DECANATO DE POSGRADO

MAESTRIA EN MATEMATICA SUPERIOR

Título

ALGORITMO MATEMATICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LABORES DE MANTENIMIENTO VIAL

Sustentante

Iris Alondra María Abreu
2018- 1787

Asesor

Msc. Carlos R. Valdez C.

Santo Domingo, R. D.
Agosto 2020

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a **Dios** por ubicarme en la familia ideal y proveerme de todos los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto. Gracias Señor Jesús por ser mi refugio y fortaleza.

A mi familia que siempre ha estado presente apoyándome y guiándome en este camino llamado "vida". Agradezco en particular a mi madre **Iris Abreu**, la cual día y noche me lleva presente en sus oraciones. Mami eres mi ejemplo y fuente de inspiración.

Agradezco profunda e infinitamente a mi pareja sentimental quien me llena de ánimo y ha sido de gran ayuda para concretar esta investigación. Gracias **Eduardo Estrella** por ser la medicina que elimina mi estrés y bloqueo mental.

Sin olvidarme, lo cual es imposible, agradezco a mis compañeros de clase por compartir este lapso académico conmigo y brindarme apoyo en los momentos oportunos. De manera especial quiero dar infinitas gracias a mi compañera de clases **Mónica Santa,** la cual se ha convertido en una hermana para mí. Gracias manita por tu comprensión, ayuda y cooperación durante estos dos años de sacrificio y arduo trabajo académico, así como también a mi amigo y hermano **Omar Pérez Veloz** por su desmedida comprensión, cuidado y apoyo tanto moral como académico, te quiero mucho manito.

Por último, quiero expresar mi gratitud y respeto a aquellos facilitadores que se desprendieron de sus conocimientos para nutrir los míos, especialmente a **José Apolinar García**, **Miguel Ángel Sánchez** y **Ricardo Benjamín Valdez**. Gracias por brindarme la motivación necesaria y oportuna en este posgrado.

INTRODUCCIÓN

El diseño y construcción de carreteras es uno de los proyectos más antiguo dentro del campo de la ingeniería civil, la calidad y eficiencia con la cual se edifiquen es esencial no solo para el bienestar de los usuarios, sino que también alarga la vida útil de la estructura.

Las principales regiones, ciudades y puertos están conectados por una red de autopistas, carreteras y caminos vecinales que facilitan el flujo comercial, el turismo y el transporte de recursos humanos, económicos, entre otros.

En nuestro país existen vías troncales de transito las cuales aportan un nivel muy elevado de fluidez vehicular y cuyo principal objetivo es conectar las provincias de cada región y asistir el tránsito de larga distancia.

Por tales razones es obligación del Programa Mantenimiento de Carreteras bajo la supervisión del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones Mantener en óptimas condiciones las vías troncales de nuestro país para así poder garantizar la seguridad de los ciudadanos que día a día utilizan estas vías para trasladarse.

En este sentido, la presente investigación tiene como finalidad proponer un algoritmo matemático para optimizar los recursos que intervienen en el proceso de mantenimiento de carreteras.

Para lograr este propósito el estudio investigativo se ha dividido en cuatro (5) capítulos los cuales se especifican a continuación:

En el **capítulo I** se plantean los aspectos introductorios de la investigación, en el cual se formula la situación problema, manifestando la necesidad justificada de proponer un Algoritmo matemático de optimización.

El **capítulo II**, se definen los términos más relevantes asociados a nuestras variables de estudio, así como también los antecedentes bibliográficos, los cuales permiten una mejor comprensión de los epígrafes tratados en la investigación.

En el **capítulo III**, se plantea la metodología empleada en nuestra investigación, en este capítulo se especifica el tipo de investigación que se llevó a cabo, las técnicas empleadas para la recolección y análisis de los datos que sirvieron de soporte y fundamentaron nuestro algoritmo.

A través del **capítulo IV** se realiza la discusión y análisis de los resultados que obtuvimos agracias al instrumento empleado, contextualizando de forma gráfica los datos para mejor comprensión.

El **capítulo V**, hace mención del algoritmo propuesto, partiendo de los datos obtenidos en el campo, así como también las generalidades y programación de este en el lenguaje Phyton.

Nuestra investigación también cuenta con dos apartados la conclusión y las recomendaciones, en los cuales se expresan los resultados obtenidos de nuestro algoritmo y se emiten las sugerencias de lugar, de la presente investigación y para futuras investigaciones.

CAPITULO I

ASPECTOS INTRODUCTORIOS

1.1 Planteamiento del problema.

El Programa Mantenimiento de Carreteras el cual es objeto de estudio para el desarrollo de esta investigación, es una dependencia del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Este programa tiene la responsabilidad de realizar labores rutinarias de mantenimiento, especialmente en las vías troncales que conforman la red vial de la Republica Dominicana.

Dicho programa cuenta con un amplio personal, por esta razón es de suma importancia disponer de un plan de formación e integración sistemática que permita la toma de decisiones cuando se requiera.

Cada día, las brigadas correspondientes del programa mantenimiento de carreteras, enfrentan el reto de mantener las vías en perfectas condiciones para la ciudadanía, realizando labores rutinarias de: desbroce de maleza en los laterales de las vías, limpieza de cunetas, recogida de desechos sólidos y sedimentos, realización de botes y embellecimiento de las áreas incididas.

Debido a la situación de emergencia en la cual nos encontramos, se realizó un diagnostico general del programa y se identificaron las siguientes debilidades:

- ✓ No existe un plan de formación e integración de personal sistemático ni adecuado que permita la toma de decisiones ante situaciones de emergencia.
- ✓ Las labores rutinarias de mantenimiento vial que se planifican semanalmente no se están cumpliendo eficientemente.

- ✓ La persona encargada de planificar las labores de mantenimiento realiza dicha función desde su punto de vista y experiencia, es decir, no cuenta con un modelo formal de planeación de actividades.

Se considera oportuno corregir las debilidades anteriormente mencionadas, ya que la no mitigación de estas puede ocasionar contratiempos y consecuencias negativas para el buen funcionamiento del Programa Mantenimiento de Carreteras y por ende a los ciudadanos que cuentan con el servicio que esta dependencia ofrece. Por esta razón fue conveniente desarrollar una investigación que presente una visión diferente de cómo lograr mantener en óptimas condiciones la red vial del país por lo cual se formula la siguiente pregunta de investigación.

1.2 Formulación del problema.

¿Qué grado de valor aportaría un algoritmo matemático de optimización de labores de mantenimiento vial al Programa Mantenimiento de Carreteras?

1.3 Sistematización del problema.

Con el propósito de responder el planteamiento anteriormente descrito, se formulan las siguientes interrogantes, que al responderse proporcionaran más información sobre la variable de estudio.

¿Cómo está organizada cada brigada de mantenimiento vial?

¿Cuál es el tiempo requerido para llevar a cabo las labores de mantenimiento vial?

¿Cuáles factores influyen en el rendimiento de las labores de mantenimiento vial?

¿Qué ventajas ofrecería un algoritmo matemático de optimización al Programa Mantenimiento de Carreteras?

1.4 Objetivos de la investigación.

1.4.1 Objetivo general:

Diseñar un algoritmo matemático para optimizar las labores de mantenimiento vial que realiza el Programa Mantenimiento de Carreteras.

1.4.2 Objetivos específicos:

- ✓ Describir la estructura organizativa de cada brigada de mantenimiento vial.
- ✓ Determinar el tiempo que se necesita para llevar a cabo las diferentes labores de mantenimiento vial.
- ✓ Identificar los factores que influyen en el rendimiento de las labores de mantenimiento vial.
- ✓ Resaltar las ventajas que ofrece para el Programa Mantenimiento de Carreteras un algoritmo matemático de optimización de labores de mantenimiento vial.
- ✓ Presentar un algoritmo matemático que permita optimizar las labores de mantenimiento, minimizando el tiempo de ejecución y maximizando la productividad.
- ✓ Ejecutar el algoritmo matemático presentado utilizando el lenguaje de programación Phyton.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos para identificar oportunidades de mejora.

1.5 Justificación de la investigación.

La red vial de un país es fundamental para el desarrollo socioeconómico del mismo, ya que la mayoría de sus ciudadanos necesitan trasladarse a su lugar de trabajo, institución educativa u otros lugares de interés o necesidad. No obstante, cabe resaltar que la red vial nacional es vital para el desarrollo turístico de la República Dominicana, el cual en los últimos 6 años ha generado 43 mil millones de dólares a la economía del país, por tales razones es de suma importancia que nuestras vías de comunicación terrestres reciban un mantenimiento continuo y correcto para mantener su estado en perfectas condiciones para los usuarios.

En los últimos 5 años el gobierno dominicano ha invertido RD$82,000 millones en la infraestructura vial del país, pero de nada sirve invertir tanto capital sino se proporciona el mantenimiento adecuado a estas estructuras, ya que su vida útil se irá minimizando al pasar del tiempo, lo cual conlleva a un deterioro inevitable y el nivel de confiabilidad y viabilidad será nulo, entonces será evidente que las inversiones antes realizadas solo fueron efímeras.

Con el deseo de contribuir a la calidad del proceso de mantenimiento de las vías troncales que conforman nuestro país, el presente trabajo de investigación tiene meta principal aportar al desarrollo funcional del Programa Mantenimiento de Carreteras.

La investigación se asienta bajo la línea de las funciones y compromisos que tiene con la sociedad el Programa Mantenimiento de Carreteras bajo la supervisión del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones y las labores rutinarias que realizan las brigadas que componen este programa como eje principal de la estructura investigativa.

Del mismo modo conlleva a la implementación de un algoritmo matemático encaminado hacia la optimización de los recursos humanos que intervienen en las labores de mantenimiento rutinario de las vías troncales. La presente investigación brinda importancia al Programa Mantenimiento de Carreteras a partir de un cambio en la organización actual del personal, al implementar el algoritmo matemático es posible determinar la cantidad de jornaleros que deberán laboral en una brigada específica para obtener el máximo rendimiento.

El modelo matemático es una herramienta de análisis que va a servir de apoyo en la toma de decisiones que van relacionadas con la eficiencia del personal lo cual contribuye significativamente al crecimiento y desarrollo del programa.

Es necesario destacar que la presente investigación pretende generar un impacto positivo, no solo en el contexto del estudio actual sino también para cualquier empresa, organización y/o departamento que realice o brinde servicios similares a los que brinda el Programa Mantenimiento de Carreteras.

CAPITULO II

MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco teórico.

Para sustentan el desarrollo de la presente investigación, en este capítulo abordaremos algunos antecedentes bibliográficos los cuales servirán de soporte y aliento, así como también una serie de definiciones y conceptos relacionados con el tema los cuales poseen un enfoque objetivo basado en un vocabulario puramente sencillo y práctico.

2.1.1 Antecedentes bibliográficos.

Cuando surgió la idea que dio la luz para iniciar esta investigación, se realizó una revisión literaria tanto a nivel nacional como internacional con el fin de verificar que tanto se ha desarrollado el tema que nos compete, el alcance que ha tenido y más aún que aporte significativo podemos ofrecer al Programa Mantenimiento de Carreteras y a la sociedad a través de esta investigación.

Al emprender la indagación bibliográfica y llevar a cabo la revisión literaria a nivel nacional no fue posible localizar otras investigaciones que estuvieran estrechamente relacionadas con el tema planteado, ya que regularmente los modelos y algoritmos matemáticos de optimización se utilizan y enfocan más al ámbito industrial y meramente financiero, no se encontró evidencias de un modelo matemático de optimización aplicado al mantenimiento vial, especialmente a las labores rutinarias que realiza un personal especifico. En el ámbito internacional se pudo encontrar algunas referencias bibliográficas (artículos, libros, tesis…) que aportan información útil y necesaria de algunas de nuestras variables de estudio, por lo que decidimos apoyarnos en los enfoques, opiniones y recomendaciones de los autores que mencionamos a continuación:

- Gómez García (2019) presentó su trabajo de fin de grado el cual lleva como título ***"Modelado y formulación de un problema de programación de la producción en el sector aeronáutico mediante Python y gurobi".*** García modelo una función objetivo para lograr minimizar la cantidad de piezas almacenadas y la cantidad total de operarios contratados, dicha función es la siguiente:

$$\min z = \boldsymbol{a} \times \boldsymbol{DesvTot} + \boldsymbol{b} \times \boldsymbol{BuffTot} + \boldsymbol{c} \times \boldsymbol{Ops}$$

La función objetivo está sujeta a varias restricciones las cuales están asociadas al proceso operativo del contexto de la investigación. Algunas de estas restricciones se muestran a continuación:

$$\sum_{\boldsymbol{s,t}} \boldsymbol{Ops_{e,p,s,t}} \times \boldsymbol{DurS} = \boldsymbol{W_{e,p}} \qquad \forall e,p,tk \in TK_e / s \in S_{e,tk}$$

$$\boldsymbol{OpSlot_{s,t}} = \sum_{\boldsymbol{e,p}} \boldsymbol{Ops_{e,p,s,t}} \qquad \forall s,t \in T^p$$

Para dar a solución al modelo planteado el autor utilizo el lenguaje de programación Phyton. Gracias a este lenguaje obtuvo soluciones precisas de forma rápida.

- Vladimirovich – Fedosov (2017) a través de la red de revistas científicas (SciELO) hizo pública su investigación titulada "**optimización de emisiones de la red de carreteras de infraestructuras urbana".** El investigador desarrollo un algoritmo estocástico de optimización en formatos 2D Y3D. La función objetivo de minimización propuesta fue la siguiente:

$$\boldsymbol{C} = \sum_{\boldsymbol{j}=1}^{\boldsymbol{Tra}} \left[\sum_{\boldsymbol{p}=1}^{\boldsymbol{p}(\boldsymbol{j})} \boldsymbol{x}(\boldsymbol{j}) \times \boldsymbol{L}(\boldsymbol{j}) \right]$$

Dicha función estuvo sujeta a un número finito de restricciones. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y cumplieron el objetivo planteado, Vladimirovich afirmo que para obtener un progreso significativo y eficaz se hace necesario el uso de parámetros estocásticos.

- Del mismo modo en su investigación de posgrado titulada, **Problema de programación y secuenciación de actividades y tareas en labores de mantenimiento** de una empresa industrial, Bonilla plantea un modelo matemático con la siguiente estructura:

$$\boldsymbol{Max.\,t_{MP}} = \boldsymbol{1/t} \sum_{\boldsymbol{t}=1}^{\boldsymbol{12}} \sum_{\boldsymbol{i}=1}^{\boldsymbol{4}} \left[\sum_{\boldsymbol{j}=1}^{\boldsymbol{15}} \left(\frac{\boldsymbol{X_{ijt}} * \boldsymbol{T_{it}}}{\boldsymbol{D_{it}}} \right) \right]$$

(Función objetivo)

Sujeta a las siguientes restricciones:

$\sum_t \boldsymbol{X_{ijt}} = \boldsymbol{D_{ij}} \quad \forall \boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}$	*(Ejecución)*
$\boldsymbol{X_{ijt}} \leq \boldsymbol{C_{ijt}} \quad \forall \boldsymbol{i}, \boldsymbol{j} \quad \boldsymbol{t} = \boldsymbol{1}$	
$\boldsymbol{X_{ij}} - \boldsymbol{X_{ijt}} - \boldsymbol{1} \leq \boldsymbol{C_{ijt}} \quad \forall \boldsymbol{i}, \boldsymbol{j} \quad \boldsymbol{2} \leq \boldsymbol{t} \leq \boldsymbol{12}$	*(Interrupciones)*
$\sum_t \boldsymbol{C_{ijt}} = \boldsymbol{1} \quad \forall \boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}, \boldsymbol{t}$	*(Inicio de mantenimiento)*
$\sum_i \sum_j \boldsymbol{Ol_{ijt}} \leq \boldsymbol{1} \quad \forall \boldsymbol{l}, \boldsymbol{t}$	*(Actividades paralelas)*
$\boldsymbol{X_{ijt}} = \sum_l \boldsymbol{Ol_{ijt}} \quad \forall \boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}, \boldsymbol{t}$	*(Exclusividad)*

- Heine (2016), realizó una investigación titulada: **Un modelo de optimización contenido para particionar estudiantes en grupos de aprendizaje cooperativo**. Heine planteo una función objetivo para maximizar la formación de amistad basada sobre valores e intereses. Los valores e intereses de los estudiantes fueron caracterizado por el uso latente del análisis de clase El resultado de este análisis es un conjunto de clases latentes y probabilidades de membresía para cada estudiante donde se definió *pij* como la probabilidad de que el estudiante *i* pertenezca a la clase latente *j*.

La función objetivo será, naturalmente, una combinación lineal de los elementos de x con estas probabilidades como coeficientes, y el valor de la función objetivo será el esperado número de estudiantes que están en un grupo correspondiente a sus respectivas clases latentes:

$$\boldsymbol{f}_{(\boldsymbol{x})} = \sum_{\boldsymbol{i}} \sum_{\boldsymbol{g}} \boldsymbol{c}_{\boldsymbol{ig}} \boldsymbol{x}_{\boldsymbol{ig}}$$

El autor de esta investigación enfrento el problema de cuantos grupos asignar a cada clase latente. Quería que fueran proporcional al número esperado de estudiantes que pertenecían a cada clase. El número esperado de estudiantes que pertenecían a la clase *j* viene dado por :

$$\boldsymbol{E}_{\boldsymbol{j}} = \sum_{\boldsymbol{i}} \boldsymbol{P}_{\boldsymbol{ij}}$$

Finalmente, para validar completamente y comparar las estrategias de agrupación descritas Heine recomendó implementar las estrategias de agrupación, así como una agrupación aleatoria como control, en varias escuelas o dentro de un grupo de voluntarios. Uno podría diseñar actividades para que la interacción grupal tenga lugar durante un período de prueba o semestre. Finalmente, los datos se pueden recopilar antes y después del experimento y analizar los cambios en la red social que indica el rendimiento de los diferentes métodos de agrupación.

- Gómez Alemany (2016) en su tesis titulada: **Uso de R en la planificación de plantillas** propuso un modelo para optimizar los turnos de trabajo y tipos de auxiliares de un centro de ayuda para personas de la tercera edad. El modelo planteado fue el siguiente:

$$\boldsymbol{max.Z = \sum_{i \in I, j \in J} (C_{ij} x_{ij} + \overline{C}_{ij} \overline{x}_{ij})}$$

(Función objetivo)

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\boldsymbol{\sum_{j \in J} \left(x_{ij} + \overline{x}_{ij}\right) \leq m_i}$$

$$\boldsymbol{\sum_{i \in I} (x_{ij} + \overline{x}_{ij}) \leq m_j}$$

$$\boldsymbol{\sum_{i \in I, j \in J} (x_{ij} + \overline{x}_{ij}) \leq m_{ij}}$$

El autor a través de esta investigación recomendó implementar las plantillas propuestas a futuras investigaciones usando un contexto real, específicamente una empresa o entidad de carácter público o privado.

- Bohórquez (2015) desarrollo un **Modelo matemático para la asignación y rotación de personal para una compañía prestadora SITP**. Para ejecutar dicho modelo diseño la función objetivo de maximización siguiente:

$$\sum_{I=1}^{I}\sum_{J=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} \boldsymbol{Per}_{\boldsymbol{req}_{(i,j,k)}} * \boldsymbol{As}_{(i,j,k)}$$

Sujeta a varias restricciones, las cuales son:

a) Una persona por cada turno de jornada laboral.

$$\sum_{k \in Tur_{m(k,j)}}^{K} \boldsymbol{As}_{(i,j,k)} \leq \boldsymbol{trab}_{(i,j)}; \forall_{i} \forall_{j}$$

Donde:

$i = 0P1, 0P2, \ldots, 0Pn \quad j = Lunes, martes, \ldots, domingo$

b) 48 horas de jornada.

$$\sum_{k \in tur\_m_{(k,j)}}^{K} \sum_{j=1}^{J} \boldsymbol{turnd}_{(k)} * \boldsymbol{As}_{(i,j,k)} \leq \boldsymbol{Max}_{\boldsymbol{trabsem}};$$

Donde:

$\forall_{ij} = 0P1, 0P2 \ldots, 0Pn$

c) Un descanso por turno laboral.

$$\sum_{K}^{k} \in \boldsymbol{Tur\_m}_{(k,j)} \sum_{j=1}^{J} \boldsymbol{Turm}_{(k,j)} * \boldsymbol{As}_{(i,j,k)} \leq \boldsymbol{6}$$

Donde:

$\forall_{ij} = 0P1, 0P2 \ldots, 0Pn$

El modelo propuesto por el autor logro el objetivo planteado, gracias a la ejecución de este la empresa tuvo un ahorro significativo de $8,000 dólares al mes.

Gómez Alemany recomienda fortalecer el modelo utilizando un lenguaje de programación para que el proceso sea más eficiente.

2.1.2 Definición de términos.

El algoritmo matemático que se propone en la presente investigación está vinculado al mantenimiento rutinario que las brigadas del Programa Mantenimiento de Carreteras realizan día a día, por tal razón el propósito esencial de este epígrafe es definir los aspectos más significativos del tema propuesto y de las variables de estudio.

Optimización.

La Enciclopedia Británica, (2020), expresa lo siguiente acerca del concepto de optimización:

“Optimización, también conocida como programación matemática, colección de principios y métodos matemáticos utilizados para resolver problemas cuantitativos en muchas disciplinas, incluidas la física, la biología, la ingeniería, la economía y los negocios”.

Mantenimiento.

La Real Academia Española, (2018), define mantenimiento como:

“Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que las instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente”.

La European Federation of National Maintenance Societies (EFNMS) define el mantenimiento como:

“todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes".

Optimización de mantenimiento.

Los modelos de optimización matemática, respaldados por datos adecuados, pueden ayudar a la decisión haciendo sobre la asignación de fondos entre tareas de mantenimiento alternativas y sobre el tamaño del presupuesto de mantenimiento en el tiempo. El problema de optimización de mantenimiento es, en esencia, para encontrar el equilibrio óptimo entre los costos y beneficios del mantenimiento, teniendo en cuenta varias limitaciones (Dekker 1996).

El mantenimiento tiende estar subfinanciado en relación con la inversión debido a la naturaleza más pequeña y menos obvia de trabajos de mantenimiento en relación con la nueva infraestructura (Semmens 2006, Zeitlow 2006). Pero, se debe tomar en cuenta que al aplazar el mantenimiento a corto plazo puede ser costoso a largo plazo, un punto que se puede llamar la atención de los tomadores de decisiones cuantificando los costos de mantenimiento de fondos insuficientes.

Algoritmo.

Margaret Rouse (2019) define algoritmo como un procedimiento o fórmula para resolver un problema, basado en la realización de una secuencia de acciones específicas.

Rouse, expresa que los algoritmos se utilizan ampliamente en todas las áreas de TI (tecnología de la información). Un algoritmo de motor de búsqueda, por ejemplo, toma las cadenas de búsqueda de palabras clave y operadores como entrada, busca en su base de datos asociada páginas web relevantes y devuelve resultados.

En otras palabras, un algoritmo es una lista de reglas a seguir para resolver un problema. Es importante tener en cuenta que los algoritmos deben tener sus pasos en el orden correcto.

Algoritmo matemático.

Ferdinand, Robert (2003), afirmó que:

“Los algoritmos matemáticos son conjuntos precisos de instrucciones que nos dicen exactamente cómo realizar una operación”.

Algunos años después Russell, Deb. (2020) define algoritmo matemático como:

“Un algoritmo en matemáticas es un procedimiento, una descripción de un conjunto de pasos que se pueden usar para resolver un cálculo matemático: pero hoy son mucho más comunes que eso. Los algoritmos se usan en muchas ramas de la ciencia y en la vida cotidiana”.

Programación.

La revista tecnológica digital Rustone Academy, en un artículo publicado en el presente año expreso lo siguiente:

“La programación es el proceso de tomar un algoritmo y codificarlo en una notación, un lenguaje de programación, para que pueda ser ejecutado por una computadora. Aunque existen muchos lenguajes de programación y muchos tipos diferentes de computadoras, el primer paso importante es la necesidad de tener la solución. Sin un algoritmo no puede haber ningún programa.

La informática no es el estudio de la programación. Sin embargo, la programación es una parte importante de lo que hace un informático. La programación es a menudo la forma en que creamos una representación para nuestras soluciones. Por lo tanto, esta representación del lenguaje y el proceso de creación se convierte en una parte fundamental de la disciplina”.

2.2 Marco conceptual.

Para resolver problemas de programación lineal en los cuales se desee maximizar o minimizar una función (generalmente lineal) condicionada por un sistema de inecuaciones lineales, el algoritmo simplex es el más recomendado porque arroja soluciones optimas y factibles.

Este método se implementa y se utiliza en los diferentes ámbitos empresariales y financiero logrando un desarrollo eficaz y permitiendo que se obtenga un análisis claro de las inversiones, producciones, ganancias y pérdidas. Al mismo tiempo, se obtiene un ahorro significativo de tiempo y dinero en la optimización de los procesos arrojando resultados excelentes en el mundo industrial.

La presente investigación introduce una metodología para lograr optimizar las labores de mantenimiento (rutinario) en la red vial de la República Dominicana, con el fin de facilitar las operaciones que intervienen en el mismo y mejorar el rendimiento del personal. Para una compresión más eficaz del tema es a continuación se definen algunos conceptos relacionados con las variables de estudio.

2.2.1 Programación lineal.

La programación lineal es un conjunto de técnicas utilizadas en la programación matemática, a veces llamada optimización matemática, para resolver sistemas de ecuaciones lineales y desigualdades mientras maximiza o minimiza alguna función lineal. Es importante en campos como computación científica, economía, ciencias técnicas, manufactura, transporte, militar, administración, energía, etc.

Las aplicaciones de programación lineal están presentes en nuestro día a día, aunque no estemos consiente de estar utilizando esta técnica. Utilizamos la programación lineal en el ámbito personal cuando estamos conduciendo de nuestra casa al trabajo y deseamos tomar la ruta más corta y el ámbito profesional cuando tenemos la entrega de un proyecto, creamos estrategias para formar un equipo eficiente y lograr una entrega a tiempo.

La solución de un problema de programación lineal se reduce a encontrar el valor óptimo (mayor o menor, según el problema) de la expresión lineal (llamada función objetivo). Dicha función la podemos escribir de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \cdots + C_nX_n}$$

También podemos expresar en forma de sumatoria:

$$\boldsymbol{Z = \sum_{j=1}^{n} C_j X_J}$$

Donde:

Z= Función objetivo lineal.

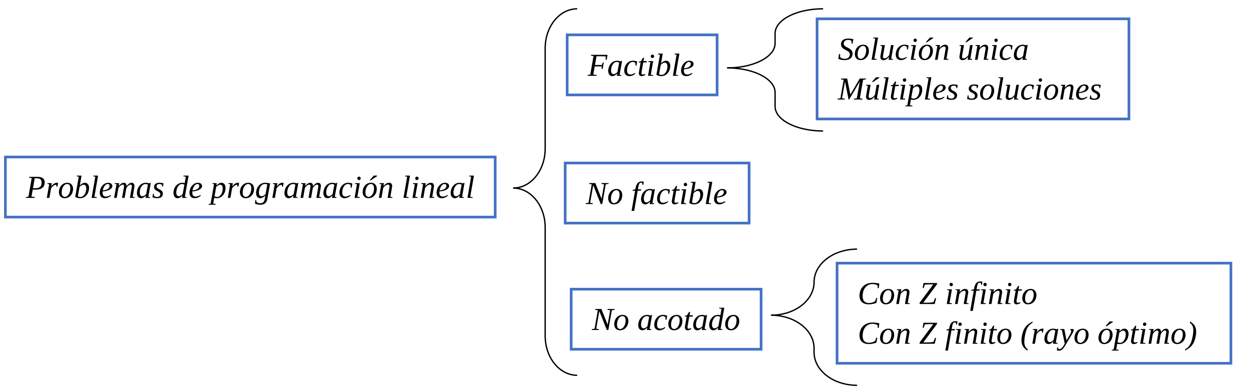
C_j= costo unitario o precio, según sea el problema.

X_j= Actividad o proceso.

Es necesario resaltar que la función objetivo siempre está sujeta a un conjunto de restricciones las cuales se expresan en forma de desigualdad:

$$\boldsymbol{a_{11}x_1 + \cdots + a_{1n}x_n \leq b_1}$$
$$\boldsymbol{a_{m1}x_1 + \cdots + a_{mn}x_n \leq b_m \;\; con\ \forall x_j \geq 0}$$

J.J. Ruz, (2020**),** atendiendo al tipo de solución clasifica los problemas de programación en las siguientes categorías:



2.2.2 Algoritmo simplex.

Haciendo uso de las curvas de la oferta y la demanda los empresarios buscan fabricar y vender sus productos y servicios de manera que puedan minimizar los costos y maximizar sus utilidades.

Al momento de tomar una decisión o solución factible para poder maximizar las utilidades reduciendo los costos, los economistas y financieros utilizan los métodos convencionales (método de las esquinas y método gráfico) que proporciona la programación lineal, pero cuando la solución arrojada con estos métodos no es aceptable o factible porque no cumple con las condiciones que afectan la decisión se dice que tal proceso carece de consistencia o credibilidad. Cuando se está frente a dicha situación surge la interrogante: ¿qué podemos hacer para resolver este inconveniente?

Los métodos convencionales de programación lineal no son eficientes a la hora de determinar una solución factible cuando el número de restricciones es grande (generalmente más de dos restricciones). Por tal razón en la década de 1940 George Dantzig utilizando el método de eliminación Gaussiano logró desarrollar lo que hoy conocemos como método simplex, el cual arroja una solución aceptable o factible a la hora de tomar una decisión cuando las condiciones que intervienen son múltiples.

El método simplex es un proceso iterativo, es decir, se repite sucesivamente la misma rutina básica para calcular y obtener una serie de soluciones factibles hasta determinar la solución óptima. La finalidad primordial de este método es dar solución a problemas de programación lineal estándar, es decir, problemas donde se requiera maximizar o minimizar una función.

Este método, inventado por George Dantzig en 1947, prueba los vértices adyacentes del conjunto factible (que es un politopo) en secuencia para que en cada nuevo vértice la función objetivo se perfeccione. Este algoritmo es muy eficiente en la práctica, ya que admite un número considerable de restricciones y puede trabajar con un número considerable de iteraciones.

Antes de que el algoritmo simplex pueda usarse para resolver un programa lineal, el problema debe estar escrito en forma estándar, es decir, todas sus restricciones deben estar en forma de ecuaciones y las variables que aparecen en dichas ecuaciones no deben ser negativas.

- **a)** Restricciones de tipo (≤): para cada restricción ***i*** de este tipo, agregamos una variable de holgura $\boldsymbol{e_i}$, de modo que $\boldsymbol{e_i}$ es no negativo.

Ejemplo: $3x_1 + 2x_2 \leq 2 \;\; se\ reescribe\ como \;\; 3x_1 + 2x_2 + e_1 = 2, \;\; e_1 \geq 0$

- **b)** Restricciones del tipo (≥): para cada restricción ***i*** de este tipo, agregamos una variable de exceso $\boldsymbol{e_i}$, de modo que $\boldsymbol{e_i}$ es no negativo.

Ejemplo: $3x_1 + 2x_2 \geq 2 \;\; se\ reescribe\ como \;\; 3x_1 + 2x_2 - e_2 = 2, \;\; e_2 \geq 0$

Considere un sistema de ecuaciones con *n* variables y *m* ecuaciones donde $n \geq m$. una solución básica para este sistema se obtiene de la siguiente manera:

- **a)** Sea $n - m$ variables iguales a cero. Estas variables son llamadas no básicas (V.N.B.).
- **b)** Se resuelve el sistema para las *m* variables restantes. Estas variables se llaman variables básicas (V.B.).

c) El vector de variables obtenido se llama solución básica (contiene ambas variables, básicas y no básicas).

En el método Simplex, queremos buscar sistemáticamente entre las soluciones básicas factibles para el diseño óptimo. Debemos tener una solución básica factible para iniciar el método Simplex. A partir de la solución básica factible, queremos encontrar otra que disminuya la función de costo. Esto se puede hacer intercambiando una variable básica actual con una variable no básica. Es decir, una variable básica actual se hace no básica (es decir, se reduce a 0 desde un valor positivo) y una variable no básica actual se hace básica (es decir, aumenta de 0 a un valor positivo). El paso de pivote realiza esta tarea y da como resultado una nueva forma canónica (solución general), como se explica a continuación.

Seleccionemos una variable básica x_p $(1 \leq p \leq m)$ para ser reemplazada por una variable no básica x_q para $(n - m) \leq q \leq n$. La columna básica (*pth*) se intercambiará con la columna no básica (*qth*). Esto es posible solo cuando el elemento en la columna *pth* y la fila *qth* no es cero; es decir, $apq \neq 0$. El elemento $apq \neq 0$ se llama elemento pivote.

El elemento pivote siempre debe ser positivo en el método Simplex, se debe tener en cuenta que xq será básico si se elimina de todas las ecuaciones, excepto la pth. Esto se puede lograr realizando un paso de eliminación de Gauss-Jordán, usando la fila *pth* para la eliminación. Esto dará $apq = 1$ y ceros en cualquier otro lugar de la columna *qth*. La fila utilizada para el proceso de eliminación (fila *pth*) se llama fila pivote. La columna en la que se realiza la eliminación (columna *qth*) se llama columna pivote. El proceso de intercambiar una variable básica con una variable no básica se denomina paso de pivote.

Si usamos a_{ij} para denotar los nuevos coeficientes en la forma canónica después del paso pivote y lo usamos para volver a desarrollar el proceso de eliminación, usando la nueva fila (*pth*) y columna (*qth*) pivote, dicho proceso se describe mediante las siguientes ecuaciones generales:

Se procede a dividir la fila de pivote (*pth*) por el elemento de pivote a_{pq}:

$$\boldsymbol{a'_{pj}} = \frac{\boldsymbol{a_{pj}}}{\boldsymbol{p_{pq}}} \qquad \text{Para} \qquad \boldsymbol{j = 1n;} \qquad \boldsymbol{b'_p} = \frac{\boldsymbol{b_p}}{\boldsymbol{a_{pq}}} \qquad \textbf{(1)}$$

Luego se debe eliminar *xq* de todas las filas excepto de la fila *pth*:

$$\boldsymbol{a'_{ij} = a_{ij} - (a_{pj}/a_{pq})a_{iq}} \quad ; \quad \begin{cases} \boldsymbol{i \neq p, i = 1m} \\ \quad \boldsymbol{j = 1n} \end{cases} \qquad \textbf{(2)}$$

$$\boldsymbol{b'_i = b_i - (b_p/a_{pq})a_{iq}} \quad ; \quad \boldsymbol{i \neq p, i = 1m} \qquad \textbf{(3)}$$

Las ecuaciones **(2)** y **(3)** se utilizan para el proceso de eliminación. Estas ecuaciones pueden codificarse en un software o lenguaje de programación para realizar el paso pivote de manera más rápida y efectiva. Al completar el paso pivote se obtiene una nueva forma canónica para la ecuación $Ax = b$; es decir se obtiene una nueva solución básica de las ecuaciones.

2.2.3 Mantenimiento vial.

Se refiere a pequeños trabajos de mantenimiento que se realizarán en todas las estaciones en todas las carreteras de manera regular, que comprenden categorías simples de trabajos de mantenimiento rutinario. El mantenimiento implica la limpieza de diferentes elementos de la carretera para asegurar que funciona correctamente y se evita el daño a la carretera.

El mantenimiento del camino es esencial para:

- ✓ Preservar el camino en su condición original.
- ✓ Resguardar los recursos lindantes y la seguridad del usuario.
- ✓ Proporcionar un viaje eficiente y conveniente a lo largo de la ruta.

Desafortunadamente, el mantenimiento a menudo se descuida o se realiza incorrectamente, lo que resulta en un rápido deterioro de la carretera y una eventual falla por los impactos climáticos y del uso del vehículo. De ello se deduce que es imposible construir y utilizar una carretera que no requiera mantenimiento.

La condición de la carretera puede mejorarse llevando a cabo actividades de mantenimiento rutinario, realizando labores en la superficie y laterales de la carretera, verificando el sistema de drenaje y los demás elementos físicos que la componen. (Guidelines, 2016)

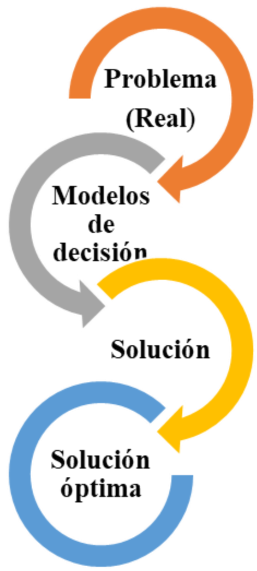
Gülay Malkoc a través de un artículo publicado en la revista *World Highways* expresa la importancia de invertir en mantenimiento vial, Malkoc afirma que las carreteras hacen una contribución crucial al desarrollo económico y aportan importantes beneficios sociales, resaltando que son de vital importancia para que una nación crezca y se desarrolle. Además de proporcionar acceso a diferentes servicios (empleos, educativos, sociales, etcétera).

Tomando en cuenta las palabras de Malkoc, podemos agregar que la red vial es crucial en la lucha contra la pobreza. Los caminos abren más áreas y estimulan el desarrollo económico y social. Por esas razones, la infraestructura vial es el más importante de todos los activos públicos.

Para un segmento de carretera dado, Hay que elegir entre tipos de tratamiento alternativos y los tiempos para implementar esos tratamientos. Cuando los fondos de mantenimiento son limitados, hay un adicional problema de equilibrar las necesidades competitivas de los diferentes segmentos.

2.2.4 Investigación operativa.

Generalmente, en los problemas de investigación operativa (IP) es necesario diseñar el modelo matemático que servirá de base para el estudio, Castello (1975) recomienda utilizar el siguiente planteamiento para lograrlo.



Según Ackoff y Rivett (1965) todos los modelos IP pueden sintetizarse en una ecuación, en la cual, la medida de una característica P. Así pues, la fórmula básica de cualquier modelo de OP es:

$$\boldsymbol{P = f(C_i, V_j)}$$

Un problema de programación lineal puede expresarse de la manera siguiente:

$$\mathbf{min.\, c^T x},$$

Sujeto a: $\mathbf{A_x = b}$ y $\mathbf{lo \leq x \leq hi}$

Cada término de las expresiones anteriores tiene el siguiente significado:

- **A** es una matriz de coeficientes bidimensionales de tamaño m x n.
- **x** es un vector unidimensional de tamaño n x 1.

- **b** es un vector unidimensional del lado derecho de tamaño m x 1.
- **c** es un vector de costo unidimensional de tamaño n x 1.
- **lo** es un vector unidimensional de límite inferior de tamaño n x 1.
- **hi** es un vector de límite superior unidimensional de tamaño n x 1.
- **m** es un escalar que representa el número de filas.
- **n** es un escalar que representa el número de columnas.

En la práctica, los problemas de optimización se formulan en términos de matrices, un simbolismo compacto para manipular las restricciones y probar la función objetivo algebraicamente. El problema de optimización original (o "primario") recibió su formulación estándar por Von Neumann en 1947.

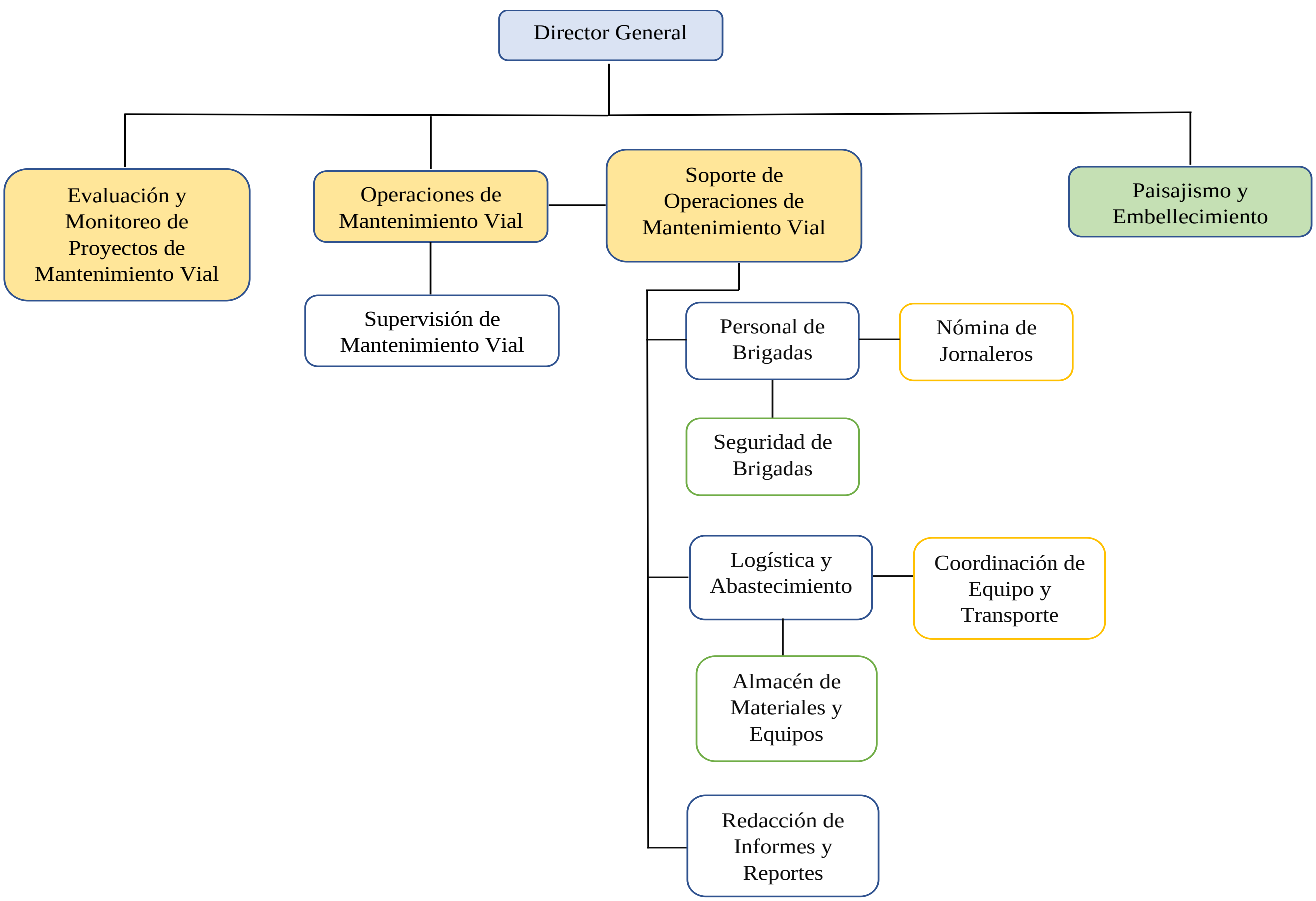
2.3 Marco Contextual.

2.3.1 Ubicación geográfica.

El Programa Mantenimiento de Carreteras (PMC), dependencia del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), se encuentra ubicado en el Ensanche La Fe, Calle Horacio Blanco Fombona, Distrito Nacional.

Esta dependencia nace en año 2015 por iniciativa del exministro Gonzalo Castillo, el cual vio la necesidad de insertar personas al campo laboral y a la vez que dichas personas puedan ofrecer servicios de mantenimiento vial.

2.3.2 Estructura organizativa.



Organigrama

Fuente: Programa Mantenimiento de Carreteras (2020)

2.3.3 Servicios.

El programa cuanta con un total de **214 brigadas**, las cuales realizan distintos trabajos a nivel nacional, en las Vías Troncales y Provincias se ejecutan los trabajos de desbroce de maleza en laterales y medianas, poda de árboles que puedan afectar la seguridad de los usuarios que se desplazan por las mismas, así como también restablecer y reponer oportunamente todas las barandas que hayan sido impactadas y cierre de pasos ilegales, limpieza de aceras, contenes y cunetas, recogida y retiro de los desechos sólidos presentes en estas, limpieza de los muros New Jersey, acondicionamiento de las proximidades y áreas internas de planteles escolares y eliminación de vertederos improvisados.

En los Corredores del Distrito Nacional por igual son realizadas las partidas mencionadas anteriormente y se llevan a cabo las labores de soluciones viales, en donde se realizan trabajos de reconstrucción de losas de imbornales, colocación de tapas de alcantarillas y reconstrucción de aceras y contenes por las brigadas de Albañilería, las cuales también se encargan de los trabajos a fines. Las brigadas de imbornales intervienen de forma rutinaria con las labores de acondicionamiento de las partes que componen el sistema de desagüe pluvial en la provincia Santo Domingo y el Distrito Nacional, a su vez, limpieza de los pasos a desnivel y puentes peatonales.

Las brigadas nocturnas dan continuidad a las labores de acondicionamiento de los puntos vulnerables conocidos y que son propensos a inundaciones por inclemencia climáticas. También son llevados a cabo trabajos preventivos y reactivos ante fenómenos atmosféricos que puedan afectar el territorio nacional, así como las incidencias en distintas playas eliminando desechos sólidos y orgánicos esparcidos.

Para el desarrollo de algunos de los trabajos el programa dispone de distintas unidades especializadas, como la unidad de Pintura la cual se encarga de realizar las labores de señalizaciones horizontales, remozamiento y aplicación de pintura en áreas deportivas, edificaciones, áreas de estacionamiento y puentes.

El departamento de paisajismo y embellecimiento se encarga de crear los diseños y de ejecutar los trabajos requeridos para el embellecimiento de espacios en las vías, parques y distribuidores.

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1 Tipo de investigación.

La presente investigación tiene como objetivo fundamental diseñar un algoritmo matemático para optimizar las labores de mantenimiento vial que realiza el Programa Mantenimiento de Carreteras. Cabe resaltar que los sistemas de optimización que ofrece la programación lineal y sus métodos derivados han sido poco aplicados al mantenimiento vial por no decir nulos, por tal razón hemos optado por emplear los tipos de investigación que se definen a continuación.

3.1.1 Según el enfoque.

La presente investigación es de enfoque cualitativo. La investigación cualitativa es aquella que utiliza métodos participativos como la observación o estudios de caso que resultan en un relato narrativo y descriptivo de un entorno o práctica. Los sociólogos que usan estos métodos generalmente rechazan positivismo y adoptar una forma de sociología interpretativa. (Parkinson y Drislane, 2011)

A través del enfoque cualitativo hemos afianzado el problema general que nos ocupa basado en una serie de recopilación de numerosas investigaciones, libros, manuales, artículos, entre otras fuentes que fueron necesarias para nutrir cada capítulo que hemos elaborado.

3.1.2 Según el alcance.

La investigación será de carácter exploratorio y descriptiva-práctica, Hernández Sampieri, (2014, pág. 91) explica que la investigación exploratoria es el proceso de investigar un problema que no ha sido estudiado o investigado a fondo en el pasado. El tipo de investigación exploratoria generalmente se realiza para comprender mejor el problema existente.

Tomando en cuenta lo expuesto por Sampieri, nos hemos auxiliado de diferentes fuentes para poder sustentar el estudio tales como:

- ✓ Tesis de grado y posgrado.
- ✓ Artículos científicos – tecnológicos.
- ✓ Revistas virtuales de carácter científico.
- ✓ Libros de textos
- ✓ Páginas web y otros.

Según Tamayo y Tamayo (2016) La investigación descriptiva se define como un método de investigación que describe las características de la población o fenómeno que se está estudiando. Esta metodología se centra más en el "qué" del sujeto de investigación en lugar del "por qué" del sujeto de investigación.

En otras palabras, la investigación descriptiva se enfoca principalmente en describir la naturaleza de un segmento demográfico, sin enfocarse en "por qué" ocurre un cierto fenómeno. En el estudio actual se aplicaron los conocimientos, experiencia y tipos de mantenimiento para el diseño de un algoritmo matemático. Esta aplicación contribuyo a describir una estructura organizativa, hechos y acontecimientos que influyen en las labores de mantenimiento rutinario, así como también las herramientas, equipos y materiales que usa el personal que realiza las actividades diarias de mantenimiento.

El punto practico de esta investigación estuvo centrada en la supervisión semanal de las brigadas que realizan labores de mantenimiento en la Autopista Las Américas para poder observar cómo son ejecutadas las tareas, apreciar el comportamiento de los jornaleros y verificar si el ingeniero encargado explica las directrices de forma clara y concisa.

3.2 Diseño de la investigación.

La presente investigación es de enfoque cualitativo con diseño transversal descriptivo, este tipo de investigación es el que mejor se adapta pues se desea optimizar las labores de mantenimiento que realizan las brigadas que pertenecen al Programa Mantenimiento de Carreteras. El diseño que estuvo presente durante todo el desarrollo de la investigación fue de tipo teórico-práctico el cual nos sirvió de apoyo a la hora de recolectar información bibliográfica e histórica.

La investigación estuvo compuesta de cuatro (4) fases o etapas, las cuales se enumeran a continuación:

Fase I. Recolección de información pertinente tanto digital como impresa de los servicios que ofrece el Programa Mantenimiento de Carreteras.

Fase II. Se realizo un trabajo de campo, el cual consistió en la observación directa de los jornaleros, capataz e ingeniero que son responsables de mantener en óptimas condiciones la Autopista Las Américas.

Fase III. Se procedió a analizar la información obtenida para así poder diseñar el algoritmo matemático de optimización.

Fase IV. Ejecución del Algoritmo y análisis de los resultados.

3.3 Población y muestra.

Un conjunto de datos proporciona información sobre un grupo de individuos. Estos individuos son, típicamente, representantes elegidos de una población en estudio. Los datos sobre los individuos están destinados, ya sea de manera informal o formal, para permitirnos realizar inferencias sobre la población. (Watkins, 2016)

3.3.1 Población.

En la investigación presente, la población está compuesta de 71 brigadas de mantenimiento, las cuales están formadas por 10 jornaleros (de ambos sexos) y un capataz. Cabe destacar que cada conjunto de brigadas de un área específica cuenta con un supervisor general.

3.3.2 Muestra.

La muestra que tomaremos para desarrollar la investigación será de 4 brigadas, las cuales realizan las labores de mantenimiento en la Autopista Las Américas. La muestra fue elegida por selección directa debido a que los elementos de la población como de la muestra para realizar el estudio tienen características similares.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1 Recolección de datos.

Los datos que se usarán en la investigación serán datos obtenidos de campo, recolectados directamente de la base de datos del "Programa Mantenimiento de Carreteras". Los datos recolectados abarcan un periodo de 3 meses (mayo, junio y julio), ya que son los más recientes y aportan información significativa para nuestro estudio, con estos datos será posible comparar el rendimiento de las brigadas en el proceso del mantenimiento vial en los últimos días y nos permitirá diseñar nuestra función objetivo, así como también las restricciones a las cuales está sujeta dicha función.

3.4.2 Técnicas.

Las técnicas que se utilizaron para recolectar los datos que nos servirán de soporte y evidencia para el desarrollo de esta investigación fueron obtenidos de la siguiente manera:

- **Observación directa.** Se puso en práctica la técnica de observación directa, para poder palpar las actividades rutinarias que realizan las brigadas y conocer la conducta de cada integrante, cuantas tareas de mantenimiento realizan y poder realizar una comparación de desempeño y rendimiento diario.
- **Documentación Técnica:** se revisaron los informes que semanalmente realizan los ingenieros encargados de cada brigada relacionada con el mantenimiento vial. A través de estos informes se pudo obtener información sobre el rendimiento del personal y que labores de mantenimiento se ejecutaron en la vía.

3.4.3 Herramienta tecnológica empleada.

Para solucionar el problema de optimización que nos ocupa utilizaremos Phyton. Python es un poderoso lenguaje de programación de propósito general. Se utiliza en desarrollo web, ciencia de datos, creación de prototipos de software, etc. Tiene una sintaxis simple y fácil de usar. Esto hace de Python un excelente lenguaje para aprender a programar.

3.5 Procesamiento y análisis de datos.

El procesamiento y análisis de datos puede definirse como una serie de acciones o pasos realizados en los datos para verificar, organizar, transformar, integrar y extraer datos en un formulario de salida apropiado para su uso posterior. Los métodos de procesamiento deben documentarse rigurosamente para garantizar la utilidad e integridad de los datos. (Capocasa & Sanna, 2015)

La etapa posterior a la aplicación de las técnicas de recolección de datos para llevar a cabo nuestro estudio consiste en lo siguiente:

- Se tabularán los datos para con el fin de interpretar la información obtenida.
- Organización de la información para modelar nuestra función objetivo y las restricciones pertinentes.
- Se elaborará la discusión de los resultados, analizando y comparando los resultados partiendo de cada variable basándose en cada indicador establecido, con el fin de redactar las conclusiones del estudio.

CAPITULO IV

DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Contextualización del problema.

Para que la jornada diaria sea óptima es necesario que las labores de mantenimiento planificadas se cumplan bajo los siguientes criterios:

- ✓ Se debe obtener un rendimiento de aproximadamente 3km de desbroce de maleza en los laterales y del mismo modo 2k en la mediana de la vía.
- ✓ Limpieza de 45 unidades de muro New Jersey.
- ✓ Recogida de sedimentos y desechos sólidos en aproximadamente 3km de aceras y contenes.
- ✓ Acondicionamiento de 3km de canaletas y cunetas.

Durante los meses seleccionados para la recolección de datos, se pudo observar que las labores no se están realizando de manera óptima. A continuación, presentamos una serie de gráficos que demuestran y validan esta información:

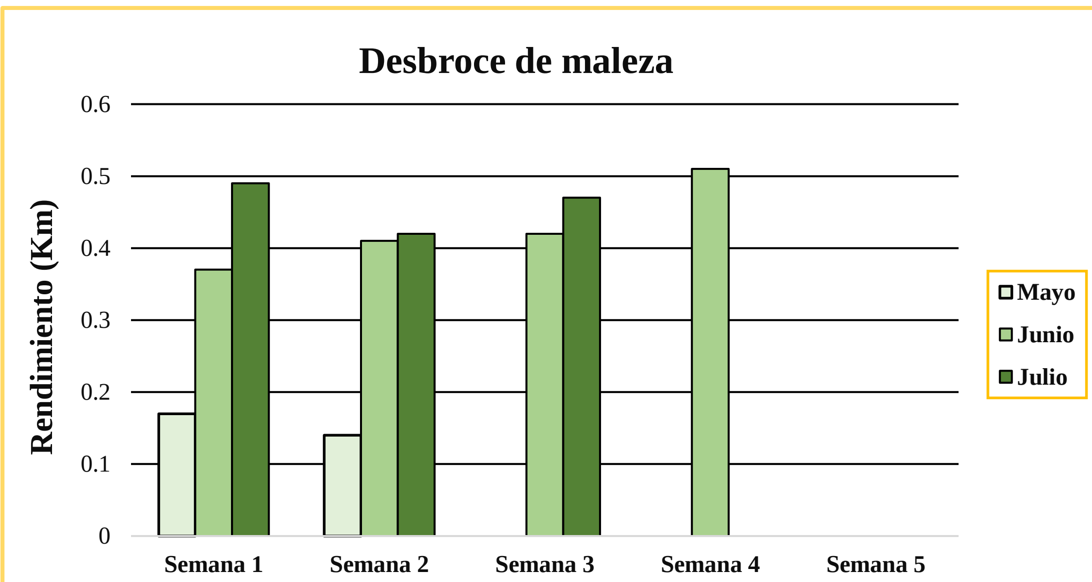


Gráfico 1. Desbroce de maleza en laterales de la vía.

El grafico 1 muestra el rendimiento en kilómetros de las brigadas al realizar el desbroce de maleza en los laterales de la Autopista Las Américas en el periodo mayo-julio, a pesar de que se contó con el presupuesto y equipamiento necesario no se alcanzó la meta esperada, muy al contrario, estuvo muy por debajo de la mínima. Se puede apreciar que en algunas semanas ni siquiera se llevó a cabo la labor.

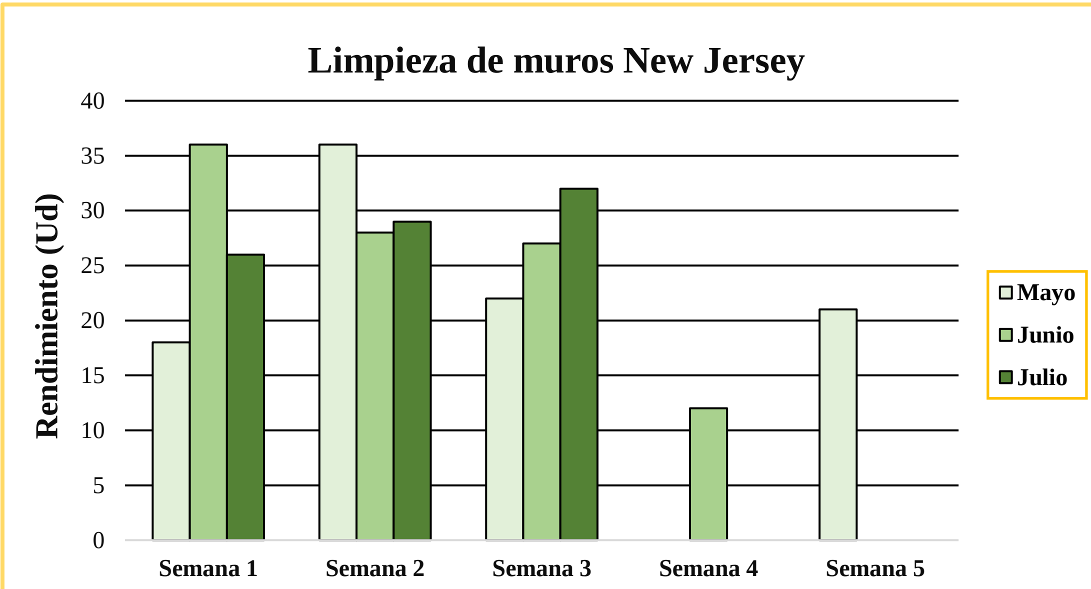


Gráfico 2. Limpieza de muro New Jersey.

El gráfico 2 pone en evidencia que la limpieza de muro New Jersey es la labor que tuvo más éxito en comparación con las demás, pero aun así tampoco cumplido las expectativas especificadas en los criterios.

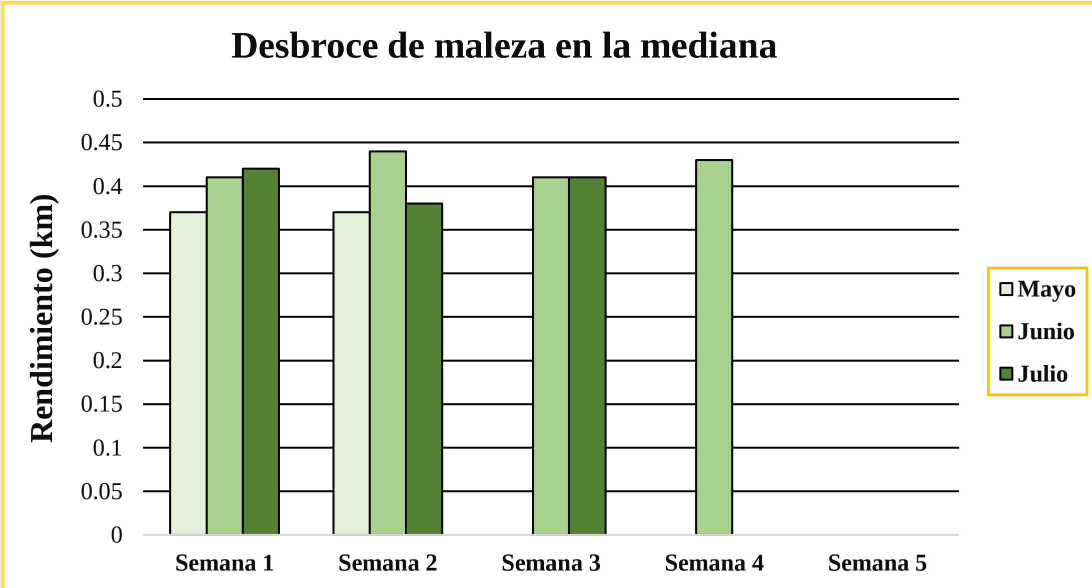


Gráfico 3. Desbroce de maleza en la mediana de la vía.

Al igual que las otras labores de mantenimiento vial, el desbroce de maleza en la mediana de la vía no alcanzó el rendimiento establecido. Cabe resaltar que siempre conto con el presupuesto y equipamiento necesario. Se puede visualizar esta información en el grafico 3.

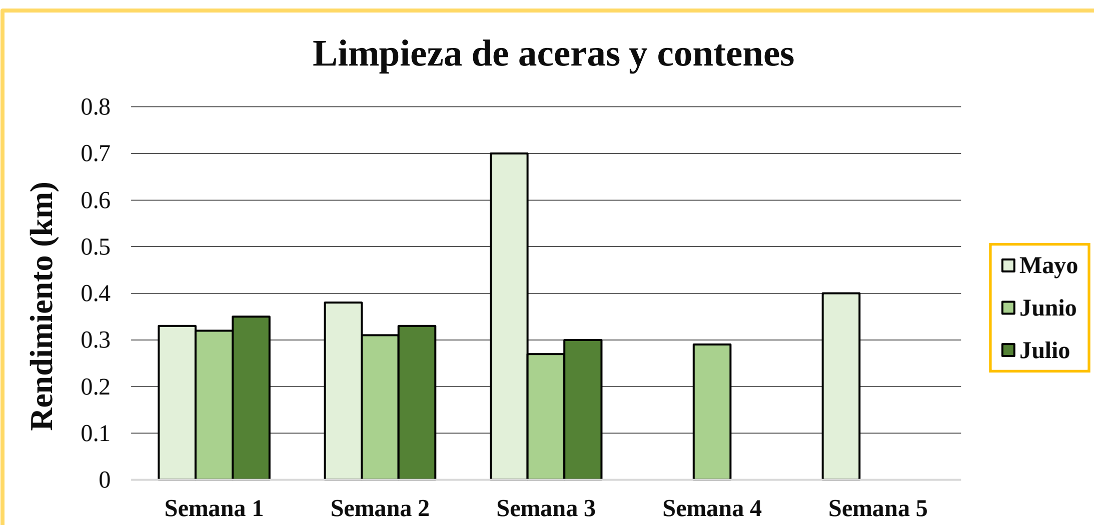


Gráfico 4. Limpieza de sedimentos y desechos sólidos en aceras y contenes de la vía.

De todas las actividades de mantenimiento vial realizadas en la Autopista Las Américas, la limpieza de aceras y contenes obtuvo un rendimiento bastante deficiente como se puede visualizar en el grafico 4.

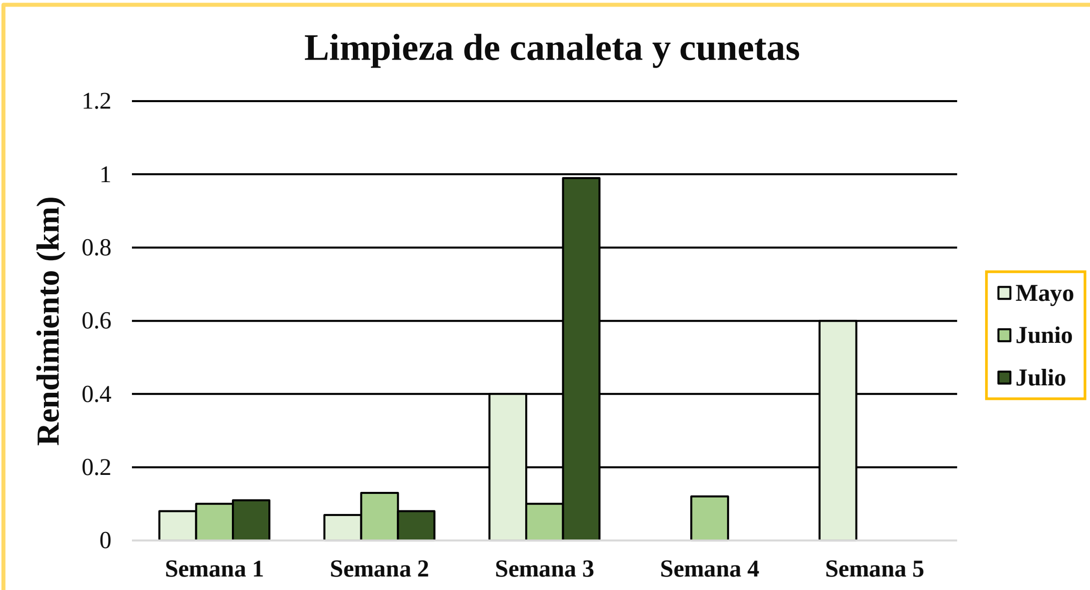


Gráfico 5. Acondicionamiento de canaletas y cunetas en la periferia de la vía.

El grafico 5 pone en evidencia que el acondicionamiento de las canaletas y cunetas obtuvo la escala más bajo en cuanto a rendimiento se refiere, contando siempre con los recursos necesarios para la ejecución de la labor.

CAPITULO V

PRESENTACION DEL ALGORITMO

5.1 Formulación del algoritmo.

Para dar respuesta a nuestro objetivo general y aportar una solución al problema planteado, vamos a considerar los elementos de nuestra muestra, los cuales corresponden a la Autopista Las Américas, como el algoritmo propuesto se fundamenta en la programación lineal, específicamente método simplex, es necesario plantear un modelo general cuyo propósito fundamental sea minimizar el costo total directo de la jornada laboral diaria y de manera análoga maximizar las utilidades, en nuestro caso específico maximizar rendimiento laboral.

La estructura del modelo se desarrolla a continuación:

$a \in A = \{1,2,3,4,5\}: labores^{a}$

Donde:

1 = desbroce de maleza en laterales.

2 = limpieza de muros New Jersey.

3 = desbroce de maleza en mediana.

4 = limpieza aceras y contenes.

5 = limpieza canaletas y cunetas.

$d \in D = \{1\}: tiempo\ asignado^{d}\{día\ laborado$

5.1.1 Parámetros.

$Z = presupuesto\ total\ diario.$

$x_{ad} = cantidad\ jornaleros\ asignados\ a\ la\ labor\ a\ el\ dia\ d.$

$\bar{x}_{ad} = cantidad\ de\ jornaleros\ provisionales\ asignados\ a\ la\ labor\ a\ el\ día\ d.$

$c_{ad} = costo\ de\ cada\ jornalero\ asignado\ a\ la\ labor\ a\ el\ día\ d.$

$\bar{c}_{ad} = costo\ de\ cada\ jornalero\ provisional\ asignado\ a\ labor\ a\ el\ día\ d.$

$n_{a} = cantidad\ total\ de\ jornaleros\ para\ la\ actividad\ a.$

$n_{d} = cantidad\ total\ de\ jornaleros\ para\ el\ dia\ d.$

$n_{ad} = cantidad\ total\ de\ jornaleros\ para\ la\ actividad\ a\ del\ día\ d.$

$b_{ad} = cantidad\ de\ jornaleros\ fijos\ para\ la\ actividad\ a\ del\ día\ d.$

$\bar{b}_{ad} = cantidad\ de\ jornaleros\ provisional\ para\ la\ actividad\ a\ del\ día\ d.$

$N = cantidad\ disponible\ de\ jornaleros\ fijos.$

$\bar{N} = cantidad\ disponible\ de\ jornaleros\ eventuales.$

5.1.2 Función Objetivo.

Partiendo de lo anteriormente planteado, este estudio busca minimizar el presupuesto total diario que se invierte en el mantenimiento diario de la Autopista Las Américas, tomando en consideración múltiples variables que están relacionadas con las actividades que se realizan. La función objetivo para el modelo general será:

$$\boldsymbol{Z = \sum_{a \in A, d \in D} (c_{ad}x_{ad} + \bar{c}_{ad}\bar{x}_{ad})}$$

Por lo tanto, Z será la sumatoria del producto de cada una de las variables o cantidad de trabajador incluyendo su costo.

5.1.3 Restricciones.

Las restricciones planteadas a continuación se formularon a partir de la estructura desarrollada anteriormente.

a) Establecer la cantidad mínima de jornaleros para la labor ***"a".***

$$\boldsymbol{\sum_{d \in D} (x_{ad} + \bar{x}_{ad}) \leq n_a}$$

b) Definir la cantidad mínima de jornaleros para el día ***"d".***

$$\boldsymbol{\sum_{a \in A} (x_{ad} + \bar{x}_{ad}) \leq n_d}$$

c) Determinar la cantidad mínima total de jornaleros para la labor ***"a"*** del día ***"d"*** con n_{ad} y la cantidad mínima para los fijos y eventuales con $b_{ad}\ y\ \bar{b}_{ad}$ respectivamente.

$$\sum_{\boldsymbol{a\in A, d\in D}} (\boldsymbol{x_{ad}} + \boldsymbol{\bar{x}_{ad}}) \leq \boldsymbol{n_{ad}}$$

Donde:

$\boldsymbol{x_{ad}} \geq \boldsymbol{b_{ad}}$

$\boldsymbol{\bar{x}_{ad}} \geq \boldsymbol{\bar{b}_{ad}}$

d) Especificar la cantidad máxima de jornaleros de cada tipo, N y $\bar{N}$ para fijos y provisionales, respectivamente.

$$\sum_{\boldsymbol{a\in A, d\in D}} \boldsymbol{x_{ad}} \leq \boldsymbol{N} \qquad\qquad \sum_{\boldsymbol{a\in A, d\in D}} \boldsymbol{\bar{x}_{ad}} \leq \boldsymbol{\bar{N}}$$

5.1.4 Propuesta del Algoritmo.

Ya modeladas y definidas la función objetivo asociada a nuestra problemática y las restricciones a las cuales está sujeta, nuestro algoritmo queda estructurado de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{Z} = \sum_{a \in A, d \in D} (c_{ad} x_{ad} + \bar{c}_{ad} \bar{x}_{ad})$$

$$\textstyle\sum_{d \in D} (x_{ad} + \bar{x}_{ad}) \leq n_a \qquad (1)$$

$$\textstyle\sum_{a \in A} (x_{ad} + \bar{x}_{ad}) \leq n_d \qquad (2)$$

$$\textstyle\sum_{a \in A, d \in D} (x_{ad} + \bar{x}_{ad}) \leq n_{ad} \qquad (3)$$

$$\textstyle\sum_{a \in A, d \in D} x_{ad} \leq N \qquad (4)$$

$$\textstyle\sum_{a \in A, d \in D} \bar{x}_{ad} \leq \bar{N} \qquad (5)$$

5.2 Programación del algoritmo en el lenguaje Phyton.

Para dar solución a la problemática planteada, seguiremos los pasos siguientes, los cuales servirán para programar nuestro algoritmo matemático.

1. Importamos la función que vamos a utilizar en el programa.

```
main.py
import heapq
```

2. Especificamos lo siguiente: devolver una matriz de identidad rectangular con entradas diagonales específicas, empezando en el medio:

```
Return a rectangular identity matrix
with the specified diagonal entiries,
possibly
starting in the middle.
```

3. Definir la variable identidad la cual engloba cuatro (4) variables más. Dos de estas variables se les asigna valores de cero y uno, estas pasan a ser nuestra variable de decisión, mientras que a las otras dos se les asigna el valor de "*i*" y "*j*" las cuales representan las labores a realizar.

```
def identity(numRows, numCols, val=1,
rowStart=0):
    return [[(val if i == j else 0) for j
    in range(numCols)]
              for i in range(rowStart,
              numRows)]
```

4. Añadir flotadores para representar los números enteros. Procedemos a convertir un problema de programación lineal de su forma general a la forma estándar para llevar a cabo el algoritmo simplex. Las entradas deben tener las entradas correctas (costo), usamos la variable “**greaterThans**” que simboliza una matriz *m* x *n*, también usamos la variable “**geThreshold**” el cual simboliza un vector de longitud “*m*” con el mismo patrón que las entradas restantes.

```
'''
    standardForm: [float], [[float]], [float], [[float]], [float], [[float]], [float] -> [float], [[float]], [float]
    Convert a linear program in general form to the standard form for the
    simplex algorithm.  The inputs are assumed to have the correct dimensions: cost
    is a length n list, greaterThans is an n-by-m matrix, gtThreshold is a vector
    of length m, with the same pattern holding for the remaining inputs. No
    dimension errors are caught, and we assume there are no unrestricted variables.
'''
```

5. Definimos la forma estándar integrando las variables anteriormente definidas

```
'''
def standardForm(cost, greaterThans=[], gtThreshold=[], lessThans=[], ltThreshold=[],
                 equalities=[], eqThreshold=[],
                 minimization=True):
```

6. Creamos dos variables las cuales serán igualadas a cero, dichas variables le colocamos un contador de mas uno (+1). Las otras variables que están integradas en la forma estándar se igualan a las variables que igualamos a cero para que también reciban el contador.

```
newVars = 0
numRows = 0
if gtThreshold != []:
    newVars += len(gtThreshold)
    numRows += len(gtThreshold)
if ltThreshold != []:
    newVars += len(ltThreshold)
    numRows += len(ltThreshold)
if eqThreshold != []:
    numRows += len(eqThreshold)
```

7. Asignamos los valores que tomara x para minimizar el costo, debemos resaltar que si el contador se iguala a cero el costo original de devuelve.

```
if not maximization:
    cost = [-x for x in cost]

if newVars == 0:
    return cost, equalities, eqThreshold

newCost = list(cost) + [0] * newVars

constraints = []
threshold = []

oldConstraints = [(greaterThans, gtThreshold, -1),
(lessThans, ltThreshold, 1),
                  (equalities, eqThreshold, 0)]
```

8. Procedemos a crear tres variables nuevas las cuales irán en una lista diferente, estas variables nos ayudarán a representar los coeficientes de las restricciones a las cuales está sujeta nuestra función objetivo.

```
    offset = 0
    for constraintList, oldThreshold, coefficient in oldConstraints:
        constraints += [c + r for c, r in zip(constraintList,
            identity(numRows, newVars, coefficient, offset))]

        threshold += oldThreshold
        offset += len(oldThreshold)

    return newCost, constraints, threshold
```

9. De aquí en adelante empezamos a asignar variables a las columnas y filas de nuestra matriz, la asignación de variables permitirá seleccionar nuestro elemento pivote

```
def dot(a,b):
    return sum(x*y for x,y in zip(a,b))

def column(A, j):
    return [row[j] for row in A]

def transpose(A):
    return [column(A, j) for j in range(len(A[0]))]

def isPivotCol(col):
    return (len([c for c in col if c == 0]) == len(col) - 1) and sum(col) == 1

def variableValueForPivotColumn(tableau, column):
    pivotRow = [i for (i, x) in enumerate(column) if x == 1][0]
    return tableau[pivotRow][-1]
```

10. Asumimos que las ultimas "*m*" columnas de la matriz *A* son variables de holgura, la base inicial es el conjunto de variables de holgura.

```python
# assume the last m columns of A are the slack variables; the initial basis is
# the set of slack variables
def initialTableau(c, A, b):
    tableau = [row[:] + [x] for row, x in zip(A, b)]
    tableau.append([ci for ci in c] + [0])
    return tableau
```

11. Luego definimos las variables a utilizar, las cuales son denotadas gracias a la columna pivote.

```python
def primalSolution(tableau):
    # the pivot columns denote which variables are used
    columns = transpose(tableau)
    indices = [j for j, col in enumerate(columns[:-1]) if isPivotCol(col)]
    return [(colIndex, variableValueForPivotColumn(tableau, columns[colIndex]))
            for colIndex in indices]
```

12. Mas adelante definimos la función que nos permitirá obtener el valor objetivo, sino se logra en la primera iteración pues el mismo algoritmo seguirá haciendo iteraciones hasta conseguirlo.

```python
def objectiveValue(tableau):
    return -(tableau[-1][-1])


def canImprove(tableau):
    lastRow = tableau[-1]
    return any(x > 0 for x in lastRow[:-1])


# this can be slightly faster
def moreThanOneMin(L):
    if len(L) <= 1:
        return False

    x,y = heapq.nsmallest(2, L, key=lambda x: x[1])
    return x == y
```

13. Definimos la función que permitirá elegir el nuevo elemento pivote, el cual será el índice positivo mínimo de la última fila, se comprueba sino está limitado, verificar la degeneración (más de un minimizador del cociente) y por último se selecciona el índice de la fila minimizado.

```python
def findPivotIndex(tableau):
    # pick minimum positive index of the last row
    column_choices = [(i,x) for (i,x) in enumerate(tableau[-1][:-1]) if x > 0]
    column = min(column_choices, key=lambda a: a[1])[0]

    # check if unbounded
    if all(row[column] <= 0 for row in tableau):
        raise Exception('Linear program is unbounded.')

    # check for degeneracy: more than one minimizer of the quotient
    quotients = [(i, r[-1] / r[column])
        for i,r in enumerate(tableau[:-1]) if r[column] > 0]

    if moreThanOneMin(quotients):
        raise Exception('Linear program is degenerate.')

    # pick row index minimizing the quotient
    row = min(quotients, key=lambda x: x[1])[0]

    return row, column
```

14. Elegimos el nuevo elemento pivote para proceder a una nueva iteración.

```python
def pivotAbout(tableau, pivot):
    i,j = pivot

    pivotDenom = tableau[i][j]
    tableau[i] = [x / pivotDenom for x in tableau[i]]

    for k,row in enumerate(tableau):
        if k != i:
            pivotRowMultiple = [y * tableau[k][j] for y in tableau[i]]
            tableau[k] = [x - y for x,y in zip(tableau[k], pivotRowMultiple)]
```

15. De ahora en adelante el algoritmo resolverá el problema lineal de forma estándar proporcionando la solución óptima y el valor de la función objetivo

```python
'''
   simplex: [float], [[float]], [float] -> [float], float
   Solve the given standard-form linear program:

      max <c,x>
      s.t. Ax = b
           x >= 0

   providing the optimal solution x* and the value of the objective function
'''
def simplex(c, A, b):
   tableau = initialTableau(c, A, b)
   print("Initial tableau:")
   for row in tableau:
      print(row)
   print()

   while canImprove(tableau):
      pivot = findPivotIndex(tableau)
      print("Next pivot index is=%d,%d \n" % pivot)
      pivotAbout(tableau, pivot)
      print("Tableau after pivot:")
      for row in tableau:
         print(row)
      print()

   return tableau, primalSolution(tableau), objectiveValue(tableau)
```

16. En este apartado asignamos los valores que usaremos en la función, a continuación, se detallan:

- En la fila “**C**” se escriben los coeficientes de la función objetivo.
- En la fila “**A**” se escriben los coeficientes de las restricciones.
- En la fila “**B**” se escriben los valores a los cuales están igualadas las restricciones.

```

if __name__ == "__main__":
    c = [300, 250, 450]
    A = [[15, 20, 25], [35, 60, 60], [20, 30, 25], [0, 250, 0]]
    b = [1200, 3000, 1500, 500]

    # add slack variables by hand
    A[0] += [1,0,0,0]
    A[1] += [0,1,0,0]
    A[2] += [0,0,1,0]
    A[3] += [0,0,0,-1]
    c += [0,0,0,0]

    t, s, v = simplex(c, A, b)
    print(s)
    print(v)
```

17. Después de colocar cada valor en la fila correspondiente, damos clic al botón "RUN". Este botón pondrá a correr el algoritmo y obtendremos las iteraciones siguientes:

```
Initial tableau:
[15, 20, 25, 1, 0, 0, 0, 1200]
[35, 60, 60, 0, 1, 0, 0, 3000]
[20, 30, 25, 0, 0, 1, 0, 1500]
[0, 250, 0, 0, 0, 0, -1, 500]
[300, 250, 450, 0, 0, 0, 0, 0]

Next pivot index is=3,1

Tableau after pivot:
[15.0, 0.0, 25.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.08, 1160.0]
[35.0, 0.0, 60.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.24, 2880.0]
[20.0, 0.0, 25.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.12, 1440.0]
[0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, -0.004, 2.0]
[300.0, 0.0, 450.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, -500.0]

Next pivot index is=1,6

Tableau after pivot:
[3.333333333333332, 0.0, 5.0, 1.0, -0.33333333333333337, 0.0, 0.0, 200.0]
[145.83333333333334, 0.0, 250.0, 0.0, 4.166666666666667, 0.0, 1.0, 12000.0]
[2.5, 0.0, -5.0, 0.0, -0.5, 1.0, 0.0, 0.0]
[0.5833333333333334, 1.0, 1.0, 0.0, 0.016666666666666667, 0.0, 0.0, 50.0]
[154.16666666666666, 0.0, 200.0, 0.0, -4.166666666666667, 0.0, 0.0, -12500.0]

Next pivot index is=2,0

Tableau after pivot:
[0.0, 0.0, 11.666666666666664, 1.0, 0.33333333333333315, -1.333333333333333, 0.0, 200.0]
[0.0, 0.0, 541.6666666666667, 0.0, 33.33333333333336, -58.33333333333334, 1.0, 12000.0]
[1.0, 0.0, -2.0, 0.0, -0.2, 0.4, 0.0, 0.0]
[0.0, 1.0, 2.166666666666667, 0.0, 0.13333333333333336, -0.23333333333333336, 0.0, 50.0]
[0.0, 0.0, 508.3333333333333, 0.0, 26.666666666666664, -61.666666666666664, 0.0, -12500.0]

Next pivot index is=1,4

[3.333333333333332, 0.0, 5.0, 1.0, -0.33333333333333337, 0.0, 0.0, 200.0]
[145.83333333333334, 0.0, 250.0, 0.0, 4.166666666666667, 0.0, 1.0, 12000.0]
[2.5, 0.0, -5.0, 0.0, -0.5, 1.0, 0.0, 0.0]
[0.5833333333333334, 1.0, 1.0, 0.0, 0.016666666666666667, 0.0, 0.0, 50.0]
[154.16666666666666, 0.0, 200.0, 0.0, -4.166666666666667, 0.0, 0.0, -12500.0]

Next pivot index is=2,0

Tableau after pivot:
[0.0, 0.0, 11.666666666666664, 1.0, 0.33333333333333315, -1.333333333333333, 0.0, 200.0]
[0.0, 0.0, 541.6666666666667, 0.0, 33.33333333333336, -58.33333333333334, 1.0, 12000.0]
[1.0, 0.0, -2.0, 0.0, -0.2, 0.4, 0.0, 0.0]
[0.0, 1.0, 2.166666666666667, 0.0, 0.13333333333333336, -0.23333333333333336, 0.0, 50.0]
[0.0, 0.0, 508.3333333333333, 0.0, 26.666666666666664, -61.666666666666664, 0.0, -12500.0]

Next pivot index is=1,4

Tableau after pivot:
[0.0, 0.0, 6.250000000000001, 1.0, 0.0, -0.75, -0.009999999999999993, 80.00000000000007]
[0.0, 0.0, 16.25, 0.0, 1.0, -1.7500000000000002, 0.03, 360.0]
[1.0, 0.0, 1.25, 0.0, 0.0, 0.04999999999999993, 0.006, 72.0]
[0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 5.551115123125783e-17, -0.004000000000000001, 1.999999999999993]
[0.0, 0.0, 75.0, 0.0, 0.0, -14.999999999999993, -0.7999999999999999, -22100.0]

Next pivot index is=0,2

Tableau after pivot:
[0.0, 0.0, 1.0, 0.15999999999999998, 0.0, -0.11999999999999998, -0.0015999999999999988, 12.80000000000001]
[0.0, 0.0, 0.0, -2.5999999999999996, 1.0, 0.1999999999999995, 0.05599999999999998, 151.99999999999986]
[1.0, 0.0, 0.0, -0.19999999999999996, 0.0, 0.1999999999999999, 0.007999999999999998, 55.999999999999986]
[0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 5.551115123125783e-17, -0.004000000000000001, 1.999999999999993]
[0.0, 0.0, 0.0, -11.999999999999998, 0.0, -5.999999999999995, -0.68, -23060.0]

[(0, 55.999999999999986), (1, 1.999999999999993), (2, 12.80000000000001), (4, 151.99999999999986)]
23060.0
>
```

CONCLUSIONES.

Al culminar la investigación y analizado los resultados obtenidos de la recogida de los datos se ha podido identificar inconvenientes en el contexto de nuestro estudio estrechamente vinculado a la planificación del personal y el manejo del presupuesto que se emplea diariamente para llevar a cabo las labores de mantenimiento vial.

Dentro de las posibilidades planteadas para mitigar o solucionar la situación problema que existe, hemos propuesto la implementación de un algoritmo matemático de optimización el cual está desarrollado en el lenguaje de programación Phyton.

El uso de Phyton como instrumento tecnológico de programación, proporciona una solución eficaz, rápida y observable ya que podemos visualizar las ***"n"*** iteraciones que este realiza para obtener el valor óptimo buscado. Gracias a este lenguaje de logro diseñar un algoritmo matemático basado en el método simplex.

Al momento de ejecutar el algoritmo pudimos obtener un valor óptimo de aproximadamente RD$23,060. Esta cifra indica que tanto se puede minimizar el presupuesto total diario si se realizan los ajustes indicados a las brigadas correspondientes. Cabe resaltar que este análisis fue llevado a cabo solo observando 4 brigadas, lo que quiere decir que al momento de ampliar el análisis integrando todas las brigadas el ahorro será mayor.

RECOMENDACIONES.

- ✓ Debido a que se adolece de una estructura organizativa sólida, se considera oportuno proponer implementar plantillas donde se especifique la descripción de cada puesto. De este modo el Programa Mantenimiento de Carreteras estará mejor presentado y fundamentado.

- ✓ Se recomienda capacitar a cada brigada en las diferentes tareas de mantenimiento vial, de modo que puedan cubrir cualquier necesidad que se presente.

- ✓ Se considera conveniente incluir parámetros en el algoritmo matemático para programar aquellas labores que no se realizan diariamente como es el caso de la limpieza de los muros New Jersey. Esto ayudaría a tener un mejor control del presupuesto.

- ✓ Es recomendable actualizar el logaritmo periódicamente para poder evaluar los resultados anteriores con los actuales, con el propósito de tomar decisiones coherentes y oportunas.

- ✓ Para el buen funcionamiento del algoritmo se debe tener presente realizar los ajustes a los parámetros que intervienen a la situación específica de cada periodo de tiempo en la cual se deben desarrollar las labores de mantenimiento.

- ✓ Tomando en cuenta los resultados obtenidos al ejecutar el algoritmo, se recomienda implementarlo a las brigadas restantes que conforman el Programa Mantenimiento de Carreteras, así se podrá dar un uso más eficiente al presupuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Tesis.**

Barrera Tuteleers, Rodrigo Ignacio. (2011). Diseño de un modelo de optimización de turnos para cajeros. [tesis de grado, Universidad de Chile]. Repositorio UC. http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104212/cf-barrera_rt.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Bohórquez, Jhon F. y Sánchez, Cristian R. (2015). Desarrollo de un módelo matemático para la asignación y rotación de personal para la compañía prestadora del SITP; este es mi bus S.A.S. [tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José Caldas, Colombia]. Repositorio UD. http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5036/1/BohorquezJimenezJhonFredy2015.pdf

Bonilla Vanegas, Abel. (2015). Problema de programación y secuenciación de actividades y tareas en labores de mantenimiento de una empresa industrial. [tesis maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia]. Repositorio Institucional Vitela.http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/4571/Problema_programacion_secuenciacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carranza, Diego F. y Moncada, Lizeth K. (2019). Optimización de las utilidades en la Empresa DM&E S.A.S mediante un modelo de programación lineal que permita mejorar su rendimiento operacional. [tesis de grado, Universidad Piloto, Colombia]. Repositorio unipiloto. http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6428

Gómez García, Alejandro Manuel. (2019). Modelado y formulación de un problema de programación de la producción en el sector aeronáutico mediante Python y Gurobi. [tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid, España]. Repositorio UPM. http://oa.upm.es/56692/1/TFG_ALEJANDRO_MANUEL_GOMEZ_GARCIA.pdf

Pari Gutiérrez, Braulio. (2017). Algoritmo para la optimización. [tesis maestría, Universidad Nacional del Altiplano, Perú]. Repositorio Institucional UNA – PUNO. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6775/Braulio_Gutierrez_Pari.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Santana, Ronnie. (2016). Plan estratégico del tramo carretero Villa Mella – La Victoria. [tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, República Dominicana]. Repositorio UNPHU.https://repositorio.unphu.edu.do

Vladimirovich-Fedosov, Valeriy, & Fedossova, Alina. (2017). Optimización de emisiones de la red de carreteras de infraestructura urbana. Ingeniería Industrial, *38*(2), 143-153. Recuperado en 02 de julio de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci

- **Libros de texto.**

Bahit, Eugenia. (2012). Python para principiantes. Recuperado de https://www.iaa.csic.es/python/curso-python-para-principiantes.pdf

Ernest F. Haeussler, Jr/Richard S. Paul. (1992). Matemáticas para Administración y Economía. México: Grupo Editorial Iberoamérica.

Hamdy A. Taha. (2012). Investigación de Operaciones (9.ª ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.

Heine, M. A. (2016). Constrained optimization model for partitioning students into cooperative learning groups, A. 2000-2019-CSU Theses and Dissertations.

Hernández Sampieri, Roberto. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). México: Mc Graw Hill Education

J.M.Worm, & Harten, A. (1996). Model based decision support for planning of road maintenance. Northern Ireland: ELSEVIER.

N. Gregory Mankiw. (2012). Principios de Economía. México: CENGAGE Learning.

Soo T. Tan. (2012). Matemáticas Aplicadas a los negocios, las ciencias sociales y de la vida. México: CENGAGE Learning.

Tamayo, Mario. (2003). El proceso de la investigación científica (4.ª ed.). México: Editorial Limusa.

- **Revistas científicas.**

Oxford University. (2019). Methodological frameworks and sampling in qualitative research. Recuperado de https://www.oup.com.au/media/documents/higher-education/he-samples-pages/he-health-landing-page/LIAMPUTTONG_9780190304287_SC.pdf

Stojilijkovic, Mirko. (2020, 22 de junio). Hands-On Linear Programming: Optimization With Python. Real Python. Recuperado de https://realpython.com/linear-programming-python/

- **Articulos.**

Analytics Vidhya. (28 de febrero 2017). [Introductory guide on Linear Programming for (aspiring) data scientists]. Recuperado de https://www.analyticsvidhya.com/blog/2017/02/lintroductory-guide-on-linear-programming-explained-in-simple-english/

André, Margarita y Gulnara María. (2010). Un sistema de soporte a la decisión para la asignación de recursos humanos a equipos de proyectos de software. Investigación Operacional, 31(1), 61-69. Recuperado de file:///C:/Users/USER/Desktop/Dialnet-UnSistemaDeSoporteALaDecisionParaLaAsignacionDeRec-3076897.pdf

Bello, F., Álvarez, A., Pacheco, J. y Martínez, I. (2011, 13 de diciembre). A heuristic approach for a scheduling problem with periodic maintenance and sequence-dependent setup times, 61, 797-808. Recuperado de https://core.ac.uk/download/pdf/82293657.pdf

Bottini, Roberto. (2008, 29 de octubre). Modelos matemáticos para optimización de reemplazo e inspecciones preventivos. [ponencia].

Castello Muñoz, Enrique. (1975). Modelos de programación matemática de la empresa. Revista española de financiación y contabilidad, IV(14), 579-590. Recuperado de file:///C:/Users/USER/Desktop/Dialnet-ModelosDeProgramacionMatematicaDeLaEmpresa-2482547.pdf

López Briega, Raúl E. (2017, 18 de enero). Problemas de optimización con Phyton. Matematicas, análisis de datos y phyton. Recuperado de https://relopezbriega.github.io/blog/2017/01/18/problemas-de-optimizacion-con-python/

Raúl Gómez. (2017) Método simplex dual. UNIREMINGTON, corporación universitaria Recuperado de https://issuu.com/raulgomezl/docs/metodo_simplex_dual

Ruiz, J. J. (2020). Introducción a la programación matemática. Recuperado de http://www.fdi.ucm.es/profesor/jjruz/MasterUned/Documentos%20en%20aLF/Tema%200.pdf

Sáez, Enrique (2015, 4 de noviembre). La República Dominicana, en quinta posición en el ránking latinoamericano de carreteras. Carreteras Pan-Americanas. https://www.carreteras-pa.com/reportajes/la-republica-dominicana-en-quinta-posicion-en-el-ranking-latinoamericano-de-carreteras/

Daniela Naranjo. (2016) Método simplex dual. Recuperado de https://www.academia.edu/24447399/METODO_SIMPLEX_DUAL

- **Manuales técnicos.**

Harvey, M. O. (2012). Optimising road maintenance.

MOPC RD. (2015). Especificaciones especiales para el mantenimiento de carreteras. Santo Domingo: Dirección general de reglamentos y sistemas.

ANEXOS

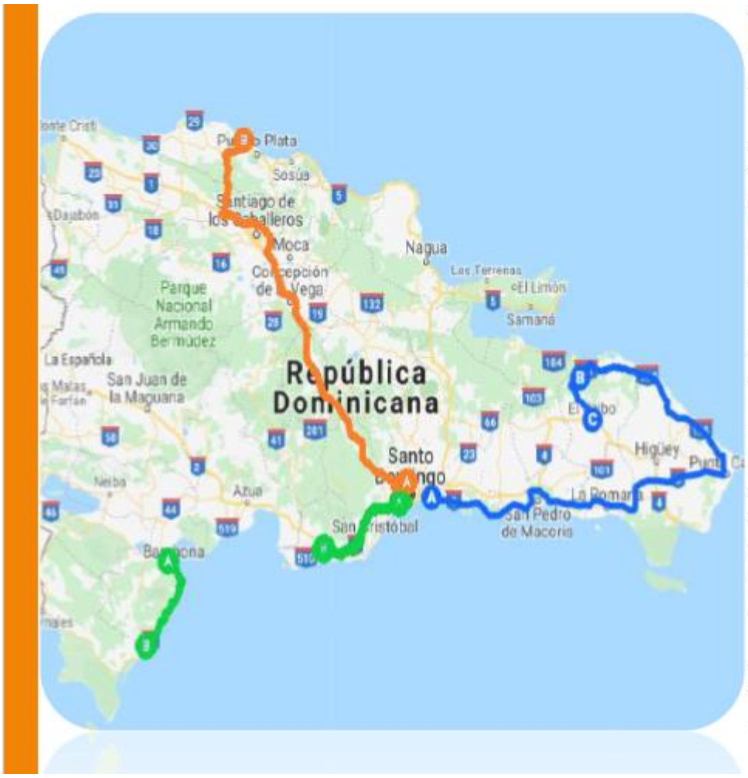
Anexo I.

Mapa red vial troncales, República Dominicana.

Fuente: Inventario Vial, MOPC

Anexo II

Vías troncales que reciben servicios del Programa Mantenimiento de Carreteras.



ZONA ESTE		
TRAMO	DISTANCIA DEL TRAMO	CANTIDAD DE BRIGADAS
Autopista las Américas	34 km	04
Autovía del Este	90 km	07
Autovia del Coral	136 km	08
Tramo Carretero Seibo Miches	40 km	03

ZONA NORTE		
TRAMO	DISTANCIA DEL TRAMO	CANTIDAD DE BRIGADAS
Av. Jacobo Majluta/ Av. Antonio Guzmán	13 km	03
Jarabacoa/La Vega	24 km	16
Aut. Duarte/ km9-km25	101 km	
Aut. Duarte/Km 25-Villa Altagracia		
Aut. Duarte /Bonao		
Aut. Duarte/Circunvalación Norte	83 km	07
Circunvalación Norte/ Santiago		
Aut. Joaquin Balaguer		
Puerto Plata	20 km	03

ZONA SUR		
TRAMO	DISTANCIA DEL TRAMO	CANTIDAD DE BRIGADAS
Autopista 6 de Noviembre-Carretera Sánchez	74 km	10
Circunvalación Sto. Dgo. Tramo I y II	34 km	04
Tramo carretero Barahona/Enriquillo	34 km	06

MOPC | SOMOS TODOS

Fuente: Programa Mantenimiento de Carreteras, (2020)

Anexo III.

Análisis y presupuesto jornada de mantenimiento diario

DESBROCE DE MALEZA EN LOS LATERALES DE LA VÍA				
Descripción	**Unidad**		**Tiempo de Ejecución**	
Eliminación de la vegetación sobresaliente de ambos lados de la vía. Rendimiento aproximado de 3 Km/día.	Día		6 días a la semana con frecuencia de al menos 3 veces al año.	
EQUIPO Y HERRAMIENTA				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Camión Plataforma	Día	1.00	$ 3,200.00	$3,200.00
Herramientas Variadas	Día	0.67	$ 620.93	$ 416.02
			SUBTOTAL	$3,616.02
MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Fundas de basura para jardinería (13gal)	Ud.	250.00	$ 4.06	$ 1,015.00
			SUBTOTAL	$ 1,015.00
MANO DE OBRA				
Personal	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Chofer	Día	1.00	$ 800.00	$ 800.00
Jornalero	Día	8.00	$ 600.00	$ 4,800.00
			SUBTOTAL	$ 5,600.00
			COSTO TOTAL DIRECTO	$ 10,231.02

Tabla 1. Presupuesto por día de desbroce de maleza en los laterales de la vía.

LIMPIEZA DE MUROS NEW JERSEY				
Descripción	**Unidad**		**Tiempo de Ejecución**	
Limpieza de los muros que sirven como separador de flujo vehicular. El objetivo es retirar el polvo, aceites o cualquier otra impureza que disminuya la vida útil del muro.	Día		1 día a la semana con frecuencia de al menos 3 veces al año.	
EQUIPO Y HERRAMIENTA				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Camión Cisterna	Día	1.00	$ 5,700.00	$ 5,700.00
Bomba de Agua a Presión	Día	1.00	$ 2,450.00	$ 2,450.00
Herramientas Variadas	Día	7.00	$ 212.00	$ 1,484.00
			SUBTOTAL	$ 9,634.00
MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Detergente	Ud.	16.00	$ 180.00	$ 2,880.00
			SUBTOTAL	$ 2,880.00
MANO DE OBRA				
Personal	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Capataz	Día	1.00	$ 1,600.00	$ 1,600.00
Chofer	Día	1.00	$ 800.00	$ 800.00
Jornalero	Día	7.00	$ 600.00	$ 4,200.00
			SUBTOTAL	$ 6,600.00
			COSTO TOTAL DIRECTO	$ 19,114.00

Tabla 2. Presupuesto por día limpieza de muros New Jersey en la vía.

DESBROCE DE MALEZA EN LA MEDIANA DE LA VÍA				
Descripción	**Unidad**		**Tiempo de Ejecución**	
Poda de la vegetación en la mediana con el objetivo de embellecer y mejorar la seguridad en la vía. Rendimiento aproximado de 2km/día	Día		6 días a la semana con frecuencia de al menos 3 veces al año.	
EQUIPO Y HERRAMIENTA				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Herramientas Variadas	Día	9.00	$ 975.72	$ 8,781.48
			SUBTOTAL	$ 8,781.48
MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Fundas de basura para jardinería (13gal)	Ud.	130.00	$ 4.06	$ 527.80
			SUBTOTAL	$ 527.80
MANO DE OBRA				
Personal	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Capataz	Día	1.00	$ 800.00	$ 800.00
Jornalero	Día	9.00	$ 600.00	$ 5,400.00
			SUBTOTAL	$ 6,200.00
			COSTO TOTAL DIRECTO	$ 15,509.28

Tabla 3. Presupuesto por día desbroce de maleza en la mediana de la vía.

LIMPIEZA DE ACERAS Y CONTENES				
Descripción	**Unidad**		**Tiempo de Ejecución**	
Recogida de los sedimentos y desechos sólidos que se encuentran en las aceras y contenes.	Día		6 días a la semana con la frecuencia necearía.	
EQUIPO Y HERRAMIENTA				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Herramientas Variadas	Día	5.00	$ 1,278.75	$ 6,393.75
			SUBTOTAL	$ 6,393.75
MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Fundas de basura para jardinería (13gal)	Ud.	50.00	$ 4.06	$ 203.00
			SUBTOTAL	$ 203.00
MANO DE OBRA				
Personal	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Capataz	Día	1.00	$ 800.00	$ 800.00
Jornalero	Día	5.00	$ 600.00	$ 3,000.00
SUBTOTAL				$ 3,800.00
		COSTO TOTAL DIRECTO		$ 11,972.55

Tabla 4. Presupuesto por día limpieza de aceras y contenes.

LIMPIEZA DE CANALETAS Y CUNETAS.				
Descripción	**Unidad**		**Tiempo de Ejecución**	
Eliminación de obstáculos, tierra y maleza que ocasionan los deslizamientos provocados por las lluvias con el objetivo de mantener en óptimas condiciones el drenaje superficial de la vía.	Día		6 días a la semana con la frecuencia necearía.	
EQUIPO Y HERRAMIENTA				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Camión Plataforma	Día	1.00	$ 3,125.00	$ 3,125.00
Bomba de Agua a Presión	Día	1.00	$ 2,450.00	$ 2,450.00
Herramientas Variadas	Día	11.00	$ 657.14	$ 7,228.54
			SUBTOTAL	$ 12,803.54
MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Fundas de basura para jardinería (13gal)	Ud.	15.00	$ 4.06	$ 60.90
			SUBTOTAL	$ 60.90
MANO DE OBRA				
Personal	**Unidad**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Capataz	Día	1.00	$ 1,600.00	$ 1,600.00
Chofer	Día	1.00	$ 800.00	$ 800.00
Jornalero	Día	11.00	$ 600.00	$ 6,600.00
			SUBTOTAL	$ 9,000.00
			COSTO TOTAL DIRECTO	$ 21,864.44

Tabla 5. Presupuesto por día limpieza de cunetas y canaletas.

Anexo IV

Instrumento recolección de datos.

Observación Jornada Laboral Diaria.

Labores de Mantenimiento Realizadas			
Descripción	**No. de Jornaleros**	**Tiempo de Ejecución**	**Rendimiento (Kilometraje)**
Desbroce de maleza en los laterales			
Limpieza de muro New Jersey			
Desbroce de maleza en mediana			
Limpieza de aceras y contenes			
Limpieza de canaletas y cunetas			

Planeación	**Si**	**No**
¿El tiempo para realizar las labores fue suficiente?		
¿Las actividades planificadas fueron dirigidas según la necesidad?		
¿Las herramientas empleadas y/o utilizadas fueron las adecuadas?		
¿Se realizaron labores fuera de la jornada establecida?		

Ingeniero Encargado	**Si**	**No**
¿Las intervenciones fueron adecuadas?		
¿Contribuyo para el buen desarrollo de las labores?		
¿Sus disposiciones fueron claras y fáciles de entender?		
¿Fueron oportunas para el optimizar las labores de mantenimiento?		

Comportamiento de los Jornaleros	
¿Se involucraron?	Todos ___ Algunos ___ Muy pocos ___
¿Cuál fue su actitud durante la jornada laboral?	Participativa ___ Buena ___ Regular ___
¿Hubo interrupciones justificadas que influyeran en el rendimiento laboral?	Si ___ No ___

¿Qué influyó para que se pueda avanzar u obstaculizar las labores de mantenimiento planificadas?

____

____

____

¿Qué se puede mejorar para la próxima jornada?

____

____

____

Tomando en cuenta lo siguiente, califique como fue la jornada de hoy:

Exitosa: 3km o más de rendimiento en realización de labores.

Buena: 2km aproximadamente de rendimiento en realización de labores.

Regular: 1.5km de rendimiento en realización de labores.

Deficiente: menos de 1.5km de rendimiento en realización de labores.

La jornada fue:

Exitosa	Buena	Regular	Deficiente

Fuente: *Construcción propia del autor, (2020)*

Anexo V

Hipervínculo para acceder al código fuente del lenguaje de programación Phyton.

https://repl.it/@Eduardo0303/Alondra-tesis-3#main.py