el uso de simuladores (Gao, et al., 2017 y Sabar, et al., 2017) y diferentes estudios han utilizado el enfoque de algoritmos de optimización global, como algoritmos evolutivos y optimización por enjambre de partículas. Estos algoritmos utilizan modelos matemáticos y simulaciones para encontrar los tiempos óptimos de los semáforos en función de las condiciones de tráfico en tiempo real considerando el volumen de tráfico, los niveles de congestión y las tasas de llegada de vehículos, ajustando de forma dinámica los tiempos de señal para minimizar los retrasos y maximizar el flujo (Jin et al., 2017a; Jin et al., 2017b; y Zhang et al., 2020).

En la ciudad de Montevideo en Uruguay, se utilizó un algoritmo evolutivo multiobjetivo (MOEA) para la optimización del control de semáforos, para la programación de semáforos inteligentes con buenos resultados (Péres et al., 2018). Como ya se mencionó anteriormente, hay gran variedad de métodos de control semafórico, por ejemplo hay otro donde se utiliza el aprendizaje por refuerzo (*Reinforcement Learning – RL*, por sus siglas en inglés) para diseñar controladores semafóricos adaptativos, lo que son implementados en una red de tráfico congestionada en la ciudad de Teherán en distintos escenarios que contemplan diferentes perturbaciones del tráfico (interrupciones del tráfico, cruces oportunistas de peatones, carriles de estacionamiento, congestión no recurrente y diferentes niveles de ruido en los sensores). Concluyeron que, en seis escenarios propuestos, el controlador adaptativo basado en redes de funciones radiales (*Radial Basis Function – RBF*, por sus siglas en inglés) es el mejor y supera a otros tipos de controladores de estado discreto, controladores de estado fijo y actuados (Aslani, et al., 2017).

El aprendizaje por refuerzo tiene el potencial de mejorar el control de semáforos de tráfico para reducir el tránsito vehicular mediante la comparación de resoluciones diferentes: baja, media y alta. Los autores usaron la configuración del actor crítico de ventaja asincrónica (*asynchronous advantage actor-critic algorithm*) concluyendo que las representaciones de baja resolución funcionan igual de bien que las de alta resolución (Genders y Razavi, 2018).

Siguiendo la misma línea de investigación, existe un modelo de aprendizaje automático profundo, reforzado para controlar el ciclo de semáforos, utilizando información de tráfico en tiempo real y dividiendo la intersección en pequeñas rejillas. En este modelo los cambios de duración del ciclo semafórico se analizan mediante procesos de decisión de Markov de alta dimensión logrando mejorar el rendimiento a través del uso de un simulador (Liang et al., 2019).

Además de las investigaciones basadas en este tema, hay quienes proponen, la construcción de dos tipos de algoritmos de aprendizaje por refuerzo (*Reinforcement Learning – RL*, por sus siglas en inglés): agentes basados en gradiente de políticas profundas (*Policy Gradient – PG*, por sus siglas en inglés) y basados en funciones de valor, que pueden predecir el mejor ciclo semafórico para una intersección ya que los agentes de control adaptativo reciben el estado actual y producen una configuración del ciclo semafórico. Este método muestra resultados prometedores en una red de tráfico simulada (Mousavi, et al., 2019).

De igual manera, se investigó un método de control de semáforos cooperativo en donde la red de tráfico urbano se modela como una red inteligente de colas controlada por agentes, en la que los agentes intercambian la información de la longitud de la cola y la información del tiempo de fase del semáforo en cada intersección, e intersección vecina, y determinan el tiempo de fase en función de las condiciones del flujo vehicular en cada intersección (Hao, et al., 2019).

Cambiando de línea de investigación, la optimización del tiempo de los semáforos sigue siendo un desafío y un problema aún sin resolver en escenarios complejos. Uno de los problemas clave en la optimización de semáforos es el gran volumen de información de entrada por lo que, en otro artículo, el autor propone utilizar un enfoque de aprendizaje profundo, en particular el algoritmo de gradiente de política determinista (*Deep Deterministic Policy Gradient – DDPG*, por sus siglas en inglés). Este algoritmo fue aplicado en distintas escalas, desde una intersección, hasta una ciudad, y los resultados demostraron que el uso de DDPG permite mejorar significativamente la eficiencia del tráfico y reducir los tiempos de espera en las intersecciones (Casas, N., 2017).

También, se han estudiado los entornos de tráfico cambiante, los cuales se considera que deben ser cada vez mayores y de gran complejidad por lo que los controles semafóricos se deben adaptar a las variaciones para gestionar el tránsito vehicular. Proponen un sistema de control semafórico que maximiza el número de vehículos que cruzan una intersección y adapta los tiempos de los semáforos en las intersecciones utilizando técnicas de Q-Learning (QL) de tal manera, que el sistema sea flexible y se adapte a los cambios en el flujo vehicular en la intersección (Joo, H. et al., 2020).

Otros autores, basaron sus investigaciones en la aplicación de redes neuronales profundas (*Deep Q Network – DQN*, por sus siglas en inglés) ya que éstas pueden resolver problemas complejos, como lo es el congestionamiento vehicular, para ello usan una técnica a la que denominan *Multi Agent Deep Q-Network (MADQN)* para reducir la dimensionalidad en redes con alto volumen de tráfico y perturbaciones. En la ciudad de Sunway en Malasia, se realizó un análisis utilizando el Simulador de Movilidad Urbana (*SUMO*) y el software Matlab lo que les permitió reducir el tiempo total de viaje de los vehículos (Rasheed, et al., 2020).

Otro concepto utilizado, es el de autoorganización, el cual, se aplica a algoritmos de

control semafórico. Este enfoque permite que los semáforos cambien según la presencia de vehículos, en lugar de seguir horarios fijos por lo que se adaptan a las variaciones del flujo vehicular en cualquier hora del día (Movius y Vuuren, 2019).

En otras investigaciones, utilizan sistemas de control inteligente que incorporan algoritmos de inteligencia artificial (*Artificial Intelligence – AI*, por sus siglas en inglés), aprendizaje automático y aprendizaje profundo. Estos sistemas se caracterizan porque aprenden los patrones de los datos históricos del tránsito y son capaces de tomar decisiones en tiempo real para optimizar los tiempos de los semáforos. Los algoritmos de aprendizaje por refuerzo, como el aprendizaje Q, han sido particularmente efectivos en este sentido al evaluar continuamente el rendimiento de diferentes tiempos en el semáforo y ajustarlos en consecuencia, estos sistemas pueden adaptarse a patrones de tráfico cambiantes y mejorar la eficiencia del tráfico en general (Dimon et al., 2022; Stoilova et al., 2021 y Rasheed, F. et al., 2020).

En el Centro de Investigación de Huawei en Munich, se utilizaron un conjunto de datos para la predicción del tránsito vial, discutiendo los desafíos del tránsito vehicular que se presentan en áreas urbanas y cómo la tecnología (específicamente la inteligencia artificial y la conducción autónoma), puede usarse para resolver estos problemas. Los autores realizaron una investigación, donde usaron un modelo basado en agentes en el software SUMO para administrar los tiempos de los semáforos en las intersecciones, teniendo grandes resultados y concluyendo que la tecnología es óptima para el problema. (Navarro-Espinoza et al., 2022).

Otros investigadores, propusieron la programación dinámica aproximada como una alternativa a la programación dinámica tradicional, pero aplicada al control semafórico bajo la premisa de que al estimar el valor de estar en un estado en el momento actual y optimizar la utilidad general, se puede tomar una decisión óptima para transferir el estado a la siguiente etapa (Cai et al., 2009). La optimización se

puede lograr mediante la asignación de diversas prioridades de paso en la intersección, en diferentes intersecciones y de esta manera adaptándose a las necesidades específicas de cada intersección, lo que se puede interpretar como un flujo vehicular más continuo y menor demora en la intersección (Wang et al., 2021).

Para complementar, se hace mención de otros métodos que han aplicado diferentes autores, en el cual el ciclo semafórico es el objetivo principal, por ejemplo, se ha diseñado un sistema de control inteligente para semáforos llamado *Fuzzy Intelligent Traffic Signal (FITS)* o señal de tráfico inteligente difusa que tiene la capacidad de mejorar la movilidad del tráfico en comparación con otras estrategias de control de señales probadas. En este sistema se implementó la lógica difusa para el control semafórico utilizando un software de simulación microscópica mostrando mejor desempeño que otras configuraciones tradicionales debido a su característica de auto diagnóstico (Jin, J. et al., 2017b).

Jovanović et al., (2017) desarrollaron un sistema de control semafórico basándose en la técnica de Optimización de la Colonia de Abejas (Bee Colony Optimization – BCO, por sus siglas en inglés), el cual se basa en los principios de la inteligencia colectiva, aplicada por las abejas, durante el proceso de recolección de néctar. El método busca minimizar el tiempo total de viaje de todos los usuarios de la red en intersecciones con semáforos y los autores demuestran que el método BCO, comparado con el algoritmo llamado *Simulated Annealing (SA)* es superior en su desempeño.

Hay quienes proponen, dos esquemas de control de semáforos inteligentes seguros que utilizan: computación en la niebla y se basan en la dureza de rompecabezas computacionales Diffie–Hellman y el rompecabezas de colisión Hash. El primer esquema es una extensión simple de un esquema anterior, pero no es eficiente en altos flujos vehiculares. El segundo esquema resultó ser más eficiente y amigable

con los dispositivos de niebla, incluso en condiciones de flujo vehicular alto (Liu, J. et al., 2018).

Se ha estudiado, el uso de sistemas de gestión de tráfico en tiempo real, aplicado en una ciudad, obteniendo la información colectiva de distintos vehículos denominada el Internet de Vehículos (IoV). En este estudio usaron métodos de fusión de información distribuida y aprendizaje automático para optimizar la gestión del tráfico en redes a gran escala (Wang et al., 2018).

Otra opción, una nueva tecnología llamada *Vehicular Ad-hoc Networking (VANET)* que utiliza una arquitectura de red llamada *Data Networking (NDN)* para mejorar el manejo del tráfico vehicular. Este sistema inteligente de semáforos envía una señal a una unidad del sistema (*Road Suit Unit – RSU*, por sus siglas en inglés) y obtiene información de los vehículos que llegan a la intersección. Procesa la información de los flujos vehiculares, prioriza y finalmente envía un mensaje para cada vehículo para cruzar la intersección o esperar un tiempo. Este sistema se enfoca en las aplicaciones con vehículos autónomos, de peatones y estacionamiento (Al-qutwani y Wang, 2018).

Otro desarrollo, es una nueva meta-heurística bioinspirada, denominada sistema inmune micro artificial (*Micro Artificial Immune System – MAIS*, por sus siglas en inglés), con el objetivo de reducir las emisiones contaminantes. El análisis lo realizaron en Av. Revolución y en Av. Insurgentes. Los resultados muestran que MAIS tuvo un mejor desempeño que los algoritmos desarrollados como Recocido Simulado (*SA - Simulated Annealing*, por sus siglas en inglés), algoritmos genéticos (GA), Optimización de Enjambre de Partículas (*Particle Swarm Optimization – PSO*, por sus siglas en inglés) y Evolución Diferencial (*DE - Differential Evolution*, por sus siglas en inglés) (Galván-Correa, et al., 2020).

En otras líneas de investigación con el mismo objetivo, se utilizaron técnicas de aprendizaje profundo para optimizar los parámetros de las señales de tráfico para

reducir el congestionamiento vehicular (Nakamura et al., 2018). Los sistemas de transporte inteligente, como los sistemas de asistencia de semáforos basados en comunicación V2I, también se han implementado para mejorar el flujo de tráfico y reducir las emisiones de gas (Olaverri-Monreal et al., 2018).

Se han propuesto distintos estudios para abordar los desafíos de la optimización del control semafórico, como el enfoque de inteligencia de enjambre para optimizar la programación de los semáforos en áreas urbanas, optimizando el flujo vehicular, reduciendo las emisiones contaminantes y otros problemas relacionados (García-Nieto et al., 2012).

Finalmente se tienen estudios donde se abarcan distintos modelos, desde algoritmo de visión por imágenes (Yusefi et al., 2020), el uso de cámaras (Shan y Zhu, 2015), lógica difusa (Jin, J. et al., 2017b), vehículos inteligentes (Wang et al., 2018; Alqutwani y Wang, 2019), sistemas inmunes (Galván-Correa, R., et al., 2020) o computación en la niebla (Liu, J. et al., 2018).

- Pronóstico del flujo vehicular

En cuanto a investigaciones relacionadas con el pronóstico del flujo vehicular de igual manera existen distintos autores con diferentes métodos. Como ya se mencionó para el caso de esta investigación se utilizaron tres métodos: Redes Neuronales, Filtros de Kalman y Modelos Autorregresivos, de estas tres, la más estudiada han sido las Redes Neuronales, por ejemplo, hay un caso donde se hace uso de otra configuración de red neuronal conocida como LSTM (memoria a corto y largo plazo) y le dan la aplicación de la predicción del flujo vehicular basándose en datos históricos y concluyen que la red LSTM es muy efectiva en la predicción del tránsito vehicular a corto plazo (Zhang y Xin, 2020).

Otro enfoque similar se dio a las predicciones de corto plazo debido a la complejidad que presentan en los flujos vehiculares en tiempo real y sin contar con datos históricos. Los autores proponen un modelo de predicción combinado, para el flujo de tráfico a corto plazo, basado en el modelo de Media Móvil Integral Autorregresiva (ARIMA) y una red neuronal de memoria a corto plazo (LSTM). La característica lineal de los datos de tráfico se obtuvo con el modelo ARIMA y la característica no lineal se obtuvo del entrenamiento de la Red Neuronal. Utilizando los indicadores Error Absoluto Medio (MAE), el Error Cuadrático Medio (MSE), y el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE), los resultados mostraron que, al evaluar tres conjuntos de datos de carreteras, el modelo combinado tuvo mejores predicciones (Lu et al., 2021).

Hay otros métodos de Redes Neuronales, como es el caso de una predicción basada en una red neuronal DE-BP para el tráfico de red en ciudades inteligentes. Este estudio demuestra la precisión de la Red Neuronal propuesta en la predicción de la tendencia del tráfico por lo que los autores destacan su potencial para mejorar el monitoreo y la gestión del tránsito en ciudades inteligentes (Pan et al., 2019).

O el desarrollo un algoritmo de optimización de ballenas mejorado (*Improved Whale Optimization Algorithm – IWOA*) y lo combinan con una red neuronal wavelet (*Wavelet Neural Network – WNN*) para optimizar los pesos iniciales de forma iterativa para la predicción del flujo de tráfico a corto plazo. El modelo combinado (IWOA-WNN) predice el flujo de tráfico de una manera más efectiva que el modelo WNN puro, esto en términos de error absoluto y porcentaje de error absoluto estimados de los resultados de cada modelo (Du et al.,2021).

Igualmente, se desarrolló una investigación sobre el modelo de pronóstico del flujo de tránsito comparando el modelo de regresión de vectores de soporte (*Support Vector Regression – SVR*) con un modelo combinado de un Algoritmo Genético (GA) con un modelo de Recocido Simulado (SA) (GA-SA) y se aplicaron datos del

tránsito vehicular del Norte de Taiwán a un modelo combinado (*Support Vector Regression Genetic Algorithm-Simulated Annealing - SVRGA-SA*) encontrando que el modelo propuesto (SVRGA-SA) produce resultados de pronóstico más precisos que los modelos de: promedio móvil integrado autorregresivo estacional (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average – SARIMA*), red neuronal de retropropagación (*Back Propagation Neural Network – BPNN*) y el modelo estacional Holt-Winters (Stational Holt-Winters – SHW) (Hong, 2011a).

Hong et al., (2011a) también presenta un modelo de regresión de vector de soporte (*Support Vector Regression – SVR*) se combinó con algoritmos de optimización continua de colonias de hormigas (*Continuous Ant Colony Optimization – CACO*). Esta combinación se denominó modelo (SVRCACO) y se usó para pronosticar el tránsito vehicular en el Norte de Taiwán. Los resultados mostraron que el modelo propuesto predice de manera más precisa el tránsito vehicular que los modelos de series de tiempo de promedio móvil integrado autorregresivo estacional (SARIMA). Se usaron los mismos datos del Norte de Taiwan para comparar un modelo de regresión de vector de soporte (*Support Vector Regression – SVR*) con un modelo combinado de un modelo de regresión de vector de soporte estacional (*Seasonal Support Vector Regression*) con el algoritmo de recocido caótico simulado (*Chaotic Simulated Annealing Algorithm – CSA*). El modelo combinado se denominó modelo de regresión de vectores de soporte estacional con el algoritmo de recocido caótico simulado (*Seasonal Support Vector Regression Chaotic Simulated Annealing Algorithm – SSVRCSA*). Los resultados muestran que el modelo propuesto (SSVRCSA) realizan pronósticos más precisos que los modelos de: promedio móvil integrado autorregresivo estacional (*Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average – SARIMA*), red neuronal de retropropagación (*Back Propagation Neural Network – BPNN*) (Hong et al., 2011b).

En otros métodos, se presentó un sistema híbrido basado en reglas difusas (*Fuzzy Rule-Based System - FRBS*, por sus siglas en inglés) para el modelado y pronóstico

a corto plazo del flujo de tráfico en redes urbanas. Este modelo utiliza estructuras de datos univariadas y multivariadas, y un algoritmo genético (para el ajuste en línea y fuera de línea) con base a las condiciones de tráfico predominantes. Los resultados obtenidos mostraron que la aplicación de los algoritmos en línea supera a la aplicación fuera de línea (Dimitriou et al., 2008).

Incluso, un modelo utilizó los datos de demanda de tráfico diario de 350 circuitos inductivos del centro de Duisburg durante un período de 2 años en donde examinaron dos modelos de pronóstico a corto plazo (el modelo constante y el lineal) y estos modelos se compararon con los resultados de una heurística. Los resultados mostraron que el modelo constante proporciona una buena predicción para horizontes cortos mientras que la heurística es mejor para tiempos más largos. (Chrobok, R., et al., 2004).

En otras investigaciones, encontraron evidencia de que las series de tiempo de volúmenes, velocidades y ocupación vehicular, pueden ser no lineales y que se pueden representar mediante modelos de regresión de transición suave (*Smooth-Transition Regression – STR*, por sus siglas en inglés). Mencionan que los modelos STR presentan ventajas sobre las redes neuronales porque sus parámetros son interpretables y lo comprobaron aplicando modelos STR con enfoque en los modelos logísticos de múltiples regímenes con datos de velocidades, volúmenes y ocupación en una arteria principal de Atenas, Grecia (Kamarianakis, et al., 2010).

También, se ha desarrollado un método evolutivo híbrido para identificar un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (*Ordinary Differential Equations – ODE*, por sus siglas en inglés) para predecir los datos de mediciones de tráfico a pequeña escala. El algoritmo evolutivo se basó en la estructura de árbol para evolucionar la arquitectura y en un algoritmo de optimización de enjambre de partículas (*Particle Swarm Optimization – PSO*). Este modelo se comparó con programación genética y con una red neuronal optimizada. Finalmente, los autores concluyen que el

método que proponen es factible y eficiente para pronosticar los datos de mediciones de tráfico a pequeña escala (Chen et al., 2011).

Incluso, se ha llevado a cabo una revisión sistemática de técnicas metaheurísticas en la optimización de semáforos donde incluyen técnicas como algoritmos genéticos, colonia de hormigas y optimización de enjambre de partículas (Abu-Shawish, I., et al., 2020). Al considerar contextos geoespaciales, temporales e históricos aprendidos de trayectorias y datos de mapas, estas técnicas pueden mejorar la precisión de la estimación del tiempo de viaje (Wang et al., 2014).

Algunos autores, se enfocaron en la importancia de contar con una predicción, en tiempo real, del tránsito con miras en su aplicación en Sistemas Inteligentes de transporte y en particular en la predicción del tránsito a corto plazo. Por esta razón desarrollaron un método que puede predecir la velocidad y el volumen vehicular en intervalos de cinco minutos y este modelo es capaz de pronosticar hasta una hora antes el tránsito vehicular (Min y Wynter, 2011).

En otra investigación, se llevó a cabo un análisis de los esfuerzos que se han llevado a cabo para desarrollar metodologías que puedan modelar las características del tráfico y producir condiciones de tráfico anticipadas. Resaltan que la literatura es basta y que los datos utilizados son en gran medida datos de puntos únicos de autopistas donde se emplearon modelos matemáticos univariados para predecir volúmenes de tráfico o tiempos de viaje (Vlahogianni et al., 2014).

Otro enfoque para la predicción del tránsito se dio por, un modelo de predicción de tráfico a corto plazo basado en patrones de estructura y regresión, combinando modelos lineales y no lineales para ajustar puntos cercanos y predecir los valores de puntos de consulta. Los resultados experimentales mostraron que este enfoque es efectivo en la predicción del flujo de tráfico, en condiciones normales y anormales (Rajendran y Ayyasamy, 2020).

Stoilova et al., (2021) presentaron un modelo de optimización de doble nivel para el control de tránsito urbano, el nivel superior busca optimizar la duración de los ciclos semafóricos; mientras que, el nivel inferior minimiza las colas vehiculares. Este modelo se puede aplicar tanto en intersecciones saturadas como sobresaturadas y tiene como objetivo optimizar el control semafórico en estas intersecciones (Stoilova et al., 2021).

También se ha propuesto, un modelo de red convolucional gráfico integrado con un mecanismo de atención y descomposición de wavelets (WDA-GCN) para predecir el flujo de tráfico en monitores usando: Red Convolucional de Grafos (GCN), gráfico de vecino geográfico y gráfico de similitud funcional. Los datos de series de tiempo y la correlación espacio-temporal del flujo de tráfico se ingresaron en el codificador-decodificador para predecir el flujo de tráfico regional. El modelo se validó con datos de campo en el distrito de Daxing de Beijing en China mostrando que la precisión de la predicción del modelo puede alcanzar el 81.03% después de incorporar el mecanismo de atención y descomposición de wavelets. Los autores aseguran que este método es mejor que los métodos tradicionales de predicción de series de tiempo y métodos de aprendizaje profundo (Zheng et al., 2022).

Dentro de esta revisión bibliográfica, y estudios que se han realizado, no se encontraron análisis de series de tiempo para la predicción del flujo vehicular con modelos como los autorregresivos (ARX) o los filtros de Kalman y debido a que algunos estudios han involucrado el uso de redes neuronales recurrentes o combinaciones de éstas con otros modelos, se plantea en este trabajo comparar las dos metodologías mencionadas y sus resultados con una red neuronal recurrente del tipo LSTM.

En cuanto al análisis del control semafórico, se ha observado que se han utilizado las metodologías heurísticas y metaheurísticas de optimización; por lo que, en este

trabajo se usó una metodología heurística de optimización que proporcione mayor fluidez al tránsito vehicular. Finalmente, el desempeño de la red se evaluó en un simulador vehicular (a nivel microscópico) realizando cambios en la configuración de los semáforos, y se medirá el impacto en las colas vehiculares y tiempos de recorrido para un corredor vial en la ciudad de Querétaro.

## **Fundamentación Teórica**

Una intersección se define como un cruce a nivel de dos o más caminos. Para el análisis, las carreteras que ingresan a la intersección se segmentan en accesos, que se definen por grupos de carriles (grupos de uno o más carriles). Estos grupos de carriles generalmente se basan en los movimientos permitidos (izquierda, derecha, derecha) dentro de cada carril y la secuencia de movimientos permitidos por el semáforo.

La tendencia actual en el estudio de la optimización del ciclo semafórico incluye el uso de técnicas de inteligencia artificial, como aprendizaje automático y algoritmos genéticos, para encontrar soluciones óptimas de manera eficiente. También se están investigando enfoques basados en la simulación para evaluar diferentes escenarios y estrategias de control de tráfico y se está prestando más atención a la integración de la optimización del ciclo semafórico con otros sistemas de transporte inteligentes, como el vehículo autónomo conectado.

A lo largo de los últimos años las Metaheurísticas han sido ampliamente utilizadas para abordar este problema, especialmente el algoritmo genético (GA) y Redes Neuronales. Los autores aplicaron los GA y las Redes Neuronales para resolver problemas de control de semáforos y asignación de tráfico para optimizar los tiempos de estos.

- **Redes Neuronales**

Las redes neuronales son una forma de aprendizaje automático que se inspira en la estructura y funcionamiento del cerebro humano. Se componen de una o más capas de nodos o "neuronas", que están conectadas entre sí y se activan de acuerdo con una función de activación. Las redes neuronales se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo la clasificación, la regresión, la visión

por computadora, el procesamiento del lenguaje natural, entre otros (Martin del Brio, 2017).

Hay diferentes tipos de redes neuronales:

1. Perceptrón: una red neuronal de una sola capa que se utiliza para resolver problemas de clasificación binaria.
2. Red neuronal feedforward: una red neuronal que se compone de varias capas de nodos que se activan secuencialmente, donde la entrada fluye hacia adelante hasta llegar a la capa de salida.
3. Red neuronal recurrente: una red neuronal en la que los nodos de la capa oculta tienen conexiones de retroalimentación, lo que permite a la red retener y utilizar información previa.
4. Red neuronal convolucional: una red neuronal que se utiliza en visión por computadora y se basa en la idea de aprender patrones y características a partir de regiones o "ventanas" en una imagen.
5. Red neuronal generativa adversarial (GAN): una red neuronal que consiste en dos redes que compiten entre sí para generar imágenes que se parecen a imágenes reales.
6. Red neuronal LSTM (*Long Short-Term Memory*): una red neuronal recurrente que se utiliza para modelar secuencias de datos y que tiene la capacidad de retener información a largo plazo y olvidar información irrelevante o anticuada a corto plazo. Esto la hace adecuada para resolver problemas que requieren un seguimiento y memoria de eventos anteriores en una secuencia de tiempo.

- Series de tiempo

Una serie de tiempo es una secuencia de datos registrados a intervalos regulares de tiempo, como años, meses, días, horas, etc. Estos datos pueden ser utilizados para analizar y predecir patrones y tendencias futuras. Hay dos tipos principales de series de tiempo: estacionarias y no estacionarias. Una serie de tiempo estacionaria

es aquella cuyas propiedades estadísticas, como la media y la varianza, son constantes a lo largo del tiempo. Por otro lado, una serie de tiempo no estacionaria (que es la que se ocupara en esta investigación) es aquella cuyas propiedades varían con el tiempo (Chatfield y Xing, 2019).

- Filtros de Kalman

El Filtro de Kalman es un algoritmo para actualizar, observación a observación, la proyección lineal de un sistema de variables sobre el conjunto de información disponible, según se va disponiendo de nueva información. Para ello, es preciso representar el modelo en la formulación conocida como espacio de los estados. El Filtro de Kalman permite calcular de modo sencillo la verosimilitud de un modelo dinámico lineal, uniecuacional o multiecuacional, lo que permite estimar los parámetros de dicho modelo, así como obtener predicciones de dicho tipo de modelos (Govaers, 2019).

- Modelos Autorregresivos

Los algoritmos autorregresivos (AR o ARX) son un tipo de modelos de series temporales que se utilizan para predecir una variable basándose en su propio historial. Estos modelos asumen que los valores futuros de una serie están correlacionados con sus valores pasados. En esta investigación se utilizarán los ARX más básicos, debido a la facilidad de programación e implementación deseada en la predicción del aforo vehicular, además de que, éstos son efectivos para predecir las tendencias a corto y largo plazo (Alam et al., 2019).

Los modelos autorregresivos de tipo AR(p) donde p indica el número de retardos (o el orden de la regresión), buscan explicar el comportamiento futuro de una variable en base a la información histórica de sí misma. El modelo general ARX con una entrada y una salida se describe mediante la ecuación en diferencias lineales

(Guzmán-Cruz et al., 2013):

$$y(t) + a_1y(t-1) + \dots + a_ny(t-na) = b_1u(t-nk) + b_2u(t-nk-1) + \dots + b_nbu(t-nk-nb+1) + e(t)$$

Ecuación 1

Donde:

$y(t)$  = es la salida del modelo ARX para  $t=t, t-1, \dots, t-na$ .

$u(t)$  = es la entrada del modelo ARX para  $t=t-nk, t-nk-1, \dots, t-nk-nb+1$ .

$na$  = es el número de pasos de tiempo de la salida en el pasado.

$nb$  = es el número de pasos de tiempo de la entrada en el pasado.

$nk$  = es el retardo de la entrada  $u(t)$  con respecto a la salida  $y(t)$ .

$e(t)$  = es ruido blanco asociado con la variable de salida.

- Desempeño de los modelos

En el trabajo de tesis se pretende medir el desempeño de los modelos mediante las estimaciones de los errores entre los valores medidos y los valores que se van a pronosticar con las distintas técnicas. Las técnicas para evaluar el desempeño de los modelos son:

- Error Cuadrático Medio (*MSE - Mean Squared Error*).
- Raíz del Error Cuadrático Medio (*RMSE - Root Mean Squared Error*).
- Error Absoluto Medio (*MAE - Mean Absolute Error*).
- Error Porcentual Absoluto Medio (*MAPE - Mean Absolute Percentage Error*).
- El Coeficiente de Determinación (**R<sup>2</sup>**).

El Error Cuadrático Medio (MSE - Mean Squared Error) calcula el promedio de los errores elevados al cuadrado entre los valores observados y los valores estimados. El elevar al cuadrado los errores permite que la medición sea más sensible a los valores atípicos porque influye en el promedio.

$$MSE = \frac{1}{N} \times \sum_{t=1}^N (y_t - f_t)^2 = \frac{SSE}{N}$$

Ecuación 2

La Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE - Root Mean Squared Error) es la raíz cuadrada del Error Cuadrático Medio por lo que la medida del error queda expresada en las mismas unidades que los datos analizados. Si el valor del RMSE

es menor, mayor será el ajuste del modelo.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad \text{Ecuación 3}$$

El Error Absoluto Medio (MAE - Mean Absolute Error) es una medida para cuantificar el error mediante el promedio de las diferencias absolutas entre los valores observados y los valores pronosticados en el conjunto de datos. A menor valor del MAE, mayor ajuste del modelo, ya que las predicciones estarán más cerca de los valores medidos.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad \text{Ecuación 4}$$

El Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE - Mean Absolute Percentage Error) es una medida que cuantifica el promedio de los errores porcentuales absolutos entre los valores observados y los valores predichos. Esta medida no se recomienda cuando se tienen valores cercanos, o iguales, a cero ya que la división entre cero está indeterminada.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad \text{Ecuación 5}$$

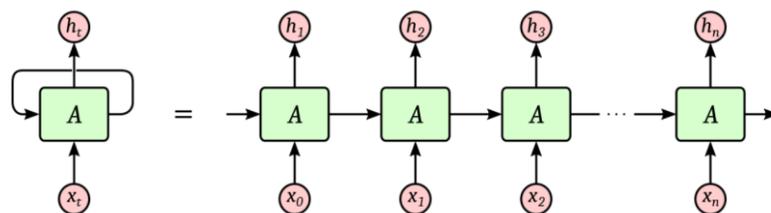
El Coeficiente de Determinación (**R<sup>2</sup>**), es una medida adimensional que estima la calidad de ajuste de un modelo de regresión a los datos observados. Los valores del coeficiente varían entre 0 y 1; si es cero, indica que el modelo no explica el comportamiento de los datos; si es uno, indica que el modelo explica perfectamente el comportamiento de los datos.

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (\hat{y}_t - \bar{y})^2}{\sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y})^2} \quad \text{Ecuación 6}$$

Estas métricas se utilizan para comparar los valores pronosticados con los valores reales y medir la precisión de los pronósticos.

- Redes neuronales recurrentes

Las redes neuronales recurrentes son un recurso interesante de estudio cuando se toma en cuenta la variación temporal de los datos. En el procesamiento tradicional de una red neuronal, los pesos se mantienen fijos lo que equivale a que el modelo tenga una memoria a largo plazo; pero cuando se incluye una retroalimentación (concatenar la salida de una neurona a la entrada de otra en un instante) se dispone de una memoria de corto plazo (Del Brio & Sanz Molina, 2017).



**Figura 2.2.** Estructura de una red neuronal recurrente. Fuente: Kavita (2016).

### **III. Hipótesis**

La adaptación del ciclo semafórico a la variación del flujo vehicular en un corredor semaforizado, reducirá los retrasos en el tiempo de traslado de los vehículos en un 25% y disminuirá las colas vehiculares en las intersecciones continuas del corredor hasta en un 5%.

### **IV. Objetivos**

#### **Objetivo General**

Diseñar un sistema automatizado de semáforos, que permita optimizar el ciclo semafórico en el corredor de Av. Pie de la Cuesta, mediante la predicción del tránsito vehicular con modelos autorregresivos, filtros de Kalman y Redes Neuronales Recurrentes y su implementación en un simulador microscópico.

#### **Objetivos Específicos**

- Estimar un modelo de series de tiempo para la predicción del tránsito vehicular en al menos dos intersecciones semaforizadas en la Ciudad de Querétaro mediante el uso de modelos autorregresivos.
- Deducir un modelo de series de tiempo para la predicción del tránsito vehicular en al menos dos intersecciones semaforizadas en la Ciudad de Querétaro mediante el uso de filtros de Kalman.
- Calcular un modelo de series de tiempo para la predicción del tránsito vehicular en al menos dos intersecciones semaforizadas en la Ciudad de Querétaro mediante el uso de una Red Neuronal Recurrente del tipo LSTM.
- Simular los ciclos semafóricos óptimos mediante el uso de un software de micro

simulación vehicular para estimar el tiempo de viaje promedio de los vehículos.

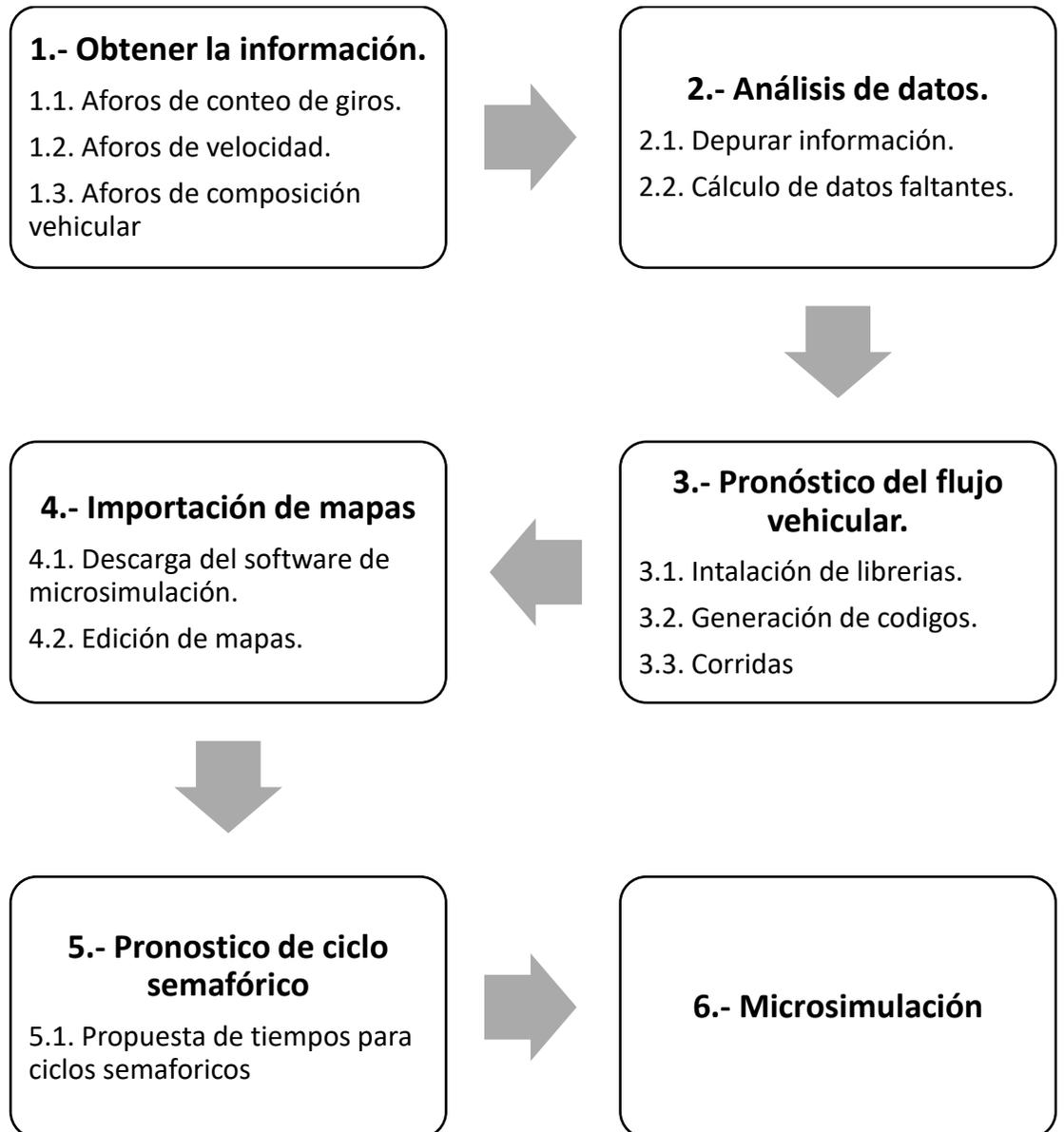
- Representar los ciclos semafóricos óptimos mediante el uso de un software de micro simulación vehicular para medir las colas vehiculares en la intersección.

- Encontrar el ciclo semafórico óptimo que minimice el tiempo de viaje del automovilista en dos intersecciones semafóricas continuas.

- Descubrir el ciclo semafórico óptimo que minimice la cola vehicular en dos intersecciones semafóricas continuas.

## V. Metodología

Esta investigación se compone de varias etapas, las cuales se muestra en la siguiente figura:



**Figura 5.1.** Metodología a empleada en la investigación. Fuente: Propia.

## 5.1 Obtener la Información

Obtener los flujos vehiculares en al menos dos intersecciones continuas para analizar el comportamiento de la optimización semafórica de una mejor manera, con apoyo de la Secretaría de Movilidad del Municipio de Querétaro (SEMOV) y específicamente el departamento de semaforización del municipio, quienes proporcionaron datos de tráfico reales con fines de investigación. La Secretaría de Movilidad cuenta con un programa que arroja datos en crudo denominado Gridsmart, el cual consiste en una cámara que además de ayudar a monitorear las intersecciones, recopila información con gran precisión (eficiencia del 95%) en tiempo real y la almacena en una base de datos. En la base de datos se encuentra diversa información como los movimientos de los vehículos, la composición vehicular o velocidad, así como otra información.

Por lo que por algunas semanas se acudió a las oficinas de la SEMOV y con ayuda del personal, se ubicaron corredores viales con intersecciones que tuvieran las características que se estaban buscando. Después de analizar las opciones, se eligieron las intersecciones mostradas en la Tabla 5.1. Posteriormente, el personal de la SEMOV dio una pequeña capacitación sobre el uso del sistema Gridsmart, que trataba de como buscar la información, como descárgala y guardarla, así como, como funciona en general el departamento de semaforización, aprendido esto, intersección por intersección se fue descargando la información necesaria, las descargas tardaban al menos 120 min para cada intersección y cada aforo.

**Tabla 5.1.** Nombre de Intersecciones a analizar. Fuente: Propia.

Corredor	Intersección
Av. Pie de la Cuesta	<ul style="list-style-type: none"><li>• Av. Pie de la Cuesta - Av. Tlálóc</li><li>• Av. Pie de la Cuesta - Rio Tuxpan</li><li>• Av. Pie de la Cuesta - Playa Roqueta</li><li>• Av. Pie de la Cuesta - Playa Rincón</li><li>• Av. Pie de la Cuesta - Playa Mocambo</li><li>• Av. Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe</li><li>• Av. Pie de la Cuesta - Blv. Bernardo Quintana</li></ul>
Av. Constituyentes	<ul style="list-style-type: none"><li>• Av. Constituyentes - Ignacio Pérez</li><li>• Av. Constituyentes - Av. Tecnológico</li></ul>

En las figuras 5.1 y 5.2, se muestra un croquis con la ubicación de los dos corredores viales, siendo estos Av. Pie de la Cuesta y Av. Constituyentes, del municipio de Santiago de Querétaro, Querétaro, México, en las que se obtuvo la información

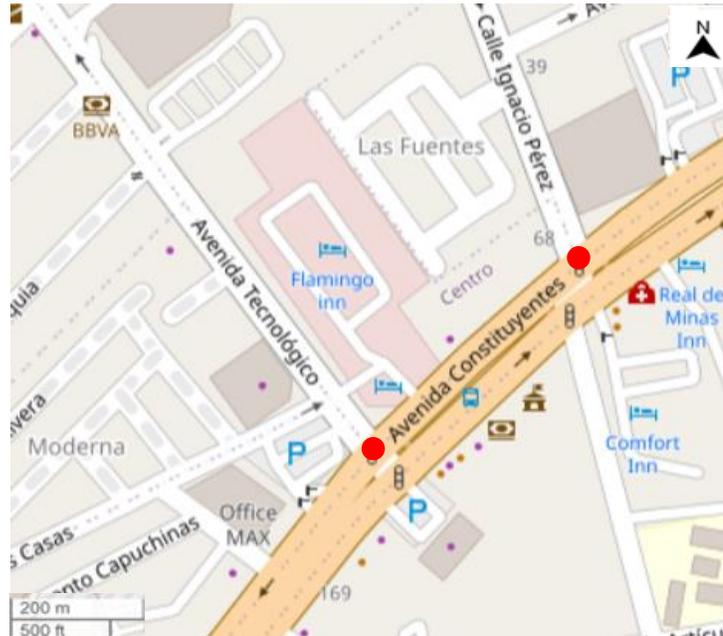


Figura 5.1.1. Croquis Av. Constituyentes, Centro, Santiago de Querétaro, Qro. Fuente: Open StreetMaps.



Figura 5.1.2 Croquis Av. Pie de la Cuesta, Desarrollo San Pablo, Santiago de Querétaro, Qro. Fuente: Open StreetMaps.

Se han considerado estos dos escenarios ya que constituyen áreas urbanas bastante diferentes con estructuras y organización del tráfico heterogéneas, además de que, estos tramos viales cuentan con la instalación de cámaras Gridsmart en al menos dos intersecciones continuas, que es lo que se buscaba inicialmente.

Los aforos vehiculares son recientes al comienzo de esta investigación, eligiendo una época del año en donde el tránsito vehicular es de lo más normal posible, que no sea en época vacacional o durante una época con flujo anormal, por eso se estimó que una buena época del año era la del periodo del mes de agosto al mes de noviembre (año 2022).

#### 5.1.1 Aforos de conteo de giros.

Para objetivos de la investigación es fundamental la planeación y operación de la circulación vehicular y conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las intersecciones a lo largo del día, al obtener el conteo de giros de cada intersección se sabe la cantidad de vehículos que pasan por ella y hacia donde se dirigen, lo cual es importante para las predicciones y la simulación. Los conteos vehiculares descargados se clasificaron en periodos de 15 minutos y por sentido de circulación según corresponda.

#### 5.1.2 Aforos de velocidad.

En general, el término velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Será necesaria la obtención de esta variable para saber a qué velocidad circulan los vehículos, ya que se ocupará para hacer una simulación más completa y real, además que es esencial para el tiempo de recorrido de los vehículos por su paso en los corredores viales. Los aforos de velocidad se obtuvieron en km/h y estos se arrojan por vehículo en periodos de 1 hora a lo largo de un día, por sentido de circulación según corresponda.

### 5.1.3 Aforos de composición vehicular.

La composición vehicular indica los porcentajes de vehículos que pertenecen a determinadas categorías. El saber qué tipo de vehículos que transitan por las intersecciones nos permitió realizar una simulación más real. El programa GridsMart clasifica el tipo de vehículo por motocicletas, tipo A, tipo B y tipo C, que circulan por la intersección a cada 15 minutos, por sentido de circulación según corresponda.

## 5.2 Análisis de Datos

### 5.2.1. Depurar información

Obtenida la información se procedió a depurarla para poder hacer el pronóstico vehicular. Gridsmart arroja la información con un formato en específico, pero había que darle un formato csv sencillo, solo con el tipo de vehículo y el periodo como encabezado y columna principal respectivamente. La figura 5.2.1. muestra el formato dado, la columna de 0-2.7m indica motocicletas, 3-7m autos, 7.3-10.7 camiones y 11-15.5 autobuses.

**Tabla 5.2.** Formato cvs dado a los aforos vehiculares. Fuente: Propia.

Fecha	0-2.7m	3-7m	7.3-10.7m	11-15.5m	0-2.7m.1	3-7m.1	7.3-10.7m.1
01082022T00:00:00:00	0	47	0	0	0	48	0
01082022T00:15:00:00	0	47	0	0	0	45	1
01082022T00:30:00:00	0	46	0	0	0	48	0
01082022T00:45:00:00	0	27	0	0	0	32	0
01082022T01:00:00:00	0	33	0	0	0	37	0
01082022T01:15:00:00	0	32	0	0	0	29	0
01082022T01:30:00:00	0	24	0	0	0	21	0

### 5.2.2. Cálculo de datos faltantes

El análisis de información también consistió en rellenar los espacios vacíos de los aforos, es decir, por alguna reparación o por algún fallo en la cámara hay espacios de tiempo en los cuales no se registró información. Esto se realizó con ayuda de un código de interpolaciones de datos, aplicándolo en el documento donde había vacíos de información, con ayuda del software RStudio, el cual es un lenguaje de programación orientado al tratamiento de grandes cantidades de datos y

estadísticas (Breiman, 2022). El anexo I muestra el código completo utilizado para el relleno de espacios vacíos en los aforos vehiculares descargados.

```
R 4.2.1 · ~ / R
#####Matriz de correlación
library(Hmisc)
library(psych)
pre1 <- df[,-1]
pre1 <- rcorr(as.matrix(pre1, ncol=7))
data1 <- pre1$r
corrPlot(data1, cex=1.1, cex.axis=0.8, main="Pie-Tlaloc")

library(corrplot)
corrplot(data1,method="number", type=c("lower"), mar=c(1,1,1,1))

#####Completar datos
library(missForest)
imp <- missForest(date.matrix, maxiter = 15,
                  verbose = TRUE, variablewise = FALSE,
                  mtry = floor(sqrt(ncol(date.matrix))),
                  replace = TRUE, parallelize = c("no"
, "variables", "forests"))
imp$OOBerror

imp <- missForest(date.matrix, maxiter = 15,
                  verbose = TRUE, variablewise = FALSE,
                  mtry = floor(sqrt(ncol(date.matrix))),
                  replace = TRUE, parallelize = c("no"
, "variables", "forests"))
imp$OOBerror

sapply(date.matrix,class)
dfimp <- as.data.frame(imp$Ximp)
view(dfimp)
gar.imp <- round(dfimp,2)

#####Graficar con los datos completados
data <- as.data.frame(gar.imp)
date.matrix.comp1 <- as.data.frame(gar.imp)
```

**Figura 5.2.** Parte del código de interpolación para relleno de datos faltantes. Fuente: R studio.

### 5.3 Pronostico del tráfico vehicular

Al tener la información de la manera adecuada se procedió a pronosticar el tránsito vehicular y para esto se utilizó el software Python, que es un lenguaje de programación interpretado y multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es utilizado con frecuencia para el aprendizaje automático y la ciencia de datos debido a su extensa y gran soporte de bibliotecas, además de la ventaja de ser un lenguaje de programación de propósito general.

#### 5.3.1. Instalación de librerías

Se instalaron las librerías necesarias como lo son:

- Numpy
- Pandas
- Matplotlib.pyplot
- Pykalman

Para la predicción con el filtro de Kalman se tuvo que instalar una consola con una versión del software más antigua, ya que con las actualizaciones se fueron eliminando algunas librerías como es el caso de Pykalman.

### 5.3.2. Generación de códigos.

Ya con las consolas y librerías instaladas se generó el código para cada uno de los métodos de predicción de tránsito vehicular. El código completo para cada uno de los tres métodos se puede encontrar en los anexos II, III y IV, en la parte final de este documento.

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import pandas as pd
4 from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
5 from keras.models import Sequential
6 from keras.layers import Dense, LSTM, Dropout
7 from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error, mean_absolute_percentage_error, r2_score
8
9 # Importamos los datos
10 dataset_train = pd.read_csv('Pie-PMocambo.csv')
11 training_set = dataset_train.iloc[:, 2:3].values
12
13 # Se ajustan las magnitudes de las variables
14 sc = MinMaxScaler(feature_range = (0, 1))
15 training_set_scaled = sc.fit_transform(training_set)
16
17 # Definir los rangos de entrenamiento y aplicación
18 start_train = 0
19 end_train = 2167
20 start_test = 2551
21 end_test = 6885
```

**Figura 5.3.** Parte del código para utilizado para la predicción de datos. Fuente: Python.

Para cada método se pronosticó 1 hora, 1 día, 1 semana y 1 mes. Y los pasos anteriores utilizados fueron los que se muestran en la tabla 5.2.2.

**Tabla 5.3.** Datos de entrada y de salida para predicción de tráfico vehicular.

<b>Datos Anteriores</b>	<b>Predicción</b>
4 (1 hora)	1 hora
96 (1 día)	24 horas (1 día)
672 (1 semana)	1 semana
2880 (1 mes)	30 días (1 mes)

Como el aforo vehicular es a cada 15 minutos y una hora tiene 4 ciclos de estos minutos, es por eso que los datos anteriores son 4 ( $60\text{min} / 15\text{min} = 4$ ). Al igual que para un día, ya que son 24 horas por 4 ciclos de 15 minutos, entonces se ocuparon 96 datos anteriores y así sucesivamente con cada tiempo de predicción.

### 5.3.3. Corridas

Se procedió a hacer las corridas para cada método, primero el método autorregresivo, cambiando los datos de entrada y de salida, prediciendo por sentido (norte, sur, este y oeste) cada intersección, para cada tiempo de predicción y para cada tipo de vehículo, registrando los resultados de las métricas en una tabla junto con las gráficas arrojadas. Esto mismo se hizo con los otros dos métodos de predicción de tráfico vehicular.

Los parámetros que se utilizaron como base para el entrenamiento de las Redes Neuronales como el batch size fue de 32, el número de épocas fue de 100.

## 5.4. Importación de mapa a microsimulador.

El software a utilizar en esta etapa de la investigación es el simulador Simulation of Urban Mobility por sus siglas en ingles SUMO, se eligió este simulador debido a que es de acceso libre, además de que es el más mencionado por la bibliografía estudiada. Otra razón es que este simulador es muy amigable con el usuario, fácil de utilizar y en la página web hay diferentes manuales dependiendo del uso que se le quiera dar.

#### 5.4.1. Descarga del software de micosimulación.

Por lo que como primer paso se ingresó a la página web: <https://eclipse.dev/sumo/>, de donde se descargó el software de forma gratuita y se procedió a instalarlo. Al instalar el simulador se instalan 3 aplicaciones que son netedit, OSM web wizard y sumo-gui.

Para importar el mapa se ocupó la aplicación OSM web wizard, donde se utiliza como complemento Open StreepMap, que es un software que crea mapas editables y libres. Se seleccionó la zona de estudio que es el corredor vial Pie de la Cuesta y se descargó en un archivo con una extensión especial de SUMO.

#### 5.4.2. Edición de mapas.

Ya con este archivo se procedió a abrirlo en la aplicación netedit, la función de esta aplicación es editar y crear todos los parámetros necesarios para la simulación.

Para poder hacer el paso número 5 de la metodología, además de importar el mapa se hicieron los siguientes pasos:

- Se corrigieron algunos detalles donde la importación no fue la correcta, además de agregar el carril confinado de autobuses existente en la zona.
- Se crearon los cuatro tipos de vehículos medidos que son motocicletas, automóviles, autobuses y camiones.
- Se crearon las rutas, esta es la forma en la que se ingresaran la cantidad de vehículos que circulan por el corredor vial.
- Se instalaron los semáforos pertinentes en cada intersección, y se configuraron con el tiempo de semáforo actual (5 de junio, 2024), se tomó este tiempo de semáforo ya que no ha cambiado en gran medida con los tiempos que se tenían en la época en la que son los aforos, para esto se

acudió a la zona de estudio en la Hora de Máxima Demanda (HDM) que es de 7:15 am a 8:15 am y se midieron los ciclos semafóricos de cada intersección.

- Se ingresó la matriz Origen-Destino (O-D) con la HDM medida con los aforos descargados, que fue el día 21 de octubre del año 2022, a la hora mencionada en el paso anterior.

### **5.5 Pronostico del ciclo semafórico.**

Se insertó en el simulador los resultados y la HMD del mejor método de predicción con las condiciones semafóricas actuales y se procedieron a medir estas. Intersección a intersección se midieron las colas vehiculares. Las colas vehiculares son filas de vehículos que se forman cuando hay una congestión en las vías de tránsito y se midieron en cantidad de vehículos, por lo que, al tener una medición de estas, con el cálculo del pronóstico vehicular se podrá comparar si estas se redujeron para saber si se cumplen los objetivos planteados para esta investigación. También se tomaron algunos autos al azar y se midió el tiempo de recorrido dentro del corredor vial.

#### **5.5.1. Propuesta de tiempos para ciclos semafóricos.**

Después, se fueron proponiendo diferentes tiempos de ciclos semafóricos, cambiando la duración de tiempo de verde y rojo, aumentando o reduciendo algunos segundos partiendo de una propuesta al azar, e igualmente se fueron midiendo las colas vehiculares y tiempos de recorrido de los mismos vehículos en cada propuesta para obtener la mejor opción donde el ciclo semafórico reduzca los tiempos de viaje y las colas vehiculares.

### **5.6 Microsimulación**

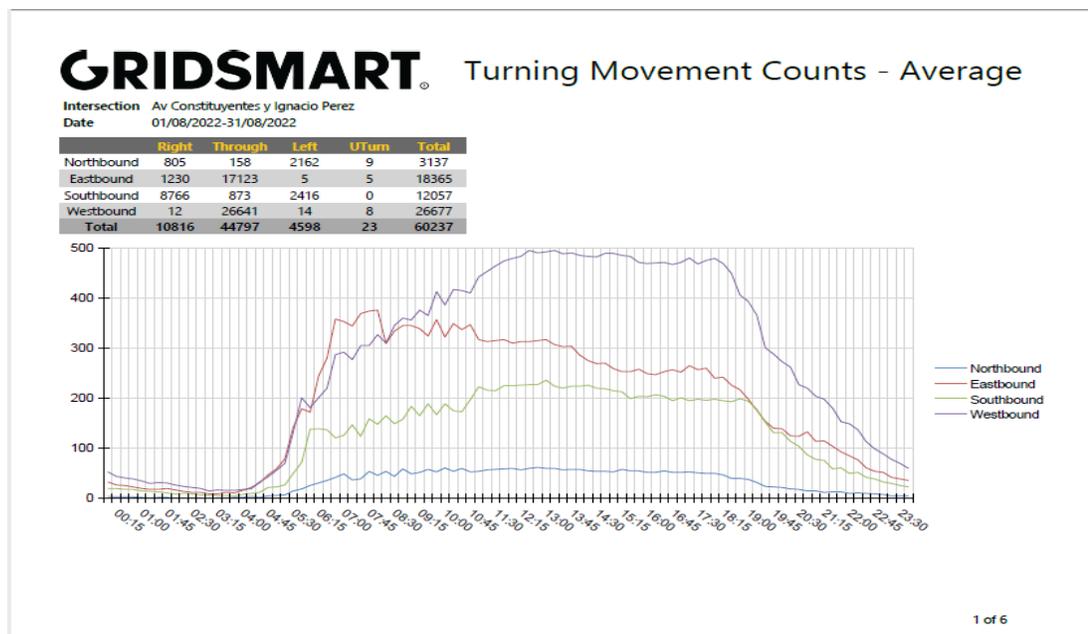
Para la simulación se utilizó la aplicación de sumo-gui, que es solo la representación visual de la simulación hecha con las otras aplicaciones. Este paso de simulación

estuvo de la mano con el paso anterior. Se corrieron un gran número de simulaciones, ya sea cambiando las condiciones semaforicas o la matriz O-D y como ya se mencionó se fueron midiendo y registrando los resultados.

## VI. Resultados

### 6.1. Aforos vehiculares

Como primeros resultados la figura 6.1 muestra un ejemplo de los flujos vehiculares de las vialidades, a fin de mostrar el comportamiento del tráfico medido en los aforos correspondientes. Donde se puede apreciar un comportamiento del flujo vehicular adecuado para las predicciones. Estos son los aforos que se descargaron del software Gridsmart, donde, el eje vertical representa la cantidad de vehículos y el eje horizontal representa el promedio a cada 15 minutos durante todo el mes, pero, también se obtuvieron por día.



**Figura 6.1.** Conteo de movimiento, intersección Av. Constituyentes-Ignacio Pérez del mes de agosto.  
Fuente: GridsMart.

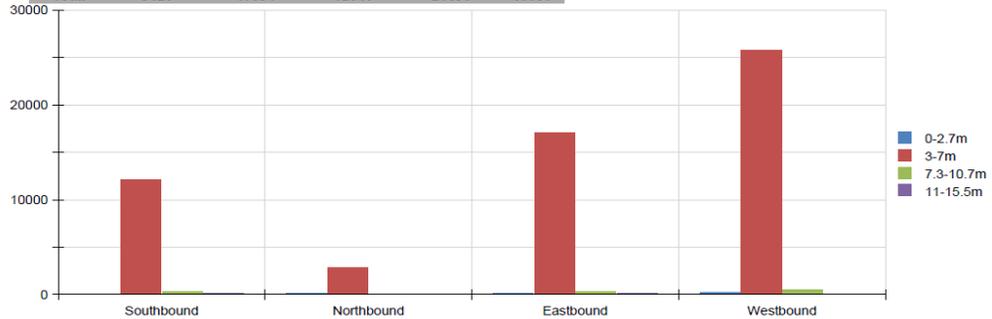
La figura 6.2 muestra un ejemplo del formato con el que es descargada la información de la clasificación vehicular. Esta representa la cantidad de vehículos según su composición vehicular al largo del día, por sentido.

# GRIDSMART

## Vehicle Classification Counts

Intersection Av Constituyentes y Ignacio Perez  
Date 01/08/2022

	Northbound	Eastbound	Southbound	Westbound	Total
0-2.7m	106	231	152	341	830
3-7m	2923	17161	12143	25803	58030
7.3-10.7m	76	370	427	537	1410
11-15.5m	15	92	124	155	386
<b>Total</b>	<b>3120</b>	<b>17854</b>	<b>12846</b>	<b>26836</b>	<b>60656</b>



**Figura 6.2.** Formato de clasificación vehicular, intersección Av. Constituyentes-Ignacio Pérez del día 01/08/2022. Fuente: GridsMart.

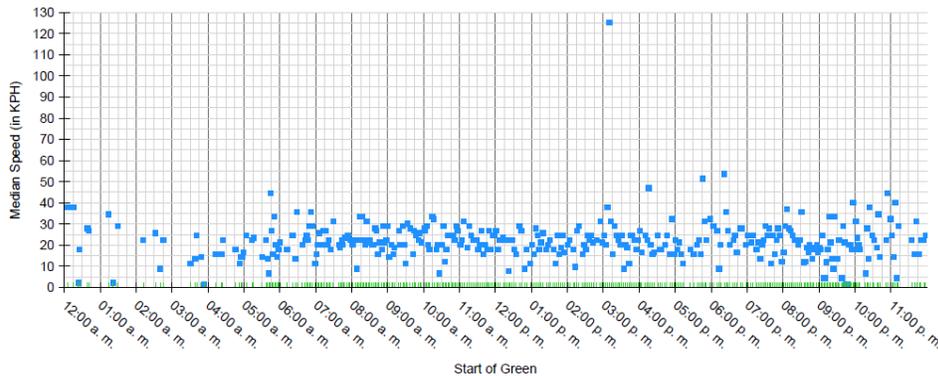
Y, por último, la figura 6.3 muestra un ejemplo del formato descargado con la velocidad, estando registrada por vehículo a cada hora por día y por sentido.

# GRIDSMART

## Free Flow Speed

Intersection Av Constituyentes y Ignacio Perez  
Date 01/08/2022

### Southbound Phase 4



**Figura 6.3.** Formato de velocidad, intersección Av. Constituyentes-Ignacio Pérez del día 01/08/2022, para el sentido norte-sur. Fuente: GridsMart.

## 6.2. Cálculo de datos faltantes

Como se mencionó en la metodología, se hizo una estimación para el relleno donde había vacíos de información, la figura 6.4 es del aforo del día 10 de octubre del 2022 donde no se había registrado información por alguna de las razones ya mencionadas anteriormente de 10:00 am a 11:15 am y la figura 6.5 muestra la estimación con el cálculo realizado por el condigo en R studio. De igual manera esto se realizó en las intersecciones que tuvieran algún vacío de datos.

07:00:00:00	0	98	0	0	0
07:15:00:00	0	145	1	0	0
07:30:00:00	0	163	0	0	0
07:45:00:00	0	64	0	0	0
08:00:00:00	0	15	0	0	0
08:15:00:00	0	0	0	0	0
08:30:00:00	0	23	0	0	0
08:45:00:00	0	57	0	0	0
09:00:00:00	0	30	1	0	0
09:15:00:00	0	7	0	0	0
09:30:00:00	0	21	0	0	0
09:45:00:00	0	5	0	0	0
10:00:00:00					
10:15:00:00					
10:30:00:00					
10:45:00:00					
11:00:00:00					
11:15:00:00	0	11	0	0	0
11:30:00:00	0	6	0	0	0
11:45:00:00	0	40	0	0	0
12:00:00:00	0	34	0	0	0
12:15:00:00	0	10	0	0	0
12:30:00:00	0	0	0	0	0
12:45:00:00	0	7	0	0	0
13:00:00:00	0	3	0	0	0
13:15:00:00	0	75	0	0	1
13:30:00:00	0	45	0	0	0
13:45:00:00	1	12	0	0	0

**Figura 6.4.** Vacío de información en aforo intersección Av. Pie de la Cuesta-Lago de Guadalupe. Fuente: Propia.

07:00:00:00	0	98	0	0	0
07:15:00:00	0	145	1	0	0
07:30:00:00	0	163	0	0	0
07:45:00:00	0	64	0	0	0
08:00:00:00	0	15	0	0	0
08:15:00:00	0	0	0	0	0
08:30:00:00	0	23	0	0	0
08:45:00:00	0	57	0	0	0
09:00:00:00	0	30	1	0	0
09:15:00:00	0	7	0	0	0
09:30:00:00	0	21	0	0	0
09:45:00:00	0	5	0	0	0
10:00:00:00	0	43	0	0	0
10:15:00:00	0	28	0	0	0
10:30:00:00	0	25	0	0	0
10:45:00:00	0	27	0	0	0
11:00:00:00	0	21	0	0	0
11:15:00:00	0	11	0	0	0
11:30:00:00	0	6	0	0	0
11:45:00:00	0	40	0	0	0
12:00:00:00	0	34	0	0	0
12:15:00:00	0	10	0	0	0
12:30:00:00	0	0	0	0	0
12:45:00:00	0	7	0	0	0
13:00:00:00	0	3	0	0	0
13:15:00:00	0	75	0	0	1
13:30:00:00	0	45	0	0	0
13:45:00:00	1	12	0	0	0

**Figura 6.5.** Relleno de información en aforo intersección Av. Pie de la Cuesta-Lago de Guadalupe. Fuente: Propia.

## 6.3. Predicciones de tránsito vehicular

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para las diferentes predicciones de los tres métodos de predicción, primeramente, en el sentido norte del flujo vehicular, los resultados se muestran parcialmente con solo algunas intersecciones con el fin de poder compararlos.

En la tabla 6.1 se muestra que el Modelo Autorregresivo tiende a mejorar conforme

aumenta el número de datos utilizados para la predicción, siendo la predicción de un mes la que arroja los mejores resultados oscilando el 0.9 para el coeficiente de determinación, pero teniendo en algunos Errores Porcentuales Medios Absolutos (MAPE) grandes de hasta 5.01E+14 en algunos casos.

**Tabla 6.2.** Resultados de predicción del Método Autorregresivo para el sentido Norte. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	MSE
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tláloc	0.0018	41.346	36.8319	2.71E+13	1709.4892
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	0.0026	76.6881	64.4859	1.8468	5881.07
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.3071	58.296	47.7464	1.2706	3398.422
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	0.2863	55.7595	47.1634	1.4322	3109.1189
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	0.8327	81.8541	51.3655	1.21E+13	6700.09
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	0.5436	0.8663	18.5949	2.56E+14	700.2398
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	0.8778	7.8348	4.9844	5.01E+14	61.3844
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	0.9798	17.5384	11.1777	0.1480	307.5969

La tabla 6.2 muestra que el Filtro de Kalman arroja óptimos resultados a partir de la segunda predicción, con un coeficiente de determinación que oscila el 0.95 en casi todas las predicciones, con MAPE´s y MAE´s aceptables.

**Tabla 6.3.** Resultados de predicción del Filtro de Kalman para el sentido Norte. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	MSE
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tláloc	0.4716	4.0797	3.4029	1.35E-01	16.6443
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	0.489	10.9932	8.0408	0.2097	120.8494
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.9521	13.5006	10.8932	0.1651	182.2665
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	0.9456	13.6585	10.6804	0.1709	186.5536
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	0.9572	41.3867	26.176	1.67E-01	1712.858
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	0.9512	15.1211	10.3719	1.43E-01	228.6489
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	0.9600	24.9515	16.5555	1.75E-01	622.5785
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	0.9580	15.8675	12.1909	0.1407	251.7762

Las Redes Neuronales Recurrentes presentan las estimaciones más similares al flujo vehicular medido, al igual que los otros métodos, conforme se va aumentando la información se van obteniendo mejores resultados, mas, sin embargo, para la predicción de un mes no la pudo realizar de una manera eficiente, teniendo una predicción no aceptable, como se puede apreciar en la tabla 6.3.

**Tabla 6.4.** Resultados de predicción de las RNN para el sentido Norte. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	$RMSE$	$MAE$	$MAPE$	$MSE$
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tláloc	0.4446	5.6111	4.6325	2.27E-01	31.4840
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	0.7281	9.6469	6.9545	0.2203	96.0634
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.9371	18.3995	13.7342	0.1638	338.5409
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	0.9059	22.1033	15.3893	0.2521	488.5547
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	0.9576	37.8043	25.6414	1.66E-01	1429.166
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	0.9244	25.2166	16.9796	1.54E-01	6335.877
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	-1.4600	34.9730	26.6641	2.32E+14	1169.454
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	-1.2643	115.8873	99.0094	0.8205	13429.8647

Ahora las tablas 6.4, 6.5 y 6.6 muestran los resultados para el sentido Este del flujo vehicular, dando resultados similares a los del sentido norte, siguiendo la misma tendencia explicada anteriormente.

**Tabla 6.4.** Resultados de predicción del Método Autorregresivo para el sentido Este. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	$RMSE$	$MAE$	$MAPE$	$MSE$
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tlaloc	-0.00053	40.79139	37.78961	8.25E+15	1663.9378
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	-0.00047	17.27418	14.94233	7.909E+15	298.3974
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.04066	26.92454	23.02912	3.842E+15	724.9309
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	0.07272	12.61475	10.39177	1.085E+15	159.1320
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	0.87183	79.86372	56.93285	9.46E+14	6378.2134
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	0.82564	39.56713	25.96628	1.50E+15	1565.5578
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	0.91133	36.51731	22.88079	3.608E+13	1333.5142
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	0.96880	27.80622	16.97229	0.1709911	773.1859

**Tabla 6.5.** Resultados de predicción del Filtro de Kalman para el sentido Este. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	$RMSE$	$MAE$	$MAPE$	$MSE$
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tlaloc	0.95867	8.85978	5.08116	1.83E-01	78.4956
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	0.94416	4.40726	2.87743	5.638E+14	19.4239
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.90963	8.44329	6.36114	3.413E+14	71.2892
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	0.88797	5.00688	3.83772	1.829E+14	25.0688
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	0.97742	41.38668	25.37767	1.49E-01	1213.3749
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	0.94898	21.71401	14.96214	1.42E-01	471.4983
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	0.95911	25.47877	16.97882	1.73E-01	649.1678
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	0.94865	24.98535	16.91218	1.38E-01	624.2675

**Tabla 6.6.** Resultados de predicción de las RNN para el sentido Este. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	$RMSE$	$MAE$	$MAPE$	$MSE$
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tláloc	-2.32182	5.23002	4.66259	1.43E+00	27.3531
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	-4.25995	1.14673	0.99974	3.102E+15	1.3150
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.87955	10.33865	6.95712	9.528E+13	106.8876
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	0.82846	6.02805	4.42502	1.48E+14	36.3374
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	0.91688	34.11015	23.41130	2.16E-01	1163.5024
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	0.94484	17.48877	12.49035	1.53E-01	305.8572
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	-1.57100	198.95548	158.85890	1.956E+13	39583.2828
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	0.81476	46.84432	33.49230	0.3780833	2194.3901

Las tablas 6.7, 6.8 y 6.9 muestran los resultados para el sentido Sur de dirección del flujo vehicular, este sentido es el que tiene mayor volumen de tráfico en las intersecciones del corredor vial Pie de la Cuesta por lo que se esperaría una mejor predicción, pero no fue así, si se compara la tabla 6.7 con la tabla 6.4 esta última arroja mejores resultados. La fila que tienen el símbolo “-” significa que en esa intersección ese sentido de circulación no está permitido, por lo que no hay datos de predicción.

**Tabla 6.7.** Resultados de predicción del Método Autorregresivo para el sentido Sur. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	$RMSE$	$MAE$	$MAPE$	$MSE$
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tláloc	0.0018	78.5757	69.4699	5.31E+13	6174.1331
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	0.0023	95.4111	82.7519	1.44E+00	9103.2724
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.1121	63.7727	52.6139	9.37E-01	4066.9538
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	0.1458	84.5995	70.1590	1.54E+00	7157.0761
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	-	-	-	-	-
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	0.7024	3.1744	2.2637	7.40E+14	10.0770
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	0.8886	27.7253	18.3539	6.67E+13	768.6925
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	0.9148	3.5005	2.2012	4.40E+14	12.2534

**Tabla 6.8.** Resultados de predicción del Filtro de Kalman para el sentido Sur. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	$RMSE$	$MAE$	$MAPE$	$MSE$
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tláloc	0.9422	19.9475	12.7399	1.72E-01	397.9018
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	0.9450	26.4513	17.6458	1.65E-01	699.6696
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.8261	27.6552	20.4283	2.28E-01	764.8082
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	0.9503	21.8551	14.8136	1.69E-01	477.6451
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	-	-	-	-	-
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	0.8673	2.1058	1.6062	3.29E+14	4.4343
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	0.9593	16.7759	11.7181	2.25E+13	281.4317
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	0.8628	3.2271	2.2433	2.93E+14	10.4144

**Tabla 6.9.** Resultados de predicción de las RNN para el sentido Sur. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	$RMSE$	$MAE$	$MAPE$	$MSE$
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tláloc	0.5188	56.1865	35.2658	6.16E+15	3156.9219
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	0.9311	27.6374	18.6795	2.12E-01	763.8254
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.6465	42.1966	28.7788	3.61E-01	1780.5569
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	0.9283	25.1802	17.0164	2.58E-01	634.0429
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	-	-	-	-	-
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	0.7317	3.0088	2.1627	4.92E+14	9.0530
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	-1.7767	141.2587	114.2391	3.45E+13	19954.0104
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	0.3811	6.5892	5.2162	2.37E+15	43.4172

Y, por último, se muestran los resultados del sentido Oeste de dirección del flujo vehicular en las tablas 6.10, 6.11 y 6.12, donde solo algunas intersecciones tienen este sentido de flujo vehicular, pero, teniendo una buena predicción siguiendo la tendencia de los resultados para las anteriores direcciones.

**Tabla 6.10.** Resultados de predicción del Método Autorregresivo para el sentido Oeste. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	$RMSE$	$MAE$	$MAPE$	$MSE$
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tláloc	0.0017	80.0943	70.1998	3.68E+14	6415.0922
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	0.0009	3.4660	2.6666	4.4E+15	12.0129
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.1663	4.6010	3.8261	3.3E+15	21.1692
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	-	-	-	-	-
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	-	-	-	-	-
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	-	-	-	-	-
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	0.9089	49.9660	33.1853	3.83E-01	2496.6011
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	-	-	-	-	-

**Tabla 6.11.** Resultados de predicción del Filtro de Kalman para el sentido Oeste. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	$RMSE$	$MAE$	$MAPE$	$MSE$
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tláloc	0.9548	15.3347	10.2941	2.97E-01	235.1545
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	0.7838	1.3043	0.6126	1.6E+14	1.701268
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.8668	1.8580	1.4726	6.5E+14	3.452338
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	-	-	-	-	-
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	-	-	-	-	-
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	-	-	-	-	-
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	0.9759	27.2505	20.4273	1.53E-01	742.5896
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	-	-	-	-	-

**Tabla 6.12.** Resultados de predicción de las RNN para el sentido Oeste. Fuente: Propia.

Periodo de Predicción	Intersección	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	MSE
1 hora	Pie de la Cuesta - Av. Tláloc	0.8062	38.5245	25.8970	1.49E+16	1484.1359
	Pie de la Cuesta - Río Tuxpan	0.6103	2.3168	1.5078	1.1E+15	5.367528
1 día	Pie de la Cuesta - Playa Roqueta	0.7240	3.0006	2.2884	7E+14	9.003472
	Pie de la Cuesta - Playa Rincon	-	-	-	-	-
1 semana	Av. Constituyentes - Av. Tecnológico	-	-	-	-	-
	Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe	-	-	-	-	-
1 mes	Av. Constituyentes - Ignacio Perez	-1.8946	288.1712	235.2770	8.22E-01	83042.65
	Pie de la Cuesta - Playa Mocambo	-	-	-	-	-

También. se realizaron estimaciones para predicciones de autobuses y camiones, dando resultados poco satisfactorios y peores que la estimación de automóviles, teniendo valores del coeficiente de determinación menores a 0.75 y MAPE'S muy altos.

**Tabla 6.13.** Perdida de las RNN para la predicción de una semana con datos históricos de una semana para la intersección Pie de la Cuesta-Río Tuxpan.

Tipo de Vehículo	Intersección	Metodo	$R^2$	RMSE	MAE	MAPE	MSE
Bus	Pie de la Cuesta	Modelo Autorregresivo	0.0227	2.7709	1.9463	3.08E+18	7.678
		Filtro de Kalman	0.7319	1.9041	1.2716	5.1E+16	3.6255
		Redes Neuronales	0.3728	2.1974	1.62	1.27E+18	4.8285
Camiones	Pie de la Cuesta	Modelo Autorregresivo	0.0189	1.3554	0.9568	2.15E+18	1.837
		Filtro de Kalman	0.6629	0.9688	0.6336	9.88E+17	0.9386
		Redes Neuronales	0.1159	1.1226	0.7676	1.53E+18	1.2601

Ahora, en la tabla 6.14 se muestran los resultados en cantidad de vehículos para 1 hora, con esto se da una mejor perspectiva de los resultados para las diferentes predicciones.

**Tabla 6.14.** Comparación de resultados de predicción en cantidad de vehículos para 1 hora en av. Pie de la Cuesta - Av. Tláloc. Fuente: Propia.

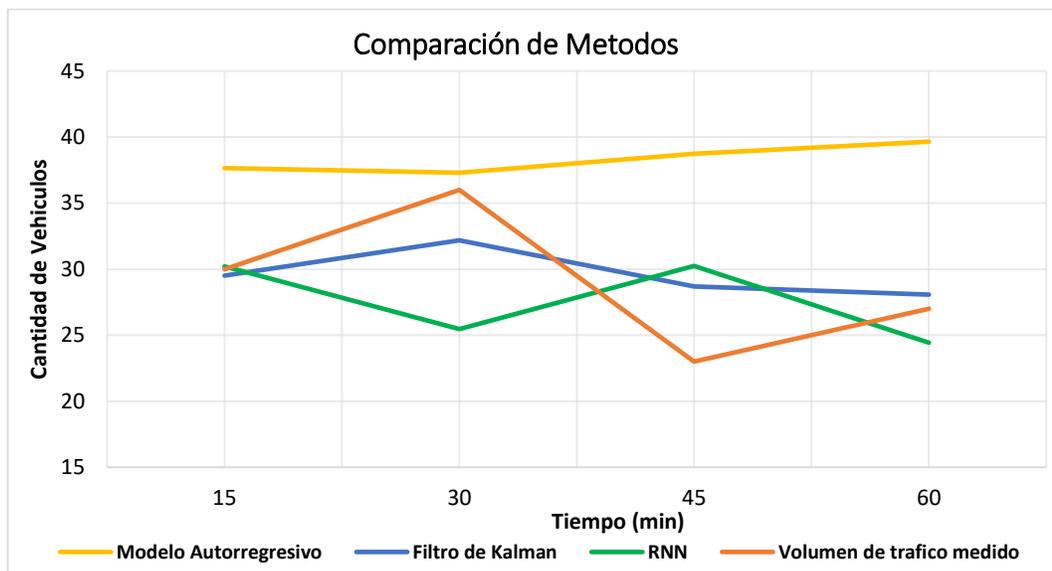
No.	Periodo (min)	Aforo Medido	M. Autorregresivo (veh)	F. de Kalman (veh)	RNN (veh)
1	15	30	38	30	30
2	30	36	37	32	25
3	45	23	39	29	30
4	60	27	40	28	24

Los resultados para 1 día, 1 semana y 1 mes se encuentran en los anexos V, VI y

VII, debido al gran espacio que ocupan.

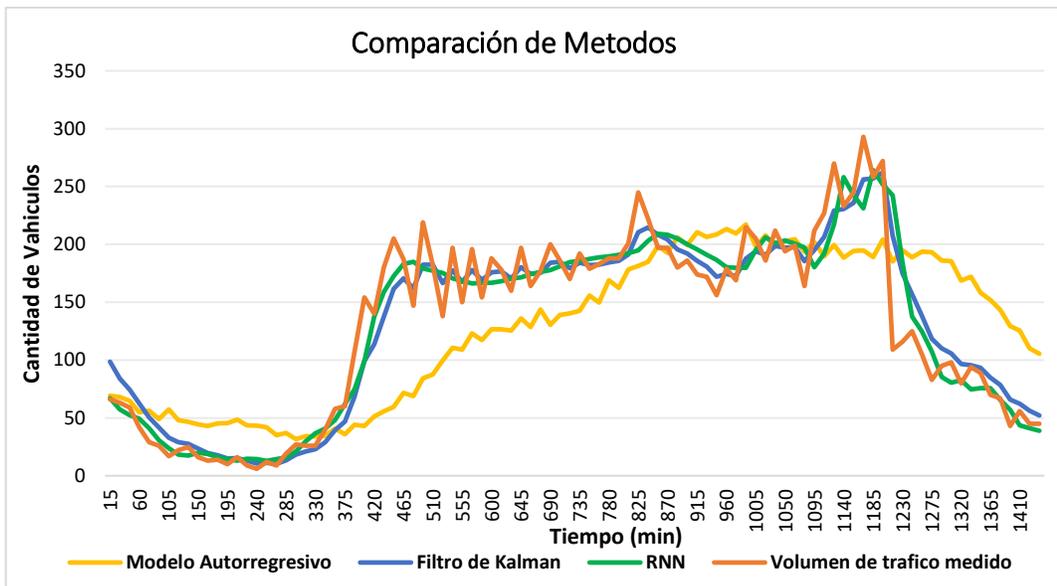
Estos resultados en cantidad de vehículos se procedieron a graficar, las figuras 6.6, 6.7, 6.8 y 6.9 comparan las predicciones realizadas por los tres modelos con diferentes periodos de entrenamiento.

En la figura 6.6 se observa lo antes mencionado en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3, que ninguno de los métodos es capaz de realizar una buena estimación con pocos datos anteriores.



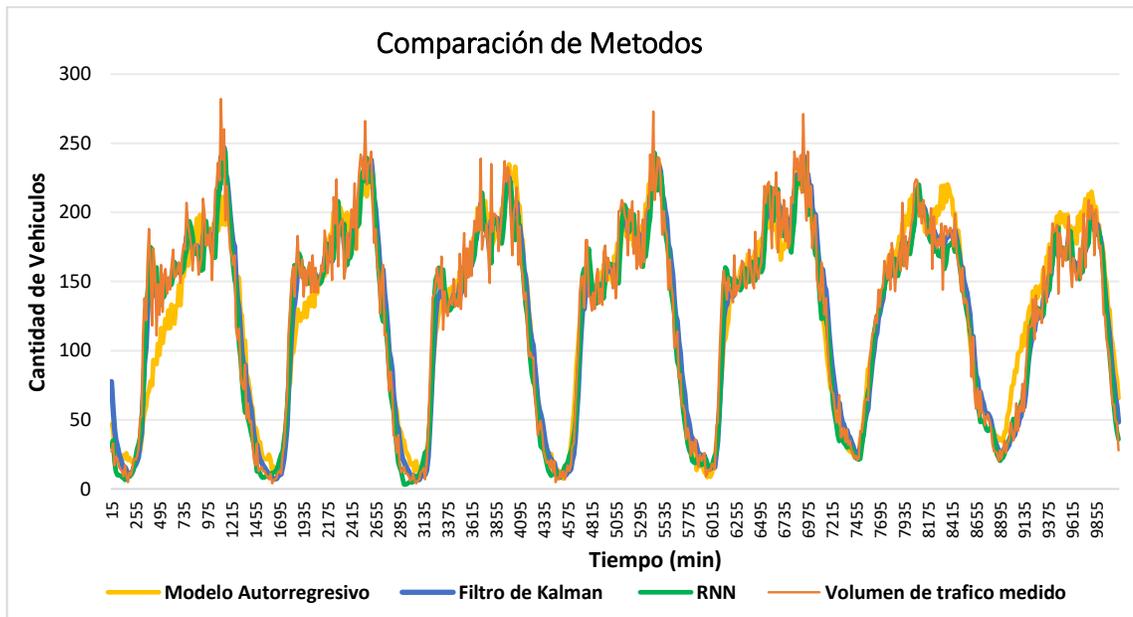
**Figura 6.6.** Comparación de resultados para 1 hora en la intersección Pie de la Cuesta - Av. Tláloc. Fuente: Propia.

La figura 6.7 muestra como dos de los tres métodos tienen un mejor ajuste al flujo vehicular medido, siendo capaces de suavizar el ruido de este y revelando que el Método Autorregresivo tiene una desventaja ante los otros métodos para esta predicción.



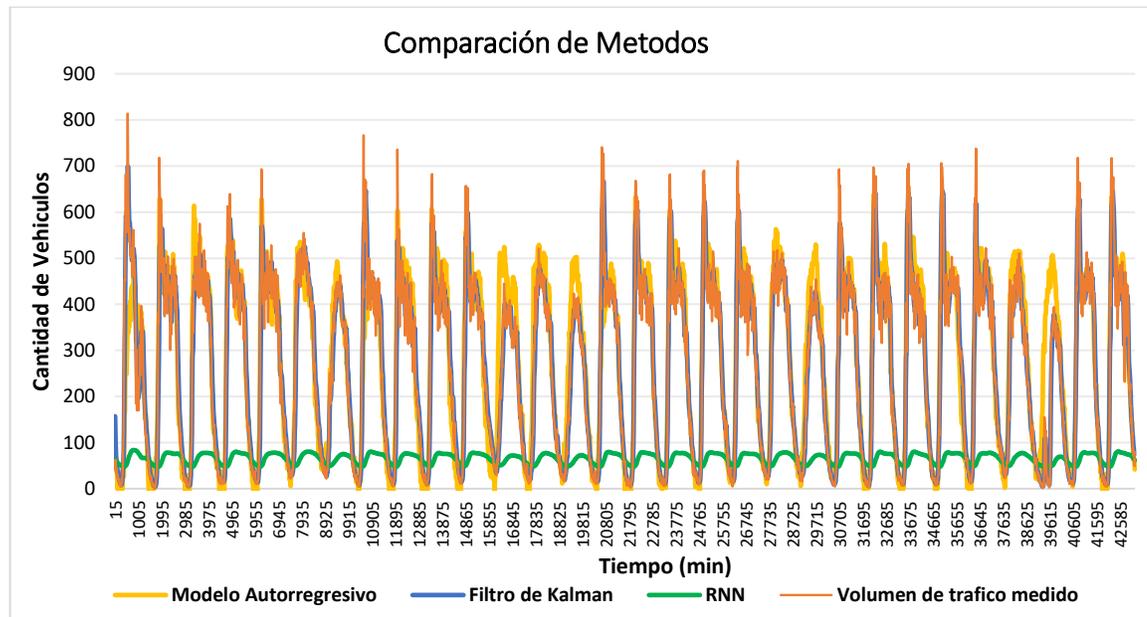
**Figura 6.7.** Comparación de resultados para 1 día en la intersección Pie de la Cuesta – Rio Tuxpan. Fuente: Propia.

La predicción de una semana fue en la que los métodos de predicción arrojaron una mejor estimación en conjunto, donde los tres métodos siguen el comportamiento similar del flujo vehicular medido, como se observa en la figura 6.8.



**Figura 6.8.** Comparación de resultados para 1 semana en la intersección Pie de la Cuesta – Playa Roqueta. Fuente: Propia.

Y, por último, en la figura 6.9 se comprueba que las RNN no hacen una buena predicción para 1 mes, dando valores que oscilan los 60 y 80 vehículos durante todo el entrenamiento.

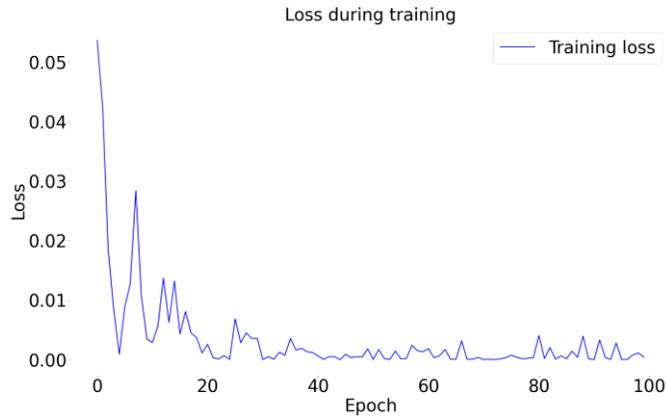


**Figura 6.9.** Comparación de resultados para 1 mes en la intersección Av. Constituyentes – Av. Tecnológico. Fuente: Propia.

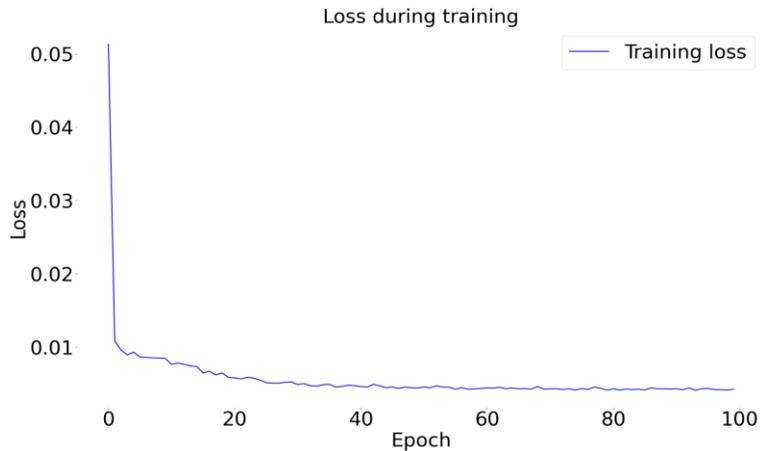
#### 6.4. Pérdidas durante el entrenamiento

Cabe mencionar que las tablas y gráficas anteriores muestran una comparación de los tres métodos y con esto se estipula la predicción más conveniente a emplear, por lo que se determinó que la predicción de RNN para una semana es donde se muestra un mejor comportamiento y para respaldar los resultados obtenidos, se realizó una función de pérdida, la cual es una medida que determina qué tan bien el modelo está realizando la regresión. Las gráficas de pérdida proporcionan información visual sobre cómo la pérdida del modelo cambia a medida que se ajustan los parámetros del modelo durante el entrenamiento. La figura 6.10 muestra como hay variaciones en la pérdida del entrenamiento y la figura 6.11 muestra perdidas mínimas, avalando así, los resultados obtenidos en la graficas de predicción de flujo vehicular y en las métricas, para cada uno de los entrenamientos.

Otras cuestiones por la que se eligió este modelo tienen que ver con que es el modelo más avanzado, el más reciente y con mayor proyección, y el más empleado y estudiado por los autores de la diferente bibliografía leída como base de esta investigación.



**Figura 6.10.** Pérdida de las RNN para la predicción de un mes con datos históricos de un mes para la intersección Pie de la Cuesta-Rio Tuxpan. Fuente: Propia.

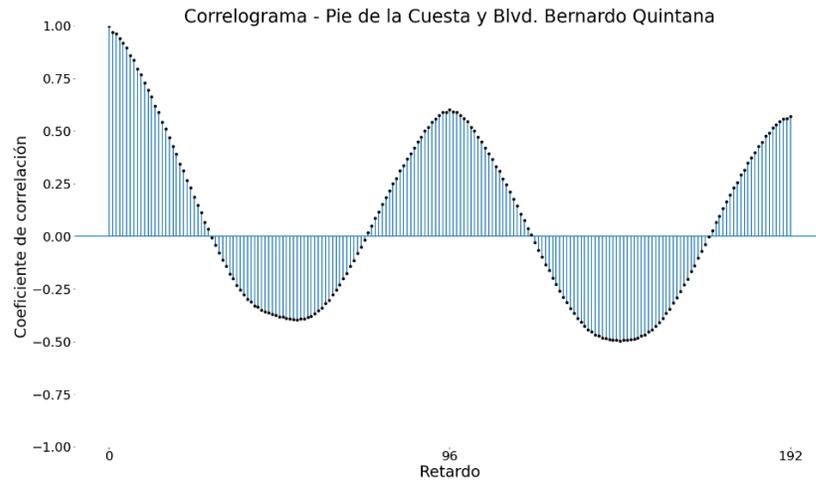


**Figura 6.11.** Pérdida de las RNN para la predicción de una semana con datos históricos de una semana para la intersección Pie de la Cuesta-Rio Tuxpan. Fuente: Propia.

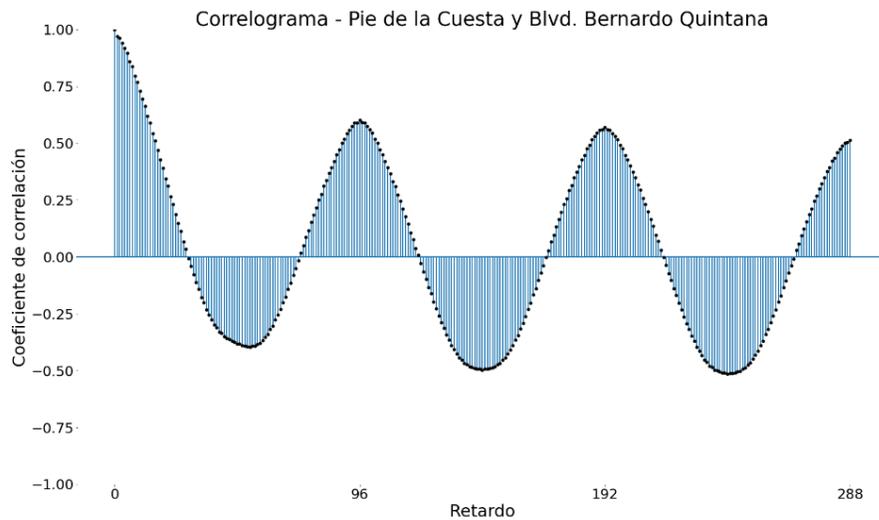
## 6.5. Correlogramas

Además, se hicieron graficas de correlograma para la información obtenida de los aforos de todas las intersecciones para 2, 3, 4, 5, 6 y 7 días. Los correlogramas ayudan a detectar si los valores de la serie en ciertos períodos están

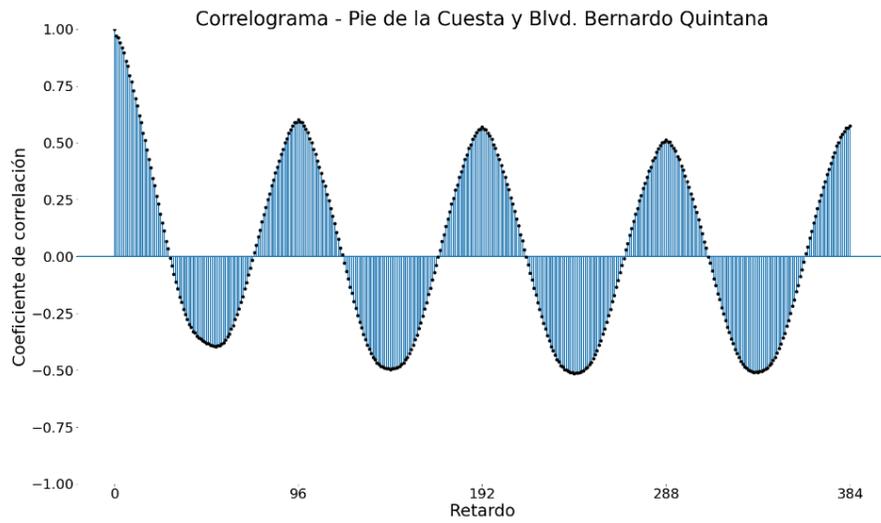
correlacionados con los valores de otros períodos, también, permiten identificar si hay patrones cíclicos o repetitivos en la serie temporal.



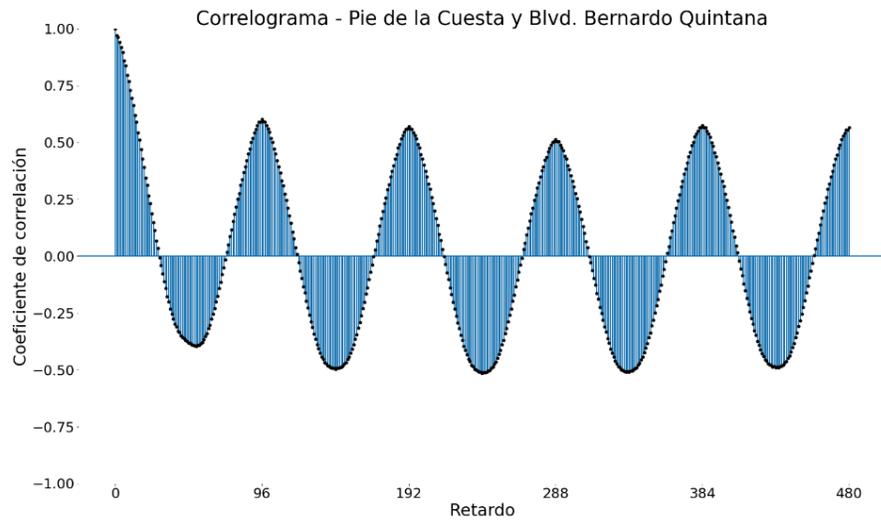
**Figura 6.12.** Correlograma para 2 días en Av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana. Fuente: Propia.



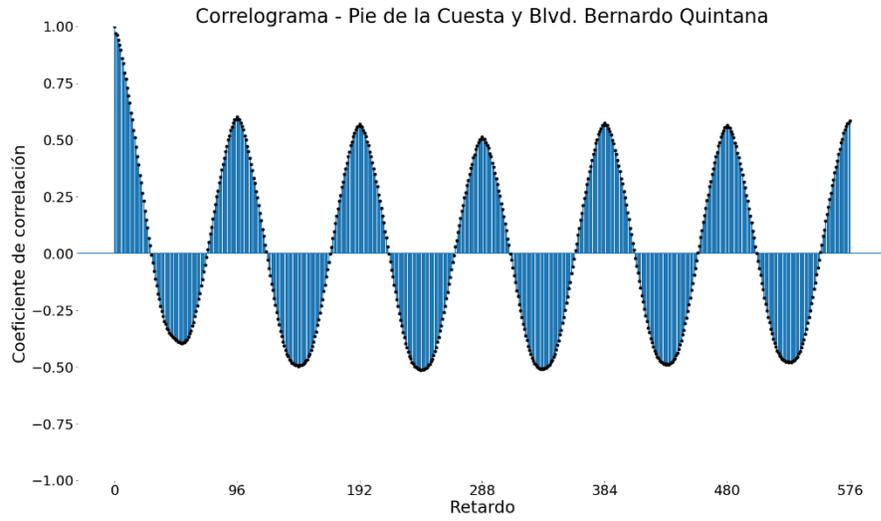
**Figura 6.13.** Correlograma para 3 días en Av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana. Fuente: Propia.



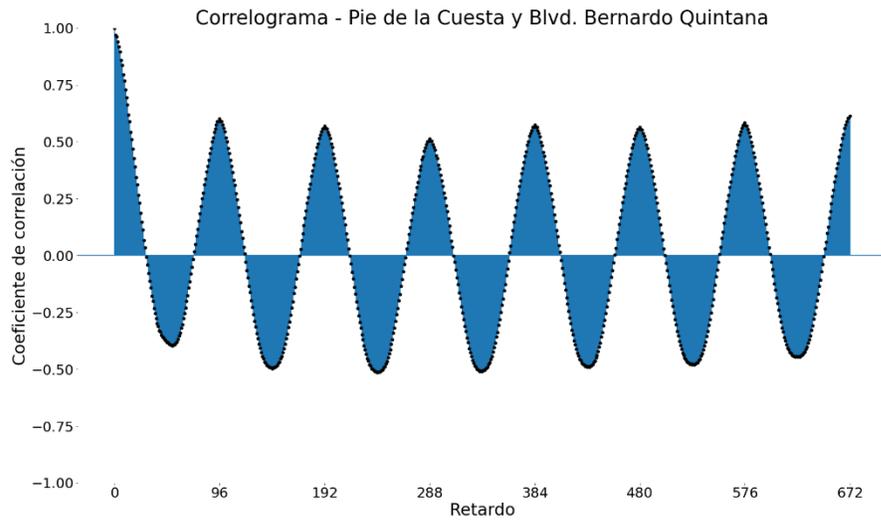
**Figura 6.14.** Correlograma para 4 días en Av. Pie de la Cuesta – Blvd. Bernardo Quintana. Fuente: Propia.



**Figura 6.15.** Correlograma para 5 días en Av. Pie de la Cuesta – Blvd. Bernardo Quintana. Fuente: Propia.



**Figura 6.16.** Correlograma para 6 días en Av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana. Fuente: Propia.



**Figura 6.17.** Correlograma para 1 semana en Av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana. Fuente: Propia.

## **6.6. Colas vehiculares**

Los correlogramas de las figuras 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16 y 6.17 son de la intersección Pie de la cuesta con Blvr. Bernardo Quintana, estos muestran un patrón oscilatorio, con coeficientes de autocorrelación que se alternan entre valores positivos y negativos. Esto sugiere la presencia de una estructura cíclica o periódica en los datos. Este patrón indica que los datos tienen una fuerte dependencia cíclica, con ciclos que parecen repetirse a intervalos regulares. El patrón repetitivo y la falta de decaimiento rápido en la autocorrelación sugieren que la serie temporal podría no ser estacionaria. Con esto se justifica por qué se dan los resultados correspondientes al hacer las predicciones con la información obtenida en los aforos. Los correlogramas para todas las demás intersecciones se encuentran en los anexos del VIII al XV, donde se observa que estos tienen la misma tendencia a los mostrados anteriormente.

Como ya se mencionó en la metodología, después de elegir el método y el tiempo de predicción a utilizar se obtuvieron los resultados en cantidad de vehículos y con esto se hizo la matriz O-D, se pretendió que la cantidad de vehículos fuera lo más cercana a lo calculado en las predicciones, no pudo ser exacta ya que se realizó una simulación conjunta para todas las intersecciones. La figura 6.10 muestra el mapa dentro de la simulación de la Av. Pie de la Cuesta con las diferentes intersecciones semaforizadas que la componen.

Se ingresaron diferentes propuestas de tiempos de semáforo y se midieron las colas vehiculares en todas las intersecciones.

Tomando como referencia la figura 6.18, se mostrarán los resultados de sur a norte, empezando por la intersección de Pie de la Cuesta-Blvr. Bernardo Quintana.

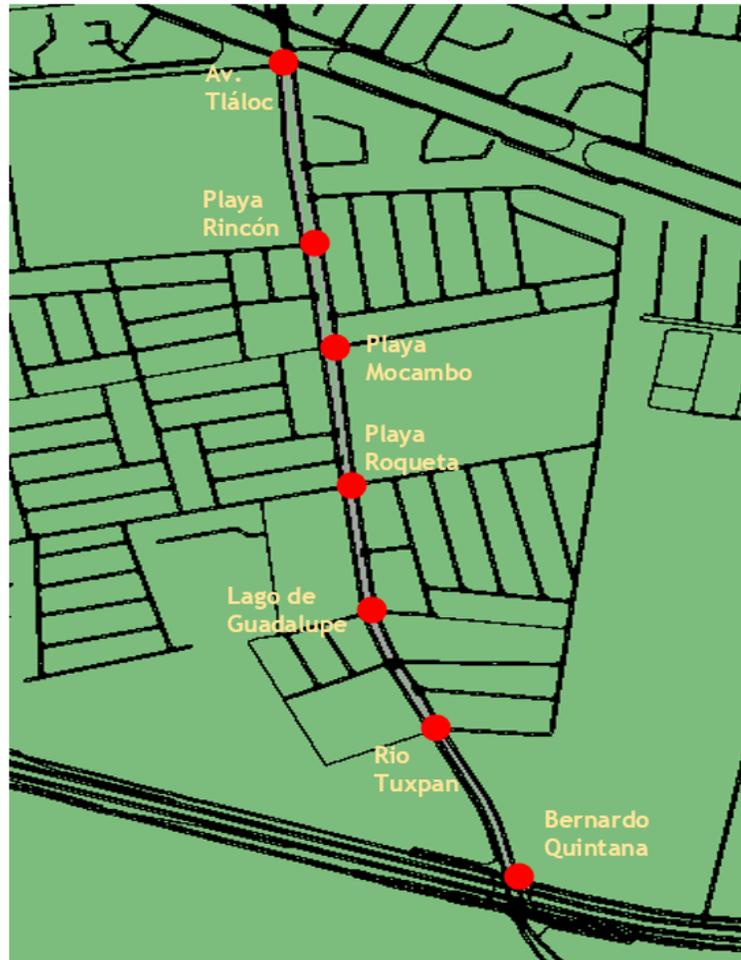


Figura 6.18. Mapa de la Av. Pie de la Cuesta dentro del simulador. Fuente: Propia.

- Intersección Pie de la Cuesta- Bernardo Quintana

La tabla 6.8 muestra los resultados de la primera intersección, solo se muestra el sentido de norte a sur, ya que la simulación empieza a correr de sur a norte muy cercano a esta intersección y además de que transitan otros vehículos de los cuales no se tienen aforos, por lo que se omite esta representación ya que los resultados de las colas vehiculares no pueden ser representativos, por lo que en dirección de sur a norte se empieza la medición a partir de la intersección de Pie de la Cuesta- Río Tuxpan. La primera columna muestra el tiempo de verde medido en el sitio, de ahí se partió y se fueron proponiendo tiempos, determinando que la propuesta 8 y 10 son las que muestran una mejor reducción de las colas vehiculares medidas al

principio en comparación a otras propuestas.

**Tabla 6.15.** Resultados de medición de colas vehiculares en av. Pie de la Cuesta – Blvr. Bernardo Quintana, sentido norte a sur. Fuente: Propia.

 <b>No. de Ciclo</b>	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Bernardo Quintana Norte										
	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 30 seg	Tiempo de verde= 33 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 45seg	Tiempo de verde= 50 seg	Tiempo de verde= 53 seg	Tiempo de verde= 55 seg	Tiempo de verde= 57 seg	Tiempo de verde= 55 seg	Tiempo de verde= 57 seg
	vehicular (veh)										
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	5	5	5	0	0	0	1	17	4	4
3	25	9	25	27	3	1	26	13	26	3	3
4	31	11	31	33	21	18	35	29	21	24	4
5	39	16	39	40	31	28	38	35	19	17	3
6	32	22	32	42	35	36	40	39	18	29	8
7	25	28	25	34	40	43	34	40	20	34	6
8	28	33	28	34	38	36	27	42	16	28	8
9	34	38	34	35	29	31	21	43	26	30	12
10	34	43	34	36	24	25	23	36	22	34	12
11	42	47	42	42	31	26	21	23	30	36	12
12	44	50	44	49	30	27	22	20	31	40	9
13	51	56	51	54	28	27	31	19	30	36	16
14	52	59	52	58	35	34	35	22	21	37	14
15	48	56	48	58	41	38	41	20	22	40	18
16	50	61	50	55	39	42	47	23	18	38	21
17	43	56	43	50	43	45	50	29	19	40	23
18	42	52	42	47	47	53	40	32	26	38	19
19	51	58	51	46	48	49	32	29	31	38	26
20	57	47	57	48	43	40	31	23	36	37	26
21	59	44	59	49	40	34	23	31	39	31	25
22	57	46	57	54	32	32	30	38	44	29	29
23	52	48	52	57	35	31	33	39	34	30	30
24	48	53	48	57	43	32	41	40	26	32	28
25	45	57	45	53	39	38	43	39	21	27	28

- Intersección Pie de la Cuesta - Río Tuxpan

Ahora en las tablas 6.16, 6.17, 6.18 y 6.19 se muestran los resultados en todos los sentidos permitidos en esta intersección, siendo el sentido de norte a sur el que más congestión presenta y en los sentidos de este a oeste y viceversa se observan pocos cambios en la cantidad de vehículos en espera propuesta a propuesta.

**Tabla 6.16.** Resultados medición de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta–Rio Tuxpan, de norte a sur.  
Fuente: Propia.

No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Rio Tuxpan Norte	Rio Tuxpan Norte	Rio Tuxpan Norte	Rio Tuxpan Norte	Rio Tuxpan Norte	Rio Tuxpan Norte	Rio Tuxpan Norte	Rio Tuxpan Norte	Rio Tuxpan Norte	Rio Tuxpan Norte	Rio Tuxpan Norte
	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 30 seg	Tiempo de verde= 33 seg	Tiempo de verde= 43 seg	Tiempo de verde= 45seg	Tiempo de verde= 47 seg	Tiempo de verde= 50 seg	Tiempo de verde= 50 seg	Tiempo de verde= 50 seg	Tiempo de verde= 46 seg	Tiempo de verde= 45 seg
	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	6	1	3	9	10	8	6	9	1	8	1
3	19	19	22	19	17	19	30	20	4	42	1
4	15	41	32	6	9	32	30	33	24	26	7
5	23	34	33	21	24	27	6	12	15	41	19
6	30	36	24	25	21	21	16	12	8	38	4
7	30	35	28	23	27	23	17	18	24	27	26
8	24	30	36	33	36	35	23	33	18	41	25
9	24	38	31	35	35	37	35	34	34	40	25
10	35	36	35	33	23	33	36	31	27	38	29
11	34	35	33	23	15	33	29	34	40	36	27
12	29	31	36	26	20	32	39	30	27	33	33
13	27	34	34	29	24	14	19	19	34	37	34
14	33	39	36	23	27	25	23	15	40	31	40
15	35	24	43	32	38	21	20	15	30	33	31
16	35	26	44	32	33	34	16	21	33	34	40
17	35	31	40	35	27	33	20	24	23	28	39
18	29	34	42	25	26	31	34	35	8	31	38
19	41	41	36	28	43	32	29	25	11	23	35
20	31	39	33	37	37	25	42	39	19	31	35
21	23	34	30	39	40	21	33	27	38	27	35
22	33	33	34	34	33	28	31	23	21	27	35
23	33	33	44	39	34	41	23	19	39	27	34
24	36	33	36	16	29	29	17	18	41	22	33
25	30	25	32	16	28	38	19	18	28	27	30

**Tabla 6.17.** Resultados medición de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta–Rio Tuxpan, de sur a norte.  
Fuente:

No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Rio Tuxpan Sur										
	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 30 seg	Tiempo de verde= 33 seg	Tiempo de verde= 35 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 42 seg	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 37 seg
	Cola vehicular (veh)										
1	2	1	2	2	2	3	6	6	0	14	12
2	22	20	22	22	21	20	17	17	23	22	22
3	18	21	18	18	14	20	20	20	24	23	23
4	21	20	21	20	21	21	24	15	21	25	22
5	23	22	23	22	23	25	13	24	25	29	23
6	21	21	21	24	24	24	25	28	20	25	24
7	16	17	16	21	20	17	13	24	16	26	24
8	23	19	23	14	15	16	16	24	23	25	24
9	20	21	20	15	14	20	18	20	23	21	23
10	20	22	20	9	20	23	23	14	22	23	26
11	38	21	38	19	23	25	25	19	19	19	24
12	21	23	21	20	22	18	21	22	17	16	25
13	18	20	18	19	21	20	13	24	21	16	26
14	21	12	21	21	21	22	23	24	25	13	25
15	23	20	23	23	22	25	27	25	25	15	23
16	21	20	21	23	25	23	24	16	13	17	22
17	15	20	15	18	22	17	16	16	22	20	22
18	19	19	19	14	16	33	16	20	25	21	21
19	20	22	20	16	15	17	21	24	26	20	22
20	22	23	22	21	20	20	26	25	19	22	20
21	22	17	22	19	21	23	22	24	18	25	21
22	23	23	23	20	22	22	16	22	29	24	19
23	19	21	19	20	21	16	23	15	25	25	16
24	19	18	19	21	21	19	26	18	26	25	15
25	21	20	21	24	22	24	23	19	17	21	15

**Tabla 6.18.** Resultados medición de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta-Rio Tuxpan, de este a oeste.  
Fuente: Propia.

← No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Rio Tuxpan Este										
	Tiempo de verde= 25 seg	Tiempo de verde= 27 seg	Tiempo de verde= 22 seg	Tiempo de verde= 20 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 12 seg	Tiempo de verde= 13 seg	Tiempo de verde= 13 seg
	Cola vehicular (veh)										
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
7	2	2	0	2	2	1	0	2	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0
13	0	0	0	2	1	0	0	0	2	2	1
14	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
18	0	0	0	0	2	2	0	2	2	0	0
19	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	2
20	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
23	0	1	0	0	0	1	1	2	0	0	0
24	0	0	0	0	2	1	0	0	2	0	0
25	2	1	0	2	0	0	0	0	0	2	0

**Tabla 6.19.** Resultados medición de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta-Rio Tuxpan, de este a oeste.  
Fuente: Propia.

→ No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Rio Tuxpan Oeste										
	Tiempo de verde= 25 seg	Tiempo de verde= 27 seg	Tiempo de verde= 22 seg	Tiempo de verde= 20 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 15 seg				
	Cola vehicular (veh)										
1	6	5	6	5	6	6	6	6	7	5	5
2	4	3	3	3	3	4	4	4	4	2	2
3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	2	2
4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	2
5	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3
6	3	3	2	3	2	3	3	2	3	3	2
7	4	3	4	3	4	4	4	3	4	2	2
8	3	4	3	4	3	3	3	3	3	1	4
9	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	2
10	4	2	3	2	3	4	4	4	4	4	2
11	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4
12	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3
13	4	2	3	2	3	4	4	4	3	3	2
14	3	4	4	4	4	3	3	2	4	4	4
15	4	3	4	3	4	4	4	4	4	3	3
16	2	4	3	4	3	2	2	4	3	4	4
17	2	3	4	3	4	2	2	2	4	4	3
18	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4
19	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
20	4	2	4	2	4	4	4	2	4	3	3
21	3	3	3	3	3	3	3	2	4	3	4
22	3	2	3	2	3	3	3	3	0	3	3
23	3	2	4	2	4	3	3	3	4	3	3
24	2	3	3	3	3	2	2	3	3	4	4
25	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3

- Intersección Pie de la Cuesta - Lago de Guadalupe

Las tablas 6.20, 6.21 y 6.22 muestran los resultados para esta intersección. En la tabla 6.20 la propuesta 6 registra menos vehículos registrados en las colas vehiculares, pero para la figura 6.21 la mejor es la propuesta 9, esto no significa que si combinamos estos dos tiempos en un ciclo semafórico sea mejor, ya que algunos segundos de más o de menos afectan al otro sentido y la cantidad de vehículos que logran pasar o no.

**Tabla 6.20.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta-Lago de Guadalupe, de norte a sur.  
Fuente: Propia.

No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Lago de Guadalupe Norte										
	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 30 seg	Tiempo de verde= 33 seg	Tiempo de verde= 43 seg	Tiempo de verde= 45seg	Tiempo de verde= 47 seg	Tiempo de verde= 50 seg	Tiempo de verde= 50 seg	Tiempo de verde= 50 seg	Tiempo de verde= 46 seg	Tiempo de verde= 45 seg
	Cola vehicular [veh]										
1	1	1	1	2	2	2	2	2	6	4	0
2	22	17	15	28	27	28	26	25	22	18	22
3	20	29	12	21	22	26	16	26	30	26	36
4	28	22	1	33	31	27	16	22	29	22	16
5	22	23	15	8	16	25	30	28	23	16	25
6	17	27	22	19	29	27	23	13	20	26	30
7	16	30	22	23	26	29	33	30	24	30	29
8	21	30	21	23	18	31	20	22	29	34	29
9	22	31	32	17	17	16	31	21	27	24	24
10	24	37	30	19	26	26	15	30	23	33	26
11	24	50	26	21	27	22	25	20	34	35	27
12	22	50	22	29	27	13	17	24	31	19	33
13	23	48	37	22	19	23	25	17	18	29	17
14	25	46	35	27	32	22	19	18	27	29	28
15	22	48	38	27	23	28	27	24	28	36	34
16	30	46	36	31	23	26	21	29	22	24	32
17	35	34	42	23	23	32	31	25	26	21	28
18	27	41	50	20	31	27	26	32	23	30	35
19	34	43	48	25	25	31	22	14	27	26	29
20	48	47	48	27	29	20	22	27	29	30	32
21	36	46	45	33	19	29	28	30	19	28	34
22	50	47	48	26	38	23	23	28	20	19	27
23	49	46	48	45	38	17	26	33	31	24	34
24	38	46	38	40	33	40	25	22	27	22	30
25	48	45	31	35	34	27	20	24	23	29	37

**Tabla 6.21.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta–Lago de Guadalupe, de sur a norte.  
Fuente: Propia.

↑ No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Lago de Guadalupe Sur										
	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 30 seg	Tiempo de verde= 27 seg	Tiempo de verde= 33 seg	Tiempo de verde= 35 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 45 seg	Tiempo de verde= 43 seg	Tiempo de verde= 48 seg
	Cola vehicular										
1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4
2	5	13	16	17	17	18	19	18	5	21	17
3	10	20	13	27	28	27	28	26	3	26	16
4	1	7	13	22	8	27	26	21	4	26	13
5	2	2	22	1	1	6	9	18	14	25	8
6	15	9	24	2	2	2	2	2	25	25	7
7	23	19	12	11	10	3	2	1	28	27	4
8	29	20	5	27	28	18	14	11	26	18	2
9	25	21	21	32	33	27	21	24	28	17	1
10	2	1	27	29	29	27	29	30	29	17	1
11	3	2	22	25	26	26	27	33	34	6	2
12	17	14	6	16	9	25	30	30	30	6	1
13	0	25	2	1	3	27	31	29	23	4	6
14	24	24	21	4	4	5	27	25	20	3	13
15	26	15	24	16	26	3	16	8	2	2	21
16	24	1	24	24	27	2	3	2	3	1	22
17	4	7	2	24	25	9	2	6	7	1	28
18	2	22	10	24	26	24	10	16	8	2	24
19	16	18	26	29	5	30	19	25	18	1	29
20	31	20	28	21	3	30	29	27	25	4	28
21	34	12	28	2	9	26	24	27	33	5	28
22	30	4	2	4	19	28	32	27	32	2	27
23	7	8	8	16	29	10	30	28	28	5	29
24	2	22	22	24	26	2	26	26	27	10	28
25	13	23	31	29	28	2	24	10	25	7	24

**Tabla 6.22.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta–Lago de Guadalupe, de este a oeste.  
Fuente: Propia.

← No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Lago de Guadalupe Este										
	Tiempo de verde= 27 seg	Tiempo de verde= 25 seg	Tiempo de verde= 22 seg	Tiempo de verde= 20 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 16 seg	Tiempo de verde= 18 seg	Tiempo de verde= 15 seg
	Cola vehicular										
1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	4	4
2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1
3	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
4	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	2
5	2	2	0	2	1	1	1	1	2	2	1
6	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
7	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
8	0	0	1	0	2	2	2	2	2	2	0
9	2	0	0	2	0	0	1	0	0	0	2
10	0	1	2	0	2	2	0	1	2	1	3
11	1	0	0	1	0	3	3	0	0	3	0
12	3	2	2	1	3	0	0	3	0	0	1
13	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
14	0	3	3	1	1	1	3	1	1	3	0
15	0	0	0	0	1	2	0	1	2	0	1
16	1	1	0	3	2	0	1	2	1	1	0
17	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3
18	0	2	1	1	0	2	3	0	2	3	1
19	1	0	2	0	0	1	0	2	0	1	0
20	1	1	1	2	1	1	0	0	1	0	3
21	3	0	1	1	1	0	3	1	3	3	1
22	0	0	0	1	0	3	0	0	0	1	0
23	1	1	2	0	3	1	2	1	1	1	2
24	0	0	1	3	0	1	0	2	1	2	0
25	0	1	0	1	2	1	2	0	0	0	2

- Intersección Pie de la Cuesta - Playa Roqueta

Las tablas 6.23, 6.24, 6.25 y 6.26 muestran los resultados de la medición de colas vehiculares en esta intersección. Las primeras dos propuestas se propusieron así, reduciendo el tiempo medido, solo para observar el comportamiento en la intersección y si las colas vehiculares tendían a baja o subir, como la tendencia fue que subía la cantidad de vehículos se propusieron al contrario los tiempos, es decir, se aumentó el tiempo de verde y fue donde se registró reducción en las colas vehiculares. La tabla 6.24 puede contradecir lo dicho anteriormente, ya que en los números se observa que el tiempo medido tiene menor cantidad de vehículos que las propuestas, pero como es una simulación en conjunto, el aumentar el tiempo el tiempo en esta intersección puede beneficiar a otra sin verse significativamente afectada la cantidad de vehículos en espera.

**Tabla 6.23.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Roqueta, de norte a sur. Fuente: Propia.

No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Playa Roqueta Norte	Playa Roqueta Norte	Playa Roqueta Norte	Playa Roqueta Norte	Playa Roqueta Norte	Playa Roqueta Norte	Playa Roqueta Norte	Playa Roqueta Norte	Playa Roqueta Norte	Playa Roqueta Norte	Playa Roqueta Norte
	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 30 seg	Tiempo de verde= 33 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 42seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 45 seg	Tiempo de verde= 42 seg	Tiempo de verde= 41 seg
Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	8	5	10	8	12	10	12	15	14	16	11
3	18	11	19	16	18	19	16	15	14	15	17
4	15	18	20	15	16	15	12	7	14	16	12
5	11	20	8	6	3	8	10	16	12	17	17
6	18	21	13	19	19	19	16	17	16	16	10
7	16	14	19	15	15	13	5	14	9	17	19
8	10	13	18	12	10	7	17	19	16	13	12
9	17	21	8	13	11	18	17	13	12	13	16
10	14	19	13	13	17	11	3	13	18	7	11
11	11	32	19	18	14	10	20	18	7	10	19
12	19	33	19	12	14	17	15	15	18	14	15
13	13	42	13	16	18	16	17	16	15	15	21
14	13	44	20	14	16	8	18	6	18	14	15
15	16	44	25	16	7	17	9	16	7	16	14
16	9	41	23	16	19	15	14	15	13	13	17
17	17	42	26	7	11	9	18	16	9	13	14
18	16	45	20	16	12	17	6	16	13	14	15
19	8	44	16	18	20	16	10	4	13	10	19
20	19	45	22	12	13	7	20	12	11	15	16
21	17	45	26	13	13	18	17	19	12	10	16
22	18	46	28	16	17	15	10	13	15	16	15
23	25	46	33	11	8	13	13	18	13	13	10
24	7	49	39	17	13	19	13	12	15	15	15
25	33	45	44	14	19	12	19	15	14	12	12

**Tabla 6.24.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Roqueta, de sur a norte. Fuente: Propia.

↑ No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Playa Roqueta	Playa Roqueta Sur									
	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 30 seg	Tiempo de verde= 33 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 42 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 45 seg	Tiempo de verde= 42 seg	Tiempo de verde= 41 seg
Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	3	3	0	0	0	0	0	0	1	1
3	0	0	0	22	0	3	11	6	32	11	4
4	10	3	1	23	24	20	13	25	1	24	7
5	16	11	2	11	24	2	0	0	0	0	26
6	10	12	0	1	6	0	8	0	14	2	10
7	14	8	16	1	0	15	28	20	13	26	1
8	8	19	22	1	9	16	1	12	2	0	21
9	0	19	24	27	7	0	5	0	0	0	8
10	4	17	11	17	27	4	24	14	23	25	0
11	14	2	20	2	4	17	1	17	18	27	25
12	26	2	24	0	0	26	3	11	0	0	18
13	11	5	17	12	7	0	17	0	4	12	0
14	16	4	12	26	25	3	12	20	28	25	8
15	20	23	0	16	26	26	1	27	10	0	26
16	1	23	2	0	2	15	14	1	0	1	1
17	4	26	0	0	1	0	20	0	15	28	0
18	13	17	5	1	8	11	0	26	28	2	25
19	20	6	13	25	21	26	10	14	1	0	12
20	12	9	17	27	26	6	27	1	0	22	2
21	15	1	9	8	2	0	2	10	29	23	16
22	3	0	21	0	0	16	0	25	4	1	28
23	0	8	26	10	6	9	30	2	0	7	0
24	4	14	25	26	27	2	9	0	16	25	5
25	17	16	15	8	26	0	0	12	11	0	26

**Tabla 6.25.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Roqueta, de este a oeste. Fuente: Propia.

← No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Playa Roqueta	Playa Roqueta Este	Playa Roqueta	Playa Roqueta Este							
	Tiempo de verde= 25 seg	Tiempo de verde= 27 seg	Tiempo de verde= 22 seg	Tiempo de verde= 20 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 16 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 15 seg
Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	3	3	0	0	0	0	0	0	1	1
3	0	0	0	22	0	3	11	6	32	11	4
4	10	3	1	23	24	20	13	25	1	24	7
5	16	11	2	11	24	2	0	0	0	0	26
6	10	12	0	1	6	0	8	0	14	2	10
7	14	8	16	1	0	15	28	20	13	26	1
8	8	19	22	1	9	16	1	12	2	0	21
9	0	19	24	27	7	0	5	0	0	0	8
10	4	17	11	17	27	4	24	14	23	25	0
11	14	2	20	2	4	17	1	17	18	27	25
12	26	2	24	0	0	26	3	11	0	0	18
13	11	5	17	12	7	0	17	0	4	12	0
14	16	4	12	26	25	3	12	20	28	25	8
15	20	23	0	16	26	26	1	27	10	0	26
16	1	23	2	0	2	15	14	1	0	1	1
17	4	26	0	0	1	0	20	0	15	28	0
18	13	17	5	1	8	11	0	26	28	2	25
19	20	6	13	25	21	26	10	14	1	0	12
20	12	9	17	27	26	6	27	1	0	22	2
21	15	1	9	8	2	0	2	10	29	23	16
22	3	0	21	0	0	16	0	25	4	1	28
23	0	8	26	10	6	9	30	2	0	7	0
24	4	14	25	26	27	2	9	0	16	25	5
25	17	16	15	8	26	0	0	12	11	0	26

**Tabla 6.26.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Roqueta, de oeste a este.  
Fuente: Propia.

No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Playa Roqueta Oeste										
	Tiempo de verde= 25 seg	Tiempo de verde= 23 seg	Tiempo de verde= 21 seg	Tiempo de verde= 20 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 20 seg				
Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular
1	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0
2	10	11	10	4	13	11	10	10	10	11	10
3	5	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4
4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4
5	5	5	5	5	6	6	5	6	4	6	5
6	4	5	5	5	5	5	4	5	4	5	6
7	5	4	5	4	5	5	5	5	4	5	5
8	4	4	4	4	5	4	4	4	5	5	5
9	4	4	4	4	5	4	4	4	5	5	5
10	6	4	4	6	6	4	5	4	4	6	5
11	5	6	5	5	4	5	5	5	4	5	6
12	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	7
13	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4	5
14	4	5	6	4	4	5	4	5	4	3	5
15	4	4	4	5	4	4	5	6	6	4	3
16	4	4	4	4	4	5	5	4	5	4	6
17	5	5	4	5	4	4	4	4	5	4	5
18	5	6	4	4	2	5	4	3	4	4	4
19	4	5	5	4	5	4	4	4	3	5	4
20	4	6	5	4	5	4	4	4	4	5	5
21	5	5	5	5	4	4	5	4	4	4	4
22	5	4	4	9	5	6	4	6	8	5	7
23	5	8	9	5	8	9	4	9	5	7	4
24	7	5	7	6	4	5	7	5	5	5	4
25	5	8	5	4	5	5	4	6	4	5	4

- Intersección Pie de la Cuesta - Playa Mocambo

Las tablas 6.27, 6.28 y 6.29 muestran los resultados de medición de colas vehiculares en esta intersección. En la tabla 6.27 se puede observar que el tiempo medido registra menores colas vehiculares a algunas propuestas en cuestión de cantidad de vehículos. También se muestra que aun proponiendo el mismo tiempo de verde en la misma intersección (columna de medido, propuesta 1 y propuesta 2) puede cambiar la cantidad de vehículos en espera dependiendo de cuando se mueve la duración del ciclo semafórico en las intersecciones anteriores o siguientes a esta.

**Tabla 6.27.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Mocambo, de norte a sur.  
Fuente: Propia.

No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Playa Mocambo Norte	Playa Mocambo Norte	Playa Mocambo Norte	Playa Mocambo Norte	Playa Mocambo Norte	Playa Mocambo Norte	Playa Mocambo Norte	Playa Mocambo Norte	Playa Mocambo Norte	Playa Mocambo Norte	Playa Mocambo Norte
	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 42seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 35 seg	Tiempo de verde= 34 seg	Tiempo de verde= 34 seg
Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	14	15	4	11	11	11	12	4	15	12	12
3	7	16	10	8	10	6	7	11	9	10	13
4	6	15	8	11	11	6	10	13	8	13	12
5	2	17	5	12	10	7	10	11	9	12	12
6	2	16	5	12	12	8	9	11	5	12	14
7	2	16	4	14	15	8	11	10	4	11	14
8	2	19	3	11	11	6	10	8	3	13	13
9	3	18	2	12	12	5	11	7	1	13	13
10	3	19	2	9	11	8	10	6	1	11	10
11	4	13	2	9	9	9	10	7	2	11	12
12	4	17	1	8	10	7	13	6	2	10	10
13	4	14	1	8	10	7	12	4	2	9	9
14	7	12	3	4	10	7	15	4	3	5	11
15	8	11	2	10	7	8	11	1	4	11	9
16	8	16	2	6	6	8	12	2	3	8	6
17	6	21	2	6	6	6	10	2	4	4	4
18	6	21	3	6	7	8	12	4	2	4	4
19	8	19	2	6	3	8	9	6	4	3	4
20	9	24	4	6	7	7	9	7	5	3	4
21	7	32	4	5	7	9	7	11	5	3	4
22	8	35	2	5	4	6	9	12	5	2	3
23	9	37	4	4	5	10	8	11	4	2	3
24	10	38	5	4	4	5	10	13	6	1	2
25	13	39	2	4	3	6	10	12	5	3	2

**Tabla 6.28.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Mocambo, de sur a norte.  
Fuente: Propia.

No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Playa Mocambo Sur										
	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 42 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 35 seg	Tiempo de verde= 34 seg	Tiempo de verde= 34 seg
Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular	Cola vehicular
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	3	2	1	1	0	1	0	1	1	0
3	13	7	15	5	4	2	3	4	4	5	8
4	3	17	4	3	3	3	3	3	0	3	3
5	5	2	2	4	3	2	1	1	24	1	5
6	4	7	3	5	3	10	18	22	4	4	6
7	16	3	12	23	24	22	1	3	0	0	2
8	2	2	2	2	5	3	2	1	1	17	10
9	1	1	3	0	3	3	1	5	3	3	13
10	5	18	3	11	6	1	23	13	1	3	3
11	11	20	1	2	6	24	3	2	19	19	6
12	2	11	21	2	4	2	3	4	3	9	21
13	5	3	11	0	2	0	0	0	3	2	2
14	10	2	3	2	5	4	22	5	0	0	9
15	13	2	1	10	28	17	3	1	4	5	3
16	13	11	13	24	2	5	0	2	3	1	3
17	2	6	23	4	3	2	4	14	19	20	0
18	2	18	9	2	0	21	17	3	3	3	25
19	0	2	2	12	19	3	2	9	19	8	3
20	6	3	1	12	11	5	1	18	5	9	7
21	16	4	21	3	2	1	5	5	0	2	4
22	3	7	3	1	5	10	9	1	15	1	4
23	1	7	3	10	2	6	2	19	10	22	0
24	19	22	1	5	8	3	12	2	2	3	20
25	4	5	4	3	3	1	10	2	4	1	2

**Tabla 6.29.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Mocambo, de oeste a este.  
Fuente: Propia.

➔	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Playa Roqueta Oeste										
	Tiempo de verde= 25 seg	Tiempo de verde= 22 seg	Tiempo de verde= 21 seg	Tiempo de verde= 20 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 16 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 17 seg
No. de Ciclo	Cola vehicular										
1	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
2	7	7	7	1	7	7	6	7	7	4	7
3	2	1	1	0	2	2	1	1	1	1	0
4	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
5	1	1	2	0	2	1	1	1	0	1	1
6	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
7	1	1	0	2	0	0	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	2	1	1	1	0	1
9	1	1	0	1	0	1	1	1	2	1	2
10	1	1	0	2	0	1	1	1	0	0	1
11	1	1	2	1	2	1	1	1	0	1	0
12	3	1	0	1	0	1	2	2	2	1	2
13	0	2	1	1	1	1	0	0	1	1	0
14	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1
15	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1
16	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1
17	1	0	2	1	2	1	2	2	0	1	1
18	1	0	1	2	1	1	1	1	1	2	0
19	2	2	1	0	1	0	1	1	2	1	1
20	2	1	3	0	3	0	0	1	1	1	0
21	1	0	1	2	1	2	0	0	1	0	1
22	1	1	1	0	1	0	2	2	1	0	3
23	1	0	1	0	1	1	0	0	2	0	1
24	2	0	1	2	1	2	1	1	0	0	1
25	1	0	1	1	1	1	2	1	0	1	1

- Intersección Pie de la Cuesta - Playa Rincón

Las tablas 6.30, 6.31 y 6.32 muestran los resultados de medición de las colas vehiculares en esta intersección. Se puede observar que la propuesta de tiempos diferentes no afecta significativamente la cantidad de vehículos en espera para esta intersección. También se observa que permitir el paso de una gran cantidad de vehículos, es decir, un tiempo largo de verde no siempre es lo correcto ya que estos podrían acumularse en la siguiente intersección y hacer colas vehiculares más largas.

**Tabla 6.30.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Rincón, de norte a sur. Fuente: Propia.

No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Playa Rincon Norte										
	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 42 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 36 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 34 seg	Tiempo de verde= 34 seg
Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	7	10	8	7	4	4	6	6	6	6	7
3	6	7	9	6	6	6	5	6	6	7	7
4	6	9	8	5	6	6	5	5	3	6	7
5	6	10	7	6	5	5	5	5	4	5	6
6	6	8	8	6	5	6	6	5	5	4	5
7	6	7	8	6	5	4	5	5	5	5	5
8	6	9	7	5	5	5	6	6	6	6	7
9	6	9	7	5	4	5	5	6	6	5	5
10	6	8	7	3	6	5	5	6	6	5	7
11	6	7	7	5	6	4	4	6	6	5	7
12	6	8	6	5	5	4	5	5	5	5	5
13	7	11	8	5	5	5	5	5	6	5	6
14	7	11	7	5	5	6	7	5	8	6	6
15	7	8	8	4	5	6	5	6	6	8	4
16	7	8	8	5	5	5	5	5	7	6	5
17	6	9	6	6	6	5	5	5	5	8	5
18	6	8	8	5	5	5	5	5	5	6	5
19	7	7	8	5	5	4	4	7	5	5	6
20	6	8	8	5	5	5	5	5	6	5	6
21	6	9	7	5	6	5	4	5	4	5	6
22	6	10	7	5	5	4	6	6	7	5	6
23	6	15	7	6	5	4	5	6	6	4	6
24	6	32	8	5	5	5	6	5	4	5	7
25	7	32	8	4	6	5	6	7	6	4	7

**Tabla 6.31.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Rincón, de sur a norte. Fuente: Propia.

No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Playa Rincon Sur										
	Tiempo de verde= 37 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 42 seg	Tiempo de verde= 40 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 36 seg	Tiempo de verde= 38 seg	Tiempo de verde= 34 seg	Tiempo de verde= 34 seg
Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)	Cola vehicular (veh)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	6	8	8	14	11	11	8	7	2	1	6
5	12	18	13	0	0	0	11	6	5	3	0
6	9	10	5	0	1	12	0	0	13	1	5
7	0	11	2	5	2	1	16	17	19	20	6
8	0	7	0	18	24	15	10	0	0	0	0
9	0	0	0	15	23	4	3	0	0	17	9
10	8	1	6	0	0	8	0	1	3	2	11
11	0	16	22	11	6	0	18	0	1	0	0
12	0	16	4	4	9	14	13	0	2	6	6
13	8	15	4	0	6	3	1	5	13	1	2
14	2	11	0	0	0	4	0	0	0	0	0
15	0	0	6	2	4	0	17	0	3	0	2
16	0	2	11	2	6	7	12	0	13	0	0
17	0	2	0	0	0	22	2	14	0	0	0
18	6	0	3	0	0	0	4	0	4	6	2
19	6	0	5	0	0	9	14	10	4	0	2
20	0	0	1	0	2	0	1	1	0	6	4
21	0	0	1	0	0	18	1	2	0	4	8
22	14	8	0	0	0	15	11	13	6	0	3
23	5	7	0	8	10	1	7	20	0	12	13
24	2	0	10	0	0	10	0	0	7	0	6
25	1	0	3	0	0	5	7	13	0	10	10

**Tabla 6.32.** Resultados de colas vehiculares en Av. Pie de la Cuesta – Playa Rincón, de oeste a este. Fuente: Propia.

 No. de Ciclo	Medidos	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
	Playa Roqueta										
	Tiempo de verde= 25 seg	Tiempo de verde= 22 seg	Tiempo de verde= 20 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 17 seg	Tiempo de verde= 15 seg	Tiempo de verde= 16 seg	Tiempo de verde= 15 seg			
Cola vehicular (veh)	Cola vehicular										
1	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6
2	3	2	2	3	4	4	1	1	1	2	2
3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0
4	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2
5	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2
6	2	2	3	2	2	2	1	1	1	1	1
7	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2
8	1	2	3	1	1	1	2	2	2	2	2
9	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1
10	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	0
11	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2
12	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2
13	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1
14	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1
15	2	3	2	2	2	2	1	2	1	2	2
16	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2
17	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	0
18	1	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2
19	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2
20	2	1	2	2	2	2	2	1	2	0	1
21	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	1
22	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2
23	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1
24	1	4	1	2	1	1	2	0	2	2	1
25	2	5	2	1	2	2	0	1	2	1	2

Para la intersección de Pie de la Cuesta - Av. Tlaloc no hay resultados, debido a que como en la intersección con Bernardo Quintana ahí es donde comienza el tráfico, además de un error en el mapa en el que no permite colocar un semáforo en la dirección sur-norte que no se pudo resolver y se desconoce la causa de este.

### 6.7. Tiempos de recorrido

Además de medir las colas vehiculares se midieron los tiempos de recorrido, esto con el fin de dar una mejor perspectiva del recorrido de los vehículos dentro del corredor vial.

Las tablas 6.33 y 6.34 muestran los tiempos y el promedio en minutos de 10 vehículos medidos en cada propuesta, estos vehículos son los mismos, para observar si se reducen los tiempos de recorrido propuesta a propuesta o no.

La tabla 6.33 muestra el recorrido de norte a sur, es decir partiendo desde Av. Tlaloc hasta el Blvr. Bernardo Quintana. La columna denominada “Medido” es el tiempo de recorrido con los tiempos de semáforos medidos en campo. Las propuestas 6 y 10 son las mejores, con una reducción del tiempo de recorrido menor a las demás, además, de una reducción de un promedio 2 minutos y medio en comparación a los tiempos actuales.

**Tabla 6.33.** Resultados de medición de tiempos de recorrido en Av. Pie de la Cuesta, de norte a sur. Fuente: Propia.

Tiempos de Recorrido (min)											
No, Auto	Medido	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
Auto 17.67	05:06	04:31	07:10	05:13	03:38	04:06	04:11	00:55	03:51	03:53	04:02
Auto 17.134	05:42	06:14	07:16	04:13	04:41	03:02	03:02	03:43	04:31	03:41	03:11
Auto 17.178	06:05	04:44	09:22	05:51	03:51	05:12	03:43	03:54	05:06	04:03	03:48
Auto 17.267	04:54	07:54	10:44	05:24	05:15	04:28	03:07	04:25	04:32	04:26	04:39
Auto 17.387	07:15	11:40	14:44	06:08	04:22	04:25	04:13	04:38	04:37	05:03	04:28
Auto 17.445	07:21	13:51	11:35	05:40	03:50	05:24	05:19	03:55	05:10	05:36	05:06
Auto 17.532	05:58	09:02	14:16	08:03	04:45	05:22	05:13	05:12	05:23	04:57	04:45
Auto 17.599	08:51	11:00	11:04	07:12	05:36	04:27	04:18	04:15	05:54	04:09	04:17
Auto 17.655	09:53	18:29	14:17	09:48	04:12	05:42	05:21	05:39	05:25	05:44	04:12
Auto 17.714	07:21	18:11	13:53	09:29	05:08	05:20	05:16	05:40	03:34	05:07	05:06
Promedio	06:50.6	10:34.1	11:24.3	06:43.1	04:31.8	04:44.8	04:22.3	04:41.2	04:51.3	04:40	04:21.4



Y para la dirección sur a norte el tiempo de recorrido se reduce muy poco, tomando en cuenta que el flujo en esta dirección es casi la mitad que, en el otro sentido, siendo la propuesta 10 la mejor.

**Tabla 6.34.** Resultados de medición de tiempos de recorrido en Av. Pie de la Cuesta, de sur a norte. Fuente: Propia.

Tiempos de Recorrido (min)											
No. Auto	Medido	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9	Propuesta 10
Auto 1.62	02:31	02:47	03:14	02:20	02:42	04:18	04:11	04:10	03:51	03:49	04:03
Auto 1.113	03:37	04:45	04:22	03:28	03:33	04:25	04:07	04:11	03:33	03:48	04:13
Auto 1.162	03:01	02:39	03:52	02:56	03:52	05:01	04:43	04:48	03:05	03:04	03:47
Auto 1.199	04:12	02:21	04:24	03:51	03:54	03:11	03:17	04:11	04:11	03:21	03:35
Auto 1.243	02:04	04:22	03:03	02:18	03:15	04:06	03:43	03:44	03:47	03:46	03:27
Auto 1.313	04:10	03:03	04:34	04:14	03:09	03:12	03:16	03:10	03:13	03:13	02:57
Auto 1.351	04:39	04:45	04:20	04:39	02:57	03:42	03:39	03:38	03:32	03:37	03:33
Auto 1.418	03:08	02:31	03:33	02:31	04:04	03:36	03:24	03:25	03:17	03:42	02:27
Auto 1.571	03:34	03:04	04:50	03:44	02:46	04:16	03:20	03:53	04:04	03:13	02:21
Auto 1.622	03:27	04:17	03:47	03:15	03:44	03:45	03:46	03:47	03:49	03:39	02:57
Promedio	03:26.4	03:37.4	03:59.9	03:19.3	03:23.6	03:57.2	03:44.6	03:53.3	03:38.4	03:31	03:20.0



## VII. Conclusiones

Las estimaciones en los tres modelos parecen estar influenciadas por la cantidad de conteos o datos históricos, ya que cuando los conteos son bajos, los modelos no son capaces de tener un buen rendimiento en las predicciones, ninguno de los tres métodos fue capaz de arrojar resultados aceptables para el periodo de una hora con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) menores a 0.75 y yendo a valores menores de 0.01 en algunos casos.

Cuando hay algún vacío pequeño en donde no se tiene información, el Método Autorregresivo y El Filtro de Kalman, son capaces de estimar esa información faltante y las Redes Neuronales (RNN) tienden a marcar error.

Los resultados sugieren que para estimaciones a corto plazo se utilicen redes neuronales del tipo *Long Short-Term Memory (LSTM)* debido a que este método es el más avanzado, completo y más estudiado en comparación a los otros, según lo revisado en la bibliografía.

En los resultados se pudo apreciar que el rendimiento de los modelos autorregresivos es mejor al hacer predicciones a largo plazo, su funcionamiento es mejor cuando más datos históricos o antecedentes se tiene, teniendo resultados en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) menores a 0.1 y 0.4 para predicciones de 1 hora y 1 día respectivamente y mayores a 0.85 en predicciones para 1 mes.

El Filtro de Kalman mantiene un buen rendimiento en cada uno de los entrenamientos, siendo el único método capaz de hacer una predicción aceptable, con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) que oscilan el 0.95 en casi todas las intersecciones para periodos de predicción de 1 día, 1 semana y 1 mes.

Ninguno de los tres modelos es capaz de hacer una buena predicción cuando se

tienen demasiados ceros en los antecedentes históricos (aforos vehiculares), muestra de esto, son los resultados obtenidos en las estimaciones de camiones y buses teniendo Errores Porcentuales Absolutos Medios (MAPES) mayores a  $5.1E+16$ .

Los modelos se pueden aplicar en otras intersecciones, ya sea de la zona de estudio o cualquier otro lugar, de buena manera, por lo que se concluye que son buenos métodos de predicción de tráfico vehicular.

No necesariamente el que se disminuyan las colas vehiculares en alguna intersección significa que disminuyan los tiempos de viaje. Es decir, se aumentó la cantidad de vehículos en algunos ciclos para algunas intersecciones después de la optimización, pero esos vehículos están 2 o 3 intersecciones por delante que antes de la misma.

El ciclo semafórico de una intersección puede llegar a afectar la cantidad de vehículos en espera en las intersecciones consecuentes.

El tiempo optimo local para una intersección, puede no contribuir al optimo global de todo el corredor, para reducir el tiempo de recorrido, es decir en una sola intersección se pueden llegar a reducir las colas vehiculares con un tiempo de ciclo semafórico dado, pero con este mismo tiempo se aumenta las colas vehiculares en todas las demás intersecciones, siendo solo para una intersección la mejor opción.

Se cumple un parte de la hipótesis en la que indica que se disminuyen los tiempos de viaje hasta en un 25%, reduciéndolo en algunos recorridos hasta un 36%. Pero, la otra parte de la hipótesis en la que se reducen las colas vehiculares hasta un 5% no fue así, ya que, si se reduce en algunos casos, pero solo hasta en un 3%, pero cabe mencionar que mientras un vehículo está en espera y medido en alguna cola vehicular de alguna intersección, el mismo vehículo puede estar en espera y siendo

medido, pero dos o tres intersecciones adelante o ya haber salido del corredor después de la optimización.

Estos métodos podrían aplicarse potencialmente a otras intersecciones, ya sea dentro del área de estudio o en otros lugares, demostrando que son efectivos.

## VIII. Discusión

En el presente trabajo se comprobó que, para una buena optimización semafórica, la coordinación entre todos los semáforos del sistema resulta más importante que la duración individual de cada uno. Este hallazgo coincide con las afirmaciones de Aldape Cantú en su obra "Los semáforos y el control dinámico del tránsito", donde se destaca que una sincronización adecuada permite un flujo vehicular más continuo y eficiente.

Montiel Rodríguez, en su investigación realizada en el municipio de Santiago de Querétaro, Querétaro, México, logró reducir los tiempos de recorrido hasta un 36% utilizando el método de vehículo flotante. Además, aplicando dicho método en un corredor vial del mismo municipio, se obtuvo una disminución del 36.34% en los tiempos de viaje, lo que refuerza la importancia de estrategias integrales en la optimización semafórica.

Gsziś y Knapp, en su aplicación del Filtro de Kalman para predecir tráfico, utilizaron solo dos días de antecedentes históricos para pronosticar el tráfico del día siguiente. En contraste, esta investigación empleó un enfoque más amplio al utilizar hasta un mes de antecedentes para predecir el tráfico de un mes completo, lo que representa una mejora significativa en la precisión y aplicabilidad del método.

La duración de los semáforos, si bien es un factor relevante, no es determinante si no se encuentra acompañada de una estrategia integral de coordinación. Por ejemplo, al implementar ciclos ajustados a las necesidades específicas del tráfico, pero descoordinados con las intersecciones vecinas, se generan atascos innecesarios y se incrementa el tiempo total de viaje de los usuarios.

En cambio, un sistema semafórico coordinado permite reducir los tiempos de espera y las emisiones contaminantes al minimizar los periodos de detención de los vehículos. Este principio fue observado en las simulaciones realizadas durante el

estudio, donde los escenarios con una alta sincronización mostraron mejoras significativas en la fluidez del tráfico en comparación con aquellos donde solo se modificó la duración de los semáforos de manera aislada.

## IX. Bibliografía

Abanto Torres, E. F., & Espinoza Lázaro, K. J. (2023). Propuesta de optimización semafórica para mejorar los niveles de servicios mediante la microsimulación con el software PTV Vissim en la intersección de las Av. Panamericana Norte Km 32 y Av. San Juan en el distrito de Puente Piedra, departamento de Lima. <http://hdl.handle.net/10757/669981>.

AbuShawish, I., Ghunaim, S., Nassif, A., & Azzeh, M. (2020). Metaheuristic techniques in optimizing traffic control lights: a systematic review. *International Journal of Systems Applications Engineering & Development*, 14, 183-188. <https://doi.org/10.46300/91015.2020.14.24>.

Alam, I.; Farid, DM; Rossetti, RJF La Predicción del Flujo de Tráfico con Análisis de Regresión. en *Tecnologías Emergentes en Minería de Datos y Seguridad de la Información*; Abrahán, A.; Dutta, P.; Mandal, JK; Bhattacharya, A.; Dutta, S., Eds.; Springer: Singapur, 2019; págs. 661–671.

Aldape Cantú, R. (1976). *Los Semáforos y el control dinámico del tránsito*. México: Representaciones y Servicios de Ingeniería.

Al-qutwani, M., & Wang, X. (2019). Smart traffic lights over vehicular named data networking. *Information (Switzerland)*, 10(3).

Aslani, M., Mesgari, M. S., & Wiering, M. (2017). Adaptive traffic signal control with actor-critic methods in a real-world traffic network with different traffic disruption events. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 85, 732-752. doi: 10.1016/j.trc.2017.09.020.

Brent, D. & Beland, L. (2020). Traffic congestion, transportation policies, and the performance of first responders. *Journal of Environmental Economics and Management*, 103, 102339. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102339>.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.

Caminos, A. (2010). Simulación de semáforos y su aplicación a la circulación de vehículos en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA). In 7º Jornada de Informática Industrial (JII 2010)-JAIIO 39 (UADE, 30 de agosto al 3 de septiembre de 2010).

Casas, N. (2017). Deep deterministic policy gradient for urban traffic light control. arXiv preprint arXiv:1703.09035.

Castro-Neto, M., Jeong, Y.-S., Jeong, M.-K., & Han, L. D. (2009). Online-SVR for short-term traffic flow prediction under typical and atypical traffic conditions. *Expert Systems with Applications*, 36(3, Part 2), 6164-6173. ISSN 0957-4174. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.07.069>.

C. Blum & A. Roli, "Metaheurísticas en optimización combinatoria: descripción general y comparación conceptual", *ACM Comput. Encuestas*, vol. 35, núm. 3, págs. 268–308, 2003.

C. M. Affonso & R. V. da Silva, "Demand side management of a residential system using Simulated Annealing," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 13, no. 5, pp. 1355–1360, May 2015.

Chen, Y., Yang, B., Meng, Q., Zhao, Y., & Abraham, A. (2011). Time-series forecasting using a system of ordinary differential equations. *Information Sciences*, 181(1), 106-114. ISSN 0020-0255. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.09.006>.

Chrobok, R., Kaumann, O., Wahle, J., & Schreckenberg, M. (2004). Different methods of traffic forecast based on real data. *European Journal of Operational Research*, 155(3), 558-568. ISSN 0377-2217. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.08.005>.

Coello, C. A. C., San, C., & México, P. Z. (2007). *Introducción a la Computación Evolutiva (Notas de Curso)*.

Conference on Computer Science and Information Technology (Vol. 198, pp. 548-553). Elsevier. doi: 10.1016/j.procs.2021.12.284.

Damay, N. (2015). Multiple-objective optimization of traffic lights using a genetic algorithm and a microscopic traffic simulator. Thesis. KTH Royal Institute of Technology, School of Computer Science and Communication (CSC), Stocolmo, Suiza.

Diario de Querétaro. (2023). <https://www.diariodequeretaro.com.mx/local/cambios-en-paseo-5-de-febrero-en-fin-de-ano-9760087.html>. Consultado el 28 de septiembre de 2023.

Dimitriou, L., Tsekeris, T., & Stathopoulos, A. (2008). Adaptive hybrid fuzzy rule-based system approach for modeling and predicting urban traffic flow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 16(5), 554-573. ISSN 0968-090X. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2007.11.003>.

Dimon, C., Teme, M., & Popescu, D. (2022). Optimization of road traffic using intelligent traffic light systems. *International Journal of Computers Communications & Control*, 17(4). <https://doi.org/10.15837/ijccc.2022.4.4866>

Droj, G., Laurentiu, D., & Badea, A. (2021). Gis-based survey over the public transport strategy: an instrument for economic and sustainable urban traffic planning. *Isprs International Journal of Geo-Information*, 11(1), 16. <https://doi.org/10.3390/ijgi11010016>

Du, W., Zhang, Q., Chen, Y., & Ye, Z. (2021). An urban short-term traffic flow prediction model based on wavelet neural network with improved whale optimization algorithm. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102858. ISSN 2210-6707. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102858>.

Galvan-Correa, R., Olguin-Carbajal, M., Herrera-Lozada, J. C., Sandoval-Gutierrez, J., Serrano-Talamantes, J. F., Cadena-Martinez, R., & Aquino-Ruiz, C. (2020). Micro artificial immune system for traffic light control. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(21), 1–13.

Gao, K., Zhang, Y., Sadollah, A., Lentzakis, A., Su, R., & Jaya, (2017). Harmony search and water cycle algorithms for solving large-scale real-life urban traffic light scheduling problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 37, 58-72. doi: 10.1016/j.swevo.2017.05.002.

García-Nieto, J., Olivera, A., & Alba, E. (2013). Optimal cycle program of traffic lights with particle swarm optimization. *Ieee Transactions on Evolutionary Computation*, 17(6), 823-839. <https://doi.org/10.1109/tevc.2013.2260755>

García-Nieto, J., Alba, E., Olivera, A. C. (2012). Swarm intelligence for traffic light scheduling: Application to real urban areas. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(2), 274-283. doi: 10.1016/j.engappai.2011.10.005.

Genders, W., & Razavi, S. (2018). Evaluating reinforcement learning state representations for adaptive traffic signal control. *Procedia Computer Science*, 130, 26-33. doi: 10.1016/j.procs.2018.04.008.

Grandinetti, P., Canudas-De-Wit, C., & Garin, F. (2019). Distributed Optimal Traffic Lights Design for Large-Scale Urban Networks. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 27(3), 950–963.

Góra, P. (2011). A genetic algorithm approach to optimization of vehicular traffic in cities by means of configuring traffic lights. *Emerging Intelligent Technologies in Industry*, 1-10. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-22732-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-22732-5_1)

Hao, S., Yang, L., Ding, L., & Guo, Y. (2019). Distributed Cooperative Backpressure-Based Traffic Light Control Method. *Journal of Advanced Transportation*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7481489>.

Hong, W.-C. (2011). Traffic flow forecasting by seasonal SVR with chaotic simulated annealing algorithm. *Neurocomputing*, 74(12-13), 2096-2107. ISSN 0925-2312. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2010.12.032>.

Hong, W.-C., Dong, Y., Zheng, F., & Lai, C.-Y. (2011a). Forecasting urban traffic flow by SVR with continuous ACO. *Applied Mathematical Modelling*, 35(3), 1282-1291. ISSN 0307-904X. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.09.005>.

Hong, W.-C., Dong, Y., Zheng, F., & Wei, S. Y. (2011b). Hybrid evolutionary algorithms in a SVR traffic flow forecasting model. *Applied Mathematics and Computation*, 217(15), 6733-6747. ISSN 0096-3003. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2011.01.073>.

Hurtado-Gómez, J., Romo, J. D., Salazar-Cabrera, R., de la Cruz, Á. P., & Molina, J. M. M. (2021). Traffic signal control system based on intelligent transportation system and reinforcement learning. *Electronics* (Switzerland), 10(19). <https://doi.org/10.3390/electronics10192363>.

H. Ayuntamiento de Querétaro, “Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024”, págs. 20-32, 2022.

H. Ceylan, M. Bell, Optimización de tiempo de señales de tráfico basada en genética enfoque de algoritmo, incluido

Ištoka Otković, I.; Tollazzi, T.; Šraml, M.; Varevac, D. Calibration of the Microsimulation Traffic Model Using Different Neural Network Applications. *Future Transp.* 2023, 3, 150–168. <https://doi.org/10.3390/futuretransp3010010>

Ji, Y., Hu, B., Hill, G., Guo, W., Blythe, P. & Gao, L. (2016), Signal coordination scheme based on traffic emission. *IET Intell. Transp. Syst.*, 10: 89-96. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2014.0255>

Jin, J., Ma, X., & Kosonen, I. (2017). A stochastic optimization framework for road traffic controls based on evolutionary algorithms and traffic simulation. *Advances in Engineering Software*, 114, 348-360. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.08.005>

IEEE Computational Intelligence Society, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.). *Proceedings of the 2014 International Joint Conference on Neural Networks: July 6-11, 2014, Beijing, China.*

Jinchen, J., Ma, X., Kosonen, I. (2017). An intelligent control system for traffic lights with simulation-based evaluation. *Control Engineering Practice*, 58, 24-33. doi: 10.1016/j.conengprac.2016.09.009.

Joo, H., Ahmed, S. H., Lim, Y. (2020). Traffic signal control for smart cities using reinforcement learning. *Computer Communications*, 154, 324-330. doi: 10.1016/j.comcom.2020.03.005

Rasheed, F., Yau, K. A., Low, Y. C. (2020). Deep reinforcement learning for traffic signal control under disturbances: A case study on Sunway city, Malaysia. *Future Generation Computer Systems*, 109, 431-445. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.03.065>.

Jovanović, M. Nikolić, & D. Teodorović, "Area-wide urban traffic control: A bee colony optimization approach," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 77, 2017.

Kamarianakis, Y., Gao, H. O., & Prastacos, P. (2010). Characterizing regimes in daily cycles of urban traffic using smooth-transition regressions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(5), 821-840. ISSN 0968-090X. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2009.11.001>.

Kavita, J. (2016). Web page: "Visualizations of RNN units". Página consultada el 28 de septiembre de 2023. <https://kvitajakub.github.io/2016/04/14/rnn-diagrams/>.

Latin, I., & Transactions, A. (2019). Management of Urban Traffic Flow Based on Traffic Lights Scheduling Optimization (Vol. 17, Issue 1).

Liang, X., Du, X., Wang, G., & Han, Z. (2019). A Deep Reinforcement Learning Network for Traffic Light Cycle Control. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(2), 1243-1253. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2890726>.

- Liu, J., Li, J., Zhang, L., Dai, F., Zhang, Y., Meng, X., & Shen, J. (2018). Secure intelligent traffic light control using fog computing. *Future Generation Computer Systems*, 78(2), 817-824. doi: 10.1016/j.future.2017.02.017.
- Lu, S., Zhang, Q., Chen, G., & Seng, D. (2021). A combined method for short-term traffic flow prediction based on recurrent neural network. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 87-94. ISSN 1110-0168. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.06.008>.
- Mariano de Souza & L. Aparecido Villas, "A new solution based on inter-vehicle communication to reduce traffic jam in highway environment," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 13, no. 3, pp. 721–726, March 2013.
- Martin del Brio, B., & Sanz Molina, A. (2017). *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos (3ª ed.)*. Editorial Alfa Omega Ra-Ma.
- Mauricio, J. A. (2007). *Análisis de series temporales*. Universidad Complutense de Madrid.
- Min, W., & Wynter, L. (2011). Real-time road traffic prediction with spatio-temporal correlations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(4), 606-616. ISSN 0968-090X. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.10.002>.
- Mohanty, A., Mahapatra, S., & Bhanja, U. (2019). Traffic congestion detection in a city using clustering techniques in vanets. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 13(3), 884. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v13.i3.pp884-891>
- Mousavi, S.S., Schukat, M. and Howley, E. (2017), Traffic light control using deep policy-gradient and value-function-based reinforcement learning. *IET Intell. Transp. Syst.*, 11: 417-423. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0153>
- Nakamura, S., Uemura, T., Koutaki, G., & Uchimura, K. (2018). Speeding up of the traffic congestion mitigation by stochastic optimization in deep learning. *Nonlinear Theory and Its Applications Ieice*, 9(1), 49-59. <https://doi.org/10.1587/nolta.9.49>
- Navarro-Espinoza, A., López-Bonilla, O. R., García-Guerrero, E. E., Tlelo-Cuautle, E., López-Mancilla, D., Hernández-Mejía, C., & Inzunza-González, E. (2022). Traffic Flow Prediction for Smart Traffic Lights Using Machine Learning Algorithms. *Technologies*, 10(1), 5.
- N. Damay, "Multiple-objective optimization of traffic lights using a genetic algorithm and a microscopic traffic simulator," Master's thesis, KTH, School of Computer Science and Communication, 2015.
- Olaverri-Monreal, C., Errea-Moreno, J., & Díaz-Álvarez, A. (2018). Implementation and evaluation of a traffic light assistance system based on V2I communication in a simulation framework. *Journal of Advanced Transportation*, 2018, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2018/3785957>.

Otero Otero, J. M. (2023). Optimización de la movilidad a partir del manejo de datos de flujo de tráfico. <http://hdl.handle.net/10366/158436>.

Pan, X., Zhou, W., Lu, Y., & Sun, N. (2019). Prediction of Network Traffic of Smart Cities Based on DE-BP Neural Network. *IEEE Access*, PP, 1-1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2913017>.

Pang, H., & Gao, W. (2019). Deep Deterministic Policy Gradient for Traffic Signal Control of Single Intersection. 2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC), Nanchang, China. 5861-5866. doi: 10.1109/CCDC.2019.8832406.

Ramirez-Polo, L., Jimenez-Barros, M. A., Varela Narváez, V., Parodi Daza, C. (2022). Simulation and Optimization of Traffic Lights for Vehicles Flow in High Traffic Areas. In *Proceedings of the International*.

Ranjan, N., Bhandari, S., Hong, Z., Kim, H., & Khan, P. (2020). City-wide traffic congestion prediction based on cnn, lstm and transpose cnn. *IEEE Access*, 8, 81606-81620. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2991462>

Rodríguez, S. L. M. (2021). Optimización de un sistema de semáforos mediante simulación empleando un vehículo flotante. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3443>.

Sabar, N. R., Kieu, L. M., Chung, E., Tsubota, T., & Maciel de Almeida, P. E. (2017). A memetic algorithm for real world multi-intersection traffic signal optimisation problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 63, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.04.021>.

Sathiyaraj, R. & Ayyasamy, B. (2020). Short-term traffic prediction model for urban transportation using structure pattern and regression: an indian context. *Sn Applied Sciences*, 2(7). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2946-2>

Sánchez, D. Melendi, X. G. Paneda, & R. Garcia, "Towards smart mobility in urban areas using vehicular communications and smartphones," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, no. 5, pp.1380–1387, May 2018.

Singh, L., Tripathi, S., & Arora, H. (2009). Time Optimization for Traffic Signal Control Using Genetic Algorithm. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 2.

Smida, K., Tounsi, H., & Frikha, M. (2021). Intelligent and resizable control plane for software defined vehicular network: a deep reinforcement learning approach. *Telecommunication Systems*, 79(1), 163-180. <https://doi.org/10.1007/s11235-021-00838-2>

Stoilova, K., Stoilov, T., & Dimitrov, S. (2021). Bi-level optimization model for urban traffic control. *Cybernetics and Information Technologies*, 21(3), 108-126. <https://doi.org/10.2478/cait-2021-0033>

TomTom. (2021). TomTom Traffic Index. Ranking 2021. Recuperado de <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/?country=MX>. Consultado en enero de 2023.

- Van Vliet, D., 1982. SATURN—a modern assignment model. *Traffic Eng. Control* 23, 578–581.
- Villagra, A., Alba, E., & Luque, G. (2020). A better understanding on traffic light scheduling: New cellular GAs and new in-depth analysis of solutions. *Journal of Computational Science*, 41.
- Viñals, M. P. (2009). *Series temporales* (Vol. 64). Univ. Politèc. de Catalunya.
- Vlahogianni, E. I., Karlaftis, M. G., & Golias, J. C. (2014). Short-term traffic forecasting: Where we are and where we're going. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 43(Part 1), 3-19. ISSN 0968-090X. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.01.005>.
- Wan, C.-H. & Hwang, M.-C. (2018), Value-based deep reinforcement learning for adaptive isolated intersection signal control. *IET Intell. Transp. Syst.*, 12: 1005-1010. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5170>.
- Wang, H., Liu, R., Wang, P., Liu, G., Wang, H., & Yan, L. (2021). Intelligent optimization of dynamic traffic light control via diverse optimization priorities. *International Journal of Intelligent Systems*, 36(11), 6748-6762. <https://doi.org/10.1002/int.22567>
- Wang, Y., Zheng, Y., & Xue, Y. (2014). Travel time estimation of a path using sparse trajectories. *Proceedings of the 20th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. <https://doi.org/10.1145/2623330.2623656>
- Wang, X., Ning, Z., Hu, X., Ngai, E., Wang, L., Hu, B., ... & Kwok, R. (2018). A city-wide real-time traffic management system: enabling crowdsensing in social internet of vehicles. *Ieee Communications Magazine*, 56(9), 19-25. <https://doi.org/10.1109/mcom.2018.1701065>
- Wong, C. & Heydecker, B. (2009). Adaptive traffic signal control using approximate dynamic programming. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(5), 456-474. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2009.04.005>
- Yañez-Pagans, P., Martínez, D., Mitnik, O., Scholl, L., & Vázquez, A. (2019). Urban transport systems in latin america and the caribbean: lessons and challenges. *Latin American Economic Review*, 28(1). <https://doi.org/10.1186/s40503-019-0079-z>
- Ye, J., Xue, S., & Jiang, A. (2022). Attention-based spatio-temporal graph convolutional network considering external factors for multi-step traffic flow prediction. *Digital Communications and Networks*, 8(3), 343-350. ISSN 2352-8648. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2021.09.007>.
- Yu-hui, G., Tang, Z., & Jie, G. (2020). Could a smart city ameliorate urban traffic congestion? a quasi-natural experiment based on a smart city pilot program in china. *Sustainability*, 12(6), 2291. <https://doi.org/10.3390/su12062291>.
- Yusefi, A., Altun, A., & Sungur, C. (2020). Görüntü işleme ve knn sınıflandırma algoritmasına dayalı akıllı trafik ışığı kontrol sisteminde veri madenciliği. *European Journal of Science and*

Technology. <https://doi.org/10.31590/ejosat.819762>

Zhang, Y. & Xin, D. (2020). Dynamic optimization long short-term memory model based on data preprocessing for short-term traffic flow prediction. *Ieee Access*, 8, 91510-91520. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2994655>

Zheng, Y., Wang, S., Dong, C., Li, W., Zheng, W., & Yu, J. (2022). Urban road traffic flow prediction: A graph convolutional network embedded with wavelet decomposition and attention mechanism. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 608(Part 1), 128274. ISSN 0378-4371. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.128274>.

Zhenyu Shan & Qianqian Zhu. (2015). Camera location for real-time traffic state estimation in urban road network using big GPS data. *Neurocomputing*, 169, 134-143. ISSN 0925-2312. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2014.11.093>.

## X. Anexos

### Anexo I. Código utilizado para la predicción de datos faltantes

```
library(hydroTSM); library(forecast);
library(lubridate); library(zoo); library(psych)
library(missForest); library(ggplot2); library(gganimate);
library(gifski); library(gapminder);
library(lattice); library(latticeExtra);
library(UsingR); library(car); library(foreign);
library(tseries); library(astsa); library(stats);
library(magrittr); library(palmerpenguins); library(mice)
library(xts); library(openxlsx)
library(jpeg); library(png)

img <- readJPEG(choose.files())

choose.files()
df <- read_excel("F:\\clustering\\df_Pie-Tlaloc.xlsx")
getwd()
setwd("F:/clustering")

idx <- as.Date(df$vehiculos)
date.matrix <- as.data.frame(df[,-1])
summary(df) #ver cada estación

##### Datos faltantes observación
str(date.matrix)
date.xts <- as.xts(date.matrix, order.by = idx)
date.xts
date.zoo <- as.zoo(date.xts)
date.zoo
summary(date.zoo)
Ymax <- max(date.zoo, na.rm=T)
Ymax
par ()
xyplot(date.zoo, main= "Cantidad de Vehiculos",
       col= c("red", "green", "blue", "orange1", "pink", "navy", "seagreen"))
library(VIM)

val_p <- aggr(date.matrix, col=c("mediumbblue", "yellow2"), numbers=T,
            labels=names(date.matrix), cex_axis=0.3,
            gap=2, ylab=c ("Datos faltantes", "Cantidad de Vehiculos"))
val_p
summary(val_p)
library(hydroTSM)
hydroplot(as.zoo(date.xts[,4]), na.rm=T, var.type= "Vehiculos",
         pfreq="ma", xlab="Vehiculos", ylab="Pp",
         col=c("blue", "orange2", "steelblue1"),
         main=names(date.xts[,4]))
```

```

#####Matriz de correlación
library(Hmisc)
library(psych)
pre1 <- df[,-1]
pre1 <- rcorr(as.matrix(pre1, ncol=7))
data1 <- pre1$r
corPlot(data1, cex=1.1, cex.axis=0.8, main="Pie-Tlaloc")

library(corrplot)
corrplot(data1,method="number", type=c("lower"), mar=c(1,1,1,1))

#####Completar datos
library(missForest)
imp <- missForest(date.matrix, maxiter = 15,
  verbose = TRUE, variablewise = FALSE,
  mtry = floor(sqrt(ncol(date.matrix))),
  replace = TRUE, parallelize = c("no","variables","forests"))
imp$OOBerror

imp <- missForest(date.matrix, maxiter = 15,
  verbose = TRUE, variablewise = FALSE,
  mtry = floor(sqrt(ncol(date.matrix))),
  replace = TRUE, parallelize = c("no","variables","forests"))
imp$OOBerror

sapply(date.matrix,class)
dfimp <- as.data.frame(imp$ximp)
View(dfimp)
gar.imp <- round(dfimp,2)
#####Graficar con los datos completados
data <- as.data.frame(gar.imp)
date.matrix.compl <- as.data.frame(gar.imp)
str(date.matrix.compl)
date.xts.compl <- as.xts(date.matrix.compl, order.by = idx)
date.xts.compl
date.zoo.compl <- as.zoo(date.xts.compl)
date.zoo.compl

summary(date.zoo.compl)
Ymax1 <- max(date.zoo.compl, na.rm = T)
Ymax1
xyplot(date.zoo.compl, main= "Predicción de Vehiculos",
  col= c("red","green", "blue", "orange1", "pink", "navy", "seagreen"))
library(hydroTSM)
hydroplot(as.zoo(date.xts.compl[,4]), na.rm=T, var.type= "vehiculos",
  pfreq="ma", xlab="Vehiculos", ylab="Pp",
  col=c("blue","orange2","steelblue1"),
  main=names(date.xts[,4]))
library(gclus)
###correlacion en terminos absolutos

```

```
library(PerformanceAnalytics)
chart.Correlation(data,histogram = TRUE,method = "pearson")
chart.Correlation(data,method = "pearson" )

write.xlsx(gar.imp,"Pie-Tlaloc.xlsx")
```

## Anexo II. Código utilizado para la predicción por el método autorregresivo

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error,
mean_absolute_percentage_error, r2_score

# Leer datos desde un archivo CSV
data = pd.read_csv('Cons-Tecnologico2.csv')

# Obtener el tamaño total de los datos
n_tot = len(data)
aforo = data.iloc[0:n_tot, 2].values
pasos_ant = 2880
inicio_rango_train = 0

aprox = np.zeros(n_tot)
aprox[0:pasos_ant] = aforo[0:pasos_ant]

Y = aforo[pasos_ant:n_tot]
X = np.zeros((n_tot-pasos_ant, pasos_ant+1))

for i in range(pasos_ant):
    X[:, i] = aforo[pasos_ant - i - 1:n_tot - i - 1]

X[:, -1] = 1
A = np.linalg.inv(X.T @ X) @ X.T @ Y
B = A[:, :-1]
C = B[-pasos_ant:]

for i in range(pasos_ant, n_tot):
    aprox[i] = np.dot(C[:pasos_ant], aprox[i-pasos_ant:i]) + A[pasos_ant]

graf_inicio = 0
graf_fin = 5760

plt.figure(figsize=(8, 6))
#plt.plot(range(graf_inicio, graf_fin), aforo[graf_inicio:graf_fin], '-b', label='Datos originales')
#plt.plot(range(graf_inicio, graf_fin), aprox[graf_inicio:graf_fin], '--r', label='Aproximación')
plt.plot(range(graf_inicio, graf_fin), aforo[graf_inicio:graf_fin], '-b', label='Original data')
plt.plot(range(graf_inicio, graf_fin), aprox[graf_inicio:graf_fin], '--r', label='Prediction')
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('Vehicle capacity')
plt.title('Measured capacity vs Predicted capacity')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

aforo_pred= aforo[pasos_ant:graf_fin+1]
aprox_pred= aprox[pasos_ant:graf_fin+1]
```

```
aforo_df=pd.Series(aforo_pred)
aprox_df=pd.Series(aprox_pred)
resultados_df = pd.concat([aforo_df, aprox_df], axis=1)
resultados_df.to_csv('Pruebatecnologico2880autorregresivo.csv',index=True)

# Calcular el MAE (Mean Absolute Error)
mae = mean_absolute_error(aforo, aprox)

# Calcular el MSE (Mean Squared Error)
mse = mean_squared_error(aforo, aprox)

# Calcular el RMSE (Root Mean Squared Error)
rmse = np.sqrt(mse)

# Calcular el MAPE (Mean Absolute Percentage Error)
mape = mean_absolute_percentage_error(aforo, aprox)

# Calcular el coeficiente de determinación (R2 score)
r2 = r2_score (aforo, aprox)

#r = np.corrcoef(aforo, aprox)[0, 1]
```

### Anexo III. Código utilizado para la predicción por el método del Filtro de Kalman

```
import pandas as pd
import numpy as np
from pykalman import KalmanFilter
import matplotlib
matplotlib.use('Agg') # Intenta diferentes backends como 'TkAgg', 'Qt5Agg', 'Agg', etc.
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error,
mean_absolute_percentage_error, r2_score

# Cargar los datos desde el archivo CSV
dataset_train = pd.read_csv('Cons-Tecnologico.csv')

# Definir los rangos de entrenamiento y aplicación
train_start = 3263
train_end = 6142
apply_start = 3263
apply_end = 6142

# Extraer la serie temporal de entrenamiento y aplicación
train_data = dataset_train.iloc[train_start:train_end, 2].values
apply_data = dataset_train.iloc[apply_start:apply_end, 2].values

# Crear un filtro de Kalman
kf = KalmanFilter(transition_matrices=[1],
                 observation_matrices=[1],
                 initial_state_mean=train_data.mean(),
                 initial_state_covariance=1,
                 observation_covariance=1,
                 transition_covariance=0.2)

# Entrenar el filtro de Kalman con los datos de entrenamiento
state_means, _ = kf.filter(train_data)

# Aplicar el filtro de Kalman a los datos de aplicación
apply_state_means, _ = kf.filter(apply_data)

# Crear un DataFrame para almacenar las estimaciones de aplicación
kalman_results = pd.DataFrame({'kalman': apply_state_means.flatten()},
                              index=dataset_train.index[apply_start:apply_end])

aforo_pred= apply_data[train_end:apply_end+1]

aforo_df=pd.Series(aforo_pred)

resultados_df = pd.concat([aforo_df, kalman_results], axis=1)
resultados_df.to_csv('prue2879.1Kalman.csv',index=True)

# Para hacer más grande la gráfica
plt.figure(figsize=(34,30))
```

```

plt.plot(range(apply_start, apply_end), apply_data, '-b', label='Orifinal data')
plt.plot(range(apply_start, apply_end), apply_state_means, '--r', label='Prediction')
plt.title('Estimated traffic using Kalman Filters', fontsize=38)
plt.xlabel('Time', fontsize=30)
plt.ylabel('Traffic flow', fontsize=30)
plt.xticks(fontsize=28) # Ajusta el tamaño de la fuente en las marcas del eje x
plt.yticks(fontsize=28) # Ajusta el tamaño de la fuente en las marcas del eje y
plt.legend(fontsize=30)
plt.grid()
plt.show()
plt.savefig('graficao.jpg', format='jpg')

# Calcular el MAE (Mean Absolute Error)
mae = mean_absolute_error(apply_data, apply_state_means)
# Calcular el MSE (Mean Squared Error)
mse = mean_squared_error(apply_data, apply_state_means)
# Calcular el RMSE (Root Mean Squared Error)
rmse = np.sqrt(mse)
# Calcular el MAPE (Mean Absolute Percentage Error)
mape = mean_absolute_percentage_error(apply_data, apply_state_means)
# Calcular el coeficiente de determinación (R2 score)
r2 = r2_score(apply_data, apply_state_means)

```

#### Anexo IV. Código utilizado para la predicción por el método de Redes Neuronales

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, LSTM, Dropout
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error,
mean_absolute_percentage_error, r2_score

# Importamos los datos
dataset_train = pd.read_csv('Pie-PMocambo.csv')
training_set = dataset_train.iloc[:, 2:3].values

# Se ajustan las magnitudes de las variables
sc = MinMaxScaler(feature_range = (0, 1))
training_set_scaled = sc.fit_transform(training_set)

# Definir los rangos de entrenamiento y aplicación
start_train = 0
end_train = 2167
start_test = 2551
end_test = 6885

# Dividimos los datos en conjuntos de entrenamiento y prueba
X_train = []
y_train = []
for i in range(start_train + 2167, end_train + 1):
    X_train.append(training_set_scaled[i - 2167:i, 0])
    y_train.append(training_set_scaled[i, 0])

X_train, y_train = np.array(X_train), np.array(y_train)
X_train = np.reshape(X_train, (X_train.shape[0], X_train.shape[1], 1))

# Parte 2 - Construir la Red Neuronal Recurrente
regressor = Sequential()

# Añadimos la primera capa LSTM y la regularización del Dropout
regressor.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True, input_shape = (X_train.shape[1], 1)))
regressor.add(Dropout(0.2))

# Agregamos una segunda capa LSTM y la regularización del Dropout
regressor.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True))
regressor.add(Dropout(0.2))

# Agregamos una tercera capa LSTM y la regularización del Dropout
regressor.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True))
regressor.add(Dropout(0.2))
```

```

# Agregamos una cuarta capa LSTM y la regularización del Dropout
regressor.add(LSTM(units = 50))
regressor.add(Dropout(0.2))

# Agregamos una capa densa o capa clásica porque es de salida.
regressor.add(Dense(units = 1))

# Compilamos la Red Neuronal Recurrente
regressor.compile(optimizer = 'adam', loss = 'mean_squared_error')

# Se entrena la RNN con el conjunto de entrenamiento
history = regressor.fit(X_train, y_train, epochs = 100, batch_size = 32)

# Gráfica de pérdida
plt.figure(figsize=(25, 15))
plt.plot(history.history['loss'], label='Training loss', color='blue')
plt.title('Loss during training', fontsize=40)
plt.xlabel('Epoch', fontsize=40)
plt.ylabel('Loss', fontsize=40)
plt.xticks(fontsize=40)
plt.yticks(fontsize=40)
plt.legend(fontsize=40)
plt.show()

# Parte 3 - Ajustar las predicciones y visualizar los resultados

# Obtener el valor real de los aforos
dataset_test = pd.read_csv('Pie-PMocambo.csv')
#real_aforo = dataset_test.iloc[:, 2:3].values
real_aforo = dataset_test.iloc[start_test:end_test, 2:3].values

# Generar las predicciones para los datos de prueba del nuevo archivo
inputs = dataset_test.iloc[start_test - 2167:end_test, 2:3].values
inputs = inputs.reshape(-1, 1)
inputs = sc.transform(inputs)

X_test = []
for i in range(2167, len(inputs)):
    X_test.append(inputs[i - 2167:i, 0])

X_test = np.array(X_test)
X_test = np.reshape(X_test, (X_test.shape[0], X_test.shape[1], 1))

prediccion = regressor.predict(X_test)
prediccion = sc.inverse_transform(prediccion)

real_aforo = pd.DataFrame(real_aforo, columns=[2])

```

```

prediccion = pd.DataFrame(prediccion, columns=[0])
resultados_df = pd.concat([real_aforo[2], prediccion[0]], axis=1)
resultados_df.to_csv('prueba2167.2Redes.csv',index=True)

# Visualizamos los resultados
plt.figure(figsize=(22, 20))
plt.plot(range(start_test, end_test), real_aforo, color='red', label='Measured vehicular traffic volume')
plt.plot(range(start_test, end_test), prediccion, color='blue', label='Estimated vehicular traffic volume')
plt.title('Traffic flow prediction ', fontsize=40)
plt.xlabel('Time', fontsize=40)
plt.ylabel('Traffic flow', fontsize=40)
plt.xticks(fontsize=28)
plt.yticks(fontsize=28)
plt.legend(fontsize=34)
plt.show()

# Calcular el MAE (Mean Absolute Error)
mae = mean_absolute_error(real_aforo, prediccion)

# Calcular el MSE (Mean Squared Error)
mse = mean_squared_error(real_aforo, prediccion)

# Calcular el RMSE (Root Mean Squared Error)
rmse = np.sqrt(mse)

# Calcular el MAPE (Mean Absolute Percentage Error)
mape = mean_absolute_percentage_error(real_aforo, prediccion)

# Calcular el coeficiente de determinación (R2 score)
r2 = r2_score(real_aforo, prediccion)

```

### Anexo V. Resultados de Predicción para 1 día, intersección Av. Pie de la Cuesta-Rio Tuxpan.

No.	Periodo (min)	Aforo Medido	M. Autorregresivo (veh)	F. de Kalman (veh)	RNN (veh)	48	720	170	141	180	185
1	15	66	69	99	67	49	735	192	143	184	186
2	30	63	68	84	57	50	750	179	156	182	188
3	45	59	65	74	52	51	765	183	150	182	189
4	60	42	55	63	49	52	780	188	169	184	190
5	75	29	56	50	41	53	795	188	162	186	191
6	90	26	49	42	31	54	810	201	178	191	192
7	105	17	57	33	24	55	825	245	181	210	195
8	120	22	48	29	18	56	840	222	185	215	203
9	135	25	47	28	17	57	855	197	199	208	209
10	150	16	44	23	20	58	870	197	193	204	208
11	165	13	43	20	19	59	885	180	206	196	205
12	180	14	45	18	16	60	900	186	199	192	200
13	195	10	45	15	15	61	915	174	211	186	196
14	210	16	48	15	13	62	930	172	206	181	191
15	225	9	44	13	15	63	945	156	209	172	187
16	240	6	43	11	14	64	960	179	213	174	180
17	255	12	42	11	13	65	975	169	210	172	180
18	270	9	35	10	14	66	990	215	217	188	180
19	285	19	37	13	16	67	1005	205	198	194	195
20	300	27	32	18	21	68	1020	186	208	191	206
21	315	26	34	21	30	69	1035	212	198	199	201
22	330	26	34	23	37	70	1050	194	203	197	203
23	345	40	34	29	41	71	1065	199	204	198	201
24	360	58	41	39	48	72	1080	164	194	186	197
25	375	60	36	47	62	73	1095	212	202	195	180
26	390	107	44	68	75	74	1110	227	190	207	192
27	405	154	43	99	99	75	1125	270	199	229	218
28	420	140	51	114	138	76	1140	233	188	231	258
29	435	180	56	137	159	77	1155	245	194	236	243
30	450	205	59	162	173	78	1170	293	195	256	231
31	465	187	72	171	183	79	1185	258	189	257	264
32	480	147	69	162	185	80	1200	272	204	262	252
33	495	219	84	183	179	81	1215	109	185	207	243
34	510	182	87	182	177	82	1230	116	195	175	184
35	525	138	100	166	175	83	1245	125	189	157	138
36	540	197	111	177	171	84	1260	105	194	138	125
37	555	150	109	168	168	85	1275	83	193	118	107
38	570	196	123	178	166	86	1290	95	186	110	86
39	585	154	117	169	167	87	1305	98	185	106	80
40	600	188	126	176	167	88	1320	80	169	97	83
41	615	178	127	177	168	89	1335	94	172	96	75
42	630	160	126	171	170	90	1350	89	158	93	76
43	645	197	136	180	171	91	1365	70	152	85	76
44	660	164	129	174	174	92	1380	67	143	79	65
45	675	177	144	175	176	93	1395	43	129	66	57
46	690	200	130	184	178	94	1410	56	125	62	44
47	705	186	139	185	181	95	1425	45	110	56	41
						96	1440	45	105	52	39

**Anexo VI. Resultados de predicción para 1 semana, Intersección Av. Pie de la Cuesta-Playa Roqueta.**

No.	Tiempo	Aforo Medido	Autorregresivo	FK	RNN
1	15	27	47	78	31
2	30	33	43	59	35
3	45	17	30	43	19
4	60	23	32	36	13
5	75	22	26	31	10
6	90	16	23	25	10
7	105	14	22	21	10
8	120	13	20	18	9
9	135	9	24	15	8
10	150	17	22	16	7
11	165	10	26	14	9
12	180	5	21	11	10
13	195	12	22	11	9
14	210	10	20	11	10
15	225	15	20	12	12
16	240	22	17	16	16
17	255	21	19	18	23
18	270	23	20	20	28
19	285	29	26	23	32
20	300	51	27	33	37
21	315	53	36	40	51
22	330	110	48	65	62
23	345	138	55	91	96
24	360	122	60	102	134
25	375	162	68	124	140
26	390	188	71	147	153
27	405	160	78	151	175
28	420	118	75	139	172
29	435	174	93	152	152
30	450	158	92	154	156
31	465	111	90	139	160
32	480	148	105	142	142
33	495	126	97	136	138
34	510	162	116	145	133
35	525	128	105	139	143
36	540	155	113	145	139
37	555	159	123	150	142
38	570	141	114	147	150
39	585	153	129	149	148
40	600	144	116	147	149
41	615	162	133	153	148
42	630	173	122	160	153
43	645	153	120	157	164
44	660	154	132	156	162
45	675	160	133	158	158
46	690	164	148	160	158
47	705	149	133	156	161
48	720	168	153	160	157
49	735	177	154	166	160
50	750	173	161	169	168
51	765	207	169	182	172
52	780	191	162	185	189
53	795	185	179	185	194
54	810	177	173	182	190
55	825	158	185	174	183
56	840	176	179	174	172
57	855	177	185	175	170
58	870	176	196	176	173
59	885	155	177	168	173
60	900	161	198	166	164
61	915	167	186	166	158
62	930	210	196	182	159
63	945	198	178	188	182
64	960	176	176	183	194
65	975	184	177	184	185
66	990	176	181	181	180
67	1005	189	180	184	177
68	1020	151	170	172	180
69	1035	183	192	176	167
70	1050	216	186	190	167
71	1065	219	194	201	190
72	1080	236	187	213	207
73	1095	223	192	217	221
74	1110	282	211	240	220
75	1125	238	192	239	250
76	1140	260	211	247	245
77	1155	194	191	228	244
78	1170	219	215	225	218
79	1185	191	200	213	208
80	1200	173	192	198	195
81	1215	170	192	188	177
82	1230	162	175	179	162
83	1245	169	175	175	151
84	1260	117	151	154	148
85	1275	108	154	138	126
86	1290	116	152	130	105
87	1305	82	126	113	94
88	1320	75	126	99	79
89	1335	72	103	89	65
90	1350	90	107	90	55
91	1365	51	83	76	58
92	1380	62	80	71	51
93	1395	48	72	63	46
94	1410	49	61	58	40
95	1425	33	59	49	37
96	1440	21	44	39	30

97	1455	17	44	31	21
98	1470	33	41	32	13
99	1485	13	32	25	13
100	1500	14	34	21	11
101	1515	16	26	19	9
102	1530	13	22	17	8
103	1545	13	22	16	8
104	1560	10	21	14	9
105	1575	9	22	12	9
106	1590	7	25	10	10
107	1605	11	21	10	10
108	1620	4	12	8	12
109	1635	6	16	7	12
110	1650	7	14	7	12
111	1665	8	13	8	14
112	1680	12	9	9	17
113	1695	13	20	11	21
114	1710	11	18	11	25
115	1725	26	21	16	27
116	1740	31	31	21	35
117	1755	52	43	32	44
118	1770	68	58	45	59
119	1785	111	73	69	77
120	1800	130	77	91	107
121	1815	152	97	113	134
122	1830	161	98	130	152
123	1845	139	106	133	162
124	1860	162	116	144	155
125	1875	183	130	158	158
126	1890	160	125	159	170
127	1905	153	122	157	168
128	1920	166	127	160	159
129	1935	139	124	152	159
130	1950	159	135	155	151
131	1965	147	124	152	151
132	1980	160	135	155	148
133	1995	164	138	158	151
134	2010	142	132	152	156
135	2025	169	148	158	151
136	2040	142	132	152	156
137	2055	160	142	155	152
138	2070	142	151	150	153
139	2085	150	150	150	150
140	2100	153	153	151	148
141	2115	162	150	155	150
142	2130	157	162	156	155
143	2145	187	154	167	157
144	2160	177	173	171	171
145	2175	156	173	165	177
146	2190	168	180	166	169
147	2205	183	184	172	166
148	2220	151	183	165	174
149	2235	211	200	181	166
150	2250	192	194	185	184
151	2265	224	207	199	193
152	2280	161	189	185	208
153	2295	190	204	187	190
154	2310	193	202	189	184
155	2325	195	195	191	188
156	2340	152	198	177	192
157	2355	160	183	171	174
158	2370	185	200	176	162
159	2385	167	178	173	167
160	2400	182	186	176	167
161	2415	202	182	185	170
162	2430	189	184	187	183
163	2445	221	194	199	187
164	2460	173	173	190	201
165	2475	208	205	196	190
166	2490	229	191	208	192
167	2505	242	214	220	211
168	2520	235	214	225	228
169	2535	224	216	225	230
170	2550	266	230	240	223
171	2565	220	211	233	239
172	2580	234	228	233	229
173	2595	237	219	235	222
174	2610	244	226	238	223
175	2625	211	216	228	227
176	2640	178	199	210	212
177	2655	188	196	202	187
178	2670	160	178	187	174
179	2685	157	176	176	158
180	2700	127	154	159	145
181	2715	153	161	157	125
182	2730	162	155	159	121
183	2745	111	131	142	129
184	2760	112	123	131	115
185	2775	88	106	116	101
186	2790	71	104	100	85
187	2805	85	84	94	68
188	2820	70	80	86	61
189	2835	39	68	69	56
190	2850	37	61	57	43
191	2865	26	57	46	30
192	2880	39	45	44	19

193	2895	19	43	35	16
194	2910	12	41	27	13
195	2925	13	34	22	7
196	2940	16	35	20	3
197	2955	11	28	17	3
198	2970	11	26	15	4
199	2985	9	23	13	5
200	3000	6	18	10	5
201	3015	7	18	9	5
202	3030	11	18	10	5
203	3045	6	13	8	8
204	3060	4	20	7	9
205	3075	6	13	7	9
206	3090	7	14	7	10
207	3105	12	15	9	13
208	3120	13	17	10	17
209	3135	15	19	12	22
210	3150	7	21	10	27
211	3165	19	27	13	27
212	3180	41	34	23	30
213	3195	69	50	40	45
214	3210	104	67	63	70
215	3225	138	85	90	104
216	3240	141	101	108	138
217	3255	149	112	123	151
218	3270	160	118	136	155
219	3285	145	127	139	160
220	3300	145	129	141	157
221	3315	168	144	151	152
222	3330	115	140	138	159
223	3345	143	132	140	144
224	3360	129	139	136	139
225	3375	125	138	132	134
226	3390	137	144	134	129
227	3405	137	136	135	130
228	3420	133	146	134	132
229	3435	152	146	141	132
230	3450	132	146	138	140
231	3465	137	150	137	138
232	3480	132	143	135	137
233	3495	170	158	148	135
234	3510	130	150	141	149
235	3525	160	153	148	146
236	3540	185	158	161	150
237	3555	139	159	153	167
238	3570	174	162	161	160
239	3585	153	158	158	163
240	3600	179	173	166	161
241	3615	154	169	161	168
242	3630	180	181	168	164
243	3645	194	177	177	169
244	3660	186	182	180	182
245	3675	203	203	189	187
246	3690	187	191	188	194
247	3705	239	205	204	193
248	3720	173	194	194	214
249	3735	183	204	190	200
250	3750	183	208	188	188
251	3765	192	188	189	183
252	3780	173	199	183	186
253	3795	149	182	171	180
254	3810	235	191	194	163
255	3825	186	177	191	191
256	3840	199	180	194	194
257	3855	198	186	195	192
258	3870	196	188	196	192
259	3885	172	192	187	192
260	3900	185	186	186	181
261	3915	199	203	191	178
262	3930	215	204	200	185
263	3945	237	217	213	198
264	3960	222	221	216	217
265	3975	233	226	222	219
266	3990	230	235	225	221
267	4005	196	218	215	222
268	4020	169	227	198	206
269	4035	199	224	199	183
270	4050	206	233	201	180
271	4065	218	218	207	188
272	4080	162	203	191	198
273	4095	190	205	191	176
274	4110	162	183	180	169
275	4125	153	180	171	159
276	4140	137	152	159	147
277	4155	142	155	153	133
278	4170	114	146	139	125
279	4185	96	128	123	112
280	4200	99	121	115	95
281	4215	95	105	108	83
282	4230	95	105	103	77
283	4245	68	82	91	75
284	4260	57	75	79	66
285	4275	39	65	64	54
286	4290	45	55	57	40
287	4305	49	52	54	31
288	4320	40	32	49	29

289	4335	27	35	41	29
290	4350	23	33	35	24
291	4365	19	23	29	18
292	4380	20	26	26	13
293	4395	15	20	22	11
294	4410	21	25	22	10
295	4425	12	17	18	11
296	4440	20	17	19	11
297	4455	5	15	14	13
298	4470	8	14	12	11
299	4485	7	13	10	9
300	4500	13	11	11	8
301	4515	8	11	10	11
302	4530	13	7	11	13
303	4545	7	10	10	17
304	4560	11	13	10	17
305	4575	17	17	13	19
306	4590	13	22	13	24
307	4605	17	31	14	27
308	4620	31	40	20	30
309	4635	33	54	25	38
310	4650	58	71	37	46
311	4665	80	90	52	62
312	4680	102	103	70	84
313	4695	142	120	96	106
314	4710	153	123	116	136
315	4725	154	132	130	155
316	4740	131	136	130	159
317	4755	180	150	148	150
318	4770	180	151	160	162
319	4785	139	144	152	174
320	4800	139	145	147	161
321	4815	129	140	141	149
322	4830	142	147	141	139
323	4845	130	138	137	137
324	4860	153	144	143	134
325	4875	159	145	149	139
326	4890	134	147	143	148
327	4905	145	157	144	143
328	4920	133	137	140	141
329	4935	171	162	151	138
330	4950	176	148	160	151
331	4965	150	156	156	166
332	4980	167	163	160	163
333	4995	160	152	160	163
334	5010	159	160	160	163
335	5025	145	149	154	161
336	5040	163	168	158	155
337	5055	138	165	151	156
338	5070	155	177	152	149
339	5085	201	176	170	149
340	5100	201	171	181	173
341	5115	209	197	191	193
342	5130	206	187	196	203
343	5145	198	198	197	205
344	5160	194	182	196	202
345	5175	169	191	186	198
346	5190	202	194	192	186
347	5205	194	181	193	190
348	5220	208	193	198	193
349	5235	170	176	188	199
350	5250	182	185	186	185
351	5265	159	172	176	178
352	5280	201	184	185	167
353	5295	162	177	177	177
354	5310	160	188	171	171
355	5325	195	191	179	161
356	5340	164	181	174	170
357	5355	200	206	183	168
358	5370	203	199	190	178
359	5385	203	220	195	190
360	5400	242	221	212	196
361	5415	216	230	213	218
362	5430	273	242	235	219
363	5445	209	225	225	243
364	5460	221	234	224	227
365	5475	240	220	230	216
366	5490	239	235	233	223
367	5505	223	224	229	228
368	5520	184	209	213	219
369	5535	201	206	209	195
370	5550	188	190	201	186
371	5565	184	188	195	179
372	5580	144	166	177	172
373	5595	166	168	173	150
374	5610	148	158	164	142
375	5625	139	142	155	135
376	5640	102	135	136	126
377	5655	107	117	126	106
378	5670	114	112	121	92
379	5685	80	90	107	89
380	5700	83	86	98	78
381	5715	60	72	84	69
382	5730	60	60	76	56
383	5745	55	60	68	47
384	5760	36	46	57	41

385	5775	44	45	52	33
386	5790	37	39	47	28
387	5805	24	31	39	25
388	5820	34	28	37	20
389	5835	27	26	33	19
390	5850	36	25	34	19
391	5865	24	14	31	22
392	5880	16	19	25	22
393	5895	25	16	25	18
394	5910	21	19	24	17
395	5925	22	17	23	18
396	5940	26	12	24	19
397	5955	9	12	19	22
398	5970	11	9	16	19
399	5985	14	11	15	16
400	6000	13	9	14	15
401	6015	18	11	16	17
402	6030	18	16	17	20
403	6045	14	19	16	24
404	6060	46	34	27	26
405	6075	48	42	34	39
406	6090	91	63	55	54
407	6105	121	75	78	82
408	6120	148	90	103	117
409	6135	158	106	123	146
410	6150	147	109	132	160
411	6165	137	117	133	158
412	6180	153	121	140	151
413	6195	145	140	142	152
414	6210	141	141	142	152
415	6225	135	139	139	147
416	6240	169	149	150	142
417	6255	140	146	146	151
418	6270	147	153	147	148
419	6285	144	147	146	145
420	6300	151	158	148	144
421	6315	165	161	154	146
422	6330	163	155	157	154
423	6345	147	162	153	160
424	6360	145	154	150	155
425	6375	153	170	151	150
426	6390	173	161	159	150
427	6405	162	166	160	161
428	6420	149	167	156	164
429	6435	145	167	152	158
430	6450	186	172	164	151
431	6465	158	163	162	164
432	6480	152	179	158	166
433	6495	159	171	159	159
434	6510	164	181	161	157
435	6525	191	182	171	159
436	6540	219	179	188	174
437	6555	207	197	195	200
438	6570	220	189	204	208
439	6585	222	202	210	213
440	6600	202	190	207	218
441	6615	174	199	195	211
442	6630	218	195	204	194
443	6645	213	187	207	200
444	6660	229	191	215	208
445	6675	171	174	199	217
446	6690	215	187	205	195
447	6705	182	166	197	195
448	6720	188	176	194	188
449	6735	209	174	199	183
450	6750	179	179	192	190
451	6765	203	187	196	183
452	6780	174	175	188	186
453	6795	178	197	184	178
454	6810	211	192	194	171
455	6825	207	202	199	184
456	6840	244	204	215	195
457	6855	231	217	221	217
458	6870	239	233	227	224
459	6885	223	219	226	226
460	6900	241	230	231	221
461	6915	214	216	225	225
462	6930	271	235	242	215
463	6945	216	229	232	236
464	6960	194	219	219	223
465	6975	244	219	228	198
466	6990	204	203	219	208
467	7005	219	203	219	201
468	7020	174	188	203	198
469	7035	191	189	199	178
470	7050	198	183	198	169
471	7065	151	168	181	172
472	7080	147	163	169	155
473	7095	136	146	157	137
474	7110	164	144	160	123
475	7125	156	126	158	127
476	7140	126	117	147	133
477	7155	138	107	144	123
478	7170	104	91	129	117
479	7185	89	86	115	104
480	7200	77	73	101	88

481	7215	70	71	90	73
482	7230	69	69	83	60
483	7245	58	61	74	53
484	7260	48	53	65	46
485	7275	49	51	59	39
486	7290	68	48	62	34
487	7305	37	43	53	40
488	7320	39	44	48	38
489	7335	44	41	47	33
490	7350	34	38	42	32
491	7365	43	35	42	30
492	7380	32	28	39	31
493	7395	35	27	37	30
494	7410	28	27	34	30
495	7425	26	25	31	28
496	7440	22	23	28	25
497	7455	24	24	26	22
498	7470	21	26	25	22
499	7485	22	26	24	21
500	7500	42	36	30	22
501	7515	41	39	34	31
502	7530	50	49	40	40
503	7545	64	59	48	49
504	7560	65	69	54	61
505	7575	64	67	58	70
506	7590	91	87	70	73
507	7605	101	96	81	85
508	7620	112	100	92	99
509	7635	114	113	100	112
510	7650	125	117	109	118
511	7665	120	118	113	125
512	7680	144	129	124	127
513	7695	132	127	127	136
514	7710	144	144	133	138
515	7725	146	136	138	141
516	7740	165	152	147	145
517	7755	161	158	152	155
518	7770	152	157	152	160
519	7785	170	168	159	157
520	7800	144	158	153	162
521	7815	178	173	162	156
522	7830	165	163	163	163
523	7845	143	171	156	166
524	7860	157	172	156	157
525	7875	167	175	160	154
526	7890	173	183	165	159
527	7905	158	172	162	167
528	7920	207	192	178	164
529	7935	161	186	172	182
530	7950	183	198	176	178
531	7965	159	195	170	177
532	7980	174	191	171	170
533	7995	183	209	176	170
534	8010	192	199	181	176
535	8025	196	213	187	184
536	8040	221	202	199	191
537	8055	224	212	208	206
538	8070	223	212	213	217
539	8085	197	202	207	220
540	8100	207	209	207	209
541	8115	192	196	202	204
542	8130	209	205	204	198
543	8145	198	186	202	200
544	8160	183	193	195	197
545	8175	187	187	192	187
546	8190	185	194	190	181
547	8205	203	193	194	178
548	8220	159	182	182	185
549	8235	197	202	187	171
550	8250	178	192	184	174
551	8265	174	204	180	173
552	8280	181	198	181	169
553	8295	176	203	179	169
554	8310	192	219	184	168
555	8325	144	203	169	174
556	8340	190	219	177	159
557	8355	190	208	182	163
558	8370	183	220	182	174
559	8385	187	217	184	176
560	8400	189	212	186	177
561	8415	182	210	184	178
562	8430	175	198	181	177
563	8445	199	199	187	171
564	8460	171	180	182	179
565	8475	163	187	175	173
566	8490	160	179	170	163
567	8505	143	162	160	154
568	8520	160	161	160	143
569	8535	134	142	151	142
570	8550	138	146	146	134
571	8565	134	127	142	127
572	8580	117	120	133	123
573	8595	116	109	127	114
574	8610	81	97	110	107
575	8625	110	94	110	91
576	8640	71	79	96	87

577	8655	58	79	83	76
578	8670	73	73	79	62
579	8685	52	70	69	55
580	8700	71	66	70	48
581	8715	55	61	65	49
582	8730	55	59	61	48
583	8745	46	58	56	47
584	8760	52	53	54	43
585	8775	54	51	54	42
586	8790	49	52	52	44
587	8805	45	46	50	44
588	8820	32	44	43	43
589	8835	27	41	38	37
590	8850	27	37	34	30
591	8865	26	38	31	25
592	8880	20	35	27	23
593	8895	28	37	27	20
594	8910	22	36	25	22
595	8925	28	34	26	23
596	8940	35	41	29	25
597	8955	26	41	28	31
598	8970	33	52	30	33
599	8985	35	56	32	35
600	9000	48	65	38	39
601	9015	43	74	40	46
602	9030	35	76	38	51
603	9045	43	86	40	49
604	9060	62	85	48	49
605	9075	42	98	46	58
606	9090	60	99	51	59
607	9105	56	100	53	62
608	9120	76	111	61	65
609	9135	56	104	59	74
610	9150	85	120	68	73
611	9165	98	114	79	81
612	9180	118	127	93	94
613	9195	117	132	102	112
614	9210	118	130	107	121
615	9225	137	143	118	124
616	9240	108	131	114	132
617	9255	140	146	124	126
618	9270	121	138	123	131
619	9285	130	141	125	130
620	9300	128	147	126	130
621	9315	120	145	124	129
622	9330	161	159	137	126
623	9345	149	149	141	139
624	9360	135	168	139	147
625	9375	149	167	143	143
626	9390	175	177	154	144
627	9405	156	177	155	158
628	9420	192	176	168	161
629	9435	186	191	175	175
630	9450	187	183	179	184
631	9465	191	197	183	186
632	9480	141	188	168	189
633	9495	185	200	174	171
634	9510	174	198	174	172
635	9525	161	193	169	175
636	9540	175	198	171	169
637	9555	165	189	169	169
638	9570	188	198	176	167
639	9585	197	180	183	175
640	9600	159	190	175	186
641	9615	146	184	164	176
642	9630	167	188	165	160
643	9645	159	189	163	158
644	9660	151	178	159	158
645	9675	157	197	158	154
646	9690	174	187	164	152
647	9705	152	200	160	159
648	9720	182	194	168	157
649	9735	199	201	179	165
650	9750	160	210	172	182
651	9765	191	198	179	175
652	9780	209	213	190	178
653	9795	195	201	192	194
654	9810	205	215	196	197
655	9825	199	208	197	199
656	9840	169	201	187	198
657	9855	202	204	192	184
658	9870	187	189	191	186
659	9885	174	191	185	186
660	9900	176	174	182	177
661	9915	156	178	172	171
662	9930	126	170	156	160
663	9945	126	154	145	140
664	9960	108	149	132	124
665	9975	101	131	121	109
666	9990	93	129	111	96
667	10005	74	111	98	85
668	10020	61	105	85	73
669	10035	61	95	76	59
670	10050	49	86	66	49
671	10065	48	79	60	41
672	10080	28	66	48	36

## Anexo VII. Resultados de predicción para 1 mes, Intersección Av. Constituyentes-Av. Tecnológico

Na.	Tiempo	Aforo Medido	Autorregresivo	FK	RNN	97	1455	46	-1	60	61
1	15	42	42	157	43	98	1470	30	-18	49	60
2	30	63	57	118	62	99	1485	34	18	44	59
3	45	44	66	90	61	100	1500	20	-14	35	58
4	60	40	56	72	60	101	1515	22	-1	30	57
5	75	44	41	62	59	102	1530	28	-26	30	56
6	90	28	30	50	58	103	1545	23	-18	27	56
7	105	26	12	41	57	104	1560	20	0	25	55
8	120	32	0	38	56	105	1575	13	14	20	54
9	135	24	13	33	56	106	1590	14	9	18	53
10	150	19	-3	28	55	107	1605	6	35	14	53
11	165	18	21	24	54	108	1620	9	48	12	52
12	180	22	38	24	53	109	1635	9	32	11	52
13	195	11	-4	19	53	110	1650	0	2	7	51
14	210	11	-7	16	52	111	1665	3	0	6	51
15	225	11	-20	14	52	112	1680	8	33	6	50
16	240	5	-12	11	51	113	1695	2	26	5	50
17	255	7	-1	10	51	114	1710	2	4	4	49
18	270	5	-18	8	50	115	1725	11	52	6	49
19	285	11	-3	9	50	116	1740	9	68	7	49
20	300	13	-6	10	49	117	1755	18	39	11	48
21	315	24	28	15	49	118	1770	33	73	19	48
22	330	34	0	22	49	119	1785	43	111	28	48
23	345	56	42	34	48	120	1800	95	126	52	48
24	360	97	47	57	48	121	1815	108	155	72	47
25	375	119	26	79	48	122	1830	219	232	125	47
26	390	223	69	131	48	123	1845	380	355	216	47
27	405	408	156	230	48	124	1860	358	382	267	47
28	420	454	163	310	48	125	1875	413	417	319	48
29	435	451	168	361	48	126	1890	718	604	462	48
30	450	672	273	472	49	127	1905	640	629	526	49
31	465	682	320	547	50	128	1920	539	617	531	50
32	480	672	319	592	51	129	1935	470	540	509	52
33	495	556	249	579	52	130	1950	628	530	552	53
34	510	637	291	600	54	131	1965	543	517	548	55
35	525	593	317	597	56	132	1980	595	511	565	57
36	540	704	378	636	58	133	1995	563	459	564	60
37	555	814	394	700	61	134	2010	532	476	553	62
38	570	628	338	674	63	135	2025	482	425	527	64
39	585	581	346	641	66	136	2040	461	424	504	66
40	600	550	352	608	68	137	2055	484	425	497	68
41	615	536	350	582	71	138	2070	452	432	481	70
42	630	565	370	576	73	139	2085	500	440	488	72
43	645	547	386	566	75	140	2100	378	460	448	73
44	660	533	408	554	77	141	2115	374	460	422	75
45	675	504	365	536	79	142	2130	441	514	429	76
46	690	522	417	531	80	143	2145	398	483	418	77
47	705	502	436	521	81	144	2160	408	492	414	77
48	720	505	430	515	82	145	2175	455	466	429	78
49	735	459	407	495	83	146	2190	434	442	431	78
50	750	502	441	497	83	147	2205	380	426	413	78
51	765	513	433	503	84	148	2220	463	479	431	78
52	780	489	420	498	84	149	2235	457	474	440	78
53	795	561	459	521	84	150	2250	504	477	463	78
54	810	495	455	511	84	151	2265	455	481	460	78
55	825	498	441	507	84	152	2280	446	464	455	78
56	840	474	469	495	84	153	2295	451	477	454	78
57	855	414	423	466	83	154	2310	424	466	443	78
58	870	406	442	444	83	155	2325	438	439	441	78
59	885	311	413	397	83	156	2340	416	445	432	78
60	900	185	355	321	83	157	2355	301	383	385	78
61	915	302	384	314	82	158	2370	358	412	375	77
62	930	215	354	279	82	159	2385	334	413	361	77
63	945	170	347	240	81	160	2400	364	422	362	77
64	960	240	399	240	80	161	2415	442	454	391	77
65	975	207	372	228	80	162	2430	483	482	424	77
66	990	181	359	211	79	163	2445	419	482	422	76
67	1005	170	336	196	77	164	2460	432	491	426	76
68	1020	214	343	203	76	165	2475	440	509	431	76
69	1035	227	346	211	75	166	2490	499	480	455	76
70	1050	231	315	218	74	167	2505	454	474	455	76
71	1065	312	350	252	72	168	2520	448	482	452	75
72	1080	246	347	250	71	169	2535	479	459	462	75
73	1095	346	337	284	70	170	2550	445	410	456	75
74	1110	397	378	325	69	171	2565	391	412	433	76
75	1125	356	384	336	68	172	2580	458	426	442	76
76	1140	351	380	341	67	173	2595	404	385	428	76
77	1155	303	346	328	67	174	2610	408	403	421	76
78	1170	368	350	342	67	175	2625	361	363	399	76
79	1185	338	326	341	66	176	2640	363	317	386	76
80	1200	300	307	326	66	177	2655	273	272	346	76
81	1215	241	277	296	66	178	2670	237	215	307	76
82	1230	218	213	268	66	179	2685	215	177	274	76
83	1245	191	209	240	66	180	2700	199	160	247	76
84	1260	170	198	215	67	181	2715	170	143	219	75
85	1275	150	189	192	67	182	2730	150	138	195	75
86	1290	138	152	173	67	183	2745	140	160	175	74
87	1305	117	161	153	67	184	2760	129	138	159	74
88	1320	118	153	140	66	185	2775	97	116	136	73
89	1335	110	148	129	66	186	2790	119	104	130	72
90	1350	116	122	125	66	187	2805	89	92	115	71
91	1365	98	105	115	65	188	2820	87	84	105	70
92	1380	88	68	105	64	189	2835	77	40	95	69
93	1395	84	63	98	64	190	2850	75	55	88	67
94	1410	68	51	87	63	191	2865	59	22	78	66
95	1425	48	24	73	62	192	2880	64	32	73	65
96	1440	57	-8	67	61						

193	2895	38	52	60	64
194	2910	40	28	53	62
195	2925	32	56	45	61
196	2940	18	16	36	60
197	2955	20	21	30	59
198	2970	24	24	28	58
199	2985	20	-3	25	57
200	3000	17	11	22	56
201	3015	12	-1	19	55
202	3030	19	-13	19	54
203	3045	22	12	20	53
204	3060	12	30	17	53
205	3075	11	25	15	52
206	3090	6	8	12	51
207	3105	5	21	9	51
208	3120	2	6	7	50
209	3135	3	-42	5	50
210	3150	6	3	6	49
211	3165	9	-16	7	49
212	3180	10	13	8	49
213	3195	19	26	12	48
214	3210	31	27	19	48
215	3225	53	61	31	48
216	3240	91	90	53	48
217	3255	108	137	72	48
218	3270	204	209	120	47
219	3285	399	362	220	47
220	3300	403	415	285	48
221	3315	338	419	304	48
222	3330	454	553	358	48
223	3345	450	589	391	49
224	3360	447	614	411	50
225	3375	438	553	421	51
226	3390	448	568	438	53
227	3405	503	585	461	54
228	3420	432	544	451	56
229	3435	500	535	468	58
230	3450	442	533	459	60
231	3465	503	548	475	61
232	3480	455	519	468	63
233	3495	445	521	460	65
234	3510	418	502	445	66
235	3525	441	497	443	68
236	3540	454	523	447	69
237	3555	414	480	435	71
238	3570	534	551	471	72
239	3585	475	528	472	73
240	3600	575	546	509	74
241	3615	457	480	490	74
242	3630	418	452	464	75
243	3645	441	435	456	76
244	3660	419	440	443	76
245	3675	475	440	454	77
246	3690	428	451	445	77
247	3705	477	477	456	77
248	3720	420	454	443	78
249	3735	454	476	447	78
250	3750	445	471	446	78
251	3765	402	447	430	78
252	3780	517	479	461	78
253	3795	398	444	439	78
254	3810	452	474	443	78
255	3825	495	466	462	78
256	3840	410	451	443	78
257	3855	405	450	430	78
258	3870	443	459	442	78
259	3885	384	446	421	78
260	3900	457	447	434	78
261	3915	439	440	436	78
262	3930	468	428	447	77
263	3945	460	462	452	77
264	3960	363	442	420	77
265	3975	427	443	423	77
266	3990	409	432	418	77
267	4005	407	434	414	77
268	4020	414	432	414	77
269	4035	375	420	400	77
270	4050	363	411	387	77
271	4065	307	383	358	77
272	4080	327	371	347	76
273	4095	259	313	315	76
274	4110	210	223	278	76
275	4125	192	227	247	76
276	4140	174	179	221	75
277	4155	171	155	203	75
278	4170	145	140	182	74
279	4185	134	126	165	73
280	4200	139	142	156	72
281	4215	130	119	146	72
282	4230	117	132	136	71
283	4245	97	122	122	69
284	4260	91	82	111	68
285	4275	89	92	103	67
286	4290	74	57	93	66
287	4305	78	56	87	65
288	4320	50	49	74	64

289	4335	54	44	67	63
290	4350	54	79	62	62
291	4365	31	52	51	61
292	4380	25	50	42	59
293	4395	37	53	40	59
294	4410	18	23	32	58
295	4425	22	3	29	57
296	4440	16	-16	24	56
297	4455	11	7	19	55
298	4470	16	-3	18	54
299	4485	15	32	17	53
300	4500	26	37	20	53
301	4515	10	23	17	52
302	4530	11	10	15	52
303	4545	15	37	15	51
304	4560	14	-14	14	50
305	4575	18	-25	16	50
306	4590	19	-40	17	50
307	4605	16	-15	17	49
308	4620	12	-15	15	49
309	4635	19	-18	16	49
310	4650	34	22	23	48
311	4665	47	54	31	48
312	4680	80	102	49	48
313	4695	112	152	71	48
314	4710	223	227	126	48
315	4725	365	322	211	48
316	4740	394	339	277	48
317	4755	394	357	319	48
318	4770	568	509	408	49
319	4785	613	527	482	49
320	4800	540	529	502	50
321	4815	479	483	494	52
322	4830	566	508	520	53
323	4845	554	466	532	55
324	4860	603	510	557	57
325	4875	639	506	587	59
326	4890	578	489	584	61
327	4905	541	506	568	63
328	4920	498	481	543	66
329	4935	508	541	531	68
330	4950	454	500	503	70
331	4965	446	520	483	72
332	4980	529	536	499	73
333	4995	467	512	488	75
334	5010	537	539	505	76
335	5025	531	518	515	77
336	5040	421	465	481	78
337	5055	393	448	450	79
338	5070	404	426	433	79
339	5085	399	415	421	80
340	5100	405	420	415	80
341	5115	428	408	420	80
342	5130	485	413	443	80
343	5145	436	393	441	80
344	5160	453	375	445	80
345	5175	465	380	452	80
346	5190	432	369	445	79
347	5205	461	368	451	79
348	5220	496	389	467	79
349	5235	385	381	438	79
350	5250	373	384	414	78
351	5265	425	428	418	78
352	5280	407	442	414	78
353	5295	398	444	408	78
354	5310	356	435	390	78
355	5325	438	467	407	78
356	5340	445	450	421	77
357	5355	429	473	424	77
358	5370	465	455	438	77
359	5385	451	460	443	77
360	5400	445	457	444	76
361	5415	439	414	442	76
362	5430	415	419	432	76
363	5445	398	401	420	76
364	5460	324	403	386	76
365	5475	408	408	394	76
366	5490	387	407	392	76
367	5505	396	405	393	76
368	5520	354	359	379	76
369	5535	308	335	354	76
370	5550	232	252	310	76
371	5565	236	237	284	75
372	5580	208	231	257	75
373	5595	190	197	233	75
374	5610	176	192	212	74
375	5625	142	156	187	74
376	5640	126	166	165	73
377	5655	132	132	153	72
378	5670	134	149	146	71
379	5685	113	140	134	70
380	5700	103	114	123	69
381	5715	96	84	113	68
382	5730	80	85	101	67
383	5745	80	70	94	66
384	5760	75	62	87	65

385	5775	60	52	77	64
386	5790	47	42	66	63
387	5805	43	45	58	62
388	5820	48	35	54	61
389	5835	42	15	50	60
390	5850	31	26	43	59
391	5865	33	-8	40	58
392	5880	24	-19	34	57
393	5895	24	-10	30	56
394	5910	25	2	28	55
395	5925	28	16	28	54
396	5940	37	39	31	54
397	5955	19	20	27	53
398	5970	17	12	23	52
399	5985	13	39	20	52
400	6000	10	28	16	51
401	6015	13	22	15	51
402	6030	10	-8	13	50
403	6045	15	15	14	50
404	6060	15	43	14	50
405	6075	17	51	15	49
406	6090	40	44	24	49
407	6105	50	85	33	49
408	6120	81	116	50	48
409	6135	112	156	73	48
410	6150	185	239	113	48
411	6165	389	366	212	48
412	6180	432	426	291	48
413	6195	480	430	358	48
414	6210	693	601	478	49
415	6225	682	629	551	50
416	6240	602	616	569	51
417	6255	534	535	557	52
418	6270	504	508	538	54
419	6285	406	462	491	56
420	6300	401	445	459	58
421	6315	436	434	450	60
422	6330	347	444	413	62
423	6345	446	453	425	64
424	6360	415	433	421	66
425	6375	411	455	418	68
426	6390	445	505	435	69
427	6405	469	496	447	71
428	6420	443	499	446	72
429	6435	455	515	449	73
430	6450	514	515	472	74
431	6465	498	486	481	74
432	6480	422	467	460	75
433	6495	361	427	425	75
434	6510	449	417	433	76
435	6525	474	460	448	76
436	6540	463	450	453	76
437	6555	466	439	458	77
438	6570	453	425	456	77
439	6585	486	444	467	77
440	6600	431	394	454	77
441	6615	494	421	468	77
442	6630	528	421	490	77
443	6645	497	411	492	78
444	6660	412	356	464	78
445	6675	450	396	459	78
446	6690	441	413	452	78
447	6705	470	422	459	78
448	6720	438	411	451	78
449	6735	423	428	441	78
450	6750	393	394	424	78
451	6765	436	454	428	78
452	6780	402	439	419	78
453	6795	461	447	434	78
454	6810	413	432	426	78
455	6825	476	460	444	78
456	6840	348	448	410	78
457	6855	340	440	385	78
458	6870	373	443	381	77
459	6885	463	435	410	77
460	6900	400	408	406	77
461	6915	398	421	403	77
462	6930	374	407	393	77
463	6945	347	365	376	76
464	6960	294	356	347	76
465	6975	343	374	346	76
466	6990	274	314	320	76
467	7005	211	255	281	75
468	7020	185	278	247	75
469	7035	272	265	256	75
470	7050	243	246	251	74
471	7065	235	233	245	73
472	7080	231	224	240	73
473	7095	191	198	223	72
474	7110	190	194	211	71
475	7125	165	177	194	71
476	7140	160	161	182	70
477	7155	161	146	175	69
478	7170	135	117	160	68
479	7185	153	109	158	67
480	7200	133	100	149	67

481	7215	99	111	131	66
482	7230	104	96	121	65
483	7245	110	67	117	64
484	7260	93	69	109	63
485	7275	83	82	99	63
486	7290	72	84	90	62
487	7305	74	57	84	61
488	7320	49	43	71	60
489	7335	56	53	66	59
490	7350	42	46	57	59
491	7365	54	44	56	58
492	7380	49	40	54	57
493	7395	38	42	48	57
494	7410	23	19	39	56
495	7425	38	34	39	55
496	7440	25	16	34	55
497	7455	22	6	30	54
498	7470	36	31	32	53
499	7485	24	35	29	53
500	7500	35	44	31	52
501	7515	28	62	30	52
502	7530	43	60	35	51
503	7545	41	35	37	51
504	7560	54	48	43	51
505	7575	64	97	51	50
506	7590	76	107	60	50
507	7605	122	161	82	50
508	7620	193	175	122	50
509	7635	169	196	139	50
510	7650	240	318	175	50
511	7665	302	387	220	50
512	7680	454	453	304	50
513	7695	412	418	343	50
514	7710	405	431	365	51
515	7725	462	482	400	52
516	7740	508	523	439	53
517	7755	477	495	452	54
518	7770	513	492	474	55
519	7785	497	480	482	57
520	7800	447	469	470	58
521	7815	483	477	474	60
522	7830	506	500	486	62
523	7845	520	517	498	64
524	7860	472	535	489	65
525	7875	438	475	471	67
526	7890	496	516	480	68
527	7905	508	488	490	70
528	7920	494	522	491	71
529	7935	489	471	490	72
530	7950	484	474	488	73
531	7965	465	477	480	74
532	7980	531	481	498	75
533	7995	524	464	507	76
534	8010	555	453	524	77
535	8025	501	436	516	77
536	8040	514	435	515	78
537	8055	542	420	525	78
538	8070	476	410	507	79
539	8085	510	434	508	79
540	8100	488	429	501	80
541	8115	474	435	491	80
542	8130	473	467	485	80
543	8145	505	464	492	80
544	8160	465	475	482	80
545	8175	482	468	482	81
546	8190	419	420	460	81
547	8205	438	444	452	81
548	8220	466	442	457	81
549	8235	438	426	450	81
550	8250	431	410	443	80
551	8265	425	396	437	80
552	8280	439	421	438	80
553	8295	428	422	434	80
554	8310	397	425	421	80
555	8325	370	399	403	79
556	8340	391	415	398	79
557	8355	389	378	395	79
558	8370	405	352	399	79
559	8385	378	326	391	78
560	8400	374	325	385	78
561	8415	352	357	373	78
562	8430	305	287	349	77
563	8445	255	285	315	77
564	8460	273	250	300	76
565	8475	246	214	281	76
566	8490	227	184	261	75
567	8505	196	190	238	75
568	8520	219	178	231	74
569	8535	199	176	220	74
570	8550	193	163	210	73
571	8565	173	148	197	72
572	8580	179	159	190	71
573	8595	149	145	176	70
574	8610	131	112	160	69
575	8625	136	115	151	69
576	8640	122	80	141	68

577	8655	136	99	139	67
578	8670	105	88	127	66
579	8685	83	78	111	65
580	8700	71	71	97	64
581	8715	93	80	95	63
582	8730	81	73	90	62
583	8745	73	51	84	61
584	8760	48	61	71	60
585	8775	58	42	66	60
586	8790	60	59	64	59
587	8805	65	68	64	58
588	8820	48	84	59	57
589	8835	42	57	53	57
590	8850	33	39	46	56
591	8865	39	49	43	55
592	8880	48	64	45	55
593	8895	28	37	39	54
594	8910	36	53	38	54
595	8925	25	42	33	53
596	8940	29	38	32	53
597	8955	23	73	29	52
598	8970	22	99	26	52
599	8985	41	84	32	51
600	9000	38	53	34	51
601	9015	40	59	36	51
602	9030	69	61	48	50
603	9045	69	49	55	50
604	9060	95	68	70	50
605	9075	130	114	91	50
606	9090	226	165	140	49
607	9105	239	210	175	49
608	9120	251	259	202	49
609	9135	184	214	196	50
610	9150	192	216	194	50
611	9165	219	253	203	50
612	9180	271	308	228	51
613	9195	254	311	237	52
614	9210	227	316	233	52
615	9225	326	400	267	53
616	9240	331	384	290	54
617	9255	350	405	311	55
618	9270	368	412	332	56
619	9285	340	437	335	57
620	9300	403	433	359	58
621	9315	381	410	367	59
622	9330	415	439	384	60
623	9345	388	428	386	61
624	9360	433	472	403	62
625	9375	407	455	404	63
626	9390	441	476	417	64
627	9405	448	481	428	65
628	9420	431	493	429	66
629	9435	416	474	425	67
630	9450	442	484	431	68
631	9465	449	467	437	69
632	9480	419	449	431	70
633	9495	426	453	429	70
634	9510	431	437	430	71
635	9525	427	412	429	72
636	9540	463	447	441	72
637	9555	408	425	429	73
638	9570	411	431	423	73
639	9585	429	427	425	74
640	9600	396	402	415	74
641	9615	384	371	404	75
642	9630	361	371	388	75
643	9645	352	361	375	75
644	9660	352	366	367	75
645	9675	361	375	365	75
646	9690	353	361	361	75
647	9705	352	349	358	75
648	9720	357	368	357	75
649	9735	354	342	356	75
650	9750	305	313	338	75
651	9765	349	331	342	74
652	9780	363	356	349	74
653	9795	338	326	345	74
654	9810	345	287	345	74
655	9825	309	269	332	73
656	9840	313	276	325	73
657	9855	245	244	297	73
658	9870	201	227	262	72
659	9885	231	220	251	72
660	9900	191	210	230	72
661	9915	186	207	214	71
662	9930	176	181	200	71
663	9945	171	167	190	70
664	9960	164	160	181	70
665	9975	136	134	165	69
666	9990	128	147	152	68
667	10005	108	152	136	67
668	10020	91	129	120	67
669	10035	78	139	105	66
670	10050	77	118	95	65
671	10065	57	107	81	64
672	10080	57	83	73	63

673	10095	57	62	67	62
674	10110	35	58	56	61
675	10125	52	47	56	60
676	10140	26	50	44	59
677	10155	30	67	39	59
678	10170	30	38	36	58
679	10185	28	26	33	57
680	10200	21	34	29	56
681	10215	18	29	25	55
682	10230	22	27	24	54
683	10245	31	14	26	54
684	10260	21	42	24	53
685	10275	19	18	23	52
686	10290	11	30	18	52
687	10305	8	21	15	51
688	10320	6	-1	12	51
689	10335	7	11	10	50
690	10350	8	-2	9	50
691	10365	4	13	7	50
692	10380	23	16	13	49
693	10395	22	13	16	49
694	10410	38	47	24	49
695	10425	59	71	37	48
696	10440	78	74	51	48
697	10455	132	128	80	48
698	10470	214	172	128	48
699	10485	410	212	229	48
700	10500	443	226	306	48
701	10515	414	244	345	48
702	10530	655	321	456	49
703	10545	767	384	567	50
704	10560	590	387	575	51
705	10575	536	326	561	52
706	10590	651	343	593	54
707	10605	671	393	621	56
708	10620	662	421	636	58
709	10635	666	427	647	61
710	10650	558	400	615	63
711	10665	577	430	601	66
712	10680	467	367	553	68
713	10695	432	394	510	70
714	10710	389	387	467	72
715	10725	430	393	453	74
716	10740	473	402	460	76
717	10755	451	392	457	77
718	10770	500	394	472	78
719	10785	401	401	447	79
720	10800	443	425	445	80
721	10815	424	423	438	80
722	10830	417	415	430	80
723	10845	388	415	415	80
724	10860	414	429	415	80
725	10875	458	444	430	80
726	10890	421	425	427	80
727	10905	472	443	443	80
728	10920	464	439	451	79
729	10935	471	433	458	79
730	10950	416	419	443	79
731	10965	430	396	438	79
732	10980	455	424	444	78
733	10995	379	432	421	78
734	11010	417	431	419	78
735	11025	450	428	430	78
736	11040	372	417	409	78
737	11055	332	396	382	77
738	11070	365	392	376	77
739	11085	389	385	380	77
740	11100	447	388	404	77
741	11115	447	373	420	77
742	11130	385	362	407	76
743	11145	359	370	390	76
744	11160	456	405	414	76
745	11175	369	387	398	76
746	11190	416	372	404	75
747	11205	448	392	420	75
748	11220	401	373	413	75
749	11235	401	372	409	75
750	11250	393	307	403	75
751	11265	375	302	393	75
752	11280	368	297	384	75
753	11295	293	294	351	75
754	11310	242	235	312	75
755	11325	250	216	290	75
756	11340	217	222	264	74
757	11355	210	181	245	74
758	11370	180	156	221	74
759	11385	166	171	202	73
760	11400	154	135	185	73
761	11415	153	137	173	72
762	11430	140	132	161	71
763	11445	108	118	142	70
764	11460	127	115	137	70
765	11475	83	78	118	69
766	11490	78	65	103	68
767	11505	113	72	107	67
768	11520	84	46	99	65

769	11535	75	44	90	64
770	11550	58	32	79	63
771	11565	62	51	73	62
772	11580	54	26	66	61
773	11595	33	20	54	60
774	11610	44	20	51	59
775	11625	25	-5	41	58
776	11640	25	-27	36	57
777	11655	26	-35	32	57
778	11670	20	-23	28	56
779	11685	21	4	25	55
780	11700	22	14	24	54
781	11715	24	24	24	54
782	11730	11	25	19	53
783	11745	14	35	17	52
784	11760	8	20	14	52
785	11775	6	8	11	51
786	11790	5	-4	9	51
787	11805	9	-2	9	50
788	11820	17	32	12	50
789	11835	23	51	16	49
790	11850	23	53	18	49
791	11865	67	93	36	49
792	11880	82	110	52	49
793	11895	116	146	75	48
794	11910	220	217	127	48
795	11925	394	329	223	48
796	11940	450	388	304	48
797	11955	418	409	345	48
798	11970	736	564	485	49
799	11985	635	603	539	50
800	12000	436	558	502	51
801	12015	541	562	516	52
802	12030	472	496	500	54
803	12045	562	525	522	56
804	12060	431	507	490	58
805	12075	351	477	440	60
806	12090	485	480	456	62
807	12105	494	481	470	64
808	12120	407	447	447	66
809	12135	414	481	435	68
810	12150	414	454	428	69
811	12165	404	469	419	71
812	12180	447	499	429	72
813	12195	495	522	453	73
814	12210	446	510	450	74
815	12225	470	493	457	74
816	12240	436	502	450	75
817	12255	430	472	443	75
818	12270	434	453	440	76
819	12285	385	424	420	76
820	12300	332	436	388	76
821	12315	348	428	374	77
822	12330	402	447	384	77
823	12345	442	484	405	77
824	12360	434	494	415	77
825	12375	422	472	418	77
826	12390	441	473	426	76
827	12405	468	447	441	76
828	12420	357	450	411	76
829	12435	314	438	376	76
830	12450	376	458	376	76
831	12465	409	479	388	76
832	12480	382	456	386	76
833	12495	324	453	364	75
834	12510	317	453	347	75
835	12525	404	454	367	75
836	12540	447	448	396	75
837	12555	369	434	386	75
838	12570	369	415	380	74
839	12585	363	413	374	74
840	12600	364	438	370	74
841	12615	335	445	358	74
842	12630	253	402	320	74
843	12645	285	411	308	73
844	12660	341	404	320	73
845	12675	344	367	328	73
846	12690	349	326	336	73
847	12705	373	309	349	73
848	12720	296	264	330	72
849	12735	263	265	304	72
850	12750	229	198	278	72
851	12765	200	192	250	71
852	12780	209	183	236	71
853	12795	212	176	227	71
854	12810	178	155	210	70
855	12825	184	148	200	70
856	12840	165	151	188	69
857	12855	170	170	181	69
858	12870	174	136	179	68
859	12885	154	100	170	68
860	12900	153	81	164	67
861	12915	120	69	148	66
862	12930	122	62	139	65
863	12945	117	51	131	65
864	12960	80	17	113	64

865	12975	86	13	103	63
866	12990	62	16	88	62
867	13005	39	0	71	62
868	13020	46	5	62	61
869	13035	45	-25	56	60
870	13050	23	-11	44	59
871	13065	27	-13	38	59
872	13080	24	-21	33	58
873	13095	26	-35	30	57
874	13110	16	-20	25	56
875	13125	21	7	24	55
876	13140	31	12	26	55
877	13155	19	18	24	54
878	13170	9	15	18	53
879	13185	12	23	16	53
880	13200	9	14	14	52
881	13215	7	25	11	51
882	13230	8	7	10	51
883	13245	16	-3	12	50
884	13260	16	21	14	50
885	13275	19	40	16	50
886	13290	41	70	25	49
887	13305	49	94	33	49
888	13320	77	128	49	49
889	13335	144	162	83	48
890	13350	200	211	125	48
891	13365	414	315	229	48
892	13380	440	328	304	48
893	13395	449	383	356	48
894	13410	607	544	446	49
895	13425	640	607	516	50
896	13440	683	601	576	51
897	13455	504	566	550	52
898	13470	580	537	561	54
899	13485	532	526	550	56
900	13500	513	521	537	58
901	13515	593	536	557	60
902	13530	492	539	534	63
903	13545	426	506	495	65
904	13560	404	505	463	67
905	13575	457	491	461	69
906	13590	446	486	455	71
907	13605	379	426	428	72
908	13620	390	469	414	74
909	13635	448	448	426	75
910	13650	445	521	433	76
911	13665	436	499	434	76
912	13680	421	514	429	77
913	13695	343	465	398	77
914	13710	357	452	384	77
915	13725	404	479	391	78
916	13740	416	463	400	78
917	13755	349	451	382	77
918	13770	401	433	389	77
919	13785	389	428	389	77
920	13800	457	455	413	77
921	13815	421	429	416	77
922	13830	495	461	444	76
923	13845	442	435	443	76
924	13860	411	448	432	76
925	13875	436	474	433	76
926	13890	468	476	446	76
927	13905	411	485	433	76
928	13920	371	477	411	76
929	13935	393	497	405	76
930	13950	421	483	410	76
931	13965	447	472	424	76
932	13980	445	491	431	76
933	13995	357	459	405	76
934	14010	404	455	404	76
935	14025	415	466	408	76
936	14040	419	487	412	76
937	14055	352	436	391	76
938	14070	357	419	379	75
939	14085	373	438	377	75
940	14100	375	414	376	75
941	14115	367	394	373	75
942	14130	393	348	380	75
943	14145	385	325	382	75
944	14160	391	300	385	75
945	14175	268	281	343	75
946	14190	237	209	305	74
947	14205	245	181	284	74
948	14220	262	205	276	74
949	14235	234	178	261	74
950	14250	246	156	256	73
951	14265	202	139	236	73
952	14280	173	150	214	72
953	14295	185	125	203	72
954	14310	191	116	199	71
955	14325	198	125	199	70
956	14340	185	98	194	70
957	14355	139	85	174	69
958	14370	103	69	149	68
959	14385	143	65	147	67
960	14400	140	48	144	66

961	14415	100	43	128	66
962	14430	84	64	112	65
963	14445	79	28	100	64
964	14460	84	22	95	63
965	14475	72	22	86	62
966	14490	54	41	75	61
967	14505	47	5	65	61
968	14520	59	2	63	60
969	14535	46	0	57	59
970	14550	36	-8	49	58
971	14565	25	-9	41	57
972	14580	27	-2	36	57
973	14595	18	12	29	56
974	14610	24	6	27	55
975	14625	17	16	24	55
976	14640	23	-27	23	54
977	14655	12	-19	19	53
978	14670	11	-2	16	53
979	14685	10	25	14	52
980	14700	21	23	17	52
981	14715	22	51	19	51
982	14730	26	55	21	51
983	14745	44	79	29	50
984	14760	86	94	50	50
985	14775	104	134	69	49
986	14790	173	231	106	49
987	14805	339	343	190	49
988	14820	363	362	252	49
989	14835	368	395	293	49
990	14850	586	509	398	49
991	14865	636	566	483	50
992	14880	657	558	546	51
993	14895	529	500	540	52
994	14910	588	532	557	53
995	14925	567	489	561	55
996	14940	653	505	594	57
997	14955	610	518	600	59
998	14970	514	473	569	61
999	14985	493	485	542	64
1000	15000	436	465	504	66
1001	15015	439	453	481	68
1002	15030	412	455	456	70
1003	15045	441	444	451	72
1004	15060	363	446	419	73
1005	15075	381	466	406	75
1006	15090	427	498	413	76
1007	15105	463	505	431	77
1008	15120	409	510	423	77
1009	15135	429	472	425	78
1010	15150	407	465	419	78
1011	15165	426	441	421	78
1012	15180	377	420	405	78
1013	15195	422	430	411	78
1014	15210	444	411	423	78
1015	15225	426	388	424	78
1016	15240	469	391	440	78
1017	15255	425	415	435	77
1018	15270	461	425	444	77
1019	15285	468	419	453	77
1020	15300	436	437	447	77
1021	15315	425	444	439	77
1022	15330	434	428	437	77
1023	15345	434	449	436	77
1024	15360	399	455	423	77
1025	15375	417	468	421	77
1026	15390	393	456	411	77
1027	15405	345	471	387	77
1028	15420	381	458	385	76
1029	15435	395	443	389	76
1030	15450	394	452	391	76
1031	15465	378	436	386	76
1032	15480	391	458	388	76
1033	15495	368	438	381	76
1034	15510	374	394	378	76
1035	15525	364	399	373	75
1036	15540	357	407	367	75
1037	15555	367	396	367	75
1038	15570	322	352	351	75
1039	15585	382	330	362	74
1040	15600	348	313	357	74
1041	15615	243	277	316	74
1042	15630	255	222	294	74
1043	15645	262	223	283	73
1044	15660	263	231	276	73
1045	15675	266	186	272	73
1046	15690	245	171	262	72
1047	15705	212	139	244	72
1048	15720	227	164	238	71
1049	15735	211	133	228	71
1050	15750	209	149	221	70
1051	15765	161	148	200	70
1052	15780	159	134	185	69
1053	15795	151	105	173	68
1054	15810	148	83	164	68
1055	15825	153	79	160	67
1056	15840	139	59	153	66

1057	15855	142	64	149	66
1058	15870	131	64	142	65
1059	15885	132	52	139	64
1060	15900	118	36	131	63
1061	15915	110	44	124	63
1062	15930	107	26	118	62
1063	15945	105	32	113	61
1064	15960	101	31	109	61
1065	15975	80	28	98	60
1066	15990	78	25	91	59
1067	16005	86	42	89	59
1068	16020	80	58	86	58
1069	16035	67	21	79	58
1070	16050	56	35	71	57
1071	16065	45	34	62	57
1072	16080	47	18	56	56
1073	16095	53	-6	55	56
1074	16110	46	22	52	55
1075	16125	38	24	47	55
1076	16140	37	36	43	54
1077	16155	30	42	39	54
1078	16170	29	72	35	53
1079	16185	41	104	37	53
1080	16200	53	138	43	52
1081	16215	64	187	50	52
1082	16230	53	240	51	52
1083	16245	83	301	63	51
1084	16260	108	325	79	51
1085	16275	101	366	87	51
1086	16290	117	446	98	51
1087	16305	151	479	117	50
1088	16320	205	511	148	50
1089	16335	202	476	168	50
1090	16350	228	484	189	51
1091	16365	196	509	192	51
1092	16380	245	477	211	51
1093	16395	270	472	232	52
1094	16410	263	472	243	52
1095	16425	297	474	262	53
1096	16440	342	462	291	53
1097	16455	374	470	321	54
1098	16470	351	482	332	55
1099	16485	395	488	354	56
1100	16500	445	524	387	57
1101	16515	409	480	395	58
1102	16530	413	507	401	59
1103	16545	396	478	399	60
1104	16560	361	487	386	61
1105	16575	355	471	375	62
1106	16590	347	455	365	64
1107	16605	367	449	366	65
1108	16620	359	460	363	66
1109	16635	386	446	371	67
1110	16650	357	446	366	67
1111	16665	392	409	375	68
1112	16680	386	434	379	69
1113	16695	398	419	386	69
1114	16710	357	383	376	70
1115	16725	395	399	383	70
1116	16740	409	412	392	71
1117	16755	396	393	393	71
1118	16770	394	408	394	71
1119	16785	351	403	378	72
1120	16800	335	402	363	72
1121	16815	329	423	351	72
1122	16830	306	414	335	72
1123	16845	343	428	338	72
1124	16860	310	454	328	72
1125	16875	334	459	330	72
1126	16890	305	424	321	72
1127	16905	319	426	320	72
1128	16920	312	433	317	72
1129	16935	342	449	326	72
1130	16950	373	416	343	72
1131	16965	341	439	342	71
1132	16980	344	409	343	71
1133	16995	327	392	337	71
1134	17010	334	370	336	71
1135	17025	327	354	333	71
1136	17040	353	354	340	71
1137	17055	253	323	309	70
1138	17070	256	303	290	70
1139	17085	208	279	261	70
1140	17100	225	277	248	70
1141	17115	188	263	226	70
1142	17130	161	202	203	70
1143	17145	175	211	193	69
1144	17160	163	198	182	69
1145	17175	132	170	164	68
1146	17190	132	165	153	68
1147	17205	182	179	163	67
1148	17220	124	167	149	67
1149	17235	113	163	136	66
1150	17250	87	140	119	65
1151	17265	99	161	112	64
1152	17280	89	121	103	64

1153	17295	77	101	94	63
1154	17310	95	96	94	62
1155	17325	57	74	81	61
1156	17340	57	52	72	60
1157	17355	41	46	61	60
1158	17370	40	33	54	59
1159	17385	34	36	47	58
1160	17400	39	25	44	57
1161	17415	40	41	42	57
1162	17430	28	20	37	56
1163	17445	40	37	38	55
1164	17460	54	36	44	55
1165	17475	28	-2	38	54
1166	17490	28	4	35	53
1167	17505	18	-13	29	53
1168	17520	21	-4	26	52
1169	17535	16	-21	22	52
1170	17550	11	-24	18	51
1171	17565	17	-12	18	51
1172	17580	26	11	21	51
1173	17595	24	49	22	50
1174	17610	16	59	20	50
1175	17625	32	61	24	50
1176	17640	53	101	35	49
1177	17655	48	123	39	49
1178	17670	60	137	47	49
1179	17685	79	185	58	49
1180	17700	113	243	78	49
1181	17715	115	255	91	48
1182	17730	148	353	112	48
1183	17745	216	440	149	49
1184	17760	312	480	207	49
1185	17775	303	444	242	49
1186	17790	316	443	268	49
1187	17805	370	482	305	50
1188	17820	437	487	352	51
1189	17835	347	458	350	51
1190	17850	369	446	357	52
1191	17865	448	490	390	54
1192	17880	458	458	414	55
1193	17895	447	478	426	56
1194	17910	414	490	422	58
1195	17925	463	524	436	59
1196	17940	462	514	446	61
1197	17955	460	502	451	62
1198	17970	521	529	476	64
1199	17985	445	520	465	65
1200	18000	481	498	471	67
1201	18015	488	473	477	68
1202	18030	444	473	466	69
1203	18045	444	464	458	70
1204	18060	436	478	450	71
1205	18075	445	486	448	72
1206	18090	465	445	454	73
1207	18105	450	471	453	74
1208	18120	466	456	457	75
1209	18135	446	481	453	75
1210	18150	427	484	444	76
1211	18165	463	500	451	76
1212	18180	449	512	450	77
1213	18195	460	498	454	77
1214	18210	407	486	437	77
1215	18225	382	504	417	77
1216	18240	406	490	413	77
1217	18255	376	467	400	77
1218	18270	385	440	395	77
1219	18285	399	433	396	77
1220	18300	372	418	388	77
1221	18315	385	407	387	77
1222	18330	341	414	370	77
1223	18345	367	417	369	77
1224	18360	402	443	381	76
1225	18375	353	432	371	76
1226	18390	390	439	378	76
1227	18405	359	427	371	76
1228	18420	357	420	366	75
1229	18435	355	366	362	75
1230	18450	348	335	357	75
1231	18465	363	317	359	74
1232	18480	342	326	353	74
1233	18495	255	295	318	74
1234	18510	263	244	298	73
1235	18525	238	254	277	73
1236	18540	221	270	257	73
1237	18555	193	263	234	73
1238	18570	172	219	212	72
1239	18585	173	214	198	72
1240	18600	155	189	183	71
1241	18615	144	167	169	70
1242	18630	141	160	159	70
1243	18645	132	157	149	69
1244	18660	127	160	141	68
1245	18675	107	144	129	67
1246	18690	87	128	114	66
1247	18705	96	111	108	65
1248	18720	128	104	115	64

1249	18735	116	81	115	64
1250	18750	107	86	112	63
1251	18765	88	90	104	62
1252	18780	64	80	89	61
1253	18795	66	74	81	60
1254	18810	54	72	71	59
1255	18825	59	60	67	59
1256	18840	73	59	69	58
1257	18855	46	55	61	57
1258	18870	58	43	60	56
1259	18885	32	50	50	56
1260	18900	51	47	50	55
1261	18915	30	37	43	55
1262	18930	24	28	36	54
1263	18945	24	31	32	54
1264	18960	22	11	28	53
1265	18975	31	12	29	53
1266	18990	20	31	26	52
1267	19005	26	39	26	52
1268	19020	17	48	23	51
1269	19035	22	76	22	51
1270	19050	18	99	21	51
1271	19065	16	93	19	50
1272	19080	34	92	24	50
1273	19095	42	93	31	50
1274	19110	32	93	31	49
1275	19125	66	124	44	49
1276	19140	85	154	58	49
1277	19155	81	150	67	49
1278	19170	73	190	69	49
1279	19185	112	234	84	49
1280	19200	171	265	115	49
1281	19215	140	233	124	49
1282	19230	157	241	136	49
1283	19245	149	277	141	49
1284	19260	236	341	175	49
1285	19275	225	330	193	50
1286	19290	220	355	203	50
1287	19305	270	401	227	51
1288	19320	309	402	256	51
1289	19335	322	414	280	52
1290	19350	321	431	295	53
1291	19365	354	461	316	54
1292	19380	371	490	336	54
1293	19395	346	449	339	55
1294	19410	365	486	369	57
1295	19425	375	491	358	58
1296	19440	387	496	368	59
1297	19455	423	471	388	60
1298	19470	384	475	387	61
1299	19485	379	485	384	62
1300	19500	391	501	386	63
1301	19515	383	499	385	64
1302	19530	374	494	381	65
1303	19545	370	494	377	66
1304	19560	412	503	390	67
1305	19575	385	492	388	68
1306	19590	393	464	390	69
1307	19605	385	457	388	69
1308	19620	415	465	398	70
1309	19635	404	430	400	70
1310	19650	361	435	386	71
1311	19665	374	442	382	71
1312	19680	367	445	376	72
1313	19695	342	426	364	72
1314	19710	338	389	355	72
1315	19725	313	388	340	72
1316	19740	335	371	338	73
1317	19755	334	371	337	73
1318	19770	303	318	325	73
1319	19785	302	326	316	73
1320	19800	289	321	307	72
1321	19815	318	340	311	72
1322	19830	313	312	312	72
1323	19845	299	339	307	72
1324	19860	288	337	300	72
1325	19875	261	310	286	71
1326	19890	261	268	277	71
1327	19905	255	273	269	71
1328	19920	221	268	252	70
1329	19935	183	267	227	70
1330	19950	174	244	208	70
1331	19965	148	243	187	69
1332	19980	158	232	176	69
1333	19995	143	208	164	68
1334	20010	132	178	153	67
1335	20025	133	176	146	67
1336	20040	118	148	136	66
1337	20055	107	131	125	65
1338	20070	100	131	116	65
1339	20085	81	119	104	64
1340	20100	77	112	94	63
1341	20115	63	111	83	62
1342	20130	59	114	74	62
1343	20145	63	86	70	61
1344	20160	61	70	67	60

1345	20175	42	51	58	59
1346	20190	36	46	50	58
1347	20205	48	35	49	58
1348	20220	30	17	42	57
1349	20235	23	28	35	56
1350	20250	27	27	32	55
1351	20265	29	18	31	55
1352	20280	29	17	30	54
1353	20295	15	27	25	53
1354	20310	22	10	24	53
1355	20325	16	21	21	52
1356	20340	38	21	27	52
1357	20355	18	5	24	51
1358	20370	11	5	19	51
1359	20385	16	28	18	50
1360	20400	12	35	16	50
1361	20415	12	-10	15	50
1362	20430	17	22	15	49
1363	20445	14	45	15	49
1364	20460	17	61	16	49
1365	20475	21	64	18	49
1366	20490	43	73	27	48
1367	20505	40	113	31	48
1368	20520	86	120	51	48
1369	20535	130	138	79	48
1370	20550	218	174	129	48
1371	20565	401	214	226	48
1372	20580	419	248	295	48
1373	20595	389	271	329	48
1374	20610	632	387	438	49
1375	20625	656	417	516	50
1376	20640	741	442	596	51
1377	20655	631	353	609	52
1378	20670	626	350	615	54
1379	20685	654	366	629	56
1380	20700	727	385	664	58
1381	20715	670	400	666	61
1382	20730	463	362	603	63
1383	20745	491	376	564	66
1384	20760	492	396	545	68
1385	20775	512	389	491	70
1386	20790	395	389	467	72
1387	20805	423	403	443	74
1388	20820	401	412	439	76
1389	20835	430	397	443	77
1390	20850	451	413	428	78
1391	20865	401	411	429	79
1392	20880	431	444	430	80
1393	20895	431	419	423	80
1394	20910	410	455	415	80
1395	20925	401	453	420	80
1396	20940	428	436	411	80
1397	20955	395	438	427	80
1398	20970	456	469	427	79
1399	20985	428	457	434	79
1400	21000	446	475	427	79
1401	21015	413	461	436	78
1402	21030	452	488	435	78
1403	21045	435	469	438	78
1404	21060	443	470	436	78
1405	21075	433	457	429	77
1406	21090	416	475	423	77
1407	21105	411	447	422	77
1408	21120	422	456	430	77
1409	21135	444	458	414	77
1410	21150	386	431	405	77
1411	21165	389	412	400	77
1412	21180	391	404	410	76
1413	21195	428	398	409	76
1414	21210	408	373	398	76
1415	21225	379	368	383	76
1416	21240	355	379	369	76
1417	21255	343	356	350	76
1418	21270	317	349	358	76
1419	21285	372	395	356	75
1420	21300	353	375	357	75
1421	21315	359	333	347	75
1422	21330	329	318	338	75
1423	21345	321	264	321	74
1424	21360	291	268	284	74
1425	21375	217	246	258	74
1426	21390	213	205	235	73
1427	21405	193	224	223	73
1428	21420	201	189	199	72
1429	21435	156	182	188	72
1430	21450	168	165	170	71
1431	21465	138	153	152	70
1432	21480	120	146	145	69
1433	21495	131	138	133	69
1434	21510	113	124	117	68
1435	21525	89	109	106	67
1436	21540	85	77	94	66
1437	21555	73	72	81	65
1438	21570	59	48	73	64
1439	21585	57	43	66	63
1440	21600	54	30	64	62

1441	21615	60	12	57	61
1442	21630	44	-15	45	60
1443	21645	23	11	36	59
1444	21660	21	-1	30	58
1445	21675	18	-9	27	57
1446	21690	22	-8	20	56
1447	21705	7	6	18	55
1448	21720	16	-16	16	54
1449	21735	12	-16	13	54
1450	21750	8	-38	16	53
1451	21765	21	13	15	52
1452	21780	14	11	13	52
1453	21795	10	-11	11	51
1454	21810	6	-9	11	51
1455	21825	12	12	10	50
1456	21840	9	0	7	50
1457	21855	2	-2	8	49
1458	21870	8	-5	10	49
1459	21885	13	16	13	49
1460	21900	20	23	16	48
1461	21915	20	47	22	48
1462	21930	32	58	32	48
1463	21945	50	99	52	48
1464	21960	87	96	71	48
1465	21975	105	150	121	47
1466	21990	211	233	226	47
1467	22005	413	361	300	48
1468	22020	434	398	348	48
1469	22035	434	441	453	49
1470	22050	640	555	530	49
1471	22065	668	632	573	50
1472	22080	649	620	585	52
1473	22095	608	573	603	54
1474	22110	635	542	590	56
1475	22125	567	499	595	58
1476	22140	603	535	606	60
1477	22155	625	542	576	63
1478	22170	523	507	548	65
1479	22185	499	510	507	67
1480	22200	434	492	501	70
1481	22215	490	480	472	72
1482	22230	421	469	466	73
1483	22245	454	477	435	75
1484	22260	379	467	439	76
1485	22275	447	469	446	77
1486	22290	458	480	452	78
1487	22305	464	489	421	79
1488	22320	366	494	422	79
1489	22335	422	478	427	79
1490	22350	436	474	422	79
1491	22365	414	468	435	79
1492	22380	458	455	427	79
1493	22395	413	455	423	79
1494	22410	415	465	441	79
1495	22425	474	464	453	79
1496	22440	475	445	462	78
1497	22455	477	460	452	78
1498	22470	435	461	451	78
1499	22485	450	460	442	78
1500	22500	426	471	430	78
1501	22515	408	469	427	78
1502	22530	422	461	403	77
1503	22545	360	469	408	77
1504	22560	418	468	408	77
1505	22575	407	453	397	77
1506	22590	377	471	402	77
1507	22605	411	490	404	77
1508	22620	409	485	401	77
1509	22635	396	455	384	76
1510	22650	354	462	386	76
1511	22665	390	444	381	76
1512	22680	372	463	371	76
1513	22695	354	444	390	76
1514	22710	424	428	388	75
1515	22725	383	429	401	75
1516	22740	424	416	393	75
1517	22755	379	373	391	75
1518	22770	387	337	374	75
1519	22785	344	312	349	74
1520	22800	305	286	303	74
1521	22815	220	264	265	74
1522	22830	197	216	250	74
1523	22845	222	195	226	73
1524	22860	185	201	205	73
1525	22875	166	172	190	73
1526	22890	164	149	179	72
1527	22905	159	148	164	71
1528	22920	137	151	150	71
1529	22935	125	128	136	70
1530	22950	110	106	124	69
1531	22965	103	91	111	68
1532	22980	87	91	96	67
1533	22995	71	65	85	66
1534	23010	64	60	75	65
1535	23025	58	51	67	64
1536	23040	51	40	59	62

1537	23055	46	13	51	61
1538	23070	36	8	44	60
1539	23085	31	13	40	59
1540	23100	34	21	34	58
1541	23115	24	21	30	57
1542	23130	22	9	27	56
1543	23145	21	2	24	56
1544	23160	19	7	19	55
1545	23175	11	-1	16	54
1546	23190	11	6	19	53
1547	23205	24	7	19	53
1548	23220	18	17	18	52
1549	23235	18	3	17	51
1550	23250	14	2	13	51
1551	23265	6	7	10	50
1552	23280	6	5	10	50
1553	23295	9	6	14	49
1554	23310	20	15	11	49
1555	23325	6	8	12	49
1556	23340	15	2	15	48
1557	23355	20	47	23	48
1558	23370	37	60	31	48
1559	23385	45	100	52	48
1560	23400	90	125	74	48
1561	23415	113	196	122	48
1562	23430	208	263	212	48
1563	23445	374	344	290	48
1564	23460	430	398	316	48
1565	23475	362	418	446	49
1566	23490	679	542	508	49
1567	23505	618	594	570	50
1568	23520	682	604	586	52
1569	23535	615	550	588	56
1570	23550	592	531	602	56
1571	23565	627	560	597	58
1572	23580	588	544	571	60
1573	23595	525	560	510	62
1574	23610	400	506	497	65
1575	23625	473	526	468	67
1576	23640	418	503	457	69
1577	23655	436	500	447	71
1578	23670	428	504	451	73
1579	23685	459	535	446	74
1580	23700	437	510	440	75
1581	23715	429	518	421	76
1582	23730	388	516	422	77
1583	23745	422	538	406	77
1584	23760	378	528	416	78
1585	23775	435	505	419	78
1586	23790	425	479	421	78
1587	23805	424	458	431	78
1588	23820	448	460	421	78
1589	23835	403	462	429	78
1590	23850	443	474	441	78
1591	23865	462	445	450	78
1592	23880	467	471	476	77
1593	23895	522	466	479	77
1594	23910	486	468	478	77
1595	23925	474	480	469	77
1596	23940	455	484	453	77
1597	23955	423	479	450	77
1598	23970	444	475	444	77
1599	23985	434	482	428	77
1600	24000	399	452	430	77
1601	24015	435	458	417	77
1602	24030	392	447	423	77
1603	24045	434	478	432	77
1604	24060	449	488	432	77
1605	24075	431	467	430	77
1606	24090	427	475	410	77
1607	24105	373	456	392	77
1608	24120	361	466	366	77
1609	24135	319	437	352	77
1610	24150	327	395	330	77
1611	24165	291	415	337	76
1612	24180	350	399	331	76
1613	24195	320	359	336	76
1614	24210	344	315	342	75
1615	24225	352	294	333	75
1616	24240	319	295	295	74
1617	24255	226	272	279	74
1618	24270	249	241	256	74
1619	24285	215	232	242	73
1620	24300	216	230	229	72
1621	24315	207	188	214	72
1622	24330	187	175	190	71
1623	24345	146	173	179	71
1624	24360	160	166	156	70
1625	24375	115	165	152	69
1626	24390	145	152	145	68
1627	24405	131	133	141	67
1628	24420	134	115	126	66
1629	24435	100	103	113	66
1630	24450	89	90	96	65
1631	24465	66	86	92	64
1632	24480	85	72	86	63

1633	24495	76	70	78	62
1634	24510	64	51	61	61
1635	24525	29	35	58	60
1636	24540	54	39	50	59
1637	24555	36	32	42	58
1638	24570	26	31	39	58
1639	24585	34	26	36	57
1640	24600	30	4	33	56
1641	24615	27	6	34	55
1642	24630	36	10	30	55
1643	24645	24	20	26	54
1644	24660	18	28	26	53
1645	24675	26	4	25	53
1646	24690	22	20	23	52
1647	24705	20	35	19	51
1648	24720	13	16	16	51
1649	24735	11	9	13	51
1650	24750	8	2	13	50
1651	24765	11	-28	14	50
1652	24780	17	-14	15	49
1653	24795	17	24	18	49
1654	24810	23	57	28	49
1655	24825	45	101	51	49
1656	24840	92	137	68	48
1657	24855	100	210	118	48
1658	24870	208	268	214	48
1659	24885	384	362	279	48
1660	24900	397	410	350	48
1661	24915	476	452	471	49
1662	24930	687	537	522	50
1663	24945	614	581	582	51
1664	24960	690	593	595	52
1665	24975	617	532	618	54
1666	24990	659	534	623	56
1667	25005	632	527	616	58
1668	25020	603	497	582	60
1669	25035	521	483	560	63
1670	25050	465	473	502	65
1671	25065	434	491	479	68
1672	25080	438	492	455	70
1673	25095	411	498	453	72
1674	25110	450	486	435	73
1675	25125	403	501	449	75
1676	25140	475	532	440	76
1677	25155	424	485	454	77
1678	25170	479	516	466	78
1679	25185	487	502	453	78
1680	25200	430	521	442	78
1681	25215	423	516	432	79
1682	25230	413	489	417	79
1683	25245	391	493	412	79
1684	25260	404	467	426	79
1685	25275	449	465	430	79
1686	25290	437	463	406	79
1687	25305	363	434	411	78
1688	25320	419	413	428	78
1689	25335	460	412	459	78
1690	25350	515	425	473	78
1691	25365	498	411	474	78
1692	25380	476	419	458	77
1693	25395	428	406	453	77
1694	25410	444	437	432	77
1695	25425	396	440	437	77
1696	25440	444	446	427	77
1697	25455	409	443	407	77
1698	25470	373	445	416	77
1699	25485	430	468	417	77
1700	25500	421	477	408	77
1701	25515	392	467	415	77
1702	25530	428	439	399	77
1703	25545	369	434	394	77
1704	25560	386	417	403	77
1705	25575	419	412	400	76
1706	25590	395	410	392	76
1707	25605	377	401	404	76
1708	25620	427	401	387	76
1709	25635	357	391	385	76
1710	25650	380	348	378	75
1711	25665	367	336	358	75
1712	25680	321	320	326	75
1713	25695	270	275	302	75
1714	25710	257	251	283	75
1715	25725	249	242	258	74
1716	25740	214	233	235	74
1717	25755	194	211	221	73
1718	25770	197	177	196	73
1719	25785	151	172	182	72
1720	25800	156	172	174	72
1721	25815	159	169	168	71
1722	25830	158	170	157	70
1723	25845	138	162	150	69
1724	25860	138	136	136	68
1725	25875	109	118	129	67
1726	25890	116	109	134	66
1727	25905	143	95	138	65
1728	25920	147	71	127	64

1729	25935	107	56	114	63
1730	25950	91	56	96	62
1731	25965	62	48	87	62
1732	25980	73	41	71	61
1733	25995	41	46	56	60
1734	26010	29	45	48	59
1735	26025	33	21	46	58
1736	26040	42	25	38	58
1737	26055	24	40	34	57
1738	26070	28	13	38	56
1739	26085	45	25	40	55
1740	26100	44	22	31	55
1741	26115	15	20	28	54
1742	26130	22	23	24	53
1743	26145	18	20	17	53
1744	26160	5	15	17	52
1745	26175	17	20	15	52
1746	26190	12	11	16	51
1747	26205	16	31	16	51
1748	26220	17	54	17	50
1749	26235	18	71	21	50
1750	26250	29	84	29	50
1751	26265	43	101	57	49
1752	26280	108	149	94	49
1753	26295	159	194	128	49
1754	26310	190	261	186	49
1755	26325	289	344	245	49
1756	26340	351	395	303	49
1757	26355	406	445	444	49
1758	26370	697	559	508	50
1759	26385	623	575	581	51
1760	26400	711	578	585	52
1761	26415	592	528	604	54
1762	26430	638	516	603	56
1763	26445	601	500	598	58
1764	26460	590	476	546	60
1765	26475	453	444	528	62
1766	26490	495	454	504	65
1767	26505	460	451	456	67
1768	26520	372	468	435	69
1769	26535	398	476	421	71
1770	26550	395	469	405	72
1771	26565	375	481	399	74
1772	26580	389	490	408	75
1773	26595	425	482	432	76
1774	26610	475	500	432	76
1775	26625	433	509	425	77
1776	26640	411	521	415	77
1777	26655	398	483	402	77
1778	26670	377	487	408	77
1779	26685	419	509	391	77
1780	26700	361	495	388	77
1781	26715	383	499	418	77
1782	26730	471	501	425	77
1783	26745	439	476	424	77
1784	26760	421	466	437	77
1785	26775	460	486	455	76
1786	26790	488	453	445	76
1787	26805	428	455	390	76
1788	26820	290	439	365	76
1789	26835	320	429	386	76
1790	26850	424	463	390	76
1791	26865	398	434	424	76
1792	26880	483	444	423	76
1793	26895	421	433	437	75
1794	26910	464	450	439	75
1795	26925	441	444	443	75
1796	26940	452	462	443	75
1797	26955	443	460	432	75
1798	26970	413	445	430	75
1799	26985	425	441	425	75
1800	27000	417	443	395	75
1801	27015	342	425	381	75
1802	27030	354	396	376	76
1803	27045	368	423	366	76
1804	27060	349	389	377	75
1805	27075	397	393	380	75
1806	27090	385	347	392	75
1807	27105	414	350	379	75
1808	27120	354	342	347	75
1809	27135	290	336	320	75
1810	27150	272	297	294	75
1811	27165	248	285	289	74
1812	27180	280	291	282	74
1813	27195	270	271	262	74
1814	27210	225	230	251	73
1815	27225	233	201	240	73
1816	27240	220	180	209	72
1817	27255	153	145	191	71
1818	27270	159	160	178	71
1819	27285	154	163	176	70
1820	27300	172	155	161	69
1821	27315	136	127	144	69
1822	27330	113	119	130	68
1823	27345	105	127	121	67
1824	27360	105	113	108	66

1825	27375	85	103	98	65
1826	27390	81	76	93	64
1827	27405	84	66	92	63
1828	27420	91	57	82	62
1829	27435	64	62	75	61
1830	27450	62	67	62	60
1831	27465	40	43	60	59
1832	27480	55	46	57	59
1833	27495	52	49	52	58
1834	27510	42	52	46	57
1835	27525	36	61	42	56
1836	27540	35	54	38	56
1837	27555	32	46	40	55
1838	27570	42	25	33	54
1839	27585	20	21	30	54
1840	27600	26	20	31	53
1841	27615	31	10	27	52
1842	27630	21	18	27	52
1843	27645	27	22	27	51
1844	27660	28	32	27	51
1845	27675	25	54	24	51
1846	27690	20	45	28	50
1847	27705	34	42	37	50
1848	27720	54	49	45	50
1849	27735	60	84	54	49
1850	27750	69	122	71	49
1851	27765	103	162	92	49
1852	27780	130	217	109	49
1853	27795	139	254	145	49
1854	27810	210	320	195	49
1855	27825	283	403	292	49
1856	27840	467	447	342	50
1857	27855	432	424	378	50
1858	27870	443	445	396	51
1859	27885	428	456	435	52
1860	27900	505	485	464	53
1861	27915	515	472	460	54
1862	27930	453	480	462	56
1863	27945	467	538	448	58
1864	27960	423	507	441	59
1865	27975	429	526	454	61
1866	27990	477	545	444	63
1867	28005	426	563	447	64
1868	28020	453	951	448	66
1869	28035	449	517	470	68
1870	28050	510	557	487	69
1871	28065	518	525	479	70
1872	28080	464	521	450	71
1873	28095	397	485	463	72
1874	28110	488	513	471	73
1875	28125	486	502	456	74
1876	28140	428	497	452	75
1877	28155	446	509	445	75
1878	28170	433	522	452	76
1879	28185	465	525	460	76
1880	28200	474	510	469	77
1881	28215	486	497	478	77
1882	28230	494	513	484	77
1883	28245	493	509	493	77
1884	28260	511	512	496	78
1885	28275	501	495	482	78
1886	28290	457	472	476	78
1887	28305	464	469	481	78
1888	28320	491	466	472	78
1889	28335	457	461	454	79
1890	28350	422	458	455	79
1891	28365	456	453	461	79
1892	28380	472	423	452	79
1893	28395	437	419	461	79
1894	28410	476	405	448	79
1895	28425	424	407	427	79
1896	28440	390	403	404	79
1897	28455	362	410	386	79
1898	28470	353	402	385	79
1899	28485	385	406	396	78
1900	28500	415	412	393	78
1901	28515	389	374	397	78
1902	28530	403	336	398	78
1903	28545	399	323	363	77
1904	28560	302	306	336	77
1905	28575	288	310	305	77
1906	28590	249	294	280	76
1907	28605	234	288	271	76
1908	28620	256	276	251	75
1909	28635	214	256	235	75
1910	28650	207	228	220	74
1911	28665	193	187	207	73
1912	28680	183	160	199	73
1913	28695	185	163	186	72
1914	28710	162	155	175	71
1915	28725	157	148	179	70
1916	28740	185	153	162	69
1917	28755	132	155	152	68
1918	28770	135	135	136	67
1919	28785	107	132	130	66
1920	28800	118	125	116	65

1921	28815	91	100	110	64
1922	28830	100	88	103	63
1923	28845	90	62	94	63
1924	28860	78	73	88	62
1925	28875	78	81	76	61
1926	28890	55	47	70	60
1927	28905	58	52	70	59
1928	28920	69	56	59	58
1929	28935	41	29	53	58
1930	28950	42	26	57	57
1931	28965	65	32	54	56
1932	28980	48	48	50	56
1933	28995	44	40	50	55
1934	29010	48	37	45	54
1935	29025	36	50	35	54
1936	29040	17	14	31	53
1937	29055	25	6	32	53
1938	29070	34	8	32	52
1939	29085	31	23	29	52
1940	29100	23	42	24	51
1941	29115	16	78	28	51
1942	29130	34	70	30	51
1943	29145	33	79	30	50
1944	29160	30	73	31	50
1945	29175	33	116	37	50
1946	29190	47	128	44	50
1947	29205	56	145	61	49
1948	29220	92	169	71	49
1949	29235	89	189	77	49
1950	29250	88	249	96	49
1951	29265	131	296	142	49
1952	29280	224	313	148	49
1953	29295	158	296	160	49
1954	29310	182	281	202	49
1955	29325	277	333	239	50
1956	29340	304	358	248	50
1957	29355	266	369	254	51
1958	29370	265	385	281	52
1959	29385	328	427	289	52
1960	29400	304	433	307	53
1961	29415	339	445	314	54
1962	29430	327	451	330	55
1963	29445	359	461	354	56
1964	29460	397	453	359	57
1965	29475	367	426	387	59
1966	29490	438	476	376	60
1967	29505	355	459	390	61
1968	29520	415	456	388	62
1969	29535	386	455	394	63
1970	29550	403	490	396	64
1971	29565	400	485	398	65
1972	29580	403	491	398	66
1973	29595	398	493	394	67
1974	29610	386	500	389	68
1975	29625	381	498	385	69
1976	29640	377	514	391	69
1977	29655	402	502	396	70
1978	29670	406	505	411	71
1979	29685	438	492	427	71
1980	29700	454	530	421	72
1981	29715	411	498	412	72
1982	29730	397	491	402	72
1983	29745	382	490	404	73
1984	29760	408	474	391	73
1985	29775	368	436	380	73
1986	29790	361	414	366	73
1987	29805	341	424	366	74
1988	29820	365	418	352	74
1989	29835	327	409	347	74
1990	29850	338	396	339	74
1991	29865	325	374	335	74
1992	29880	328	385	333	74
1993	29895	329	386	326	73
1994	29910	314	363	334	73
1995	29925	347	388	329	73
1996	29940	321	394	323	73
1997	29955	313	335	324	72
1998	29970	325	304	319	72
1999	29985	309	271	310	72
2000	30000	295	274	270	72
2001	30015	199	244	244	71
2002	30030	198	237	235	71
2003	30045	218	238	214	71
2004	30060	176	230	197	70
2005	30075	167	225	173	70
2006	30090	131	207	161	69
2007	30105	139	200	147	68
2008	30120	121	179	136	68
2009	30135	117	170	130	67
2010	30150	119	167	118	66
2011	30165	97	139	105	65
2012	30180	81	140	95	65
2013	30195	77	116	87	64
2014	30210	73	97	75	63
2015	30225	53	85	71	62
2016	30240	64	79	63	61

2017	30255	50	92	57	60
2018	30270	46	70	52	59
2019	30285	42	59	48	58
2020	30300	42	48	41	57
2021	30315	27	46	36	57
2022	30330	29	34	35	56
2023	30345	32	31	31	55
2024	30360	24	21	28	54
2025	30375	22	24	24	54
2026	30390	18	36	20	53
2027	30405	13	41	19	52
2028	30420	16	53	16	52
2029	30435	10	41	13	51
2030	30450	8	53	11	51
2031	30465	8	55	10	50
2032	30480	7	44	10	50
2033	30495	12	35	9	50
2034	30510	5	47	11	49
2035	30525	15	41	13	49
2036	30540	18	32	18	49
2037	30555	25	43	29	48
2038	30570	50	51	38	48
2039	30585	54	85	53	48
2040	30600	80	120	79	48
2041	30615	124	161	123	48
2042	30630	204	239	225	48
2043	30645	407	272	263	48
2044	30660	331	301	294	48
2045	30675	349	325	437	49
2046	30690	693	462	514	49
2047	30705	653	474	566	51
2048	30720	658	478	576	52
2049	30735	594	423	562	54
2050	30750	538	403	561	55
2051	30765	503	401	531	58
2052	30780	513	416	544	60
2053	30795	568	412	519	62
2054	30810	475	389	499	64
2055	30825	462	411	465	66
2056	30840	403	419	431	68
2057	30855	370	406	428	70
2058	30870	424	428	435	72
2059	30885	447	425	444	73
2060	30900	461	433	436	74
2061	30915	422	426	449	75
2062	30930	471	448	429	76
2063	30945	395	441	431	76
2064	30960	433	452	423	77
2065	30975	410	437	423	77
2066	30990	423	437	413	77
2067	31005	396	447	385	77
2068	31020	334	451	396	77
2069	31035	415	478	411	77
2070	31050	439	470	418	77
2071	31065	431	493	428	77
2072	31080	446	501	447	77
2073	31095	480	500	463	77
2074	31110	492	494	454	77
2075	31125	439	477	451	77
2076	31140	446	490	441	76
2077	31155	423	490	431	76
2078	31170	414	499	438	76
2079	31185	451	492	439	76
2080	31200	440	475	430	76
2081	31215	415	471	435	76
2082	31230	444	434	440	76
2083	31245	448	444	432	76
2084	31260	419	418	434	77
2085	31275	436	428	425	77
2086	31290	410	412	428	77
2087	31305	432	419	421	77
2088	31320	410	432	391	77
2089	31335	337	396	395	76
2090	31350	402	391	394	76
2091	31365	391	381	388	76
2092	31380	378	368	386	76
2093	31395	382	350	381	76
2094	31410	373	309	362	76
2095	31425	327	267	329	76
2096	31440	270	268	288	75
2097	31455	215	267	263	75
2098	31470	219	249	236	75
2099	31485	188	247	230	74
2100	31500	218	243	205	74
2101	31515	160	222	186	73
2102	31530	151	204	170	72
2103	31545	142	185	155	72
2104	31560	128	158	141	71
2105	31575	116	155	133	70
2106	31590	118	159	127	69
2107	31605	116	130	123	68
2108	31620	116	91	106	67
2109	31635	77	78	98	66
2110	31650	83	75	88	64
2111	31665	71	60	81	63
2112	31680	67	43	73	62

2113	31695	59	30	66	61
2114	31710	54	19	60	60
2115	31725	50	14	48	59
2116	31740	25	12	39	58
2117	31755	23	-7	34	58
2118	31770	26	17	31	57
2119	31785	26	6	27	56
2120	31800	18	-2	20	55
2121	31815	8	8	17	54
2122	31830	12	2	18	54
2123	31845	19	20	17	53
2124	31860	15	25	14	52
2125	31875	8	16	11	52
2126	31890	7	17	9	51
2127	31905	5	39	8	51
2128	31920	5	12	7	50
2129	31935	6	14	6	50
2130	31950	3	1	6	49
2131	31965	7	14	9	49
2132	31980	14	27	16	49
2133	31995	29	35	20	48
2134	32010	26	53	29	48
2135	32025	45	108	51	48
2136	32040	91	134	74	48
2137	32055	115	208	126	48
2138	32070	218	271	212	48
2139	32085	366	347	280	48
2140	32100	401	393	297	48
2141	32115	328	427	418	48
2142	32130	634	567	518	49
2143	32145	697	637	559	50
2144	32160	632	625	594	52
2145	32175	657	589	619	53
2146	32190	664	571	629	55
2147	32205	647	560	622	57
2148	32220	610	532	642	60
2149	32235	678	537	623	62
2150	32250	589	505	588	65
2151	32265	525	491	548	67
2152	32280	475	444	512	70
2153	32295	448	467	493	72
2154	32310	459	492	478	74
2155	32325	452	482	468	75
2156	32340	449	496	446	77
2157	32355	407	472	450	78
2158	32370	456	491	424	79
2159	32385	378	467	402	80
2160	32400	363	482	382	80
2161	32415	345	460	382	80
2162	32430	384	438	403	80
2163	32445	440	468	404	80
2164	32460	406	458	395	80
2165	32475	379	470	367	79
2166	32490	316	465	395	79
2167	32505	445	480	413	79
2168	32520	446	462	431	78
2169	32535	462	489	423	78
2170	32550	410	490	438	77
2171	32565	464	483	441	77
2172	32580	448	490	451	77
2173	32595	467	494	436	76
2174	32610	409	512	430	76
2175	32625	419	531	444	76
2176	32640	469	528	414	76
2177	32655	360	499	402	76
2178	32670	382	483	392	76
2179	32685	373	481	413	76
2180	32700	452	480	413	76
2181	32715	411	454	398	76
2182	32730	373	455	414	76
2183	32745	443	460	431	76
2184	32760	460	450	438	76
2185	32775	451	442	434	76
2186	32790	427	427	438	75
2187	32805	445	411	414	75
2188	32820	371	398	414	75
2189	32835	413	355	402	75
2190	32850	381	322	402	75
2191	32865	402	297	365	75
2192	32880	299	250	321	75
2193	32895	243	261	270	75
2194	32910	179	241	230	75
2195	32925	159	219	221	75
2196	32940	204	211	194	75
2197	32955	145	190	183	74
2198	32970	163	163	169	73
2199	32985	143	173	163	73
2200	33000	153	160	153	72
2201	33015	136	145	149	71
2202	33030	141	128	137	70
2203	33045	116	110	133	69
2204	33060	125	98	117	67
2205	33075	88	77	108	66
2206	33090	91	85	92	65
2207	33105	63	89	78	64
2208	33120	54	61	74	63

2209	33135	66	48	65	62
2210	33150	48	39	55	61
2211	33165	38	28	49	60
2212	33180	37	20	40	59
2213	33195	24	10	32	58
2214	33210	17	31	28	57
2215	33225	22	25	24	56
2216	33240	17	3	25	55
2217	33255	27	1	23	55
2218	33270	19	-1	24	54
2219	33285	27	15	24	53
2220	33300	23	21	21	53
2221	33315	15	20	20	52
2222	33330	20	19	17	51
2223	33345	10	14	14	51
2224	33360	10	5	13	50
2225	33375	10	1	10	50
2226	33390	6	-4	9	50
2227	33405	7	18	11	49
2228	33420	14	3	12	49
2229	33435	15	55	19	49
2230	33450	31	63	27	48
2231	33465	42	88	47	48
2232	33480	83	100	66	48
2233	33495	100	166	127	48
2234	33510	237	256	223	48
2235	33525	394	324	288	48
2236	33540	404	397	291	48
2237	33555	297	443	435	49
2238	33570	694	575	527	49
2239	33585	692	603	583	50
2240	33600	684	599	608	52
2241	33615	651	551	643	54
2242	33630	705	570	620	56
2243	33645	580	540	633	58
2244	33660	657	530	631	60
2245	33675	628	514	604	63
2246	33690	554	514	572	65
2247	33705	516	507	518	68
2248	33720	422	491	510	70
2249	33735	495	517	481	72
2250	33750	429	503	480	74
2251	33765	478	537	474	76
2252	33780	464	541	467	77
2253	33795	455	538	465	78
2254	33810	460	533	466	79
2255	33825	468	546	446	80
2256	33840	410	546	446	80
2257	33855	445	531	410	80
2258	33870	347	505	397	80
2259	33885	373	485	399	80
2260	33900	404	467	382	80
2261	33915	352	478	403	80
2262	33930	440	473	412	80
2263	33945	428	483	402	79
2264	33960	383	481	408	79
2265	33975	420	468	427	79
2266	33990	462	467	425	78
2267	34005	421	466	417	78
2268	34020	403	475	434	77
2269	34035	465	449	415	77
2270	34050	380	456	406	77
2271	34065	389	439	374	77
2272	34080	316	430	356	76
2273	34095	324	437	357	76
2274	34110	358	451	380	76
2275	34125	423	464	371	76
2276	34140	355	475	365	75
2277	34155	353	463	377	75
2278	34170	399	452	360	75
2279	34185	329	435	355	74
2280	34200	347	444	376	74
2281	34215	413	443	379	74
2282	34230	384	425	379	74
2283	34245	379	437	371	74
2284	34260	356	423	370	73
2285	34275	368	370	375	73
2286	34290	385	345	374	73
2287	34305	371	317	339	73
2288	34320	276	291	307	73
2289	34335	250	285	275	73
2290	34350	218	257	254	72
2291	34365	216	248	237	72
2292	34380	206	231	218	72
2293	34395	185	185	205	72
2294	34410	180	163	184	71
2295	34425	146	156	178	70
2296	34440	169	131	166	70
2297	34455	143	149	158	69
2298	34470	144	146	143	68
2299	34485	115	124	130	67
2300	34500	108	110	110	67
2301	34515	74	110	97	66
2302	34530	74	90	92	65
2303	34545	82	72	75	64
2304	34560	45	64	69	63

2305	34575	57	70	63	62
2306	34590	52	58	56	61
2307	34605	45	39	49	60
2308	34620	35	40	39	59
2309	34635	21	36	32	58
2310	34650	21	24	29	57
2311	34665	22	37	25	56
2312	34680	18	22	23	56
2313	34695	19	17	23	55
2314	34710	23	33	23	54
2315	34725	24	28	21	53
2316	34740	16	13	18	53
2317	34755	14	-3	15	52
2318	34770	10	3	14	51
2319	34785	11	24	12	51
2320	34800	9	14	10	50
2321	34815	7	-17	12	50
2322	34830	15	12	12	49
2323	34845	12	1	16	49
2324	34860	23	4	20	49
2325	34875	27	23	24	49
2326	34890	30	58	47	48
2327	34905	89	100	76	48
2328	34920	128	115	90	48
2329	34935	116	208	126	48
2330	34950	190	309	216	48
2331	34965	377	395	285	48
2332	34980	408	420	320	48
2333	34995	382	448	458	49
2334	35010	706	552	526	50
2335	35025	647	559	587	51
2336	35040	698	578	620	52
2337	35055	679	520	638	54
2338	35070	670	517	646	56
2339	35085	659	514	641	58
2340	35100	633	503	639	61
2341	35115	635	482	578	63
2342	35130	469	457	515	66
2343	35145	402	473	483	68
2344	35160	425	452	437	70
2345	35175	354	457	416	72
2346	35190	378	482	411	74
2347	35205	403	483	414	76
2348	35220	420	512	422	77
2349	35235	436	485	438	77
2350	35250	466	507	436	78
2351	35265	434	510	420	78
2352	35280	391	495	399	79
2353	35295	361	480	397	79
2354	35310	393	464	381	79
2355	35325	353	452	384	79
2356	35340	389	445	403	78
2357	35355	437	425	412	78
2358	35370	428	428	414	78
2359	35385	418	437	433	77
2360	35400	467	426	448	77
2361	35415	476	433	444	77
2362	35430	435	434	456	77
2363	35445	477	443	473	76
2364	35460	503	457	473	76
2365	35475	474	465	457	76
2366	35490	428	473	450	76
2367	35505	438	459	445	76
2368	35520	435	466	457	76
2369	35535	480	465	445	76
2370	35550	423	462	439	77
2371	35565	427	467	433	77
2372	35580	423	479	436	77
2373	35595	442	467	443	77
2374	35610	456	470	441	77
2375	35625	436	463	447	77
2376	35640	458	458	451	77
2377	35655	457	437	445	77
2378	35670	435	403	424	77
2379	35685	386	385	420	77
2380	35700	412	385	435	77
2381	35715	463	365	437	77
2382	35730	440	324	435	77
2383	35745	433	319	407	77
2384	35760	355	300	345	77
2385	35775	291	283	345	77
2386	35790	308	261	328	77
2387	35805	297	243	309	76
2388	35820	276	233	302	76
2389	35835	290	209	301	76
2390	35850	299	200	290	75
2391	35865	269	160	282	75
2392	35880	269	141	267	74
2393	35895	240	151	252	74
2394	35910	226	148	243	73
2395	35925	227	143	236	72
2396	35940	222	134	206	72
2397	35955	152	131	179	71
2398	35970	130	93	162	70
2399	35985	131	94	143	69
2400	36000	111	70	129	69

2401	36015	102	60	112	68
2402	36030	83	59	101	67
2403	36045	82	64	87	66
2404	36060	61	64	77	65
2405	36075	60	47	72	64
2406	36090	62	48	70	63
2407	36105	66	25	64	62
2408	36120	54	4	55	61
2409	36135	39	1	48	60
2410	36150	36	16	45	59
2411	36165	38	22	41	58
2412	36180	34	25	38	57
2413	36195	34	13	29	56
2414	36210	13	22	24	55
2415	36225	14	16	21	55
2416	36240	16	15	19	54
2417	36255	15	0	16	53
2418	36270	12	-10	14	52
2419	36285	11	1	15	52
2420	36300	17	25	19	51
2421	36315	25	36	24	51
2422	36330	32	60	32	50
2423	36345	46	95	56	50
2424	36360	100	116	76	50
2425	36375	111	165	117	49
2426	36390	190	226	205	49
2427	36405	364	296	282	49
2428	36420	419	352	330	49
2429	36435	417	407	438	50
2430	36450	630	487	498	50
2431	36465	605	543	584	51
2432	36480	738	556	620	52
2433	36495	684	536	586	54
2434	36510	526	494	557	56
2435	36525	505	504	495	58
2436	36540	383	479	495	60
2437	36555	496	468	494	62
2438	36570	492	442	479	65
2439	36585	451	461	455	67
2440	36600	412	457	426	69
2441	36615	375	491	429	70
2442	36630	433	504	440	72
2443	36645	459	503	424	73
2444	36660	396	522	422	74
2445	36675	419	500	424	75
2446	36690	427	517	439	76
2447	36705	467	497	433	76
2448	36720	423	521	427	76
2449	36735	415	478	428	77
2450	36750	431	442	428	77
2451	36765	426	461	413	77
2452	36780	388	460	408	77
2453	36795	399	462	411	77
2454	36810	416	468	407	77
2455	36825	400	459	425	77
2456	36840	458	476	442	77
2457	36855	472	485	454	77
2458	36870	475	474	473	77
2459	36885	508	481	491	76
2460	36900	522	481	493	76
2461	36915	498	459	496	76
2462	36930	500	458	477	77
2463	36945	444	452	482	77
2464	36960	490	454	476	77
2465	36975	465	441	472	77
2466	36990	465	445	458	77
2467	37005	434	453	454	77
2468	37020	447	479	445	78
2469	37035	428	436	437	78
2470	37050	422	456	412	78
2471	37065	367	462	393	78
2472	37080	359	454	376	78
2473	37095	346	457	372	78
2474	37110	364	436	373	78
2475	37125	375	434	382	78
2476	37140	399	414	404	77
2477	37155	443	399	408	77
2478	37170	415	354	398	77
2479	37185	379	340	366	76
2480	37200	309	309	374	76
2481	37215	388	304	341	76
2482	37230	282	257	324	76
2483	37245	295	275	299	75
2484	37260	252	265	276	75
2485	37275	235	260	264	74
2486	37290	244	234	250	74
2487	37305	225	217	244	73
2488	37320	232	185	228	73
2489	37335	201	151	216	72
2490	37350	193	159	202	72
2491	37365	177	158	187	71
2492	37380	159	139	176	70
2493	37395	156	153	159	69
2494	37410	130	120	151	68
2495	37425	137	138	131	68
2496	37440	95	94	120	67

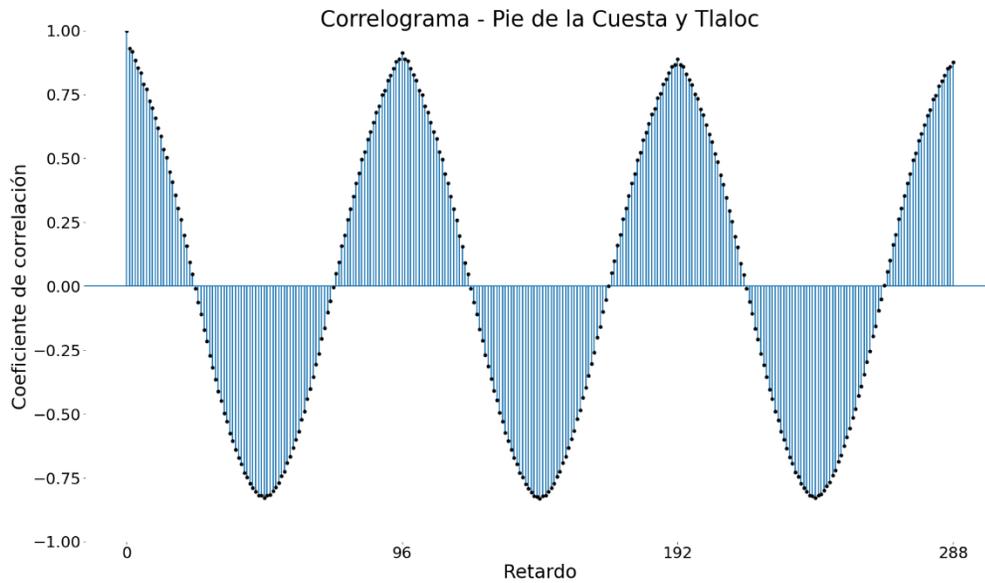
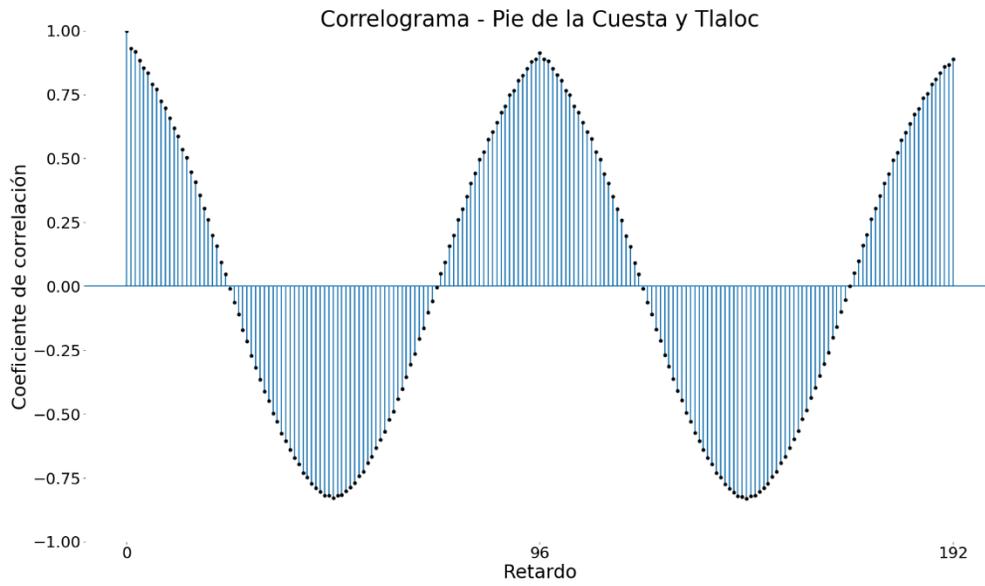
2497	37455	101	91	117	66
2498	37470	112	89	113	65
2499	37485	105	84	105	64
2500	37500	92	89	92	63
2501	37515	69	90	92	62
2502	37530	91	83	93	61
2503	37545	95	63	87	60
2504	37560	75	48	78	60
2505	37575	63	48	79	59
2506	37590	80	33	78	58
2507	37605	77	39	73	57
2508	37620	64	30	64	57
2509	37635	49	19	55	56
2510	37650	38	22	52	55
2511	37665	47	23	42	55
2512	37680	24	14	36	54
2513	37695	25	9	32	54
2514	37710	24	2	29	53
2515	37725	23	13	32	53
2516	37740	39	22	33	52
2517	37755	35	65	32	52
2518	37770	31	76	36	52
2519	37785	42	72	45	51
2520	37800	60	66	50	51
2521	37815	61	96	52	51
2522	37830	56	126	74	50
2523	37845	113	175	105	50
2524	37860	160	222	120	50
2525	37875	148	242	151	50
2526	37890	206	325	192	50
2527	37905	266	373	286	50
2528	37920	453	421	331	50
2529	37935	413	408	370	51
2530	37950	438	445	394	51
2531	37965	437	474	410	52
2532	37980	438	458	420	53
2533	37995	440	471	428	55
2534	38010	441	454	399	56
2535	38025	348	497	374	58
2536	38040	328	465	381	59
2537	38055	395	489	394	61
2538	38070	416	508	391	62
2539	38085	386	508	392	64
2540	38100	394	492	417	65
2541	38115	462	491	424	66
2542	38130	436	515	428	67
2543	38145	435	477	440	68
2544	38160	462	496	440	69
2545	38175	441	493	446	70
2546	38190	457	480	452	71
2547	38205	463	473	463	72
2548	38220	481	495	442	72
2549	38235	405	502	461	73
2550	38250	496	514	456	74
2551	38265	447	512	469	74
2552	38280	492	516	466	75
2553	38295	460	508	463	75
2554	38310	458	515	480	75
2555	38325	511	509	469	76
2556	38340	449	515	450	76
2557	38355	417	493	456	77
2558	38370	466	498	449	77
2559	38385	436	494	446	77
2560	38400	441	487	428	77
2561	38415	397	477	405	77
2562	38430	362	451	388	77
2563	38445	359	460	387	78
2564	38460	384	464	389	77
2565	38475	392	443	378	77
2566	38490	358	407	356	77
2567	38505	317	394	339	77
2568	38520	309	411	322	77
2569	38535	290	404	315	76
2570	38550	304	408	317	76
2571	38565	321	402	329	76
2572	38580	349	394	337	75
2573	38595	351	363	327	75
2574	38610	311	300	326	74
2575	38625	324	315	294	73
2576	38640	236	293	269	73
2577	38655	223	278	254	73
2578	38670	227	285	246	72
2579	38685	232	275	239	71
2580	38700	228	267	227	71
2581	38715	206	237	221	70
2582	38730	208	225	203	70
2583	38745	173	189	197	69
2584	38760	184	166	191	68
2585	38775	180	183	179	68
2586	38790	159	162	162	67
2587	38805	132	137	145	66
2588	38820	114	140	131	66
2589	38835	107	145	122	65
2590	38850	104	121	119	64
2591	38865	113	102	125	64
2592	38880	136	99	126	63

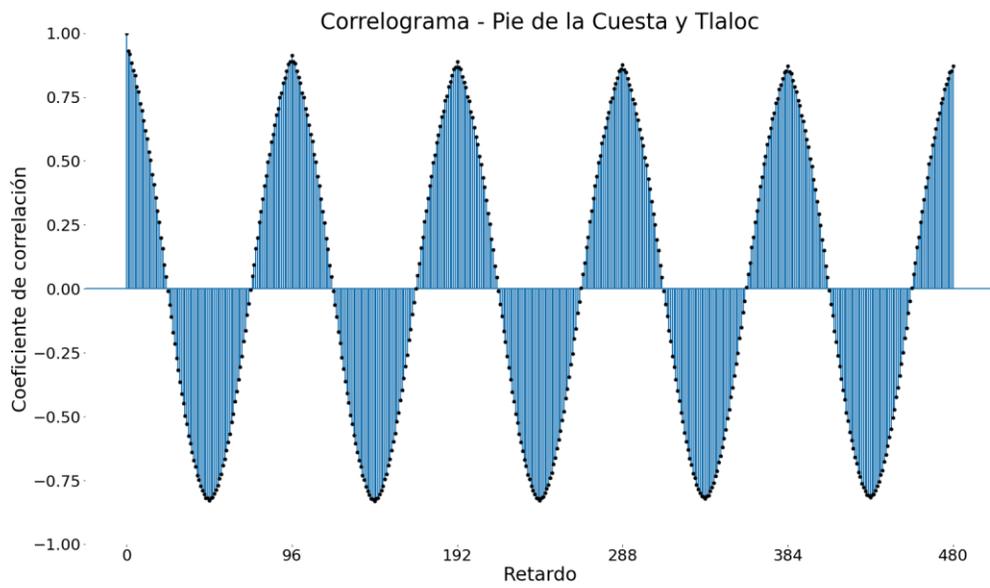
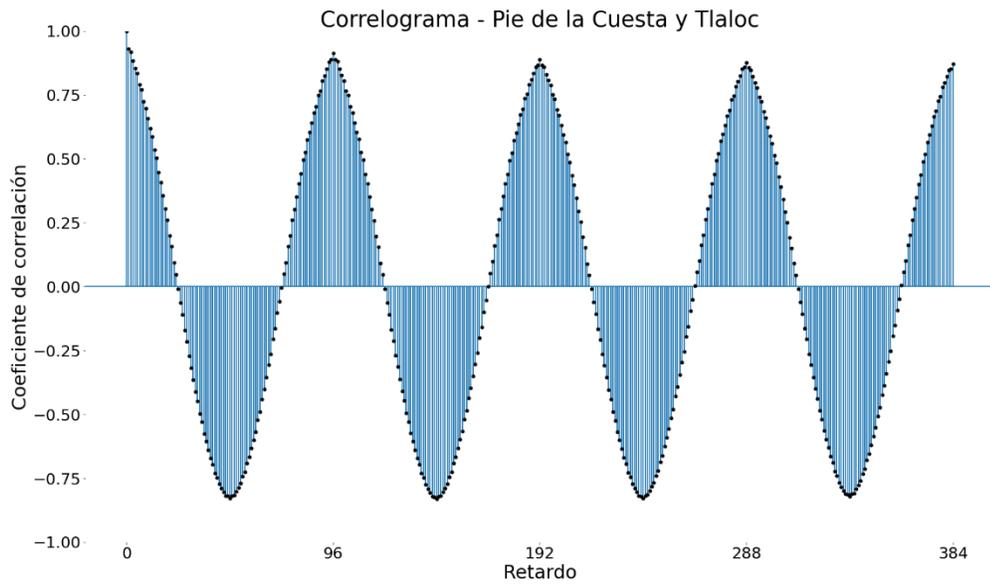
2593	38895	127	84	117	62
2594	38910	102	83	106	61
2595	38925	86	98	101	61
2596	38940	93	85	93	60
2597	38955	77	81	81	59
2598	38970	59	74	72	59
2599	38985	56	68	65	58
2600	39000	53	47	64	57
2601	39015	62	30	63	57
2602	39030	61	21	64	56
2603	39045	66	53	55	56
2604	39060	38	53	48	55
2605	39075	35	44	40	55
2606	39090	27	49	39	54
2607	39105	36	47	37	54
2608	39120	33	20	34	53
2609	39135	30	29	29	53
2610	39150	19	22	29	52
2611	39165	28	31	25	52
2612	39180	19	25	20	51
2613	39195	12	49	19	51
2614	39210	17	83	16	51
2615	39225	9	82	14	50
2616	39240	11	69	12	50
2617	39255	8	105	10	50
2618	39270	6	140	8	49
2619	39285	4	159	6	49
2620	39300	3	162	4	49
2621	39315	1	186	7	49
2622	39330	13	261	7	48
2623	39345	7	299	6	48
2624	39360	5	315	18	48
2625	39375	40	295	67	48
2626	39390	155	313	94	48
2627	39405	142	348	102	48
2628	39420	117	377	111	48
2629	39435	126	378	99	48
2630	39450	78	379	79	48
2631	39465	44	408	62	48
2632	39480	32	402	48	48
2633	39495	23	414	36	49
2634	39510	14	433	27	49
2635	39525	10	426	21	49
2636	39540	11	428	21	49
2637	39555	21	426	16	49
2638	39570	8	451	12	50
2639	39585	3	471	9	50
2640	39600	4	474	9	50
2641	39615	8	447	22	49
2642	39630	45	437	73	49
2643	39645	165	457	147	49
2644	39660	280	469	208	49
2645	39675	316	490	254	49
2646	39690	337	482	282	49
2647	39705	332	504	308	50
2648	39720	356	491	322	50
2649	39735	346	507	339	51
2650	39750	369	497	355	52
2651	39765	385	494	368	53
2652	39780	390	478	377	54
2653	39795	394	477	377	56
2654	39810	377	472	371	57
2655	39825	361	472	355	58
2656	39840	325	454	358	60
2657	39855	363	446	358	61
2658	39870	358	438	355	62
2659	39885	349	414	355	64
2660	39900	355	406	342	65
2661	39915	320	383	338	66
2662	39930	331	367	332	66
2663	39945	322	357	325	67
2664	39960	312	374	308	68
2665	39975	277	356	306	68
2666	39990	303	348	319	69
2667	40005	341	363	325	69
2668	40020	336	354	315	69
2669	40035	298	319	309	69
2670	40050	298	294	309	69
2671	40065	308	289	280	70
2672	40080	228	254	262	69
2673	40095	231	252	242	69
2674	40110	206	240	217	69
2675	40125	173	237	207	69
2676	40140	188	225	194	69
2677	40155	172	209	182	68
2678	40170	159	213	167	68
2679	40185	140	191	159	67
2680	40200	146	171	140	67
2681	40215	105	167	129	66
2682	40230	110	176	118	66
2683	40245	97	146	111	65
2684	40260	98	135	95	64
2685	40275	68	121	84	63
2686	40290	65	108	77	62
2687	40305	63	102	66	62
2688	40320	48	76	61	61

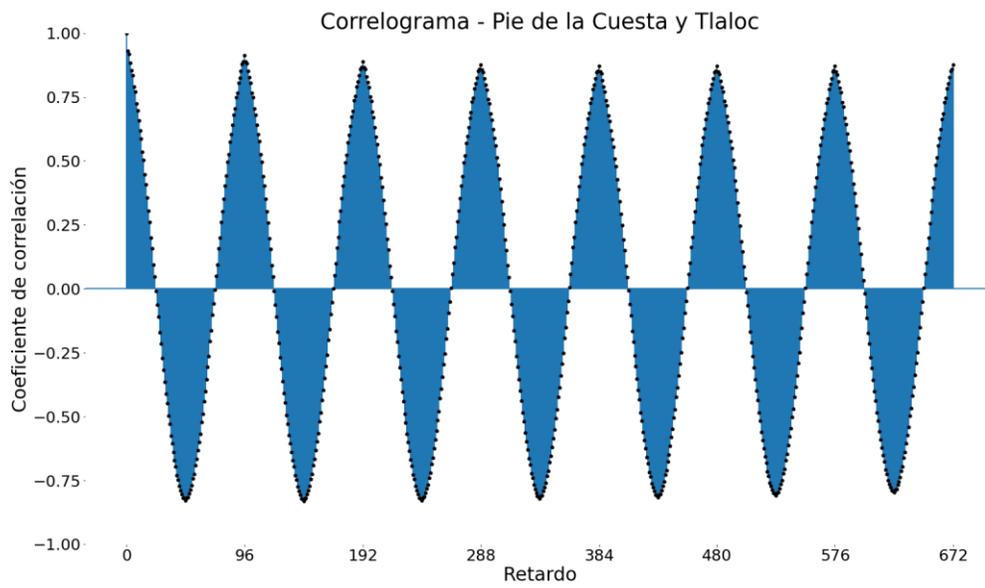
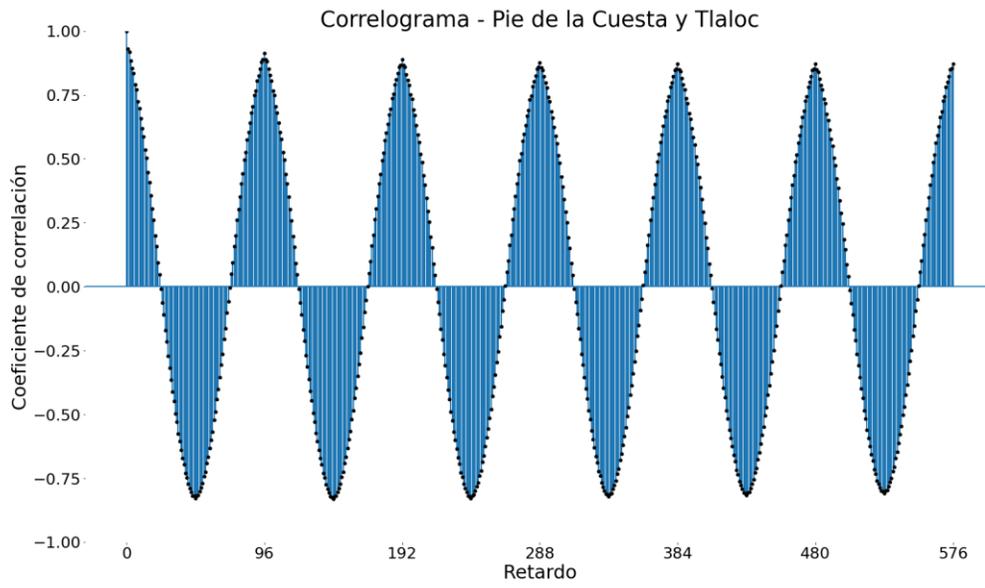
2689	40335	51	65	54	60
2690	40350	41	59	50	59
2691	40365	43	57	44	58
2692	40380	34	50	42	57
2693	40395	38	32	36	57
2694	40410	26	31	34	56
2695	40425	30	37	25	55
2696	40440	10	39	21	54
2697	40455	12	19	18	54
2698	40470	12	26	17	53
2699	40485	17	26	17	52
2700	40500	16	49	17	52
2701	40515	18	48	15	51
2702	40530	12	44	15	51
2703	40545	14	44	15	50
2704	40560	15	18	15	50
2705	40575	14	5	14	50
2706	40590	12	28	11	49
2707	40605	7	41	13	49
2708	40620	17	35	17	49
2709	40635	24	59	22	48
2710	40650	32	74	36	48
2711	40665	61	117	50	48
2712	40680	75	113	76	48
2713	40695	123	146	125	48
2714	40710	212	243	213	48
2715	40725	371	291	294	48
2716	40740	438	333	342	48
2717	40755	430	368	447	49
2718	40770	635	467	502	50
2719	40785	599	481	579	51
2720	40800	718	490	589	52
2721	40815	607	461	606	54
2722	40830	636	457	613	56
2723	40845	626	422	608	58
2724	40860	600	413	629	60
2725	40875	665	415	578	63
2726	40890	486	432	534	65
2727	40905	457	431	494	67
2728	40920	421	441	461	70
2729	40935	401	433	449	72
2730	40950	429	437	424	73
2731	40965	379	447	423	75
2732	40980	421	457	405	76
2733	40995	374	427	427	77
2734	41010	466	447	431	78
2735	41025	439	437	441	78
2736	41040	457	455	427	78
2737	41055	404	423	427	79
2738	41070	427	419	418	79
2739	41085	401	416	413	79
2740	41100	403	421	409	79
2741	41115	404	462	416	78
2742	41130	428	468	424	78
2743	41145	437	467	427	78
2744	41160	432	465	458	78
2745	41175	513	475	451	77
2746	41190	440	481	468	77
2747	41205	499	453	475	77
2748	41220	486	448	480	77
2749	41235	489	435	461	77
2750	41250	427	433	464	77
2751	41265	470	444	464	77
2752	41280	465	461	463	77
2753	41295	460	471	441	77
2754	41310	401	462	429	77
2755	41325	408	464	428	77
2756	41340	427	462	429	77
2757	41355	429	429	437	77
2758	41370	452	443	456	77
2759	41385	491	416	460	77
2760	41400	466	439	453	77
2761	41415	442	417	459	77
2762	41430	468	403	442	77
2763	41445	413	408	423	77
2764	41460	388	385	424	77
2765	41475	427	359	408	77
2766	41490	380	318	394	77
2767	41505	367	272	352	77
2768	41520	277	240	306	77
2769	41535	223	245	278	77
2770	41550	229	220	247	77
2771	41565	192	223	222	76
2772	41580	177	226	202	76
2773	41595	166	200	178	75
2774	41610	135	172	170	74
2775	41625	155	163	155	73
2776	41640	129	124	136	72
2777	41655	103	105	136	71
2778	41670	134	87	123	70
2779	41685	101	83	111	69
2780	41700	89	80	99	68
2781	41715	78	80	91	67
2782	41730	76	62	82	65
2783	41745	65	67	66	64
2784	41760	37	36	58	63

2785	41775	45	46	52	62
2786	41790	42	31	48	61
2787	41805	41	21	44	60
2788	41820	37	29	37	59
2789	41835	23	-3	29	58
2790	41850	14	4	27	57
2791	41865	25	12	25	56
2792	41880	20	-10	26	55
2793	41895	27	11	21	54
2794	41910	14	17	20	53
2795	41925	17	27	20	53
2796	41940	20	25	17	52
2797	41955	11	20	13	51
2798	41970	7	1	10	51
2799	41985	4	32	10	50
2800	42000	10	14	10	50
2801	42015	11	-4	8	50
2802	42030	5	8	10	49
2803	42045	12	1	11	49
2804	42060	12	16	11	49
2805	42075	11	36	18	48
2806	42090	30	37	26	48
2807	42105	41	93	46	48
2808	42120	81	117	73	48
2809	42135	121	190	115	48
2810	42150	192	295	216	48
2811	42165	395	366	298	48
2812	42180	445	421	333	48
2813	42195	397	488	454	48
2814	42210	671	591	535	49
2815	42225	680	632	600	50
2816	42240	717	618	615	52
2817	42255	641	586	620	54
2818	42270	630	565	630	56
2819	42285	646	551	646	58
2820	42300	676	522	631	60
2821	42315	604	525	606	63
2822	42330	561	493	582	65
2823	42345	538	505	558	68
2824	42360	515	485	513	70
2825	42375	434	473	498	72
2826	42390	449	486	461	74
2827	42405	396	487	477	76
2828	42420	506	501	468	77
2829	42435	451	491	470	78
2830	42450	475	500	468	79
2831	42465	463	479	445	80
2832	42480	405	478	410	80
2833	42495	347	455	413	81
2834	42510	419	443	408	81
2835	42525	398	448	409	81
2836	42540	412	448	419	81
2837	42555	436	440	421	80
2838	42570	424	458	444	80
2839	42585	485	458	446	80
2840	42600	450	455	454	79
2841	42615	449	470	445	79
2842	42630	428	473	449	79
2843	42645	456	470	456	78
2844	42660	468	481	469	78
2845	42675	492	485	456	78
2846	42690	434	504	439	78
2847	42705	409	509	439	78
2848	42720	439	494	418	78
2849	42735	380	486	395	77
2850	42750	354	468	357	77
2851	42765	289	461	312	77
2852	42780	232	459	324	77
2853	42795	344	445	376	77
2854	42810	470	443	391	76
2855	42825	419	444	388	76
2856	42840	383	441	368	76
2857	42855	331	418	390	75
2858	42870	431	411	405	75
2859	42885	430	398	418	75
2860	42900	442	397	419	74
2861	42915	422	333	410	74
2862	42930	392	304	391	74
2863	42945	358	271	345	74
2864	42960	262	243	298	74
2865	42975	215	234	272	74
2866	42990	225	239	251	74
2867	43005	212	206	242	73
2868	43020	227	206	219	73
2869	43035	178	181	205	73
2870	43050	180	163	182	72
2871	43065	141	146	172	71
2872	43080	153	148	152	71
2873	43095	117	146	141	70
2874	43110	122	119	126	69
2875	43125	99	99	114	68
2876	43140	91	64	101	67
2877	43155	79	74	91	66
2878	43170	72	61	87	65
2879	43185	81	60	74	64
2880	43200	49	60	63	63

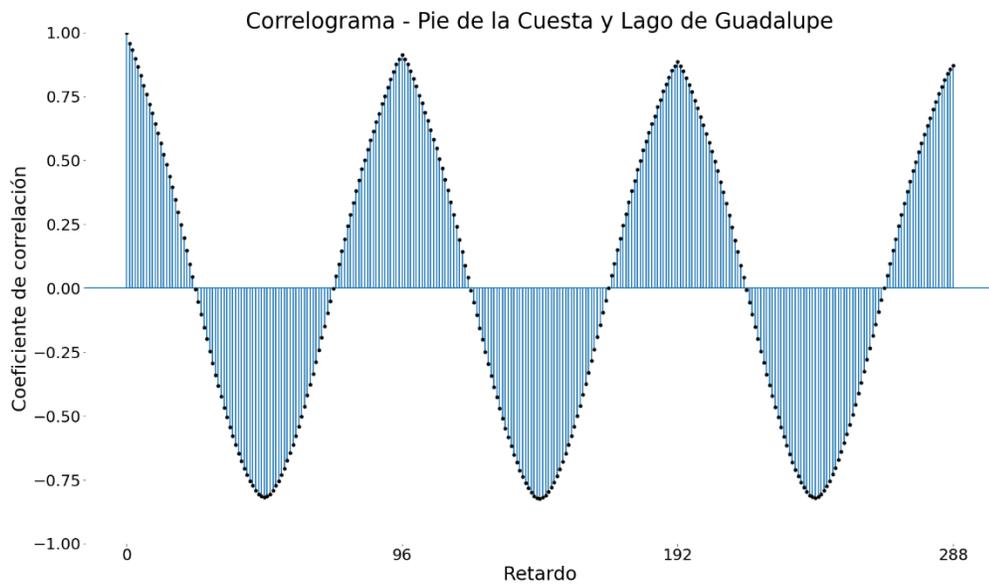
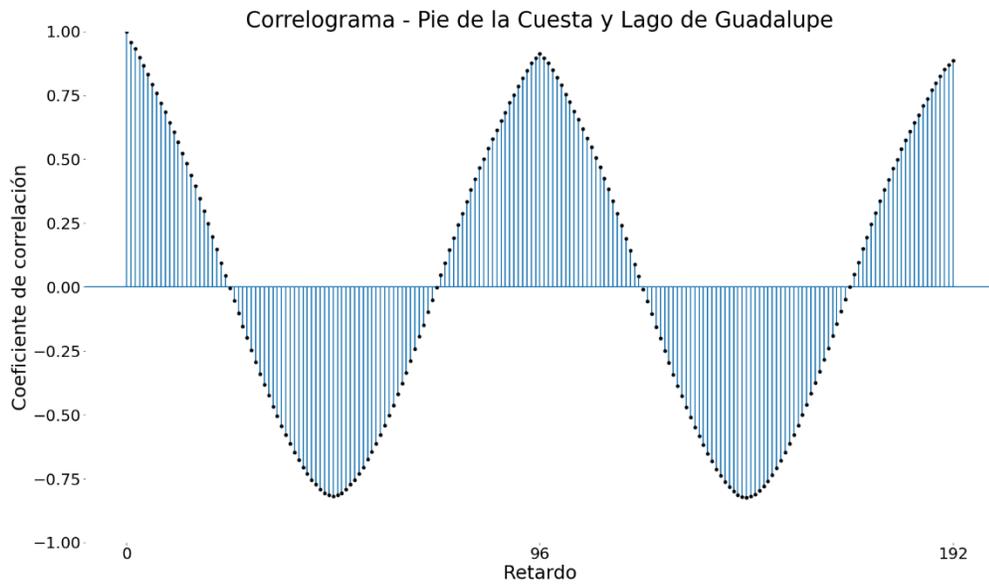
### Anexo VIII. Correlogramas Av. Pie de la Cuesta-Av. Tlaloc

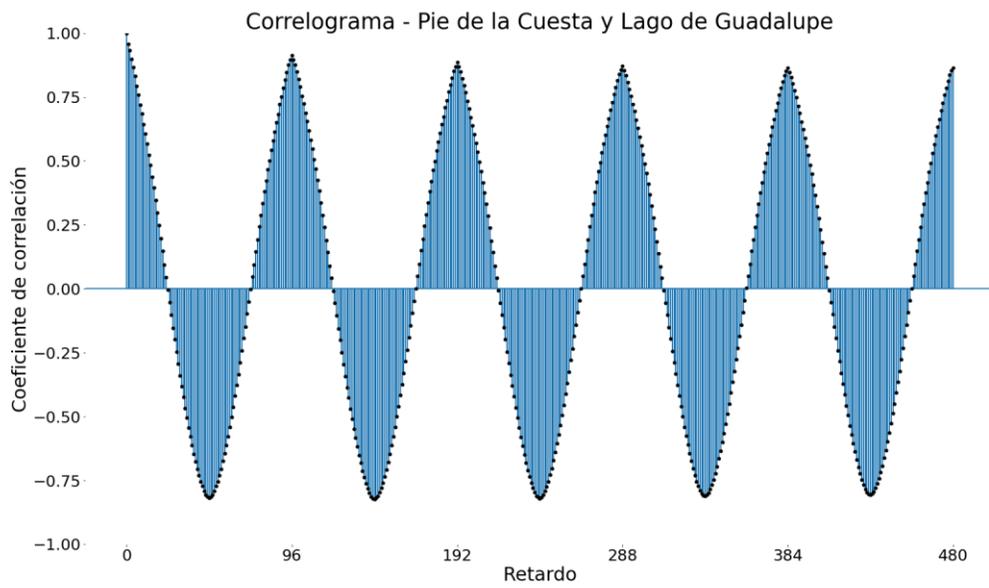
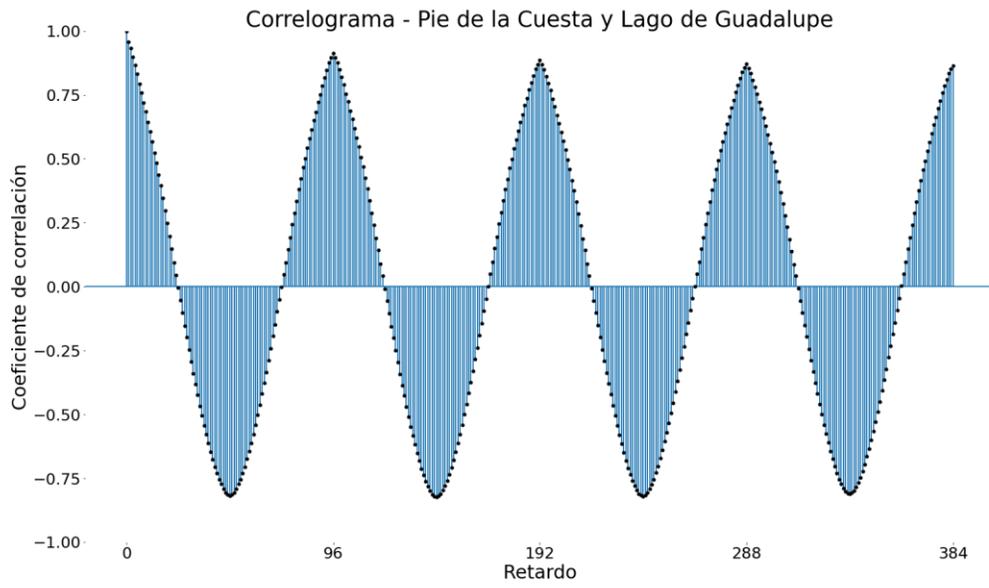


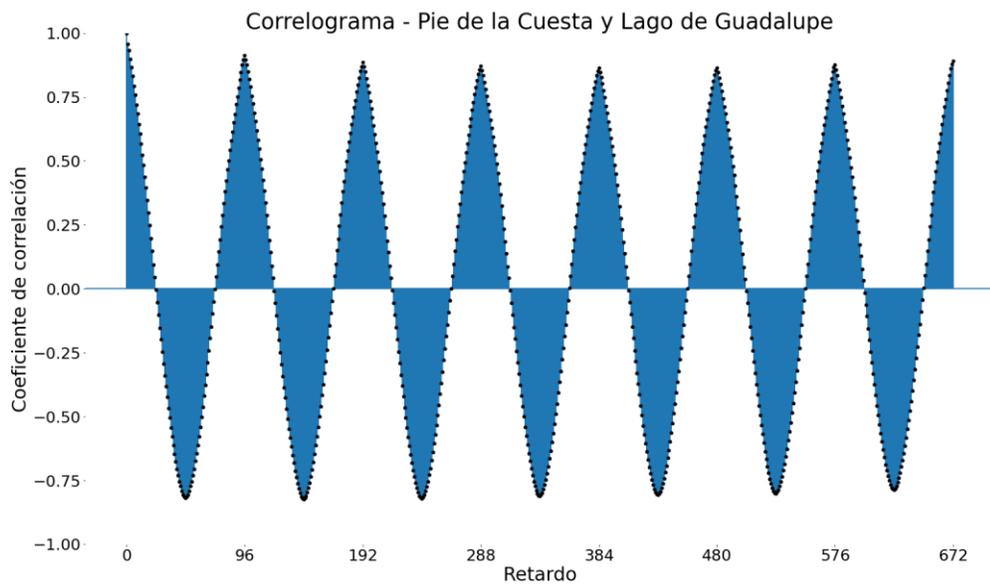
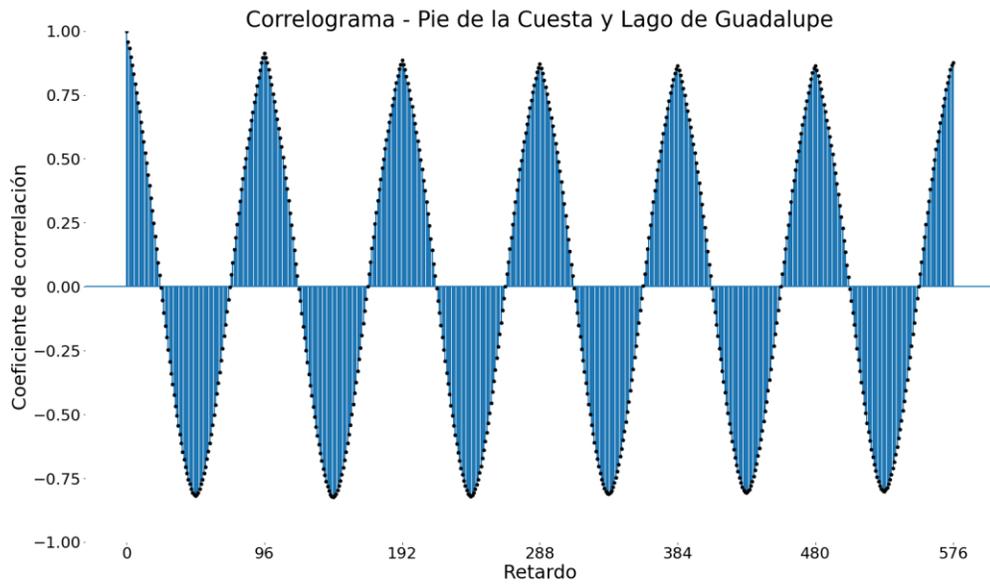




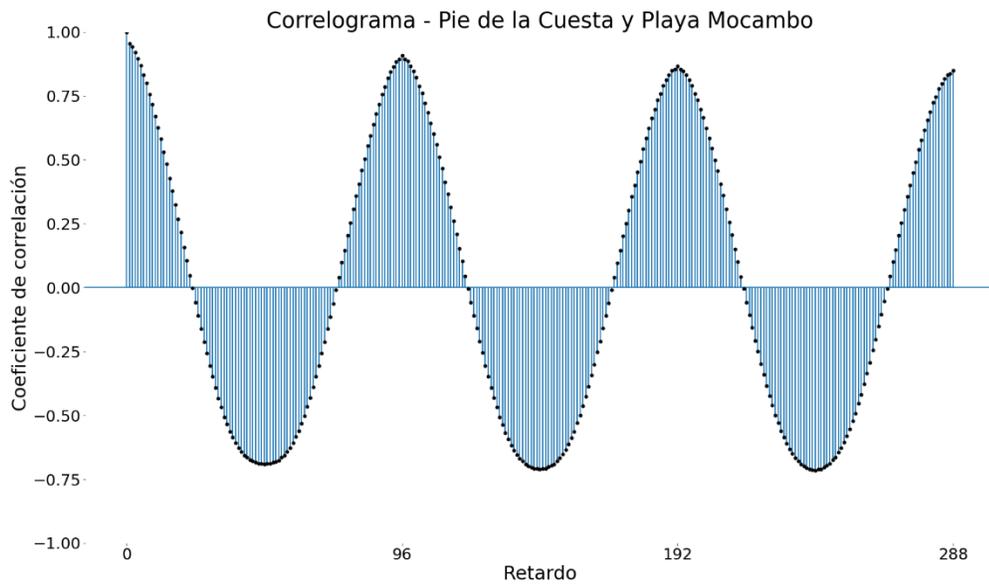
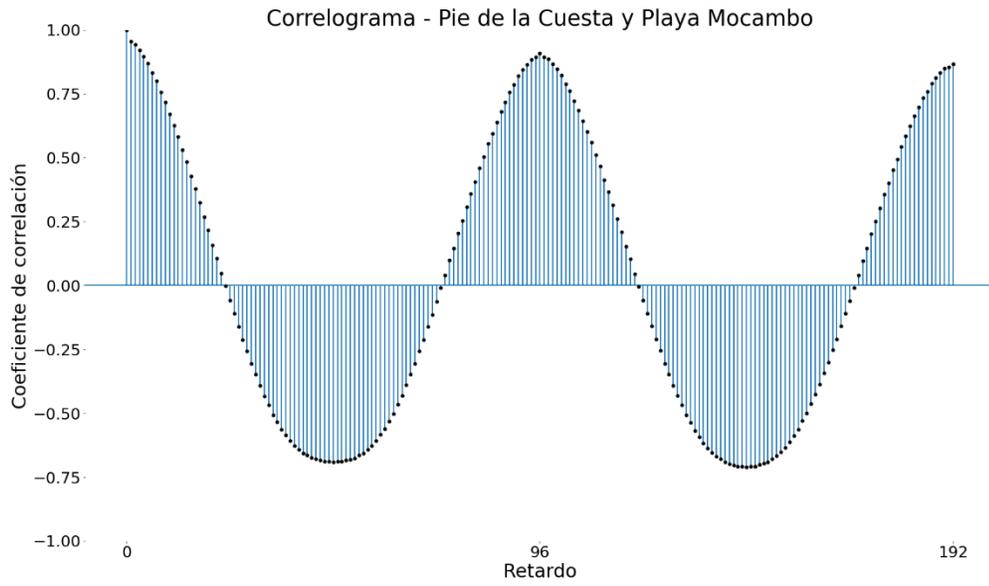
**Anexo IX. Correlogramas Av. Pie de la Cuesta-Lago de Guadalupe**

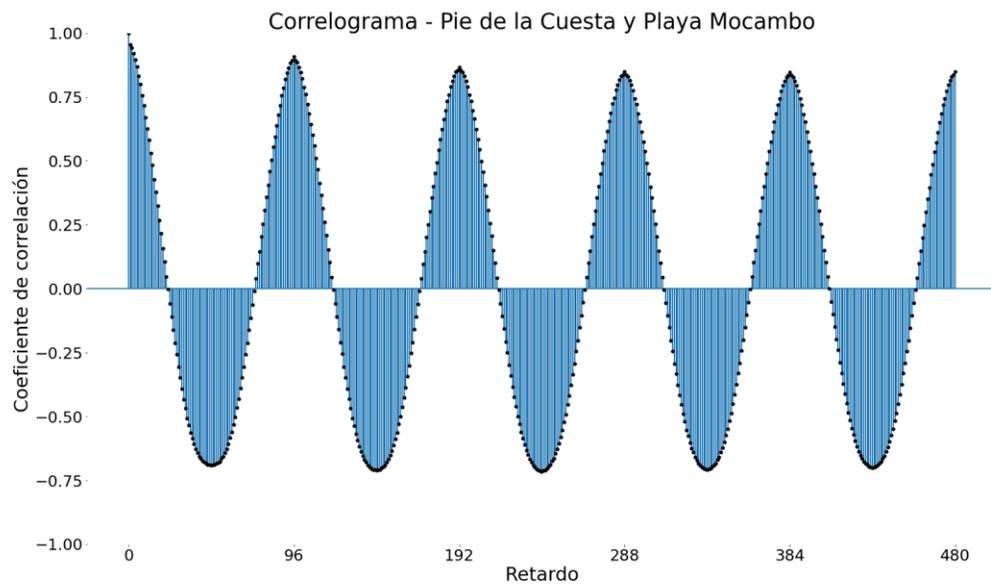
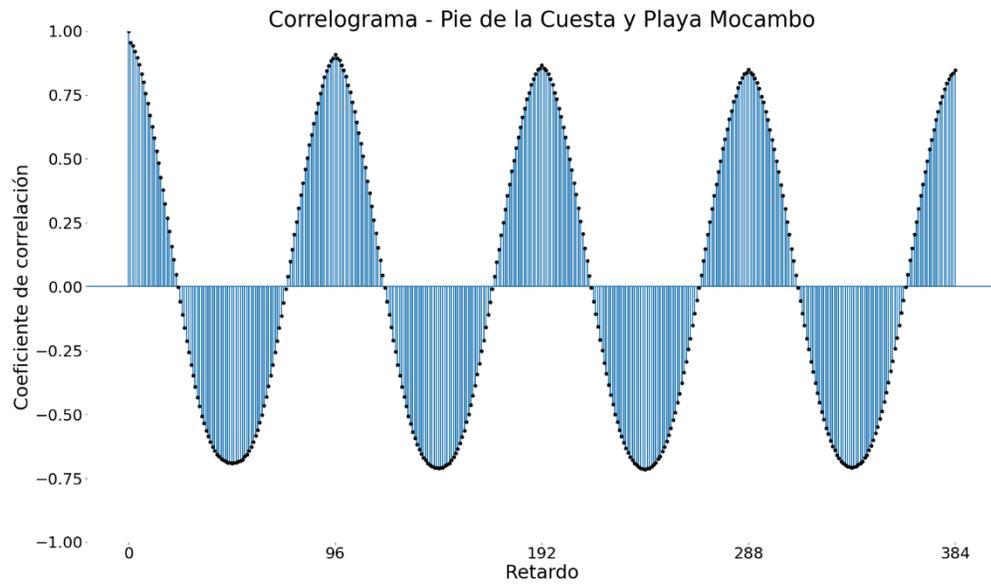


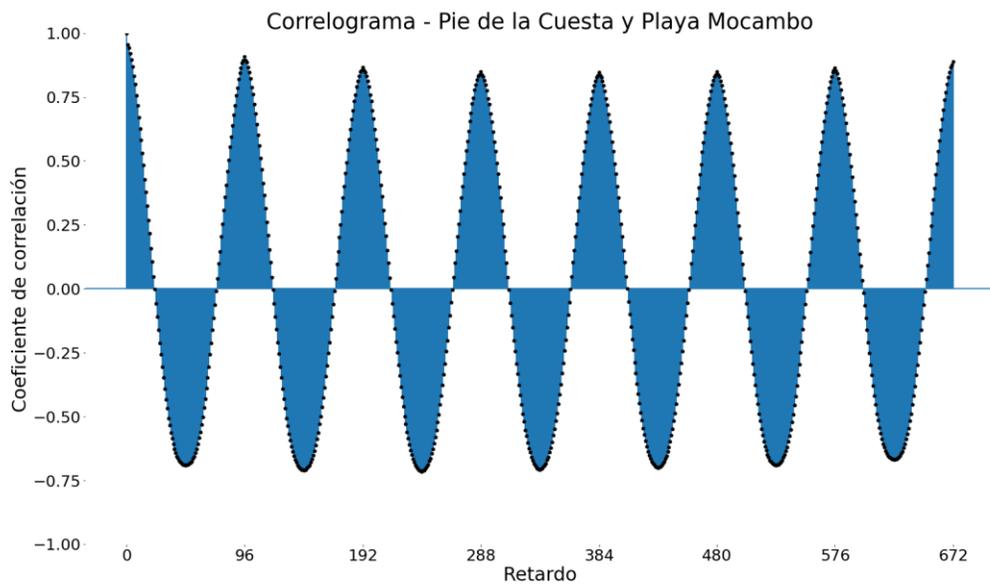
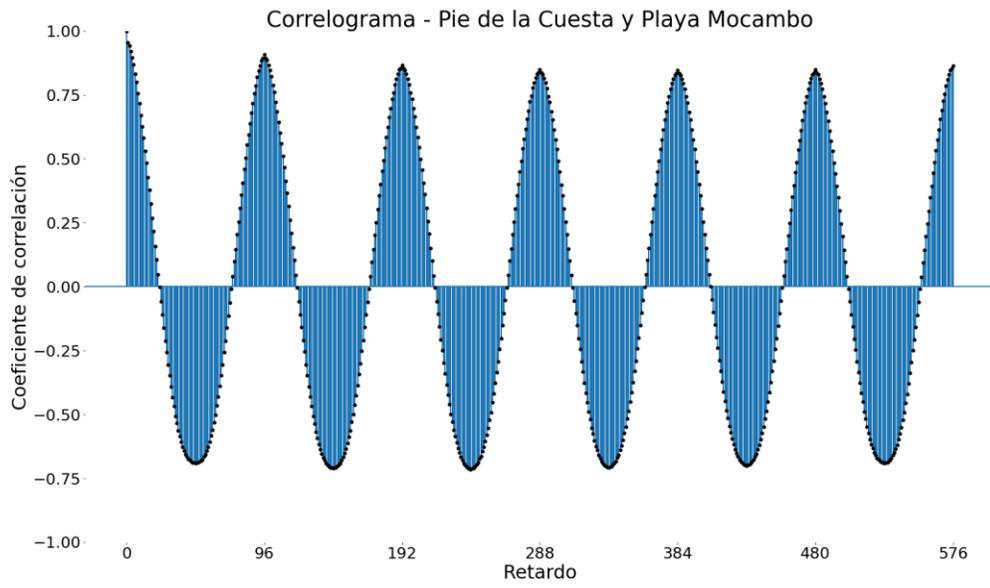




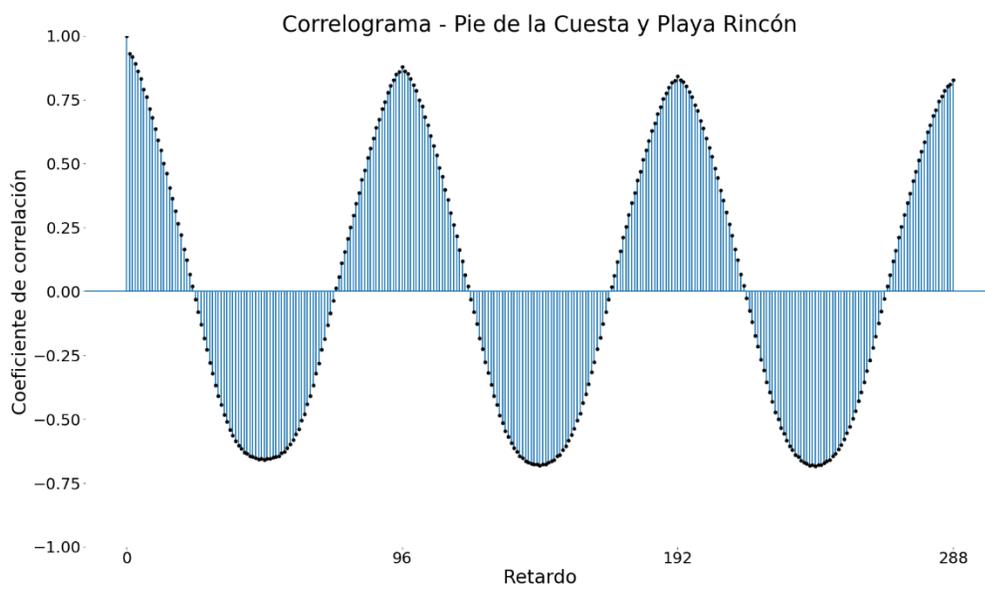
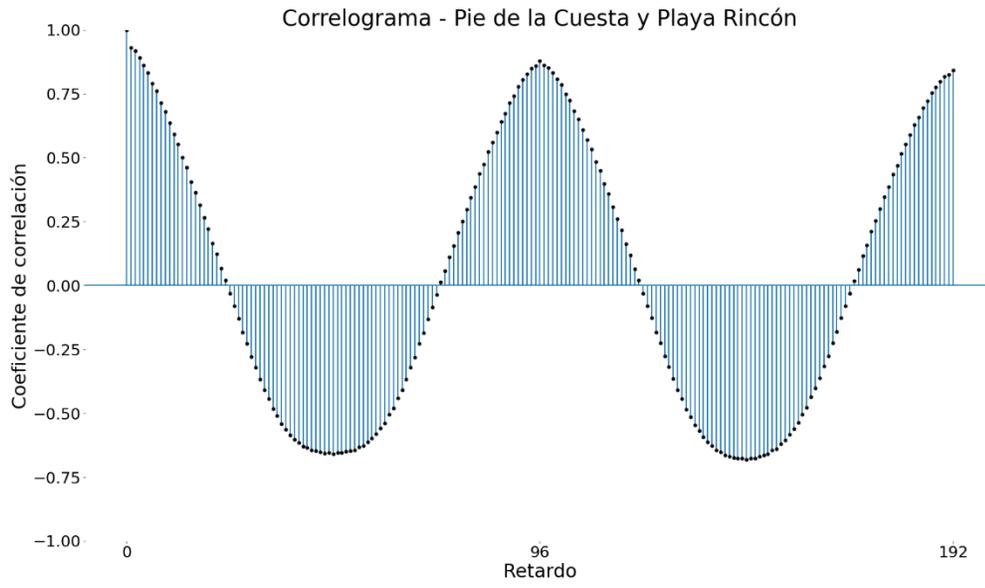
## Anexo X. Correlogramas Av. Pie de la Cuesta-Playa Mocambo

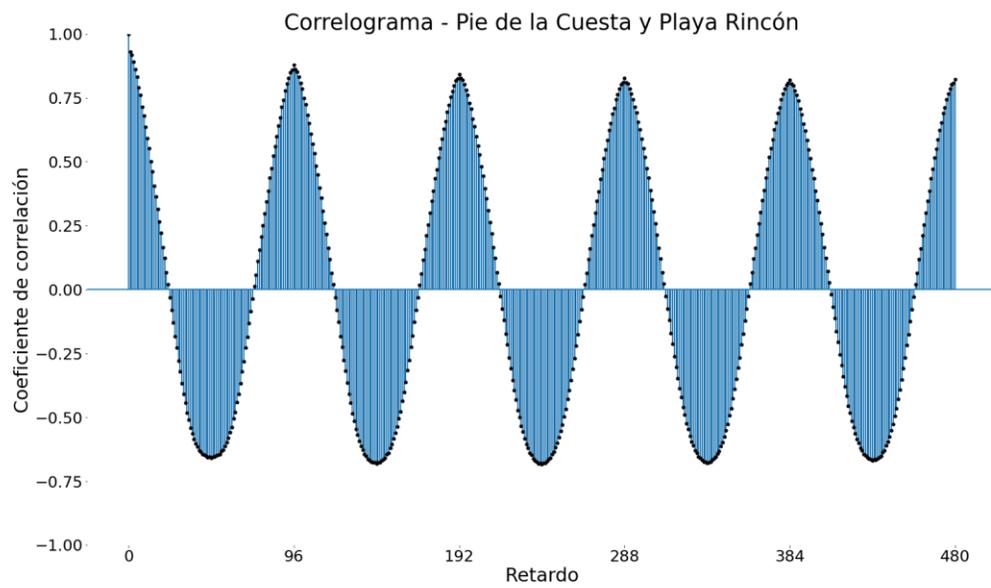
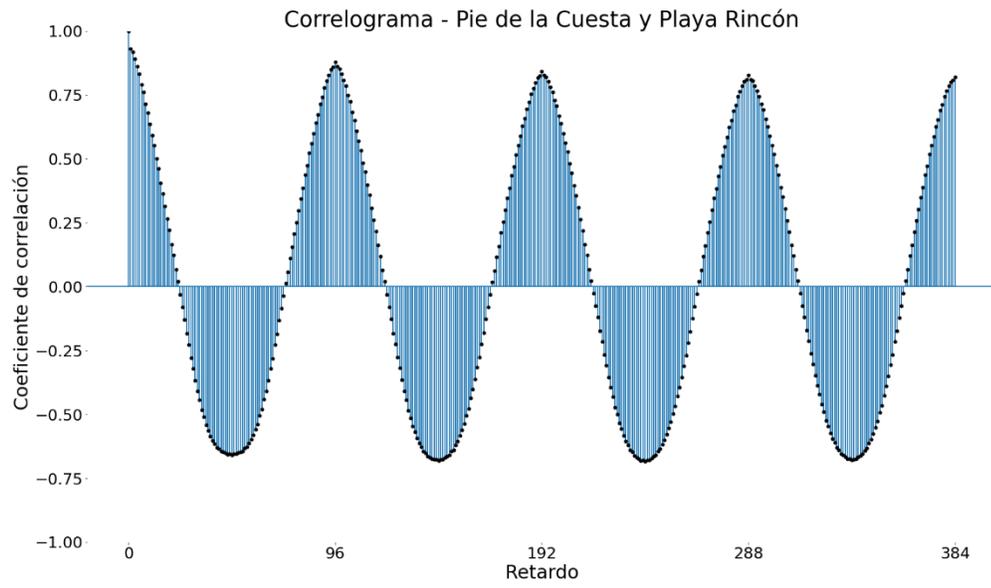


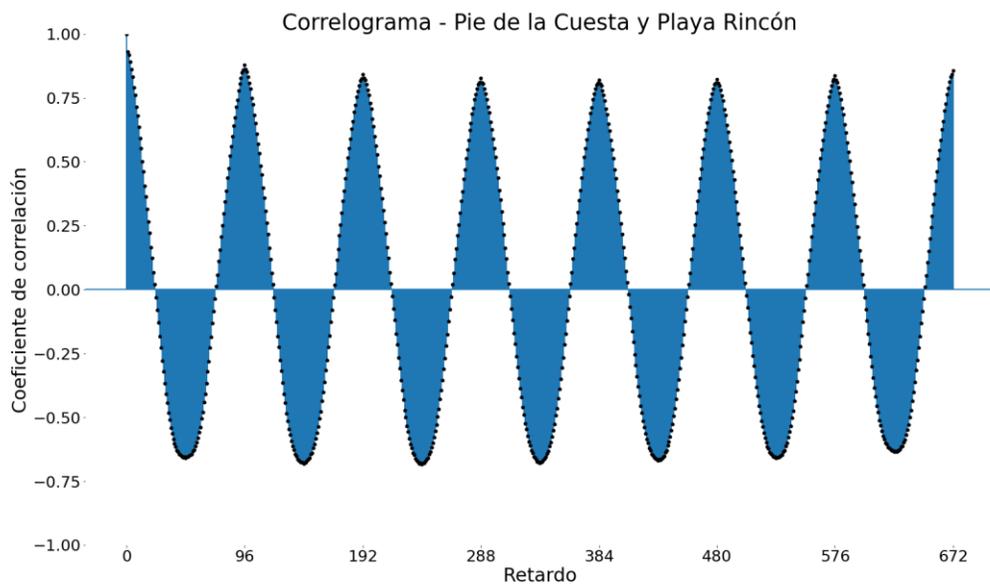
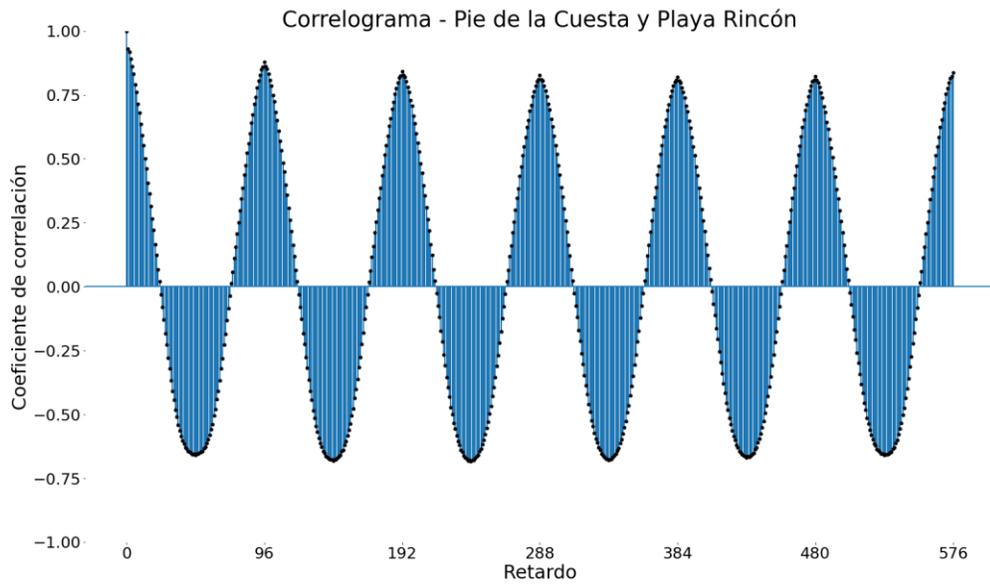




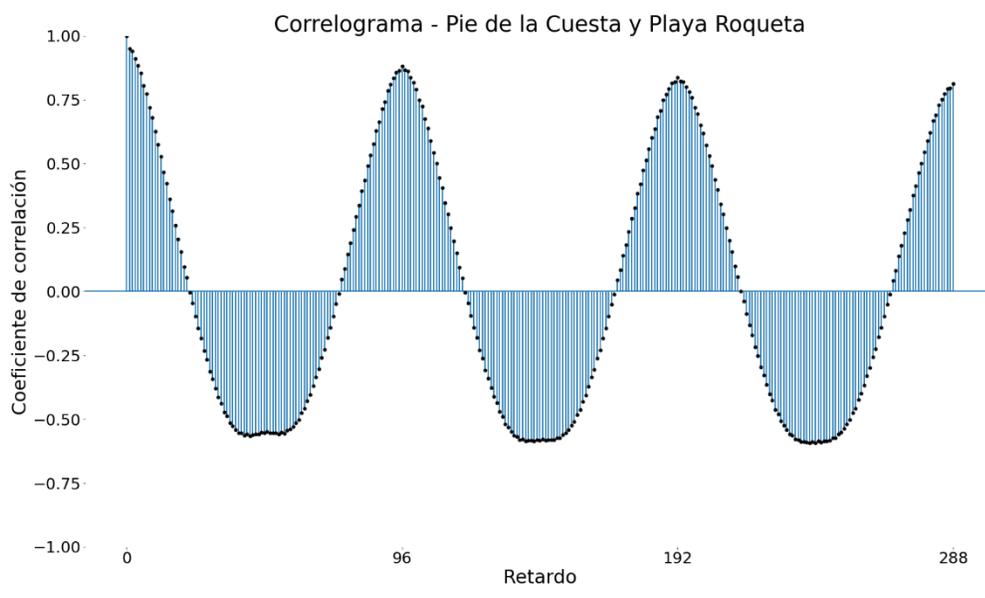
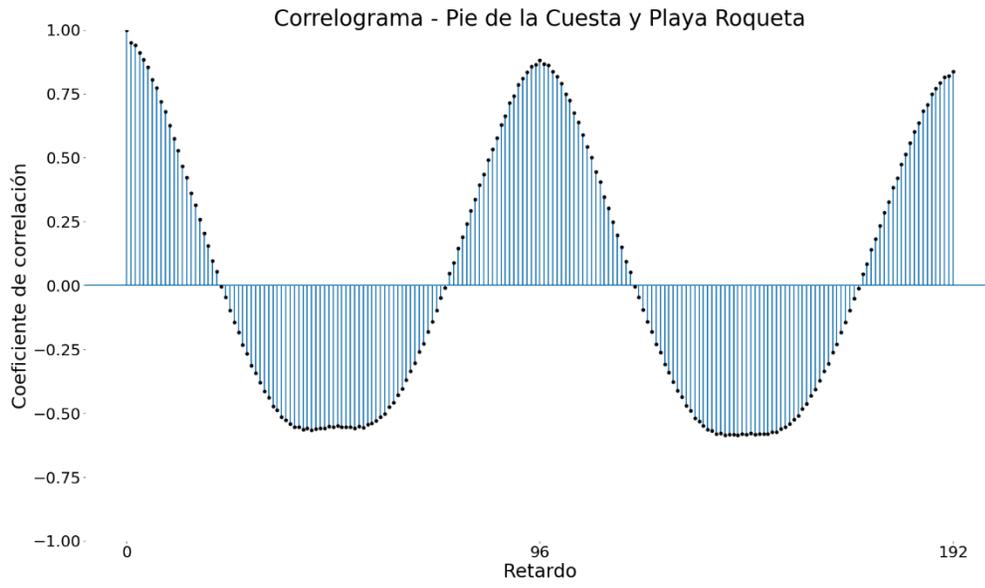
**Anexo XI. Correlogramas Av. Pie de la Cuesta-Playa Rincón**

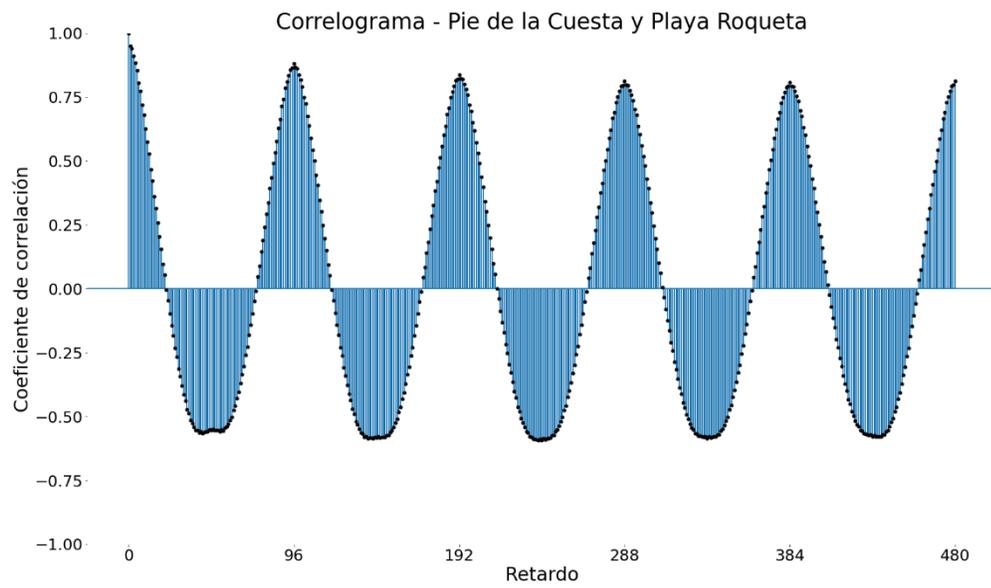
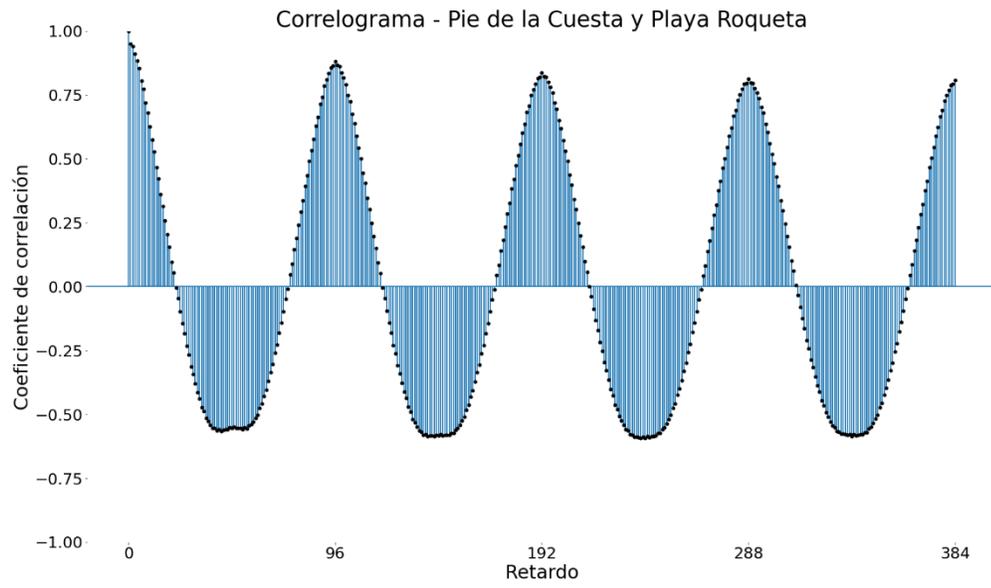


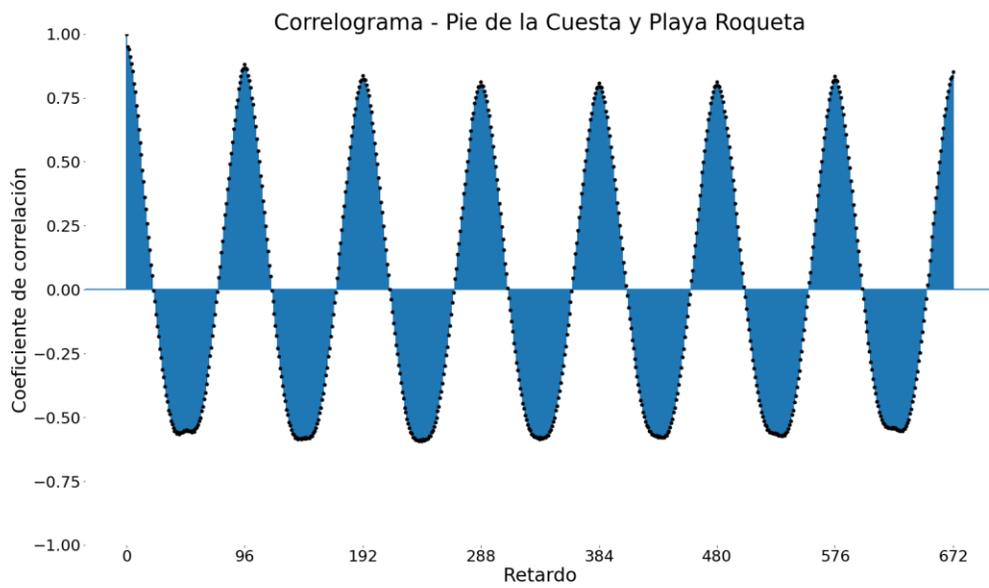
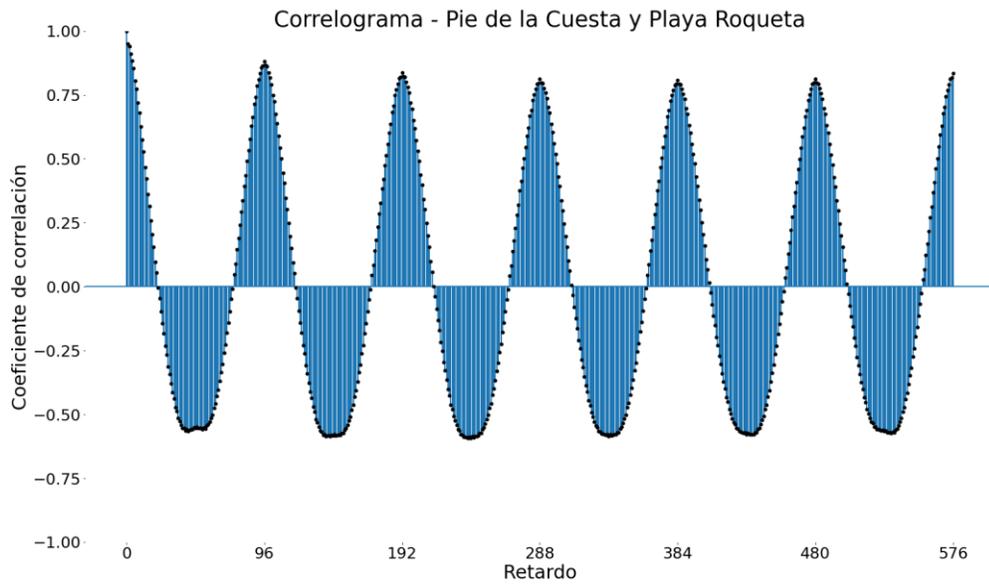




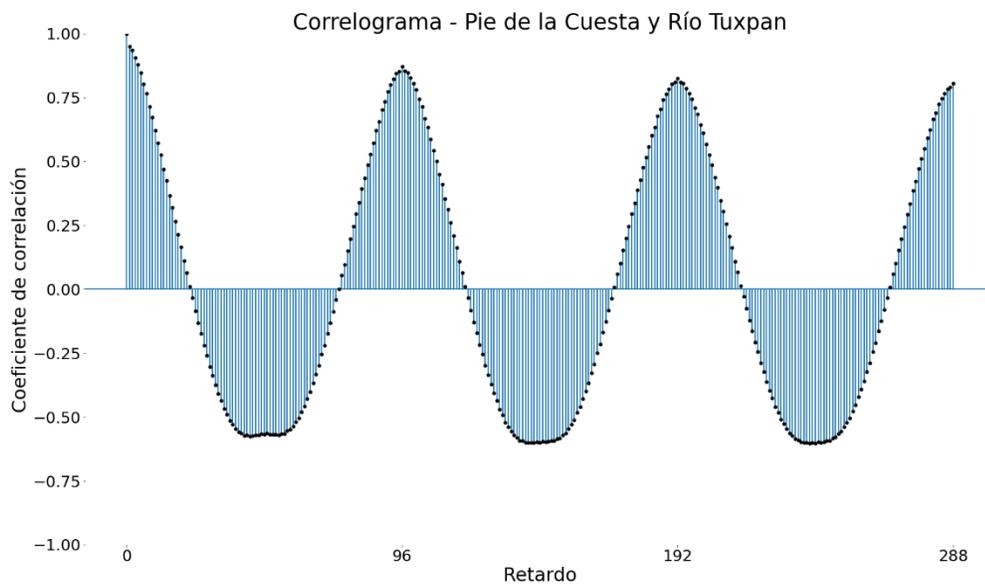
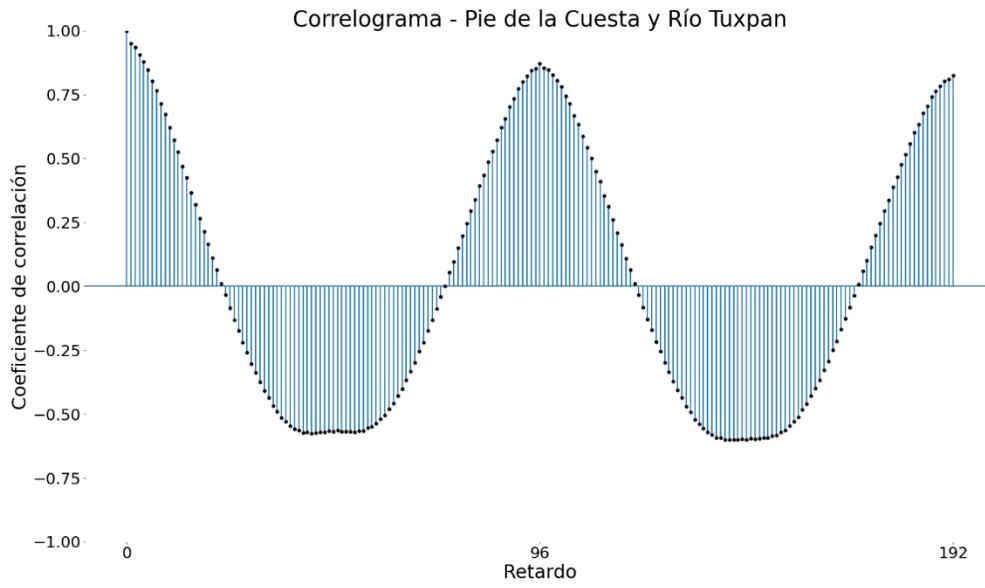
**Anexo XII. Correlogramas Av. Pie de la Cuesta-Playa Roqueta**

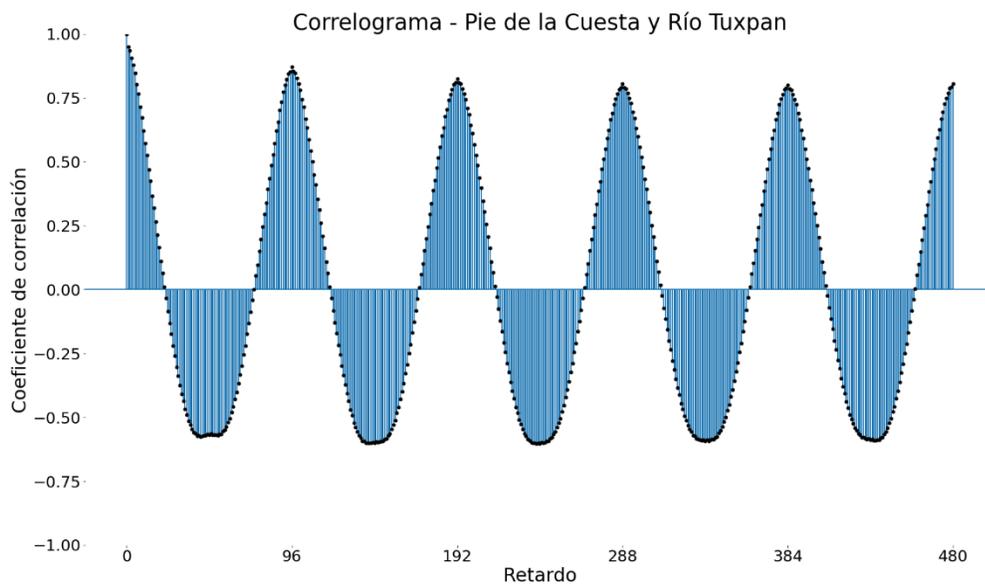
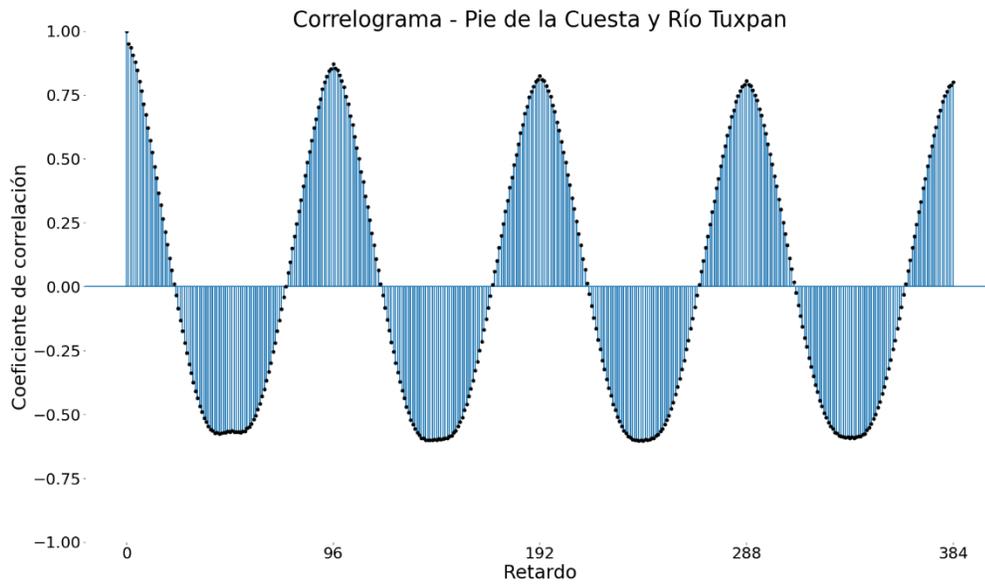


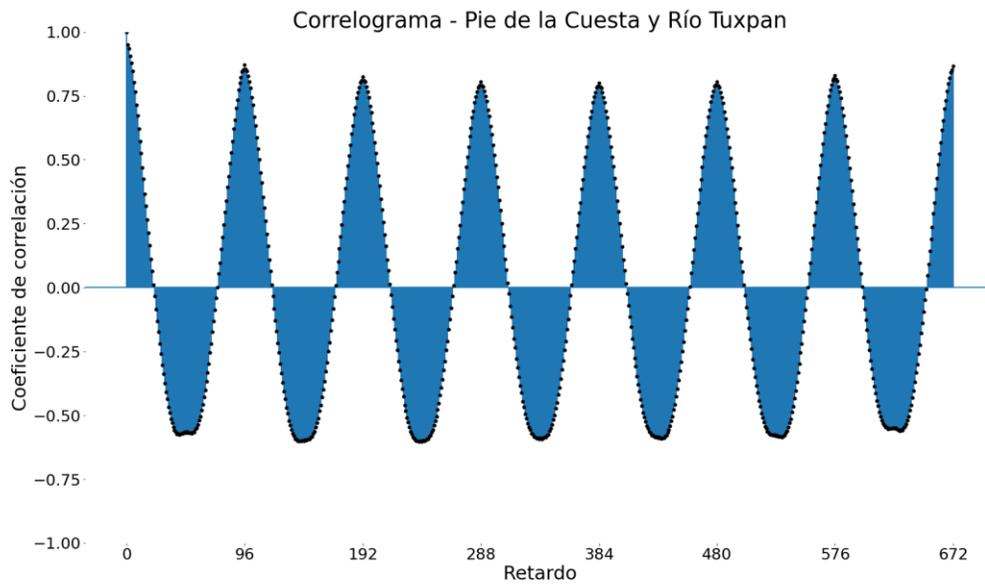
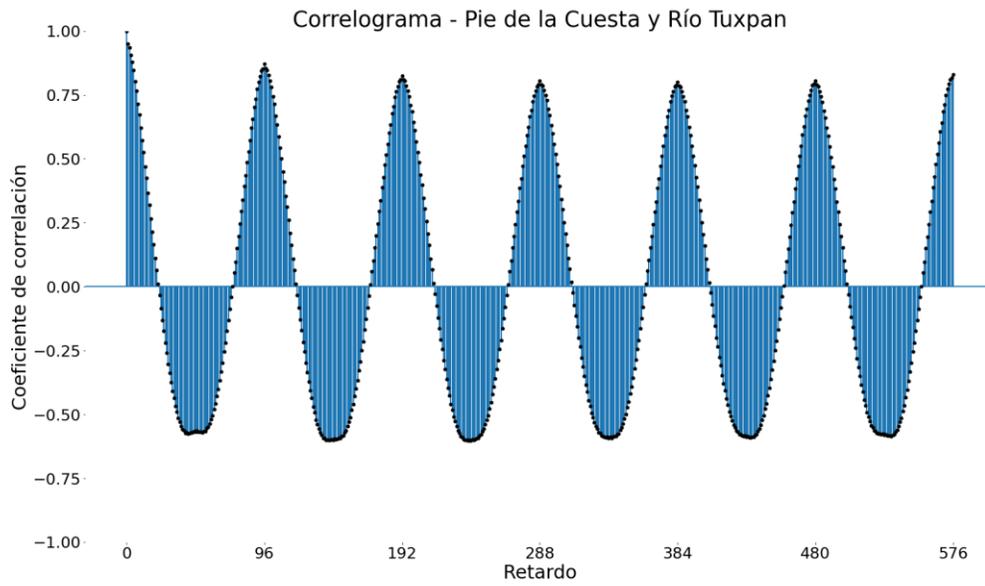




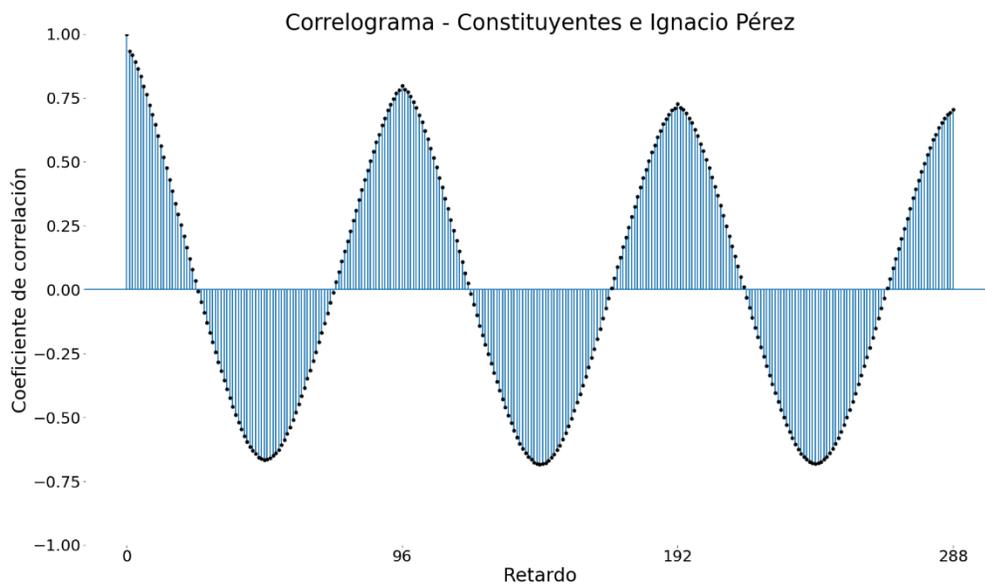
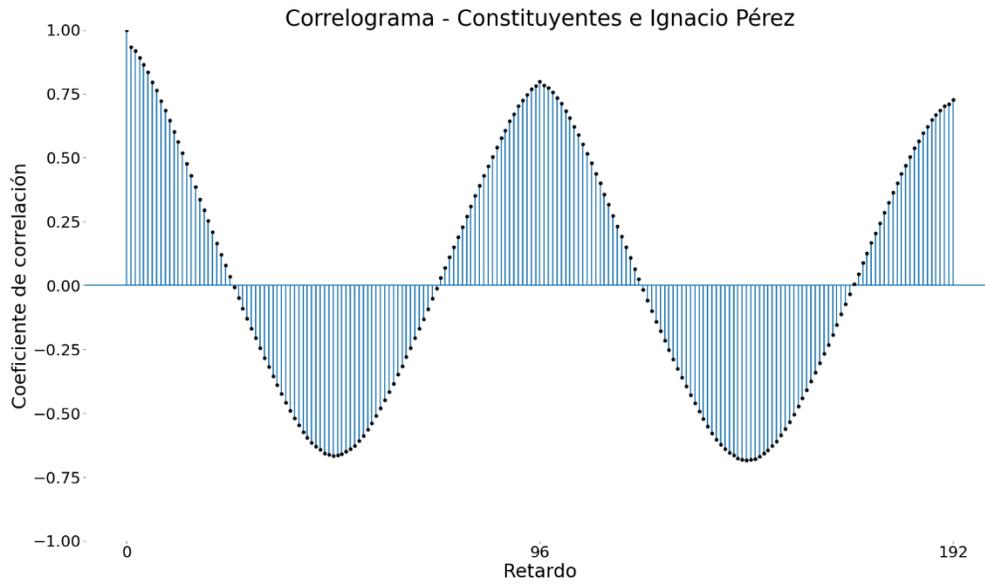
**Anexo XIII. Correlograma Av. Pie de la Cuesta-Río Tuxpan**

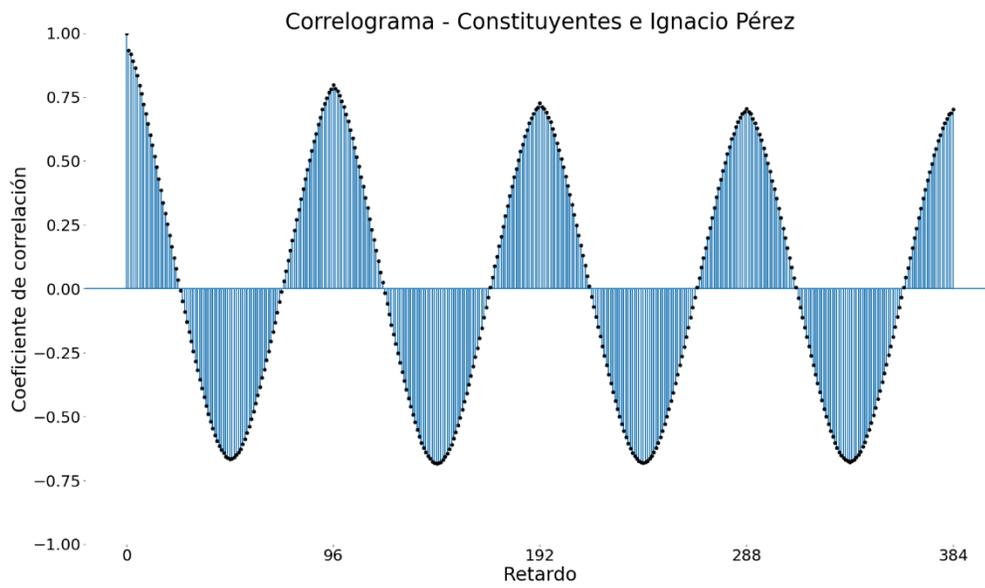
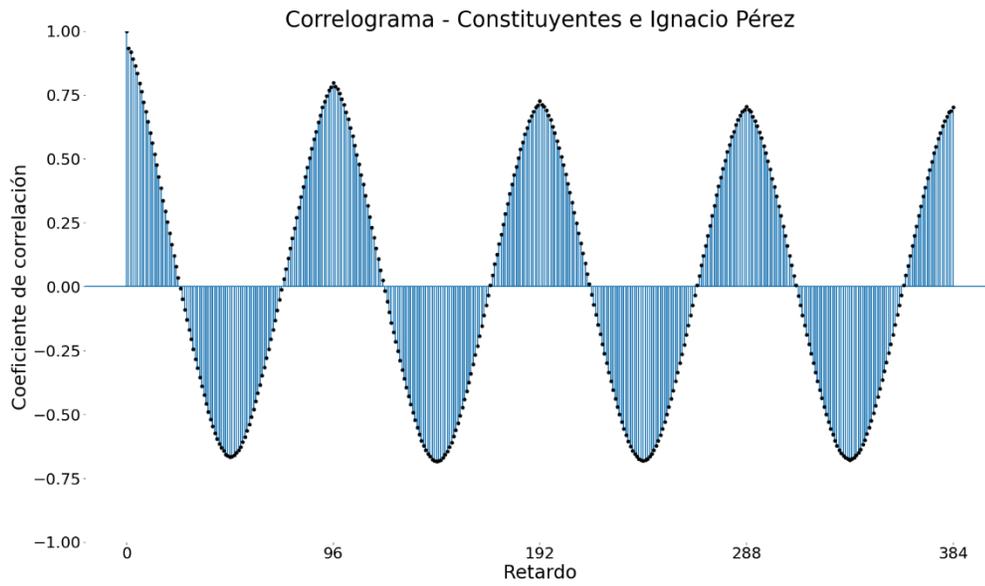


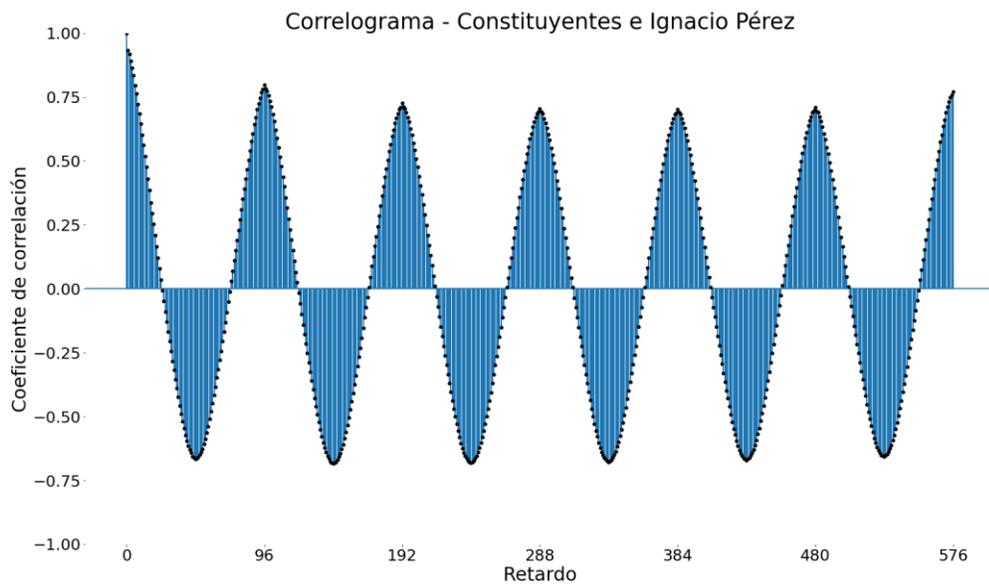
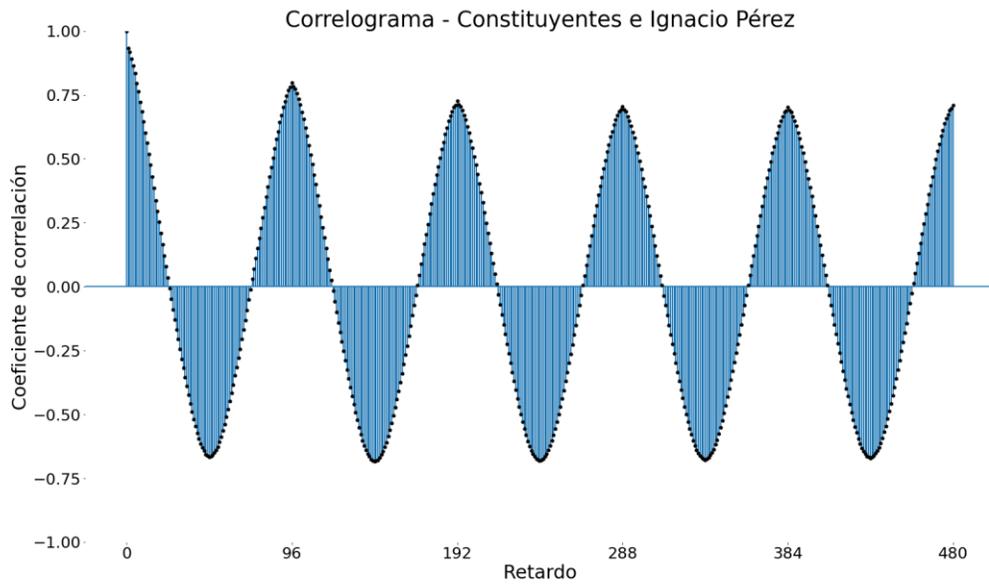




**Anexo XIV. Correlogramas Av. Constituyentes Ignacio Pérez**







**Anexo XV. Correlogramas Av. Constituyentes-Av. Tecnológico**

