



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DEL TRANSPORTE DE CARGA DENTRO DEL PUERTO DE VERACRUZ CON BASE EN EL PROCESAMIENTO DE DATOS MASIVOS

Jared Piña Barcenas
Miguel Gastón Cedillo Campos
Carlos Daniel Martner Peyrelongue

Publicación Técnica No. 677
Sanfandila, Qro.
2022

ISSN 0188-7297

Esta investigación fue realizada en el Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas de Transporte, adscrito a la Coordinación de Transporte Integrado y Logística del Instituto Mexicano del Transporte, por el Mtro. Jared Piña Barcenás, el Dr Miguel Gastón Cedillo Campos y el Dr Carlos Martner Peyrelongue.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna TI 17/21 Análisis de los flujos del transporte de carga dentro del puerto de Veracruz con base en el procesamiento de datos masivos.

Se agradece la colaboración por parte de la Comunidad Portuaria de Veracruz y la API de Veracruz, para la obtención de la información, así como su disposición al participar en las diferentes reuniones de trabajo.

Contenido

	Página
Índice de figuras	v
Índice de tablas	vii
Sinopsis	ix
Abstract	xi
Resumen ejecutivo	xiii
Introducción	1
1. Antecedentes	5
1.1 Descripción de las instalaciones del puerto	5
1.2 Trabajos relacionados	6
2. Proceso de análisis	9
2.1 Depuración de la muestra de datos	9
2.2 Geocercas utilizadas	14
2.3 Estimación de los tiempos de estadía	19
3. Resultados	25
3.1 Tiempos de estadía por ruta	25
3.2 Tiempos de estadía por geocerca	31
3.3 Tiempos de viaje entre geocercas	35
3.4 Caso de análisis	39
Conclusiones	41
Bibliografía	43
Anexo 1.	45

Índice de figuras

	Página
Figura 1.1 Ejemplo de asignación errónea de una geocerca a una trayectoria de puntos	8
Figura 2.1 Muestra de datos GPS de la API de Veracruz	10
Figura 2.2 Ruta del vehículo con la mayor distancia recorrida entre puntos GPS consecutivos.....	12
Figura 2.3 Caso donde la velocidad registrada entre pares de puntos es mayor a 120 km/hr	13
Figura 2.4 Áreas con mayor número de puntos GPS con velocidad de 0 km/h	16
Figura 2.5 Geocercas ubicadas en la zona norte del recinto portuario	17
Figura 2.6 Geocercas ubicadas en la zona sur del recinto portuario.....	18
Figura 3.1 Comparación del tiempo medio y de reserva por ruta básica	28
Figura 3.2 Comparación del tiempo medio y de reserva por ruta compleja	30
Figura 3.3 Comparación del tiempo medio y de reserva por geocerca	33
Figura 3.4 Comparación del tiempo medio y de reserva entre geocercas con origen el CALT	36
Figura 3.5 Comparación del tiempo medio y de reserva de viajes entre geocercas	38

Índice de tablas

	Página
Tabla 2.1 Estadística básica del tiempo transcurrido entre registros contiguos	11
Tabla 2.2 Estadística básica de la distancia entre registros contiguos.....	11
Tabla 2.3 Estadística básica del tiempo entre registros contiguos sin datos erráticos	14
Tabla 2.4 Estadística básica de la distancia entre registros contiguos sin datos erráticos.....	14
Tabla 2.5 Lista de geocercas definidas por la comunidad del puerto de Veracruz	15
Tabla 2.6 Lista de geocercas propuestas.....	17
Tabla 2.7 Lista de geocercas visitadas	21
Tabla 2.8 Medidas de fluidez usadas en el presente estudio	23
Tabla 3.1 Número de viajes por ruta básica.....	26
Tabla 3.2 Número de viajes por ruta compleja.....	27
Tabla 3.3 Indicadores de fluidez por ruta básica.....	29
Tabla 3.4 Indicadores de fluidez por ruta compleja	30
Tabla 3.5 Número de visitas identificadas por geocerca	31
Tabla 3.6 Indicadores de fluidez por geocerca.....	34
Tabla 3.7 Número de viajes identificados entre geocercas con origen el CALT ...	35
Tabla 3.8 Indicadores de fluidez entre geocercas con origen el CALT	37
Tabla 3.9 Indicadores de fluidez de viajes entre geocercas.....	39
Tabla 3.10 Medidas de fluidez de la ruta "Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Muelle 6"	39
Tabla 3.11 Tiempos de estadía en las geocercas de la ruta "Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Muelle 6"	40
Tabla 3.12 Tiempos de los recorridos entre geocercas de la ruta "Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Muelle 6"	40
Tabla A1 - 1 Estadística básica de tiempos de estadía en geocercas	45
Tabla A1 - 2 Estadística básica de tiempos de viaje entre geocercas.....	46
Tabla A1 - 3 Estadística básica de tiempos de estadía por ruta.....	47

Sinopsis

El presente trabajo incluye los resultados del estudio de trazabilidad y fluidez del autotransporte de carga en el puerto de Veracruz usando datos GPS (Global Positioning System). El objetivo fue analizar los movimientos, tiempos y demoras del autotransporte de carga desde que ingresa hasta que sale del recinto portuario en las operaciones cotidianas tanto de importación, como de exportación.

Entre los resultados se incluye un análisis de tiempos de estadía en geocercas donde se comparan los tiempos medios que tardan los vehículos realizando las distintas operaciones, en cada una de las áreas consideradas. Los resultados incluyen además la estimación de los indicadores de fluidez por ruta dentro del puerto donde intervienen las principales áreas de operación.

Por último, este reporte incluye una sección de conclusiones y recomendaciones para reducir el tiempo de estadía en el puerto de Veracruz. Un resultado importante de este trabajo, fue la identificación con éxito de las distintas rutas que siguen los vehículos entre las geocercas, su tiempo total y su clasificación. Con ello se logró medir el tiempo de estadía en el puerto por tipo de ruta.

Abstract

This research work includes the results of a study of traceability and fluidity of freight transport in the port of Veracruz using GPS data. The objective was to analyze the movements, times and delays of truck from it enters until it leaves the port area, when performing daily import and export operations.

The results include an analysis of the times of each visit in the different areas of the port. The average times that the vehicles take to carry out the different operations are compared in each of the areas considered. The results also include the estimation of fluidity indicators by route within the port.

Finally, a section of conclusions and recommendations to reduce the truck-turn-time in the port of Veracruz is included. An important result of this work was the successful identification of the different routes followed by vehicles within the port, as well as their total time and their classification.

Resumen ejecutivo

El presente informe incluye los resultados del estudio de trazabilidad y fluidez del autotransporte de carga en el puerto de Veracruz usando datos GPS (Global Positioning System) de empresas transportistas y recolectados por la API (Administración Portuaria Integral) de Veracruz. Los datos de operaciones de vehículos de carga dentro del puerto abarcan un periodo de tres meses: enero, febrero y marzo del año 2020.

En el Capítulo 1 se presenta una descripción de las instalaciones del puerto de Veracruz de acuerdo a su vocación comercial y sus 7 líneas de negocio. Por cada una de dichas líneas de negocio se indica cómo se hace el manejo de las mercancías correspondientes. Además, se discuten algunos trabajos que se consideran relacionados con el presente estudio y se presentan los trabajos que sirvieron de base para este desarrollo.

En el Capítulo 2 se incluye un análisis de los tiempos y distancias entre cada par de puntos GPS de la muestra. El objetivo de este análisis fue determinar la estabilidad y coherencia de los datos en términos de tiempo y distancia entre cada par de registros consecutivos. Así, se presentan estadísticas del tiempo (minutos) transcurrido entre cada registro y la distancia (metros) recta que los separa. Se debe tener en consideración estos datos para analizar el alcance de un estudio usando puntos GPS, resultado del monitoreo de transporte de carga. Los resultados que se muestran en este capítulo ayudaron a identificar errores en la muestra.

También, en el Capítulo 2, se describe como se realizó la definición de las geocercas que se consideraron para el estudio. Y, por último, se describe el proceso para la estimación de los tiempos de estadía. De manera general, para el análisis se identificaron las paradas donde los datos GPS registran una velocidad menor o igual a los 5 km/hr. Cada parada se relaciona con una de las 51 geocercas consideradas. Después se ordenaron de acuerdo a la fecha y hora de inicio de la parada y se definieron rutas, cuyo inicio se marca en cada parada en el CALT (Centro de Atención Logística al Transporte) y su salida cuando dejan las instalaciones del recinto.

Dicho proceso tuvo como resultado una gran variedad de rutas con diversas geocercas visitadas en diferente orden y número de visitas. Por lo que el siguiente paso fue su clasificación y agrupamiento de acuerdo a patrones en sus visitas.

Las rutas quedaron clasificadas en tres tipos: básicas, complejas e incompletas.

- **Básica.** Las rutas básicas son las que presentan visita al CALT, a los rayos gamma (exportación o importación, solo una de estas) y salida del recinto.

No incluye visitas a los muelles, patios u otra geocerca que no sea de un cesionario específico. Y cada geocerca se visita solo una vez.

- **Compleja.** Las rutas complejas presentan visita al CALT, rayos gamma (exportación o importación, solo una de estas) y salida, pero a diferencia de las anteriores, pueden presentar visitas a diferentes geocercas, entre servicios, muelles, patios o explanadas; y varias veces. Estas rutas se agrupan cuando presentan las mismas geocercas visitadas, sin importar si varía el número de veces que las visitan.
- **Incompleta.** Son todas aquellas rutas que no presentan visita al CALT, o rayos gamma y/o se desconoce cuándo abandonaron el recinto portuario.

Tras la depuración de la muestra de datos, la definición de las geocercas a utilizar y la clasificación de las rutas, se dio paso al análisis de fluidez. Se estimaron los indicadores de fluidez por grupo de rutas, por tiempo de estadía en las geocercas y por tiempo de viaje entre ellas. Los resultados correspondientes se presentan en el Capítulo 3. Entre éstos se incluye un análisis de tiempos de estadía en geocercas donde se comparan el tiempo medio de estadía y los tiempos de reserva que deben tomar en cuenta los vehículos que realizan las distintas operaciones, en cada una de las geocercas consideradas. Las tres medidas de fluidez son: i) coeficiente de variación; ii) índice de reserva; y iii) tiempo de reserva.

Se finaliza el documento con la sección de conclusiones y recomendaciones para reducir el “*truck-turn-time*” en el puerto de Veracruz.

Introducción

El puerto de Veracruz es uno de los nodos logísticos más importantes de México con una capacidad estimada de recepción de carga de 26 millones de toneladas al año. Con la ampliación de las instalaciones en el 2019, se ha dado paso a fomentar mejoras operativas de forma coordinada (De la Fuente, Martner, Cedillo-Campos y Acosta, 2021). Una medida clave del desempeño para los puertos es el tiempo de estadía, el cual puede ser estimado a través de un estudio de trazabilidad de los flujos que ocurren dentro de sus instalaciones.

El tiempo de estadía de los vehículos de carga dentro del recinto portuario (truck-turn-time) es el lapso de tiempo medido en minutos que tarda un camión en realizar sus operaciones en las terminales de un puerto. Existen puertos que ya implementan sistemas para realizar estas mediciones y sitios de consulta de las estadísticas, por ejemplo: el puerto de Oakland (Port of Oakland, 2021) o el de Los Ángeles (West Coast MTO Agreement, 2021) en EE.UU., el puerto de Tauranga (Port of Tauranga, 2021) en Nueva Zelanda, la Terminal APM Bahrain (APM Terminals, 2021) del puerto de Khalifa Bin Salman en el Golfo Pérsico, entre otros. Para realizar la medición de dichos tiempos, las terminales registran la entrada y salida de los vehículos de carga, haciendo uso de tecnologías como por ejemplo los identificadores de radio frecuencia (RFID). Entre los indicadores que generan, se encuentran el tiempo medio de estadía y el porcentaje de vehículos atendidos. Además, se puede dividir la información por tipo de operación, ya sea para entregar o recoger un contenedor.

Sin embargo, no basta con la medición de los tiempos de estadía, también es necesario realizar la trazabilidad de las operaciones para medir cada etapa durante la visita. Para darle viabilidad a los proyectos de trazabilidad de las operaciones portuarias se requiere de la participación y el acuerdo de los múltiples actores que intervienen en la cadena logística marítimo-portuaria. Cada actor desempeña tareas específicas que se van enlazando con las de los demás participantes de la cadena. Por lo tanto, si todos ellos no actúan de manera coordinada y sincronizada, se incrementa la dificultad para visibilizar adecuadamente los procesos y obtener la deseada trazabilidad de las cadenas de suministro. Por lo tanto, identificar los cuellos de botella que señalen los puntos clave para desarrollar soluciones consensuadas para mejorar la eficiencia de las operaciones portuarias.

En este contexto, se caracterizaron los flujos de las operaciones dentro del recinto portuario a través de un estudio de trazabilidad y de medición de los tiempos de estadía con base en el procesamiento de datos masivos derivados de operaciones de monitoreo de los vehículos de carga dentro del recinto portuario.

El presente estudio propuso la estimación de indicadores de fluidez, los cuales pueden ser un apoyo importante para determinar los cuellos de botella que pueden presentar cada una de los segmentos que participan en los diferentes flujos (Cedillo-Campos, Pérez-González, Piña-Barcena, y Moreno-Quintero, 2019). La identificación y priorización de atención de estos cuellos de botella, se considera como un enfoque integral para alcanzar la reducción del tiempo de estadía (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2011).

A este respecto, el presente proyecto está alineado con el objetivo 4 del PROGRAMA SECTORIAL DERIVADO DEL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2019-2024 (SCT, 2020): *“Consolidar la red de infraestructura portuaria y a la marina mercante como detonadores de desarrollo regional, mediante el establecimiento de nodos industriales y centros de producción alrededor de los puertos y; mejorando la conectividad multimodal para fortalecer el mercado interno regional”*.

Concretamente, el objetivo de este trabajo fue identificar los flujos del transporte de carga dentro del puerto de Veracruz, con base en el análisis de datos masivos aportados por la API (Administración Portuaria Integral) del Puerto de Veracruz, para la estimación de indicadores de fluidez como medidas de desempeño de sus operaciones.

Para lograr el objetivo antes mencionado, se analizó una muestra de datos GPS de vehículos de transporte de carga con actividad cotidiana en el puerto de Veracruz. Con base en ellos, se determinaron los tiempos de estadía en cada una de las zonas visitadas en el recinto portuario.

La delimitación de las zonas a ser analizadas se realizó con el apoyo de la API Veracruz, quienes proporcionaron un archivo con las geocercas. Con base en lo anterior, fue posible medir el tiempo de estadía de cada vehículo en las áreas relevantes de actividad dentro del puerto. Es importante mencionar que fue necesario redefinir la extensión del área de cada geocerca, de acuerdo a la operación diaria observada en la muestra GPS, así como la definición de nuevas áreas no consideradas.

Como resultado se logró identificar los tiempos medios, varianzas, tiempos máximos y distribución por percentiles dentro de cada geocerca, así como entre las diversas geocercas (véase el Anexo 1). Además, se realizó el análisis de fluidez de los tiempos de estadía en las instalaciones del recinto portuario. Esto ayudó a identificar los aspectos críticos y las áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia en la operación de los vehículos de carga.

Las siguientes secciones del presente documento se organiza como sigue. En el capítulo uno se presentan los antecedentes, en donde se exponen aspectos importantes para la comprensión de los aportes de este documento, como lo son la descripción de las instalaciones del puerto y trabajos relacionados. En el capítulo dos se desarrolla el proceso de análisis como la depuración de la muestra de datos, la definición de las geocercas utilizadas y una descripción de la estimación de los

tiempos de estadía. En el capítulo tres se presentan los resultados obtenidos, así como los tiempos de estadía y medidas de fluidez por ruta, por geocerca y de los recorridos entre ellas. Para terminar, se exponen las conclusiones del trabajo, así como los anexos con tablas de resultados más extendidas.

1. Antecedentes

1.1 Descripción de las instalaciones del puerto

La vocación del Puerto de Veracruz es comercial y su importancia nacional radica en su atención de 7 líneas de negocio:

Contenedores. El puerto de Veracruz para la atención de la carga contenerizada cuenta con una terminal especializada para su manejo, operada por ICAVE (Internacional de Contenedores Asociados de Veracruz, S.A. de C.V.) y un muelle de usos múltiples utilizado por la maniobrista CICE (Corporación Integral de Comercio Exterior, S.A. de C.V.), así como con cinco instalaciones de usos múltiples manejadas por las empresas GOLMEX (Almacenadora Golmex S.A. de C.V.), RICSA (Reparación Integral de Contenedores Asociados de Veracruz S.A. de C.V.), CIF (CIF Almacenes y Servicios S.A. de C.V.), CICE y SEMAVE (Servicios y Maniobras y Almacenamiento de Veracruz S.A. de C.V.) que ofrecen diversos servicios a la mercancía que se consolida y desconsolida en el puerto. En cuanto a la recepción y desalojo, se realiza principalmente por transporte carretero.

Granel agrícola. Para la atención del granel agrícola el puerto cuenta con tres terminales o instalaciones especializadas para el manejo de este segmento de carga, las cuales están operadas por TMV (Terminal Marítima de Veracruz S.A. de C.V.), Cargill de México y TCE (Terminales de Cargas Especializadas, S.A. de C.V.), así como con tres empresas maniobristas CICE, SSA (SSA de México S.A. de C.V.) y CPV (Corporación Portuaria de Veracruz S.A. de C.V.) que realizan la descarga de los productos de manera convencional. El desalojo se realiza principalmente por transporte ferroviario.

Granel Mineral. El tráfico de este tipo de carga se maneja principalmente en transporte terrestre y en menor participación transporte ferroviario, contando con 2 líneas de ferrocarril (FERROSUR, S.A. DE C.V y Kansas City Southern de México) que dan servicio al puerto, aunado a que dispone con conexiones carreteras para atender este mercado.

Carga general. Este tipo de carga está orientado a productos manufacturados para consumo final o para la producción industrial. Para la atención de la carga general el puerto cuenta con seis cesionarios que dentro de sus instalaciones manejan este tipo de carga, los cuales son GOLMEX, RICSA, CIF, SSA, CICE y SEMAVE, que ofrecen diversos servicios a la mercancía, aunado a esto la Administración del Sistema Nacional Portuario Nacional Veracruz cuenta con la

capacidad de almacenamiento necesaria. La recepción y desalojo se realiza principalmente por transporte carretero.

Automóviles. Para la atención de vehículos el puerto cuenta con dos operadores principalmente SSA y CPV, los cuales ofrecen diversos servicios de valor agregado a las unidades como es el lavado y accesorización. En cuanto a la recepción y desalojo, se realiza tanto por transporte carretero como vía ferrocarril.

Petróleo y derivados. Este segmento se opera principalmente mediante tráfico de cabotaje y está conformado básicamente por tres productos: diésel, gasolina magna y gasolina premium.

Otros fluidos. Los rendimientos en este tipo de carga se basan en un sistema operativo ya que todos los productos de esta categoría se descargan por medio de bombeo de buque a tanque de almacenamiento y la traslación es realizada por medio de tuberías. Para la atención de los fluidos no petroleros el puerto cuenta con dos instalaciones especializadas operadas por Excellence Sea & Land Logistics y VOPAK México, que ofrecen principalmente servicio de almacenaje en el puerto.

1.2 Trabajos relacionados

De acuerdo con Febré, G., y Pérez, G. (2012), el crecimiento sostenido del tráfico internacional está ejerciendo una enorme presión sobre las terminales portuarias para acelerar las operaciones, mantener tarifas competitivas y ofrecer servicios de valor agregado. Recientemente, se ha observado que en América Latina se ha invertido en tecnologías para mejorar la ubicación en tiempo real y la trazabilidad a lo largo de la cadena logística, que se considera fundamental para garantizar la competitividad y sostenibilidad del transporte.

Por ejemplo, los sistemas de transporte inteligente (ITS), ofrecen soluciones a diferentes áreas del sector, y se asocian principalmente con operaciones de carga, vehículos e infraestructura, donde son bien conocidos y existe una amplia gama de investigaciones y aplicaciones. Sin embargo, cuando las empresas invierten en los ITS lo hacen principalmente para controlar el robo, dejando de lado su uso como una herramienta general para mejorar la gestión de la flota y agregar servicios.

Coincidente con el objetivo del presente estudio, en América Latina se han implementado algunas soluciones. Por ejemplo, existen soluciones basadas en la tecnología RFID, es decir, etiquetas de radiofrecuencia que envían señales de identificación a antenas colocadas en zonas estratégicas previamente establecidas. Por ejemplo, en el puerto de Buenos Aires se han usado para determinar las horas pico en áreas de recepción de camiones. En Colombia, varias asociaciones transportistas han considerado su uso para identificar vehículos de carga y pasajeros, de modo que sea posible monitorear ubicaciones clave en ruta, como peajes, puestos de control, cruces fronterizos, zonas francas, puertos, etc. (Febré y Pérez, 2012).

Otra propuesta para abordar la trazabilidad, con el objetivo de determinar la incertidumbre del tiempo de tránsito del transporte de carga y su despacho en puertos, es el uso de contenedores inteligentes (Wattanakul et al., 2018; Wattanakul et al., 2019). Los autores Wattanakul et al. (2018) reportan que la trazabilidad unitaria basada en Internet de las Cosas, con un seguimiento de los contenedores en tiempo real y de múltiples parámetros (como la posición, temperatura, vibración, humedad, etc.), es una solución que permite mejorar la reactividad en tiempo real. Lo anterior al enfrentar perturbaciones y extraer conocimiento de los datos históricos.

Una desventaja inmediata de las tecnologías antes mencionadas, es la inversión que se debe hacer para su implementación. Sin embargo, existen sistemas ya implementados por las empresas transportistas, que no representan un gasto extra y que de hecho, ya generan información suficiente para fines de trazabilidad. Dichos sistemas son los de monitoreo GPS. La información de posicionamiento geográfico de los vehículos ya ha sido usada anteriormente para la identificación de cuellos de botella en cadenas de suministro (Cedillo-Campos et al., 2019). En su investigación, Cedillo-Campos et al. (2019) identifican que el transporte por carretera es el principal medio de transporte en los países con economías emergentes, por lo que en su trabajo presenta un análisis de la confiabilidad del tiempo de viaje con diferentes metodologías. Principalmente, con base en la recolección de datos de carga mediante GPS, como elemento clave para evaluar la fluidez del transporte de mercancías en los corredores de transporte de México. En el presente trabajo, se continua en esta línea de investigación, demostrando la utilidad de los datos GPS para la identificación de la trazabilidad dentro del puerto con el fin de estimar la eficiencia del transporte de carga terrestre a través de sus tiempos de estadía en el recinto portuario.

Del mismo modo, con respecto al uso de datos GPS, otro ejemplo es el trabajo de Zhao y Goodchild (2011), quienes los utilizan para evaluar la predictibilidad del tiempo de llegada de los camiones a las terminales del Puerto de la Bahía de San Pedro (L.A. California). Proponen un método para predecir el intervalo de confianza del 95% del tiempo de viaje entre los pares origen-destino identificados en la muestra de datos.

Por otro lado, un análisis cercano al que aquí se presenta, lo realizó Bartholdi et al. (2017) con datos del Puerto de Balboa, Republica de Panamá. Mediante el análisis de datos GPS generados por vehículos de carga operando dentro del puerto, identifican las áreas visitadas, infieren el tipo de contenedor, si se trata de una entrega o recolección y también miden el tiempo de viaje y estadía. Además, usan aprendizaje máquina para validar las rutas. Ellos retoman el argumento acerca de que los tiempos de estadía en los puertos tienen ciertas deficiencias en cómo se miden actualmente, como la agregación de todos los tiempos de servicio con todos los tiempos de espera y todos los tiempos de viaje, no permitiendo con esto identificar los cuellos de botella a lo largo del proceso.

De manera general, los tres pasos que Bartholdi et al. (2017) siguen son:

1. Establecer como una parada realizada por el vehículo en cuestión, cuando la velocidad entre cada par de registros GPS es menor o igual a los 5 km/h. Se agrupan en una misma parada, toda secuencia máxima de lecturas GPS que cumplan con la restricción de dicha velocidad;
2. Cada secuencia de paradas se relaciona con un camino ya conocido que deben seguir los vehículos de carga;
3. Se usa aprendizaje máquina para descartar las relaciones no plausibles.

Para el presente proyecto, un punto a mejorar en el primer paso es al establecer la ubicación de la parada. Los autores citados usan la latitud y longitud promedios de todos los registros GPS involucrados. El resultado puede ocasionar que secuencias de lecturas GPS que rodeen una geocerca queden dentro de dicha área sin necesariamente haberla visitado (véase Figura 1.1). En su lugar se recomienda usar un proceso distinto para establecer la ubicación de la parada. En específico en el presente trabajo se utilizó la función `ST_PointOnSurface` de la extensión PostGIS de PostgreSQL, para determinar un punto sobre la trayectoria definida por los puntos GPS en cada parada.

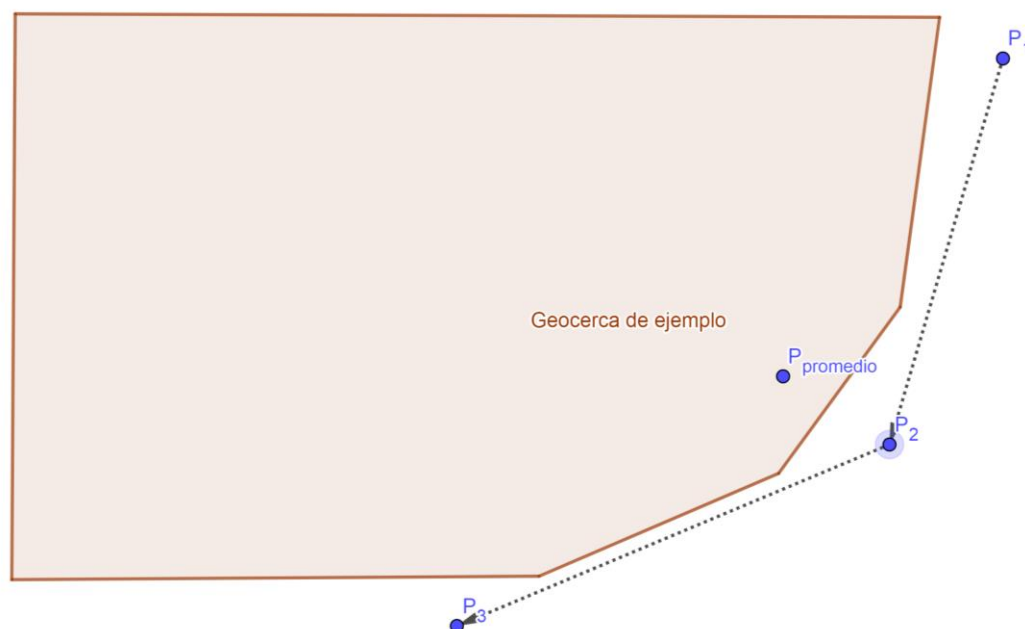


Figura 1.1 Ejemplo de asignación errónea de una geocerca a una trayectoria de puntos

Para realizar un análisis como el realizado por Bartholdi et al. (2017), es necesario contar con una gran cantidad de información por parte de los diferentes involucrados en los procesos dentro del puerto, como: a) las posibles áreas a visitar dependiendo de la tarea a realizar; y b) los tiempos estimados para cada visita. Los resultados presentados más adelante nos sirvieron como un paso previo, cuando no se cuenta con dicha información en su totalidad.

2. Proceso de análisis

2.1 Depuración de la muestra de datos.

La muestra de datos fue entregada por la API de Veracruz. La información se encontraba en tres archivos de texto plano, donde cada uno correspondía a datos del mes de enero, febrero y marzo. Los datos corresponden a un periodo del 2 de enero de 2020, al 27 de marzo de 2020. La información se compone de 9 columnas y 2,620,485 líneas. Los encabezados de las columnas presentan los siguientes nombres:

- Operación
- Velocidad
- Latitud
- Longitud
- Fecha
- Propietario
- Placa
- Configuración vehicular
- Geocerca

La columna “Operación” registra un identificador de control de la visita del vehículo. Las columnas “Velocidad”, “Latitud”, “Longitud”, “Fecha” y “Placa”, registran los datos correspondientes al propio nombre. En “Propietario” y “Configuración vehicular” solo se muestra el valor NA. Por último, en la columna “Geocerca” se registra el identificador del área visitada o -1 si no se encuentra dentro de alguna de ellas.

Para realizar el análisis de consistencia de la muestra, se tomó la columna placa como identificador de los vehículos. En total, la muestra presentó 3,702 vehículos diferentes. En la Figura 2.1 se muestran los registros GPS (puntos verdes) en el recinto portuario (área roja).



Figura 2.1 Muestra de datos GPS de la API de Veracruz

Para iniciar el análisis de consistencia es necesario parear los puntos GPS consecutivos en el tiempo y que pertenecen al mismo vehículo. Tras realizar dicha tarea y estimando el tiempo entre cada par de puntos, se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 2.1. En total se obtienen 2,616,783 pares de puntos, los cuales presentan una media de 23.24 minutos. Como se observa en la tabla, en el primer, segundo y tercer cuartil el tiempo entre pares de puntos es menor de un minuto y el 95% de los tiempos es menor o igual a 1.23 minutos. También se puede observar un tiempo máximo de 78,735.49 minutos. Estos tiempos tan grandes ocurren cuando se pierde la continuidad de los registros GPS, es decir, los puntos consecutivos pertenecen a días diferentes. Dicho comportamiento no es de extrañar, dado que los vehículos realizan viajes que la muestra entregada no cubre, entonces los vehículos van y vienen de la zona de estudio, y es cuando se registran las diferencias tan grandes de tiempo entre los registros.

Tabla 2.1 Estadística básica del tiempo transcurrido entre registros contiguos

Parámetro	Valor (minutos)
Número de tiempos	2,616,783
Media	23.24
Mínimo	0.00
1er cuartil	0.46
Mediana	0.46
3er cuartil	0.48
Percentil del 95%	1.23
Máximo	78,735.49

Otra parte del análisis implica la estimación de la distancia entre cada par de puntos GPS consecutivos. En la Tabla 2.2 se muestra la estadística básica de estas distancias. El número de distancias (2,616,783) es igual al número de tiempos, ya que hace referencia al número de parejas de puntos GPS en la muestra. La distancia media entre puntos consecutivos es de 275.25 metros. La distancia mínima registrada es de cero metros y es a causa de la redundancia de los registros, así como las veces que el vehículo se queda detenido en algún lugar del puerto. La cuarta parte de las distancias son menores o iguales a 0.04 metros y, además, la mitad es menor o igual a 0.91 metros. En el tercer cuartil se tiene registrada una distancia de 32.70 metros y el 95% de los pares presenta una distancia menor o igual a 1,785.23 metros, más de un km de distancia entre puntos consecutivos. El valor máximo de 225,088.08 metros llama la atención y al buscar la pareja correspondiente de puntos se observa que uno de los extremos se encuentra sobre el mar, lo cual denota un caso errático que se debe descartar. Para descartar este tipo de casos es necesario realizar un análisis más detallado de la muestra.

Tabla 2.2 Estadística básica de la distancia entre registros contiguos

Parámetro	Valor (m)
Número de distancias	2,616,783
Media	275.25
Mínimo	0.00
1er cuartil	0.04
Mediana	0.91
3er cuartil	32.70
Percentil del 95%	1,785.23
Máximo	225,088.08

A continuación, se presentan los resultados del análisis realizado para descartar aquellos datos que presentan errores de medición. En la Figura 2.2, por ejemplo, se muestra la ruta seguida por el vehículo con el valor máximo de distancia (225,088.08 metros) entre puntos GPS consecutivos. Como se puede observar, la ruta presenta un movimiento errático, ya que se presenta un desplazamiento sobre el Golfo de México. Para determinar si existen más casos como este, se buscaron todas aquellas parejas de puntos que presentaran una distancia muy grande en cero minutos, así como aquellos casos cuya relación entre la distancia y el tiempo diera como resultado una velocidad superior a la permitida.



Figura 2.2 Ruta del vehículo con la mayor distancia recorrida entre puntos GPS consecutivos

Como resultado se descartaron 668,869 pares de puntos de los vehículos, por presentar movimientos que implicarían velocidades mayores a los 120 km/h o con distancias grandes recorridas en cero minutos. Este tipo de comportamiento puede ser resultado de una falla en el dispositivo GPS del vehículo. En la Figura 2.3 se muestran los casos en los cuales la relación entre la distancia recorrida y el tiempo registrado, da como resultado una velocidad mayor a 120 km/h.



Figura 2.3 Caso donde la velocidad registrada entre pares de puntos es mayor a 120 km/hr

En la Tabla 2.3 se muestran los resultados de la estadística básica de los tiempos de puntos contiguos, sin casos de puntos erráticos en la muestra. Como ya se mencionó antes, se descartaron puntos quedando un total de 1,947,914 pares. El tiempo medio entre registros aumenta poco menos de ocho minutos, con 31.07 minutos. En cuanto al tiempo mínimo, el primer cuartil y la mediana, se mantienen sin cambios. El tercer cuartil presenta un aumento (de 0.48 a 0.51 minutos), al igual que el percentil del 95% (aumenta de 1.23 a 1.96) y el valor máximo se mantiene sin cambios.

Un problema importante a considerar con respecto a los tiempos grandes entre registros contiguos, es que se pierde la trazabilidad del vehículo durante ese tiempo. Se desconoce el motivo de estos casos y su manejo debe ser considerado en la definición del proceso de análisis de los datos.

Tabla 2.3 Estadística básica del tiempo entre registros contiguos sin datos erráticos

Parámetro	Valor (minutos)
Número de tiempos	1,947,914
Media	31.07
Mínimo	0.00
1er cuartil	0.46
Mediana	0.46
3er cuartil	0.51
Percentil del 95%	1.96
Máximo	78,735.49

En la Tabla 2.4 se muestra la actualización de la estadística básica de las distancias tras descartar los pares erráticos. Como se puede observar la distancia media entre puntos disminuye de 275.25 metros a 36.60 metros. El valor mínimo se mantiene igual. Por su lado, el primer cuartil y la mediana disminuyen poco, quedando en 0.03 y 0.39 metros respectivamente. El tercer cuartil tiene una disminución más importante, pasando de los 32.70m a 4.52m. El percentil del 95% también presenta una disminución perceptible, pasando de los 1,785.23 metros a los 223.37 metros. Por último, el valor máximo disminuye varios kilómetros y, más importante, se encuentra de acuerdo con el tiempo transcurrido entre puntos. Ya que los 167,768.55 metros registrados fueron recorridos en 425.33 minutos, lo que da como resultado una velocidad de 23.67 km/h.

Tabla 2.4 Estadística básica de la distancia entre registros contiguos sin datos erráticos

Parámetro	Valor (m)
Número de distancias	1,947,914
Media	36.60
Mínimo	0.00
1er cuartil	0.03
Mediana	0.39
3er cuartil	4.52
Percentil del 95%	223.37
Máximo	167,768.55

2.2 Geocercas utilizadas

La comunidad del puerto proporcionó para el desarrollo del proyecto, una lista de geocercas. La lista contiene 72 geocercas definidas, con identificadores que van de 1 a 124. La lista completa se muestra a continuación en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Lista de geocercas definidas por la comunidad del puerto de Veracruz

ID	Nombre	ID	Nombre	ID	Nombre
1	TNG	68	Muelle 2	96	Almacén 14
3	Cargill	69	Muelle 5	97	Almacén 19
7	SSA	70	Muelle 1	98	Pasillo Cervantes
8	Aduana	71	Salida Rayos Gamma	99	TMV
11	CALT	72	Entrada Rayos Gamma Expo	100	Apasco
13	Pemex	74	Salida Garita Aduana	101	ICAVE
16	ICAVE Norte	75	Área Recinto	102	TCE
17	Ruta Fiscal (Llegada a la fila)	76	Geocerca Aduana	103	Muelle 4
45	GOLMEX	77	Antes Puente Lagartos	104	Muelle 6
50	CICE	78	Después Puente Lagartos	105	Muelle 7
51	VOPAK	81	Explanada 9	106	Muelle 8
52	SEPSA	83	Explanada 1	109	Garita 1
54	Puente Ulúa	84	Almacén 21	110	Garita 2
55	Puente Volvo	85	Patio Frontal Almacén 21	111	Garita 3
56	RICSA	86	Explanada 2	113	Calt Estacionamientos
57	CIF	87	Explanada 4	115	Ruta Fiscal (Fila)
58	Excellence	88	Explanada Muelle 7	117	Salida Rayos Gamma Impto.
60	SEMAVE	89	Almacén 19 Anexo	118	SSA de Mexico S.A. de C.V.
61	CPV	90	Patio M1	119	Bahía Logística
62	Exp. 6	91	Almacén 4	120	ESJ RENOVABLE
63	Exp. 10	92	Almacén Cervantes	121	IPM
65	Exp. 7N	93	Patio Playa Linda	122	ICAVE Bahía Norte
66	Exp. 7S	94	Almacén 10	123	Agrícola PETRA
67	Exp. 8	95	Almacén 11	124	Mineral OPEVER

De la lista anterior, solo un subconjunto de geocercas se usó para determinar los diferentes pasos de los procesos de acceso y desalojo de las mercancías en el recinto portuario, algunas se desecharon y otras se añadieron. El motivo de no hacer uso de todas las geocercas es que algunas de ellas se sobreponen a otras. Para el presente análisis se buscó clasificar cada movimiento dentro de una geocerca de manera unívoca, definiendo así cada paso del proceso sin resultados duplicados.

Para realizar la selección, redefinición o propuesta de nuevas geocercas, primero se tomaron todos los puntos de la muestra con una velocidad de 0 km/h y se agruparon en una cuadrícula donde cada elemento mide 30 metros por lado. En cada uno de los elementos de la cuadrícula se registró el número de puntos GPS que contienen. Se seleccionaron todos aquellos elementos con un conteo mayor al percentil del 95%. Dicha selección se tomó de guía para establecer las geocercas a utilizar, si en las geocercas entregadas por la API no había un área definida,

entonces se determinaba un área nueva con base en los planos de cesionarios del puerto de Veracruz (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016). En la Figura 2.4 se muestra la cuadrícula antes mencionada en color rojo sobre las geocercas definidas como resultado del proceso anterior.



Figura 2.4 Áreas con mayor número de puntos GPS con velocidad de 0 km/h

Un total de 50 geocercas fueron tomadas en cuenta para el análisis de los flujos del transporte de carga dentro del recinto portuario. A continuación, se muestra la lista completa (véase la Tabla 2.6) y es importante mencionar que las 34 primeras geocercas (identificadores del 3 al 122) pertenecen al grupo original definido por la API y las 16 geocercas restantes (identificadores del 203 al 220) fueron agregadas tras el análisis anterior. En la Figura 2.5 y en la Figura 2.6 se muestran las geocercas ubicadas en la zona norte y sur del recinto portuario, así como su identificador numérico como referencia.

Tabla 2.6 Lista de geocercas propuestas

ID	Nombre	ID	Nombre
3	Cargill	102	TCE
7	Exp. 5	103	Muelle 4
8	Aduana	104	Muelle 6
45	GOLMEX	105	Muelle 7
50	CICE	111	Garita 3
51	VOPAK	113	Calt Estacionamientos
56	RICSA	117	Rayos Gamma Imp.
57	CIF	118	SSA
58	Excellence	122	ICAVE Bahia Norte
60	SEMAVE	203	Patio Almacen 19 Anexo
61	CPV	204	Patio Explanada Muelle 7
62	Exp. 6	205	Área Espera TCE
63	Exp. 10	206	Patio Almacén 14
68	Muelle 2	207	Patio Muelle 4
69	Muelle 5	208	Pasillo Almacenes
70	Muelle 1	210	Exp. 3
81	Exp. 9	211	Ruta Fiscal
83	Exp. 1	212	Rayos Gamma Exp.
85	Patio Frontal Almacén 21	213	Exp. 7
86	Exp. 2	214	SEPSA
87	Exp. 4	215	Control Portuario
88	Exp. Muelle 7	216	Salida Ruta Fiscal
93	Patio Playa Linda	218	Entrada - Salida Norte
96	Almacén 14	219	Bahía Logística Activa
101	ICAVE	220	FIRE LATE

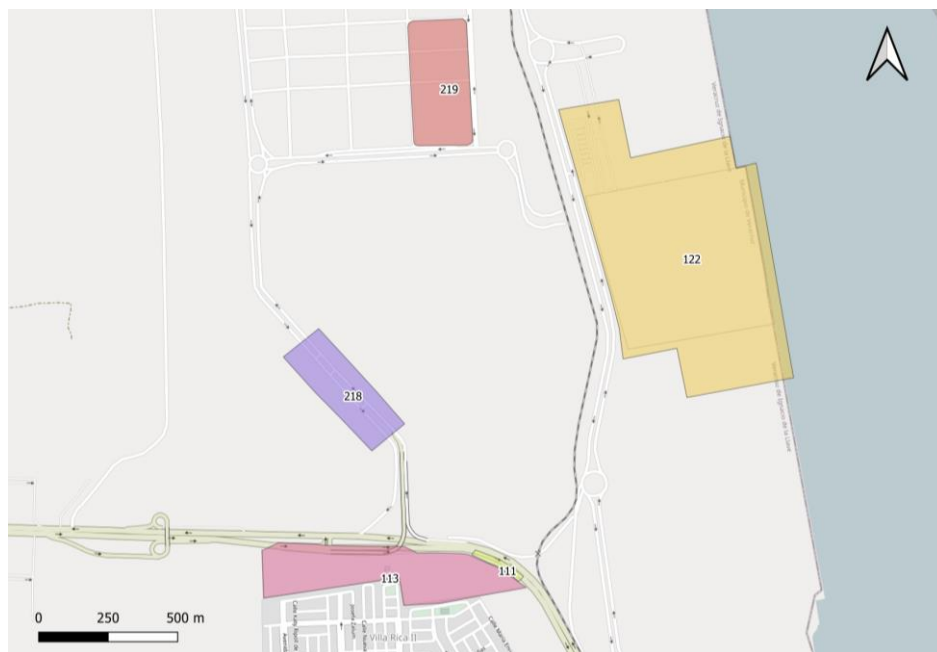


Figura 2.5 Geocercas ubicadas en la zona norte del recinto portuario

Por otro lado, las explanadas son destinadas al almacenaje de cargas diversas. Sin embargo, en su mayoría se dedican a recibir específicamente automóviles, como es el caso de las explanadas 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Por su parte la explanada del muelle 7 y la explanada 9 se encargan de almacenar contenedores. La explanada 10 es para depósito, guarda, mantenimiento y reparación de equipo, herraje y cabuyería. Por último, la explanada 7 es destinada para cargas diversas.

Como se mencionó anteriormente, en la lista se incluyen geocercas nuevas, que fueron tomadas en cuenta para el análisis por ser áreas donde los vehículos de carga pasan un tiempo importante detenidos. Estas áreas son: Patio Almacén 19 Anexo, Patio Explanada Muelle 7, Patio Frontal Almacén 21, Patio Playa Linda, Área Espera TCE, Almacén 14, Patio Almacén 14, Patio Muelle 4, Pasillo Almacenes y Salida Ruta Fiscal.

Otras áreas de interés son:

- Aduana: comprende las instalaciones primarias, los edificios de oficinas administrativas, los estacionamientos interiores, las plataformas y oficinas de reconocimiento aduanero, así como las instalaciones complementarias que se encuentren dentro del área delimitada por la barda perimetral que rodea las instalaciones nombradas anteriormente, su sección aduanera en su caso, así como las demás áreas destinadas a la revisión.
- Garita 3: Área de sensores de masa, identificación y validación de ingreso al recinto portuario. Forma parte del CALT.
- Calt Estacionamientos: Como su nombre lo dice, son los estacionamientos del Centro de Atención Logística al Transporte
- Rayos Gamma Imp.: Rayos gamma para las importaciones.
- Ruta Fiscal: es la vía autorizada por la Aduana, que deberá ser utilizada para realizar el despacho aduanero de mercancías y de los medios en que se transportan o conducen, y el tránsito de vehículos, así como, de los pasajeros que introducen mercancía de comercio exterior a su llegada al país proveniente del extranjero.
- Rayos Gamma Exp.: Rayos gamma para las exportaciones.
- Control Portuario: Edificio para el Acceso peatonal y vehicular particular para el Recinto
- Entrada - Salida Norte: Área de acceso a la zona norte del recinto, principalmente usada por los vehículos que visitan la terminal de ICAVE o la bahía logística,
- Bahía Logística Activa: Área de recepción de contenedores vacíos.
- FIRE LATE: Instalación para el pesaje de camiones.

2.3 Estimación de los tiempos de estadía

Una vez que se realizó la tarea de depuración de la muestra de registros GPS y que se cuenta con las geocercas para el análisis bien definidas, se dió inicio el proceso de estimación de los tiempos de estadía. Para empezar, se hizo una selección de registros que cumplieran con tres condiciones:

1. La primera condición es que el intervalo de tiempo entre registros consecutivos debe ser menor o igual a dos minutos. Esta condición es con base en el percentil del 95% de los tiempos entre registros contiguos sin datos erráticos (el valor es de 1.96 minutos pero se decidió redondearlo, véase la Tabla 2.3).
2. La segunda condición es que la velocidad de viaje entre cada par de puntos sea menor o igual a 5 km/h. Para esta condición se tomó como referencia el trabajo de Bartholdi et al. (2017), donde como primer paso para su análisis seleccionan toda secuencia de lecturas GPS cuyas velocidades cumplan con la restricción anterior.
3. La tercera condición es la relación de las dos condiciones anteriores, donde la distancia entre cada par de registros no sea mayor a los 166.67 metros. Esta distancia es la que se puede recorrer a una velocidad de 5 km/h en 2 minutos.

Se trabajó con los elementos que cumplieron las restricciones anteriores y se formaron grupos con todas aquellas sub-secuencias máximas de lecturas GPS, dichos grupos son las paradas analizadas. Para determinar su ubicación se usó la función `ST_PointOnSurface` de PostGIS, la cual retorna un punto sobre la trayectoria definida por todos los puntos. Durante el proceso de agrupamiento también se asoció el identificador de la geocerca donde se encuentre la ubicación o en su defecto cero cuando se encuentra en una zona fuera de cualquiera de ellas.

En un siguiente paso se realizó un barrido por vehículo de las paradas realizadas, en orden según la fecha y hora de inicio, para determinar las diferentes rutas seguidas. Se estableció como inicio de ruta, el estacionamiento del CALT o si hay un cambio de fecha entre cada par de paradas consecutivas. Para cada ruta identificada se registró su fecha y hora inicial y final, el identificador del vehículo y la lista ordenada de geocercas visitadas.

Después de determinar las diferentes rutas se les hizo una revisión, donde se verificó que tuvieran registrada la visita al CALT y en caso negativo, se revisó la muestra de datos GPS para determinar si existía la llegada a las instalaciones del puerto. Se consideró como válido el hecho de que no necesariamente se registrara una parada en el área del CALT, ya que se puede dar el caso de que el proceso de entrada sea rápido y/o de manera automática. Sin embargo, al revisar la muestra de datos se observó que, en el caso de algunos vehículos, la toma de lecturas GPS iniciaba ya dentro del puerto, sin contar con registros anteriores.

Otros casos a revisar, fue el registro de visitas a una misma geocerca dos o más veces de manera consecutiva. Fue necesario descartar los casos donde esto se debía a la falta de precisión del GPS y hacer las modificaciones necesarias o validar que el vehículo si salía del área y después de un tiempo regresaba a la misma sin visitar otras.

En cuanto a la tarea de validar las visitas a las geocercas o determinar si hace falta la visita a una geocerca para cumplir con algún tipo de servicio, no se llevó a cabo.

Esto fue debido a que este trabajo se delimitó a un análisis inicial para contar con las estadísticas y rutas de referencia del comportamiento de los vehículos dentro del puerto. Lo anterior debe ser discutido con la comunidad del puerto para validar los resultados y definir escenarios base para comparar futuros estudios similares.

Una vez que se realizó la asociación de las paradas con las geocercas visitadas y se determinaron las rutas seguidas por los vehículos de carga, se dió paso a estimar tiempos de estadía dentro de cada área visitada, tiempos de viaje entre áreas y el tiempo total dentro del recinto portuario.

Para la estimación de los indicadores de fluidez por ruta, se realizó la clasificación de estas de acuerdo a las geocercas visitadas, el orden y número de veces. Las clasificaciones propuestas fueron:

Ruta básica: Son aquellas que presentan parada en el CALT. Se puede identificar si se trata de una importación o exportación al registrar parada en las geocercas correspondientes. Y además solo presentan una parada en las geocercas de la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Lista de geocercas visitadas

ID	Nombre	ID	Nombre
3	Cargill	93	Patio Playa Linda
7	Exp. 5	96	Almacen 14
45	GOLMEX	101	ICAVE
50	CICE	102	TCE
51	VOPAK	103	Muelle 4
56	RICSA	104	Muelle 6
57	CIF	105	Muelle 7
58	Excellence	118	SSA
60	SEMAVE	122	ICAVE Bahia Norte
61	CPV	203	Patio Almacen 19 Anexo
62	Exp. 6	204	Patio Explanada Muelle 7
63	Exp. 10	206	Patio Almacen 14
68	Muelle 2	207	Patio Muelle 4
69	Muelle 5	208	Pasillo Almacenes
70	Muelle 1	210	Exp. 3
81	Exp. 9	213	Exp. 7
83	Exp. 1	214	SEPSA
85	Patio Frontal Almacen 21	215	Control Portuario
86	Exp. 2	219	Bahía Logística Activa
87	Exp. 4	220	FIRE LATE
88	Exp. Muelle 7		

Ruta compleja: Son aquellas que presentan parada en el CALT. Se puede identificar si se trata de una importación o exportación al registrar parada en las geocercas correspondientes. Y a diferencia de las anteriores, pueden presentar más de una parada en las geocercas antes enlistadas en la Tabla 2.7.

Ruta incompleta: La principal diferencia con respecto a las clasificaciones anteriores es que pueden no presentar registro de entrada en el CALT o no se puede determinar si se trata de una importación o exportación.

Al ser clasificadas las rutas se simplifica la lista de geocercas visitadas para ser agrupadas. Por ejemplo, la ruta básica donde se visita la geocerca de CICE para importación es "Calt Estacionamientos,CICE,Rayos Gamma Imp." y algunas rutas que se agrupan son:

- "Calt Estacionamientos,CICE,Aduana,Salida Ruta Fiscal"
- "Calt Estacionamientos,CICE,Rayos Gamma Imp.,Aduana"
- "Calt Estacionamientos,CICE,Rayos Gamma Imp.,Aduana,Salida Ruta Fiscal"
- "Calt Estacionamientos,CICE,Rayos Gamma Imp.,Salida Ruta Fiscal"
- "Calt Estacionamientos,CICE,Rayos Gamma Imp.,Salida Ruta Fiscal,Salida Ruta Fiscal"

En el ejemplo anterior se muestran las geocercas que pueden llegar a registrar una visita durante la tarea de importación del patio de CICE. La visita a las geocercas de la aduana, la ruta fiscal o la salida de la ruta fiscal pueden llegar a registrarse o no, dependiendo de la velocidad del proceso en cada una de ellas, pero al tener registrada la visita a los rayos gamma de importación se concluye su paso por las áreas anteriores.

Como ejemplo de una ruta compleja, se considera la visita al muelle 2 para exportación. La ruta compleja simplificada es "Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Muelle 2,Patio Muelle 4" y agrupa las rutas:

- "Calt Estacionamientos,Garita 3,Rayos Gamma Exp.,Muelle 2,Patio Muelle 4,Salida Ruta Fiscal"
- "Calt Estacionamientos,Garita 3,Rayos Gamma Exp.,Patio Muelle 4,Muelle 2,Patio Muelle 4"
- "Calt Estacionamientos,Garita 3,Rayos Gamma Exp.,Patio Muelle 4,Muelle 2,Patio Muelle 4,Muelle 2,Patio Muelle 4,Salida Ruta Fiscal"
- "Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Patio Muelle 4,Muelle 2,Patio Muelle 4,Muelle 2,Patio Muelle 4"
- "Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Patio Muelle 4,Muelle 2,Patio Muelle 4,Muelle 2,Patio Muelle 4"

Como se muestra en el ejemplo, las rutas consideradas como complejas presentan varias visitas a una o varias geocercas y se consideran similares al presentar las mismas geocercas repetidas. Determinar la validez y causas de estos movimientos

es una tarea que se debe llevar en conjunto con la comunidad portuario, ya que son ellos quienes tienen mayor información de los procesos.

En cuanto a las rutas clasificadas como incompletas, se presenta como ejemplo la ruta "Calt Estacionamientos, Exp. 2" que engloba aquellas rutas que solo muestran una visita a la explanada 2, las variantes son:

- "Calt Estacionamientos, Exp. 2"
- "Calt Estacionamientos, Exp. 2, Exp. 2"
- "Calt Estacionamientos, Exp. 2, Salida Ruta Fiscal"
- "Calt Estacionamientos, Garita 3, Exp. 2, Salida Ruta Fiscal"

Como se muestra en el ejemplo, entre las diferentes variaciones que presentan se encuentra el número de veces que se visita la explanada o las paradas en el área de la salida de la Ruta Fiscal y la garita 3. Se consideran como rutas incompletas al no presentar de manera clara su paso por los rayos gamma de exportación o la ruta fiscal y los rayos gamma de importación, sin embargo, se sabe que la explanada 2 almacena automóviles.

Una vez clasificadas y agrupadas las rutas se da paso a la estimación de las medidas de fluidez. Las medidas de fluidez consideradas son: i) el coeficiente de variación; ii) el tiempo de reserva (buffer time); y iii) el índice de reserva (buffer index). Al igual que en el estudio realizado por Cedillo-Campos, Pérez-González, Piña-Barcena y Moreno-Quintero (2019), la audiencia principal de este estudio son los tomadores de decisiones privados y/o públicos, en específico se trata de la Comunidad Portuaria de Veracruz y la API Veracruz. Se adoptó el punto de vista del usuario para establecer medidas de confiabilidad, utilizando los datos georreferenciados de sus movimientos, y el uso de un enfoque de preferencias reveladas basado en dispositivos GPS para recopilar datos del viaje del usuario.

Tabla 2.8 Medidas de fluidez usadas en el presente estudio

Índice	Fórmula	Detalles
Coeficiente de variación	$CV = \frac{Desv. Estandar}{Tiempo medio de viaje} * 100$	Relación entre la desviación estándar y la media
Índice de reserva	$BI = \frac{Perc. 95\% - Tiempo medio de viaje}{Tiempo medio de viaje}$	Tiempo extra necesario expresado en porcentaje
Tiempo de reserva	$BT = Perc. 95\% - Tiempo medio de viaje$	Tiempo extra necesario expresado en unidades de tiempo

3. Resultados

En el proceso inicial de identificación de las rutas se encontraron 7,419, las cuales se agrupan en 1,480 patrones diferentes. Tras el análisis de clasificación de rutas (agrupamiento de rutas similares) se consiguió reducir el número a 477 patrones diferentes, de las cuales 68 fueron clasificadas como rutas de tipo básicas, 123 complejas y 286 incompletas.

Los resultados que se presentan a continuación se dividen en cuatro secciones. Se inicia con la presentación de los análisis de los tiempos de estadía por ruta, presentando los indicadores de fluidez para las rutas básicas y complejas únicamente. En la segunda sección se presentan los resultados del análisis de los tiempos de estadía por geocerca, tomando en cuenta todas las visitas identificadas en la muestra. En la tercera sección se presenta el análisis de los tiempos de viaje entre geocercas de la muestra completa. Y por último en la cuarta sección se presenta un ejemplo en específico de cómo se pueden identificar los cuellos de botella en las diferentes rutas presentadas.

3.1 Tiempos de estadía por ruta

En la Tabla 3.1 se muestran las principales rutas básicas con al menos 10 viajes identificados. Como se puede observar, existe una diferencia importante en el número entre las rutas donde participa la terminal de ICAVE con el resto de terminales, explanadas y patios. El número de visitas donde participa ICAVE e identificadas como importación suman 985 en total, mientras que en el caso de las que se interpretan como exportaciones suman un total de 698 visitas. El resto de rutas presentan menos de 300 visitas, cuyo orden de importancia en número para el caso de importación son: GOLMEX, VOPAK, RICSA, CICE, Muelle 7, TCE, CIF, Excellence, Patio Playa Linda, Cargill, Exp. 6, SEMAVE y SSA. En cuanto a las exportaciones se tiene a: Muelle 7, Exp. 5, CICE, Exp. 9, SSA, RICSA, Exp. 3 y Muelle 6. En el caso donde los vehículos visitan la geocerca “Bahía Logística Activa” se sabe que es para la recepción de contenedores vacíos y en total se identificaron 279 visitas con esta finalidad.

Dividiendo las rutas básicas dependiendo de si pasaron por los rayos gamma de importación o los de exportación, se tiene que 1,825 rutas básicas pasaron por los rayos de importación y 1,003 por los de exportación. También se identifican 388 visitas que se interpretan como de depósito de contenedores vacíos. En total se identificaron 3,216 viajes de rutas básicas.

Tabla 3.1 Número de viajes por ruta básica

Ruta	Total
Calt Estacionamientos,ICAVE Bahia Norte,Rayos Gamma Imp.	985
Calt Estacionamientos,Entrada - Salida Norte,ICAVE Bahia Norte	698
Calt Estacionamientos,Entrada - Salida Norte,Bahía Logística Activa	279
Calt Estacionamientos,GOLMEX,Rayos Gamma Imp.	243
Calt Estacionamientos,VOPAK,Rayos Gamma Imp.	120
Calt Estacionamientos,RICSA,Rayos Gamma Imp.	92
Calt Estacionamientos,CICE,Rayos Gamma Imp.	85
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Exp. Muelle 7	68
Calt Estacionamientos,TCE,Rayos Gamma Imp.	62
Calt Estacionamientos,CIF,Rayos Gamma Imp.	61
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Exp. 5	45
Calt Estacionamientos,Excellence,Rayos Gamma Imp.	33
Calt Estacionamientos,Patio Playa Linda,Rayos Gamma Imp.	31
Calt Estacionamientos,Cargill,Rayos Gamma Imp.	30
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,CICE	27
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Exp. 9	27
Calt Estacionamientos,Exp. 6,Rayos Gamma Imp.	22
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,SSA	19
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,RICSA	17
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Exp. 3	16
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Muelle 6	15
Calt Estacionamientos,SEMAVE,Rayos Gamma Imp.	12
Calt Estacionamientos,SSA,Rayos Gamma Imp.	10

En la Tabla 3.2 se presentan los viajes por ruta compleja con al menos 10 registros identificados. La diferencia en el número de viajes es importante respecto a la clasificación anterior, ya que el número máximo es de solo 20 registros. Más aún, el número total de viajes clasificados como complejos suman un total de 431. En este tipo de rutas se observa que participan en gran medida los muelles (en 171 viajes) y la instalación para el pesaje de camiones del cesionario FIRE LATE (en 133 viajes). Las rutas con un mayor número de viajes son las que presentan visita a la terminal de ICAVE (en la antigua zona del puerto), al Muelle 4 o al Muelle 6, además, en las tres opciones se visitan los Rayos Gamma de Importación.

Tabla 3.2 Número de viajes por ruta compleja

Ruta	Total
Calt Estacionamientos,ICAVE,FIRE LATE,Rayos Gamma Imp.	20
Calt Estacionamientos,Muelle 4,FIRE LATE,Rayos Gamma Imp.	19
Calt Estacionamientos,Muelle 6,FIRE LATE,Rayos Gamma Imp.	18
Calt Estacionamientos,Muelle 4,SEPSA,Rayos Gamma Imp.	15
Calt Estacionamientos,Muelle 4,Patio Muelle 4,SEPSA,Rayos Gamma Imp.	14
Calt Estacionamientos,GOLMEX,Rayos Gamma Imp.	13
Calt Estacionamientos,GOLMEX,FIRE LATE,Rayos Gamma Imp.	13
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Exp. 5,Exp. 2	11
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Muelle 2,Exp. 9	10
Calt Estacionamientos,Muelle 2,SEPSA,Rayos Gamma Imp.	10

En la Figura 3.1 se puede observar una comparación de los tiempos medios y los tiempos de reserva necesarios a considerar para realizar las rutas clasificadas como básicas. Para mayor detalle, en la Tabla 3.3 se presentan los valores de los dos indicadores antes mencionados, más el coeficiente de variación y el índice de reserva. En la gráfica las rutas se encuentran ordenadas de mayor a menor tiempo medio. La ruta básica de importación en la terminal de Excellence presenta el mayor tiempo medio con 354.27 minutos, pero también presenta el menor coeficiente de variación, el cual se ve reflejado en su tiempo de reserva necesario, de 196.79 minutos, el cual representa el 0.56 del tiempo promedio.

Un caso importante para analizar es el de la ruta básica de exportación en el muelle 6, ya que como se puede observar en la gráfica el tiempo de reserva presenta una diferencia mayor e importante respecto al tiempo medio. Este comportamiento se aprecia claramente en su coeficiente de variación de 106.70% y su índice de reserva de 2.35 veces su tiempo medio. En una sección más adelante se aborda un análisis de este caso para determinar los principales cuellos de botella durante la ruta.

Al menos 11 rutas presentan tiempos de reserva mayores a su tiempo medio (índices de reserva mayores a uno), lo cual representa una oportunidad de mejora. También es importante ver que en al menos 20 rutas el tiempo de reserva a considerar es mayor a dos horas.

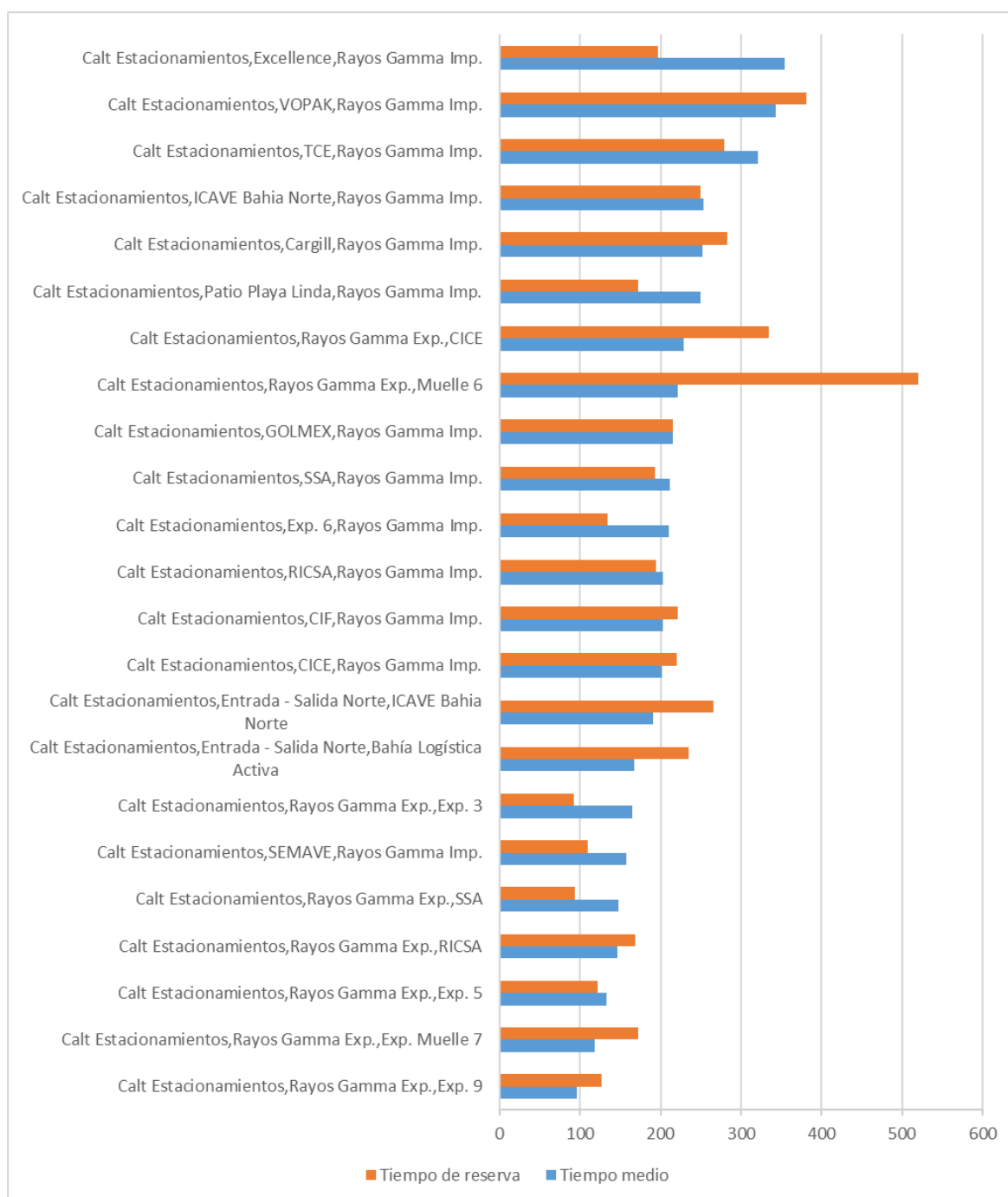


Figura 3.1 Comparación del tiempo medio y de reserva por ruta básica

Tabla 3.3 Indicadores de fluidez por ruta básica

Ruta	Tiempo medio	Coefficiente de variación	Índice de reserva	Tiempo de reserva
Calt Estacionamientos,Excellence,Rayos Gamma Imp.	354.27	32.88	0.56	196.79
Calt Estacionamientos,VOPAK,Rayos Gamma Imp.	342.72	54.69	1.11	380.95
Calt Estacionamientos,TCE,Rayos Gamma Imp.	320.58	48.42	0.87	279.22
Calt Estacionamientos,ICAVE Bahia Norte,Rayos Gamma Imp.	253.18	51.40	0.99	249.73
Calt Estacionamientos,Cargill,Rayos Gamma Imp.	251.69	58.56	1.12	282.30
Calt Estacionamientos,Patio Playa Linda,Rayos Gamma Imp.	249.83	36.45	0.69	172.07
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,CICE	228.99	70.37	1.46	334.56
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Muelle 6	221.54	106.70	2.35	519.60
Calt Estacionamientos,GOLMEX,Rayos Gamma Imp.	215.10	49.44	1.00	214.83
Calt Estacionamientos,SSA,Rayos Gamma Imp.	211.20	55.92	0.92	193.61
Calt Estacionamientos,Exp. 6,Rayos Gamma Imp.	209.74	47.08	0.64	134.02
Calt Estacionamientos,RICSA,Rayos Gamma Imp.	203.09	44.99	0.96	194.71
Calt Estacionamientos,CIF,Rayos Gamma Imp.	202.67	55.08	1.09	221.03
Calt Estacionamientos,CICE,Rayos Gamma Imp.	201.26	57.67	1.09	219.92
Calt Estacionamientos,Entrada - Salida Norte,ICAVE Bahia Norte	191.11	77.79	1.39	266.11
Calt Estacionamientos,Entrada - Salida Norte,Bahía Logística Activa	167.24	84.80	1.40	234.39
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Exp. 3	164.27	33.35	0.56	91.76
Calt Estacionamientos,SEMAVE,Rayos Gamma Imp.	157.86	45.98	0.70	110.13
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,SSA	147.80	47.04	0.63	93.33
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,RICSA	146.38	60.42	1.15	168.12
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Exp. 5	132.39	83.13	0.92	121.40
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Exp. Muelle 7	117.67	64.99	1.46	172.32
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Exp. 9	96.47	76.89	1.31	126.74

Por otro lado, en la Figura 3.2 se hace la misma comparación entre el tiempo medio y el tiempo de reserva, pero ahora para el caso de las rutas complejas y, de igual forma, en la Tabla 3.4 se presenta como referencia las medidas de fluidez respectivas. Los tiempos medios de estadía en puerto para las rutas complejas varían de las 5h19min a las 3h1min. Un caso que llama la atención en la gráfica respecto a su tiempo de reserva es el de la ruta “Calt Estacionamientos, Muelle 4, SEPSA, Rayos Gamma Imp.”, que presenta un tiempo de 8h19min y representa dos veces su tiempo medio. Existen otros tres casos que presentan tiempos de reserva mayores a su tiempo medio y participa de igual forma la terminal SEPSA, el Muelle 4 y el Muelle 2.

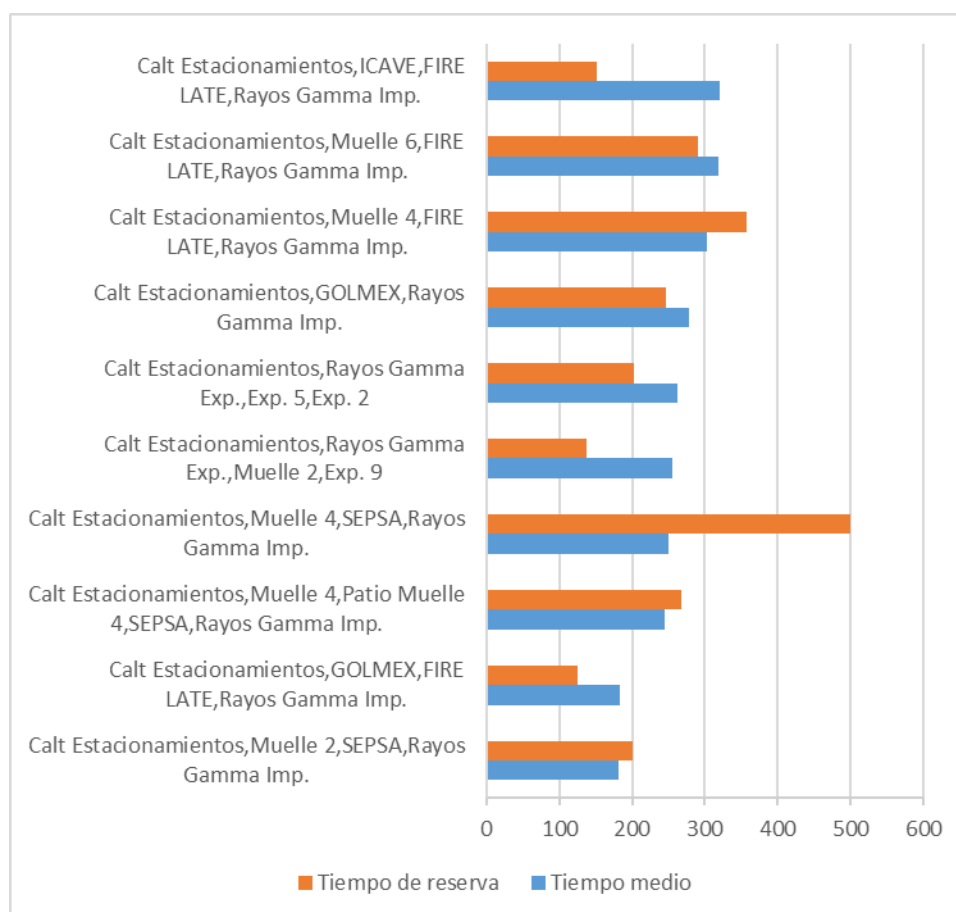


Figura 3.2 Comparación del tiempo medio y de reserva por ruta compleja

Tabla 3.4 Indicadores de fluidez por ruta compleja

Ruta	Tiempo medio	Coefficiente de variación	Índice de reserva	Tiempo de reserva
Calt Estacionamientos,ICAVE,FIRE LATE,Rayos Gamma Imp.	319.89	40.59	0.47	151.02
Calt Estacionamientos,Muelle 6,FIRE LATE,Rayos Gamma Imp.	318.45	76.10	0.91	289.89
Calt Estacionamientos,Muelle 4,FIRE LATE,Rayos Gamma Imp.	302.37	86.36	1.18	356.64
Calt Estacionamientos,GOLMEX,Rayos Gamma Imp.	278.12	54.80	0.89	246.78
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Exp. 5,Exp. 2	262.28	45.65	0.77	202.78
Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Muelle 2,Exp. 9	254.66	42.17	0.54	136.41
Calt Estacionamientos,Muelle 4,SEPSA,Rayos Gamma Imp.	249.37	130.56	2.00	499.49
Calt Estacionamientos,Muelle 4,Patio Muelle 4,SEPSA,Rayos Gamma Imp.	245.45	70.11	1.09	266.66
Calt Estacionamientos,GOLMEX,FIRE LATE,Rayos Gamma Imp.	183.30	43.64	0.68	125.55
Calt Estacionamientos,Muelle 2,SEPSA,Rayos Gamma Imp.	181.79	66.78	1.10	200.87

3.2 Tiempos de estadía por geocerca

En esta sección se presentan los tiempos de estadía e indicadores de fluidez de las geocercas analizadas. Es importante mencionar que son los tiempos observados en toda la muestra sin pertenecer a alguna clasificación de las rutas en específico, por lo que se muestra el comportamiento general de su desempeño.

En la Tabla 3.5 se presenta el número de visitas que fueron identificadas por geocerca en la muestra. Como es lógico el CALT presenta el mayor número de registros (5,702) dado que se encuentra en la entrada al puerto. La geocerca marcada con el nombre de “*Entrada - Salida Norte*” se encuentra en la segunda posición con 2,548 visitas, las cuales son resultado de ser punto de acceso a la zona norte del recinto.

Tabla 3.5 Número de visitas identificadas por geocerca

Geocerca	No. visitas	Geocerca	No. visitas
Calt Estacionamientos	5,702	Cargill	112
Entrada - Salida Norte	2,548	Muelle 6	100
Salida Ruta Fiscal	2,365	Exp. 6	98
Rayos Gamma Imp.	2,186	ICAVE	95
ICAVE Bahía Norte	2,146	SSA	89
Ruta Fiscal	2,040	Muelle 7	88
Rayos Gamma Exp.	722	Pasillo Almacenes	85
Aduana	547	Patio Playa Linda	82
FIRE LATE	509	Exp. 2	78
GOLMEX	461	Patio Almacen 19 Anexo	70
Bahía Logística Activa	394	Muelle 1	70
SEPSA	354	Excellence	59
Garita 3	339	SEMAVE	46
Muelle 4	324	CPV	32
CICE	230	Exp. 3	25
VOPAK	223	Exp. 4	16
Patio Muelle 4	207	Patio Frontal Almacen 21	13
RICSA	198	Patio Almacen 14	12
Exp. 9	181	Exp. 7	9
Exp. Muelle 7	169	Control Portuario	8
Área Espera TCE	169	Patio Explanada Muelle 7	6
Exp. 5	125	Muelle 5	5
TCE	125	Exp. 1	4
CIF	124	Exp. 10	1
Muelle 2	116	Almacen 14	0

Continuando con la descripción de la Tabla 3.5, otras geocercas que presentan más de 2,000 visitas tienen que ver con la salida del puerto durante los procesos de importación, como son “Salida Ruta Fiscal”, “Rayos Gamma Imp.” y la “Ruta Fiscal”. En específico la geocerca “Salida Ruta Fiscal” no participa únicamente en el proceso de importación, sino que también se da el caso de que en esa área se estacionen vehículos tras dejar contenedores o realizar otras tareas, es un área que se decidió medir por la cantidad de paradas que presentaba de manera recurrente. La geocerca “ICAVE Bahía Norte” de la terminal de ICAVE también presenta un número importante de visitas (2,146), dado que domina el manejo de contenedores en el puerto.

Como se muestra en la Tabla 3.5, el resto de geocercas presenta menos de mil visitas y varían de las 722 hasta cero. La geocerca identificada como “Almacén 14” presenta cero visitas, sin embargo, la geocerca que se encuentra junto a ella, llamada “Patio Almacén 14” presenta 12. La primera se incluyó ya que se encontraba en la lista definida por la API y la segunda se creó para este trabajo al observar movimiento y paradas en dicha área y realmente se desconoce si tenga alguna relación con el “Almacén 14”.

En la Figura 3.3 se hace la comparación gráfica del tiempo medio de estadía contra el tiempo de reserva necesario a considerar en las geocercas. Además, en la Tabla 3.6 se enlistan las medidas de fluidez respectivas. Lo primero que llama la atención es el hecho de que solo una geocerca presenta un tiempo de reserva menor a su tiempo medio, la cual es la Explanada 3 con un índice de reserva menor a uno, un tiempo medio de 1h31min y un tiempo de reserva a considerar de 1h16min. La geocerca con el mayor índice de reserva es SEPSA, con un tiempo medio de 28min y un tiempo de reserva de 2h20min, los cuales sumados no sobrepasan los tiempos del caso de la geocerca “Pasillo Almacenes”. Esta geocerca presenta el segundo tiempo medio más grande (1h47min) que junto con su tiempo de reserva (5h34min) da un total de 7h22min de estadía en esta área.

Continuando con el análisis, hay tres áreas de espera que son entrada o salida del recinto y que presentan índices de reserva mayores a 4, estos son: el estacionamiento del CALT (Calt Estacionamientos), el acceso a la zona norte (Entrada - Salida Norte) y el área contigua a los rayos gamma de importación, exportación y aduana (Salida Ruta Fiscal). El “Calt Estacionamientos” presenta un tiempo medio de 34min y un tiempo de reserva de 2h20min. Por su parte, la “Entrada - Salida Norte” tiene un tiempo promedio de 27min y un tiempo de reserva de 1h59min. Respecto a la “Salida Ruta Fiscal”, esta presenta un tiempo promedio de 18min y un tiempo de reserva de 1h13min.

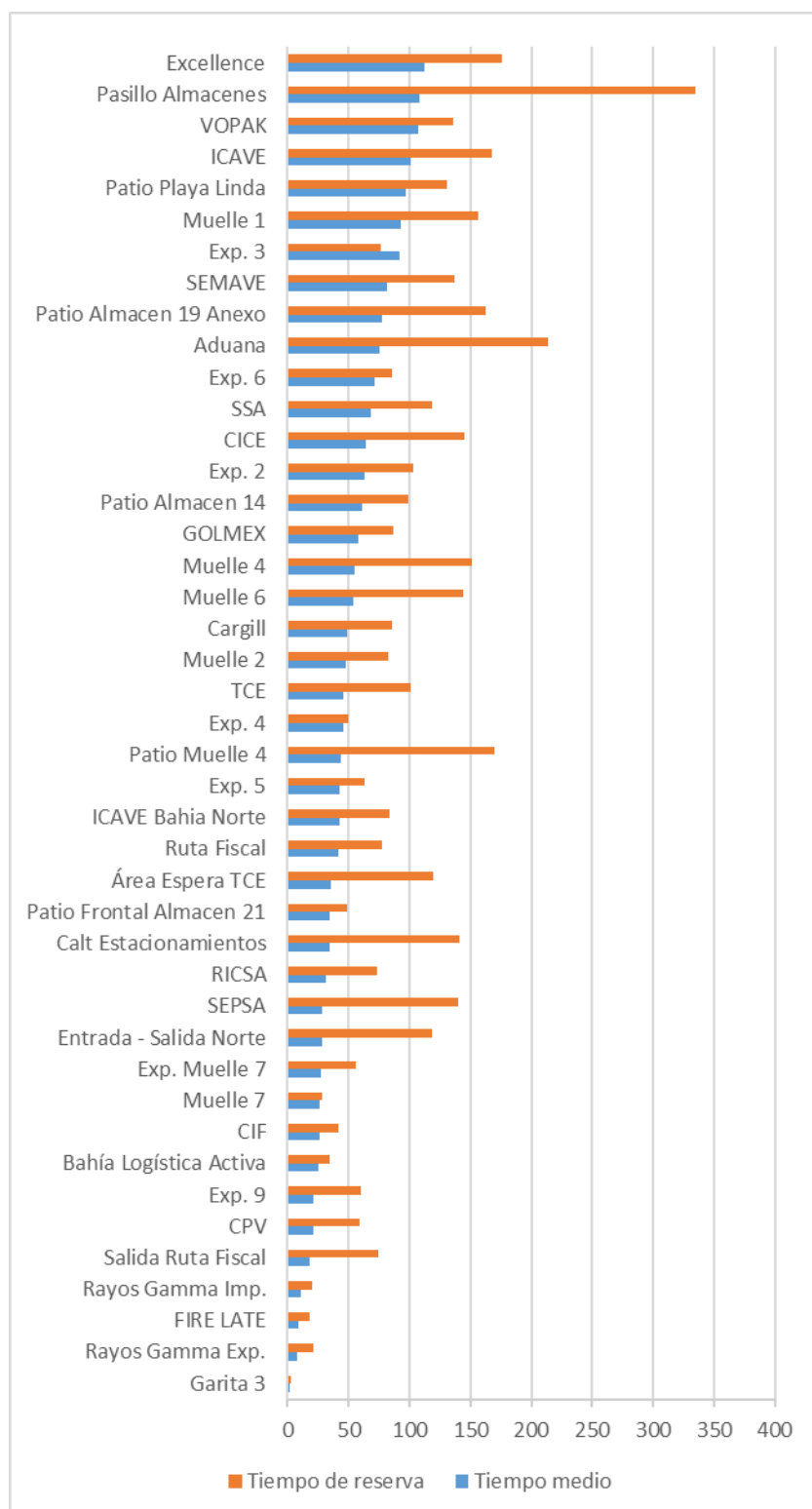


Figura 3.3 Comparación del tiempo medio y de reserva por geocerca

Tabla 3.6 Indicadores de fluidez por geocerca

Geocerca	Tiempo medio	Coefficiente de variación	Índice de reserva	Tiempo de reserva
Excellence	111.96	78.23	1.58	176.36
Pasillo Almacenes	107.88	137.69	3.10	334.34
VOPAK	107.49	70.34	1.27	136.03
ICAVE	101.18	93.39	1.65	167.25
Patio Playa Linda	97.02	83.83	1.34	130.47
Muelle 1	93.32	130.53	1.68	156.68
Exp. 3	91.73	46.73	0.83	76.45
SEMAVE	81.57	81.66	1.68	137.04
Patio Almacen 19 Anexo	77.42	109.04	2.10	162.36
Aduana	75.92	126.34	2.81	213.54
Exp. 6	71.72	68.56	1.20	86.20
SSA	68.60	80.90	1.72	118.25
CICE	63.91	128.42	2.28	145.43
Exp. 2	63.58	84.98	1.62	102.94
Patio Almacen 14	60.79	90.87	1.62	98.53
GOLMEX	57.69	86.28	1.50	86.27
Muelle 4	54.74	125.61	2.77	151.65
Muelle 6	54.46	150.09	2.65	144.24
Cargill	49.30	96.49	1.73	85.49
Muelle 2	47.92	116.93	1.73	82.97
TCE	46.22	104.57	2.19	101.41
Exp. 4	45.46	62.83	1.09	49.46
Patio Muelle 4	43.87	237.57	3.86	169.29
Exp. 5	42.56	89.82	1.48	62.95
ICAVE Bahía Norte	42.41	104.57	1.98	83.76
Ruta Fiscal	41.98	102.18	1.84	77.45
Área Espera TCE	35.19	187.62	3.41	119.94
Patio Frontal Almacen 21	34.79	79.33	1.40	48.84
Calt Estacionamientos	34.17	224.11	4.12	140.94
RICSA	31.70	124.32	2.31	73.12
SEPSA	28.58	243.73	4.91	140.24
Entrada - Salida Norte	27.92	209.84	4.26	119.01
Exp. Muelle 7	26.82	88.29	2.08	55.86
Muelle 7	26.44	132.54	1.07	28.17
CIF	25.84	109.29	1.62	41.81
Bahía Logística Activa	24.88	72.38	1.40	34.80
Exp. 9	21.23	136.31	2.84	60.19
CPV	20.98	141.95	2.84	59.55

Salida Ruta Fiscal	18.34	204.96	4.03	73.98
Rayos Gamma Imp.	10.41	106.34	1.95	20.29
FIRE LATE	8.77	157.03	2.11	18.55
Rayos Gamma Exp.	7.65	189.46	2.81	21.48
Garita 3	1.21	95.97	2.05	2.48

3.3 Tiempos de viaje entre geocercas

A continuación, se presentan los resultados de los tiempos de traslado entre las diferentes geocercas. En la Tabla 3.7 se muestra el número de viajes realizados con origen el estacionamiento del CALT hacia diferentes geocercas como destino, con al menos 10 viajes registrados. El destino con mayor número de viajes es la “Entrada - Salida Norte” con 1,231, seguido por la terminal de “ICAVE Bahía Norte” con 844 y en tercera posición los “Rayos Gamma Exp.” con 387 viajes.

Tabla 3.7 Número de viajes identificados entre geocercas con origen el CALT

Geocerca origen	Geocerca destino	No. viajes
Calt Estacionamientos	Entrada - Salida Norte	1,231
Calt Estacionamientos	ICAVE Bahía Norte	844
Calt Estacionamientos	Rayos Gamma Exp.	387
Calt Estacionamientos	GOLMEX	264
Calt Estacionamientos	Bahía Logística Activa	190
Calt Estacionamientos	VOPAK	165
Calt Estacionamientos	FIRE LATE	140
Calt Estacionamientos	RICSA	116
Calt Estacionamientos	CICE	102
Calt Estacionamientos	Área Espera TCE	87
Calt Estacionamientos	CIF	69
Calt Estacionamientos	SEPSA	69
Calt Estacionamientos	Patio Playa Linda	42
Calt Estacionamientos	Excellence	41
Calt Estacionamientos	Cargill	36
Calt Estacionamientos	Exp. 2	32
Calt Estacionamientos	TCE	29
Calt Estacionamientos	Exp. 6	29
Calt Estacionamientos	Exp. 9	20
Calt Estacionamientos	Exp. Muelle 7	16
Calt Estacionamientos	SSA	15
Calt Estacionamientos	SEMAVE	13
Calt Estacionamientos	Exp. 5	12

Como en casos anteriores, en la Figura 3.4 se hace la comparación del tiempo medio y del tiempo de reserva para cada uno de los viajes anteriores. Además en la Tabla 3.8 se presentan las medidas de fluidez correspondientes para un mayor detalle. El mayor índice de reserva (3.04) lo tiene el recorrido del CALT hacia la báscula de FIRE LATE, mientras que su tiempo promedio es de 23min, su tiempo de reserva es de 1h11min. Este y otros casos de traslados con variaciones importantes en su tiempo de viaje se interpretan como filas de espera fuera de las áreas delimitadas por las geocercas y no debido a un exceso de vehículos circulando. Como se aprecia en la gráfica existen varios casos similares, uno que llama la atención es el recorrido hacia la terminal de RICSA, que sumando su tiempo medio al tiempo de reserva da un total de 2h39min.

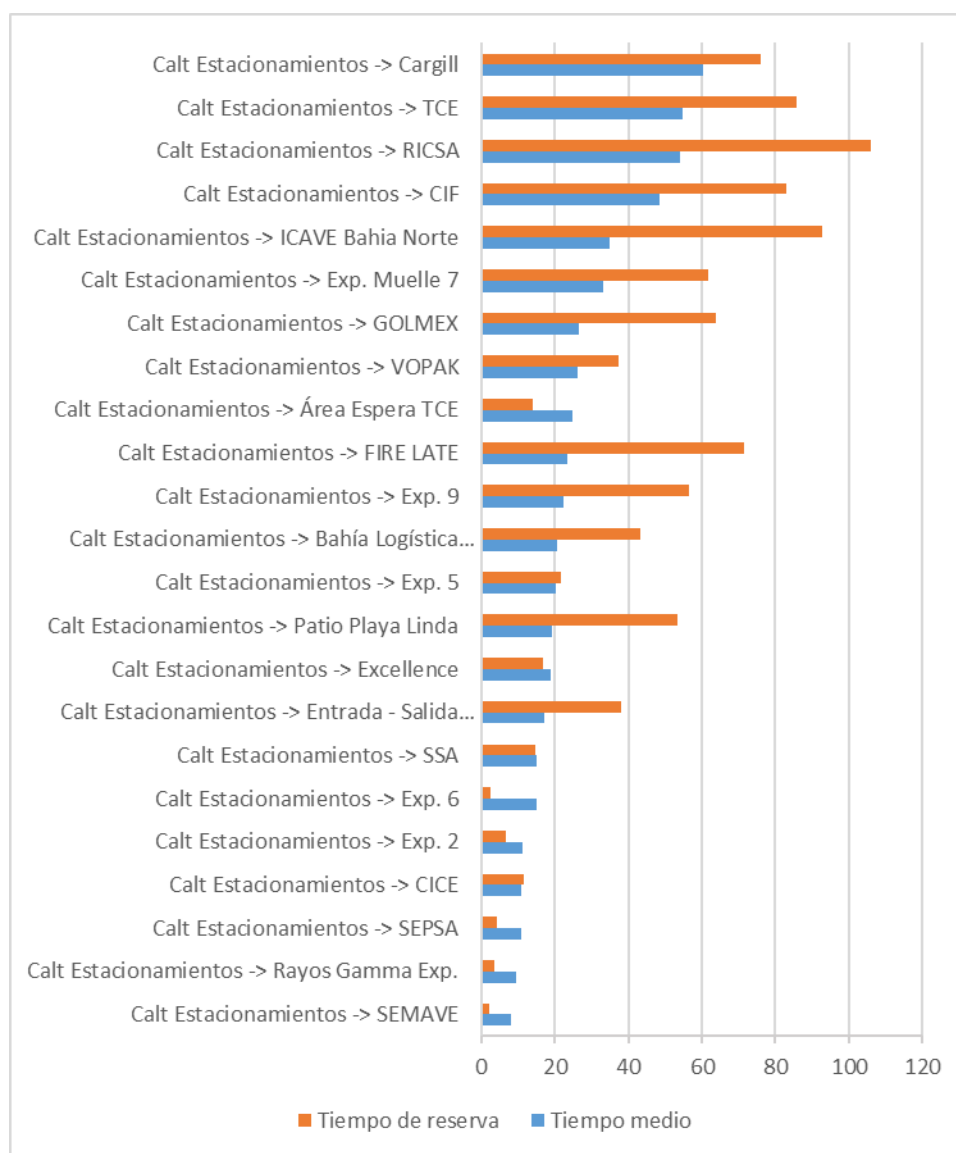


Figura 3.4 Comparación del tiempo medio y de reserva entre geocercas con origen el CALT

Tabla 3.8 Indicadores de fluidez entre geocercas con origen el CALT

Geocerca ini	Geocerca fin	Tiempo medio	Coefficiente de variación	Índice de reserva	Tiempo de reserva
Calt Est.	Cargill	60.29	66.10	1.26	75.90
Calt Est.	TCE	54.73	74.53	1.56	85.64
Calt Est.	RICSA	54.17	87.61	1.95	105.81
Calt Est.	CIF	48.51	81.20	1.71	83.11
Calt Est.	ICAVE Bahía Norte	34.84	130.73	2.66	92.72
Calt Est.	Exp. Muelle 7	33.09	164.34	1.86	61.64
Calt Est.	GOLMEX	26.53	126.48	2.41	63.87
Calt Est.	VOPAK	26.25	157.70	1.43	37.48
Calt Est.	Área Espera TCE	25.01	216.11	0.57	14.13
Calt Est.	FIRE LATE	23.59	188.19	3.04	71.65
Calt Est.	Exp. 9	22.38	177.02	2.52	56.36
Calt Est.	Bahía Logística Activa	20.72	157.71	2.10	43.47
Calt Est.	Exp. 5	20.45	58.81	1.06	21.66
Calt Est.	Patio Playa Linda	19.45	108.51	2.74	53.25
Calt Est.	Excellence	18.91	93.23	0.90	16.99
Calt Est.	Entrada - Salida Norte	17.16	324.73	2.22	38.14
Calt Est.	SSA	15.19	73.17	0.98	14.85
Calt Est.	Exp. 6	15.08	76.72	0.18	2.77
Calt Est.	Exp. 2	11.41	29.68	0.59	6.68
Calt Est.	CICE	11.01	60.05	1.05	11.57
Calt Est.	SEPSA	10.92	33.75	0.39	4.24
Calt Est.	Rayos Gamma Exp.	9.38	57.04	0.41	3.80
Calt Est.	SEMAVE	8.03	14.84	0.26	2.12

Continuando, en la Figura 3.5 se muestra la comparación del tiempo medio y el tiempo de reserva para los traslados entre las diferentes geocercas. De igual forma en la Tabla 3.9 se enlistan las medidas de fluidez correspondientes. El recorrido que va de la “Entrada - Salida Norte” a la “Bahía Logística Activa” presenta los mayores indicadores: un tiempo medio de 26min; un índice de reserva de 5.81; y un tiempo de reserva de 2h36min. Dicha variación de tiempo debe ser revisada más a fondo para determinar las causas, ya que son zonas contiguas.

Un caso similar es el recorrido desde la instalación de pesaje de FIRE LATE hasta la ruta fiscal, que presenta un tiempo promedio mayor al recorrido que se hace desde la zona norte de ICAVE al mismo destino y las distancias son muy diferentes, siendo mucho mayor el recorrido desde “ICAVE Bahía Norte”. Tanto en la gráfica como en la tabla se pueden observar un recorrido directo desde FIRE LATE hasta

los rayos gamma de importación, lo que significa que la fila de espera en la ruta fiscal en estos casos era menor o no había. Por lo tanto, una posible causa del tiempo de recorrido tan grande a la ruta fiscal es que la fila exceda el área delimitada por la geocerca.

Otro caso importante de analizar es el de los recorridos de la geocerca de nombre “Área Espera TCE” con destino “TCE”, ya que se trata de áreas inmediatas también. En la muestra se observa que los vehículos llegan al área de espera y buscan un lugar donde esperar fuera, para regresar más tarde a la terminal de carga especializada. La geocerca “Área Espera TCE” fue definida por que se observó un importante número de vehículos con paradas en ese lugar, sin embargo, se deduce que el área de espera se extiende más allá de lo delimitado.

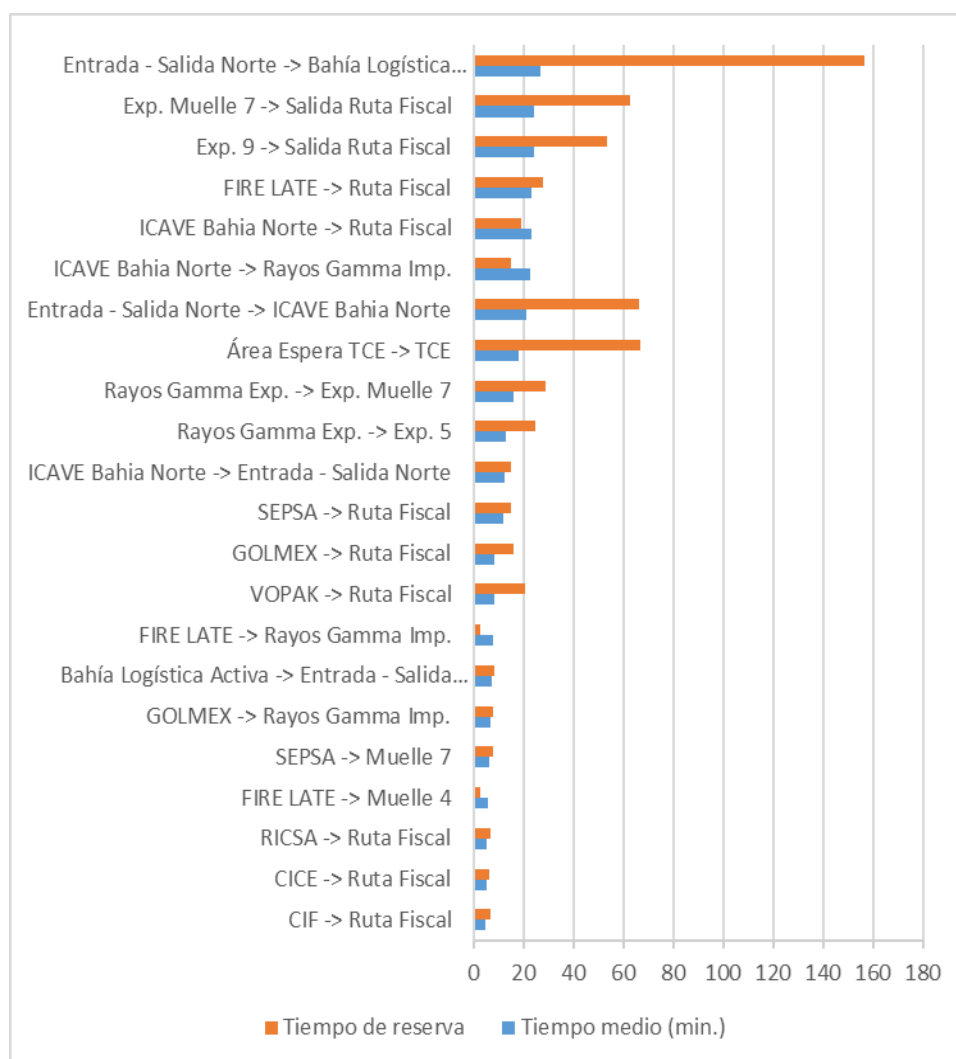


Figura 3.5 Comparación del tiempo medio y de reserva de viajes entre geocercas

Tabla 3.9 Indicadores de fluidez de viajes entre geocercas

Geocerca origen	Geocerca destino	Tiempo medio	Coefficiente de variación	Índice de reserva	Tiempo de reserva
Entrada - Salida Norte	Bahía Logística Activa	26.99	226.84	5.81	156.74
Exp. Muelle 7	Salida Ruta Fiscal	24.31	124.63	2.58	62.60
Exp. 9	Salida Ruta Fiscal	24.21	109.68	2.21	53.40
FIRE LATE	Ruta Fiscal	23.19	399.56	1.20	27.79
ICAVE Bahía Norte	Ruta Fiscal	22.98	103.88	0.84	19.25
ICAVE Bahía Norte	Rayos Gamma Imp.	22.54	52.47	0.68	15.26
Entrada - Salida Norte	ICAVE Bahía Norte	21.03	155.83	3.14	66.09
Área Espera TCE	TCE	18.19	225.77	3.68	66.92
Rayos Gamma Exp.	Exp. Muelle 7	15.86	259.21	1.81	28.67
Rayos Gamma Exp.	Exp. 5	12.84	188.74	1.91	24.57
ICAVE Bahía Norte	Entrada - Salida Norte	12.64	192.56	1.18	14.98
SEPSA	Ruta Fiscal	11.86	71.03	1.24	14.74
GOLMEX	Ruta Fiscal	8.50	180.80	1.90	16.19
VOPAK	Ruta Fiscal	8.10	129.73	2.56	20.78
FIRE LATE	Rayos Gamma Imp.	7.78	148.73	0.37	2.85
Bahía Logística Activa	Entrada - Salida Norte	7.23	153.30	1.17	8.47
GOLMEX	Rayos Gamma Imp.	6.95	47.06	1.14	7.91
SEPSA	Muelle 7	6.18	54.35	1.28	7.91
FIRE LATE	Muelle 4	5.83	60.27	0.49	2.87
RICSA	Ruta Fiscal	5.27	148.26	1.26	6.63
CICE	Ruta Fiscal	5.10	64.69	1.26	6.43
CIF	Ruta Fiscal	4.68	124.38	1.41	6.61

3.4 Caso de análisis

A continuación, se presenta un ejemplo de análisis de los tiempos de estadía para determinar los cuellos de botella en rutas específicas. Para este análisis se tomó la ruta básica “Calt Estacionamientos, Rayos Gamma Exp., Muelle 6” cuyo índice de reserva es de 2.35 (véase Tabla 3.10), por lo que se buscará determinar aquellas partes del proceso candidatas a ser objeto de mejora en su desempeño y así reducir la variación tan grande en el *truck-turn-time*.

Tabla 3.10 Medidas de fluidez de la ruta "Calt Estacionamientos, Rayos Gamma Exp., Muelle 6"

Ruta	Tiempo medio	Coefficiente de variación	Índice de reserva	Tiempo de reserva
Calt Estacionamientos, Rayos Gamma Exp., Muelle 6	221.54	106.7	2.35	519.6

Como se observa en la Tabla 3.11, las geocercas que participan en la ruta y que registran el mayor índice de reserva son el CALT y el Muelle 6, sin embargo el tiempo total a considerar en el CALT no supera los 11 minutos (el tiempo medio más el tiempo de reserva es igual a 10.72 minutos). Por otro lado, el Muelle 6 presenta el mayor coeficiente de variación, lo que se ve reflejado en sus casi 40 minutos extra a considerar, pero esto no explica el tiempo de reserva tan grande que tiene la ruta completa.

Tabla 3.11 Tiempos de estadía en las geocercas de la ruta "Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Muelle 6"

Geocerca	Tiempo medio	Coeficiente de variación	Índice de reserva	Tiempo de reserva
Calt Estacionamientos	3.06	138.60	2.50	7.64
Garita 3	1.25	51.16	0.50	0.63
Rayos Gamma Exp.	16.29	58.64	0.82	13.29
Muelle 6	21.04	159.61	1.90	39.96

En la Tabla 3.12 se presentan las medidas de fluidez para los tiempo de viaje entre las geocercas que participan en la ruta analizada. Salta a la vista los tiempos medios que presentan los movimientos entre el CALT y la Garita 3, así como los "Rayos Gamma de Expo." y el Muelle 6. La Garita 3 forma parte del CALT y es el área donde se controla de manera automática el acceso al puerto a través de sensores de masa y reconocimiento de los vehículos. El sistema puede llegar a negar el acceso a los vehículos de carga cuando: no está registrado en el CALT; la póliza de seguros o la licencia están vencidas; se pasó con el tiempo asignado para el ingreso a las terminales; la placa no es legible; o por la caída temporal del sistema. La variación tan grande del tiempo medio y de reserva entre el estacionamiento y la garita, puede ser a causa de filas por retrasos en el acceso automático. Por otro lado, el tiempo de reserva tan grande que presenta el desplazamiento desde los rayos gamma de exportación hasta el muelle 6 (así como su coeficiente de variación), se puede deber a las ocasiones en que los vehículos tienen que esperar fuera del área de destino para ser atendidos. La atención de estos tiempos de espera, pueden ayudar a disminuir los tiempos de estadía de los vehículos dentro del recinto portuario.

Tabla 3.12 Tiempos de los recorridos entre geocercas de la ruta "Calt Estacionamientos,Rayos Gamma Exp.,Muelle 6"

Geocerca origen	Geocerca destino	Tiempo medio	Coeficiente de variación	Índice de reserva	Tiempo de reserva
Calt Estacionamientos	Garita 3	212.69	171.65	1.68	358.33
Calt Estacionamientos	Rayos Gamma Exp.	8.79	16.17	0.25	2.17
Garita 3	Rayos Gamma Exp.	6.16	16.05	0.16	0.97
Rayos Gamma Exp.	Muelle 6	65.99	293.25	3.98	262.58

Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo el identificar los flujos del transporte de carga dentro del puerto de Veracruz, haciendo uso de una muestra de datos GPS de vehículos de carga con operaciones dentro de dicho recinto. Como principal resultado se tiene la estimación de los tiempos de estadía en cada una de las zonas de interés, delimitadas por las geocercas definidas tras un análisis de las paradas de los vehículos de carga. Dichos tiempos permitieron identificar una serie de estadísticos importantes para determinar la fluidez actual de las operaciones e identificar áreas de mejora en el sector transporte que opera en las instalaciones, como son: el tiempo medio de estadía, el coeficiente de variación, el índice de reserva y el tiempo de reserva.

Otro resultado importante de este trabajo fue la identificación con éxito de las distintas rutas que siguen los vehículos entre las geocercas, su tiempo total y su clasificación. Con ello se logró medir el *“truck-turn-time”* por tipo de ruta. A estos hallazgos se suman algunos ejemplos de cómo utilizar estos resultados para determinar los posibles cuellos de botella en rutas específicas. Con el análisis de esta información se espera que los tomadores de decisiones puedan establecer las medidas pertinentes para:

- Lograr un aumento en la productividad del puerto;
- Mejorar la logística de los procesos y agilización en el movimiento de cargas de comercio exterior;
- Identificar los tiempos en recintos fiscalizados, ruta fiscal y aduana;
- Identificar cuales procesos simplificar.

Una primera consideración a tomar en cuenta para futuras etapas del estudio, es sobre la imposibilidad de distinguir el tipo de mercancía que accede o se desaloja. El principal motivo es que los reportes GPS no describen el tipo de carga, ya que este tipo de información escapa del motivo por el cual la empresa correspondiente hace uso de un sistema de rastreo GPS. Como recomendación se propone incluir esta información durante el monitoreo de las operaciones.

Como se mencionó anteriormente, la retroalimentación de parte de la comunidad portuaria de Veracruz es importante. Es el caso de algunas de las rutas identificadas en donde es necesario determinar si son casos normales o se tienen que tratar como eventos especiales, sobre todo en el caso de las rutas complejas.

Con respecto a las rutas incompletas, uno de los principales inconvenientes que presento la muestra analizada fue que algunos reportes GPS de los vehículos iniciaban ya dentro de las instalaciones del puerto, lo que ocasiono que no fuera posible determinar la hora de inicio de la estadía ni el tipo de ruta que se siguió.

Bibliografía

APM Terminals. (2021). Truck Turn Times. Obtenido de <https://www.apmterminals.com/en/bahrain/e-tools/truck-turn-times>

Bartholdi III, J., Lasso, A., Ratliff, H., & Oliver, Y. (2017). Using GPS to measure truck service times in container terminal. *Maritime Economics & Logistics*, 21(1), 146-155.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2011). *Truck Drayage Productivity Guide*. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/14536

Cedillo-Campos, G., Pérez-González, C., Piña-Barcena, J., & Moreno-Quintero, E. (2019). Measurement of travel time reliability of road transportation using GPS data: A freight fluidity approach. *Transportation Research Part A*, 130, 240-288. doi:10.1016/j.tra.2019.09.018

De la Fuente, B., Martner, C., Cedillo-Campos, G., y Acosta, T. (2021). Trazabilidad de los flujos de mercancías y desarrollo de la comunidad portuaria de Veracruz, México. En *Dinámicas portuarias en el Caribe y América Latina: Ports in transition to face global challenges* (págs. 381-416). Editions EMS. Obtenido de <https://www.sefacil.com/literaturesecond/>

Febré, G., & Pérez, G. (2012). Intelligent transport systems in Latin American sea port logistics. Tech. rep., CEPAL. Retrieved from <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/36248>

Port of Oakland. (2021). Truck Turn Time FAQ's. Obtenido de https://portofoakland.emodal.com/documents/Truck_Turn_Time_FAQs.pdf

Port of Tauranga. (2021). Truck Turn Time. Obtenido de <https://www.port-tauranga.co.nz/metroport/truck-turn-time/>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2020). PROGRAMA SECTORIAL DERIVADO DEL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2019-2024. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596042&fecha=02/07/2020

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). Programa Maestro de Desarrollo Portuario de Veracruz 2011-2016. Veracruz: Gobierno Federal SCT.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). Programa Maestro de Desarrollo Portuario del Puerto de Veracruz 2016-2021. Veracruz, México: Gobierno Federal SCT.

Wattanakul, S., Henry, S., Bentaha, L., Reeveerakul, N., & Ouzrout, Y. (2018). Improvement of the Containerized Logistics Performance Using the Unitary Traceability of Smart Logistics Units. En Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0 (págs. 410–419). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-01614-2_38

West Coast MTO Agreement. (2021). Truck Turn Times. Obtenido de <https://www.wcmtoa.org/terminals/truck-turn-times/>

Zhao, W., & Goodchild, A. (2011). Truck travel time reliability and prediction in a port drayage network. Maritime Economics & Logistics volume, 13, 387-418.

Anexo 1.

Tabla A1 - 1 Estadística básica de tiempos de estadía en geocercas

Geocerca	Tiempo medio (min.)	Desv. Est.	Tiempo mínimo	1er cuartil	2do cuartil	3er cuartil	Percentil del 95%	Tiempo máximo	No. Datos	Coefficiente de variación	Índice de reserva	Tiempo de reserva
Aduana	75.92	95.92	0.45	15.60	32.74	90.29	289.46	564.77	547	126.34	2.81	213.54
Área Espera TCE	35.19	66.02	0.45	5.92	13.81	31.29	155.13	506.33	169	187.62	3.41	119.94
Bahía Logística Activa	24.88	18.00	0.46	13.70	20.73	30.53	59.67	116.03	394	72.38	1.40	34.80
Calt Estacionamientos	34.17	76.58	0.00	1.97	7.31	26.68	175.11	1234.94	5702	224.11	4.12	140.94
Cargill	49.30	47.57	0.46	20.25	38.88	63.95	134.80	350.47	112	96.49	1.73	85.49
CICE	63.91	82.07	0.52	18.86	36.82	74.88	209.34	572.12	230	128.42	2.28	145.43
CIF	25.84	28.24	0.88	8.19	17.55	33.34	67.66	220.67	124	109.29	1.62	41.81
Control Portuario	25.40	38.66	0.94	3.85	7.79	23.03	91.47	108.32	8	152.20	2.60	66.08
CPV	20.98	29.79	0.45	0.90	1.84	34.71	80.53	96.99	32	141.95	2.84	59.55
Entrada - Salida Norte	27.92	58.58	0.43	1.38	4.20	21.69	146.93	706.17	2548	209.84	4.26	119.01
Excellence	111.96	87.58	0.52	56.65	90.82	137.01	288.31	458.11	59	78.23	1.58	176.36
Exp. 1	19.35	12.77	0.47	17.09	24.63	26.90	27.52	27.67	4	66.00	0.42	8.16
Exp. 10	59.14		59.14	59.14	59.14	59.14	59.14	59.14	1		0.00	0.00
Exp. 2	63.58	54.03	0.45	28.01	42.77	89.43	166.52	236.57	78	84.98	1.62	102.94
Exp. 3	91.73	42.87	0.97	75.78	85.65	108.90	168.17	206.15	25	46.73	0.83	76.45
Exp. 4	45.46	28.56	13.64	30.97	37.09	52.80	94.92	132.40	16	62.83	1.09	49.46
Exp. 5	42.56	38.22	0.50	25.51	35.48	42.81	105.51	257.79	125	89.82	1.48	62.95
Exp. 6	71.72	49.17	0.46	31.06	68.91	102.35	157.92	243.44	98	68.56	1.20	86.20
Exp. 7	78.76	43.24	4.09	59.52	71.48	92.01	140.44	167.14	9	54.90	0.78	61.68
Exp. 9	21.23	28.94	0.45	5.07	11.00	24.46	81.42	188.37	181	136.31	2.84	60.19
Exp. Muelle 7	26.82	23.68	1.38	11.49	19.48	32.59	82.68	122.14	169	88.29	2.08	55.86
FIRE LATE	8.77	13.77	0.46	2.30	5.02	9.85	27.32	185.12	509	157.03	2.11	18.55
Garita 3	1.21	1.16	0.44	0.47	0.89	1.36	3.68	9.18	339	95.97	2.05	2.48
GOLMEX	57.69	49.77	0.46	19.62	44.79	81.67	143.96	315.77	461	86.28	1.50	86.27
ICAVE	101.18	94.50	0.46	26.67	70.73	164.40	268.43	424.91	95	93.39	1.65	167.25
ICAVE Bahía Norte	42.41	44.34	0.45	15.59	29.24	54.55	126.17	526.54	2146	104.57	1.98	83.76
Muelle 1	93.32	121.80	0.47	14.90	68.83	125.36	249.99	858.17	70	130.53	1.68	156.68
Muelle 2	47.92	56.03	0.46	11.90	33.27	57.94	130.89	298.69	116	116.93	1.73	82.97
Muelle 4	54.74	68.76	0.46	11.82	31.87	65.99	206.39	419.29	324	125.61	2.77	151.65
Muelle 5	78.32	47.01	31.49	49.78	73.15	82.80	140.06	154.38	5	60.02	0.79	61.74
Muelle 6	54.46	81.73	0.46	7.39	22.61	58.77	198.70	511.32	100	150.09	2.65	144.24
Muelle 7	26.44	35.04	0.44	12.02	17.72	30.65	54.61	304.94	88	132.54	1.07	28.17
Pasillo Almacenes	107.88	148.54	0.44	8.74	40.20	156.78	442.22	626.37	85	137.69	3.10	334.34
Patio Almacen 14	60.79	55.24	0.92	23.09	52.12	80.19	159.32	180.91	12	90.87	1.62	98.53
Patio Almacen 19 Anexo	77.42	84.42	0.92	27.65	52.33	84.51	239.78	450.15	70	109.04	2.10	162.36
Patio Explanada Muelle 7	106.14	66.15	0.47	72.98	119.99	148.12	174.92	181.60	6	62.32	0.65	68.77
Patio Frontal Almacen 21	34.79	27.60	1.90	12.40	26.58	48.17	83.63	90.86	13	79.33	1.40	48.84
Patio Muelle 4	43.87	104.22	0.47	4.18	10.91	30.18	213.16	830.20	207	237.57	3.86	169.29
Patio Playa Linda	97.02	81.33	0.85	37.26	86.57	127.35	227.48	467.02	82	83.83	1.34	130.47
Rayos Gamma Exp.	7.65	14.50	0.42	0.96	2.68	8.28	29.13	198.58	722	189.46	2.81	21.48
Rayos Gamma Imp.	10.41	11.07	0.44	3.68	7.27	13.44	30.70	186.15	2186	106.34	1.95	20.29
RICSA	31.70	39.41	0.45	9.78	18.20	37.21	104.83	344.65	198	124.32	2.31	73.12
Ruta Fiscal	41.98	42.90	0.44	10.39	31.21	60.33	119.44	479.98	2040	102.18	1.84	77.45
Salida Ruta Fiscal	18.34	37.59	0.35	1.39	4.52	15.33	92.32	414.15	2365	204.96	4.03	73.98
SEMAVE	81.57	66.61	0.92	37.25	59.76	107.25	218.61	284.45	46	81.66	1.68	137.04
SEPSA	28.58	69.66	0.44	2.78	5.91	16.89	168.82	589.76	354	243.73	4.91	140.24
SSA	68.60	55.50	0.50	32.96	54.13	92.49	186.85	278.18	89	80.90	1.72	118.25
TCE	46.22	48.33	0.84	6.89	37.43	65.36	147.63	225.45	125	104.57	2.19	101.41
VOPAK	107.49	75.61	0.50	57.61	95.91	141.13	243.53	416.70	223	70.34	1.27	136.03

Tabla A1 - 2 Estadística básica de tiempos de viaje entre geocercas

Geocerca inicial	Geocerca final	Tiempo medio (min.)	Desv. Est.	Tiempo mínimo	1er cuartil	2do cuartil	3er cuartil	Percentil del 95%	Tiempo máximo	No. Datos	Coefficiente de variación	Índice de reserva	Tiempo de reserva
Calt Estacionamientos	Área Espera TCE	25.01	54.06	8.96	10.54	11.77	13.81	39.15	349.98	87	216.11	0.57	14.13
Calt Estacionamientos	Bahía Logística Activa	20.72	32.68	5.88	8.69	10.60	16.15	64.20	343.76	190	157.71	2.10	43.47
Calt Estacionamientos	Cargill	60.29	39.85	11.55	27.25	45.84	89.16	136.18	146.80	36	66.10	1.26	75.90
Calt Estacionamientos	CICE	11.01	6.61	5.96	8.27	9.42	10.68	22.58	52.99	102	60.05	1.05	11.57
Calt Estacionamientos	CIF	48.51	39.39	8.12	18.08	37.23	67.84	131.62	203.18	69	81.20	1.71	83.11
Calt Estacionamientos	Entrada - Salida Norte	17.16	55.71	1.07	4.12	5.46	8.50	55.30	925.98	1231	324.73	2.22	38.14
Calt Estacionamientos	Excelence	18.91	17.63	9.98	12.01	13.89	18.59	35.90	120.75	41	93.23	0.90	16.99
Calt Estacionamientos	Exp. 2	11.41	3.39	8.03	9.09	10.32	11.93	18.09	23.16	32	29.68	0.59	6.68
Calt Estacionamientos	Exp. 5	20.45	12.03	11.83	12.95	14.77	21.57	42.11	45.38	12	58.81	1.06	21.66
Calt Estacionamientos	Exp. 6	15.08	11.57	10.09	11.38	12.85	14.17	17.84	74.31	29	76.72	0.18	2.77
Calt Estacionamientos	Exp. 9	22.38	39.62	7.89	9.19	10.77	12.03	78.74	179.60	20	177.02	2.52	56.36
Calt Estacionamientos	Exp. Muelle 7	33.09	54.38	9.85	13.14	16.97	26.48	94.74	233.35	16	164.34	1.86	61.64
Calt Estacionamientos	FIRE LATE	23.59	44.40	8.15	10.80	12.24	16.71	95.24	460.90	140	188.19	3.04	71.65
Calt Estacionamientos	GOLIMEX	26.53	33.56	5.45	9.87	16.05	26.31	90.40	225.95	264	126.48	2.41	63.87
Calt Estacionamientos	ICAVE Bahía Norte	34.84	45.55	5.81	11.43	14.75	39.22	127.57	371.38	844	130.73	2.66	92.72
Calt Estacionamientos	Patio Playa Linda	19.45	21.10	9.44	11.40	12.48	14.67	72.70	115.40	42	108.51	2.74	53.25
Calt Estacionamientos	Rayos Gamma Exp.	9.38	5.35	4.18	7.36	8.62	9.85	13.19	58.46	387	57.04	0.41	3.80
Calt Estacionamientos	RICSA	54.17	47.45	9.34	19.28	40.40	69.21	159.97	272.29	116	87.61	1.95	105.81
Calt Estacionamientos	SEMAVE	8.03	1.19	6.65	7.18	7.85	8.73	10.15	10.37	13	14.84	0.26	2.12
Calt Estacionamientos	SEPSA	10.92	3.69	5.92	9.17	9.95	11.57	15.16	28.43	69	33.75	0.39	4.24
Calt Estacionamientos	SSA	15.19	11.11	9.01	10.69	12.71	13.56	30.04	54.12	15	73.17	0.98	14.85
Calt Estacionamientos	TCE	54.73	40.79	9.50	27.63	41.37	67.64	140.37	153.96	29	74.53	1.56	85.64
Calt Estacionamientos	VOPAK	26.25	41.39	8.14	13.05	14.71	20.64	63.73	359.83	165	157.70	1.43	37.48

Tabla A1 - 3 Estadística básica de tiempos de estadía por ruta

Ruta	Clasificación	Tiempo medio (min.)	Desv. Est.	Tiempo mínimo	1er cuartil	2do cuartil	3er cuartil	Percentil del 95%	Tiempo máximo	No. Datos	Coefficiente de variación	Índice de reserva	Tiempo de reserva
Calt Estacionamientos, CAVE Bahía Norte, Rayos Gamma Imp.	Básica	253.18	130.13	55.34	158.12	227.29	321.72	502.91	783.12	985	51.40	0.99	249.73
Calt Estacionamientos, Entrada - Salida Norte, CAVE Bahía Norte	Básica	191.11	148.67	16.08	97.57	151.16	242.58	457.22	1408.05	698	77.79	1.39	266.11
Calt Estacionamientos, Entrada - Salida Norte, Bahía Logística Activa	Básica	167.24	141.82	20.93	80.03	127.03	202.93	401.63	1110.15	279	84.80	1.40	234.39
Calt Estacionamientos, GOMEX, Rayos Gamma Imp.	Básica	215.10	106.34	57.08	136.11	186.48	267.82	429.93	579.23	243	49.44	1.00	214.83
Calt Estacionamientos, VOPAK, Rayos Gamma Imp.	Básica	342.72	187.42	103.95	196.77	288.07	462.52	723.67	827.25	120	54.69	1.11	380.95
Calt Estacionamientos, RICA, Rayos Gamma Imp.	Básica	203.09	91.37	60.73	135.43	193.30	239.99	397.80	525.80	92	44.99	0.96	194.71
Calt Estacionamientos, CICE, Rayos Gamma Imp.	Básica	201.26	116.07	46.26	105.54	178.57	267.54	421.18	490.82	85	57.67	1.09	219.92
Calt Estacionamientos, Rayos Gamma Exp., Exp. Muelle 7	Básica	117.67	76.47	28.36	67.99	94.81	132.70	289.98	351.89	68	64.99	1.46	172.32
Calt Estacionamientos, TCE, Rayos Gamma Imp.	Básica	320.58	155.22	139.42	191.13	273.26	400.59	599.81	799.40	62	48.42	0.87	279.22
Calt Estacionamientos, CIF, Rayos Gamma Imp.	Básica	202.67	111.62	56.93	114.41	175.30	276.22	423.69	495.51	61	55.08	1.09	221.03
Calt Estacionamientos, Rayos Gamma Exp., Exp. 5	Básica	132.39	110.06	17.94	68.76	109.75	160.63	253.79	674.97	45	83.13	0.92	121.40
Calt Estacionamientos, Excellence, Rayos Gamma Imp.	Básica	354.27	116.48	150.05	261.82	325.20	423.81	551.06	551.86	33	32.88	0.56	196.79
Calt Estacionamientos, Patio Playa Linda, Rayos Gamma Imp.	Básica	249.83	91.06	131.18	178.44	232.48	288.03	421.91	477.19	31	36.45	0.69	172.07
Calt Estacionamientos, Cargill, Rayos Gamma Imp.	Básica	251.69	147.38	89.31	155.65	219.39	309.97	533.99	727.86	30	58.56	1.12	282.30
Calt Estacionamientos, Rayos Gamma Exp., CICE	Básica	228.99	161.14	48.81	113.85	186.41	302.83	563.54	698.51	27	70.37	1.46	334.56
Calt Estacionamientos, Rayos Gamma Exp., Exp. 9	Básica	96.47	74.17	15.69	45.34	59.20	123.37	223.21	311.34	27	76.89	1.31	126.74
Calt Estacionamientos, Exp. 6, Rayos Gamma Imp.	Básica	209.74	98.75	74.78	129.09	204.91	273.72	343.75	474.07	22	47.08	0.64	134.02
Calt Estacionamientos, Rayos Gamma Exp., SSA	Básica	147.80	69.52	49.99	83.85	159.11	199.92	241.13	301.46	19	47.04	0.63	93.33
Calt Estacionamientos, Rayos Gamma Exp., RICA	Básica	146.38	88.45	56.39	85.75	106.41	213.56	314.50	361.32	17	60.42	1.15	168.12
Calt Estacionamientos, Rayos Gamma Exp., Exp. 3	Básica	164.27	54.79	94.96	128.89	153.86	197.87	256.03	284.31	16	33.35	0.56	91.76
Calt Estacionamientos, Rayos Gamma Exp., Muelle 6	Básica	221.54	236.38	43.93	74.30	138.91	222.28	741.14	831.66	15	106.70	2.35	519.60
Calt Estacionamientos, SEMAVE, Rayos Gamma Imp.	Básica	157.86	72.59	63.77	91.05	165.07	192.06	268.00	309.44	12	45.98	0.70	110.13
Calt Estacionamientos, SSA, Rayos Gamma Imp.	Básica	211.20	118.11	61.12	150.89	205.08	233.29	404.82	432.93	10	55.92	0.92	193.61



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado Galindo”
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,
Querétaro, México. C.P. 76703
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610
Fax: +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>